

UNIVERSIDAD CATÓLICA SANTO TORIBIO DE MOGROVEJO
FACULTAD DE INGENIERÍA
ESCUELA DE INGENIERÍA MECÁNICA ELÉCTRICA



**DISEÑO DE UN SISTEMA HÍBRIDO SOLAR-BIOGÁS PARA DOTAR
DE ENERGÍA TÉRMICA A UN MOTOR STIRLING EN ZONAS
RURALES DE LAMBAYEQUE**

**TESIS PARA OPTAR EL TÍTULO DE
INGENIERO MECÁNICO ELÉCTRICO**

AUTOR

RENATO STEFANO DIAZ ORTIZ

ASESOR

HERNAN HENRY SANTISTEBAN CHAPOÑAN

<https://orcid.org/0000-0002-8103-862X>

Chiclayo, 2022

**DISEÑO DE UN SISTEMA HÍBRIDO SOLAR-BIOGÁS PARA DOTAR
DE ENERGÍA TÉRMICA A UN MOTOR STIRLING EN ZONAS
RURALES DE LAMBAYEQUE**

PRESENTADA POR:

RENATO STEFANO DIAZ ORTIZ

A la Facultad de Ingeniería de la
Universidad Católica Santo Toribio de Mogrovejo
para optar el título de

INGENIERO MECÁNICO ELÉCTRICO

APROBADA POR:

Lucio Antonio Llontop Mendoza

PRESIDENTE

Luis Alberto Gonzales Bazan

SECRETARIO

Hernan Henry Santisteban Chapoñan

VOCAL

Dedicatoria

Esta investigación va dedicada para mis amigos de toda la vida y familiares, especialmente a mis padres, este trabajo es fruto de su esfuerzo.

Agradecimientos

A mis docentes por sus enseñanzas y experiencias compartidas, a mi asesor por la guía continua y su tiempo dedicado, a Valeria por su apoyo incondicional, y a mi familia y amigos.

Índice

Resumen	9
Abstract	10
INTRODUCCIÓN	11
JUSTIFICACIÓN.....	12
OBJETIVOS.....	13
1.1. OBJETIVO GENERAL	13
1.2. OBJETIVOS ESPECÍFICOS	13
MARCO TEÓRICO	14
1.3. Antecedentes.....	14
1.4. Fundamentos teóricos	15
1.4.1. Energía Solar	15
1.4.2. Dirección de la radiación solar.....	16
1.4.3. Balance energético de la radiación solar	17
1.4.4. Colector solar	18
1.4.5. Biogás.....	21
1.4.6. Motor Stirling.....	23
1.4.7. SOLO V161 ©.....	25
METODOLOGÍA	27
1.5. Descripción del sistema híbrido.....	27
1.6. Recolección de datos para las condiciones de operación	27
1.6.1. NASA POWER ©	27
1.7. Diseño del biodigestor	28
1.8. Análisis del concentrador solar.....	30
ANÁLISIS E INTERPRETACIÓN DE RESULTADOS	32
1.9. Determinación de la zona	32
1.9.1. Estudio de la zona	32

1.9.2. Motor Stirling	35
1.9.3. Condiciones de operación	37
1.10. Diseño del biodigestor	37
1.10.1. Componentes del sistema de biogás	39
1.10.2. Caudal requerido de biogás	41
1.10.3. Modificaciones al gasómetro.....	41
1.11. Selección del concentrador solar.....	44
1.11.1. Análisis del concentrador	44
1.12. Diseño del sistema híbrido.....	49
1.12.1. Configuración Stirling-Concentrador	49
1.12.2. Configuración Biogás-Stirling-Concentrador.....	51
CONCLUSIONES	54
RECOMENDACIONES	55
REFERENCIAS	56
ANEXOS.....	60

Lista de tablas

Tabla 1. Parámetros del SOLO V161.....	26
Tabla 2. Ecuaciones para el diseño de la cámara del biodigestor.	28
Tabla 3. Análisis del reflector.	30
Tabla 4. Análisis térmico.	31
Tabla 5. Condiciones de operación	37
Tabla 6. Cálculo del biodigestor.....	37
Tabla 7. Datos asumidos y conocidos para el cálculo.....	45
Tabla 8. Resultados de cálculo del análisis del reflector.....	45
Tabla 9. Resultados de cálculo del análisis térmico.....	46
Tabla 10. Parámetros conocidos para el diseño.	47
Tabla 11. Cálculo del nuevo colector.....	48

Lista de figuras

Fig. 1. a) Vista del ángulo cenital, azimutal y azimutal solar. b) Vista del ángulo azimutal solar a nivel planta [16].	16
Fig. 2. Balance energético atmosférico [18].	18
Fig. 3. Central de cilindros parabólicos [19].	19
Fig. 4. Cocina solar parabólica.	19
Fig. 5. Detalles del disco Scheffler [21].	20
Fig. 6. Proyección de la sección de apertura sobre la parábola [9].	20
Fig. 7. Biodigestor continuo [24].	21
Fig. 8. Biodigestor de flujo discontinuo [25].	22
Fig. 9. Biodigestor tipo laguna cubierta [26].	22
Fig. 10. Biodigestor tipo laguna cubierta [27].	22
Fig. 10. Proceso termodinámico de un motor Stirling [29].	23
Fig. 11. Motor tipo alfa [31].	24
Fig. 12. Motor tipo beta [30].	25
Fig. 13. Motor tipo gamma [30].	25
Fig. 14. Vista del SOLO V161 [32].	26
Fig. 15. Método de recolección de condiciones de operación.	27
Fig. 16. Vista del POWER Data Acces Viewer [33].	28
Fig. 17. Esquema del sistema de producción de biogás [10].	29
Fig. 18. Esquema del biodigestor de Pautrat [34].	29
Fig. 19. Rango de temperatura a 2 metros.	32
Fig. 20. Insolación solar (kWh/m ² /día) sobre superficie horizontal.	33
Fig. 21. Irradiancia solar directa W/m ² .	33
Fig. 22. Temperatura en la localidad a 2 metros (°C).	34
Fig. 23. Velocidad del viento a 10 metros (m/s).	34
Fig. 24. Motor diseñado por Agüero [38].	35
Fig. 25. Motor modelado por Vives [39].	36
Fig. 26. Diseño realizado por Zapata y Bernal [40].	36
Fig. 27. Vista del biodigestor diseñado.	38
Fig. 28. Vista de la caseta-invernadero del biodigestor.	38
Fig. 29. Vista de sección isométrica del biodigestor.	39
Fig. 30. Vista isométrica renderizada del biodigestor.	39

Fig. 31. Vista del tablero con sus elementos.	40
Fig. 32. Vista isométrica renderizada del tablero.	41
Fig. 33. Sistema para aumentar la presión [46].	42
Fig. 34. Vista lateral seccionada de la caseta del gasómetro (unidades en metros).	43
Fig. 35. Vista isométrica de la caseta del gasómetro.	43
Fig. 36. Vista dimétrica renderizada de la caseta del gasómetro.	43
Fig. 37. Antena parabólica OFFSET.	44
Fig. 38. (a) Parábola resultante del nuevo diámetro y (b) Parábola con el nuevo diámetro y foco expuesto.	48
Fig. 39. Configuración 1: Stirling y parábola con foco expuesto.	49
Fig. 40. Configuración 2: Stirling y parábola inclinada.	49
Fig. 41. Corte del paraboloide (Disco Scheffler).	50
Fig. 42. Configuración 3: Stirling y Disco Scheffler.	50
Fig. 43. Configuración 4: Stirling y Disco Scheffler con foco menor.	51
Fig. 44. Configuración Biogás-Stirling-Concentrador.	51
Fig. 45. Vista lateral de la distribución del sistema híbrido.	52
Fig. 46. Vista isométrica de sección del sistema híbrido.	52
Fig. 47. Vista isométrica renderizada del sistema híbrido.	53
Fig. 48. Vista isométrica renderizada de sección del sistema híbrido.	53

Resumen

En la presente investigación se desarrolló el diseño de un sistema híbrido para dotar de energía térmica a un motor Stirling, orientado a su uso en zonas rurales. El funcionamiento del sistema es tal que, durante el día aproveche la energía solar, y por la noche utilice la energía otorgada por la flama de biogás. El lugar elegido para el estudio es Marayhuaca, Incahuasi, donde se tiene una temperatura ambiente de 14,3 °C, y una irradiancia solar de 650 W/m². El motor utilizado es un Stirling tipo beta de 15 W, con una temperatura en el receptor reportada de 730 °C y un consumo de GLP de 0,0874 g/s. Para alimentar el motor se diseñó un biodigestor de 5,2 m³ cargado por una mezcla estiércol: agua en la proporción de 1:3; con un tiempo de retención hidráulico de aproximadamente un mes (29 días), y se incluyó una caseta tipo invernadero para mantener la temperatura interna mayor a la temperatura ambiente; el caudal necesario para el funcionamiento es de 0,57 m³/h. Para captar la energía solar se seleccionó una antena parabólica OFFSET reciclada de 66 cm, sin embargo, no se obtuvieron resultados satisfactorios, ya que teóricamente la temperatura alcanzada en el foco fue de 229 °C. Finalmente, se estableció la distribución de los componentes del sistema híbrido, el concentrador debe estar orientado al norte a una inclinación de 30°, y el biogás pasa por una etapa de purificación y almacenamiento, y luego se transporta hasta el receptor del Stirling.

Palabras claves: Biodigestor, Colector solar, Motor Stirling, Rural.

Abstract

In the present investigation, the design of a hybrid system was developed to provide thermal energy to a Stirling engine, oriented to its use in rural areas. The operation of the system is such that, during the day, it takes advantage of solar energy, and at night it uses the energy provided by the biogas flame. The place chosen for the study is Marayhuaca, Incahuasi, where there is an ambient temperature of 14.3 °C, and a solar irradiance of 650 W/m². The engine used is a 15 W beta-type Stirling, with a reported receiver temperature of 730 °C and an LPG consumption of 0.0874 g/s. To feed the engine, a 5.2 m³ biodigester loaded with a mixture of manure:water in a 1:3 ratio was designed; with a hydraulic retention time of approximately one month (29 days), and a greenhouse-type shed was included to maintain the internal temperature above ambient temperature; the necessary flow for operation is 0.57 m³/h. To capture solar energy, a 66 cm recycled OFFSET parabolic antenna was selected, however, satisfactory results were not obtained, since theoretically the temperature reached at the focus was 229 °C. Finally, the distribution of the components of the hybrid system was established, the concentrator must be oriented to the north at an inclination of 30°, and the biogas goes through a purification and storage stage and is then transported to the Stirling receiver.

Keywords: Biodigester, Solar collector, Stirling Engine, Rural.

INTRODUCCIÓN

La mayor parte de la energía eléctrica en el mundo es generada en base a combustibles fósiles (31% consumo de petróleo a nivel mundial), los cuales son un recurso no renovable y producen un impacto negativo al ambiente [1]. A medida que pasa el tiempo, la demanda energética de la población aumenta, y estos recursos tienden a ser sobrexplotados, hasta el punto de llegar a agotarse en un mediano o largo plazo. Todo esto concluye en una demanda energética muy grande e insatisfecha, por parte de las fuentes no renovables; además de un ambiente contaminado por el uso excesivo de las mismas. Por lo tanto, surge la necesidad de suplir la demanda energética mediante energías renovables y limpias.

Una de las aplicaciones más común, es el uso de la energía hidráulica o hidroeléctrica. Esta forma de energía renovable se produce por corrientes de agua, o grandes saltos de esta; aprovechando la fuerza ejercida por el caudal de agua. Actualmente, varios países cuentan con la producción de energía hidroeléctrica dentro de su matriz energética. Sin embargo, en países tercermundistas, a pesar de contar con centrales renovables como la hidroeléctrica, resulta complicado transmitir la energía hasta zonas muy alejadas, debido al elevado costo de inversión por la construcción de líneas de transmisión muy largas.

En el Perú, la matriz energética presenta a la energía hidroeléctrica como la mayor fuente de producción de electricidad, con 51,81% del total [2]. Como se ha explicado anteriormente, es complicado transmitir la energía hasta zonas rurales, pero no imposible. Se tiene un registro del año 2016, por el Osinergmin, donde se muestra que el consumo de electricidad por hogares en zona rural es de 41 kWh-mes. Este consumo representa aproximadamente la cuarta parte del consumo de un hogar en zona urbana, 174 kWh-mes [3]. El consumo de energía eléctrica va de acuerdo con la necesidad, en zonas urbanas, y ocurre lo contrario en zonas rurales, donde se presentan casos de pobreza o extrema pobreza.

En la región Lambayeque, el consumo eléctrico total mensual durante el año 2018, fue un promedio de 54,6 GW-h [4]. La población en esta región durante el año 2017 es de 1 197 260 [5], de los cuales el 18,9 % representa las zonas rurales [6]. Actualmente, algunas de estas localidades de Lambayeque, son suministradas de energía eléctrica mediante la red y, además, de paneles fotovoltaicos como solución a la falta de recursos económicos. Sin embargo, su limitado suministro eléctrico, limita su desarrollo económico y social, por lo que surge la necesidad de buscar fuentes alternativas de suministro eléctrico. Ante lo mencionado, surge

la pregunta ¿cómo utilizar energías renovables y sostenibles para lograr abastecer a zonas tan alejadas y de bajos recursos como lo son las zonas rurales? Por lo tanto, se plantea el diseño de un sistema híbrido solar-biogás para dotar de energía térmica a un motor Stirling en zonas rurales de Lambayeque.

JUSTIFICACIÓN

- Social

La implementación de un sistema híbrido productor de energía eléctrica permitirá el desarrollo socioeconómico de la zona. El contar con una fuente renovable y sostenible, aumentará la disponibilidad de suministro eléctrico. Además, surgirá un ahorro económico el cual podrá ser dirigido a inversiones futuras de los pobladores.

- Ambiental

La generación de energía eléctrica mediante el sistema híbrido no ocasiona algún efecto negativo al ambiente. Los recursos utilizados son completamente renovables y limpios, claramente el uso de la energía solar no presenta impacto ambiental alguno. Por otro lado, el uso de los desechos orgánicos del ganado, además de ser utilizado como biogás, puede ser aprovechado como fertilizantes provenientes de la materia restante.

- Económico

Actualmente, Electronorte S.A. suministra energía eléctrica a la zona, a una tarifa menos costosa en comparación a las tarifas en zonas urbanas. Sin embargo, al ser una zona de extrema pobreza en algunos casos el precio es significativo. Por lo tanto, con la implementación del sistema híbrido solar-biogás, los costos se disminuirían, permitiendo invertir el dinero ahorrado en otras actividades para impulsar el desarrollo de las zonas rurales.

- Académica

El actual proyecto tiene como fin, generar energía eléctrica mediante recursos renovables presentes en la zona estudiada, los cuales son: energía solar y biogás. Gracias a los conocimientos científicos aportados por la ingeniería mecánica eléctrica. Conjuntamente,

se espera que la información presentada en esta investigación sirva como base para futuros proyectos relacionados al tema.

- **Técnica**

El aprovechamiento de la energía solar para cubrir las necesidades del ser humano viene formándose desde décadas atrás. Además, la producción de biogás mediante residuos orgánicos también ha sido desarrollada y estudiada durante años. A lo largo de la evolución de ambos recursos, se ha implementado la aplicación a los motores Stirling, de lo cual existen diversas investigaciones.

OBJETIVOS

1.1. OBJETIVO GENERAL

Diseñar un sistema de alimentación solar-biogás para dotar de energía térmica a un motor Stirling en zonas rurales de Lambayeque.

1.2. OBJETIVOS ESPECÍFICOS

- Establecer las condiciones de operación para el concentrador solar y el biodigestor.
- Diseñar el sistema de biogás en base a las condiciones de operación.
- Seleccionar y analizar el concentrador solar para el sistema híbrido.
- Diseñar el sistema híbrido concentrador-biodigestor.

MARCO TEÓRICO

1.3. Antecedentes

Según Ghitis y Fedele [7], en su artículo “Microgeneradores “Stirling” alimentados con biomasa”, se investiga la realización de un microgenerador con materiales altamente disponibles y bajo costo. Se propone el uso de una unidad cogenerativa Ringbom, caracterizada por la ausencia de la manivela del pistón y por consiguiente una menor complejidad en la construcción de la máquina; y también por poder ser alimentada con biomasa de cualquier género. Además, se analizaron los subproductos agrícolas para fines energéticos, y las características y potencias del área escogida, la cual fue Colombia. La investigación concluyó en que el uso de sistemas Stirling-Ringbom mediante el estudio de los residuos agrícolas, resulta conveniente en haciendas agrícolas pequeñas, así como una alternativa para el uso de quemadores convencionales.

Según Lira y Agüero [8], en su investigación “Generación de energía eléctrica con un motor Stirling empleando un combustible gaseoso”, se propone un motor Stirling tipo beta, de baja potencia y bajo costo de manufactura mediante GLP. Para lograr la transformación de energía térmica en mecánica el prototipo presentado consta de un mecanismo rómbico, el cual requiere únicamente dos parámetros adimensionales para su dimensionamiento. Ambos dependen del radio de las manivelas, y por separado de la longitud de las bielas, del diámetro de paso de los engranajes, y de la distancia entre el centro del vástago del desplazador y los pines de los conectores. En los resultados finales, se determinó que la potencia eléctrica máxima desarrollada es de 35 W, menor que la potencia efectiva (58 W), con un consumo de 1,3 kg/h de combustible, el cual puede ser de cualquier tipo, incluido el biogás. Además, se concluyó que las emisiones tóxicas y niveles de ruido emitidos por el motor, son mucho menores en comparación con los de un motor de combustión interna.

Ruelas *et al.* [9] en su artículo científico “Diseño de un Concentrador Solar Acoplado a un Motor Stirling Fijo” se propone un nuevo modelo geométrico de un concentrador solar de foco fijo, para satisfacer la demanda térmica de un motor Stirling de 3 kWe. Para lograr el nuevo diseño se realizó un modelo matemático donde se obtiene el modelo óptico-geométrico, empleando la distribución de la imagen solar y considerando la temperatura en el interior de la cavidad receptora y el análisis de

transferencia de calor de modo estable y unidimensional. El modelo geométrico desarrollado resultó en una proyección de un área circular del área de apertura de una parábola de origen, se logró tener una eficiencia del receptor del 88 % con errores de concentración de 12 mrad; se determinó el ángulo de mayor concentración el cual fue de 45°.

Barrena, Miguel *et al.* [10] en su investigación “Sistema de producción de biogás y bioabonos a partir del estiércol de bovino, Molinopampa, Chachapoyas, Amazonas, Perú” se propone el diseño de un biodigestor tubular de geomembrana a partir del estiércol de bovino. Para partir con el diseño se utilizó un esquema de instalación propuesta por el autor, donde se aprecia el modelo y componentes del sistema. El biodigestor tubular se diseñó para un volumen de trabajo de 9 m³ de una mezcla estiércol:agua en relación a 1:5. La producción de biogás se logró luego de 29 días de la primera carga, siendo este el tiempo de retención hidráulico (TRH) a temperatura ambiente promedio de 14,4 °C. El TRH previsto era de 35 días, por lo que para 9000 L se obtuvo una carga diaria 257 L para mantener la producción de biogás.

Losada, Jorge [11] en su investigación “Análisis de un sistema de disco parabólico con motor Stirling” indica que para un motor SOLO V161 de 10 kW de potencia eléctrica, se requiere como datos de operación los siguientes: Potencia suministrada de 28,46 kW; Presión media de 112,8 bar; Potencia obtenida de 13,67 kW y rendimiento indicado del motor de un 48%.

1.4. Fundamentos teóricos

1.4.1. Energía Solar

La energía solar es la cantidad de energía que puede ser aprovechada proveniente del Sol. Esta energía es transmitida hasta la tierra mediante radiación, numéricamente hablando llega aproximadamente 1366 W/m² [12]. La radiación emitida por el sol no llega en su totalidad a la superficie la tierra, la radiación ultravioleta y la infrarroja es absorbida por la atmósfera, por lo que a la superficie se estima un aproximado de las tres cuartas partes del total [13].

1.4.1.1. Energía solar pasiva

Es la utilización de la energía proveniente del sol, directamente, es decir, sin ningún dispositivo de por medio. Se utiliza principalmente de manera arquitectónica en construcciones amigables con el medio ambiente.

1.4.1.2. Energía solar fotovoltaica

A diferencia de la solar pasiva, para el aprovechamiento de la solar fotovoltaica sí hay un dispositivo de por medio, la cuál es la célula fotovoltaica. Consiste en transformar en energía eléctrica la energía de los [14].

1.4.1.3. Energía solar térmica

El aprovechamiento de la solar térmica, es una manera muy común y económica a comparación de la solar fotovoltaica. Consta principalmente de un colector, el cual dirige los rayos solares hacia una dirección requerida. Es muy habitual el uso de concentradores parabólicos como fuente de calor para cocinas solares. También el uso de colectores planos y cilíndricos, para la obtención de ACS (Agua Caliente Sanitaria) [15].

1.4.2. Dirección de la radiación solar

Un haz de radiación solar en relación con un plano de la tierra (en cualquier orientación) puede definirse mediante una serie de ángulos provenientes de relaciones geométricas. En la fig. 1. se muestran algunos de estos ángulos [16].

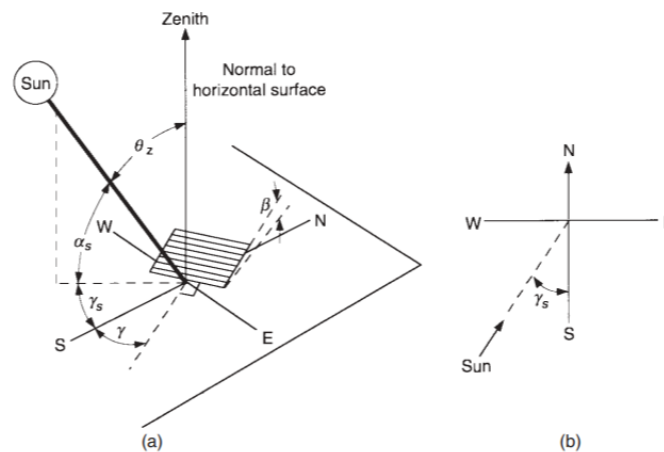


Fig. 1. a) Vista del ángulo cenital, azimutal y azimutal solar. b) Vista del ángulo azimutal solar a nivel planta [16].

- Ángulo cenital (zenit) “ θ ”
Es el ángulo entre el zenith y la línea que forma el sol, formando de esta manera el ángulo del haz de radiación.
- Ángulo de altura solar “ α ”
Es el ángulo entre el sur y la línea que forma el sol.
- Ángulo azimutal “ γ_s ”
Es el ángulo que se desplaza la línea que forma el sol respecto a la horizontal.

1.4.2.1. Altura solar

La altura solar se puede calcular mediante las coordenadas celestes, en base al azimut y el horizonte. El cálculo de este parámetro depende del lugar (coordenadas) y de la época del año. A continuación, se indicarán las ecuaciones respectivas para las posiciones del sol en los equinoccios y solsticios [17].

- Equinoccios: Durante los equinoccios el amanecer coincide con el Este a las 6 am, y la puesta del sol con el Oeste a las 6 pm. Además, durante el mediodía el sol se sitúa con azimut cero.

$$h = 90 - \varphi$$

- Solsticio de verano: Durante este solsticio al mediodía el sol se encuentra sobre el sur formando con el Cenit un ángulo “ φ ” que es igual a la latitud, más un ángulo “ δ ” llamado declinación.

$$h = 90 - \varphi + \delta$$

- Solsticio de invierno: Durante este solsticio al mediodía, ocurre lo contrario al solsticio de verano. El sol forma con el cenit la latitud menos la declinación.

$$h = 90 - \varphi - \delta$$

1.4.3. Balance energético de la radiación solar

Según la ley del equilibrio relativo, un objeto irradia la misma cantidad que absorbe. Esto se debe al balance energético presente en la atmósfera. Como se observa en la Fig. 2, cierta parte de la radiación es reflejada de la superficie, en un 30%. Por este fenómeno es que la temperatura puede mantenerse constante [18].

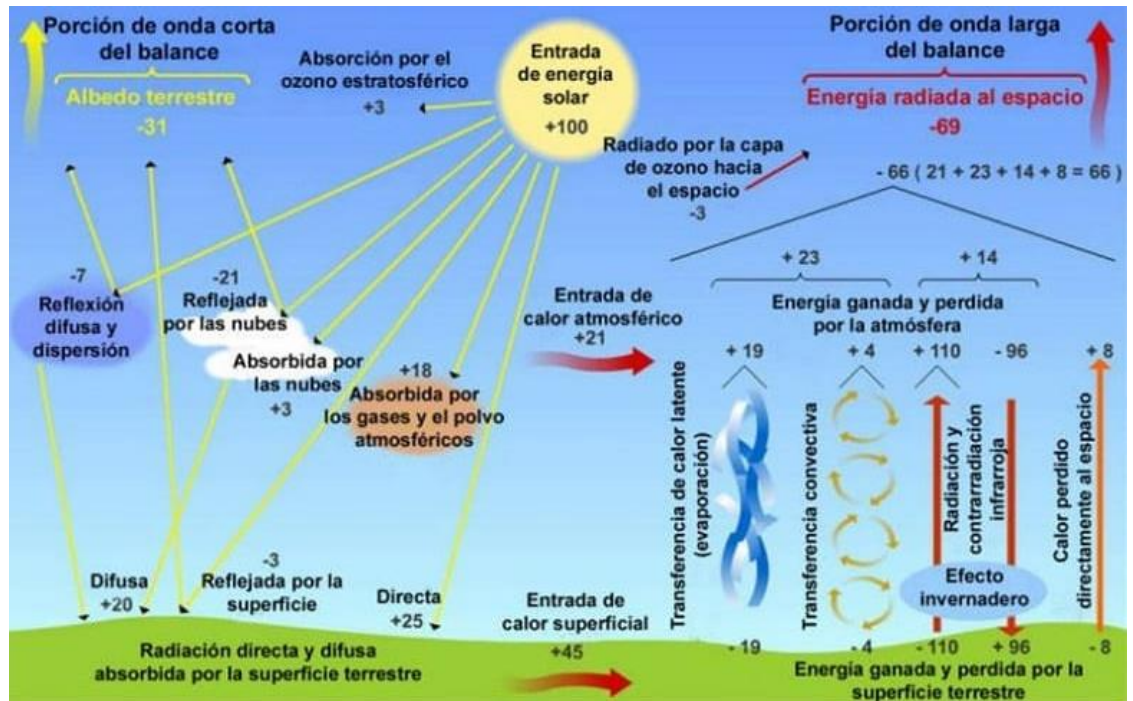


Fig. 2. Balance energético atmosférico [18].

1.4.4. Colector solar

La finalidad de un colector solar es redireccionar los rayos solares incidentes en su plano, y dirigirlos a un área muy pequeña. De esta manera se logra aumentar la intensidad energética. Por lo general obedecen la ecuación de la parábola, con la orientación de cualquier rayo perpendicular al suelo, dirigido al foco.

$$(y - k) = \frac{1}{4p}(x - h)^2$$

1.4.4.1. Tipo cilindro parabólico

Un cilindro parabólico, es una proyección en un eje de varias parábolas pertenecientes a los otros dos ejes. La característica de la parábola es poder dirigir todo rayo incidente a su superficie, hacia un solo punto, llamado foco. Por lo tanto, un cilindro parabólico lograr un eje de alta temperatura uniforme, enfocado principalmente a tubos colectores de calor.



Fig. 3. Central de cilindros parabólicos [19].

1.4.4.2. Tipo cono parabólico

A diferencia del cilindro parabólico, el cono parabólico no está proyectado en un eje ortogonal al de la parábola, si no que está revolucionado en su eje vertical, formando un paraboloides. Esta estructura alcanza temperaturas muy por encima de los cilindros parabólicos, debido a que concentra toda la radiación en un solo punto, y no en un eje. Son muy utilizados en cocinas solares.

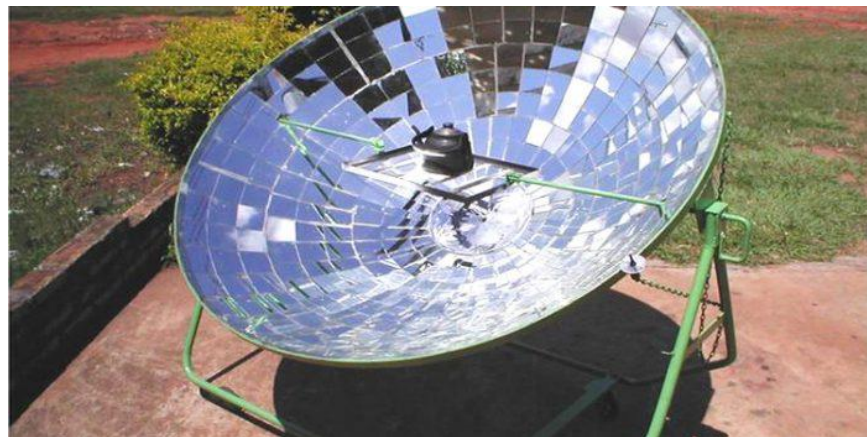


Fig. 4. Cocina solar parabólica.

1.4.4.3. Disco Scheffler

El disco Scheffler diseñado por Wolfgang Scheffler en 1986, parte de una sección de una parábola mediante un plano como se indica en la fig. 5. El uso de estos colectores presenta las siguientes ventajas: superficie flexible, área focal fija, no presencia de sombras, fácil instalación y mantenimiento [20].

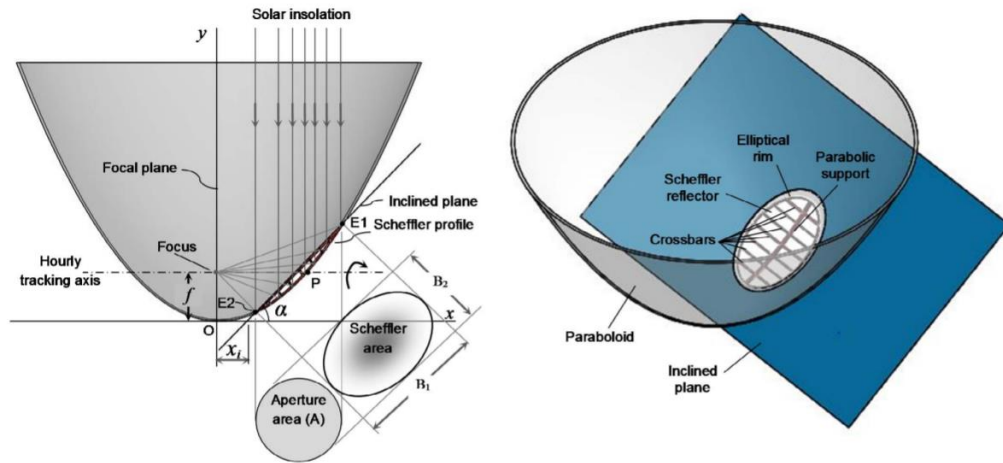


Fig. 5. Detalles del disco Scheffler [21].

1.4.4.4. Sección circular proyectada

Este tipo de concentrador solar de foco fijo (CSFF) se genera mediante la proyección de una sección circular en la apertura de la parábola de origen. El modelo queda descrito por la altura de la parábola, centro del área de apertura circular, y su radio. El modelo geométrico puede desarrollarse mediante la siguiente integral de superficie [9].

$$\int_{-n}^{+n} I(a) da = \iint_{n(R)} I(a) \sqrt{1 + \left(\frac{\delta z}{\delta x}\right)^2 + \left(\frac{\delta z}{\delta y}\right)^2} dx dy$$

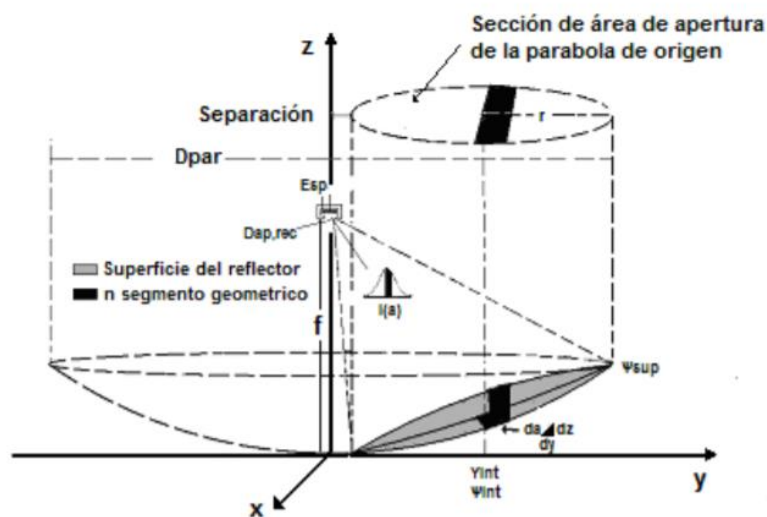


Fig. 6. Proyección de la sección de apertura sobre la parábola [9].

1.4.5. Biogás

El biogás es el producto de la descomposición anaeróbica de residuos orgánicos mediante una gran cantidad de bacterias, realizada en un biodigestor. Esta descomposición permite romper enlaces de la materia, y la energía que poseían es almacenada en metano (CH_4), siendo el biogás y el CO_2 los principales componentes [22]. Gracias al potencial energético que posee el biogás, puede ser utilizado para aplicaciones como cocción de alimentos, calentamiento y producción de energía eléctrica mediante turbinas de gas y motores de combustión interna [23].

1.4.5.1. Biodigestor continuo

Se utiliza mayormente en casas de granja, debido a que no requiere especialidad alguna para operar el sistema. La carga de materia orgánica debe ser materia blanda, como estiércol. Consta de una entrada para la carga inicial, luego una segunda entrada para cargar diariamente en reducidas porciones, y una tercera entrada para retirar el biofertilizante, como se observa en la Fig. 7 [24].

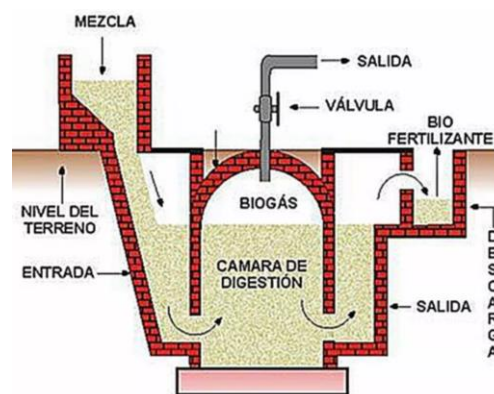


Fig. 7. Biodigestor continuo [24].

1.4.5.2. Biodigestor de flujo discontinuo

A diferencia de los continuos, estos una vez ingresada la materia ya no pueden ser recargados durante el proceso de biodegradación. Los biodigestores de este tipo admiten una mayor carga poco diluida, por lo que la cantidad de agua a agregar es menor que en los sistemas continuos. La producción de biogás durante el proceso no es lineal, es más apegado a la gráfica de una típica campana; es decir, al inicio y al final del proceso la producción es menor [25].



Fig. 8. Biodigestor de flujo discontinuo [25].

1.4.5.3. Biodigestor tipo laguna cubierta

Desarrollado para la industria agropecuaria. Estos biodigestores tienen la característica de ser voluminosos, en estos se desarrolla la digestión anaeróbica de los residuos orgánicos de una granja o establo, transformándolos en biogás y en abono orgánico. El funcionamiento se basa tratar aguas residuales agropecuarias [26].



Fig. 9. Biodigestor tipo laguna cubierta [26].

1.4.5.4. Biodigestor tipo tubular

Este modelo de biodigestor se alimenta diariamente con una mezcla adecuada de agua y materiales orgánicos. Consta de un fermentador y una cámara de almacenamiento de biogás tubular de geomembrana de polietileno, se instala horizontalmente en una zanja excavada bajo tierra para aislamiento térmico, las tuberías de entrada y salida de agua se quedan sin agua y hay una tubería en la parte superior para la exportación del biogás generado [27].

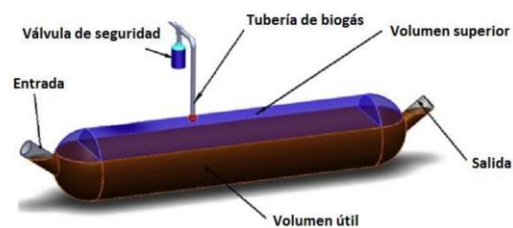


Fig. 10. Biodigestor tipo laguna cubierta [27].

1.4.6. Motor Stirling

El motor Stirling es un tipo de motor que trabaja mediante diferencia de temperaturas. Opera siguiendo un ciclo termodinámico regenerativo que consta de expansión y compresión. La expansión se logra tras la aplicación de una fuente de calor a alta temperatura. El motor consta de dos pistones y, por ende, dos cilindros, y con un regenerador de por medio [28].

1.4.6.1. Ciclo termodinámico

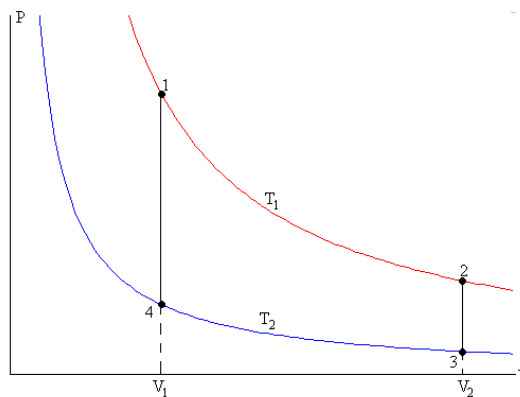


Fig. 11. Proceso termodinámico de un motor Stirling [29].

- Proceso 1-2: Expansión isotérmica

Desde el Volumen inicial V_1 hasta el volumen final V_2 , la energía interna no varía. El gas mueve el émbolo, por lo tanto, realiza trabajo W_{12} , por lo que debe absorber la misma cantidad de energía del foco caliente, y así poder mantener constante su temperatura.

$$Q_{12} = W_{12} = \int_{V_1}^{V_2} p \cdot dV = \int_{V_1}^{V_2} nRT_1 \cdot dV = nRT_1 \ln V_2/V_1$$

- Proceso 2-3: Proceso isométrico

En este proceso no se realiza trabajo, debido a que el volumen se mantiene constante. El gas pierde calor, disminuyendo su temperatura.

$$\Delta U_{23} = Q_{23} = nC_v(T_2 - T_1) = -nC_v(T_1 - T_2)$$

- Proceso 3-4: Compresión isotérmica

En este proceso se comprime el gas a temperatura constante, desde V_2 , hasta V_1 . Debido a la baja presión, el trabajo para comprimir el gas es menor al que producía en la expansión. El gas experimenta trabajo W_{34} y debe ceder calor al foco frío, para mantener la temperatura constante.

$$Q_{34} = W_{34} = \int_{V_2}^{V_1} p \cdot dV = \int_{V_1}^{V_2} nRT_2 \cdot dV = nRT_2 \ln V_1 V_2$$

$$= -nRT_2 \ln V_2 V_1$$

- Proceso 4-1: Proceso isométrico

El gas recibe calor del foco caliente y aumenta su temperatura, incrementando la energía interna.

$$\Delta U_{41} = Q_{41} = n c_v (T_1 - T_2)$$

1.4.6.2. Tipos de motor Stirling

- Motor alfa

Mediante un tubo se conectan dos cilindros, en el cual se ubica el regenerador. En cada cilindro se encuentra un pistón que se desplaza 90 ° desfasado al otro. Un cilindro se comporta como foco caliente calentándose por el exterior mediante una flama o radiación solar, y el otro se enfría mediante disipadores o agua. Como los pistones se encuentran a 90 ° el aire se desplaza de un cilindro a otro ganando calor, perdiendo calor y de esta manera realizando trabajo [30].

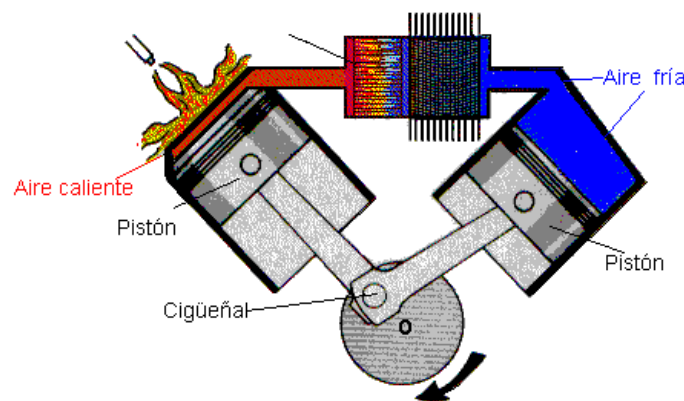


Fig. 12. Motor tipo alfa [31].

- Motor beta

Posee un solo cilindro, la zona fría se obtiene mediante disipadores. El funcionamiento del motor se basa en el cigüeñal, con el desplazador y el movimiento del pistón desfasados 90°. El motor beta, es el motor más eficaz termodinámicamente. Lo complicado de esta configuración es la construcción de las bielas, ya que debe tener dos en un mismo eje [30].

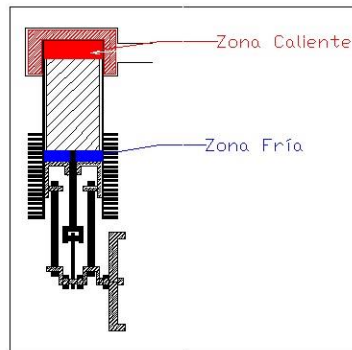


Fig. 13. Motor tipo beta [30].

- Motor gamma

Es una variante del tipo beta, con idénticos sistemas para calentar y enfriar, pero de construcción más sencilla, similar al de un motor de motocicleta. Consta de dos cilindros separados en uno se sitúa el desplazador y en otro el pistón de potencia. El pistón y el desplazador se mueven desfasados 90 grados, lo cual se consigue mediante el cigüeñal adecuado. Desde el punto de vista termodinámico es menos eficaz que el tipo beta, puesto que la expansión de trabajo se realiza en su totalidad a menor temperatura.

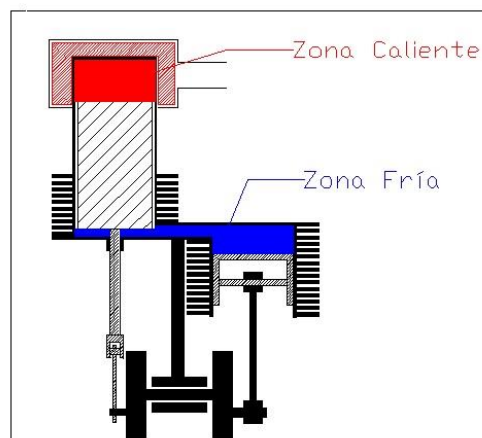


Fig. 14. Motor tipo gamma [30].

1.4.7. SOLO V161 ©

Es un sistema Stirling diseñado por la empresa SOLO, su configuración es de 90° tipo V2. El enfriamiento de este motor es a través de agua, mediante un intercambiador, por lo general usa helio como gas de trabajo. El sistema tiene

incorporado un generador acoplado al motor Stirling, de esta manera logra generar energía eléctrica a la salida. Particularmente el motor más utilizado, como por ejemplo por el sistema Eurodish, es el de 10 kWe [32]. En la tabla 1 se observan algunos parámetros del SOLO V161.



Fig. 15. Vista del SOLO V161 [32].

Tabla 1. Parámetros del SOLO V161

Característica	Descripción
Largo	1280 mm
Ancho	700 mm
Alto	980 mm
Peso	460 kg
Capacidad eléctrica de salida	2 – 9,5 kW
Capacidad térmica de salida	8 – 26 kW
Eficiencia eléctrica	22 – 24,5%
Eficiencia térmica	65 – 75%
Capacidad del cilindro	160 ccm
Gas de operación	Helio
Performance de quemador	16 – 40 kW

METODOLOGÍA

1.5. Descripción del sistema híbrido

El sistema constará en alternar los dos tipos de energía, por el día (presencia de luz solar) se utilizará el concentrador solar y durante la ausencia de luz solar se utilizará la llama producida por el biogás. Para lograr el diseño del sistema se debe obtener correctamente las condiciones de operación, los cuales se indican en el siguiente punto.

1.6. Recolección de datos para las condiciones de operación

Para obtener los datos requeridos (meteorológicos y climatológicos) se utilizará el proyecto POWER otorgado por la NASA. Para esto primero se debe elegir la zona en donde se aplicará el proyecto y con sus coordenadas obtener estos parámetros. En la siguiente figura se puede observar los pasos a seguir para recolectar las condiciones de operación.

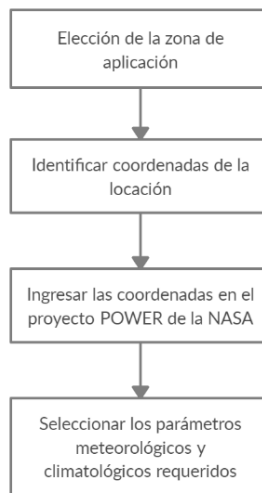


Fig. 16. Método de recolección de condiciones de operación.

1.6.1. NASA POWER ©

El proyecto POWER, por sus siglas en inglés Prediction Of Worldwide Energy Resources tiene por objetivo mejorar la base de datos sobre energía renovable actual, en base a nuevos satélites. Dentro del proyecto se encuentran datos como Energías Renovables, Edificios Sostenibles y Agroclimatología [33].

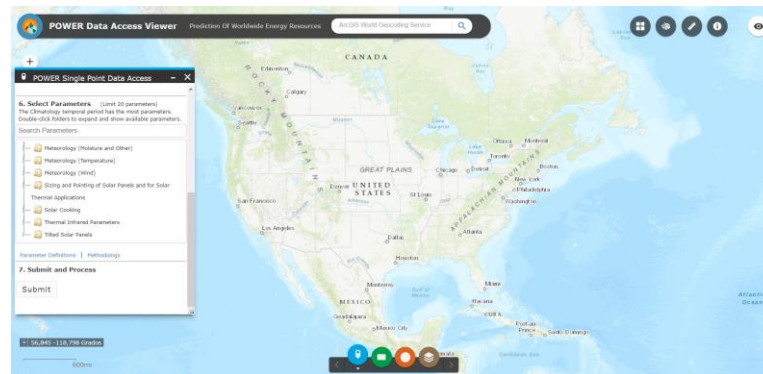


Fig. 17. Vista del POWER Data Acces Viewer [33].

1.7. Diseño del biodigestor

El diseño del biodigestor se basó en la investigación realizada por Pautrat [34] y en el realizado por Barrena [10]. En la investigación de Pautrat, se muestran las ecuaciones necesarias para el diseño del biodigestor, las cuales se muestran a continuación en la siguiente tabla 2. La cantidad de estiércol producido se estimó de un 8% por cada 100 kg de peso de vaca, aproximando un peso de 325 kg por vaca. El estiércol no puede aprovecharse en su totalidad, debido a que solo es utilizable el producido en un establo; los restos producidos en el campo están “mezclados” con tierra y gras. Por esto se consideró usar el 25% del estiércol producido.

Tabla 2. Ecuaciones para el diseño de la cámara del biodigestor.

Parámetro	Ecuación
Volumen Líquido (Vl)	Carga diaria*Tr
Volumen de gas (Vg)	$Vg = Vl/3$
Volumen total (Vt)	$Vg + Vl$
Producción de biogás (PB)	$27\% * Vl$

La carga diaria es la cantidad de mezcla (1:3) lo cual harían 4 partes de esta, multiplicado por la cantidad de estiércol útil. En la tabla 2 falta indicar el parámetro T_r . Este es el Tiempo de retención hidráulica, que es el tiempo que demora en días, en producirse biogás. Según Barrena [10], el T_r puede estimarse mediante la siguiente ecuación, que únicamente depende la temperatura ambiente (T):

$$T_r = -44,705 \ln(T) + 160,394$$

En la investigación de Barrena se añade un tablero de purificación a la salida del biodigestor, antes de ir al gasómetro. Esto se incorporará al diseño a desarrollar.

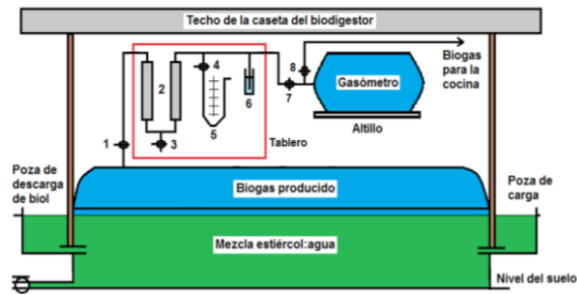


Fig. 18. Esquema del sistema de producción de biogás [10].

Otra consideración por tomar en cuenta es el uso de un invernadero. Como indica Pautrat, la producción de biogás en zonas frías presenta dificultades debido a las bajas temperaturas, por esto se plantea el uso del invernadero como se muestra en la figura 18 [34].

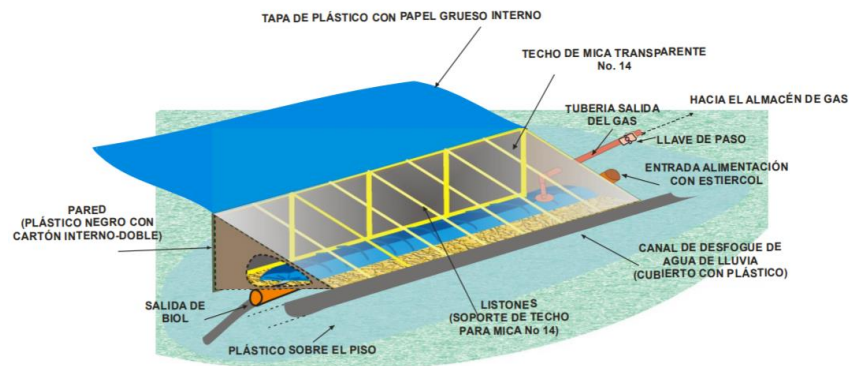


Fig. 19. Esquema del biodigestor de Pautrat [34].

1.8. Análisis del concentrador solar

Para realizar el análisis del concentrador solar elegido, se utilizó el cálculo presentado en la investigación de Mejía y Zamora [35]. El cálculo fue separado partiendo del análisis geométrico de la parábola, luego se continuó al análisis del reflector y finalmente al análisis térmico, en las siguientes tablas se pueden observar las ecuaciones implicadas en este análisis.

Tabla 3. Análisis del reflector.

Cálculo	Parámetro	Ecuación	Unidad
	Área de apertura (A_a)	$\frac{\pi D_a^2}{4}$	m^2
	Ángulo de borde (ϕ_r)	$\tan^{-1} \left[\frac{\frac{8f}{D_a}}{16 \left(\frac{f}{D_a} \right)^2 - 1} \right]$	deg
	Radio de borde (r_r)	$2 \left[\frac{f}{1 + \cos(\phi_r)} \right]$	m
Razón de concentración en el paraboloide de revolución	c	$\frac{c}{\text{sen}(\phi_r)}$	m
	b	$rr - c$	m
	θ	$90 + \frac{\alpha}{2}$	deg
	R_r	$b \cdot \text{sen} \left(\frac{\alpha}{2} \right)$	m
	$\frac{h}{2}$	$\frac{Rr}{\cos(\theta - \phi_r)}$	m
	Área de recepción (A_r)	$2\pi ah$	m^2
	Concentración máxima (C_{max})	$\frac{A_a}{A_r}$	-
	h_1	$\frac{2R_r}{\cos(\theta - \phi_r + \frac{desv}{2})}$	m
	C_{maxr}	$\frac{A_a}{2\pi ah_1}$	-
	Diámetro de apertura (D_{a1})	$2\sqrt{2ahC_{maxr}}$	m
	Foco óptimo (f_o)	$\frac{D_{a1}}{4 \tan \left(\frac{\phi_r}{2} \right)}$	m
Eficiencia óptica del colector parabólico	Área óptima (A_o)	$A_a - A_h$	m^2
	Fracción no sombreada (f_t)	$\frac{A_o}{A_a}$	-
	n_o	$f_t \cdot pc. abs. fcg. fd$	-

Tabla 4. Análisis térmico.

Cálculo	Parámetro	Ecuación	Unidad
Energía absorbida	Q_{abs}	$n_o A_o G_b$	W
	T_a	$273 + T_{ac}$	K
Pérdidas de calor	T_r	$273 + T_{abs}$	K
	Temperatura del aire (T_{sky})	$0,0552 \cdot T_a^{1.5}$	K
	Calor de radiación en el receptor (Q_{rh})	$\varepsilon \cdot \sigma \cdot A_r (T_r^4 - T_{sky}^4)$	W
	Coeficiente de convección (h_c)	$16,9 \cdot v_{aire}^{0,45}$	$\frac{W}{m^2 K}$
Calor de convección	Calor de convección (Q_c)	$h_c A_r (T_r - T_a)$	W
	Calor perdido (Q_{per})	$Q_c + Q_{rh}$	W
	Calor útil (Q_u)	$Q_{abs} - Q_{per}$	W
	Eficiencia instantánea del colector (n_c)	$n_c = \frac{Q_u}{G_b \cdot A_a}$	-
	Temperatura teórica en el foco (T_{real})	$\sqrt[4]{\frac{G_b \cdot C_{maxr} \cdot \varepsilon_{abs} \cdot f_{cg} \cdot f_s \cdot f_f \cdot E_d}{\sigma \cdot p_c}}$	K

ANÁLISIS E INTERPRETACIÓN DE RESULTADOS

1.9. Determinación de la zona

Como se mencionó anteriormente el porcentaje de población del departamento referido a zonas rurales, es del 18,9% [6]. Las provincias de Lambayeque que presentan mayor porcentaje rural dentro de este 18,9%, son Lambayeque y Ferreñafe con 47,8% y 43,1% respectivamente [36]. La diferencia de las zonas rurales entre estas dos provincias es la región, Ferreñafe presenta zonas ubicadas en la sierra lambayecana, como el distrito de Incahuasi que se ubica por encima de los 3000 m.s.n.m [37]. La principal característica de estar en zonas altoandinas es las bajas temperaturas. En Incahuasi la temperatura media anual varía entre 12° a 17°C. Dentro de Incahuasi existen varios caseríos, y uno particularmente conocido es Marayhuaca, ubicado a aproximadamente 3300 m.s.n.m con latitud -6.1851805 y longitud -79.3402972. El rango de temperaturas en este caserío varía entre 11 a 15 °C según la figura 19.

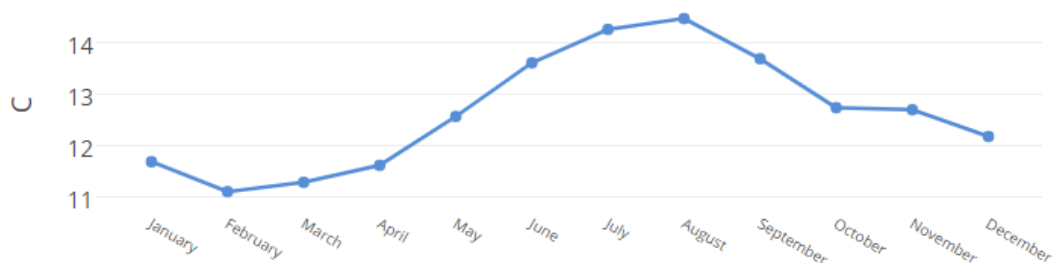


Fig. 20. Rango de temperatura a 2 metros.

1.9.1. Estudio de la zona

Para la obtención de los datos de radiación solar, temperatura y velocidad del viento, se recurrió al programa POWER otorgado por la NASA.

1.9.1.1. Radiación Solar

En el sitio web se ingresó las coordenadas del caserío, y se obtuvo la insolación solar incidente en superficies horizontales, en kWh/m²/día, la cual se aprecia en la fig. 20.

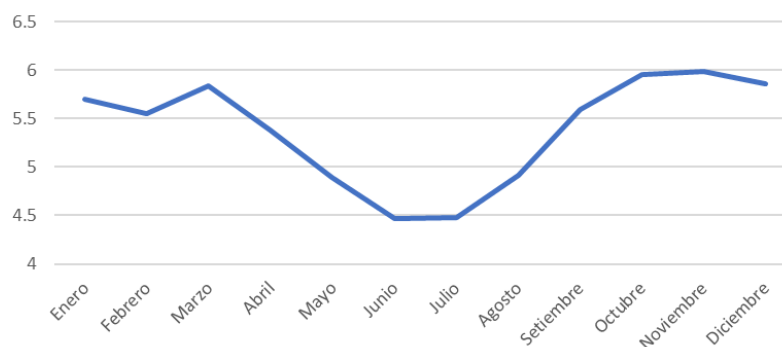


Fig. 21. Insolación solar (kWh/m²/día) sobre superficie horizontal.

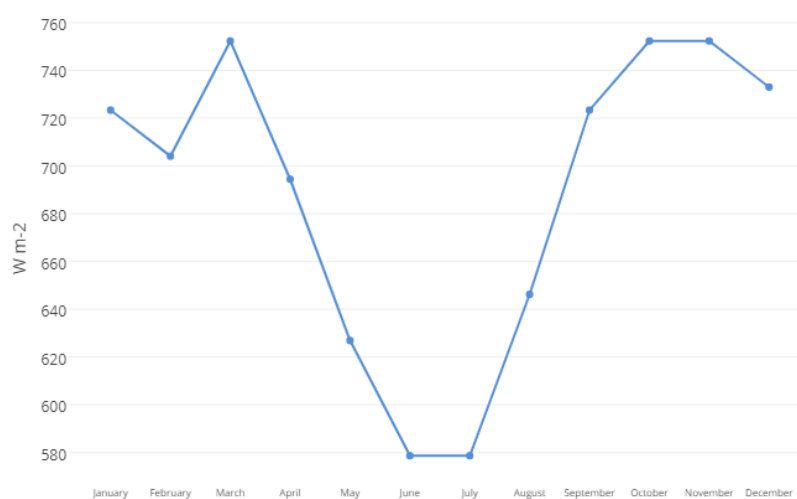


Fig. 22. Irradiancia solar directa W/m².

Nota: Los datos presentados por POWER (en climatología) están en un período de años desde 1983-2005. La estación meteorológica Puchaca en Incahuasi no presenta equipos para medición de radiación solar, por lo que los datos presentados por la NASA serían los más actualizados.

1.9.1.2. Temperatura

Los datos de temperatura de la zona se obtuvieron a 2 metros del nivel del suelo. En la fig. 22 se muestran los valores de temperatura mínima y máxima promedio respectivamente a lo largo de un año. Además, se presenta el rango de temperatura, que varía entre 11 y 14,5 °C.

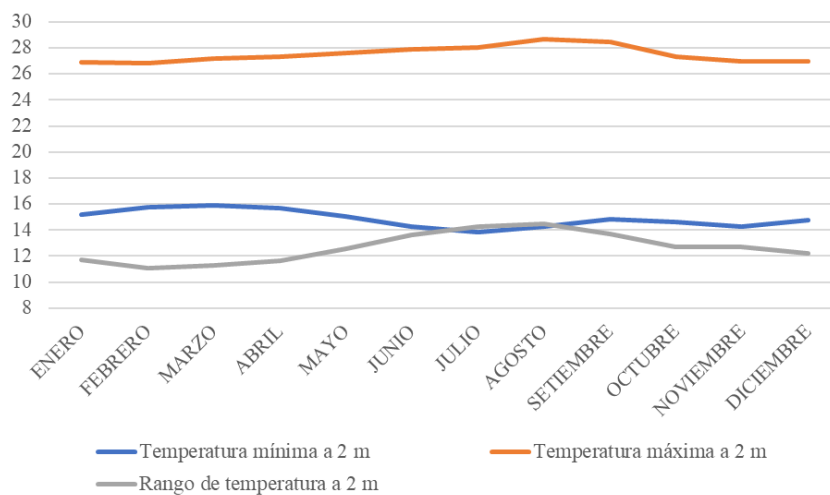


Fig. 23. Temperatura en la localidad a 2 metros (°C).

1.9.1.3. Velocidad del viento

En el caso de la velocidad del viento, POWER presenta los valores a dos distintas alturas, a 10 y a 50 metros. Para el caso del proyecto se utilizarán los datos a 10 metros de altura, en la fig. 23 se muestran los valores de la velocidad mínima y máxima del viento a 10 metros. Así mismo, se presenta el rango de velocidad, que varía entre 3 y 4 m/s.

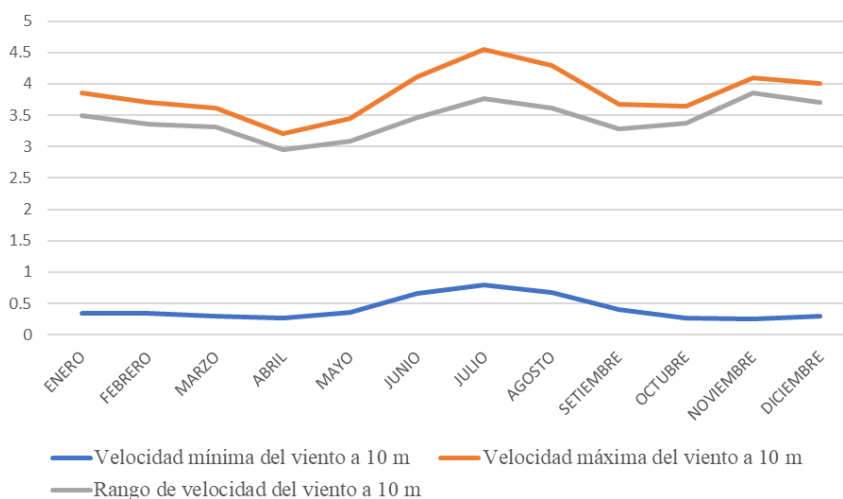


Fig. 24. Velocidad del viento a 10 metros (m/s).

1.9.2. Motor Stirling

Para la presente investigación no se realizará el diseño de un motor Stirling, ya que esta no es la finalidad del proyecto, por lo que se utilizará un diseño ya hecho. Se consideraron 3 tipos de diseño de investigaciones diferentes. La primera es de un motor Stirling tipo beta con mecanismo rómbico, presentada por Agüero [38]; la segunda es de un motor tipo alfa basado en el motor comercial Stirling SOLO V161, presentada por Vives [39]; y la última investigación corresponde a un motor solar tipo alfa de pequeño porte, presentada por Zapata y Bernal [40].

- Stirling tipo beta con mecanismo rómbico

Agüero diseñó un motor de 15 We (Watts eléctricos) y una potencia al eje de 33 W. La relación de compresión es de 2,2; la carrera de 4 cm; el diámetro del cilindro de 9,8 cm y el peso total del motor sin volante fue de 20 kg. Para las pruebas de generación eléctrica se utilizó dos tipos de generadores de imanes, uno de neodimio y otro de ferrita de 100 W cada uno.



Fig. 25. Motor diseñado por Agüero [38].

- Stirling tipo alfa basado en el V161

Vives realizó distintas simulaciones del motor diseñado, basándose en los parámetros del SOLO v161. Las curvas de potencia que presenta son de sus últimas 3 versiones, la v1.5, v1.5.1 y v1.5.2. Para la primera versión se observa que la potencia pico es de aproximadamente 80 W a 270 RPM. En la versión v1.5.1 se aumentó la temperatura del foco caliente, se observa una potencia máxima alcanzada de aproximadamente 110 W a 250 RPM. Finalmente, en la versión v1.5.2 se observa que la potencia máxima alcanza es de aproximadamente 130 W a 110 RPM, sin embargo, la tendencia de la curva de potencia es muy distinta a las anteriores, esto se debe a que la presión inicial del gas en la

simulación se aumentó con la finalidad de obtener más potencia, pero trajo consigo una inestabilidad del sistema.



Fig. 26. Motor modelado por Vives [39].

- Stirling solar tipo alfa

Zapata y Bernal indicaron mediante el modelo de Schmidt el motor alcanzaría una potencia aproximada de 16 W. En las pruebas realizadas se indica que la temperatura del cilindro de expansión es de 85 °C y el de compresión de unos 28 °C. Sin embargo, no se evidenció movimiento del cigüeñal a pesar de realizar otras pruebas con otras fuentes de calor (soplete y mechero).



Fig. 27. Diseño realizado por Zapata y Bernal [40].

El motor elegido entonces, es el presentado por Agüero ya que cuenta con mediciones experimentales. El combustible utilizado para las pruebas de generación de energía eléctrica fue el GLP que cuenta con densidad en estado gaseoso de 2,27 kg/m³ y un poder calorífico de 98,8 MJ/m³. El flujo de gas que se utilizó fue de 0,0874 g/s, tanto para la prueba del generador de imanes ferríticos como para la de imanes de neodimio. Por lo tanto, el flujo volumétrico que se requirió fue de 0,1386 m³/h; y con el poder calorífico se requeriría una potencia térmica de 3,8 kW. Además, se indicó en la investigación que la temperatura a la que llega el cilindro receptor es de 730 °C.

1.9.3. Condiciones de operación

Las condiciones de operación quedan establecidas mediante el estudio de la zona desarrollado en el punto anterior.

Tabla 5. Condiciones de operación

Parámetro	Cantidad	Unidad
Radiación solar	5,4	kWh/m ²
Irradiancia solar directa	650	W/m ²
Temperatura	14,3	°C
Velocidad del viento	3,8	m/s
Altura solar máxima	83,2	deg
Potencia térmica	3,8	kW
Temperatura en el receptor	730	°C

1.10. Diseño del biodigestor

El biodigestor quedó diseñado para un estimado de 5 animales de ganado. Para el TRH se tomó la temperatura promedio del lugar que se estableció anteriormente, obteniendo un total de 41 días aproximadamente. Sin embargo, se observó en la investigación de Barrena que su TRH fue de 29 días para una temperatura de 14,4 °C, similar a la del lugar del proyecto. Por lo que se utilizó para el cálculo un TRH de 30 días. Con el volumen total de 5,2 m³ se eligió un diámetro de 1 m y una longitud de 6,6 m.

Tabla 6. Cálculo del biodigestor.

Descripción	Cantidad	Unidad
#Ganado	5	-
estiércol/día	130	kg/día
%Usado	25	-
estiércol útil	32,5	kg
Parte agua	3	1:3
Proporción agua	97,5	L
Mezcla total	130	L
TRH	30	días
VI	3900	L
Vg	1300	L
Vt	5200	L
	5,2	m ³
PB al 27%	1053	L/día

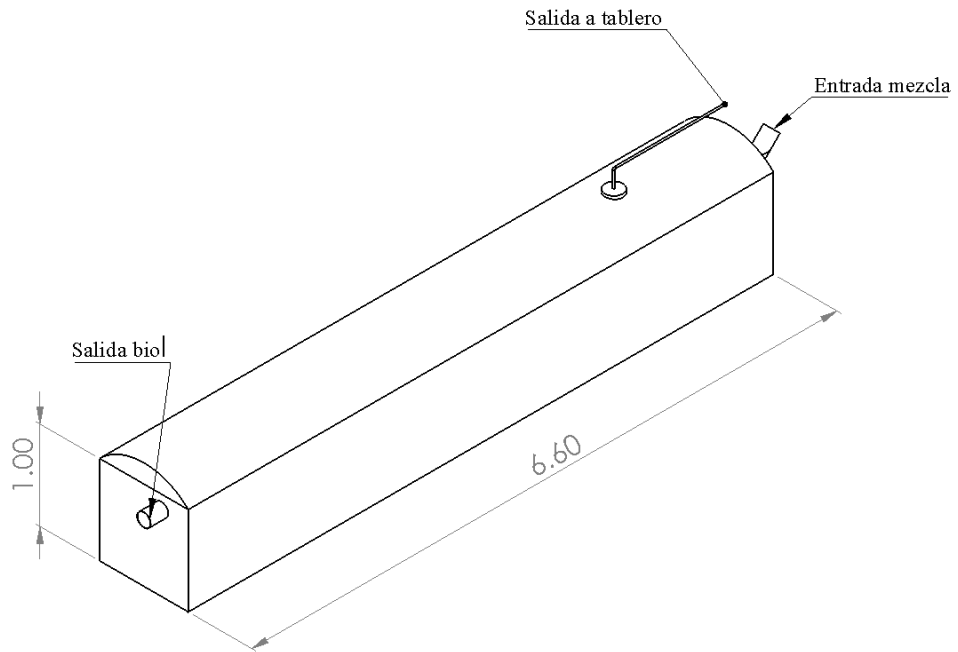


Fig. 28. Vista del biodigestor diseñado.

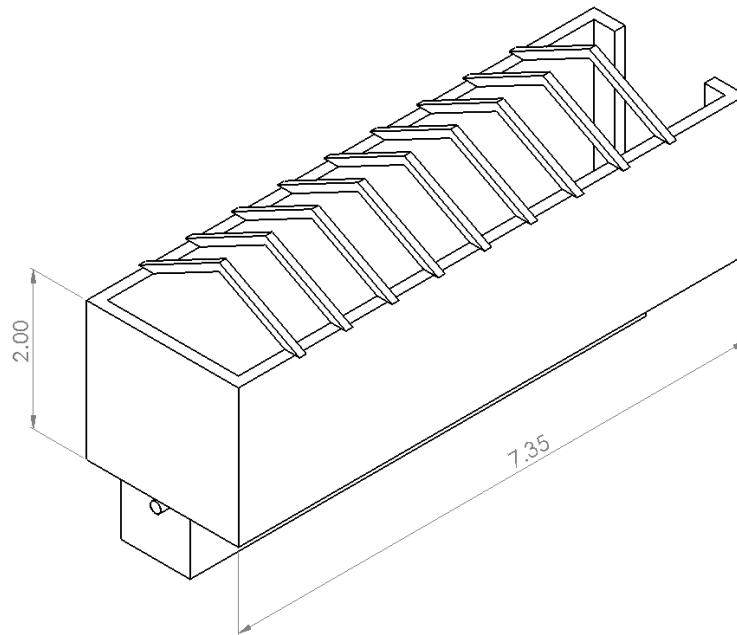


Fig. 29. Vista de la caseta-invernadero del biodigestor.

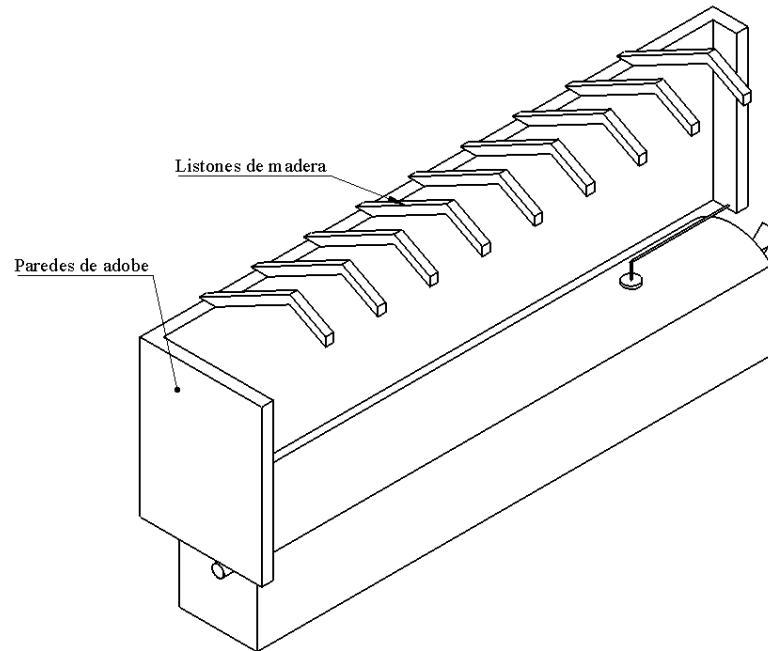


Fig. 30. Vista de sección isométrica del biodigestor.

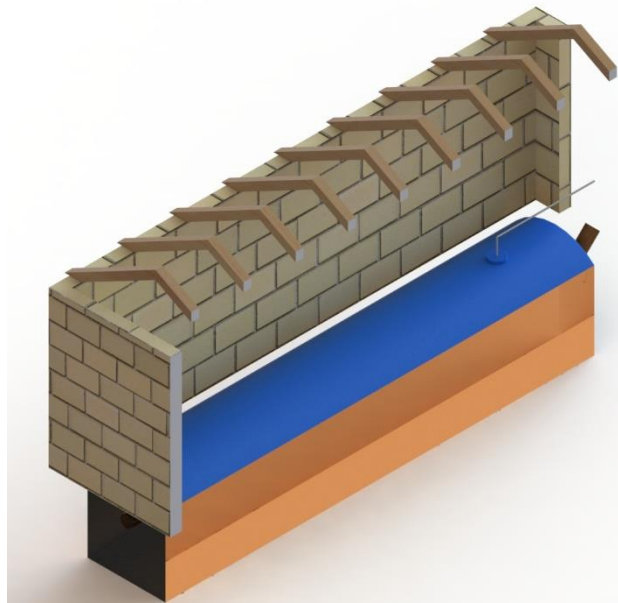


Fig. 31. Vista isométrica renderizada del biodigestor.

1.10.1. Componentes del sistema de biogás

Como complemento a las dimensiones calculadas para el biodigestor se seleccionarán componentes para transportar el biogás desde el biodigestor hasta un “depósito”. Para esto el biogás debe pasar por un sistema de purificación, según indica Barrena [10]. El sistema de conducción se realiza mediante tuberías de PVC de ¾” según Díaz y Torres [41].

- Llaves de salida y entrada de biogás
Tanto a la salida del biodigestor como a la salida del depósito de biogás se necesitan llaves para manejar el caudal, todas las llaves serán de 3/4".
- Material para eliminar el H₂S
Es conocido que el biogás expulsa un olor a “huevo podrido” por lo cual es necesario eliminar dicho olor, para esto existen distintas formas como uso de clavos de fierro, carbón vegetal o bokashi. Según Elizondo y Herrera [42], el carbón vegetal tiene mayor capacidad de remoción de H₂S que el bokashi, y además posee mayor vida útil.
- Purga de agua
Para eliminar posibles acumulaciones de agua condensada se necesita una llave para purgarla. Esto se consigue cuando en las tuberías de conducción hay un punto inferior.
- Manómetro y válvula de alivio de presión
Como sistema de medición, se consideró el uso de un manómetro de columna de agua para inspeccionar y hallar cuál es la presión de trabajo que alcanza el sistema. La válvula de alivio de presión sirve como elemento de control de presión [10].
- Reservorio de biogás (Gasómetro)
Se considera en el diseño una geomembrana de PVC de 0,85 mm de espesor, cuenta con una boquilla (niple) de entrada [41]. En el otro extremo tiene una salida para alimentar al motor Stirling.

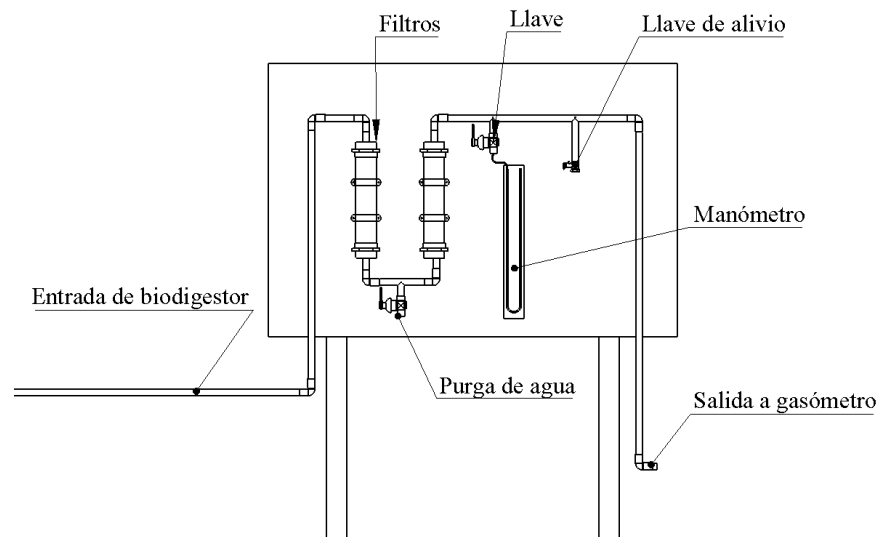


Fig. 32. Vista del tablero con sus elementos.



Fig. 33. Vista isométrica renderizada del tablero.

1.10.2. Caudal requerido de biogás

El biogás es un combustible de elevada capacidad calorífica, aproximadamente de 5750 kcal/m^3 [43]. Recordando que el sistema requiere $3,8 \text{ kWt}$ de suministro, se puede calcular el caudal requerido para el funcionamiento del motor Stirling. Mediante la ecuación $Pot = Poder.Cal * Caudal$, se obtiene que el flujo de biogás debe ser de $0,57 \text{ m}^3/\text{h}$.

1.10.3. Modificaciones al gasómetro

Como se comentó anteriormente, el caudal requerido es de aproximadamente $0,6 \text{ m}^3/\text{h}$, este depende de la presión que se genere en el interior del biodigestor. Por ejemplo, Pautrat [34] indica que su producción de biogás era de $0,186 \text{ L/m}^3$ de lodo/día con un volumen de lodo de 3 m^3 ; Barrena [10] luego de ver el rendimiento del biogás como combustible para preparar alimentos, obtuvo un consumo de 2820 L durante 248 min lo que representa un caudal promedio de 11 L/min (660 L/h); por otro lado, Gómez [44] experimentó que una botella de 1 L se llenaba en un promedio de 20 segundos , teniendo un caudal de $0,05 \text{ L/s}$ (180 L/h). Como se ha observado, los caudales varían demasiado, y la manera de conocer su valor es mediante la experimentación, por lo que realizar algún cálculo sobre el caudal

entregado por el biodigestor diseñado, es muy complicado. Debido a esto, investigaciones como la de Arrieta [45] indica que es necesario incluir algún sistema al gasómetro, de manera que mantenga una presión constante. Por ejemplo, se utilizan mecanismos como contrapesos, fajas alrededor del gasómetro, entre otros. Sin embargo, se debe tener en cuenta que el material del gasómetro puede sufrir algún tipo de perforación por la presión ejercida por el otro material, teniendo fugas de gas no detectadas; por esto, el sistema para elevar la presión debe ser diseñado cuidadosamente.

De esta manera, en caso el caudal del biodigestor se inferior al requerido se incorporará un sistema de poleas que aumenten la presión del gasómetro. El sistema elegido es el presentado por Poggio [46] el cual se observa en la figura 34. Se trata de un sistema de poleas donde el contra peso son ladrillos, la cantidad de estos influirán en la presión ejercida, por lo tanto, influirán también en el caudal. Cabe aclarar que el sistema no debe superar una determinada presión, según Díaz [41] para biodigestores de membranas de PVC no se deben superar los 8 cm de agua (0.8 kPa). Por lo tanto esta presión se toma en cuenta al momento de añadir los pesos (ladrillos) para no causar ningún daño en el sistema.



Fig. 34. Sistema para aumentar la presión [46].

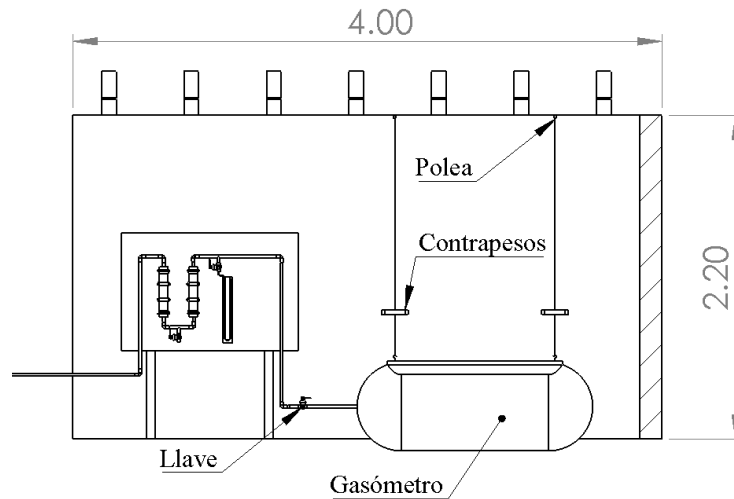


Fig. 35. Vista lateral seccionada de la caseta del gasómetro (unidades en metros).

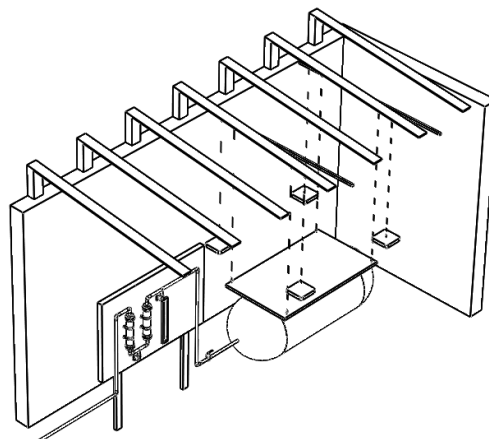


Fig. 36. Vista isométrica de la caseta del gasómetro.

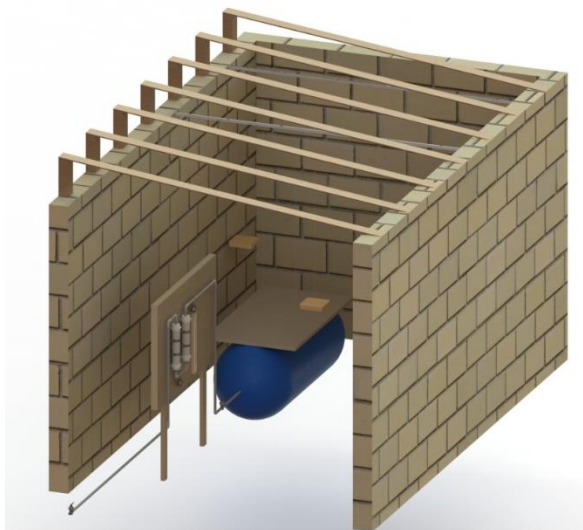


Fig. 37. Vista dimétrica renderizada de la caseta del gasómetro.

1.11. Selección del concentrador solar

Cabe aclarar que, para esta investigación, no se incluirá el mecanismo de seguimiento solar, por lo que el concentrador estará orientado siempre con la misma inclinación, justo como un panel solar de aplicación rural. Es intuitivo indicar que el tipo de concentrador debe ser parabólico, ya que la aplicación necesita la energía concentrada en un punto (área pequeña) a diferencia de un Fresnel que concentra la energía a lo largo de un tubo. Debido a la configuración del motor Stirling seleccionado, el concentrador elegido debe tener el foco alejado de la parábola. De esta manera, se presenta la posibilidad de utilizar antenas parabólicas tipo OFFSET recicladas, reduciendo costes.

1.11.1. Análisis del concentrador

La antena seleccionada se muestra en la figura 37, la cual tiene un diámetro mayor de 66 cm. Este tipo de antena es parte de una parábola mayor, por lo tanto, cuenta con dos diámetros, el diámetro menor de esta es de 61 cm, para temas de cálculo se realizó el análisis tomando la antena como una parábola entera, y de esta manera seguir el cálculo establecido en la metodología, en la Tabla 7 se muestran los datos asumidos y conocidos con los que se realizó el cálculo.



Fig. 38. Antena parabólica OFFSET.

Tabla 7. Datos asumidos y conocidos para el cálculo.

Parámetro	Cantidad	Unidad
Diámetro de apertura (D_a)	0,66	m
Foco (f)	0,363	m
Radio del cilindro receptor del motor (a)	0,098	m
Desviación (desv)	3	deg
Cono angular de los rayos solares (α)	0,267	deg
Factor de dispersión (fd)	0,75	-
Factor de configuración geométrico (fcg)	0,9	-
Factor de absortancia (abs)	0,8	-
Factor de reflectancia (pc)	0,8	-
Constante de Stefan-Boltzmann (σ)	$5,67 \cdot 10^{-8}$	$\frac{W}{m^2 K^4}$
Irradiancia solar directa (Gb)	650	$\frac{W}{m^2}$
Temperatura en el receptor (T_{abs})	730	$^{\circ}C$
Temperatura ambiente (T_{ac})	14,3	$^{\circ}C$
Velocidad del aire (vaire)	0,5	m/s

Tabla 8. Resultados de cálculo del análisis del reflector.

Cálculo	Parámetro	Cantidad	Unidad
Razón de concentración en el paraboloide de revolución	Área de apertura (A_a)	0,3421	m^2
	Ángulo de borde (ϕ_r)	48,89	deg
	Radio de borde (r_r)	0,438	m
	c	0,1301	m
	b	0,3079	m
	θ	90,13	deg
	R_r	0,0007175	m
	h	0,001908	m
	Área de recepción (A_r)	0,001175	m^2
	Concentración máxima (C_{max})	291,1	-
	h_1	0,001954	m
	C_{maxr}	284,3	-
	Diámetro de apertura (D_{a1})	0,6523	m
	Foco óptimo (f_o)	0,3587	m
Eficiencia óptica del colector parabólico	Área óptima (A_o)	0,3421	m^2
	Fracción no sombreada (f_t)	1	-
	n_o	0,432	-

Tabla 9. Resultados de cálculo del análisis térmico.

Cálculo	Parámetro	Cantidad	Unidad
Energía absorbida	Q_{abs}	96,07	W
	T_a	287,3	K
Pérdidas de calor	T_r	1003	K
	Temperatura del aire (T_{sky})	268,8	K
	Calor de radiación en el receptor (Q_{rh})	53,67	W
	Coefficiente de convección (h_c)	12,37	$\frac{W}{m^2K}$
Calor de convección	Calor de convección (Q_c)	10,41	W
	Calor perdido (Q_{per})	64,07	W
	Calor útil (Q_u)	31,99	W
	Eficiencia instantánea del colector (n_c)	0,1439	-
	Temperatura teórica en el foco (T_{real})	501,7	K
		228,6	$^{\circ}C$

Como se observa en la Tabla 9 la temperatura real teórica que alcanzaría el foco es de 228,6 °C, este valor está muy por debajo del que evidenció Agüero [38] de 730 °C, por lo que el concentrador solar no cumpliría con los requisitos del sistema. La baja temperatura que alcanza se debe principalmente al tamaño del colector, sin embargo, para otras aplicaciones como cocina solar sí sería de utilidad.

A pesar de que el concentrador solar elegido no haya cumplido con las expectativas, se buscó la manera de introducir un nuevo concentrador. En la investigación de Hernández [47] se muestra el código de programación para el diseño de una cocina parabólica en el software EES, por lo que se utilizó este procedimiento de diseño cambiando los parámetros conocidos, los cuales se muestran en la Tabla 10.

Tabla 10. Parámetros conocidos para el diseño.

Parámetro	Cantidad	Unidad
Energía de calor útil (Q_{util})	8,25	kWh
Radiación disponible en el lugar (I_{alr})	5,4	$\frac{kWh}{m^2}$
Presión atmosférica promedio local (Pr)	14,6561	psia
Factor de interceptación (γ)	0,9	-
Reflectividad para aluminio pulido ($\rho_{colector}$)	0,86	-
Temperatura del receptor (T_{recep})	730	$^{\circ}C$
Temperatura ambiente (T_{amb})	14,3	$^{\circ}C$
Temperatura del aire (T_{aire})	729	$^{\circ}C$
	1344	$^{\circ}F$
Longitud vertical del recipiente (L_v)	0,17	m
Longitud horizontal del recipiente (L_h)	0,196	m
Emisividad del receptor (ϵ_{recep})	0,97	-

- Determinación de la energía de calor útil (Q_{util}):**

En la investigación de Hernández este parámetro era el calor necesario para la cocción de distintos alimentos, en el caso de la presente investigación es el calor necesario para producir energía mecánica. Se mencionó anteriormente que la potencia térmica requerida es de 3 kW, y en la investigación de Agüero se indicó que, durante las pruebas de producción de energía eléctrica con el generador de imanes, se aumentó la potencia de la batería en un tiempo de $2 \frac{3}{4}$ h. De esta manera multiplicando la potencia térmica por el tiempo, se tiene el calor necesario.
- Presión atmosférica promedio local (Pr):**

Se utilizó la presión local de Lambayeque promedio entre los años de 2000 y 2007 otorgada por el SENAMHI, la cual fue de 1011,4 mbar.
- Temperatura del aire (T_{aire}):**

Este parámetro se tomó como un grado menor al de la temperatura del receptor, de la misma manera que indicó Hernández en su investigación, y hace alusión a la temperatura de la superficie interior del receptor.

Tabla 11. Cálculo del nuevo colector.

Parámetro	Cantidad	Unidad
Diámetro de la abertura de la parábola (D_r)	2,736	m
Foco de la parábola (P)	0,5924	m
Eficiencia instantánea (n)	0,2026	-

En la Tabla 11 se observa que el colector parabólico necesario para entregar la potencia requerida debe ser de 2,7 m de diámetro de apertura, aproximadamente 4 veces el diámetro de la antena parabólica que se había elegido. Por lo tanto, el nuevo colector solar tendría que ser construido, o se tendría que utilizar una antena parabólica mucho más grande. Al modelar este paraboloide en la Fig. 38, se observó que el foco (el cuadrado de la figura) está dentro de la parábola por lo que esta parábola no podría utilizarse. Por lo tanto, se modeló otra parábola con el diámetro calculado, pero con un foco mayor de 1,5 metros.

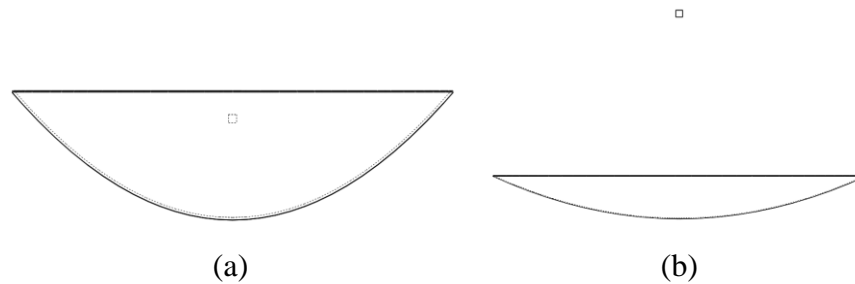


Fig. 39. (a) Parábola resultante del nuevo diámetro y (b) Parábola con el nuevo diámetro y foco expuesto.

1.12. Diseño del sistema híbrido

1.12.1. Configuración Stirling-Concentrador

La primera configuración del motor Stirling y la parábola con foco expuesto sería como se muestra en la Fig. 39. Sin embargo, esta disposición no sería adecuada, ya que la parábola debe estar inclinada, por lo tanto, se procede a cambiar la configuración.

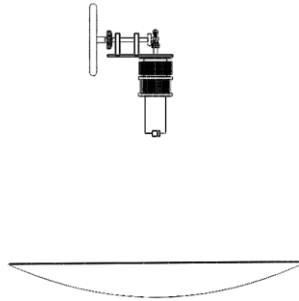


Fig. 40. Configuración 1: Stirling y parábola con foco expuesto.

En la Fig. 40 se muestra la nueva configuración con el concentrador inclinado unos 34° , orientado hacia el norte, sin embargo, se observa que el motor puede generar sombra al colector y reducir su eficiencia, esto se debe a la configuración geométrica del colector. Si se reduce la distancia del foco, más cerca estará el motor a la parábola y provocará más sombra, y si está lejos el foco la estructura para soportar el motor será más complicada. Debido a que no se puede encontrar un dimensionamiento útil por la geometría de la parábola, se recomienda cambiar el tipo de concentrador.

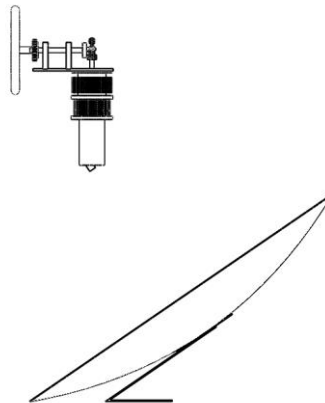


Fig. 41. Configuración 2: Stirling y parábola inclinada.

1.12.1.1. Propuesta de mejora a la configuración Stirling-Concentrador

Como se ha indicado anteriormente, la configuración 2 presenta el problema de la sombra del motor. Una solución a esto es, intuitivamente, alejar el foco de la parábola, pero al realizar esto la estructura para soportar al motor sería más compleja. La ventaja que tenía la antena parabólica OFFSET analizada es justamente esto, tener el foco alejado de la parábola, pero no de manera vertical; esta geometría se logra partiendo con un plano el paraboloides como se muestra en la Fig. 41, y es lo que se conoce como Disco Scheffler.

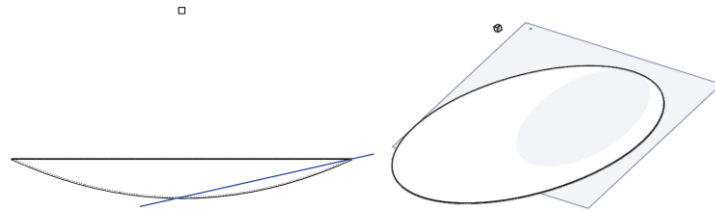


Fig. 42. Corte del paraboloide (Disco Scheffler).

De esta manera se lograría tener un concentrador que sí tenga un foco alejado y que gracias a su geometría no le alcance la sombra del motor. Por lo que se deja para futuras investigaciones realizar un estudio basado en el diseño del Disco Scheffler, ya que el área de este debe ser la que aporte la energía necesaria al receptor del Stirling. En la Fig. 42 se muestra como quedaría la configuración si se realizara el corte de la Fig. 41, y en la Fig. 43 se muestra el corte con una parábola distinta con un foco más bajo.

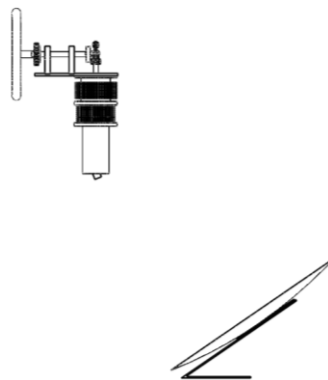


Fig. 43. Configuración 3: Stirling y Disco Scheffler.

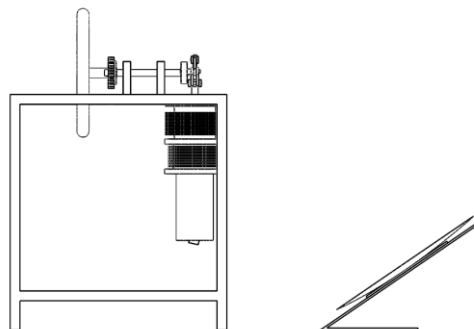


Fig. 44. Configuración 4: Stirling y Disco Scheffler con foco menor.

1.12.2. Configuración Biogás-Stirling-Concentrador

A pesar de que no se encontraron resultados satisfactorios con la antena parabólica seleccionada y la nueva parábola calculada, se estableció como sería la configuración de los 3 elementos juntos si se contara con el colector (tipo Scheffler) que sí entregue la potencia necesaria.

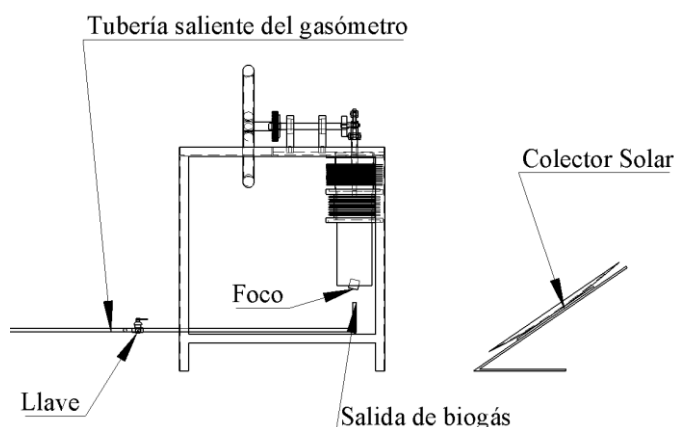


Fig. 45. Configuración Biogás-Stirling-Concentrador.

El sistema híbrido queda diseñado como se observa en la Fig. 44. El biogás sale del biodigestor, y se conecta mediante tuberías de $\frac{3}{4}$ pulg hasta el tablero de purificación y control, donde se elimina el H_2S mediante filtros de carbón vegetal, luego se mida la presión del sistema y se ajusta mediante la válvula de alivio. El biogás saliente del tablero se almacena en el gasómetro, donde se añadió un sistema para elevar la presión y lograr el caudal requerido de $0,57 \text{ m}^3/\text{h}$. A la salida del gasómetro se encuentra nuevamente, otra tubería de $\frac{3}{4}$ pulg, la cual va hasta el receptor del Stirling, donde se deberá encender la llama manualmente. A este punto se debe encontrar el concentrador, donde su foco apunte al receptor; el concentrador debe estar orientado al norte a una inclinación de unos 30° .

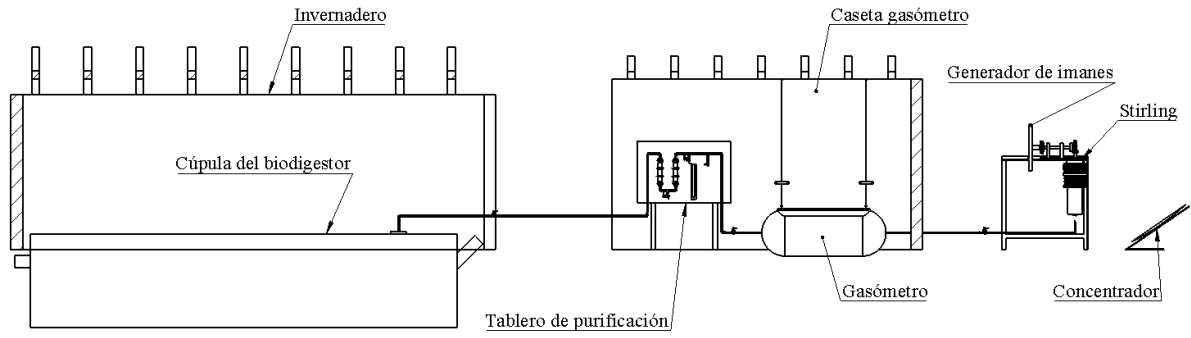


Fig. 46. Vista lateral de la distribución del sistema híbrido.

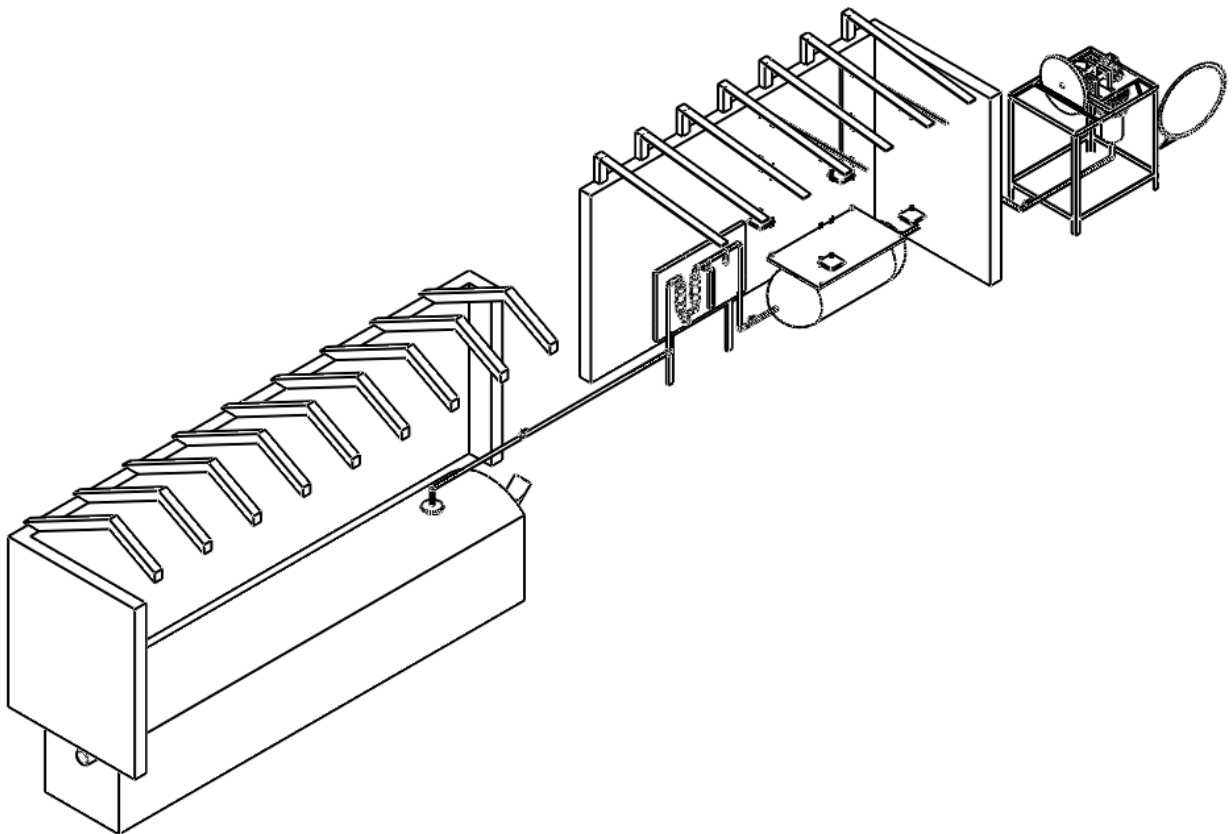


Fig. 47. Vista isométrica de sección del sistema híbrido.

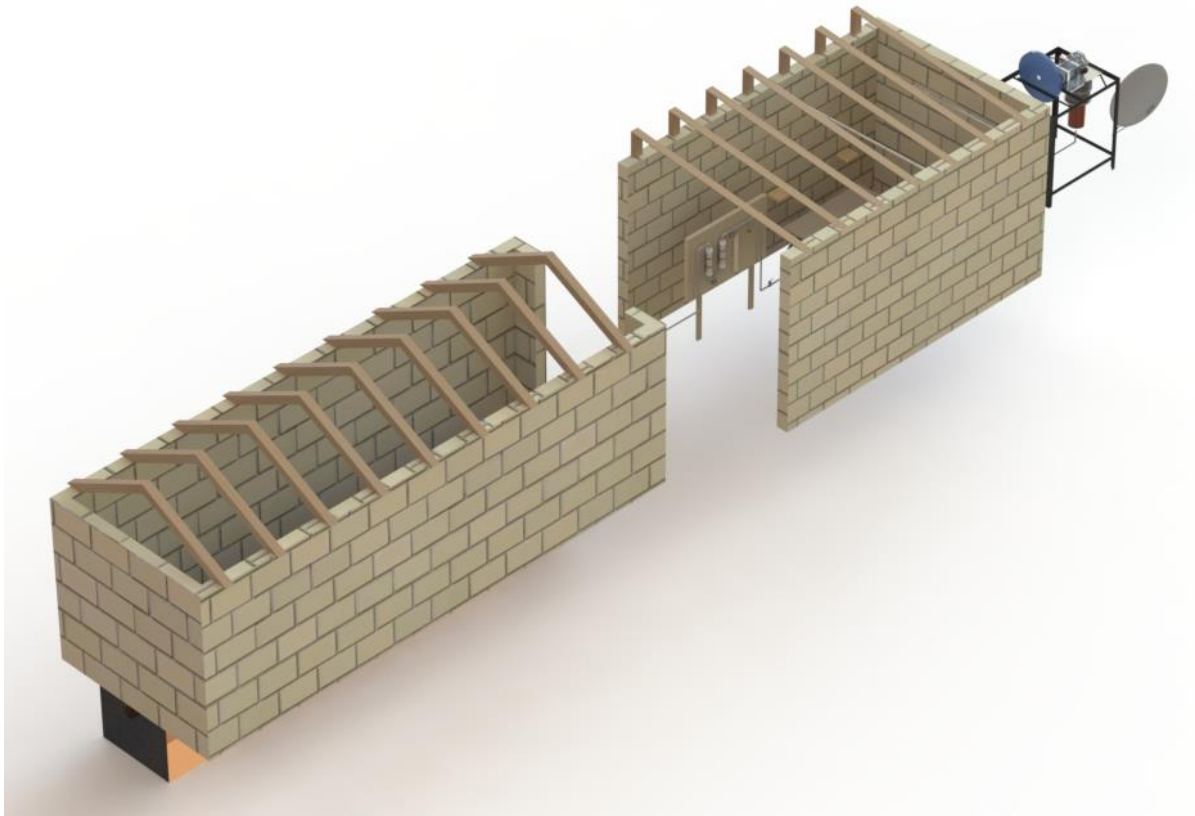


Fig. 48. Vista isométrica renderizada del sistema híbrido.

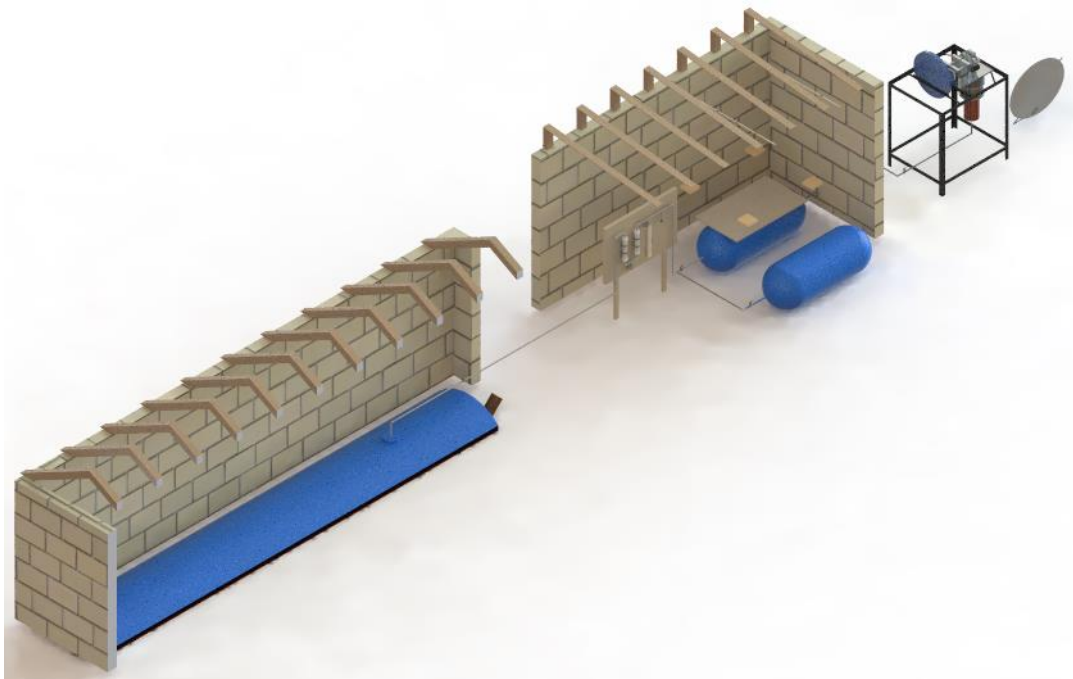


Fig. 49. Vista isométrica renderizada de sección del sistema híbrido.

CONCLUSIONES

- Se establecieron las condiciones de operación climatológicas y meteorológicas para el sistema mediante la recolección de datos utilizando el proyecto POWER de la NASA. Se obtuvo en promedio una irradiancia solar directa de 650 W/m^2 y una temperatura ambiente de $14,3 \text{ }^\circ\text{C}$. Además, mediante la selección del motor Stirling se obtuvo la temperatura a la que debe llegar el cilindro del receptor, la cual es de unos $730 \text{ }^\circ\text{C}$, y el flujo de gas que se utilizó de GLP de unos $0,0874 \text{ g/s}$ lo cual representa una potencia térmica de $3,8 \text{ kW}$.
- Se realizó el diseño del sistema de biogás en base a las condiciones de operación establecidas. El diseño del biodigestor se realizó para un estimado de 5 animales, con una mezcla de 4 partes de 1:3 estiércol:agua; el tiempo de retención hidráulica utilizado fue de 30 días y con esto se calculó un volumen de $5,2 \text{ m}^3$. Al biodigestor se le añadió una caseta para que funcione como invernadero y de esta manera mantener una temperatura superior a la temperatura ambiente. Además, se agregó el tablero de purificación y control con la finalidad de: eliminar el H_2S del biogás mediante filtros de carbón vegetal; purgar agua condensada; y medir y controlar la presión del sistema. La salida del tablero se conectó a los reservorios de biogás (gasómetros) hechos de geomembrana de PVC, y la salida del gasómetro principal va conectada al receptor del Stirling. El caudal de biogás requerido por el motor fue de $0,57 \text{ m}^3/\text{h}$, para asegurar que el sistema alcance este caudal se añadió un sistema para aumentar la presión, compuesto por poleas utilizando contrapesos.
- Se seleccionó como concentrador una antena parabólica tipo OFFSET de 66 cm de diámetro. Luego de realizar el análisis se observó que la eficiencia óptica, la eficiencia instantánea y la temperatura teórica en el foco fueron de $43,2\%$, $14,39\%$ y $228,6 \text{ }^\circ\text{C}$ respectivamente. Esta temperatura no resultó satisfactoria frente a los $730 \text{ }^\circ\text{C}$ necesarios del motor Stirling, por lo que el concentrador seleccionado no cumplió con los requisitos del sistema. A pesar de que se obtuvieron resultados negativos, se incluyó una propuesta de mejora sobre la utilización de un Disco Scheffler como concentrador solar. El concentrador solar debe estar orientado hacia el norte con una inclinación de unos 30° .
- Se diseñó el sistema híbrido uniendo el biodigestor-invernadero conectado mediante una tubería de $\frac{3}{4}$ pulg hacia el tablero de purificación-gasómetro, a los cuales se le incluyó una caseta como protección de la intemperie, la tubería saliente del gasómetro se conecta hasta el receptor del motor Stirling, en donde llegaría el foco del concentrador.

RECOMENDACIONES

- En relación con la obtención de datos climatológicos, se recomienda que para este tipo de investigaciones se realice un estudio detallado climatológico en la zona, con equipos de medición calibrados, para tener una base de datos actualizada.
- Sobre la producción de biogás, se recomienda realizar un estudio sobre la capacidad calorífica del mismo, ya que el valor utilizado en esta investigación es un promedio y la composición química de la mezcla para generar el biogás puede variar.
- Sobre el sistema de biogás, como se indicó anteriormente, el sistema para aumentar la presión del gasómetro no debe sobrepasar una determinada presión, por lo tanto para un estudio más específico se recomienda añadir manómetros a la salida del biodigestor y a la entrada del gasómetro.
- En base al concentrador solar, como se ha mencionado, se recomienda profundizar en el diseño de los discos Scheffler, para tener una geometría óptima que no reciba sombras del motor Stirling.
- Para un sistema de generación más grande, se recomienda automatizar el uso de biogás, de manera que cuando se acaben las horas de sol se genere automáticamente la chispa para producir la flama.

REFERENCIAS

- [1] «Enerdata,» 2020. [En línea]. Available: <https://datos.enerdata.net/gas-natural/consumo-mundial.html>. [Último acceso: 09 Setiembre 2020].
- [2] C. Canales, «Congreso.gob,» 15 Diciembre 2017. [En línea]. Available: [http://www2.congreso.gob.pe/sicr/cendocbib/con5_uibd.nsf/92CD8FCCAE6FAE27052581F700761FDD/\\$FILE/INFORME_TEM_MATRIZ_ENERGETICA_Y_ENERGIAS_RENOVABLES_Final.pdf](http://www2.congreso.gob.pe/sicr/cendocbib/con5_uibd.nsf/92CD8FCCAE6FAE27052581F700761FDD/$FILE/INFORME_TEM_MATRIZ_ENERGETICA_Y_ENERGIAS_RENOVABLES_Final.pdf). [Último acceso: 12 Noviembre 2019].
- [3] J. Tamayo, «OSINERGMIN,» Febrero 2017. [En línea]. Available: http://www.osinergmin.gob.pe/seccion/centro_documental/Institucional/Estudios_Economicos/Libros/Osinergmin-Industria-Electricidad-Peru-25anos.pdf. [Último acceso: 12 Noviembre 2019].
- [4] «INEI,» 2019. [En línea]. Available: https://www.inei.gob.pe/media/MenuRecursivo/publicaciones_digitales/Est/Lib1669/lambaye.htm. [Último acceso: 17 Noviembre 2019].
- [5] «INEI,» 2018. [En línea]. Available: https://www.inei.gob.pe/media/MenuRecursivo/publicaciones_digitales/Est/Lib1530/libro.pdf. [Último acceso: 17 Noviembre 2019].
- [6] INEI, «INEI,» Octubre 2018. [En línea]. Available: https://www.inei.gob.pe/media/MenuRecursivo/publicaciones_digitales/Est/Lib1560/. [Último acceso: 17 Noviembre 2019].
- [7] V. Naso, G. Claudia y L. Fedele, «Microgeneradores "stirling" alimentados con biomasa,» *PALMAS*, vol. 18, n° 1, p. 68, 1997.
- [8] G. Lira y V. Agüero, «GENERACIÓN DE ENERGÍA ELÉCTRICA CON UN MOTOR STIRLING EMPLEANDO UN COMBUSTIBLE GASEOSO,» p. 19, 2011.
- [9] J. Ruelas, N. Velázquez y R. Beltrán, «Diseño de un Concentrador Solar Acoplado a un Motor Stirling Fijo,» *Scielo*, vol. 4, n° 1, 2011.
- [10] M. Barrena, F. Cubas, W. Gosgot, C. Ordinola y J. Rascón, «Sistema de producción de biogás y bioabonos,» *Arnaldoa*, vol. 26, n° 2, pp. 725-734, 2019.

- [11] J. Losada, *ANÁLISIS DE UN SISTEMA DE DISCO PARABÓLICO CON MOTOR STIRLING*, 2009.
- [12] «Energía Solar,» 13 Abril 2017. [En línea]. Available: <https://solar-energia.net/que-es-energia-solar/radiacion-solar>. [Último acceso: 26 Noviembre 2019].
- [13] «EcuRed,» [En línea]. Available: https://www.ecured.cu/Radiación_solar. [Último acceso: 26 Noviembre 2019].
- [14] «Energía solar,» 15 Febrero 2019. [En línea]. Available: <https://solar-energia.net/energia-solar-fotovoltaica>. [Último acceso: 26 Noviembre 2019].
- [15] «Energía Solar Térmica,» [En línea]. Available: <http://www.energiasolartermica.biz>. [Último acceso: 26 Noviembre 2019].
- [16] J. Duffie y W. Beckman, *Solar Engineering of Thermal Processes*, Wisconsin: John Wiley & Sons, Inc, 2013.
- [17] «Instituto de Tecnologías Educativas,» [En línea]. Available: https://fjferreer.webs.ull.es/Apuntes3/Leccion02/3_recorrido_aparente_del_sol.html#:~:text=de%2012%20horas,-,Al%20mediodía%2C%20cuando%20el%20Sol%20se%20halla%20sobre%20el%20Sur,%3D%2090°%20-%20φ%20-%20δ.. [Último acceso: 20 Octubre 2020].
- [18] G. Portillo, «Meteorología en red,» [En línea]. Available: <https://www.meteorologiaenred.com/la-radiacion-solar.html>. [Último acceso: 11 Noviembre 2019].
- [19] «Centrales termosolares,» [En línea]. Available: <http://centralestermosolares.50webs.com/DOCUMENTOS/Cilindro.html>. [Último acceso: 11 Noviembre 2019].
- [20] J. González, *Diseño de un concentrador solar compacto de foco fijo de alta eficiencia para aplicaciones de alta temperatura*, Chihuahua, 2018.
- [21] R. Desireddy, M. Khan, A. Zeesha y R. Harron, «Design charts for Scheffler reflector,» *Elsevier*, vol. 1, n° 163, pp. 104-112, 2018.
- [22] «IES BIOGAS,» [En línea]. Available: <http://www.iesbiogas.it/es/¿qué-es-el-biogás/527>. [Último acceso: 26 Noviembre 2019].

- [23] C. Severiche y R. Acevedo, «Biogás a partir de residuos orgánicos y su apuesta como combustibles de segunda generación,» *ResearchGate*, p. 12, 2013.
- [24] L. Guerrero, «About Español,» 1 Noviembre 2019. [En línea]. Available: <https://www.aboutspanol.com/tipos-de-biodigestores-y-sus-disenos-3417696>. [Último acceso: 26 Noviembre 2019].
- [25] «Biodigestor,» 10 Enero 2014. [En línea]. Available: <http://biodigestor.blogspot.com/2014/01/biodigestor-de-flujo-discontinuo.html>. [Último acceso: 26 Noviembre 2019].
- [26] «cidelsa,» [En línea]. Available: https://www.cidelsa.com/media/web_brochure/Biodigestores.pdf. [Último acceso: 26 Noviembre 2019].
- [27] R. Saavedra, M. Alamo y M. Marcelo, «DISEÑO DE UN BIODIGESTOR TUBULAR PARA ZONAS RURALES DE LA REGIÓN PIURA,» p. 3, 2017.
- [28] A. Leal, *Simulación y Diseño de Sistema*, Chihuahua, 2015.
- [29] A. García, «Ehu,» [En línea]. Available: http://www.sc.ehu.es/sbweb/fisica_/estadistica/termodinamica/stirling/stirling.html. [Último acceso: 26 Noviembre 2019].
- [30] «BlogSEAS,» 3 Junio 2016. [En línea]. Available: https://www.seas.es/blog/disenio_mecanico/tipos-de-motor-stirling/. [Último acceso: 26 Noviembre 2019].
- [31] Y. Espinoza, «MOTOR STIRLING,» 27 Abril 2012. [En línea]. Available: <http://motorstirlingyadyrtecsup.blogspot.com>. [Último acceso: Noviembre 26 2019].
- [32] ProEcoPolyNet, *SOLO Stirling 161 Fact Sheet*, 2007.
- [33] NASA, «POWER,» [En línea]. Available: <https://power.larc.nasa.gov/data-access-viewer/>. [Último acceso: 12 Setiembre 2020].
- [34] J. Pautrat, *DISEÑO DE BIODIGESTOR Y PRODUCCIÓN DE BIOGÁS CON EXCREMENTO VACUNO EN LA GRANJA AGROPECUARIA DE YAURIS*, Huancayo, 2010.
- [35] O. Mejía y F. Zamora, *DISEÑO Y CONSTRUCCIÓN DE UN SISTEMA DE GENERACIÓN DE ELECTRICIDAD, A PARTIR DEL USO DE ENERGÍA*

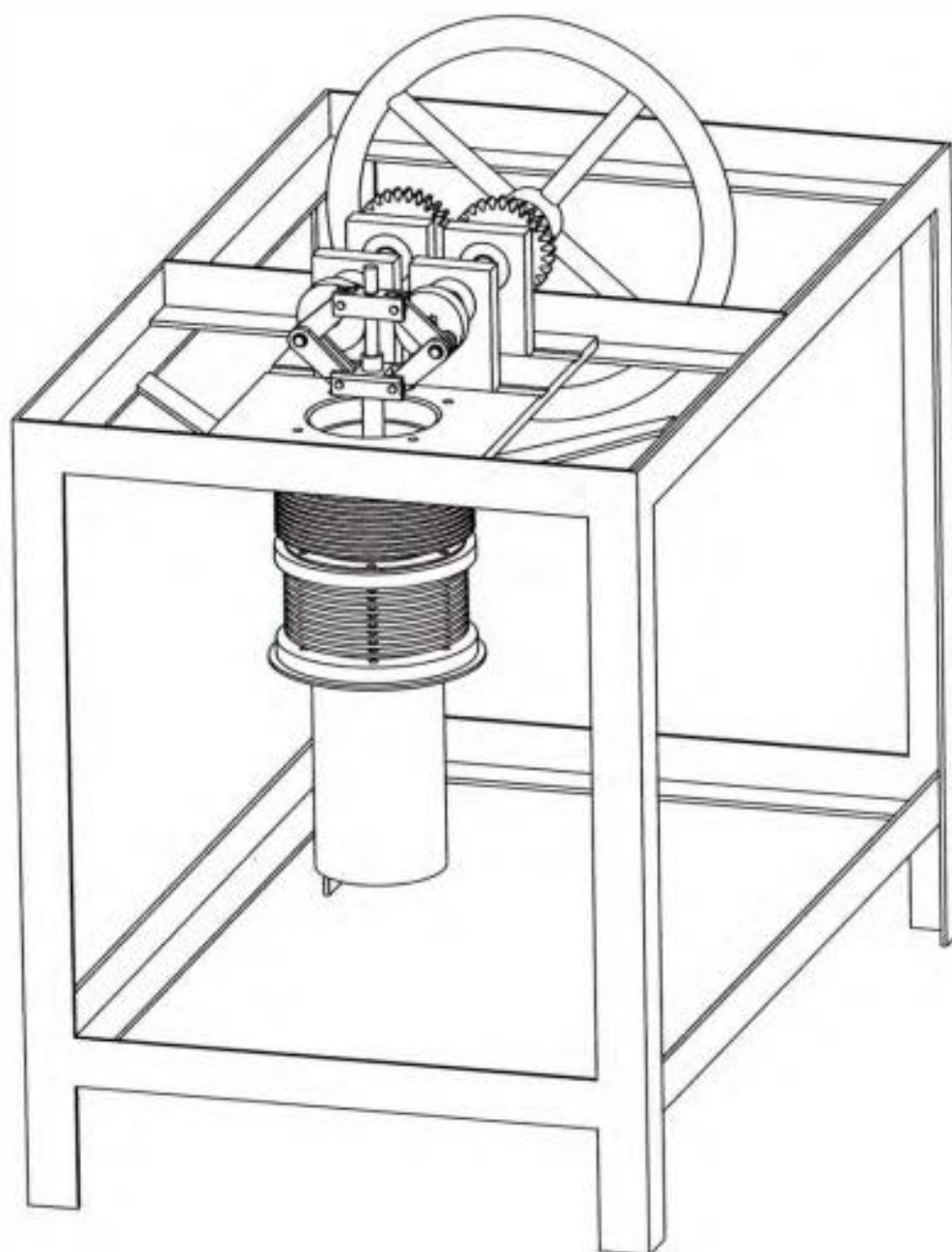
- SOLAR, MEDIANTE UN CONCENTRADOR PARABÓLICO DE 1.8M*, Sangolú, 2008.
- [36] INEI, «LAMBAYEQUE RESULTADOS DEFINITIVOS,» Lima, 2018, p. 25.
- [37] «Municipalidad Provincial de Ferreñafe,» [En línea]. Available: <http://www.muniferrenafe.gob.pe/index.php/ferrenafe/distritos/53-incahuasi.html>. [Último acceso: 12 Setiembre 2020].
- [38] V. Agüero, *DISEÑO Y CONSTRUCCIÓN DE UN MOTOR STIRLING PARA LA GENERACIÓN DE ENERGÍA ELÉCTRICA*, Lima, 2006.
- [39] M. Vives, *Diseño de un motor Stirling*, Barcelona, 2016.
- [40] B. Zapata y M. Bernal, *DISEÑO Y CONSTRUCCIÓN DE UN MOTOR STIRLING SOLAR TIPO ALFA DE PEQUEÑO PORTE*, Santiago de Cali, 2018.
- [41] S. Díaz y H. Torres, *Análisis de viabilidad de la implementación de biodigestores como alternativa energética para familias del área rural*, Bogotá, 2019.
- [42] A. Elizondo y E. Herrera, *Evaluación de medios filtrantes para la reducción del sulfuro de hidrógeno en el mejoramiento de la calidad del biogás*, Zamorano, 2012.
- [43] «Condorchem Evitech,» [En línea]. Available: <https://condorchem.com/es/produccion-energia-termica/>. [Último acceso: 20 Noviembre 2020].
- [44] S. Gómez, *DISEÑO, CONSTRUCCIÓN Y PUESTA A PUNTO DE UN BIODIGESTOR TUBULAR CARAZO-NICARAGUA*, Leganés, 2012.
- [45] W. Arrieta, *DISEÑO DE UN BIODIGESTOR DOMÉSTICO PARA EL APROVECHAMIENTO ENERGÉTICO DEL ESTIÉRCOL DE GANADO*, Piura, 2016.
- [46] D. Poggio, *Diseño y construcción de dos digestores anaeróbicos en el altiplano andino peruano*, 2007.
- [47] C. Hernández, *DISEÑO Y EVALUACIÓN MEDIANTE SIMULACIÓN DE UN PROTOTIPO DE ESTUFA SOLAR PARABÓLICA EN COLOMBIA*, Pereira, 2014.

ANEXOS


PLANOS UTILIZADOS DE MOTOR STIRLING

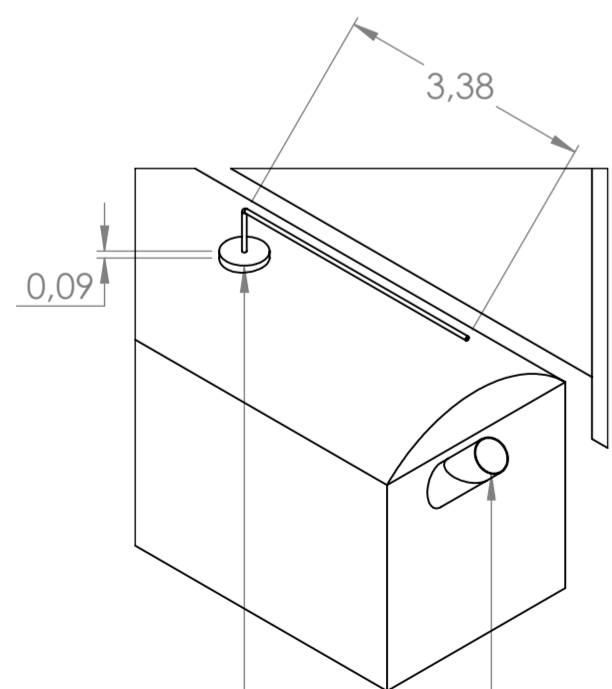
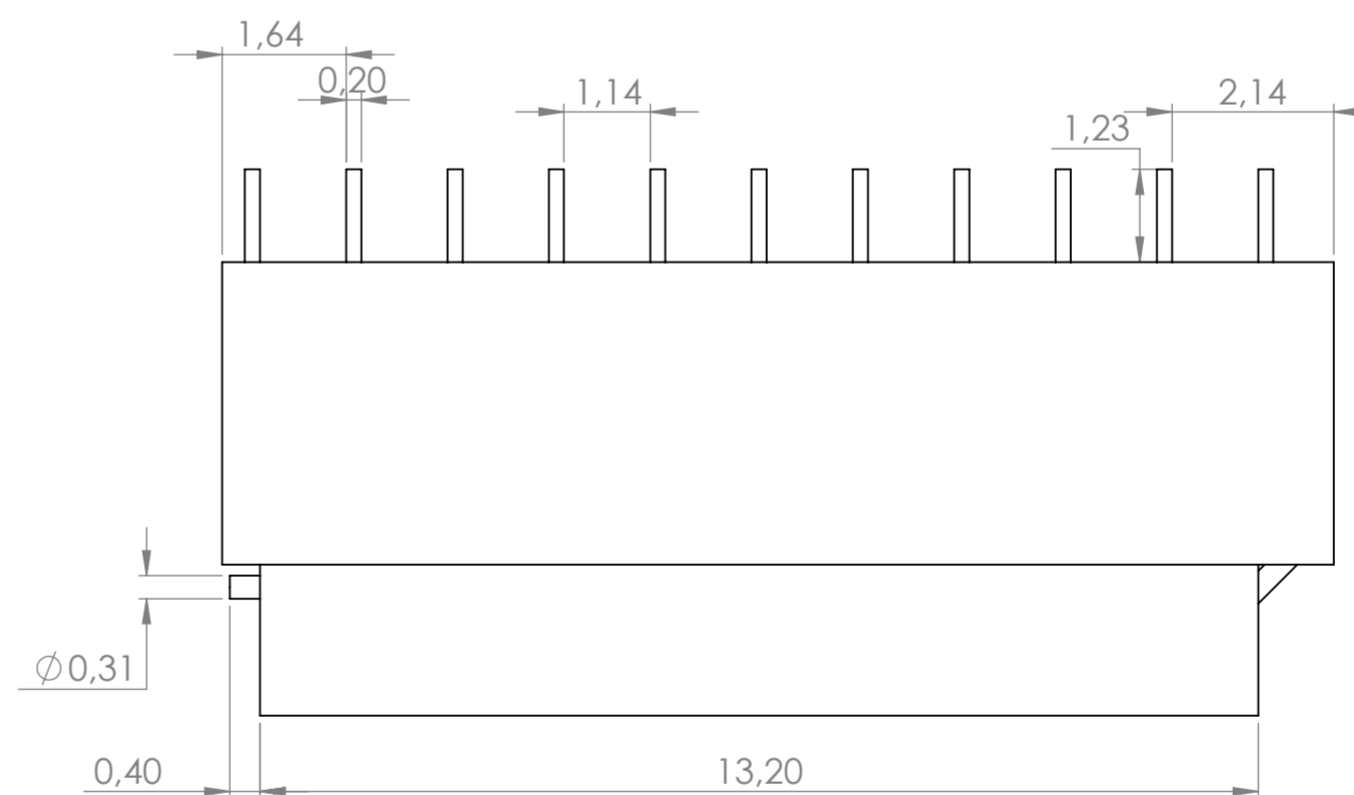
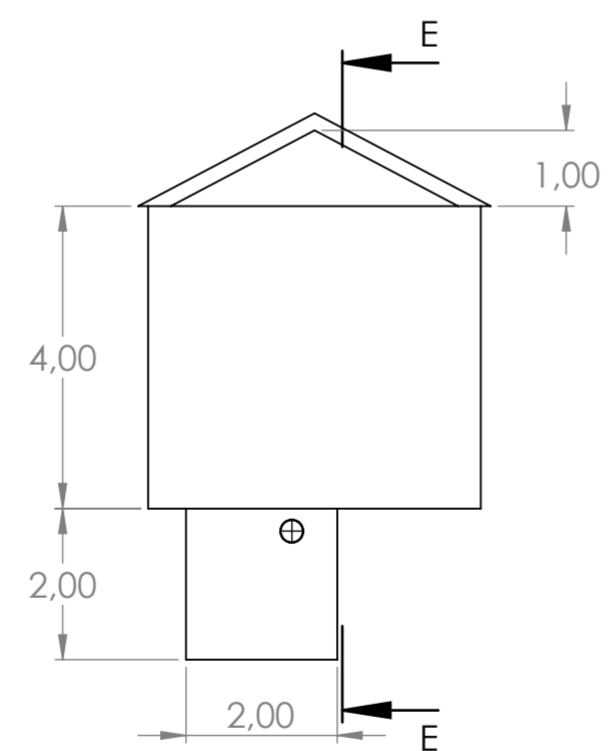
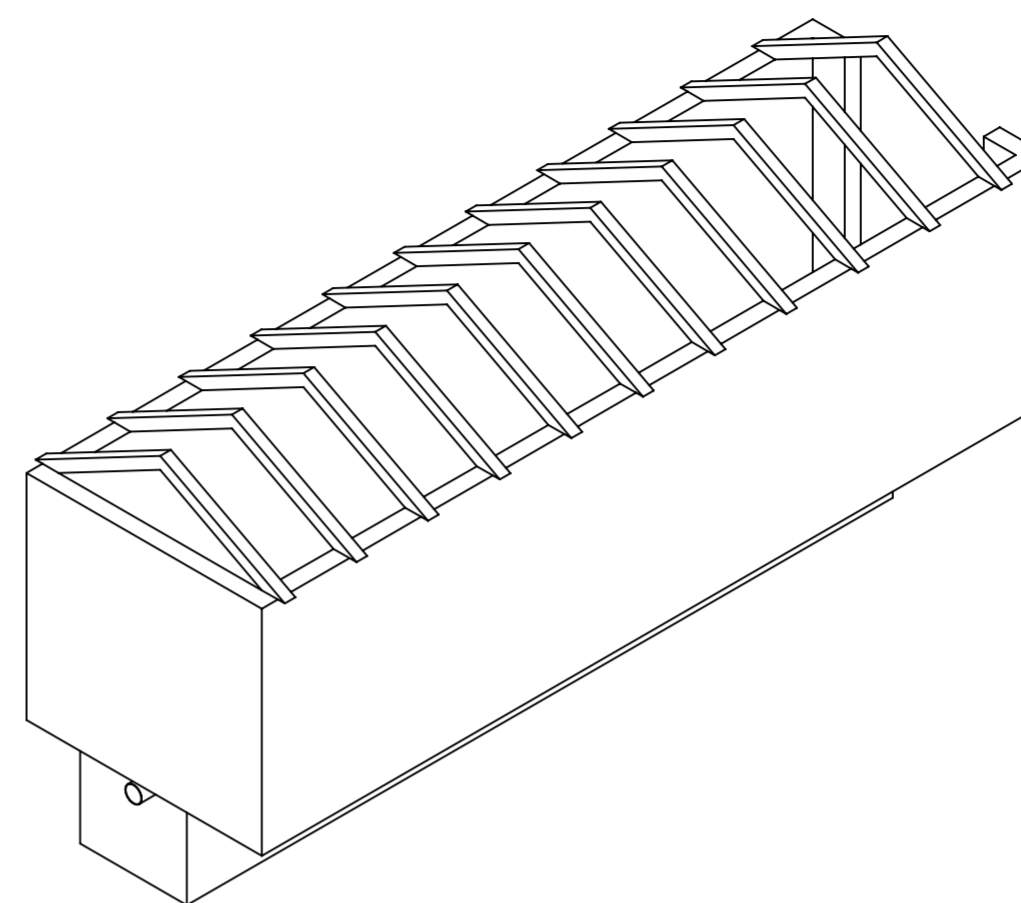
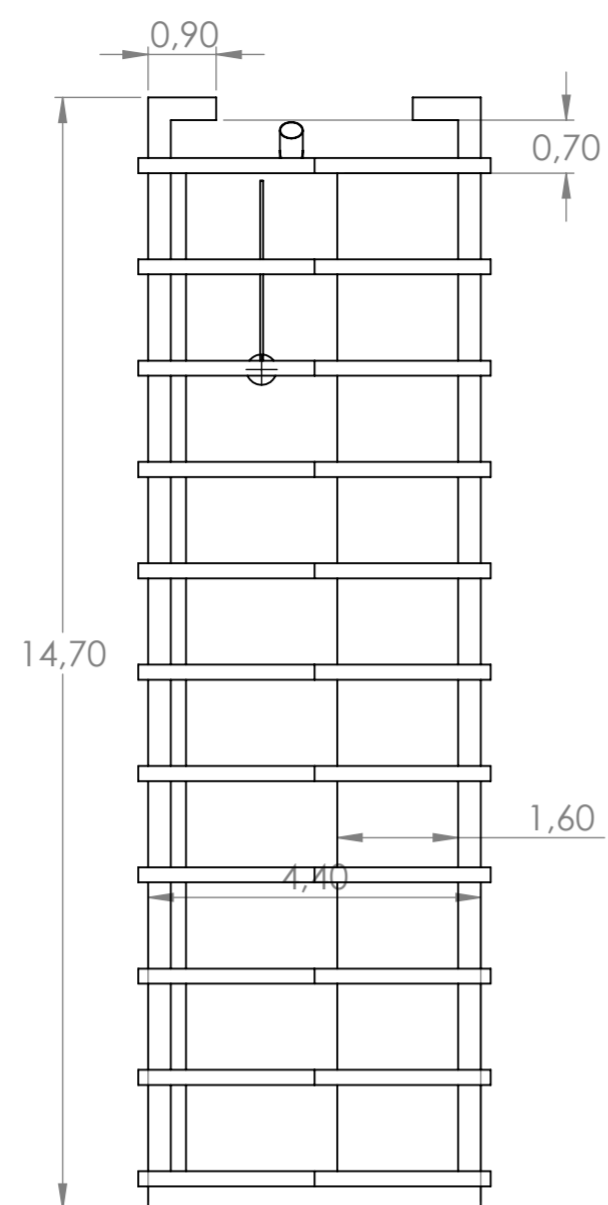
L	1	VOLANTE
K	1	PARTES MISCELANEAS
J	1	BASE DEL MOTOR
I	1	PISTON
H	1	DESPLAZADOR
G	1	CILINDRO ZONA FRIA PARTE 2
F	1	CILINDRO ZONA FRIA PARTE 1
E	1	CILINDRO DE LA ZONA CALIENTE
D	1	MECANISMO P4
C	1	MECANISMO P3
B	1	MECANISMO P2
A	1	MECANISMO P1

UNIVERSIDAD NACIONAL DE INGENIERIA		
FACULTAD DE INGENIERIA MECÁNICA		
ESCALA: 1:4	DESIGNACIÓN: PLANO DE DESPIECE	NÚMERO: 12
FECHA:	DIBUJADO POR: VÍCTOR AGÜERO ZAMORA	REVISADO POR:



UNIVERSIDAD NACIONAL DE INGENIERIA
FACULTAD DE INGENIERIA MECÁNICA

ESCALA: 1:3	DESIGNACIÓN: ENSAMBLE	NÚMERO: 13
	FECHA:	DIBUJADO POR: VÍCTOR AGÜERO ZAMORA REVISADO POR:



R VERDADERO0,33

R VERDADERO0,25

SECCIÓN E-E
ESCALA 1 : 30



TÍTULO

Biodigestor

ESCALA:
1:50

DIBUJADO POR:

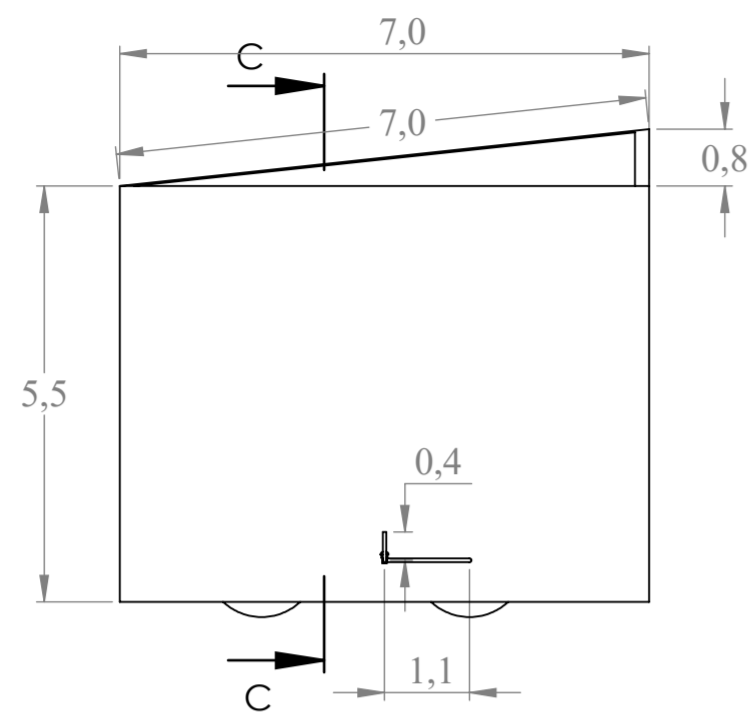
Diaz Ortiz, Renato

Plano:
1/4

A2

Fecha:
25/06/21

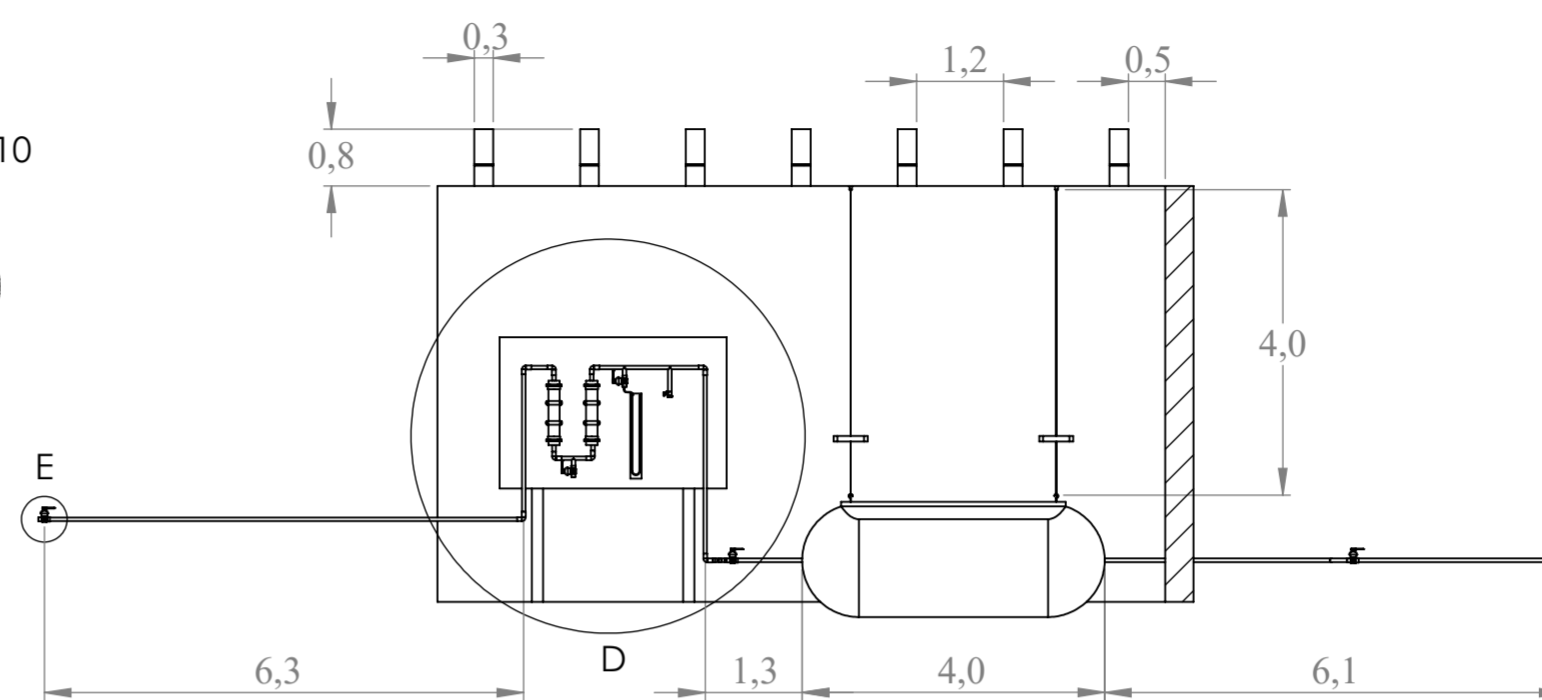
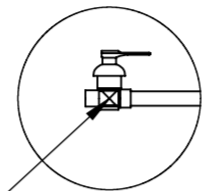
Unidades:
cm



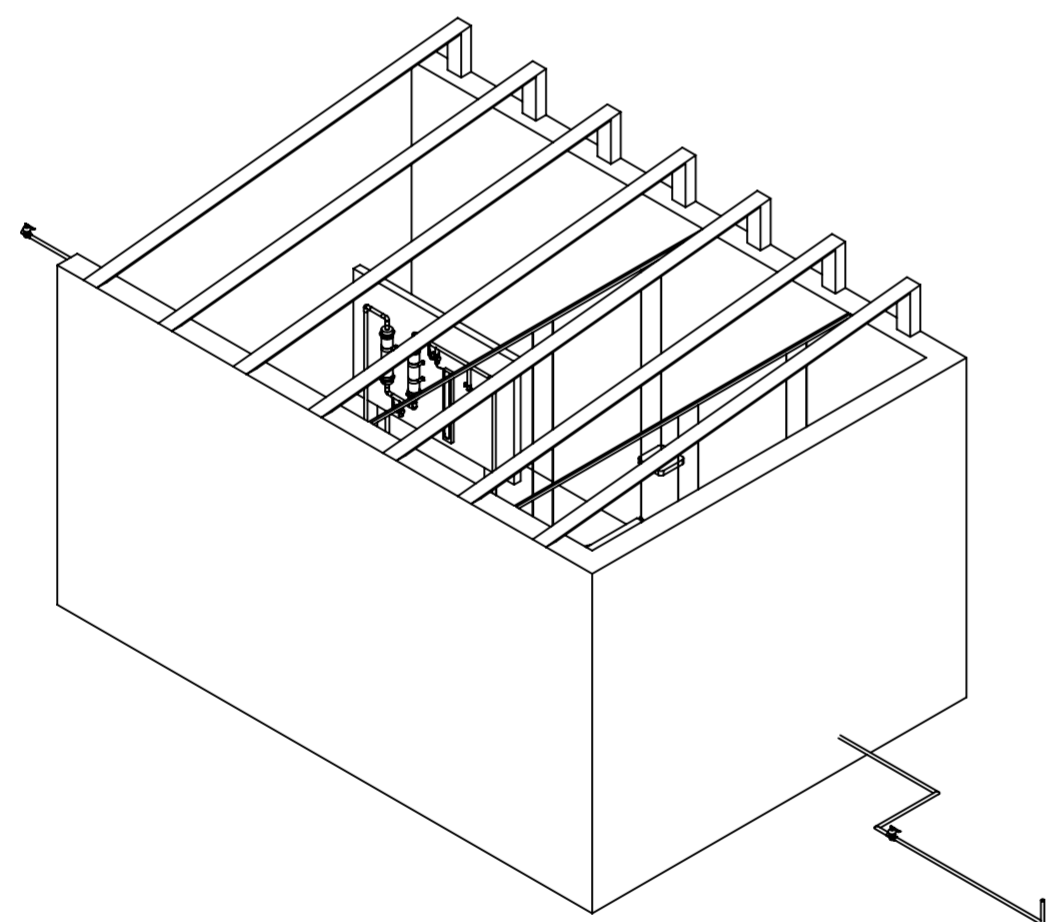
ESCALA 1 : 40

DETALLE E
ESCALA 1 : 10

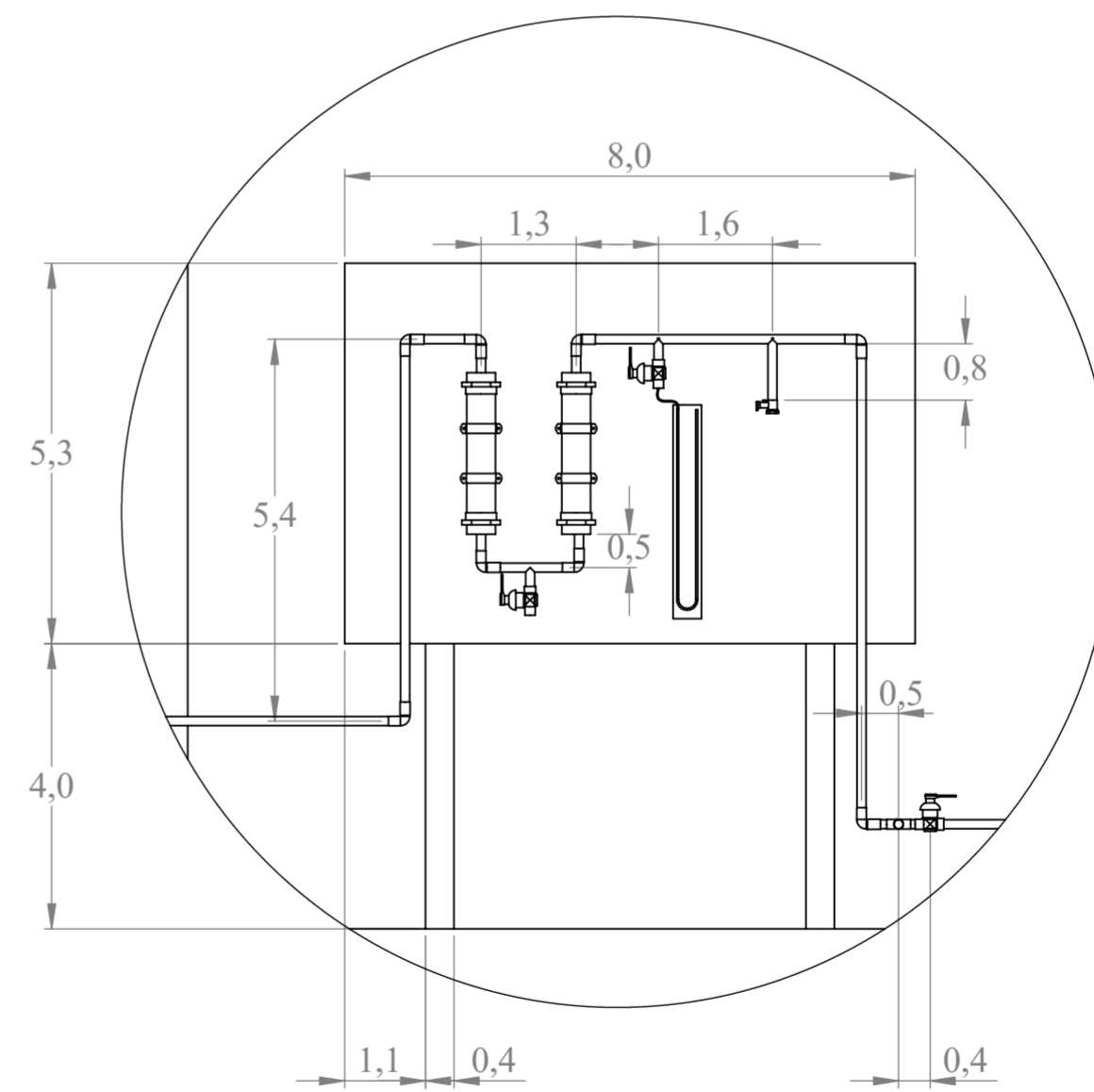
Llave saliente
del biodigestor



SECCIÓN C-C
ESCALA 1 : 40



ESCALA 1 : 40



DETALLE D
ESCALA 1 : 15



TÍTULO

Tablero - Gasómetro

ESCALA:

Indicada

DIBUJADO POR:

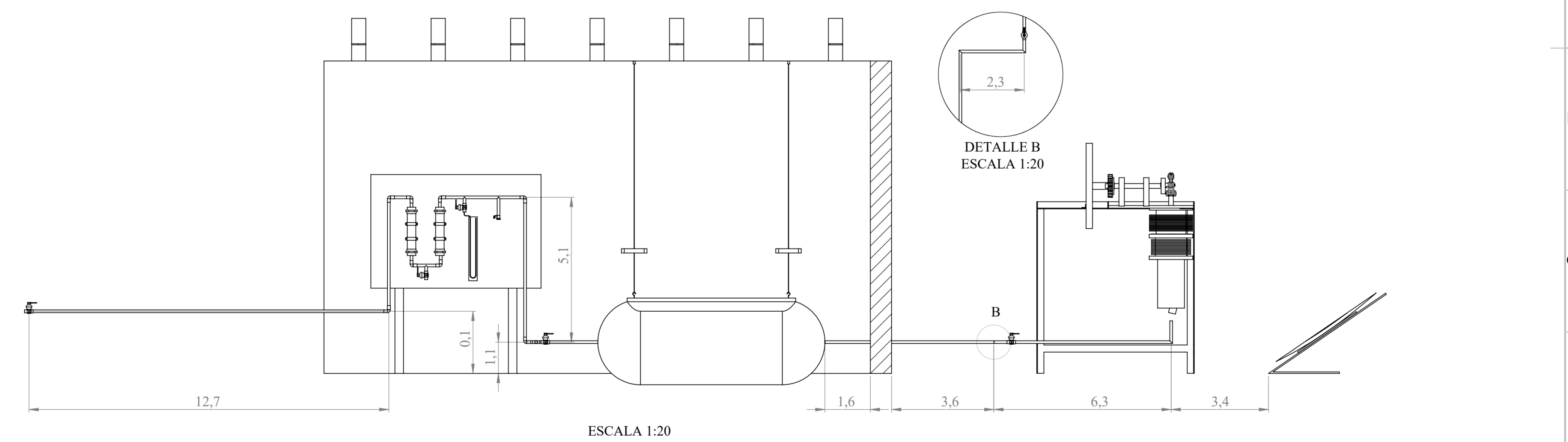
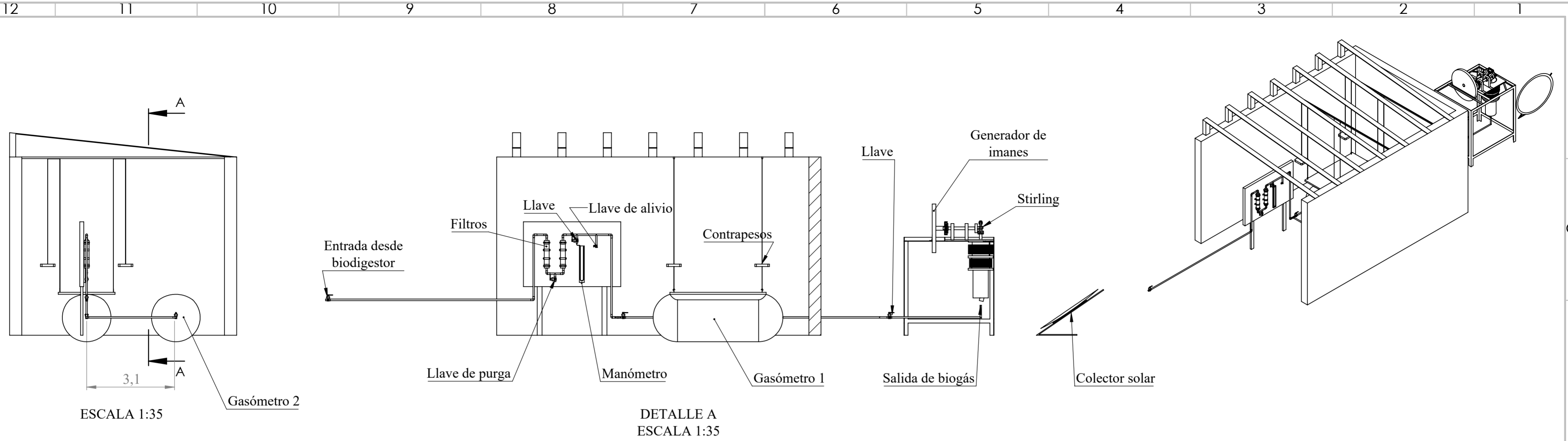
Diaz Ortiz, Renato


Plano:
2/4

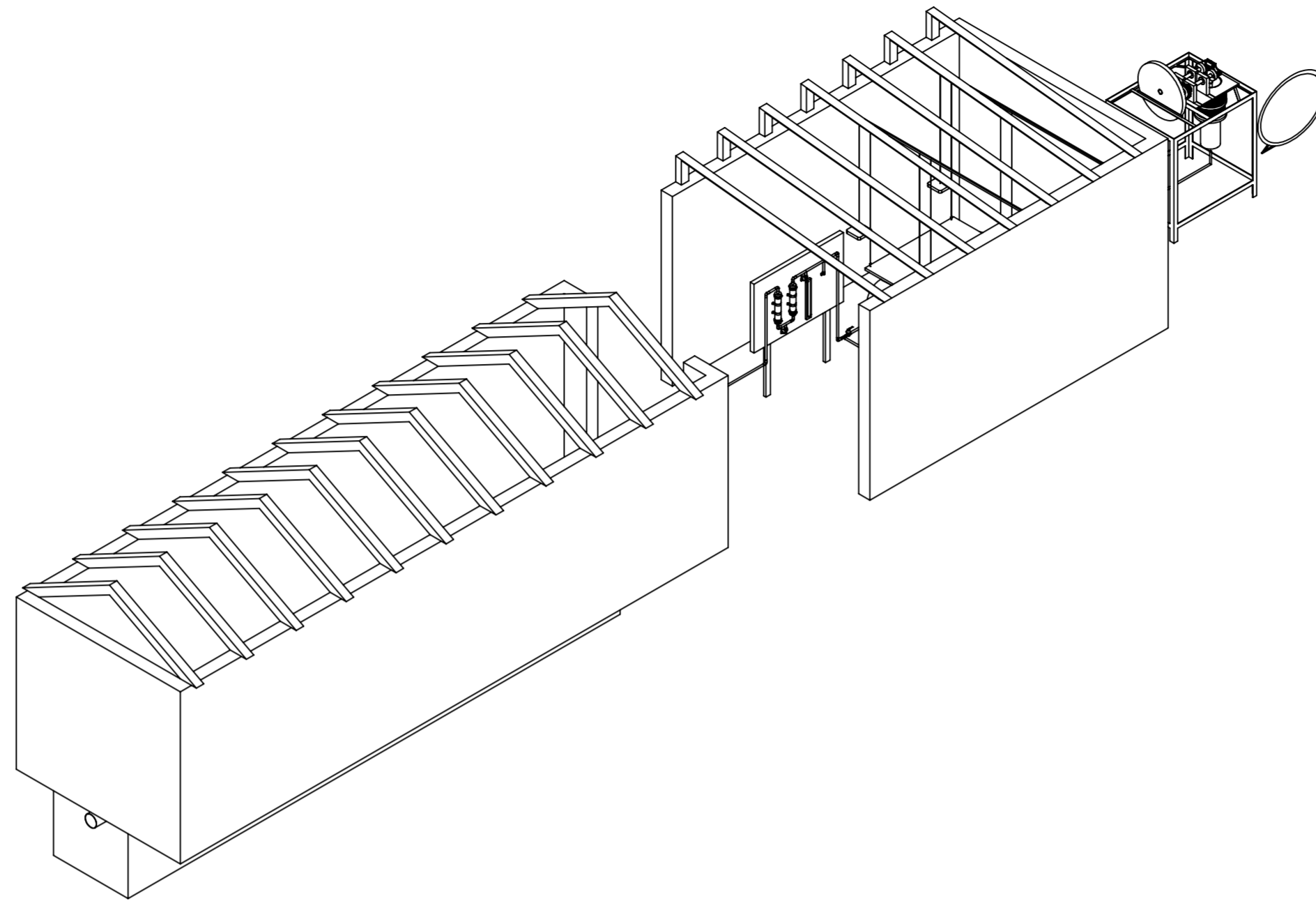
A2

Fecha:
25/06/21

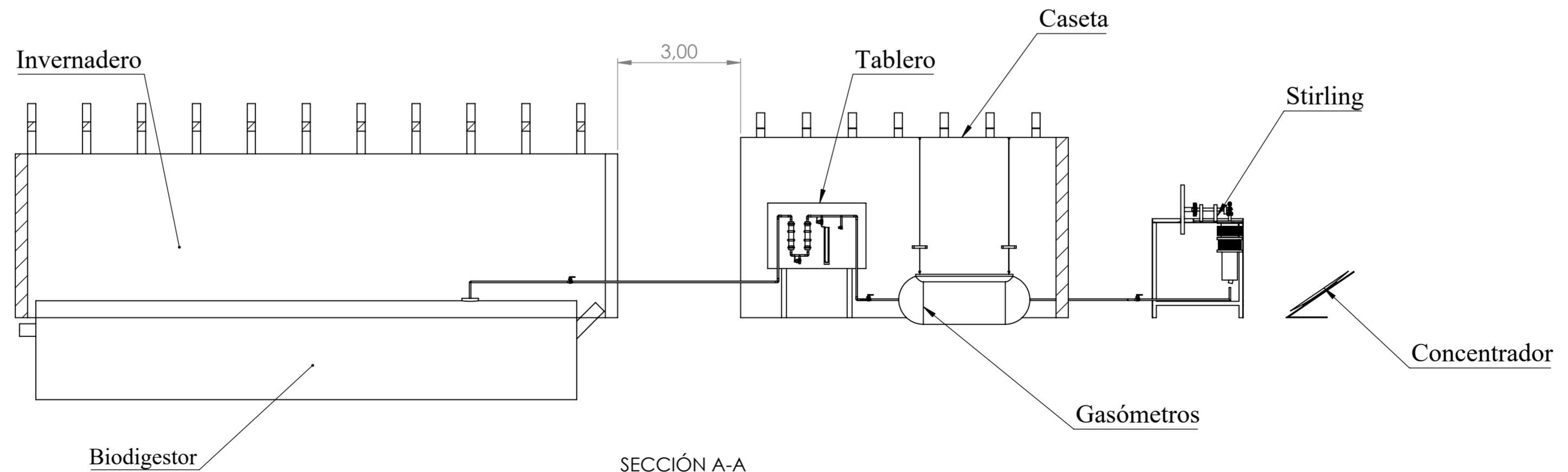
Unidades:
cm



	TÍTULO	Configuración tablero - gasómetro - Stirling - colector		Plano: 3/4
	ESCALA:	Indicada	DIBUJADO POR:	A2
			Diaz Ortiz, Renato	Fecha: 25/06/21
				Unidades: cm



VISTA ISOMÉTRICA



SECCIÓN A-A
ESCALA 1 : 50



TÍTULO

Sistema híbrido

Plano:
4/4

A2

ESCALA:
1:50

DIBUJADO POR:

Diaz Ortiz, Renato

Fecha:
25/06/21

Unidades:
cm