



**FACULTAD DE INGENIERÍA, ARQUITECTURA Y
URBANISMO**

**ESCUELA ACADÉMICO PROFESIONAL DE INGENIERÍA
MECÁNICA ELÉCTRICA**

TESIS

**DISEÑO DE UN SISTEMA DE CALEFACCIÓN A
PARTIR DEL BIOGÁS PRODUCIDO POR EL
ESTIÉRCOL DE CAVIA PORCELLUS EN EL
“CENTRO AGROPECUARIO ECOLÓGICO CASAYA”
EN LIMÓN DE PORCUYA – HUARMACA**

**PARA OPTAR EL TÍTULO DE INGENIERO MECÁNICO
ELECTRICISTA**

Autor:

Bach. Castro Flores Emerson Jonathan

<https://orcid.org/0000-0003-3782-3839>

Asesor:

Mg. Alvarado Silva Carlos Alexis

<https://orcid.org/0000-0002-3588-8869>

Línea de Investigación:

Infraestructura, Tecnología y Medio Ambiente

Pimentel - Perú

2021

**DISEÑO DE UN SISTEMA DE CALEFACCIÓN A PARTIR
DEL BIOGÁS PRODUCIDO POR EL ESTIÉRCOL DE CAVIA
PORCELLUS EN EL “CENTRO AGROPECUARIO
ECOLÓGICO CASAYA” EN LIMÓN DE PORCUYA -
HUARMACA**

Mg. Gastiaburú Morales Sylvia Yvone
Presidente del Jurado de tesis

Mg. Vives Garnique Juan Carlos
Secretaria del Jurado de tesis

Mg. Alvarado Silva Carlos Alexis
Vocal del Jurado de tesis

DEDICATORIA

A mis padres Valeriano Castro y Margarita Flores, que con mucho esfuerzo, amor, apoyo incondicional y sacrificio supieron sacarme adelante, tratando que como persona día a día sea mejor.

A mis hermanos, a todas aquellas personas, por el apoyo y los buenos consejos que me brindaron durante el desarrollo de este proceso.

Castro Flores Emerson Jonathan

AGRADECIMIENTO

Gracias a Dios, por darme la fuerza para desarrollar este proyecto de investigación.

A mis padres y a todas aquellas personas, que intervinieron en el desarrollo de mi formación académica.

A mi asesor de tesis Mg. Alvarado Silva Carlos Alexis, que con su experiencia en este rubro y su alta capacidad supo guiar este desarrollo de investigación permitiéndome obtener los objetivos planteados.

Castro Flores Emerson Jonathan

RESUMEN

En la sierra de Lambayeque y la de todo el Perú existen zonas rurales en las que las temperaturas pueden llegar a menos cero grados, perjudicando la calidad y confort de vida de pobladores inclusive llegando a presentar enfermedades crónicas y hasta la muerte. En el distrito de Huarmaca por ejemplo durante el invierno puede llegar a 9°C , es así que la presente investigación buscó el mejor procedimiento de cálculo para el dimensionamiento y selección de componentes de un sistema de calefacción, el diseño fue justificado en base al requerimiento de confort del usuario y a recomendaciones de diseño propuestas por diversas bibliografías manteniendo una temperatura de confort de 23°C a través del cálculo de cargas térmicas de techo, piso, puertas, ventanas y paredes, en la edificación de dos pisos donde habitan los trabajadores del “Centro Agropecuario Ecológico Casaya” en Limón de Porcuya- Huarmaca, las principales teorías que fueron usadas guardan relación con la transferencia de calor por conducción y convección. Los principales resultados mostraron que el sistema debía ser alimentada aproximadamente con $6,6\text{ m}^3/\text{día}$ de biogás producido por un biodigestor de tipo chino a través de un análisis de selección de evaluación técnica de ponderados, con una capacidad máxima de 10m^3 que es abastecido por el estiércol de 2200 cuyes, así como también la selección de una turbina de gas que sería acoplada a un generador y este último a un sistema de calefacción. Finalmente se concluyó que la viabilidad técnica y económica del presente proyecto era factible teniendo en cuenta además que esta propuesta busca el aprovechamiento de una energía renovable.

Palabras Claves: Calefacción, Biodigestor, Carga Térmica, Biogás.

ABSTRACT

In the Lambayeque's Sierra and in all of Peru there are rural areas in which temperatures can reach minus zero degrees, damaging the quality and comfort of life of residents, even presenting chronic diseases and even death. In the district of Huarmaca, for example, during the winter it can reach 9°C , so this research sought the best calculation procedure for the sizing and selection of components of a heating system, the design was justified based on the requirement of user comfort and design recommendations proposed by various bibliographies, maintaining a comfort temperature of 23°C through the calculation of thermal loads of the ceiling, floor, doors, windows and walls, in the two-story building where the workers of the "Centro Agropecuario Ecológico Casaya" in Limón de Porcuya- Huarmaca, the main theories that were used are related to heat transfer by conduction and convection. The main results showed that the system had to be fed approximately 6.6 m^3 / day of biogas produced by a Chinese-type biodigester through a weighted technical evaluation selection analysis, with a maximum capacity of 10m^3 that is supplied by the manure of 2,200 guinea pigs, as well as the selection of a gas turbine that would be coupled to a generator and the latter to a heating system. Finally, it was concluded that the technical and economic viability of this project was feasible, also bearing in mind that this proposal seeks to take advantage of renewable energy.

Keywords: Heating, biodigester, thermal load, biogas.

INDICE

I. INTRODUCCIÓN.....	11
1.1.SITUACIÓN PROBLEMÁTICA.....	11
1.2.PROBLEMA DE INVESTIGACIÓN	13
1.3.JUSTIFICACIÓN E IMPORTANCIA DE LA INVESTIGACIÓN.....	13
1.3.1. Justificación técnica.....	13
1.3.2. Justificación económica.....	13
1.3.3. Justificación ambiental	13
1.3.4. Justificación social.....	14
1.4.OBJETIVOS.....	14
1.4.1. Objetivo general.....	14
1.4.2. Objetivos específicos.....	14
1.5.HIPÓTESIS	14
1.6.ANTECEDENTES	14
1.7.FUNDAMENTO TEÓRICO	19
1.7.1. ENERGÍAS RENOVABLES.....	19
1.7.2. BIOMASA.....	20
1.7.3. BIOGÁS	21
1.7.3.1. ¿Qué es el biogás?.....	21
1.7.3.2. Principios de combustión.....	22
1.7.3.3. Aplicación del biogás.....	23
1.7.4. BIODIGESTOR.....	23
1.7.4.1. Características del digestor	23
1.7.4.2. Clases de biodigestores.....	24
1.7.4.3. Tipos de biodigestores	26
1.7.4.4. Procesos de biodigestión.....	28
1.7.4.5. Bases técnicas del proceso de biodigestión	31
1.7.5. SISTEMA DE CALEFACCIÓN	33

1.7.5.1. Sistemas de solo agua (Hidrónicos) para calefacción.....	34
1.7.5.2. Sistemas de solo aire para calefacción.....	35
1.7.5.3. Confort humano	36
1.7.5.4. Cargas de calefacción	37
1.7.5.5. Transferencia de calor.....	39
II. METODOLOGIA	43
2.1.ENFOQUE – TIPO – DISEÑO DE INVESTIGACION – METODO	43
2.2.POBLACIÓN Y MUESTRA	43
2.3. VARIABLES, OPERACIONALIZACIÓN.....	43
2.3.1. Variables	43
2.3.2. Operacionalización de variables	44
2.4. TÉCNICAS E INSTRUMENTOS DE RECOLECCIÓN DE DATOS.	
VALIDACIÓN.	45
2.4.1. Técnicas de recolección de datos.....	45
2.4.2. Instrumentos de recolección de datos.	45
2.4.3. Validez.....	45
2.5. DESCRIPCIÓN DEL PROCESO DE ANÁLISIS DE LOS DATOS.....	45
III. RESULTADOS.....	48
3.1. CÁLCULOS PARA DIMENSIONAMIENTO DEL SISTEMA DE CALEFACCIÓN.	48
3.2. CÁLCULOS PARA EL DIMENSIONAMIENTO DEL BIODIGESTOR.	67
3.2.1. Cantidad total del estiércol.	67
3.2.2. Volumen del biodigestor(V_d).....	72
3.2.3. Producción de biogás por día(G).	72
3.2.4. Diseño del biodigestor tipo chino.	74
Metodología de recolección de residuos	79
IV. DISCUSIÓN.....	85
V. CONCLUSIONES	87
VI. RECOMENDACIONES	88

VII. REFERENCIAS	89
VIII. ANEXOS	91
ANEXO N °03: AUTORIZACIÓN DE RECOJO DE INFORMACIÓN	93

INDICE DE FIGURAS

Figura 1: Biodigestores en el Perú.	20
Figura 2: Ciclo de biomasa.	21
Figura 3: Representación del ciclo sostenible de la digestión anaerobia.	21
Figura 4: Etapas operacionales del biodigestor anaeróbico en secuencia tipo batch.	25
Figura 5: Diagrama esquemático de un digestor tubular de plástico de bajo costo.	25
Figura 6: Sistema de biodigestor continuo.	26
Figura 7: Biodigestor tipo chino.	27
Figura 8: Biodigestor tipo indiano.	27
Figura 9: Biodigestor tipo tubular o horizontal.	28
Figura 10: pH y alcalinidad.	30
Figura 11: Componentes de un sistema de calefacción por agua caliente.	35
Figura 12: Componentes de un sistema de solo aire para calefacción y enfriamiento.	36
Figura 13: Intercambio de calor entre el aire del recinto los alrededores.	38
Figura 14: Conducción de calor a través de una pared plana grande de espesor Δx y área A.	39
Figura 15: Enfriamiento de un huevo cocido por convección forzada y convección natural.	40
Figura 16: Representación de la cantidad máxima de la radiación del cuerpo negro.	41
Figura 17: Esquema del biodigestor semicontinuo.	75

INDICE DE TABLAS

Tabla 1: Valor energético del biogás vs otras fuentes	20
Tabla 2: Temperatura de proceso de digestión anaeróbica	26
Tabla 3: Tiempo de retención hidráulico en función de la temperatura	26
Tabla 4: Composición de algunos desechos para la producción de biogás en área rural.	27
Tabla 5: Producción de estiércol fresco diario de diferentes animales	27
Tabla 6: Propiedades físicas y poder calorífico del Cuy vs Conejo	28
Tabla 7: Condiciones de confort humano recomendadas en el diseño de interiores	33
Tabla 8: Operacionalización de variables para el sistema de calefacción a partir del biogás	40
Tabla 9: Rangos de Coeficientes de Convección.....	47
Tabla 10: Coeficiente global de transferencia de calor en construcción para techos	48
Tabla 11: Coeficiente global de transferencia de calor en construcción para paredes	49
Tabla 12: Coeficiente global de transferencia de calor para ventanas de vidrio	49
Tabla 13: Coeficiente global de transferencia de calor para puertas.	50
Tabla 14: Características del cuy.	67
Tabla 15: Cantidad de estiércol de cuy por día y por cada animal	68
Tabla 16: Producción de biogás.....	72
Tabla 17: Evaluación técnica en base a ponderados para la selección del biodigestor	73
Tabla 18: Valores de dimensionamiento del biodigestor modelo chino.....	78

Capítulo I

INTRODUCCIÓN

I. INTRODUCCIÓN

1.1. SITUACIÓN PROBLEMÁTICA

En la historia, la utilización del tipo de energía ha ido variando de acuerdo a muchos factores: sociales, tecnológicos, ambientales, entre otros; Si consideramos desde el siglo XIX, solamente consumían en el mundo el 95% de energías renovables, sin embargo, en el siglo XX disminuye hasta un 38% pero esto ya está cambiando en la actualidad, debido a los países desarrollados o industrializados donde la utilización de energías renovables ha aumentado considerablemente. Existe hoy en día una batalla sobre la utilización de energías renovables sobre los combustibles fósiles, reemplazándolo en los 4 mercados eléctricos como la generación, aplicaciones térmicas, servicios energéticos sin conexión a red y carburantes para transportes. Según la Agencia Internacional de Energía (IEA), en 2009 solo el 1.4% se empleaba la fuente de energía renovables por biomasa, lo que quiere decir un valor muy bajo y a la implementación de este recurso (Javier André, De Castro, & Cerdá, 2012).

En Europa en la última década el país donde más se ha utilizado la biomasa como fuente de energía renovable es España, convirtiéndose en el líder mundial. Utilizando como combustible este para este tipo de energía los huesos de aceitunas, astillas forestales, cáscaras de frutos secos, entre otros, y generando energía térmica para procesos industriales, climatización y calefacción. Las ventajas que existe respecto a las energías renovables, sobre energía con hidrocarburos o fósiles, ofrece mejores condiciones de energía de confort, calidad y ahorro económico debido a que se utiliza como combustible a elementos renovables como el agua, el sol, viento, entre otros. En los últimos años España genera cerca de 20 millones de toneladas/año de residuos como forestales, agrícolas, silvicultura, entre otros; que generaría con la biomasa energía para un sistema de calefacción que se podría obtener una potencia de generación eléctrica renovable de 1 296 MW.

El potencial de aprovechamiento de energías renovables en el Perú es gigante, debido a las diversas condiciones topográficas variadas y diversos climas que lo hacen posible; sin embargo no existe verdaderas disponibilidades políticas o normas bien especializadas para aprovechar el mayor uso de energía renovable para el desarrollo de un país de forma estructurada, especialmente en zonas rurales que son olvidados por el gobierno sin darse cuenta que en esos sectores existe gran rendimiento para la generación de energía renovable (Loret De Mola Bohme, y otros, 2003).

El invierno, en nuestro País a pesar de los años, continúan siendo afectadas las regiones de Arequipa, Moquegua, etc.; extremadamente por las bajas temperaturas, en algunas regiones del Perú la temperatura alcanza niveles extremos lo cual perjudica la vida cotidiana de las personas. Las zonas más frías son las que están por encima de 4000 msnm, a una determinada temperatura hasta -15°C , y las que están por encima de los 3500 msnm, alcanzan -10°C . Las ciudades que son afectadas por este clima, se encuentran en la región sierra alta de Arequipa, Moquegua, Tacna, Puno, Huancavelica, Ayacucho, Cusco y Pasco. En el año 2018, más de 600 personas han fallecido por neumonía, al enfrentarse a estas temperaturas. De ellos, 400 fueron adultos mayores y 72 fueron menores de cinco años (MINSa, 2018).

El “Centro Agropecuario Ecológico Casaya” dedicada a la crianza de cuy (*Cavia porcellus*), cerdos y así mismo a la venta de estos animales. La crianza de cerdos está en pleno proceso por el motivo de que no se dispone de una cantidad determinada de ganado porcino para su respectiva venta y además los clientes mayormente se dedican a la compra del cuy para abastecer su cocción de sus alimentos. Esta granja se dispone de habitaciones para los propios trabajadores e ingieren sus propios alimentos, el cual estas personas se quedan a convivir por un cierto tiempo; su disposición laboral es de 11 días trabajados y 3 días de descanso; estos trabajadores se dedican al cuidado del cuy y cerdo para tener una buena calidad de venta de dichos animales.

En “Centro Agropecuario Ecológico Casaya” ubicado en el Centro Poblado Limón de Porcuya – Distrito Huarmaca – Departamento Piura, el cambio climático es unas de las problemáticas que afecta a las personas, a los que conviven en esta granja, por los efectos de las bajas temperatura que está entre un promedio de los 13°C – 20°C . Estas bajas temperaturas afectan a la salud de los trabajadores, de enfermedades cardiovasculares, respiratorias, la hipotermia que viene hacer la disminución de la temperatura corporal y la congelación; y además estas bajas temperaturas, afecta a los habitantes en el momento que están reposando en sus respectivos dormitorios, debido a que no se encuentran en una zona confort. Y también cuando están realizando sus labores, abandonen sus actividades por un cierto tiempo hasta que se estabilice a una elevada temperatura, lo cual no le convendría al dueño de esta empresa por el motivo que se está generando pérdidas en el ámbito laboral.

Otra de las problemáticas que presenta esta granja, son los desechables residuos orgánicos del cuy, que contaminan al medio ambiente por su elevado CO_2 y su olor afectando la vía respiratoria de las personas que transitan por este vertedero. Estos desechos orgánicos generados

por la granja, una parte de esta materia orgánica es llevada a los agricultores para su respectivo abono de las plantas y la otra parte es llevada a un vertedero, en el cual esta granja no le toma importancia a estos residuos orgánicos desechables, debido a que no tienen conocimiento de la energía potencial que puede generar el estiércol de cuy.

Debido a estas dos problemáticas principalmente se tiene conveniente el “Diseño de un Sistema de Calefacción partiendo del Biogás producido por el estiércol de cuy”. Con este diseño, el personal que labora en la granja gozaría del confort que brinda la calefacción y la empresa tendría mayor producción en el ámbito laboral, se aprovecharía al máximo el estiércol de cuy y se reduciría la contaminación del CO₂ al medio ambiente.

1.2. PROBLEMA DE INVESTIGACIÓN

¿Cuáles serán las configuraciones geométricas que permitan un óptimo diseño de un sistema de calefacción a partir del biogás producido por el estiércol de *Cavia porcellus* en el “Centro Agropecuario Ecológico Casaya”?

1.3. JUSTIFICACIÓN E IMPORTANCIA DE LA INVESTIGACIÓN

1.3.1. Justificación técnica

En el diseño de un sistema de calefacción a partir del biogás producido por el estiércol de *Cavia porcellus* representa el primer esfuerzo de ingeniería de diseño al realizarse en la granja del Centro Agropecuario Ecológico Casaya con el concepto a partir de energía renovable mediante la biomasa para mantener un ambiente de zona de confort de dicha granja.

1.3.2. Justificación económica

La obtención del biogás resulta ser una fuente energética de bajo costo para sistemas de calefacción supliendo así el cambio climático a una temperatura promedio para la zona confort de los habitantes de la granja.

1.3.3. Justificación ambiental

El presente trabajo de investigación se realizará con el propósito de diseñar un sistema de calefacción a partir de biogás generado por los desechos orgánicos en el Centro Agropecuario Ecológico Casaya manteniendo la temperatura constante para la zona confort de las personas y

reduciendo las emisiones de gases de CO₂, así como también disminuyendo los malos olores en un 90% y 100%, evitando la deforestación.

1.3.4. Justificación social

Este proyecto ofrecerá una solución adecuada al problema que viene ocurriendo por el cambio climático y los malos olores generado por los desechos orgánicos del estiércol de cuy, lo cual las bajas temperaturas interfiere la salud de las personas y el CO₂ contamina al medio ambiente, debido a este diseño de sistema de calefacción a partir de biogás producido por el estiércol de cuy incentiva a la población rural a una mejor calidad de vida, beneficiando a la granja y siendo amigable con el medio ambiente.

1.4. OBJETIVOS

1.4.1. Objetivo general

Diseñar un sistema de calefacción a partir del biogás producido por el estiércol de *Cavia porcellus* en el “Centro Agropecuario Ecológico Casaya”.

1.4.2. Objetivos específicos

- Determinar la disponibilidad térmica en el centro agropecuario por la crianza de cuyes.
- Determinar la carga térmica de las habitaciones mediante un cálculo analítico en la granja.
- Seleccionar el tipo de biodigestor a partir de la necesidad energética de las personas mediante cálculo y recomendaciones de diseño, tomando en cuenta el criterio ingenieril.
- Realizar la evaluación económica del proyecto.

1.5. HIPÓTESIS

No aplicable a este tipo de investigación

1.6. ANTECEDENTES

(Paiva Periche, 2016), en su investigación: “*Propuesta de aprovechamiento del biogás obtenido a partir del tratamiento de las aguas residuales generadas en la empresa RICO CERDO F&G S.A.C., para su uso como biocombustible en los sistemas de calefacción de las*

áreas de maternidad” menciona que la realización de este estudio es debido a que esta empresa RICO CERDO F&G S.A.C., presenta dos problemáticas afectando al medioambiente y el costo elevado del gas (GLP) para la calefacción en las áreas de maternidad. La primera problemática es; que dispone de aguas residuales provenientes del lavado diario de las excretas del ganado porcino, en la cual se dispone de una primera poza de oxidación es de un área de 1575 m² con profundidad de 4 m y la segunda poza de oxidación es de un área de 196 m² con profundidad de 2.5 m. La segunda problemática es; en las áreas de maternidad del ganado porcino en la cual se está usando lámparas calefactoras a gas (GLP) para los puercos recién nacidos debido a que deben estar a una temperatura de 35 °C a 37°C para no sufrir severos daños como a causa de enfermedades y la muerte de estos cerdos. Éste trabajo de investigación consistió en recolectar una muestra del agua residual en la tubería de descarga del efluente de la poza de oxidación 01, en donde se envió 2 botellas de 1 litro al laboratorio de la Facultad de Ingeniería Agrícola de la Universidad Nacional Agraria la Molina, obteniendo como resultados un potencial hidráulico (pH) de 6.96; demanda química de oxígeno (DQO) de 2 2210 mg/l; demanda bioquímica de oxígeno (DBO₅) de 250 mg/l; fosforo total de 149.30 y nitrógeno total de 621.26 mg/l. Determinando que el agua residual es un efluente contaminante. Para el diseño del biodigestor se seleccionó el de tipo laguna cubierta produciendo un promedio de 8 633.4 m³ de biogás al mes, teniendo como dato de muestra del consumo del gas (GLP) de un promedio de 227.21 m³ al mes. Este biodigestor de tipo laguna abastecería el 100 % en los sistemas de calefacción de las áreas de maternidad y además producirá un sobrante de biogás de un promedio de 6 409.72 m³/mes, el cual será vendido para generar sus propios ingresos.

(Morales Alberto, Isabel Sosa, & Boucíguez, 2017), en su investigación: *“Evaluación de un Sistema de Calefacción Solar-Eléctrico Aplicado a un Digestor Anaeróbico Enterrado”* menciona que el objetivo principal es realizar un diseño e implementación de un sistema de calefacción solar – eléctrico para las condiciones térmicas adecuadas en un digestor anaeróbico de una capacidad de 1200 litros de materia orgánica, permitiendo la disminución del tiempo de retención hidráulico del proceso de digestión. Para el diseño y construcción del digestor anaeróbico enterrado se determinaron las siguientes dimensiones de la fosa de oxidación de 0,8x1.8x1,2 m. Además se implemento bloques de cemento a 30 cm del borde de la fosa, también botellas abastecidas con viruta puestas sobre las paredes verticales para que actue como un aislante térmico, una membrana de PVC cubre el digestor, para evitar las fugas del líquido.

Para el afluente de entrada y el efluente de descarga de los sólidos volátiles se instaló 2 caños y tuberías PVC de 9 cm de diámetro, y una tercera entrada para el cableado eléctrico y para los diversos sensores. Este tipo de digestor tiene tres cámaras de fosa de oxidación, permitiendo su proceso de forma continua. Para el sistema de calefacción híbrido solar – eléctrico consta de un intercambiador de calor de tubos de aluminio de 1cm de diámetro exterior, una resistencia eléctrica de 1.5 kW ambos sumergidos en el digestor, un colector solar de 2,30 x0.80 m, una válvula eléctrica, una bomba de agua, 6 sensores de temperatura para medir las diferentes temperaturas de entrada y salida de cada componente. Se realizaron 2 pruebas de medición temperatura; en la primera prueba se obtuvieron los siguientes resultados: en la SC entre 28°C – 34.5°C, a la EIC entre 27°C – 32°C, a la SIC entre 23°C – 26.4°C y la temperatura del digestor entre 18°C - 23°C. En la segunda prueba se obtiene los siguientes datos: en la salida del colector inicia con 42°C y luego se mantiene entre 29°C – 35°C, en la entrada del intercambiador de calor entre 27°C – 32°C, en la salida del intercambiador de calor entre 26°C – 30°C, y la del digestor empieza con 19.5°C y alcanza un valor de 25°C. En las 2 primeras pruebas se puede analizar el incremento de temperatura del digestor, en la primera se tiene un incremento de 5°C y en la segunda de 5.5°C. En conclusión los datos obtenidos de temperatura para el digestor anaeróbico resultó ser favorable, pero para un mejor proceso de la carga del digestor se requiere instalar un sistema de agitación y así permitiendo una mejor transferencia de calor desde el intercambiador.

(Valiente Piel, 2015), en su investigación: “*Modelación de un sistema híbrido Eólico-Solar Térmico - Biomasa para calefacción domiciliaria en la región del Biobío*” menciona que el objetivo principal es realizar un modelado o simulación de un sistema híbrido de calefacción basado en energía solar, eólica y combustión de biomasa, en la ciudad de Chillán (Chile) en una latitud de 36,6° sur. La realización de este estudio se basa a que la ciudad de Chillán presenta una problemática en sistema de calefacción producido por la combustión de la leña, afectando daños a la salud de la persona y al medio ambiente. Se estimó el consumo por hogar en la ciudad de Chillán un promedio de 3.2 m³/año de leña, para su uso en sistema de calefacción. Este trabajo de investigación se realizó la simulación para mantener a una temperatura de 18°C y con área de edificación de 32 m² con un volumen de aire de 76,8 m³ de superficie. Se analizó en la temporada de invierno que van desde los meses de abril a octubre para cubrir en un 60% la carga térmica generada por la ignición de la leña, el mes donde hubo un mayor consumo de carga térmica fue julio con valores de 1,46x 10⁶ KJ/mes obteniendo resultados positivos como el ahorro en la salud pública,

considerando biomasa para la calefacción. El sistema híbrido cuenta con un aerogenerador (AG), cerca de 10 paneles fotovoltaicos. El sistema híbrido fue simulado por el programa TRNSYS, donde se generó un ahorro de lecha de $0,73 \text{ m}^3$, dejando de emitir gases tóxicos cerca de un 52% o 16.7 kg de MP, proyectando un ahorro económico en el sector salud público de 1,018 US\$/año. El costo total de la implementación del sistema híbrido es de 12,793 US\$ aproximadamente, se obtuvo un porcentaje de energía de cada fuente del sistema híbrido durante el análisis del mes de julio donde el resultado fue: solar (0,35%), eólica (0,15%), radiadores (0,40%) y biomasa (0,60%). En conclusión, se logró tener una mejor metodología para el dimensionamiento de sistemas híbridos de calefacción, en las diferentes simulaciones del tamaño de los componentes de cada subsistema y al variar los flujos de masa.

(García Zabaleta, Alamo Viera, & Marcelo Aldana, 2017), en su investigación: “*Diseño de un biodigestor tubular para zonas rurales en la región Piura*”, menciona que el objetivo principal es llegar hacer una metodología de diseño de un biodigestor tubular (tipo Taiwanés) para instalar en zonas rurales de la región Piura, aprovechando las excretas de ganado vacuno, ovino y porcino. Este tipo de biodigestor producirá el volumen máximo de biogás y abastecerá para el uso doméstico en la cocina, calefacción e iluminación. Para el diseño de este tipo de biodigestor se seleccionó el tipo taiwanés, la cual es de bajo costo, mayor facilidad de instalación, mantenimiento y reparación y además posee la más alta eficiencia. Las ventajas de este biodigestor tubular es que se puede construir con materiales locales como es el de polietileno (PE) y la geomembrana (PVC), lo cual alcanza mayores temperaturas de digestión, facilidad en la limpieza, vaciado y mantenimiento sencillos; y las desventajas es que posee alta sensibilidad en los materiales (mayor en el polietileno que el de geomembrana), ocupa espacio en la superficie por lo que no está completamente enterrado y requiere una cantidad de agua mayor que el de modelo chino.

El diseño de este biodigestor tubular es a pequeña escala para zonas rurales, donde mantiene las mejores características en las condiciones que involucra ese sector. La metodología empleada para este diseño fue la siguiente: se realizó una hipótesis de cálculo en lo que es mediciones físicas, inclinación del biodigestor, datos técnicos del reactor, diseño del gasómetro, diseño del invernadero, depósitos y tuberías de entrada y salida del biodigestor, así como tuberías de succión y seguimiento de biogás; obteniendo como resultados la geometría dimensionada del sistema para la generación de biogás, considerando a solo familias de 6

personas, debe ser: reactor ($D = 1.27$ m, $L = 7$ m, V . Total Teórico = 8 m³) y gasómetro (V . Gasómetro = 1.5 m³), tuberías de 4" para las zonas de carga y descarga, tuberías de ¾" para conducir el biogás en los tramos: biodigestor – gasómetro – puntos de consumo, para esto se requiere acoplar un filtro de biogás para reducir parte del H₂S, también un filtro de agua para reducir el vapor del gas y mantener la presión en condiciones óptimas.

(Venegas Venegas, Espejel García, Pérez Fernández, Castellanos Suárez, & Sedano Castro, 2017), en su investigación: *"Potencial de energía eléctrica y factibilidad financiera para biodigestor-motogenerador en granjas porcinas de Puebla"* menciona que la generación de energía eléctrica en las últimas décadas es una de las grandes preocupaciones al nivel mundial, la cual mayormente para la generación se emplean grandes cantidades de origen de combustible fósil permitiendo así la contaminación de gases de efecto invernadero (GEF), por lo cual en la actualidad se está avanzando mucho con la implementación de energía renovable a partir de biogás, debido a que es una energía limpia y de bajo costo. El estudio siguiente es estimar la máxima demanda en 19 municipios de Puebla – México en 37 granjas porcinas de más de 500 cerdos, la cual estas granjas podrían generar 17 875 MW de energía eléctrica al año abasteciendo a 8 869 personas por año, y también se realizó un análisis financiero para cinco tamaños de granja con sistema de biodigestor – motogenerador.

La metodología de este estudio se realizó en tres etapas: la primera consistió en el análisis de 18 proyectos con el apoyo de FIRCO (Fideicomiso de riesgo compartido), la segunda se realizó una estimación para determinar el potencial de generación de energía eléctrica con la fórmula de United States Environmental Protection Agency (EPA) en los 19 municipios para granjas con más de 500 cerdos y la tercera etapa consistió en hacer una análisis para cinco tamaños de granjas, donde se evaluará la factibilidad financiera con los indicadores como (VAN), (TIR) y (B/C) para los cinco tamaños de granjas. Para el análisis financiero de los cinco tamaños de granjas se tomó a consideración; que para granjas con más de 500 cerdos se dispondría con un motogenerador de 10 kW; para granjas de 1 000 y 2 000 cerdos con un motogenerador de 30 kW; y para granjas de 3 000 y 5 000 cerdos un motogenerador de 60 kW, lo cual se consideró que el motogenerador opere 312 días, y además se evaluó con una tasa de actualización del 12%.

Los resultados obtenidos del análisis financiero para los cinco tamaños de granjas nos indica una relación directa entre tamaño y rentabilidad, a mayor tamaño de granja mejor indicador financiero, en la cual para los tamaños de granja de 500 y 1 000 cerdos ya no tendrían suficiente

biogás para otras actividades, en cambio para granjas de 2 000, 3 000 y 5 000 cerdos cuentan con suficiente biogás incluso para operar otro motogenerador.

1.7. FUNDAMENTO TEÓRICO

1.7.1. ENERGÍAS RENOVABLES

En los últimos años el Perú se ha desligado del mercado del petróleo y sus derivados, así como también el uso del sistema Biomasa en un 30%, involucrando en un mayor porcentaje la participación del gas natural, generando una disminución del uso de Biomasa en un 15%. Este último tipo de energía renovable se utiliza en sectores rurales que no cuentan con un sistema eléctrico eficiente, o que no están en el sistema eléctrico interconectado (SEIN) (Estado del Arte y Novedades de la Bioenergía en el Perú, 2011).

Las diversas aplicaciones de la biomasa, como la calefacción y preparación de alimentos es una de las principales actividades dentro del sector rural, estadísticamente en el 2016 cerca del 18% se utiliza de forma residencial o comercial, en conclusión, aproximadamente el 50% utilizan la biomasa en el sector rural. (MINAG, 2011).

De acuerdo al ministerio de agricultura (MINAG) en la implementación de biodigestores en el Perú, se estima que, hace 17 años se instaló el primer biodigestor a partir del excremento de cuy en la finca Bioagricultura Casa Blanca, con una capacidad del biodigestor de 10 m³, construido con ladrillo y cemento, el piso y la cúpula de concreto armado a fin de resistir la presión del biogás (véase figura 1), (MINAG, 2011)

Las reservas de energía renovables trabajan de acuerdo a los ciclos y flujos naturales del planeta, son muy abundantes y se auto regeneran por años desde la creación del hombre, quiere decir que si se aprovecha estas reservas de forma eco amigable y sostenible benefician al planeta. Los beneficios que involucran las energías renovables con un adecuado uso son muy importantes, las más importantes son la generación de energía eléctrica que se puede aprovechar como calefacción, y también la reducción de generación de gases tóxicos como CO₂.



Figura 1: Biodigestores en el Perú.
Fuente: (MINAG, 2011)

1.7.2. BIOMASA

En la figura 2, se puede observar el ciclo de la biomasa, donde aprovecha la materia orgánica con carbono, ya sea de forma vegetal o animal. Dentro del proceso de las plantas aprovechan la energía del sol para la fotosíntesis y almacenan parte de esa energía en materia orgánica, sin embargo, los animales las bacterias en su interior transforman en diversas energías potenciales.

Sin darse cuenta el ser humano a utilizado como fuente de energía a la biomasa para sus diversas actividades cotidianas, sin embargo, hubo un auge en la utilización de energía con hidrocarburo dejando de lado la biomasa por su insignificante aportación energética. A continuación, se detallará los factores para la aplicación de la biomasa:

Los factores responsables de favorecer la biomasa como fuente energética son:

- El incremento del precio del petróleo.
- El aumento de la producción agrícola.
- Necesidad de buscar usos alternativos a la producción agrícola.
- Cambio climático.
- Posibilidad de utilizar los conocimientos científicos y técnicos para optimizar el proceso de obtención de energía.

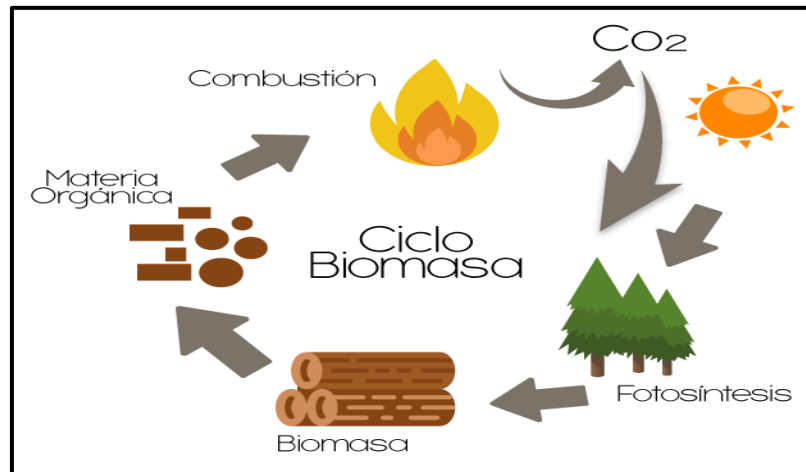


Figura 2: Ciclo de biomasa.

Fuente: http://portaleducoas.org/ciudadessostenibles/espanol/energia/energia_biomasa.html

1.7.3. BIOGÁS

1.7.3.1. ¿Qué es el biogás?

En la figura 3, se detalla el proceso para la generación de biogás, que va desde la descomposición de sustancias orgánicas como el estiércol de los animales en condiciones anaeróbicas, obteniendo el sistema de la biodigestión.

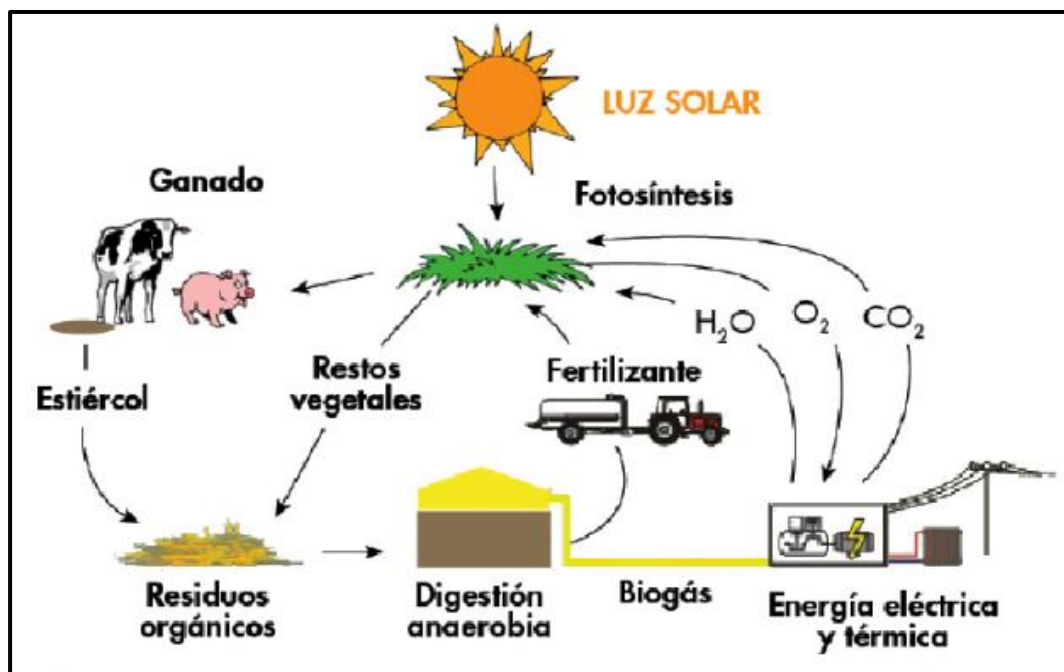


Figura 3: Representación del ciclo sostenible de la digestión anaerobia.

Fuente: <https://www.hortalizas.com/cultivos/la-energia-ecologica-componente-importante-en-la-agricultura-mundial/>

Dentro de las propiedades del biogás, es más liviano que el aire, y su temperatura de inflamación es de aproximadamente 800°C, la variable más importante de este sistema es el poder calorífico y solo aumenta en mayores cantidades de metano.

1.7.3.2. Principios de combustión

El sistema de la combustión trabaja indispensablemente con el oxígeno, ya que la variación química que pueda generar este como la oxigenación u oxidación dentro del biogás. A continuación, se muestra la formulación química de la combustión:



Existen propiedades necesarias para mejorar el sistema de la combustión, como el porcentaje de oxígeno tiene que ser mayor del 21% para una excelente combustión, también que la proporción de aire y gas genera un mejor rendimiento a mayor presión, que involucra a la válvula dosificadora de gas. En la tabla 1 se muestran las variables energéticas en comparación del biogás y otras fuentes de gases que se relacionan (Varnero Moreno, 2011).

Tabla 1

Valor energético del biogás vs otras fuentes

Valores	Biogás*	Gas Natural	Gas Propano	Gas Metano	Hidrog.
Valor calorífico (KWh/m ³)	7	10	26	10	3
Densidad (t/m ³)	1.08	0.7	2.01	0.72	0.09
Densidad con respecto al aire	0.81	0.54	1.51	0.55	0.07
Límite de explosión (% de gas en el aire)	6-12	5-15	2-10	5-15	4-80
Temperatura de encendido	687	650	470	650	585
Máxima velocidad de encendido en el aire (m/s)	0.31	0.39	0.42	0.47	0.43
Requerimiento teórico de aire (m ³ /m ³)	6.6	9.5	23.9	9.5	2.4

Fuente: (Varnero Moreno, 2011)

1.7.3.3. Aplicación del biogás

Las diversas opciones para la generación del biogás, en la cual se describen por la producción de vapor o calor, biocombustible y producción de electricidad.

- *La producción de vapor o calor;* La aplicación por excelencia del biogás es en la generación de energía térmica, aprovechando toda esta energía en los sectores rurales para la cocina, calefacción y energía eléctrica, es importante considerar que para mayor rendimiento debe haber mejor relación de aire-gas. (Varnero Moreno, 2011).

- *Generación de electricidad;* Se aplica en diversos sistemas la utilización de electricidad, es necesario tener en cuenta la cantidad de energía calorífica que genera el estiércol para poder transformarlo en energía eléctrica, se puede incorporar dispositivos para una mayor generación como la turbina de gas y motores de combustión. En la actualidad los dispositivos más incorporados en estos sistemas de biogás son los motores, ya que son más cómodos y de menor mantenimiento.

- *Combustibles para vehículos;* Es posible debido al biocombustible que ya se implementan en autos para su funcionamiento eficiente. Para esto se debe incorporar un sistema para regular las propiedades del biogás y gas natural. Sin embargo, el biogás debe tener las mismas propiedades o una calidad similar a la del gas natural.(Varnero Moreno, 2011).

1.7.4. BIODIGESTOR

Un biodigestor es un sistema de producción de energía natural que aprovecha la fermentación anaerobia (en ausencia de oxígeno) de las bacterias que ya habitan en el estiércol, para transformar éste en biogás y fertilizante. El biol, en principios se ha considerado como producto secundario, pero ahora en la realidad se ha tomado de mucha importancia, o mayor, que el biogás, en el cual este biol provee a las familias un fertilizante natural con un buen rendimiento en las cosechas.

1.7.4.1. Características del digestor

A continuación se especifican las condiciones necesarias para el funcionamiento del biodigestor:

- Ser completamente hermético para evitar la entrada del aire, en el que interfiere con digestión anaeróbica y a la vez, impedir las fugas de biogás producido.
- Tener un buen aislamiento térmico para evitar cambios bruscos de temperatura, lo que usualmente proviene en su proceso de construcción.
- El contenedor primario debe contar con una válvula de seguridad, para evitar en casos de una alta presión generados por el biogás.
- Contar con equipos Y/O herramientas de fácil accesibilidad para efectuar la carga y descarga del sistema.
- Tener acceso para el mantenimiento.
- Contar con materiales en mejoras condiciones para romper las costras que se forman.

1.7.4.2. Clases de biodigestores

Los biodigestores se clasifican de acuerdo a su complejidad y manejo, según su modo de operación con relación a su alimentación o carga en los siguientes tipos:

1.6.4.1.1. Sistemas batch o discontinuos

Estos sistemas como se muestra en la figura 4 trabajan por ciclos y no por flujo continuo, quiere decir que la alimentación del estiércol es con una cantidad estimada, su formade funcionamiento es que cuando ya disminuye la cantidad inicial de estiércol, es necesario vaciarlo por completo y alimentarlo de forma total para una mejor eficiencia, Este biodigestor de tipo batch se divide en cuatro etapas de acuerdo a su ciclo de operación: alimentación, reacción, sedimentación y descarga.

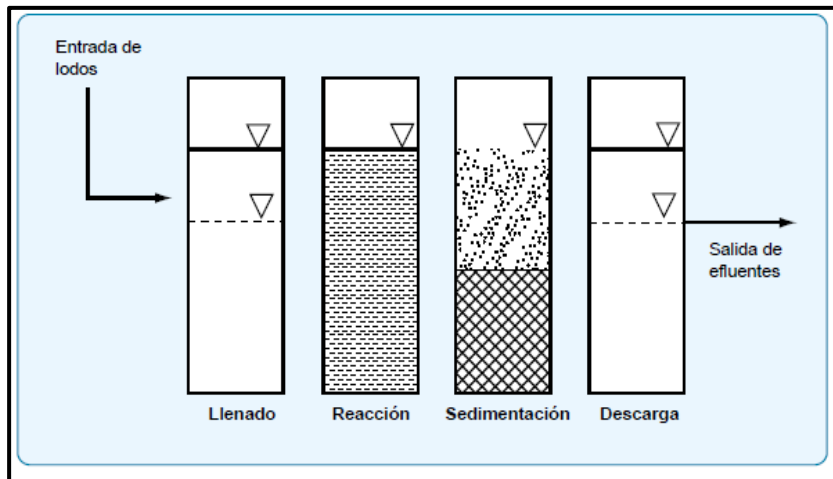


Figura 4: Etapas operacionales del biodigestor anaeróbico en secuencia tipo batch.
Fuente: (Varnero Moreno, 2011)

1.6.4.1.2. *Sistemas semicontínuos.*

Como su propio nombre lo dice, no se llena de forma completa el biodigestor de estiércol para luego agregar nuevo volumen de estiércol con el objetivo de aplicar en función al tiempo de retención hidráulico (THR). Para este proyecto se seleccionará el biodigestor de tipo taiwanés o tubular, debido a su bajo costo, fácil instalación, y no requiere de personal muy especializado para su instalación.

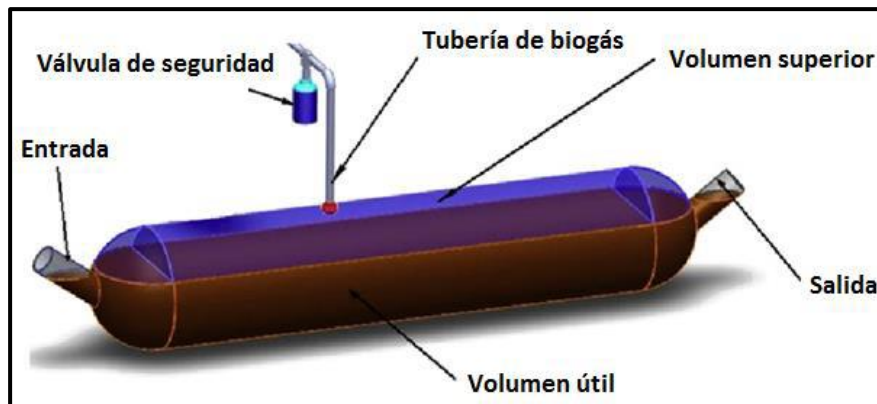


Figura 5: Diagrama esquemático de un digestor tubular de plástico de bajo costo.
Fuente: (García Zabaleta, Alamo Viera, & Marcelo Aldana, 2017)

1.6.4.1.3. Sistemas Continuos

Funciona con una relación inversa donde, la descarga del biodigestor es igual a la alimentación del biodigestor de forma estacionaria, generando una mejor metodología para la producción de biogás de forma continua y sin variaciones, se utilizan este modelo más cuando existe una gran capacidad industrial, como se puede observar en la figura 6:



Figura 6: Sistema de biodigestor continuo.
Fuente: <https://www.renovablesverdes.com/biogas/>

1.7.4.3. Tipos de biodigestores

En este punto se verán a los biodigestores más utilizados, y con características deferentes y similares para el análisis, como los tipos: indio (domo flotante), chino (domo fijo) y el de estructura flexible (tubular), finalmente el de laguna cubierta.

1.7.4.3.1. Modelo chino

Este modelo contiene tanques cilíndricos en forma de domo, y trabajan totalmente enterrados por lo tanto se encuentran estáticos o fijo, como la figura 7:

El estiércol se introduce por la parte superior que contiene un tubo, y es alimentado de forma continua o diariamente de estiércol, por lo tanto trabaja con un sistema continuo, donde la producción de biogás es constante, aunque requiera de mayor trabajo de llenado.

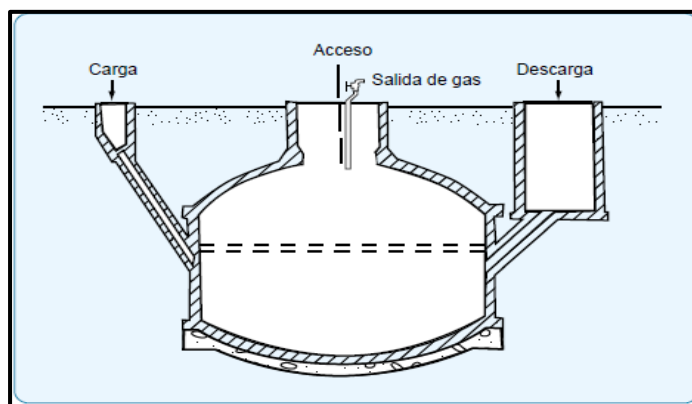


Figura 7: Biodigestor tipo chino.
Fuente: (Varnero Moreno, 2011)

1.7.4.3.2. Modelo indiano

Como el de tipo chino, este biodigestor se instala de forma enterrada y vertical, generando condiciones como un pozo, también utilizan un sistema continuo o diario de alimentación de estiércol y la cantidad de volumen depende del periodo de fermentación, obteniendo valores de biogás muy eficiente. Contiene un gasómetro incorporado al sistema, para el almacén del gas, generando una campana flotante, permitiendo una presión de operación eficiente.

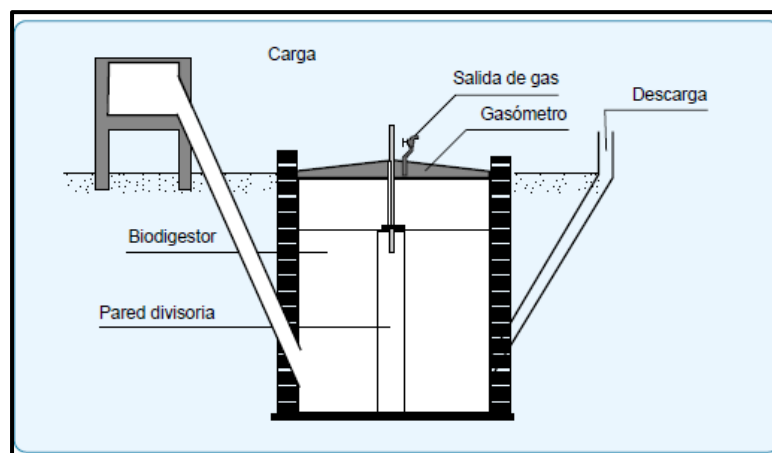


Figura 8: Biodigestor tipo indiano.
Fuente: (Varnero Moreno, 2011)

1.7.4.3.3. Modelos tubular o horizontal

A diferencia del biodigestor indiano está enterrado pero de forma horizontal, generando condiciones como de un canal, las proporciones de largo a ancho varía entre 5:1 o 8:1, trabajan

con un sistema semicontinuo, alimentándola en un extremo. Estos biodigestores trabajan a capacidades de 15 m³, como se muestra en la figura 9:

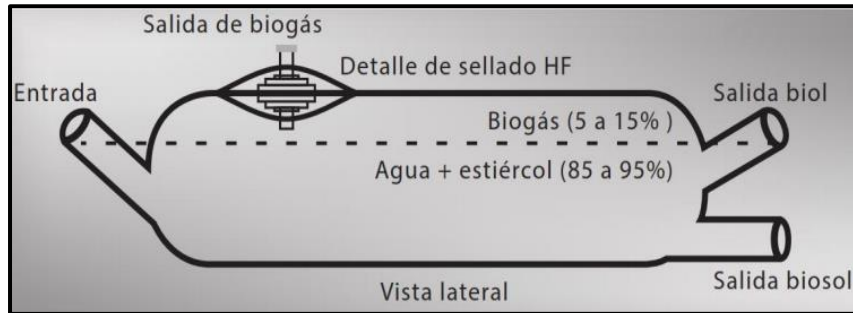


Figura 9: Biodigestor tipo tubular o horizontal.

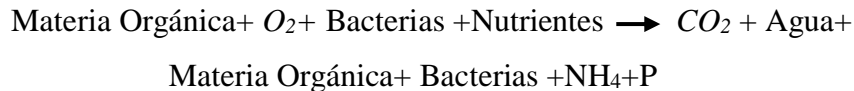
Fuente: (García Zabaleta, Alamo Viera, & Marcelo Aldana, 2017)

1.7.4.4. Procesos de biodigestión

Existen varios procesos de biodigestión, de los cuales a continuación solo se hablará de los más importantes:

1.7.4.4.1. Digestión aeróbica

Este proceso es mayormente generado a través de bacterias aeróbicas, que captan el oxígeno del ambiente o del agua, para luego fermentarla generando un avance energético, como también provocando una reacción exotérmica, a continuación, se mostrara la formula química de este proceso:



Este proceso trabaja a diferentes factores como humedad, temperatura, entre otros, sin embargo, se estima que se da a una temperatura entre 55°C a 60°C, la materia orgánica es degradada hasta convertirse en forma de humus. Es importante recalcar que este proceso también se puede efectuar en condiciones anaeróbicas, pero en menor porcentaje.

1.7.4.4.2. Digestión anaeróbica

Como en el anterior proceso, solo difieren que están bacterias son diferentes por lo tanto trabajan a condiciones sin aire, por lo que se ayuda de reacciones bioquímicas dentro de la materia orgánica, que se utiliza en la biomasa. Las sustancias generadas con el metano (CH₄) y dióxido de carbono (CO₂).

A continuación, en la tabla 2, se muestra los detalles de temperatura, duración de las bacterias que trabajan sin aire u oxígeno:

Tabla 2

Temperatura de proceso de digestión anaeróbica

Microorganismos	Temperatura	Duración	Nota
Psicrófilos	15°C	90-120 días	Demasiado largo
Mesófilos	20°C-35°C	25-30 días	Aprobado en la práctica
Termófilos	55°C	Unos 10 días	Altas pérdidas caloríficas

Fuente: (Paiva Periche, 2016)

Este proceso anaerobio es complejo por la complejidad de procesos que se desarrolla en las etapas de fermentación como la hidrólisis, acetogénica y metanogénica.

1.7.4.4.3. Tiempo de retención Hidráulico (TRH)

Este punto consiste en el tiempo que se debe fermentar el estiércol en función a la temperatura para cualquier materia orgánica de heces, también este tema es involucrada con otros factores como composición del sustrato, para que las bacterias produzcan el biogás, por lo tanto a menor temperatura debe haber una mayor retención hidráulica de tiempo, así como también a mayor temperatura generara menor tiempo de retención hidráulica, a continuación en la tabla 3 se muestra la temperatura en función al tiempo (Vega Arquiño, 2015).

Tabla 3

Tiempo de retención hidráulico en función de la temperatura

Temperatura Ambiente (°C)	Tiempo de retención hidráulico θ (días)
12 - 15	60
15 – 20	50
>20	40

Fuente: (Vega Arquiño, 2015)

1.7.4.4.4. Composición de algunos desechos orgánicos para la producción de biogás en área rural

A continuación, en la tabla 4, se detalla el porcentaje de biogás en promedio que puede producir el estiércol de los diferentes animales en condiciones normales de operación. Estos valores se pueden utilizar para el cálculo de la producción de biogás. Son valores estimados y referenciales para desechos puros sin mezcla adicional de agua u otros tipos de biomasa.

Tabla 4

Composición de algunos desechos para la producción de biogás en área rural.

Material	% Humedad	% Sólidos Totales	% Carbono Base Seca	% Nitrógeno Base Seca	Relación C/N en peso
ESTIÉRCOL					
Vacuno	79	21	32	1.5	21
Ovino	73	27	60	3.7	16
Equino	75	25	47	2.4	20
Porcino	69	31	73	2.6	28
Aves de corral	44	56	70	6	12
Auquénidos	57	46	42	3.7	11
Cuyes	32	60	37	2.2	17
Conejos	20	80	47	2.02	23
DESECHOS AGRÍCOLAS					
Chala de maíz	15	85	39	0.7	56
Paja de arroz	8	92	41	0.7	59
Paja de cebada	7	93	42	0.8	48
Paja de trigo	8	92	46	0.53	87
Totora	35	65	41	0.23	178
Hoja de plátano	89	11	42	1.10	38
Pastos	67	33	40	2.52	16
Hierbas, hojas secas	50	50	41	1	41

Fuente: (Vega Arquíño, 2015)

1.7.4.5. Bases técnicas del proceso de biodigestión

1.7.4.5.1. Estiércol de cuy

(Pantoja Gordón, 2014) nos resume que la calidad de estiércol del cuy es uno de los mejores porque los agricultores lo utilizan para abonar de forma directa a sus cultivos, ya que tiene propiedades de mejorar a la planta y mantenerla en buen estado, también que es muy fácil recolectar las heces del cuy si relacionamos con las de otros animales, se presume que por cada 100 kg de peso de cuy vivo genera cerca de 2 a 3 kg de estiércol al día. A continuación en la tabla 5 se muestra las proporciones de estiércol de diferentes animales de acuerdo a 100 kg de peso del animal vivo.

Tabla 5

Producción de estiércol fresco diario de diferentes animales

Ganado	Kg de estiércol fresco producido por cada 100 Kg de peso del animal
Cerdo	4
Bobino	7
Caprino	4
Conejos, cuy	3
Equino	7
Humano adulto	0.4 kg por adulto
Humano niño	0.2 kg por niño

Fuente: (Martí Herrero, 2008)

La cantidad total de estiércol (C_{TOTAL}) se calcula mediante la siguiente ecuación:

$$C_{TOTAL} = N * Md \dots \dots \dots EC.01$$

Donde:

N= Cantidad de animales, que proporcionan el estiércol.

Md=Cantidad de estiércol, que produce cada animal.

(Vega Arquíño, 2015) especifica que por el simple hecho de que las heces de los animales contiene carbono puede generar o producir biogás, de acuerdo al poder calorífico específico de cada animal, en la tabla 6 según LASACI de la UNT muestra los factores o propiedades del poder calorífico entre el cuy y el conejo:

Tabla 6

Propiedades físicas y poder calorífico del Cuy vs Conejo

Parámetros	Unidades	Cuy	Conejo
Humedad	%	8.03	8.25
Nitrógeno	%	2.2	1.9
Fosforo (P ₂ O ₅)	%	1.85	1.36
Potasio (K ₂ O)	%	1.67	1.12
Carbono	%	0.105	0.060
Poder calorífico	Cal/Kg	6328	6985
C/N		14	13

Fuente: LASACI-UNT

1.7.4.5.2. Cantidad de mezcla (C_M)

(Martí Herrero, 2008) propone la proporción de mezcla de estiércol y agua para poder alimentar a un biodigestor, la relación de mezcla es de 1:4 con agua. Esto significa que por cada 1kg de estiércol va haber 4L de agua, a esta relación de mezcla se le considera a carga diaria, esta relación varia de acuerdo al tipo de biodigestor se utilice y al tipo de estiércol que se quiera trabajar, por ejemplo, en un biodigestor chino y tubular es la relación de mezcla de 1:1 y 1:2 respectivamente.

La cantidad de mezcla se desarrolla a través de la formula o ecuación:

$$C_M = (1 + m) * C_{TOTAL} \dots \dots \dots EC.02$$

Donde:

C_{TOTAL}=Cantidad total del estiércol

m=Relación de mezcla

Para el estiércol de cuy se considera una relación de mezcla de 1:3. (Vega Arquino, 2015).

1.7.4.5.3. Volumen total del biodigestor (V_d)

Se debe considerar que el volumen de cualquier biodigestor contiene parte líquida y gaseosa, por lo tanto, la parte líquida representa ¾ partes del total del volumen obteniendo un 75%, y la

gaseosa ¼ representando el 25%. (Martí Herrero, 2008). Según (Vega Arquíño, 2015) otro factor importante para definir el volumen del biodigestor es con el tiempo de retención hidráulica y la cantidad de sustrato inducido. A continuación, la ecuación:

$$V_d(m^3) = (\theta * C_M)/1000.....EC.03$$

Donde:

C_M =Cantidad de mezcla (Kg mezcla/día)

θ =Tiempo de retención hidráulico (días)

1.7.4.5.4. Producción del biogás por día (G)

La producción del biogás no es constante, debido a que es un proceso que depende del tiempo de retención hidráulico, estimando según la temperatura de trabajo.

Para conocer la producción de biogás, se debe tomar en cuenta la cantidad de estiércol que se produce en la granja y la relación de cantidad de estiércol de biogás que según Vega Arquíño, 2015) es de 0.03 m³ de Biogás/ Kg estiércol.

La cantidad producción de Biogás por día, se determina mediante la siguiente ecuación.

$$G(m^3) = C_M * Y.....EC.04$$

Donde:

C_M = Cantidad de mezcla (Kg mezcla/día).

Y = Productividad de Biogás (m³ /kg estiércol)

También se debe añadir un margen de seguridad (F) que esta entre 5-10%, lo cual se tendría la siguiente fórmula.

$$Gt(m^3) = G + (G * F).....EC.05$$

Donde:

G = Producción de Biogás por día (m³ /día).

F =Factor de seguridad (5-10%)

1.7.5. SISTEMA DE CALEFACCIÓN

Desde la antigüedad las personas necesitaban de la característica de mantenerse en temperatura óptimas para un mejor rendimiento, sin embargo esta necesidad ya atribuía el

concepto de calefacción, que es simplemente incorporar temperatura caliente para equilibrar espacios con bajas temperaturas, o también significa aclimatarse en una zona por el espacio o aire y por el agua. Este proceso de calefacción trabaja con energía eléctrica o térmica, y que el funcionamiento es que la temperatura caliente transfiere a la temperatura fría, llegando a un equilibrio térmico como se requiere. La temperatura del aire se controla calentándolo o enfriándolo.

- La humedad, que es el contenido de vapor de agua en el aire, se controla agregando o eliminando vapor de agua al aire (humidificación y deshumidificación).
- La limpieza o calidad del aire, se controla ya sea mediante filtración que elimina contaminantes indeseables por medio de filtros u otros dispositivos, o mediante ventilación.
- El movimiento o velocidad del aire, se controla mediante el equipo adecuado para la distribución del aire.

1.7.5.1. Sistemas de solo agua (Hidrónicos) para calefacción

En la figura 11 se representa un sistema hidrónico de calefacción. En el punto 1 el agua se calienta en la fuente de calor en la caldera, en el punto 2 el agua caliente se hace circular mediante una bomba de calor, en el punto 3 el agua caliente pasa por la tubería a cada recinto, en el punto 4 entra a unidad terminal. El aire del recinto se calienta al entrar en contacto con la unidad terminal y pierde su calor conforme pasa el agua caliente por las habitaciones, por ello se debe regresar a la fuente de calor para volver a calentarse y seguir el mismo proceso. Si en el sistema de calefacción se usa vapor, los equipos funcionan del mismo modo, pero ya no sería necesario una bomba de calor para hacer circular el vapor, debido a que el vapor está a una determinada presión el cual permite la circulación por sí misma. Sin embargo, cuando el vapor se enfría en la unidad terminal, se condensa formando agua y por tanto se necesitaría una bomba de condensado para regresar a la caldera. En sistema hidrónico de enfriamiento sería el mismo funcionamiento al de hidrónico de calefacción.

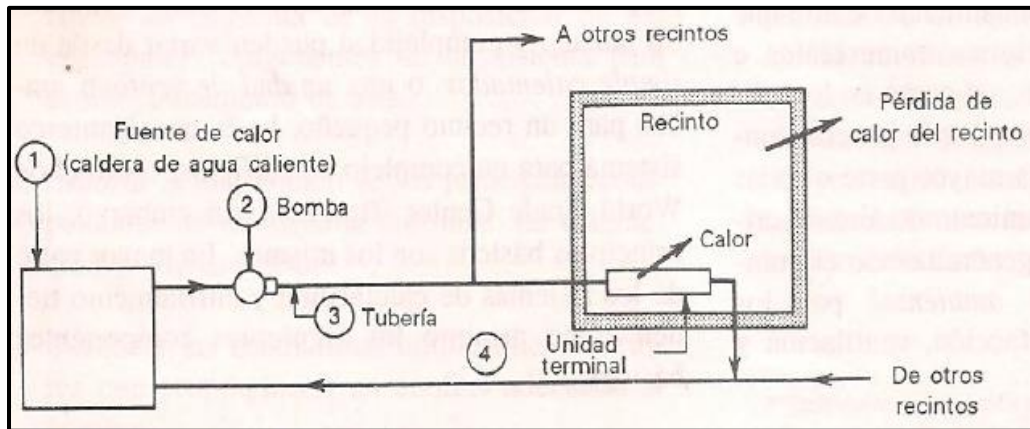


Figura 10: Componentes de un sistema de calefacción por agua caliente.
Fuente: (Pita, 2005)

1.7.5.2. Sistemas de solo aire para calefacción

Estos sistemas de aire se pueden emplear para diversos procesos, para calentar o enfriar recinto. También pueden controlar la humedad y proporcionar ventilación hacia el exterior, cosa que los sistemas hidrónicos no pueden hacer. En la figura 12 muestra un sistema de solo aire para calefacción y enfriamiento, el aire se calienta en la fuente de calor en la cual puede ser un horno (1), el aire circula mediante un ventilador y pasa a cada habitación a través de ductos de suministro de aire (3), el aire de suministro entra a las habitaciones a través de los difusores o registro de aire. Durante el verano el aire se enfría al pasar por una fuente de enfriamiento (5), que por lo general es un serpentín de tubo que contiene un fluido enfriado. Cuando el tamaño del recinto es fijo, el volumen de aire que entra a la habitación debe salir y este proceso se logra con los ductos de retorno de aire (6) haciendo que el aire se caliente o enfríe de nuevo y vuelve a circular. En caso de querer tener una mejor calidad de aire, se puede incluir un ducto de toma de aire exterior (7), para introducir aire fresco, de igual modo, el mismo volumen de aire debe agotarse (8), se puede incluir filtros (9), para limpiar el aire y para humidificarlo (10).

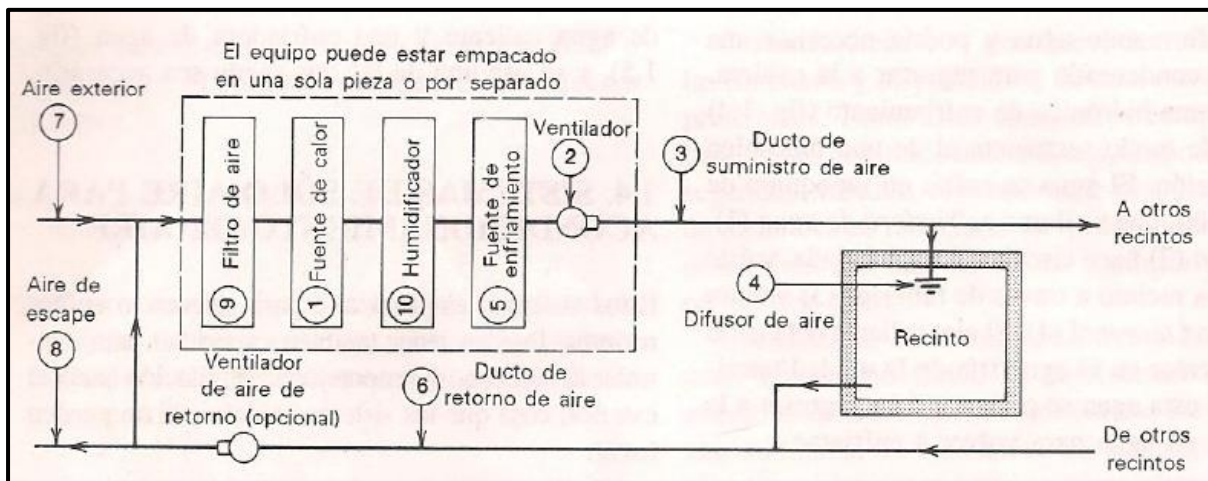


Figura 11: Componentes de un sistema de solo aire para calefacción y enfriamiento.
Fuente: (Pita, 2005)

1.7.5.3. Confort humano

En los sistemas de calefacción se debe comprender los factores que afectan en un ambiente interior confortable:

- **Pérdidas de calor corporal;** El cuerpo humano genera calor al metabolizar (oxidar) sus alimentos. Este calor pasa continuamente a sus alrededores al medio ambiente más frío. El factor que determina si uno siente calor o frío es la velocidad de pérdida de calor corporal, el cual es afectado por cinco factores: temperatura del aire, humedad del aire, movimiento del aire, temperatura de los circundantes y prendas de vestir. También los procesos mediante los cuales el cuerpo humano desprende calor hacia el medio ambiente son: convección, radiación y evaporización.
- **Calidad del aire;** Es otro de los factores que afecta el confort y salud corporal, debido a la presencia de contaminantes como olores, humo y partículas de polvo, o gases indeseables. Las partículas se pueden eliminar por filtros de aire, los gases mediante sustancias químicas absorbentes, y los humos u olores mediante ventilación exterior.

(ANSI/ASHARE, 2013) menciona que, para el confort humano, en Estados Unidos se estableció una serie de condiciones para los estándares de confort de interiores, sobre los efectos de temperatura, la humedad, el movimiento y las prendas de vestir en el confort humano. El estándar 55-2013 de ANSI/ASHARE, ANSI (por sus siglas Instituto Nacional Americano de

Estándares), y ASHARE (Sociedad Americana de Ingenieros en Calefacción, Refrigeración y Acondicionamiento de Aire).

Sin embargo, existen limitaciones para la aplicación de la zona de confort humano:

- Las zonas de confort solo se aplican a personas sedentarias o pocas activas.
- Las zonas de confort se aplican a ropa de verano equivalente a 0.5 clo (clo es una unidad numérica derivada a la palabra ingles clothing, vestimenta), que representa el aislamiento térmico de la ropa, y la ropa en invierno equivale a 0.9 clo.
- Las zonas de confort se aplican al movimiento del aire en invierno que no exceda 30 pies por minuto (FPM) y en verano 50 FPM.

En los últimos años se ha recomendado condiciones específicas con el fin de conservar la energía, en la tabla 7 las temperaturas están en el extremo inferior de la zona de confort en invierno y en el rango extremo superior en verano.

Tabla 7

Condiciones de confort humano recomendadas en el diseño de interiores

Estación	Temperatura operativa °C	Humedad relativa %
Verano	23 a 25	45 a 46
Invierno	21 a 23	40 a 50

Fuente: (ANSI/ASHARE, 2013)

1.7.5.4. Cargas de calefacción

Para poder entender este proceso, debemos saber que existen perdidas de calor en cualquier ambiente de diferente temperatura, esto quiere decir que las cargas térmicas se pueden generar a través de puertas, ventanas, pisos, techos, entre otros. Cada material que se encuentra en la zona de calefacción contiene diferentes factores térmicos que involucra a la carga térmica. Como explica en la figura 13:

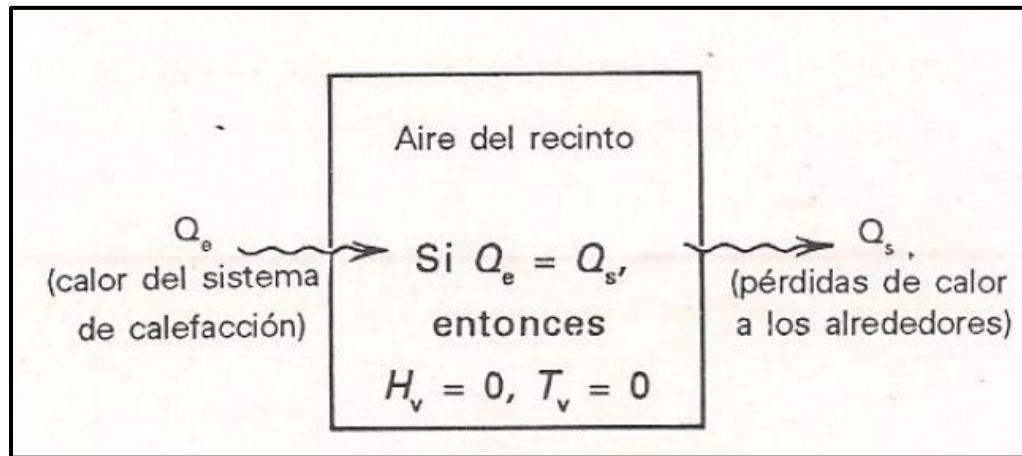


Figura 12: Intercambio de calor entre el aire del recinto los alrededores.
Fuente: (Pita, 2005)

La energía agregada al recinto (E_E) es el calor suministrado por el sistema de calefacción (Q_E). El calor que sale (E_S) es la pérdida de calor (Q_S). La variación en la energía almacenada (E_V) es el cambio de entalpia del aire interior (H_V). Especificando estos parámetros en la ecuación tenemos:

$$E_V = E_E + E_S \dots \dots \dots \text{EC. 06}$$

Donde se obtiene:

$$H_V = Q_E + Q_S \dots \dots \dots \text{EC.07}$$

Donde:

H_V = Variación de la entalpia del aire interior (BTU)

Q_E = Calor suministrado por sistema de calefacción (KJ/s)

Q_S = Pérdidas de calor del aire en el recinto hacia el exterior (KJ/s)

La temperatura del aire del recinto depende de su temperatura, si la entalpia del aire cambia, la temperatura cambia. Por ello si se desea que el aire del recinto permanezca a una temperatura constante, la entalpia también debe ser constante. Ya que la entalpia no cambia, entonces $H_V=0$. Sustituyendo en la ecuación 07, se obtiene:

$$Q_E = Q_S \dots \dots \dots \text{EC.08}$$

Esto quiere decir que el calor suministrado hacia el recinto va ser igual a las pérdidas de calor que sale del recinto.

1.7.5.5. Transferencia de calor

Existen 3 formas de efectuar la transferencia de calor.

- **La conducción;** Es la forma de transferencia de calor a través de un cuerpo que se presenta sin movimiento alguno del mismo, es el resultado de acciones moleculares o electrónicas (Pita, 2005).

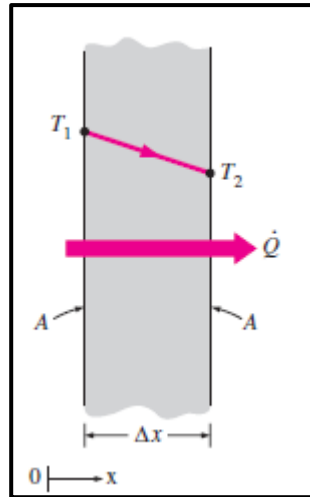


Figura 13: Conducción de calor a través de una pared plana grande de espesor Δx y área A .
Fuente: (Cengel, 2007)

Por tanto, se concluye que la razón de la conducción de calor a través de una capa plana es proporcional a la diferencia de temperatura a través de ésta y al área de transferencia de calor, pero es inversamente proporcional al espesor de esa capa; es decir,

$$\text{Razón de conductividad de calor} \propto \frac{(\text{Área})(\text{Diferencia de temperatura})}{\text{Espesor}}$$

O bien:

$$\dot{Q} = kA \frac{T_1 - T_2}{\Delta x} = -kA \frac{\Delta T}{\Delta x} \dots \dots \dots \text{EC.09}$$

En donde la constante de proporcionalidad k es la *conductividad térmica* del material, que es una medida de la capacidad de un material para conducir calor. En el caso límite de $\Delta x \rightarrow 0$, la ecuación que acaba de darse se reduce a la forma diferencial

$$\dot{Q} = -kA \frac{\Delta T}{\Delta x} \dots \dots \dots \text{EC.10}$$

la cual se llama ley de Fourier de la conducción del calor, en honor de J. Fourier, quien la expresó por primera vez en su texto sobre transferencia de calor en 1822.

➤ **La convección:**

Existe convección forzada o libre, la primera es cuando existe un dispositivo que influye en la temperatura del espacio o ambiente, en cambio la libre es cuando los fluidos son empujados a través de las diferencias de densidades, como explica en la figura 15:

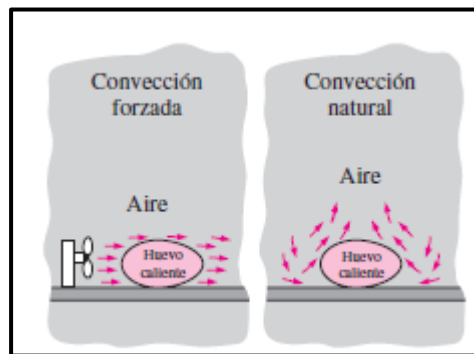


Figura 14: Enfriamiento de un huevo cocido por convección forzada y convección natural.
Fuente: (Cengel, 2007)

A pesar de la complejidad de la convección, se observa que la rapidez de la transferencia de calor por convección es proporcional a la diferencia de temperatura y se expresa en forma conveniente por la ley de Newton del enfriamiento como:

$$\dot{Q}_{\text{CONV}} = hA_S(T_S - T_{\infty}) \dots \dots \dots \text{EC.11}$$

En donde h es el coeficiente de transferencia de calor por convección, en W/m². °C o Btu/h·ft². °F, A_S es el área superficial a través de la cual tiene lugar la transferencia de calor por convección, T_S es la temperatura de la superficie y T_∞ la temperatura del fluido suficientemente alejado de esta superficie.

➤ **Radiación;** Es la forma de transferencia de calor que se presenta entre dos cuerpos separados como resultado de la llamada radiación electromagnética, a la que también a veces se le conoce como movimiento ondulatorio (Pita, 2005).

La razón máxima de la radiación que se puede emitir desde una superficie a una temperatura termodinámica T_s (en K o R) es expresada por la *ley de Stefan- Boltzmann* como:

$$\dot{Q}_{\text{emitida,máx}} = \sigma A_S T_S^4 \dots\dots\dots \text{EC.12}$$

Donde $\sigma=5.67 \times 10^{-8} \text{ W/m}^2 \cdot \text{K}^4$, o bien, $0.1714 \times 10^{-8} \text{ Btu/h} \cdot \text{ft}^2 \cdot \text{R}^4$ es la constante de Stefan-Boltzmann. La superficie idealizada que emite radiación a esta razón máxima se llama cuerpo negro y la radiación emitida por éste es la radiación del cuerpo negro (véase figura 16).

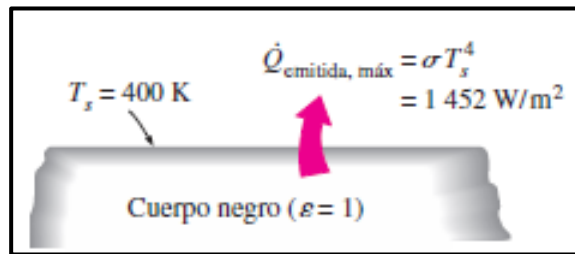


Figura 15: Representación de la cantidad máxima de la radiación del cuerpo negro.
Fuente: (Cengel, 2007)

La radiación emitida por todas las superficies reales es menor que la emitida por un cuerpo negro a la misma temperatura y se expresa como:

$$\dot{Q}_{\text{emitida}} = \epsilon \sigma A_S T_S^4 \dots\dots\dots \text{EC.13}$$

En donde ϵ es la **emisividad** de la superficie. La emisividad cuyo valor está en el intervalo $0 \leq \epsilon \leq 1$, es una medida de cuán próxima está una superficie de ser un cuerpo negro, para el cual $\epsilon = 1$.

Capitolo II

METODOLOGIA

II. METODOLOGIA

2.1. ENFOQUE – TIPO – DISEÑO DE INVESTIGACION – METODO

Enfoque

La tesis presenta un enfoque cuantitativo

Tipo de investigación

Cuantitativa y Aplicativa

Diseño de investigación

Cuasi experimental, ya que el objetivo de esta tesis es diseñar un sistema de calefacción a partir del biogás, mediante el uso de tecnologías nuevas y sostenibles como la bioenergía.

Método

2.2. POBLACIÓN Y MUESTRA

Población

Estará constituida por la granja “Centro agropecuario ecológico casaya”, lugar donde se realizará los estudios necesarios para nuestro proyecto de tesis, tomando en cuenta el requerimiento energético del lugar.

Muestra

Para el presente proyecto la muestra es la producción diaria, semanal y mensual de bosta de cuy (kg) producido por la granja y también la carga térmica del lugar que ocupan los trabajadores.

2.3. VARIABLES, OPERACIONALIZACIÓN

2.3.1. Variables

Variables Independientes

- Diseño de sistema de calefacción
- Estiércol de cuy

Variables Dependientes

- Producción de calor
- Producción del biogás

2.3.2. Operacionalización de variables

Tabla 8 Operacionalización de variables para el sistema de calefacción a partir del biogás

Tipos de variables	Variables	Dimensiones	Indicador	Técnica e instrumento
Independiente	Diseño de sistema de calefacción	Temperatura ambiente	13°C – 20°C	Bibliografía especializada Termocupla “Centro agropecuario ecológico casaya”
		Temperatura de confort humano	21°C – 23°C	Bibliografía especializada
		Humedad relativa de confort humano	40% - 50%	Bibliografía especializada
	Estiércol de cuy	Poder calorífico	6328 Cal/Kg	Bibliografía especializada
		Humedad	8.03 %	Bibliografía especializada
		Carbono	0.105 %	Bibliografía especializada
		Flujo másico	Kg	Guía de análisis de documentos
Dependiente	Producción de calor	Calor que entra al recinto	KJ/s	Cálculos analíticos
		Calor que sale del recinto	KJ/s	Cálculos analíticos
	Producción del biogás	Volumen	m ³	Cálculos analíticos
		Tiempo de retención hidráulico	Días	Bibliografía especializada
		Temperatura	°C	Bibliografía especializada

Fuente: Elaboración propia

2.4. TÉCNICAS E INSTRUMENTOS DE RECOLECCIÓN DE DATOS. VALIDACIÓN.

2.4.1. Técnicas de recolección de datos.

- Revisión de bibliografía especializada: artículos científicos, libros y tesis de ingeniería.
- Encuestas a los trabajadores de la granja “Centro Agropecuario Ecológico Casaya”.
- Cálculos analíticos.

2.4.2. Instrumentos de recolección de datos.

- Revisión bibliográfica por medio de internet, libros y artículos científicos.
- Formato de cuestionario de preguntas.
- Libros, tesis y CAD.

2.4.3. Validez.

La validez de los valores logrados a partir de la información obtenida de la revisión bibliográfica, cuestionario de preguntas y guías de libros de ingeniería servirán como base para el diseño de sistema de calefacción en la granja.

2.5. DESCRIPCIÓN DEL PROCESO DE ANÁLISIS DE LOS DATOS.

La descripción del proceso de análisis de datos se realizaron en los siguientes pasos:

Paso1. Elaboración de encuestas.

Se realizarán las encuestas al personal que labora en la granja, que se desempeñan en el cuidado del cuy, para determinar su nivel de satisfacción y opinión para una futura fabricación del diseño de sistema de calefacción a partir del biogás del estiércol de cuy..

Paso 2. Identificación de las necesidades de los productores en la granja.

Se determinará las necesidades del personal en dicha granja para adjuntarlos como dato para una futura fabricación del diseño de la máquina.

Paso 3. Evaluación de la demanda de producción del centro poblado.

Se ejecutará una encuesta sobre la cantidad de estiércol de cuy, el número de animales, el número de recintos que existe en la granja y el tiempo que les tomas al realizar su actividad para determinar la demora.

Paso 4. Evaluación del tipo de máquina.

Se realizaría una entrevista personal sobre el tipo de máquina de diseño de sistemas de calefacción, para determinar el tipo de máquina adecuado con el fin de obtener una eficiencia máxima de la máquina.

Paso 5. Evaluación de las máquinas en el mercado.

Se buscará información en tiendas de páginas web donde vendan estos tipos de máquinas y además, también se realizará visitas presenciales en tiendas, que contengan con las características parecidas a este tipo de máquina, para tener en cuenta el diseño, costo de la máquina y posteriormente generar una inversión más.

Capítulo III

RESULTADOS

III. RESULTADOS.

3.1. CÁLCULOS PARA EL DIMENSIONAMIENTO DEL SISTEMA DE CALEFACCIÓN.

Para el presente cálculo de las cargas térmicas de calefacción se procederá a partir del libro Edwar G. Pita “Acondicionamiento de Aire” principios y sistemas. Por ello se debe determinar las pérdidas por transferencia de calor de la edificación de dos pisos teniendo las dimensiones de cada una de ellas, para luego obtener las pérdidas totales de las cargas térmicas y así mismo proceder a dimensionar el equipo de calefacción (Acondicionamiento de Aire. principios y sistemas, 2005).

La granja “Centro Agropecuario Ecológico Casaya” en donde habita el personal está constituido por dos pisos, que será especificado a continuación mediante el cálculo. El plano de los recintos del primer piso y segundo piso se muestran más adelante en el anexo los anexos.

En la tabla 9 se muestra todas las condiciones donde se puede analizar los coeficientes de convección de acuerdo al caso de estudio donde se desarrolla para el cálculo de las cargas térmicas, un ejemplo muy claro es si se quiere calcular las cargas térmicas de una estación en la Antártida se requiere escoger un coeficiente de convección de vapor sobrecalentado y convección forzado por las condiciones extremas donde se encuentra el lugar, sin embargo para el caso de estudio de ésta investigación el coeficiente de convección es natural o libre que va en el rango de $1-3 \text{ Btu/h} - \text{pie}^2 \text{ } ^\circ\text{F}$, se escoge con esas unidades porque el dimensionamiento se considera en pies.

Tabla 9 : Rangos de Coeficientes de Convección

Condición	$\text{Btu/h} - \text{pie}^2 \text{ } ^\circ\text{F}$	$\text{W/m}^2 \text{ } ^\circ\text{C}$
Aire, convección libre	1 - 3	5 – 15
Aire o vapor sobrecalentado	3 - 50	15 – 300
Aceite, convección forzada	10 - 300	50 –1700
Agua, convección forzada	50- 2000	300 – 12000
Agua, hirviendo	500- 10000	3000 – 55000
Vapor, condensándose	1000 - 20000	5500 - 100000

Es necesario precisar que para cálculo de carga térmica es necesario el valor de coeficiente de convección natural promedio:

- Coeficiente convectivo al interior de la edificación (Conv. natural) = $2 \text{ Btu/h} - \text{pie}^2 \text{ } ^\circ\text{F}$

Para nuestro estudio la temperatura confort humano en el diseño de interiores es de 21-23°C, en el cual hemos considerado una temperatura interior de 23 °C=73.4°F y la temperatura exterior mínima en el centro poblado de Limón de Porcuya es de 13 °C=55.4°F, estas temperaturas de diseño se emplearán en todas las ecuaciones. Calculamos las pérdidas de los siguientes recintos, sin embargo, primero se mostrará a continuación las tablas 10, 11, 12 y 13 para los valores de coeficientes térmicos de diferentes ambientes del establecimiento como para techos, paredes, ventanas de vidrio y puertas.

En la tabla 10 se muestra los coeficientes de transferencia de calor para techos de acuerdo al espesor de cubierta de concreto ligero en condiciones de verano e invierno, para la investigación se seleccionó un coeficiente de $0.09 \text{ Btu/h} - \text{pie}^2 \text{ } ^\circ\text{F}$, ya que el techo de la edificación tiene un espesor de 8 pulgadas en condiciones de invierno.

Tabla 10: Coeficiente global de transferencia de calor en construcción para techos

Construcción	Valor de U(BTU/h-ft²-°F)	
	Verano	Invierno
Techo y cielo raso		
Cubierta de concreto ligera de 4 in sin aislamiento	0.14	0.15
Cubierta de concreto ligera de 6 in sin aislamiento	0.10	0.11
Cubierta de concreto ligera de 8 in sin aislamiento	0.08	0.09

En la tabla 11 se muestra los coeficientes de transferencia de calor para paredes de acuerdo al aislamiento o acabado en condiciones de verano e invierno, para la investigación se seleccionó un coeficiente de $0.24 \text{ Btu/h} - \text{pie}^2 \text{ } ^\circ\text{F}$, ya que las paredes de la edificación no tienen aislamiento en condiciones de invierno.

Tabla 11: Coeficiente global de transferencia de calor en construcción para paredes

Pared	Valor de U(BTU/h-ft ² -°F)	
	Verano	Invierno
Marco con ladrillo de 4 in o acabado de piedra, recubrimiento y acabado interior		
Sin aislamiento	0.24	0.24
Aislamiento R-7	0.09	0.09
Aislamiento R-11	0.07	0.07

En la tabla 12 se muestra los coeficientes de transferencia de calor para ventanas de vidrio de acuerdo al aislamiento o acabado en condiciones de verano e invierno, para la investigación se seleccionó un coeficiente de $0,4278 \text{ Btu/h} - \text{pie}^2 \text{ } ^\circ\text{F}$, ya que especifica la figura de Coeficiente de Conductividad del Aire y del Vidrio.

Tabla 12: Coeficiente global de transferencia de calor para ventanas de vidrio.

Vidrio	Valor de U(BTU/h-ft ² -°F)- Invierno		
	Vidrio sencillo	Vidrio doble o triple	Vidrio doble
Factores de ajuste para paneles verticales y horizontales			
Marco de madera-80% vidrio	0.9	0.95	0.90
Marco de madera-60% vidrio	0.8	0.85	0.80
Marco de metal-80% vidrio	1	1.20	1.20

En la tabla 13 se muestra los coeficientes de transferencia de calor para puertas de acuerdo al tipo de material que está fabricado y espesor en condiciones de verano e invierno, para la investigación se seleccionó un coeficiente de $0,2023 \text{ Btu/h} - \text{pie}^2 \text{ } ^\circ\text{F}$, ya que especifica la figura de Coeficiente de Conductividad del Aire y del Vidrio.

Tabla 13: Coeficiente global de transferencia de calor para puertas.

Puertas	Valor de U(BTU/h-ft²-°F)	
	Verano	Invierno
Madera maciza		
De 1 in de espesor	0.61	0.64
De 1 ½ in de espesor	0.47	0.49
De 2 in de espesor	0.42	0.43
Acero		
De 1 ½ in de espesor con relleno de lana mineral	0.58	0.59
De 1 ½ in de espesor con relleno de poliestireno	0.46	0.47

Determinación de la carga térmica (Primer Piso)

A continuación se muestra las dimensiones del primer piso para los trabajadores del Centro Agropecuario Ecológico Casaya para el cálculo de las cargas térmicas en los ambientes como comedor y sala de ventas:

Figura: Plano del primer piso del centro Agropecuario



Para determinar las pérdidas de transferencia de calor en el primer piso se debe considerar el siguiente análisis de cálculo:

Se debe tener en cuenta que el FPi es un factor de carga térmica para edificaciones, que según (Gonzales, 2007) es de 1,2 para un cálculo más real de cargas térmicas.

$$Q_{\text{primer piso}} = F_{Pi} \text{ (} Q_{\text{construcción del primer piso}} \text{)}$$

$$Q_{\text{comedor}} = Q_{\text{paredes y piso}} + Q_{\text{techo}} + Q_{\text{ventana}} + Q_{\text{puerta}}$$

$$Q_{\text{sala de ventas}} = Q_{\text{paredes y piso}} + Q_{\text{techo}} + Q_{\text{ventana}} + Q_{\text{puerta}}$$

Carga térmica del comedor

Para el análisis del cálculo de carga térmica del comedor se debe tomar en cuenta toda la dimensión del lugar donde podemos encontrar paredes y piso, techo, ventana y puerta, ya que cada dimensión contiene diferente coeficiente térmico que se explico en las tablas 10, 11, 12 y 13, además se considero los parámetros de unidades para las mediciones en pulgadas para un facil manejo de unidades con el coeficiente térmico.

Para encontrar el $Q_{\text{paredes y piso}}$

Superficie exterior:

$$\text{Ancho : } 8 \text{ m} = 26,2467 \text{ ft}$$

$$\text{Largo: } 7,15 \text{ m} = 23,46 \text{ ft}$$

$$\text{Alto: } 3,90 \text{ m} = 12,80 \text{ ft}$$

$$\text{Espesor: } 0,15 \text{ m} = 0,492126 \text{ ft}$$

$$A_2 = A_{\text{piso}} + (A_{\text{pared1}} - A_{\text{ventana}}) + A_{\text{pared2}} + A_{\text{pared3}} + (A_{\text{pared4}} - A_{\text{ventana}} - A_{\text{puerta}})$$

$$A_2 = (26,2467 * 23,46) + ((12,80 * 26,2467) - (6,56 * 3,28)) + (12,80 * 23,46) + (26,2467 * 12,80) + ((23,46 * 12,80) - (6,56 * 3,28) - (3,28 * 9,8425)) = 1812,9221 \text{ ft}^2$$

Superficie Interior:

Según (Gonzales, 2007) para facil manejo de cálculo se debe multiplicar con un factor de 0,9222 para el análisis de superficie interior dentro del cálculo de carga térmica.

$$A_1 = A_2 * 0,9222 = 1671,87671 \text{ ft}^2$$

$$S_{\text{total}} = N^{\circ} \text{paredes} * (\text{Area/espesor}) = 4 (1812,9221 \text{ ft}^2) / 0,492126 \text{ ft} = 14735,4303 \text{ ft}$$

$$Q_{\text{paredes y piso}} = \frac{\Delta T}{\frac{1}{\alpha_1 * A_1} + \frac{1}{kS} + \frac{1}{\alpha_2 * A_2}}$$

$$Q_{\text{paredes y piso}} = \frac{73.4F - 55.4F}{\frac{1}{2 * 1671,8767} + \frac{1}{0.24 * 14735,4303} + \frac{1}{2 * 1812,9221}}$$

$$Q_{\text{paredes y piso}} = 20988,31 \text{ BTU/h}$$

Para encontrar el Qtecho

Ancho : 8 m = 26,2467 ft

Largo: 7,15 m = 23,46 ft

Espesor: 8in = 0,2032 m = 0,666 ft

Superficie exterior:

$$A2 = (26,2467 * 23,46) = 615.7475 \text{ ft}^2$$

Superficie Interior:

$$A1 = A2 * 0.9222 = 567.84 \text{ ft}^2$$

$$\text{Stotal} = N^{\circ}\text{techo} * (\text{Area/espesor}) = 1 (615,7475 \text{ ft}^2) / 0,666 \text{ ft} = 924,5457 \text{ ft}$$

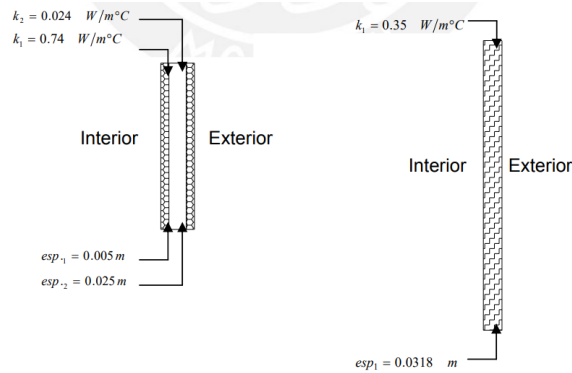
$$Q_{\text{techo}} = \frac{73,4F - 55,4F}{\frac{1}{2 * 567,84} + \frac{1}{0.09 * 924,5457} + \frac{1}{2 * 615,74}}$$

$$Q_{\text{techo}} = 1313,8686 \text{ BTU/h}$$

Para encontrar el Qventana

En la siguiente figura siguiente se muestra la forma de ventanas y puertas dentro de todo la edificación de lugar de dos pisos, ya que se coloca la misma ventana y puerta para cada espacio.

Figura :Coeficiente de Conductividad del Aire y del Vidrio



Area de la ventana:

Ancho: $2\text{m} = 6,56 \text{ ft}$

Largo: $1\text{m} = 3,28 \text{ ft}$

Aventana = $(6,56 * 3,28) = 21.51 \text{ ft}^2$

Espesor del vidrio

ESPvidrio = $0,005\text{m} = 0,0164 \text{ ft}$

Espesor del aire

ESPAire = $0,025\text{m} = 0,08202 \text{ ft}$

Kvidrio

Kvidrio = $0,74 \text{ W/m } ^\circ\text{C} = 0,4278 \text{ BTU/h.ft.}^\circ\text{F}$

Kaire

Kaire = $0,024 \text{ W/m } ^\circ\text{C} = 0,0138 \text{ BTU/h.ft.}^\circ\text{F}$

$$Q_{\text{ventana}} = \frac{21.51 * (73.4F - 55.4F)}{\frac{1}{2} + \frac{0,0164}{0,4278} + \frac{0,08202}{0.013876} + \frac{0,0164}{0,4278} + \frac{1}{2}}$$

$$Q_{\text{ventana}} = 55,4103 \text{ BTU/h}$$

Para encontrar el Qpuerta

Area de la puerta:

Altura: $3\text{m} = 9,8425 \text{ ft}$

Ancho: $1\text{m} = 3,28 \text{ ft}$

$$A_{puerta} = (9,8425 * 3,28) = 32,2834 \text{ ft}^2$$

Espesor de la puerta

$$ESP_{puerta} = 0,0318 \text{ m} = 0,1043 \text{ ft}$$

Kpuerta

$$K_{puerta} = 0,35 \text{ W/m } ^\circ\text{C} = 0,2023 \text{ BTU/h.ft.}^\circ\text{F}$$

$$Q_{puerta} = \frac{32,2834 * (73,4F - 55,4F)}{\frac{1}{2} + \frac{0,1043}{0,2023} + \frac{1}{2}}$$

$$Q_{puerta} = 383,4386 \text{ BTU/h}$$

$$Q_{comedor} = Q_{paredes \text{ y piso}} + Q_{techo} + Q_{ventana} + Q_{puerta}$$

$$Q_{comedor} = 20988,31 + 1313,8686 + 55,4103 + 383,4386$$

$$Q_{comedor} = 22741,0275 \text{ BTU/h}$$

Carga térmica de la Sala de Ventas

Para el análisis del cálculo de carga térmica del comedor se debe tomar en cuenta toda la dimensión del lugar donde podemos encontrar paredes y piso, techo, ventana y puerta, ya que cada dimensión contiene diferente coeficiente térmico que se explico en las tablas 10, 11, 12 y 13, además se considero los parámetros de unidades para las mediciones en pulgadas para un facil manejo de unidades con el coeficiente térmico.

Para encontrar el Qparedes y piso

Superficie exterior:

$$\text{Ancho : } 8 \text{ m} = 26,2467 \text{ ft}$$

$$\text{Largo: } 11,35 \text{ m} = 37,2375 \text{ ft}$$

$$\text{Alto: } 3,90 \text{ m} = 12,80 \text{ ft}$$

$$\text{Espesor: } 0,15 \text{ m} = 0,492126 \text{ ft}$$

$$A_2 = A_{piso} + A_{pared1} + A_{pared2} + (A_{pared3} - A_{puerta}) + (A_{pared4} - 2 * A_{ventana} - A_{puerta})$$

$$A2 = (26,2467*37,2375)+(12,80*26,2467)+(12,80*37,2375)+((26,2467*12,80)-(3,28*9,8425))+((37,2375*12,80) - 2*(4,9212*3,28) - (3,28*9,8425)) = 2505,707151 \text{ ft}^2$$

Superficie Interior:

$$A1 = A2*0,9222 = 2310,7631 \text{ ft}^2$$

$$\text{Stotal} = N^\circ \text{paredes} * (\text{Area/espesor}) = 4 (2505,7071 \text{ ft}^2)/0,492126 \text{ ft} = 20366,3866 \text{ ft}$$

$$Q_{\text{paredes y piso}} = \frac{\Delta T}{\frac{1}{\alpha_1 * A1} + \frac{1}{kS} + \frac{1}{\alpha_2 * A2}}$$

$$Q_{\text{paredes y piso}} = \frac{73,4F - 55,4F}{\frac{1}{2 * 2310,7631} + \frac{1}{0,24 * 20366,3866} + \frac{1}{2 * 2505,707151}}$$

$$Q_{\text{paredes y piso}} = 29009,3313 \text{ BTU/h}$$

Para encontrar el Qtecho

Ancho : 8 m = 26,2467 ft

Largo: 11,35 m = 37,2375 ft

Espesor: 8in = 0,2032 m = 0,666 ft

Superficie exterior:

$$A2 = (26,2467*37,2375) = 977,3614 \text{ ft}^2$$

Superficie Interior:

$$A1 = A2*0,9222 = 901,3226 \text{ ft}^2$$

$$\text{Stotal} = N^\circ \text{techo} * (\text{Area/espesor}) = 1 (977,3614 \text{ ft}^2)/0,666 \text{ ft} = 1467,5096 \text{ ft}$$

$$Q_{\text{techo}} = \frac{73,4F - 55,4F}{\frac{1}{2 * 901,3226} + \frac{1}{0,09 * 1467,5096} + \frac{1}{2 * 977,3614}}$$

$$Q_{techo} = 2099,1498 \text{ BTU/h}$$

Para encontrar el Qventana

Ancho: 1,5 m = 4,9212 ft

Largo: 1 m = 3,28 ft

Aventana = (4,9212*3,28) = 16.1376 ft²

Espesor del vidrio

ESPvidrio = 0,005m = 0,0164 ft

Espesor del aire

ESPAire = 0,025m = 0,08202 ft

Kvidrio

Kvidrio = 0,74 W/m °C = 0,4278 BTU/h.ft.°F

Kaire

Kaire = 0,024 W/m °C = 0,0138 BTU/h.ft.°F

$$Q_{ventana} = \frac{16,1376 * (73.4F - 55.4F)}{\frac{1}{2} + \frac{0,0164}{0,4278} + \frac{0,08202}{0,013876} + \frac{0,0164}{0,4278} + \frac{1}{2}}$$

$$Q_{ventana} = 41,5709 \text{ BTU/h}$$

Para encontrar el Qpuerta

Area de la puerta:

Altura: 3m = 9,8425 ft

Ancho: 2m = 6,56 ft

Apuerta = (9,8425*6.56) = 64,5668 ft²

Espesor de la puerta

ESPpuerta = 0,0318m = 0,1043 ft

Kpuerta

Kpuerta = 0,35 W/m °C = 0,2023 BTU/h.ft.°F

$$Q_{puerta} = \frac{64,5668 * (73,4F - 55,4F)}{\frac{1}{2} + \frac{0,1043}{0,2023} + \frac{1}{2}}$$

$$Q_{puerta} = 766,8772 BTU/h$$

$$Q \text{ sala de ventas} = Q_{paredes \text{ y piso}} + Q_{techo} + Q_{ventana} + Q_{puerta}$$

$$Q \text{ sala de ventas} = 29009,3313 + 2099,1498 + 41,5709 + 766,8772$$

$$Q \text{ sala de ventas} = 31916,9292 BTU/h$$

$$Q_{primer \text{ piso}} = F_{Pi} (Q_{comedor} + Q_{sala \text{ de ventas}})$$

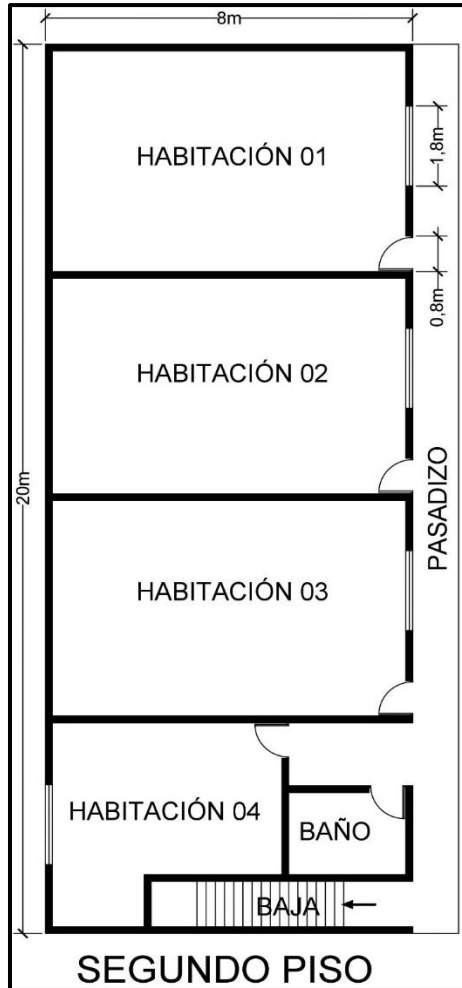
$$Q_{primer \text{ piso}} = 1.2 (22741,0275 + 31916,9292)$$

$$Q_{primer \text{ piso}} = 65589,5480 BTU/h$$

Determinación de la carga térmica (Segundo Piso)

A continuación se muestra las dimensiones del segundo piso para los trabajadores del Centro Agropecuario Ecológico Casaya para el cálculo de las cargas térmicas en los ambientes como habitación 1, 2, 3 y 4. Debemos tener en cuenta que las habitaciones 1, 2 y 3 tienen el mismo dimensionamiento por lo tanto tendrán la misma carga térmica.

Figura: Plano del segundo piso del centro Agropecuario



Para determinar las pérdidas de carga en el segundo piso se debe realizar el siguiente cálculo:

$$Q_{\text{segundo Piso}} = FP_i * (Q_{\text{habitaciones 1,2 y 3}} + Q_{\text{habitación 4}})$$

$$Q_{\text{habitación 1}} = Q_{\text{paredes y piso}} + Q_{\text{techo}} + Q_{\text{ventana}} + Q_{\text{puerta}}$$

$$Q_{\text{habitaciones 1, 2 y 3}} = 3 * Q_{\text{habitación 1}}$$

$$Q_{\text{habitación4}} = Q_{\text{paredes y piso}} + Q_{\text{techo}} + Q_{\text{ventana}} + Q_{\text{puerta}}$$

Calculo para la habitación 1

Para el análisis del cálculo de carga térmica de la habitación 1 se debe tomar en cuenta toda la dimensión del lugar donde podemos encontrar paredes y piso, techo, ventana y puerta, ya que cada dimensión contiene diferente coeficiente térmico que se explico en las tablas 10, 11, 12 y 13, además se considero los parámetros de unidades para las mediciones en pulgadas para un facil manejo de unidades con el coeficiente térmico.

Para encontrar el Qparedes y piso

Ancho : 8 m = 26,2467 ft

Largo: 5,50 m = 18,0446 ft

Alto: 3,90 m = 12,80 ft

Espesor: 0,15 m = 0,492126 ft

Superficie Exterior:

$$A_2 = \text{Apiso} + \text{Apared1} + \text{Apared2} + \text{Apared3} + (\text{Apared4} - \text{Aventana} - \text{Apuerta})$$

$$A_2 =$$

$$(26,2467 * 18,0446) + (12,80 * 26,2467) + (12,80 * 18,0446) + (26,2467 * 12,80) + ((18,0446 * 12,80) - (5,90551 * 3,28) - (2,624 * 9,8425)) = 1562,716 \text{ ft}^2$$

Superficie Interior:

$$A_1 = A_2 * 0,9222 = 1441,1366 \text{ ft}^2$$

$$\text{Stotal} = N^{\circ} \text{paredes} * (\text{Area/espesor}) = 4 (1562,716 \text{ ft}^2) / 0,492126 \text{ ft} = 12701,7552 \text{ ft}$$

$$Q_{\text{paredes y piso}} = \frac{\Delta T}{\frac{1}{\alpha_1 * A_1} + \frac{1}{kS} + \frac{1}{\alpha_2 * A_2}}$$

$$Q_{\text{paredes y piso}} = \frac{73.4F - 55.4F}{\frac{1}{2 * 1441,1366} + \frac{1}{0.24 * 12701,7552} + \frac{1}{2 * 1562,716}}$$

$$Q_{\text{paredes y piso}} = 18009,1725 \text{ BTU/}$$

Para encontrar el Qtecho

Ancho : 8 m = 26,2467 ft

Largo: 5,50 m = 18,0446ft

Espesor: 8in = 0,2032 m = 0,666 ft

Superficie exterior:

$A_2 = (26,2467 * 18,0446) = 473,6112 \text{ ft}^2$

Superficie Interior:

$A_1 = A_2 * 0,9222 = 436,7642 \text{ ft}^2$

Stotal = N°techo * (Area/espesor) = 1 (473,6112 ft²) / 0,666 ft = 711,1279 ft

$$Q_{techo} = \frac{73,4F - 55,4F}{\frac{1}{2 * 436,7642} + \frac{1}{0,09 * 711,1279} + \frac{1}{2 * 473,6112}}$$

$$Q_{techo} = 1010,1010 \text{ BTU/h}$$

Para encontrar el Qventana

Ancho: 1,8m = 5,9055 ft

Largo: 1m = 3,28 ft

Aventana = (5,9055 * 3,28) = 19.37007 ft²

Espesor del vidrio

ESPvidrio = 0,005m = 0,0164 ft

Espesor del aire

ESPAire = 0,025m = 0,08202 ft

Kvidrio

Kvidrio = 0,74 W/m °C = 0,4278 BTU/h.ft.°F

Kaire

Kaire = 0,024 W/m °C = 0,0138 BTU/h.ft.°F

$$Q_{\text{ventana}} = \frac{19.37007 * (73.4F - 55.4F)}{\frac{1}{2} + \frac{0,0164}{0,4278} + \frac{0,08202}{0.013876} + \frac{0,0164}{0,4278} + \frac{1}{2}}$$

$$Q_{\text{ventana}} = \frac{19.37007 * (73.4F - 55.4F)}{\frac{1}{2} + \frac{0.04921}{1} + \frac{0.0328084}{0.013876} + \frac{0.04921}{1} + \frac{1}{2}}$$

$$Q_{\text{ventana}} = 49,8978 \text{ BTU/h}$$

Para encontrar el Qpuerta

Area de la puerta:

Altura: 3m = 9,8425 ft

Ancho: 0,8m = 6,56 ft

Apuerta = (9,8425*2.6246) = 25,8326 ft²

Espesor de la puerta

ESPpuerta = 0,0318m = 0,1043 ft

Kpuerta

Kpuerta = 0,35 W/m °C = 0,2023 BTU/h.ft.°F

$$Q_{\text{puerta}} = \frac{25,8326 * (73,4F - 55,4F)}{\frac{1}{2} + \frac{0,1043}{0,2023} + \frac{1}{2}}$$

$$Q_{\text{puerta}} = 306,8207 \text{ BTU/h}$$

Q habitación1 = Qparedes y piso + Qtecho + Qventana + Qpuerta

Q habitación1 = 18009,1725 + 1010,1010 + 49,8978 + 306,8207

Q habitación1 = 19375,992 BTU/h

Q habitaciones 1, 2 y 3 = 3*Qhabitación1

Q habitaciones 1, 2 y 3 = 58127,976 BTU/h

Calculo para la habitación 4

Para el análisis del cálculo de carga térmica de la habitación 1 se debe tomar en cuenta toda la dimensión del lugar donde podemos encontrar paredes y piso, techo, ventana y puerta,

ya que cada dimensión contiene diferente coeficiente térmico que se explico en las tablas 10, 11, 12 y 13, además se considero los parámetros de unidades para las mediciones en pulgadas para un facil manejo de unidades con el coeficiente térmico.

Para encontrar el Qparedes y piso

Superficie exterior:

Ancho : 5,5 m = 18.0446 ft

Largo: 3,5 = 11,4829 ft

Alto: 3,90 m = 12,80 ft

Espesor: 0,15 m = 0,492126 ft

A2 = Apiso + Apared1 + (Apared2-Aventana) + Apared3 + (Apared4 - Apuerta)

$$A2 = ((18.0446*11.4829)-(6.561*4.9212))+((12,80*18.0446))+((12,80*11,4829)-(5,9055*3,28))+((18.0446 *12.80))+((11,4829 *12.80) -(9,8425*2,6246)) = 887,082 \text{ ft}^2$$

Superficie Interior:

$$A1 = A2*0.9222 = 817,8903 \text{ ft}^2$$

$$\text{Stotal} = N^\circ \text{paredes} * (\text{Area/espesor}) = 4 (887,082\text{ft}^2)/0.492126 \text{ ft} = 7210,2022 \text{ ft}$$

$$Q_{\text{paredes y piso}} = \frac{\Delta T}{\frac{1}{\alpha_1 * A_1} + \frac{1}{kS} + \frac{1}{\alpha_2 * A_2}}$$

$$Q_{\text{paredes y piso}} = \frac{73.4F - 55.4F}{\frac{1}{2 * 817,8903} + \frac{1}{0.24 * 7210,2022} + \frac{1}{2 * 887,082}}$$

$$Q_{\text{paredes y piso}} = 9426.3046 \text{ BTU/h}$$

Para encontrar el Qtecho

Ancho : 5,5 m = 18,0446 ft

Largo: 3,5 m = 11,4829 ft

Espesor: 8in = 0,2032 m = 0,666 ft

Superficie exterior:

$$A2 = (18,0446 * 11,4829) - (6,561 * 4,9212) = 174,9163 \text{ ft}^2$$

Superficie Interior:

$$A1 = A2 * 0,9222 = 161,3078 \text{ ft}^2$$

$$\text{Stotal} = N^\circ \text{techo} * (\text{Area/espesor}) = 1 (174,9163 \text{ ft}^2) / 0,666 \text{ ft} = 262,637 \text{ ft}$$

$$Q_{\text{techo}} = \frac{73,4F - 55,4F}{\frac{1}{2 * 161,3078} + \frac{1}{0,09 * 262,637} + \frac{1}{2 * 174,9163}}$$

$$Q_{\text{techo}} = 373,4439 \text{ BTU/h}$$

Para encontrar el Qventana

$$\text{Ancho: } 1,8\text{m} = 5,9055 \text{ ft}$$

$$\text{Largo: } 1\text{m} = 3,28 \text{ ft}$$

$$\text{Aventana} = (5,9055 * 3,28) = 19,37007 \text{ ft}^2$$

Espesor del vidrio

$$\text{ESPvidrio} = 0,005\text{m} = 0,0164 \text{ ft}$$

Espesor del aire

$$\text{ESPaire} = 0,025\text{m} = 0,08202 \text{ ft}$$

Kvidrio

$$K_{\text{vidrio}} = 0,74 \text{ W/m } ^\circ\text{C} = 0,4278 \text{ BTU/h.ft.}^\circ\text{F}$$

Kaire

$$K_{\text{aire}} = 0,024 \text{ W/m } ^\circ\text{C} = 0,0138 \text{ BTU/h.ft.}^\circ\text{F}$$

$$Q_{\text{ventana}} = \frac{19,37007 * (73,4F - 55,4F)}{\frac{1}{2} + \frac{0,0164}{0,4278} + \frac{0,08202}{0,013876} + \frac{0,0164}{0,4278} + \frac{1}{2}}$$

$$Q_{\text{ventana}} = \frac{19,37007 * (73,4F - 55,4F)}{\frac{1}{2} + \frac{0,04921}{1} + \frac{0,0328084}{0,013876} + \frac{0,04921}{1} + \frac{1}{2}}$$

$$Q_{\text{ventana}} = 49,8978 \text{ BTU/h}$$

Para encontrar el Qpuerta

Area de la puerta:

$$\text{Altura: } 3\text{m} = 9,8425 \text{ ft}$$

$$\text{Ancho: } 0,8\text{m} = 6,56 \text{ ft}$$

$$\text{Apuerta} = (9,8425 * 2.6246) = 25,8326 \text{ ft}^2$$

Espesor de la puerta

$$\text{ESPpuerta} = 0,0318\text{m} = 0,1043 \text{ ft}$$

Kpuerta

$$K_{\text{puerta}} = 0,35 \text{ W/m } ^\circ\text{C} = 0,2023 \text{ BTU/h.ft.}^\circ\text{F}$$

$$Q_{\text{puerta}} = \frac{25,8326 * (73,4F - 55,4F)}{\frac{1}{2} + \frac{0,1043}{0,2023} + \frac{1}{2}}$$

$$Q_{\text{puerta}} = 306,8207 \text{ BTU/h}$$

$$Q_{\text{habitaci3n4}} = Q_{\text{paredes y piso}} + Q_{\text{techo}} + Q_{\text{ventana}} + Q_{\text{puerta}}$$

$$Q_{\text{habitaci3n4}} = 9426,3046 + 373,4439 + 49,8978 + 306,8207$$

$$Q_{\text{habitaci3n4}} = 10156,467 \text{ BTU/h}$$

$$Q_{\text{segundo Piso}} = \text{FPi} * (Q_{\text{habitaciones 1,2 y 3}} + Q_{\text{habitaci3n 4}})$$

$$Q_{\text{segundo Piso}} = 1.2 * (58127,976 + 10156,467)$$

$$Q_{\text{segundo Piso}} = 81941,3316 \text{ BTU/h}$$

Carga Térmica Total

La carga térmica requerida para mantener una temperatura promedio de 23°C al interior de la casa y 13°C al exterior del inmueble de dos pisos:

$$Q_{\text{total}} = Q_{\text{primer piso}} + Q_{\text{segundo piso}}$$

$$Q_{\text{total}} = 65589,5480 + 81941,3316$$

$$Q_{\text{total}} = 147530,8796 \text{ BTU/h}$$

$$Q_{\text{total}} = 43.2368 \text{ kW}$$

3.2. CÁLCULOS PARA EL DIMENSIONAMIENTO DEL BIODIGESTOR.

Para el presente proyecto y el dimensionamiento del biodigestor, tomaremos las siguientes bases técnicas, es decir: determinaremos las cantidades exactas de materia orgánica que requerimos procesar y partir de ello calcular la producción de biogás y el biol, para lo cual debemos tener en cuenta lo siguiente:

- Tipo de animal de que se origina el estiércol y el número aproximado de ellos mismos.
- Disponibilidad de materias primas (estiércol) en la propiedad.

3.2.1. Cantidad total del estiércol.

La materia orgánica que se empleó en este proyecto de investigación fue el estiércol fresco de cuy, recolectado de la granja “Centro Agropecuario Ecológico Casaya”, ubicada en el centro poblado de Limón de Porcuya – Distrito Huarmaca.

(Vega Arquíno, 2015) el sustrato realizado en las pruebas experimentales en el trabajo de Aquino y obteniendo los siguientes resultados para iniciar el proceso de fermentación dentro del biodigestor, tienen las siguientes características:

Relación C/N.....	14
Valor pH.....	7
Presión.....	1 atm, 1.013 bar
Relación de mezcla con agua.....	1:3

Estos datos serán empleados en los siguientes cálculos para determinar los siguientes parámetro.

3.2.1.1. Cantidad total del estiércol(C_T).

Para determinar la cantidad de estiércol, se tiene en cuenta la cantidad de animales que posee la granja, en el cual será especificado en la tabla 9. Estos datos se obtuvo al realizar una encuesta al personal que labora en dicha granja, en el cual se especifica por el número de animales y su peso.

Tabla 14: *Características del cuy.*

Tamaño	N°. Cantidad	Peso/Unidad - (Kg)
Nacimiento	128	0,1033
Destete(14 días)	178	0,2044
A los 56 días	254	0,5398
Hembra al empadre(112 días)	420	0,54
Macho al empadre(112 días)	420	0,7
Adulto	800	1,2
Total=	2200	3,2875

Fuente: Autores

En la tabla 5 se muestra la producción de estiércol fresco diario de diferentes animales por cada 100 Kg de peso vivo por animal, estos datos nos servirá para determinar la cantidad de estiércol diario que produce el cuy para los diferentes tamaños que será especificado en la tabla 10. Para determinar la cantidad de estiércol por día y por un animal se empleará la siguiente ecuación:

$$\text{Cantidad de estiércol por día} = \frac{0.1033 \cdot 3}{100} \dots\dots\dots \text{EC.14}$$

Tabla 15: *Cantidad de estiércol de cuy por día y por cada animal*

Tamaño	Peso(Kg)	Cantidad de estiércol por cada 100Kg de peso vivo del animal	Cantidad de estiércol por día(M_d) – (Kg)
Nacimiento	0.1033	3	0.0031
Destete(14 días)	0.2044	3	0.0061
A los 56 días	0.5398	3	0.0162
Hembra al empadre(112 días)	0.54	3	0.0162
Macho al empadre(112 días)	0.7	3	0.0210
Adulto	1.2	3	0.0360

Fuente: Autores

Una vez determinada la cantidad de estiércol por día, procederemos a calcular la cantidad total de estiércol mediante la siguiente ecuación 1:

$$C_T = N * Md$$

Donde:

N= Cantidad de animales, que proporcionan el estiércol.

Md=Cantidad de estiércol, que produce cada animal(Kg-est/día).

A continuación calcularemos de acuerdo a su tamaños de cuyes que existen en la granja:

- ***Nacimiento.***

Se calcula la cantidad total de estiércol de nacimiento($C_{T.NACIMIENTO}$) mediante la siguiente ecuación(ver tabla 9 y 10):

$$C_{T.NACIMIENTO} = N * Md$$

$$C_{T.NACIMIENTO} = 128 * 0.0031$$

$$C_{T.NACIMIENTO} = 0.3968 \text{ kg – est/día}$$

Donde:

N=128 animales de cuy.

Md=0.0031 Kg-est/día

- ***Destete.***

La cantidad total del estiércol de destete($C_{T.DESTETE}$), se determina mediante la siguiente ecuación:

$$C_{T.DESTETE} = N * Md$$

$$C_{T.DESTETE} = 178 * 0.0061$$

$$C_{T.DESTETE} = 1.0858 \text{ kg – est/día}$$

Donde:

N=178 animales de cuy.

Md=0.0061 Kg-est/día

- **A los 56 días.**

La cantidad total del estiércol($C_{T.ALOS\ 56\ DÍAS}$), se determina mediante la siguiente ecuación:

$$C_{T.56\ DÍAS} = N * Md$$
$$C_{T.56\ DÍAS} = 254 * 0.0162$$
$$C_{T.56\ DÍAS} = 4.1148\text{ kg} - \text{est/día}$$

Donde:

N=254 animales de cuy.

Md=0.0162 Kg-est/día

- **Hembra al empadre.**

La cantidad total del estiércol($C_{T.HEMBRA}$), se determina mediante la siguiente ecuación:

$$C_{T.HEMBRA} = N * Md$$
$$C_{T.HEMBRA} = 420 * 0.0162$$
$$C_{T.HEMBRA} = 6.804\text{ kg} - \text{est/día}$$

Donde:

N=420 animales de cuy.

Md=0.0162 Kg-est/día

- **Macho al empadre.**

La cantidad total del estiércol($C_{T.MACHO}$), se determina mediante la siguiente ecuación:

$$C_{T.MACHO} = N * Md$$
$$C_{T.MACHO} = 420 * 0.0210$$
$$C_{T.MACHO} = 8.82\text{ kg} - \text{est/día}$$

Donde:

N=420 animales de cuy.

Md=0.0210 Kg-est/día

- **Adulto.**

La cantidad total del estiércol($C_{T.ADULTO}$), se determina mediante la siguiente ecuación:

$$C_{T.ADULTO} = N * Md$$

$$C_{T.ADULTO} = 800 * 0.036$$

$$C_{T.ADULTO} = 28.8 \text{ kg} - \text{est/día}$$

Donde:

$N=800$ animales de cuy.

$Md=0.036$ Kg-est/día

Una vez obtenido los datos de la cantidad de estiércol por día que produce los animales de diferentes tamaños, se procede a determinar la cantidad total de estiércol(C_T) que produce por día mediante la siguiente ecuación:

$$C_T = C_{T.NACIMIENTO} + C_{T.DESTETE} + C_{T.56 \text{ DÍAS}} + C_{T.HEMBRA} + C_{T.MACHO} + C_{T.ADULTO}$$

$$C_T = 0.3968 + 1.0858 + 4.1148 + 6.804 + 8.82 + 28.8$$

$$C_T = 50.02 \text{ Kg} - \text{est/día}$$

Donde:

C_T es la cantidad total de estiércol por días de todos los diferente tamaños(Kg-est/día).

Po lo tanto la cantidad total estiércol de cuy por día que produce en la granja es de 50.02 Kg-est/día.

3.2.1.2. *Cantidad de mezcla(C_M).*

Para este caso la mezcla del estiércol de cuy y de agua se considerará una proporción de 1:3, donde la mezcla se utilizará por 1 Kg de estiércol se usará 3 Kg de agua, teniendo base de los antecedentes en la sección 4.1.1.

La cantidad de mezcla se determina mediante la siguiente ecuación 2:

$$C_M = (1 + m) * C_T$$

$$C_M = ((50 * 1)\text{Kg} - \text{est/día}) + ((50 * 3)\text{Kg} - \text{agua/día})$$

$$C_M = 200\text{Kg} - \text{mezcla/día}$$

Donde:

C_T = cantidad total del estiércol(Kg-est/día)

m= relación de mezcla 1:3

Por lo tanto la cantidad de mezcla a utilizar por día es 200 Kg-mezcla/día.

3.2.2. Volumen del biodigestor(V_d).

Para determinar el volumen del biodigestor, se consideró el tiempo de retención hidráulico(θ) según la tabla 3, en el cual la temperatura ambiente en el centro poblado de Limón de Porcuya está entre un promedio de 15-20°C. Por lo tanto se considera un $\theta=50$ días y además se considera la cantidad de mezcla.

Teniendo como datos el θ y la C_M , procedemos a calcular mediante la siguiente ecuación 3:

$$V_d(m^3) = (\theta * C_M)/1000$$

$$V_d(m^3) = (50 * 200)/1000$$

$$V_d(m^3) = 10m^3$$

Donde:

C_M =Cantidad de mezcla (200Kg-mezcla/día)

θ =Tiempo de retención hidráulico (50días)

Por lo tanto el volumen del biodigestor es de 10m³.

3.2.3. Producción de biogás por día(G).

En este caso para determinar la producción del biogás en el biodigestor, se tomó en cuenta la tabla 11 y a partir de ello se determinan la productividad de Biogás con relación a la cantidad de estiércol (Y), la cual es de 0.03 m³ de Biogás/ Kg -est, (Vega Arquino, 2015).

Tabla 16: *Producción de biogás.*

Cantidad de estiércol por animal	Producción de biogás(m ³)
1Kg. De estiércol bovino	0.038
1Kg. De estiércol de ave	0.035
1Kg. De estiércol porcino	0.043
1Kg. De estiércol vegetales	0.040

Fuente: (Vega Arquiño, 2015)

La producción de biogás se calcula mediante la siguiente ecuación:

$$G(m^3) = C_M * Y$$

$$G(m^3) = 200 * 0.03$$

$$G(m^3) = 6m^3/día$$

Donde:

C_M = Cantidad de mezcla (200Kg-mezcla/día)

Y = Productividad de Biogás ($0.03m^3 /kg$ -est)

Además, se debe añadir un margen de seguridad (F) que esta entre 5-10%, de la cual se consideró un margen del 10% y se calcula mediante la siguiente ecuación:

$$Gt(m^3) = G + (G * F)$$

$$Gt(m^3) = 6 + (6 * 0.1)$$

$$\mathbf{Gt(m^3) = 6.6 m^3/día}$$

Donde:

G = Producción de Biogás por día ($6m^3 /día$)

F =Factor de seguridad (5-10%)

Por lo tanto, la producción de biogás por día en el biodigestor es de $6.6 m^3/día$

Para un mejor análisis para la selección del mejor tipo o modelo de biodigestor de acuerdo a los datos obtenidos en la investigación, se analizarán los tres tipos o modelos de biodigestores más utilizados en la actualidad que son el Chino, Indiano y Tubular u Horizontal; tomando en cuenta los 4 sectores mas necesarios para la selección del biodigestor como manejo en la instalación, vida útil, Costo de Adquisición y Mantenimiento, donde cada una cuenta con variables y ponderados, donde el menor ponderado tiene las mejores recomendaciones para cada sector.

Tabla 17 : Evaluación técnica en base a ponderados para la selección del biodigestor

Sector	Variables	Valor	Tipos de Biodigestores		
			Chino	Indiano	Tubular u Horizontal
A	Manejo en la Instalación				
	Facil	0			
	Moderada	2	2		
	complicada	4		4	4
B	Vida Útil				
	<2años	6			
	5años	4			
	10años	2		2	2
	20años	0	0		
C	Costo de Adquisición				
	Económico	0			
	Moderado	2	2		2
	Costoso	4		4	
D	Mantenimiento				
	Facil	0			0
	Regular	2	2		
	Difícil	4		4	
Total			6	14	8

En conclusión, luego de un análisis de la tabla 17, el tipo o modelo de biodigestor con menor ponderado y que reúne las características ideales para la investigación es el biodigestor Chino, por una moderada instalación, una vida útil de 20 años, un costo de adquisición moderado y un mantenimiento regular, es el indicado para el proyecto de investigación.

3.2.4. Diseño del biodigestor tipo chino.

Teniendo como dato el volumen de la mezcla del Biodigestor (10m^3), la carga térmica total calculada en el lugar de dos pisos es de 43.2368 kWh, Con esta demanda, la turbina de gas debe sobredimensionarse para brindar una mayor capacidad que la actual, de manera que pueda dar respuesta a demandas futuras, al ampliar el proyecto en sus diferentes fases.

Con un poder calorífico de $6,5 \text{ kWdía} / \text{m}^3$, Souza (2004) plantea que para generar 43.2368 kWh será necesario generar $6.6 \text{ m}^3 / \text{día}$ de biogás.

determinaremos mediante cálculo el diseño y dimensiones de todas sus partes, para obtener un diseño final. En la figura 17 muestra la forma geométrica del biodigestor semicontinuo.

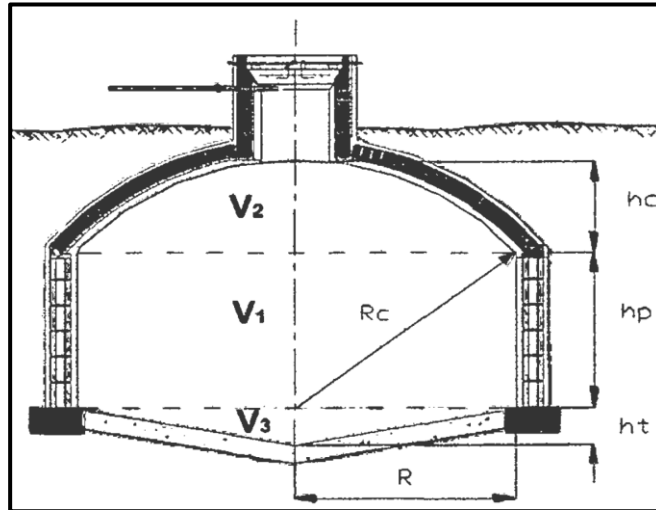


Figura 16: Esquema del biodigestor semicontinuo.
Fuente: (Vega Arquíno, 2015)

Determinaremos los siguiente:

3.2.4.1. Radio base del biodigestor(R).

Como se muestra en la figura 17. calcularemos el radio base mediante la siguiente ecuación:

$$R = \sqrt{\frac{V_d}{\pi * 1.121}}$$

$$R = \sqrt{\frac{10}{\pi * 1.121}}$$

$$R = 1.69\text{m}$$

$$R = 1690\text{mm}$$

Luego hallaremos U, mediante la siguiente ecuación:

$$U = \frac{R}{4}$$

$$U = \frac{1.69}{4}$$

$$U = 0.4225\text{m}$$

$$U = 422.5\text{mm}$$

Donde:

U= Valor de unidad que realiza el dimensionamiento proporcional del resto de los elementos geométricos.

3.2.4.2. *Cálculo de la campana.*

En este caso se tendrá en cuenta para el desarrollo del cálculo la altura de la campana(H_C) y el volumen de la campana(V_2), además en la valor U(unidad). Se tomará como referencia la figura 17.

- **Altura de la campana(H_C).**

Se calcula la altura de la campana mediante la siguiente ecuación:

$$H_C = U * 2$$

$$H_C = 0.4225 * 2$$

$$H_C = 0.845\text{m}$$

$$H_C = 845\text{mm}$$

- **Volumen parcial de la campana(V_2)**

Para calcular el volumen parcial de la campana, primero tendríamos que calcular el radio de la cúpula(R_C) mediante la siguiente ecuación:

$$R_C = 6 * U$$

$$R_C = 6 * 0.4225$$

$$R_C = 2.535\text{m}$$

$$R_C = 2535\text{mm}$$

Entonces determinamos el volumen parcial de la campana mediante la siguiente ecuación:

$$V_2 = H_C^2 * \pi * \left(R_C - \frac{H_C}{3} \right)$$

$$V_2 = (0.845)^2 * \pi * \left(2.535 - \frac{0.845}{3} \right)$$

$$V_2 = 5.055\text{m}^3$$

3.2.4.3. Cálculo del cono base.

Se considerará para el cálculo la altura de la base cónica(H_T) y el volumen del cono base(V_3), correspondiente a la figura 17.

- **Altura del cono base(H_T).**

Primero se calcula el diámetro(D), mediante la siguiente ecuación:

$$D = 8 * U$$

$$D = 8 * 0.4225$$

$$D = 3.38\text{m}$$

$$D = 3380\text{mm}$$

Ahora calcularemos H_T , utilizando la siguiente ecuación:

$$H_T = 0.15 * D$$

$$H_T = 0.15 * 3.38$$

$$H_T = 0.507\text{m}$$

$$H_T = 507\text{mm}$$

- **Volumen parcial de la base(V_3).**

Teniendo como datos el R y H_T , procedemos a calcular el volumen parcial de la base mediante la siguiente ecuación:

$$V_3 = R^2 * \pi * \left(\frac{H_T}{3}\right)$$

$$V_3 = (1.69)^2 * \pi * \left(\frac{0.507}{3}\right)$$

$$V_3 = 1.52\text{m}^3$$

3.2.4.4. Cálculo de la pared del biodigestor.

Se sabe que el volumen del biodigestor(V_d) es igual al volumen parcial que contendrá el sustrato(V_1) a introducir el biodigestor(ver figura 17). Por lo tanto se define lo siguiente:

$$V_d = V_1$$

$$V_1 = 10\text{m}^3$$

Ahora determinamos la altura de la pared(H_P) mediante la siguiente ecuación(ver figura 17):

$$V_1 = R^2 * H_P * \pi$$

$$H_p = \frac{V_1}{R^2 * \pi}$$

$$H_p = \frac{10}{(1.69)^2 * \pi}$$

$$H_p = 1.11\text{m}$$

$$H_p = 1110\text{mm}$$

Por lo tanto calculamos el volumen global(V_T), utilizando la siguiente ecuación:

$$V_T = V_1 + V_2 + V_3$$

$$V_T = 10 + 5.055 + 1.52$$

$$V_T = 16.575\text{m}^3$$

En la tabla 17 se muestra la recopilación de datos del diseño de dimensionamiento del biodigestor modelo chino que tiene una capacidad de biodigestor de 6.6 ($\text{m}^3 / \text{día}$) que necesita para poder suministrar el calor suficiente para la calefacción de la edificación de dos pisos que anteriormente se hizo el cálculo de carga térmica.

Tabla 18: Valores de dimensionamiento del biodigestor modelo chino

Número de biodigestores propuestos	1
Capacidad del Biodigestor ($\text{m}^3 / \text{día}$)	6.6
Biodigestor modelo Chino	
$V_b = V_1$ - Volumen del biodigestor (m^3)	10
R - Radio base del biodigestor (m)	1.69
H_c - Altura de la campana (m)	0.845
R_c - Radio de la cúpula (m)	2.535
V_2 - Volumen parcial de la campana (m^3)	5.055
H_T - Altura del cono base (m)	0.507
V_3 - Volumen parcial de la base (m^3)	1.52
H_p - Altura de la pared (m)	1.11
V_T - Volumen global (m^3)	16.575

Metodología de recolección de residuos

La forma de recolección de residuos determinará el rendimiento en la producción de biogás, como se verifica en un estudio realizado por Lucas Junior (1994), quien estudió el desempeño del estiércol de cuyes, recolectado en diferentes condiciones.

- **Nuevo**

Cuando se recolecta directamente de las bahías y se coloca en el biodigestor;

- **Pre-fermentado**

Según (Castillo & Tito, 2011) Cuando se recolecta, se almacena en contenedores de estiércol, permaneciendo en un período que puede llegar hasta los 81 días;

- **Secar al aire**

Cuando se recolecta y seca al aire libre;

(Castillo & Tito, 2011) afirma que el estiércol de cuyes, cuando la prefermentación en un biodigestor, sufre reducciones en el contenido de sólidos volátiles por encima del 77%. El sistema de prefermentación en el estiércol, que ofrece mejores condiciones para la producción de biogás junto a él, viene el sistema de secado al aire libre y finalmente la recolección directa, que es el sistema de recolección de fresco. Sin embargo, el mejor rendimiento en la producción de biogás se obtuvo con contenidos de inóculo en torno al 15% de materia seca, en estiércol fresco y secado al aire.

El sistema a implementar será el sistema de recolección es el prefermentado, considerando que se trata de un proyecto ambiental, y que su objetivo, además de producir biogás, es incentivar proyectos de bioseguridad. La generación de biogás es un aprovechamiento de los residuos disponibles, debido a la actividad que se realizará en el centro agropecuario.

Tiempo de retención hidráulica de TRH

Cada tipo de residuo necesita una cierta cantidad de tiempo para que se fermente completamente dentro de la cámara de biodigestión. Este tiempo corresponde al tiempo necesario para que se reponga toda la carga dentro de un biodigestor. Así, conociendo la capacidad y estableciendo el tiempo de retención del biodigestor, es fácil determinar la cantidad de residuo diluido que se debe colocar en el sistema diariamente.

$$CD (L) = (CB (\text{metro}^3) / TRH (\text{días})) * 1000$$

$$CD (L) = (10 / 50) * 1000 = 200 L$$

Donde:

Cd = Carga diaria;

CB = capacidad del biodigestor = 10 m³

TRH = tiempo de retención hidráulica = 50 días

Se espera una producción de 10 m³ / día de biogás. Es necesario aprovechar al máximo esta producción para generar energía. Combinando los dos sistemas, la valoración económica resultante se presenta en el Cuadro 19. Los dos sistemas se simularon de manera que el sistema Turbina / Biogás y el sistema Motor / Generador Diesel se combinen, en tres situaciones de demanda, para cada sistema.

Evaluación Técnica para un sistema de Motor/Generador Diesel

En el capítulo anterior de la investigación se muestra la carga térmica necesaria para la calefacción de la edificación donde habitan los trabajadores, obteniendo una carga total de 43,2368 kW. Por efectos de cálculo de la carga eléctrica actual se ha considerado un 20% de más, sobre la carga total, para incluir esta ampliación y los nuevos equipos que hayan sido instalados:

Multiplicando:

$$120\% * 43,2368 \text{ kW} * (24\text{h} / 1\text{día}) * (365 \text{ días} / 1\text{año}) = E_{\text{Diesel}}$$

Con lo anterior podemos obtener la energía eléctrica consumida en un año de trabajo en la actualidad, la cual es de:

$$E_{\text{Diesel}} = 454505,2416 \text{ kW-h}$$

Para poder generar esa cantidad de energía eléctrica, un grupo electrógeno Caterpillar-Olympian modelo GEP65-7 debe consumir la siguiente cantidad de combustible al año:

$$V_{\text{Diesel}} = \frac{\frac{E_{\text{Eléctrica}}}{n_{\text{motor}} * n_{\text{generador}}} * \frac{3600 \text{ kJ}}{1 \text{ kW-h}}}{PC_{\text{Diesel}} * p_{\text{Diesel}}} * \frac{1000 \text{ L}}{1 \text{ m}^3}$$

Debemos tener en cuenta que según (Gonzales, 2007) la eficiencia del motor Diesel es 0,33 y la eficiencia del generador es 0,91:

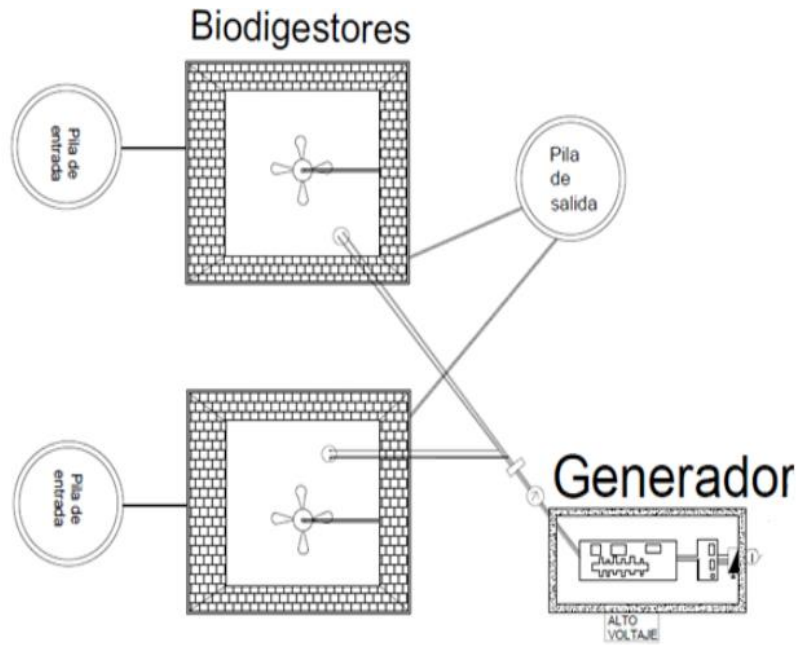
$$V_{\text{Diesel}} = \frac{\frac{454505,2416 \text{ kW-h}}{0,33 * 0,91} * \frac{3600 \text{ kJ}}{1 \text{ kW-h}}}{42567 \frac{\text{kJ}}{\text{kg}} * 852,06 \text{ kg/m}^3} * \frac{1000 \text{ L}}{1 \text{ m}^3}$$

$$V_{\text{Diesel}} = 18015,3297 \text{ L/año}$$

Evaluación Técnica para un sistema de turbina de gas

Se realizará la selección del tipo de turbina a utilizar, como es la cantidad de metros cúbicos con los que se cuenta estos son 10 m³ de biogás. A continuación, se mostrará un ejemplo de como una turbina de gas se conecta a tuberías de biogás en la figura 18, es importante conocer que para la selección del tipo de turbina se debe conocer la cantidad de biogás que consume para la generación de energía eléctrica.

Figura 18: Turbina de gas conectada a tuberías de biogás



Especificaciones de turbina a gas y ventajas de su implementación

- Potencia nominal de entre 10kw a 500kw.
- Bajo costo de operación: el gas natural tiene una reserva de riquezas con un bajo costo y de alta tasas de retorno.
- De alta rentabilidad: bajo costo de operación, el suministro de electricidad y energía térmica en el mismo tiempo, bajo costo de mantenimiento.
- El consumo de gas: menos de un metro cúbico 0.33 m³/kwh.

Cálculos para determinar el tipo de turbina a gas a utilizar

Consumo de la unidad generadora a base de biogás

Cantidad de biogás:

$$V = 10 \text{ m}^3$$

Consumo de biogás

$$E = V/Q$$

Nota: consumo de gas para una turbina $Q = 0,33 \text{ m}^3/\text{kW-h}$

$$E = 10 / 0,33 = 30,30 \text{ kW-h}$$

Tabla 19: Evaluación económica de los escenarios analizados

Turbina/Sistema de biogás		
Gasto	Inversión en el primer Año (\$)	Inversión en los próximos años (\$)
Biodigestores	5,400.00	0
Sistema de filtración	200.00	0
Gastos del grupo Generador	1,000.00	0
Gastos generales	1,334.30	1,384.30
Turbina/Biogás	1,000.00	0
Impuestos	506	506
Total	9,440.30	1890.3
Motor/Sistema de generador eléctrico diésel		
Gasto	Inversión en el primer Año (\$)	Inversión en los próximos años (\$)
Gastos del grupo Generador	1,000	0,0
Gastos con combustible / Diesel	104.3	104.3
Gastos generales	200	200
Total	1,304	304.3

(*) Valor repetido durante los siguientes 9 años, ya que la vida útil estimada es 10 años.

Capitulo IV

DISCUSIÓN

IV. DISCUSIÓN.

A partir de los hallazgos encontrados, de acuerdo al problema de investigación planteado ¿Cuáles serán las configuraciones geométricas que permitan un óptimo diseño de un sistema de calefacción a partir del biogás producido por el estiércol de *Cavia porcellus* en el “Centro Agropecuario Ecológico Casaya”?, así como al objetivo general y específicos, se obtuvo el siguiente análisis para los resultados, como el cálculo para el dimensionamiento del sistema de calefacción donde habita el personal del Centro Agropecuario Ecológico Casaya que se utilizaron los planos de la edificación de dos pisos, para luego poder obtener las cargas térmicas de los dos pisos de la edificación como de paredes, piso, techo, ventanas, puerta, entre otros; obteniendo una carga térmica total de 43,2368 kW. Luego para el cálculo del dimensionamiento del biodigestor primero se tuvo que analizar la cantidad de estiércol de cuy y con esto la cantidad de mezcla que se genera para poder tener el volumen total del biodigestor que resulto es de 10m³ y la producción de biogás por día que resulto 6,6 m³/día, con estos dos datos anteriores se puede escoger el tipo de biodigestor que se requiere para ese volumen de 10 m³, donde se escogió un diseño de tipo chino y poder obtener el cálculo de las partes del biodigestor seleccionado.

Finalmente, la metodología para recolección de residuos es a través del pre fermentado para una producción máxima de 10 m³/día de biogás debido al volumen máximo del biodigestor que es de 10m³, debemos tener en cuenta que la producción estándar base a través de los cálculos es de 6,6 m³/día para el aumento de esta producción debería haber mayor cantidad de cuyes en el centro agropecuario, los sistemas para simular o aprovechar este biogás es a través Turbina/Biogás y Sistema Motor/Generador Diesel, analizando luego una evaluación económica de estos sistemas.

Esta producción de biogás de 6,6 m³/día generado a través del estiércol de cuy en comparación con una producción mayor de biogás depende mucho del tipo y cantidad de estiércol se genera como por ejemplo los porcinos, obtienen otro tipo de biodigestor como un Indiano que trabaja para mayores volúmenes de estiércol. Recordar que cada tipo diferente de estiércol produce una variación de calorías por kilogramo de energía.

Capítulo V

CONCLUSIONES

V. CONCLUSIONES

- Se realizó un análisis de la cantidad total de estiércol de los 2200 cuyes, considerando cada tamaño de madurez del cuy, obteniendo 50.02 Kg-est/día, que fue necesario para dimensionar el volumen del biodigestor.
- Se realizó un cálculo de las cargas térmicas del Centro Agropecuario Ecológico Casaya, que se consideró las medidas metradas de acuerdo a los planos en los anexos del trabajo del primer y segundo piso, obteniendo una carga total de 43,2368 kW.
- Se diseñó un biodigestor de tipo chino porque reúne las características necesarias luego de un análisis técnico de ponderados en la tabla 17 para la selección del biodigestor, donde su mejor atributo fue los 20 años de vida útil que tiene, así como buenas condiciones en los 4 sectores de análisis y reúne el menor ponderado esperado en análisis.
- Tomando en cuenta la carga total de 43,2368 kW para la calefacción, se tiene una energía eléctrica consumida al año de 454505,2416 kW-h para abastecer a un motor Diesel y pueda consumir de combustible al año de 18015,3297 L/año.

VI. RECOMENDACIONES

- Para una mayor generación de biogás, se debe obtener mayor cantidad de estiércol provisto de lo normal de cualquier animal ya sea cuyes, porcinos, vacas, entre otros; para una mayor producción de electricidad o el uso que se le quiera dar a la energía que produce el estiércol.
- El volumen del biodigestor se debe calcular luego de un análisis energético de la cantidad de estiércol que se genera dentro de una granja, así como también poder seleccionar el volumen del biodigestor ideal.
- La selección del biodigestor debe estar de acuerdo a las necesidades de utilización dentro de cualquier granja para un correcto funcionamiento, realizando un análisis técnico de ponderados de tipos o modelos de biodigestores.
- La carga térmica es muy importante para poder encontrar la energía que se necesita dentro de cualquier sistema ya sea motor, turbina, entre otros.

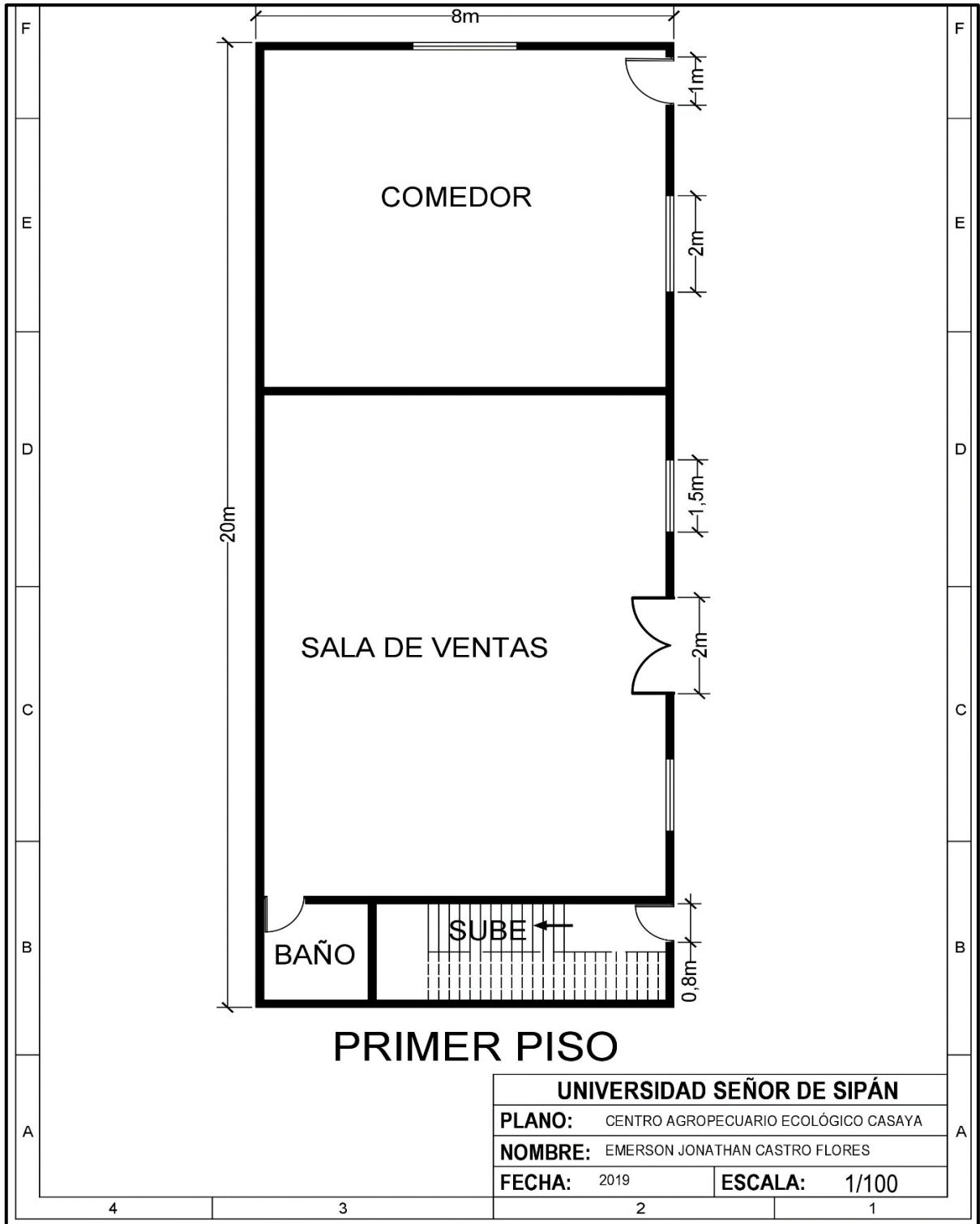
VII. REFERENCIAS.

- Morales Alberto, M., Isabel Sosa, M., & Boucíguez, A. (2017). Evaluación de un Sistema de Calefacción Solar - Eléctrico aplicado a un Digestor Anaeróbico enterrado. *Congreso Latinoamericano de Generación y Transmisión de Electricidad*, 7.
- ANSI/ASHARE. (2013). *ANSI/ASHARE 55, Condiciones ambientales térmicas para la ocupación humana*. Estados Unidos: ASHARE.
- Cengel, Y. (2007). *Transferencia de calor y masa*. México: McGraw-Hill.
- García Zabaleta, R. S., Alamo Viera, M. V., & Marcelo Aldana, M. D. (2017). Diseño de un biodigestor tubular para zonas rurales de la región Piura. *Simposio Peruano de Energía Solar y del Ambiente*, 22.
- García Zabaleta, R. S., Alamo Viera, M. V., & Marcelo Aldana, M. D. (2017). Diseño de un bio-digestor tubular para zonas rurales de la región Piura. *Universidad de Piura*, 22.
- Javier André, F., De Castro, L. M., & Cerdá, e. (2012). Las energías renovables en el ámbito internacional. *Universidad Complutense de Madrid*, 27.
- Loret De Mola Bohme, A., Gamarra Molina, W., Campos Cruzado, R., Quijandría Salmón, J., Eslava Arnao, J., & Marca Chamochumbi, F. (2003). Atlas de Energía Solar del Perú. *Dirección General de Investigaciones y Asuntos Ambientales*, 31.
- Martí Herrero, J. (2008). *Guía de diseño y manual de instalación de biodigestores familiares*. Bolivia: Creative Commons.
- MINAG. (2011). Biodigestores en el Perú. *Ministerio de agricultura*, 12.
- Orrego, M. R. (2011). Estado del Arte y Novedades de la Bioenergía en el Perú. *Organización de las Naciones Unidas para la Alimentación y Agricultura*, 37.
- Paiva Periche, P. F. (2016). Propuesta de aprovechamiento del biogás obtenido a partir del tratamiento de las aguas residuales generadas en la empresa Rico Cerdo F&G S.A.C., para su uso como biocombustible en los sistemas de calefacción de las áreas de maternidad. *Facultad de Ingeniería - Escuela de Ingeniería Industrial*, 121.
- Pantoja Gordón, R. F. (2014). Evaluación de diferentes dosis de abonos orgánicos de origen animal en el comportamiento agronómico, del cultivo de brócoli en la zona de Huaca, Provincia del Carchi. *Universidad Técnica de Babahoyo*, 85.
- Pita, E. (2005). *Acondicionamiento de Aire. principios y sistemas*. México: CECOSA.

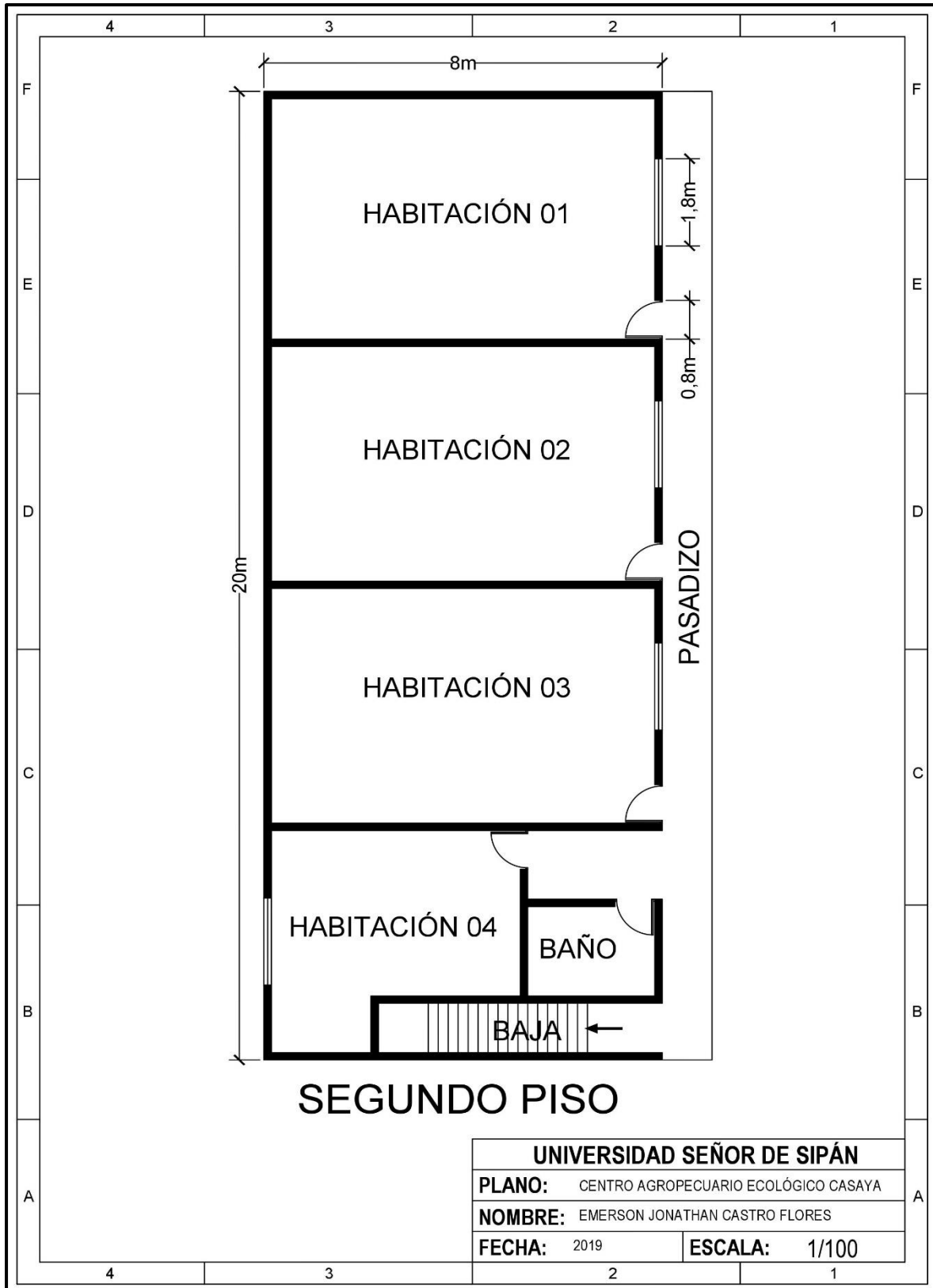
- Valiente Piel, R. E. (2015). Modelación de un sistema híbrido Eólico-Solar TérmicoBiomasa para calefacción domiciliaria en la región del. *Facultad de Ingeniería Agrícola con mención en Mecanización y Energía*, 49.
- Varnero Moreno, M. T. (2011). Manual del Biogás. *Remoción de Barreras para la Electrificación Rural con Energías Renovables*, 119.
- Vega Arquiño, J. A. (2015). Diseño, construcción y evaluación de un biodigestor semicontinuo para la generación de biogás con la fermentación anaeróbica del estiércol de cuy para la I.E.P cristiana Berechi. *Universidad Nacional del Santa, chimbote, Facultad de Ingeniería*, 215.
- Venegas Venegas, J. A., Espejel García, A., Pérez Fernández, A., Castellanos Suárez, J. A., & Sedano Castro, G. (2017). Potencial de energía eléctrica y factibilidad financiera para biodigestor-motogenerador en granjas porcinas de Puebla. *Mexicana de Ciencias Agrícolas*, 06.

VIII. ANEXOS

ANEXO N° 01: PLANO DEL PRIMER PISO



ANEXO N°:02 PLANO DEL SEGUNDO PISO



ANEXO N°03: AUTORIZACIÓN DE RECOJO DE INFORMACIÓN

AUTORIZACIÓN PARA EL RECOJO DE INFORMACIÓN

Chiclayo 30 de agosto de 2021

Quien suscribe:

Sr. Mártires Lizana Santos

Gerente del "Centro Agropecuario Ecológico Casaya"

AUTORIZA: Permiso para recojo de información pertinente en función del proyecto de investigación, denominado: **DISEÑO DE UN SISTEMA DE CALEFACCIÓN A PARTIR DEL BIOGÁS PRODUCIDO POR EL ESTIÉRCOL DE CAVIA PORCELLUS EN EL "CENTRO AGROPECUARIO ECOLÓGICO CASAYA" EN LIMÓN DE PORCUYA – HUARMACA.**

Por el presente, el que suscribe, el Sr. Mártires Lizana Santos, Gerente del "Centro Agropecuario Ecológico Casaya", autorizo al alumno Emerson Jonathan Castro Flores, identificado con DNI: 48279485, respectivamente, estudiante de la escuela profesión de INGENIERÍA MECÁNICA ELÉCTRICA y autor del trabajo de investigación denominado: **DISEÑO DE UN SISTEMA DE CALEFACCIÓN A PARTIR DEL BIOGÁS PRODUCIDO POR EL ESTIÉRCOL DE CAVIA PORCELLUS EN EL "CENTRO AGROPECUARIO ECOLÓGICO CASAYA" EN LIMÓN DE PORCUYA – HUARMACA**, al uso de dicha información que conforma el expediente técnico, así como hojas de memorias, cálculos entre otros como planos para efectos exclusivamente académicos de la elaboración de tesis de **DISEÑO DE UN SISTEMA DE CALEFACCIÓN A PARTIR DEL BIOGÁS PRODUCIDO POR EL ESTIÉRCOL DE CAVIA PORCELLUS EN EL "CENTRO AGROPECUARIO ECOLÓGICO CASAYA" EN LIMÓN DE PORCUYA – HUARMACA**, enunciada líneas arriba de quien solicita se garantice la absoluta confidencialidad de la información solicitada.

Atentamente.



Sr. Mártires Lizana Santos
N° DNI: 17592774