

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



**Diseño de un sistema energético autosustentable mediante la biodigestión de
residuos orgánicos para el abastecimiento de energía eléctrica en el
mercado Modelo - Chiclayo**

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

AUTOR

Jesus David Sanchez Manayay

ASESOR

Lucio Antonio Llontop Mendoza

<https://orcid.org/0000-0002-2561-0126>

Chiclayo, 2023

**Diseño de un sistema energético autosustentable mediante la
biodigestión de residuos orgánicos para el abastecimiento de
energía eléctrica en el mercado Modelo – Chiclayo**

PRESENTADA POR

Jesus David Sanchez Manayay

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

APROBADA POR

Luis Alberto Gonzales Bazan
PRESIDENTE

Jony Villalobos Cabrera
SECRETARIO

Lucio Antonio Llontop Mendoza
VOCAL

Dedicatoria

A Dios, por sus bendiciones, por brindarme sabiduría suficiente para así lograr culminar exitosamente mi etapa de formación profesional.

A mi padre, que en paz descanse y a mi madre presente; quienes con su dedicación, esfuerzo y apoyo incondicional están siempre en y para mí en todo momento.

A mis hermanos y sobrinos que forman parte importante en mi vida.

Agradecimientos

A Dios, por brindarme salud y bienestar en esta etapa de mi vida de mucho esfuerzo y dedicación.

A mi familia, por el esfuerzo y paciencia, ya que son enorme apoyo incondicional e importante en mi vida. Son ustedes los que me han hecho hincapié en cada momento, lo importante que es formarse como persona y como profesional.

A mi esposa e hijo, quienes que, con su invaluable apoyo incondicional, me acompañan en cada etapa de mi vida profesional.

A mis docentes, quienes se han convertido en espejos y guías para poder ver claramente el camino que seguiré por el resto de mi vida, tanto personal como profesional. Y a todos los que fueron participes en este proyecto de investigación.

TESIS SANCHEZ MANAYAY

INFORME DE ORIGINALIDAD

25%	25%	6%	2%
INDICE DE SIMILITUD	FUENTES DE INTERNET	PUBLICACIONES	TRABAJOS DEL ESTUDIANTE

FUENTES PRIMARIAS

1	tesis.usat.edu.pe Fuente de Internet	4%
2	hdl.handle.net Fuente de Internet	3%
3	www.slideshare.net Fuente de Internet	2%
4	repositorio.utc.edu.ec Fuente de Internet	1%
5	dspace.espoch.edu.ec Fuente de Internet	1%
6	local.armacell.com Fuente de Internet	1%
7	1library.co Fuente de Internet	1%
8	www.dspace.espol.edu.ec Fuente de Internet	1%
9	repositorio.ucv.edu.pe Fuente de Internet	1%

Índice

I.	Introducción	12
1.1.	Justificación.....	13
1.2.	Objetivos	14
II.	Marco teórico	15
2.1.	Estado del arte	15
2.2.	Bases teórico científicas	15
III.	Marco metodológico	26
3.1.	Tipo y diseño de investigación.....	26
3.2.	Técnicas e instrumentos	26
3.3.	Operacionalización de variables.....	27
3.4.	Población y muestra	29
3.5.	Análisis de resultados.....	32
3.6.	Propuesta	32
IV.	Diseño.....	33
4.1.	Metodología del diseño	33
4.2.	Identificar los requisitos del cliente	34
4.3.	Requisitos de diseño.....	34
4.4.	Criterios de evaluación.....	35
4.5.	Disposición básica.....	36
4.6.	Evaluación de los conceptos de solución	37
V.	Resultados	41
5.1.	Dimensionamiento del biodigestor.....	41
5.2.	Cálculo de la tapa del biodigestor	51
5.3.	Cálculo del espesor del aislante térmico	53
5.4.	Tuberías, codos y tee de carga y descarga	54
5.5.	Cálculo de gasómetro	55
5.6.	Selección del grupo electrogeno	56
5.7.	Operación del sistema	57
VI.	Diseño CAD	59
VII.	Evaluación económica.....	60
7.1.	Costos directos	60
7.2.	Costos indirectos	62
7.3.	Costo de operación y mantenimiento	62
7.4.	Costo total del proyecto.....	63
7.5.	Ingresos	63
7.6.	Valorización del proyecto	66

VIII.	Conclusiones	68
IX.	Recomendaciones.....	69
X.	Anexos.....	71
10.1.	Anexos A – Aislamiento térmico	71
10.2.	Anexos B – catálogos	74
10.3.	Anexo C – planos CAD.....	80

Lista de figuras

Figura 1 Proceso de generación aprovechamiento de residuos sólidos	17
Figura 2 Esquema de un biodigestor y sus partes	19
Figura 3 Biodigestor tipo batch o discontinuo	20
Figura 4 Biodigestor tipo chino o cúpula fija.....	20
Figura 5 Biodigestor tipo hindú o campana flotante	21
Figura 6 Sistema típico de biogás	22
Figura 7 Motor Biogás-Otto instalado en central de biogás.....	25
Figura 8 Composición física de residuos sólidos en el Mercado Modelo.....	30
Figura 9 Máxima Demanda eléctrica del 2021- Mercado Modelo (SED EN09).....	31
Figura 10 Máxima Demanda eléctrica del 2021- Mercado Modelo (SED EN519).....	32
Figura 11 Metodología del proceso de diseño	33
Figura 12 Caja Negra	34
Figura 13 Diagrama de evaluación final del concepto de solución óptimo.....	40
Figura 14 Ubicación de la planta.....	41
Figura 15 Gráfico de tiempo de retención (días) vs Temperatura (°C).....	44
Figura 16 Representación de los esfuerzos en un cilindro de pared delgada.....	48
Figura 17 Representación esquemática del cuerpo del biodigestor y la cobertura aislante.	53
Figura 18 Circuito térmico	53
Figura 19 Diseño del Sistema energético.....	59

Lista de tablas

Tabla 1 Composición química del biogás	22
Tabla 2 Porcentaje del metano según el material de fermentación	23
Tabla 3 Operacionalización de variables	28
Tabla 4 Cuadro de generación de residuos en 12 mercados.	29
Tabla 5 Consumo mensual del 2021 en el mercado modelo - SED EN09.....	30
Tabla 6 Demanda máxima mensual del 2021 en el mercado modelo - SED EN519.....	31
Tabla 7 Evaluación técnica del concepto de solución.....	38
Tabla 8 Evaluación económica del concepto de solución.....	39
Tabla 9 Evaluación de conceptos de solución.....	39
Tabla 10 Relación C/N.....	43
Tabla 11 Concentración inhibidora de inhibidores comunes.	43
Tabla 12 Tiempo de retención en función de la temperatura.	44
Tabla 13 Demanda diaria de biogás para diferentes usos	45
Tabla 14 Valores de los porcentajes de sólidos totales y sólidos volátiles	47
Tabla 16 Costos directos - Biodigestor	60
Tabla 17 Costos indirectos – Biodigestor	62
Tabla 18 Actividades de Operación y Mantenimiento.....	62
Tabla 19 Costos de Mantenimiento y Operación.	62
Tabla 20 Costo Total.....	63
Tabla 21 Costo Total del Proyecto.....	63
Tabla 22 Consumo de usuarios en el Mercado Modelo – kW-h.....	64
Tabla 23 Datos para LCOE.	65
Tabla 24 Evaluación económica VAN - TIR	67

Lista de ecuaciones

Ecuación 1 Volumen de biodigestor (V.B.)	45
Ecuación 2 Materia prima sólida total (Sólidos Totales)	47
Ecuación 3 Materia prima (M.P.)	47
Ecuación 4 Volumen de materia prima (V.M.P.)	47
Ecuación 5 Esfuerzo tensional	49
Ecuación 6 Relación entre esfuerzo máximo y admisible	49
Ecuación 7 Equivalente entre esfuerzo máximo y tensional	49
Ecuación 8 Esfuerzo admisible	49
Ecuación 9 Factor de seguridad	50
Ecuación 10 Presión óptima de diseño	50
Ecuación 11 Nuevo factor de seguridad	51
Ecuación 12 Presión máxima	51
Ecuación 13 Espesor mínimo requerido	51
Ecuación 14 Primera ley de la termodinámica para sistemas cerrados	53
Ecuación 15 Volumen del contenedor (cilíndrico)	55
Ecuación 16 Espesor del gasómetro	55
Ecuación 17 Potencia eléctrica	56
Ecuación 18 Coste teórico de generación de energía eléctrica (LCOE)	65

Resumen

Esta investigación presenta el diseño de un sistema energético autosustentable para el mercado Modelo – Chiclayo, con la finalidad de mitigar los cúmulos de residuos sólidos, la afectación de salud de la población y así mismo aprovechar los residuos orgánicos que diariamente los comerciantes del mercado generan a través de la venta de diferentes productos e insumos; de tal manera que, de la conversión anaeróbica se logre generar energía eléctrica. Se realizó un análisis de cuantitativo, para determinar la demanda máxima del mercado Modelo en validación con los meses, SED EN09 (199,26 kW) y SED EN519 (22,97 kW). En el mercado se clasifica la generación de residuos por las 3,72 TM/día, de lo cual solo en residuos orgánicos es 2,29 TM/día. Utilizando la metodología del proceso de diseño se identifican requisitos, funcionalidad y criterios para evaluar cada alternativa de solución propuesta desde el punto de vista técnico y económico “La alternativa posible es la número 01”, un biodigestor en posición vertical conectados mediante tuberías de acero a un recipiente principal para el almacenamiento del biogás. Los cálculos justificativos del biodigestor y componentes dan como volumen de 4,6 m³ que son dos de la misma capacidad, por lo que el gasómetro tendrá un volumen de 9,2 m³; con esta capacidad se selecciona un generador que funciona con combustible biogás de 375 kW/430kVA. Se realizó el diseño CAD con el detalle de los componentes y medida correspondientes. Al final, se empleó el enfoque VAN-TIR para llevar a cabo un análisis financiero, el cual arrojó un periodo de recuperación de la inversión de 5 años. Por tanto, se determinó que la inversión es rentable para su implementación.

Palabras clave: Biodigestor, generación de energía, residuos orgánicos, Diseño, CAD.

Abstract

This research presents the design of a self-sustainable energy system for the Modelo market - Chiclayo, with the purpose of mitigating the accumulations of solid waste, the impact on the health of the population and also taking advantage of the organic waste that the market merchants generate daily through the sale of different products and supplies; in such a way that electrical energy is generated from the anaerobic conversion. A quantitative analysis was carried out to determine the maximum demand of the Modelo market in validation with the months, SED EN09 (199.26 kW) and SED EN519 (22.97 kW). The solid waste production in the market is classified as 3.72 MT/day, of which only organic waste is 2.29 MT/day. In the market, waste generation is classified as 3.72 Tm/day, of which only organic waste is 2.29 Tm/day. Using the design process methodology, requirements, functionality and criteria are identified to evaluate each proposed alternative solution from the technical and economic point of view "The possible alternative is number 01", a biodigester in vertical position connected by steel pipes to a main vessel for biogas storage. The calculations justifying the biodigester and components give a volume of 4.6 m³ which are two of the same capacity, so the gasometer will have a volume of 9.2 m³; with this capacity a generator running on 375 kW/430kVA biogas fuel is selected. The CAD design was made with the detail of the components and corresponding measurement. In the end, the NPV-IRV approach was used to conduct a financial analysis, which yielded a payback period of 5 years. Therefore, it was determined that the investment is profitable for its implementation.

Keywords: Biodigester, energy generation, organic waste, Design, CAD.

I. **Introducción**

En el Perú según [1], se generó un total de 7 497 482 toneladas de residuos del sector urbano por año. En donde, un 64% son residuos domiciliarios y un 26% son residuos no domiciliarios.

La administración de desechos representa uno de los mayores desafíos para las autoridades locales en la actualidad. Entre los factores que más inciden se encuentran la generación excesiva de residuos orgánicos por parte de la población, la escasez de conciencia ambiental, la falta de participación en programas de saneamiento, la creación de grandes vertederos de basura, entre otros. Estos aspectos pueden derivar en riesgos para la salud pública. [1]

Ante lo mencionado, es de precisar que la situación que aborda el mercado modelo - Chiclayo no prioriza los residuos del gobierno local para prevenir el impacto directo de la acumulación de residuos, por lo que se puede ocasionar un sin número de perjuicios ante la presencia de cúmulos de basura y olores nauseabundos, que a largo o corto plazo afectan la salud de la población.

Por lo que el problema específico son los residuos orgánicos, siendo así, que se plantea el siguiente problema: ¿Es posible diseñar un sistema energético autosustentable mediante la digestión de residuos orgánicos para el mercado modelo en la ciudad de Chiclayo?

1.1. Justificación

El desarrollo de un biodigestor permitirá la producción de energía eléctrica utilizando la acumulación de desechos orgánicos. Siendo así, que tendrá como fin ser íntegramente sustentable, al realizar un sistema energético en donde la biodigestión de los residuos orgánicos producirá gas y a su vez energía eléctrica a través de un grupo electrógeno. Esta producción de energía eléctrica beneficiara económicamente con la reducción de tarifa a todos los usuarios del mercado modelo.

Ante la reducción de residuos orgánicos, se está contribuyendo a un ambiente saludable y eco amigable para la población que se encuentre a los alrededores del mercado modelo. Lo cual, conllevara a evitar una excesiva acumulación de residuos, previniendo o evitando cuantiosas enfermedades, ya sea en de forma directa en la piel o en las vías respiratorias.

Ante lo mencionado, existe un gran potencial referente a los residuos orgánicos en los alrededores del mercado modelo, el cual sería de gran utilidad para generar la energía eléctrica autosustentable.

Siendo que, la transformación de los residuos orgánicos a biogás es la principal técnica del sistema; y por ello se puede percibir el potencial de los residuos orgánicos.

1.2. Objetivos

1.2.1. Objetivo general

- Diseñar un sistema energético autosustentable mediante la biodigestión de los residuos orgánicos para el mercado Modelo – Chiclayo.

1.2.2. Objetivos específicos

- Determinar la máxima demanda de energía eléctrica del mercado modelo, para saber la cantidad de biogás para el grupo electrógeno.
- Cuantificar los residuos orgánicos e inorgánicos que produce el mercado modelo.
- Diseñar el sistema energético para determinar producción de biogás en cuanto a la generación de energía eléctrica.
- Realizar un análisis económico TIR-VAN.

II. Marco teórico

2.1. Estado del arte

2.1.1. Productos existentes similares

H. Vogel y S.Kedrrers [2] nos presenta en su artículo donde utilizaron estiércol de ganado bovino sometidos a presiones y temperaturas, convirtiendo la biomasa en watts de energía eléctrica. Por lo cual hacemos investigación a este interesante sistema de producción de biogás.

R. Watson y O. Rivas [3] en su revista desarrollaron la producción da partir de desechos orgánicos en el Tecnológico donde lograron la aumentar la eficiencia del proceso de digestión anaerobia, incrementando el tiempo de retención y combinando los desechos humanos y vegetal obtenidos de su zona de estudios llamado planta de tratamiento TEC.

A. Gonzáles [4] nos presenta en su informe detalladamente la variación del potencial en un generador de energía eléctrica, funcionando con la presión del biogás suministrado, con el fin de analizar el control de los diferentes tipos de gases.

2.2. Bases teórico científicas

2.2.1. Residuos sólidos

Es el producto del consumo o uso de un bien, después de estar en actividades domésticas, comerciales, industriales, etc.; que el consumidor abandona, rechaza o entrega y este es susceptible a su transformación en un nuevo bien, con un valor agregado. [5]

2.2.1.1. Clasificación según su establecimiento de los residuos sólidos

a. Residuos domiciliarios (casas particulares)

- Residuos orgánicos biodegradables.
- Materiales recuperables como vidrio, cartón, metal.
- Residuos especiales (con contenido de sustancias peligrosas, como pilas).
- Materiales voluminosos (mueble, chatarra, escombros, etc.) [6]

b. Residuos comunales (aseo público)

- Polvo de la calle.
- Desechos vegetales de áreas verdes públicas (se debe podar). [6]

c. Residuos comerciales

- Residuos comerciales de tipo domiciliario (papel, cartón, metal o residuos).
- Escombros. [6]

d. Residuos sólidos industriales

- Asimilables a los residuos sólidos domiciliarios.
- Peligrosos o especiales. [6]

e. Residuos comunales (aseo público)

- Residuos Hospitalarios de tipo domiciliario.
- Residuos hospitalarios infecciosos. [6]

2.2.1.2. Clasificación según su aprovechamiento de los residuos sólidos

a. Residuos sólidos reciclables

Objeto o material de poco valor que tiene un uso directo e indirecto para quien genere pero que es apto para darle un valor agregado. [6]

b. Residuos sólidos no reciclables

Objeto o material que no es posible su reutilización, es decir solo tienen un solo uso. [6]

2.2.1.3. Clasificación según su manejo de los residuos sólidos

a. Residuos peligrosos

Estos son peligrosos de disponer o manejar, pueden ocasionar muertes, enfermedades que agravan la salud o el ambiente. [6]

b. Residuos inertes

Son los que no afectan con el tiempo, ya sea al ambiente. Residuo no peligroso. [6]

2.2.1.4. Sistema de manejo de residuos sólidos

El sistema de manejo de los residuos tiene la intención de gestionar ambiental y económicamente mediante procedimientos y políticas en una determinada localidad. [6]

a. Gestión integral de residuos sólidos

En la mencionada gestión, se considera todos los residuos generados incorporando su origen de generación, este puede ser domiciliario, comercial, industrial, peligrosos, clínicos, etc. en una determinada localidad.

Las actividades de la gestión integral de residuos sólidos desde su generación hasta su evacuación final se muestran en la Figura 1. [6]

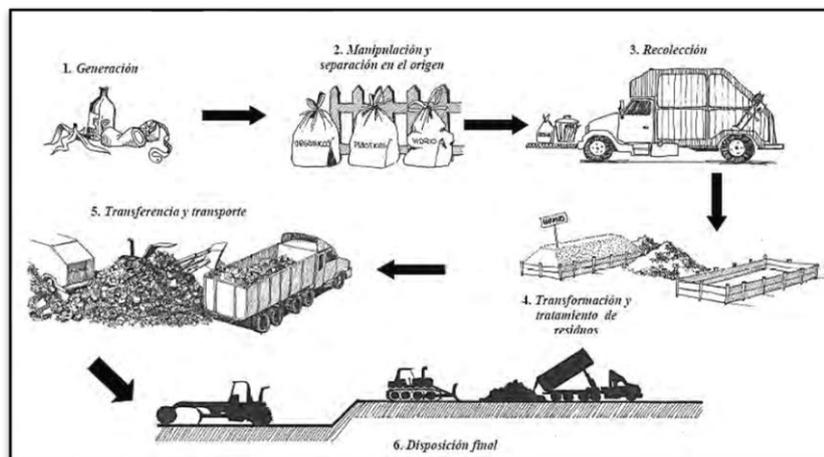


Figura 1 Proceso de generación aprovechamiento de residuos sólidos
Fuente: Manual de biogás Chile 2011.

b. Generación de residuos

Es aquella, en donde las actividades que supuestamente consideran a los residuos orgánicos sin ningún valor, son desechados o recogidos para su expulsión de alguna localidad. [6]

Es recomendable que, al desechar el residuo, se identifique el tacho correspondiente para cada residuo en particular. Aunado a ello, la generación de residuos depende del volumen de la población y sus actividades socioeconómicas. [6]

Esta cuantificación relaciona el tiempo, tamaño y la cantidad de residuos, expresándose en unidades como kilogramos por habitante al día (Kg/hab-día). [6]

c. Estimación teórica de producción per cápita (ppc)

Este parámetro varía de acuerdo a la densidad poblacional, al grado de urbanización, al nivel socioeconómico, a los periodos estacionales y actividades.

Por tanto, es viable efectuar una estimación teórica de la PPC en función de las estadísticas de recolección. [6]

d. Caracterización de residuos sólidos en Chiclayo

El estudio de caracterización de residuos sólidos ha sido elaborado para determinar:

- La generación de los residuos sólidos.

- La composición física.
- La densidad de los residuos sólidos.

Siendo así, que los resultados conseguidos servirán para desarrollar un esquema integral de manejo de residuos sólidos y por ende servirá para el dimensionamiento del biodigestor.

2.2.2. Biodigestor

Según [7], un biodigestor es un contenedor hermético e impermeable donde se deposita el residuo orgánico a fermentar (excrementos de animales y humanos, desechos vegetales, etc.) con determinada solución de agua para que a través de la metanogénesis se origine el biogás.

Por lo que, es un recipiente sellado que aprovecha la digestión anaerobia de los microorganismos que habitan en el residuo orgánico depositado dentro del biodigestor, para convertirlo en metano y en biol. [7]

La materia que ingresa y emerge del reactor se denomina afluente y efluente respectivamente. El proceso de la digestión que ocurre en el interior del biodigestor libera energía química incluida en la materia orgánica, la cual se convierte en biogás. [7]

Por tanto, el tiempo de retención de la materia orgánica dentro del biodigestor está en relación con temperatura del medio con la que va estar en funcionamiento el sistema.

Esta muestra el tiempo en días, con lo que los microorganismos hagan la descomposición de ella. Por ejemplo, lugares de 30 °C se necesita de unos 10 días, en ambientes de 20 °C se requiere 25 días y en zona alta o de clima frío, donde la temperatura es de 10 °C promedio, se necesita 55 días para el tiempo de retención. [7]

En este recipiente cerrado Figura 2 sucede el proceso de la descomposición de los residuos orgánicos en ausencia de oxígeno, por consecuente aquel recipiente producirá biogás y biol.

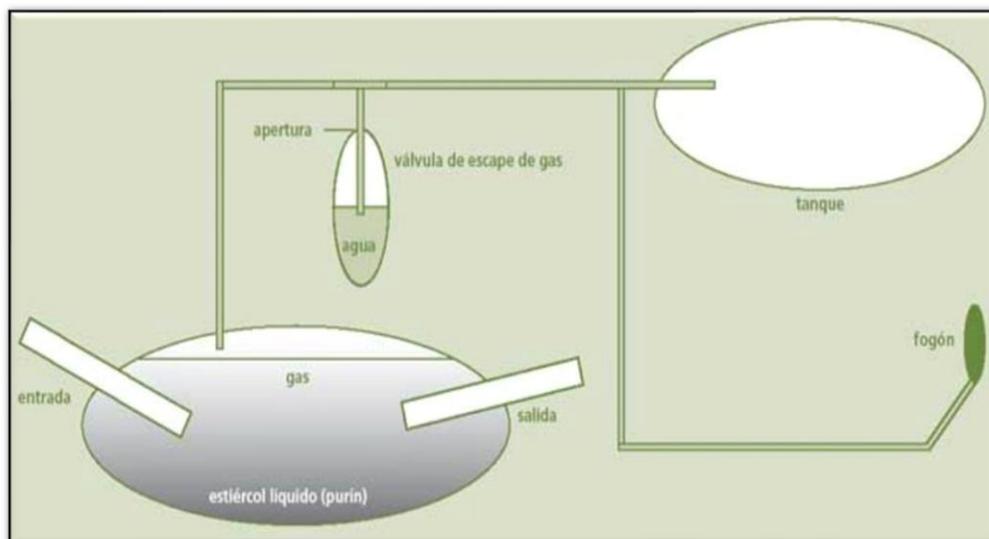


Figura 2 Esquema de un biodigestor y sus partes

Fuente: Los biodigestores una tecnología que transforma sus desechos en energía, Ricardo Bizhat 2017.

2.2.2.1. Tipos de biodigestores

Según [8], nos dice que el 80% de sistemas de biogás instalados en todo el mundo, son del tipo batch, chino e hindú; cuyos nombres son de los países de donde provienen y con el pasar del tiempo se hicieron muy conocidas.

a. Modelo Batch o discontinuo

Cuando se detiene la producción de biogás o la materia orgánica se descompone por completo, la descarga de la materia orgánica se realiza por lotes. Por tanto, este modelo consta de un cilindro cerrado con salida de gas conectado a un contenedor de gas flotante en el que se almacena el biogás. Este sistema se utiliza en determinadas situaciones en las que la disponibilidad de materia orgánica se interrumpe temporalmente. En este tipo de plantas de biogás, se recomienda utilizar varios lotes en diferentes momentos para mantener la continuidad del suministro de gas. [8]

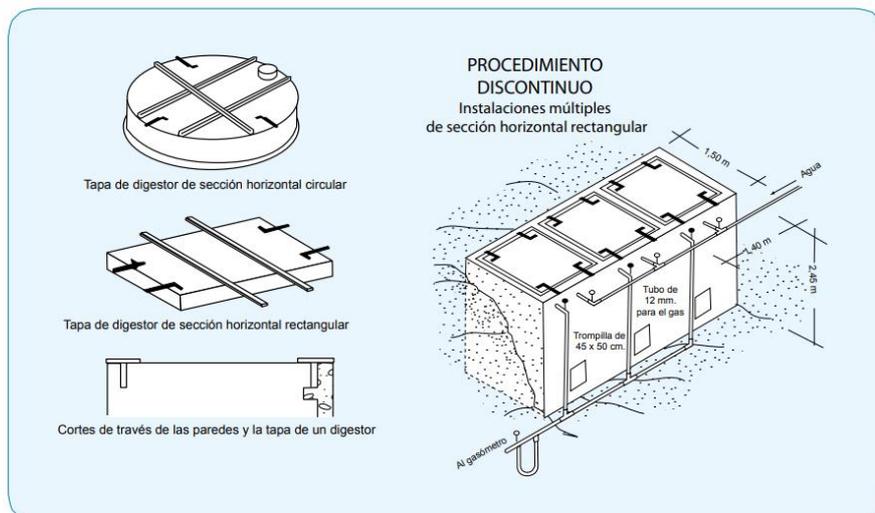


Figura 3 Biodigestor tipo batch o discontinuo
Fuente: Manual del biogás, FAO 2011.

b. Modelo chino o cúpula fija

Este tipo de digestor permite el ahorro de material, se parece a una esfera y en la campana fija se almacena el biogás a presión variable. Al desplazarse el líquido en digestión hacia la cámara de hidro presión, es allí donde se obtiene el biogás. [8]

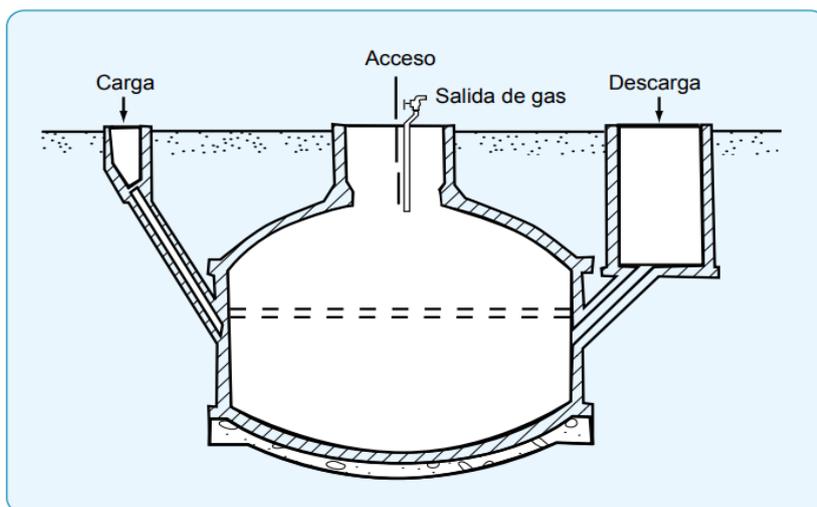


Figura 4 Biodigestor chino/cúpula fija.
Fuente: Manual del biogás, FAO 2011.

c. Modelo hindú o campana flotante

Este digestor hindú es uno de los modelos más cooperantes en realizar y trabaja a presión constante. Su cámara es de forma cilíndrica en donde una campana gasométrica de hierro, flota. Los restos de los residuos orgánicos salen por efecto del rebalse.

La construcción de este digestor demanda un gasto importante, ya sea tanto en los materiales y la campana gasométrica; como en la mano de obra. [8]

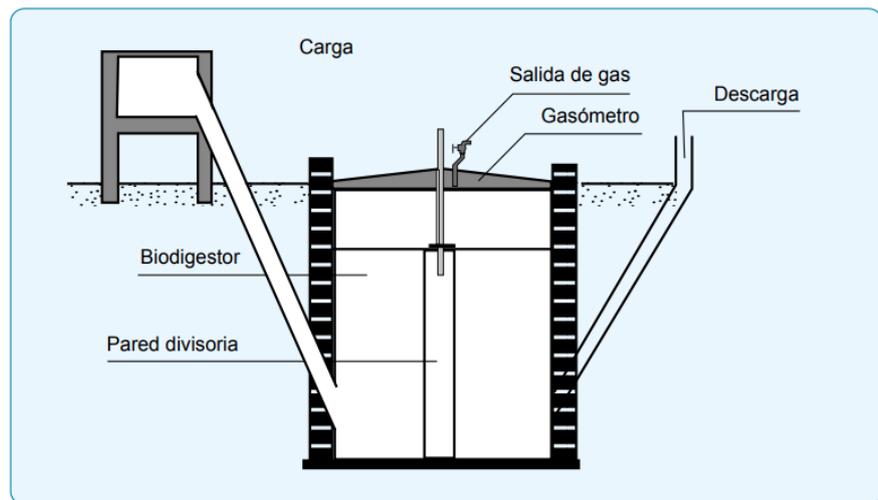


Figura 5 Biodigestor tipo hindú o campana flotante
Fuente: Manual del biogás, FAO 2011.

d. Antecedente del biodigestor

China es el país que tiene más de dos 2 000 000 de biodigestores instalados con una tecnología campechana especialmente en zonas rurales. En cambio, a escala industrial, en Europa tienen instalados 1 000 biodigestores aproximadamente, en Reino Unido tienen unos 700 instalados. [7]

Siendo así, que los biodigestores de China tienen una capacidad de 10 m³ y suministran la energía que se emplea para fines domésticos y el efluente se utiliza en agricultura. Por lo que, cubren sus necesidades de cocción e iluminación, paralelamente van recuperando suelos degradados de cultivos. [7]

2.2.3. Biogás

Gas que se produce por la digestión anaerobia de los residuos orgánicos, este se compone de metano 60% (CH_4) y de dióxido de carbono 40 % (CO_2) y también contiene cantidades mínimas como 1% de ácido sulfhídrico (H_2S). [7] El biogás es menos denso que el aire y tiene una temperatura de inflamación de 700 °C, su llama alcanza los 870 °C y su poder calorífico promedio es de 5 000 Kcal. Se estima que 1 m³ de biogás produce de 1,3 a 1,6 kWh, lo cual equivale a ½ litro de petróleo, aprox. [7]

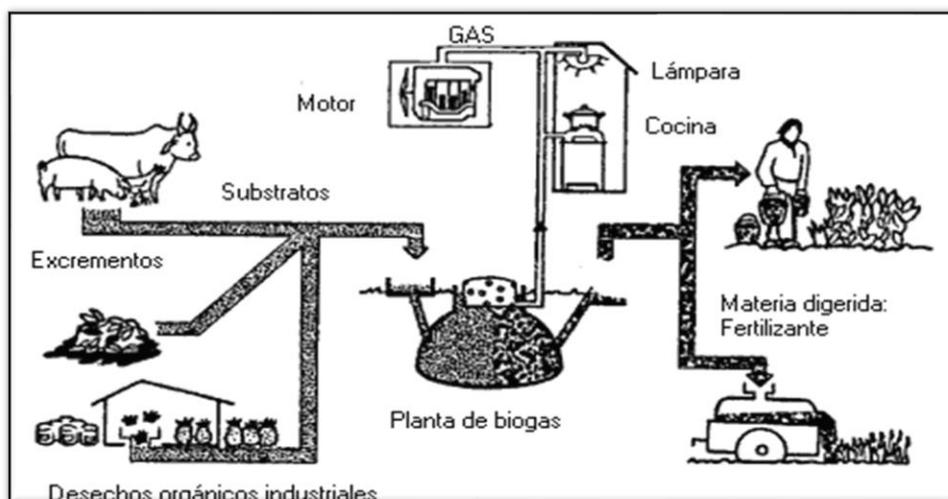


Figura 6 Sistema típico de biogás

Fuente: Los biodigestores una tecnología que transforma sus desechos en energía, Ricardo Bizhat 2017.

La composición de gases va de acuerdo a las propiedades de la biomasa que se va a utilizar. En la Tabla 1 se muestra un cuadro de referencia de la composición del biogás.

Tabla 1 Composición química del biogás

Elemento	Porcentaje (%)
Metano (CH_4)	40 – 70
Dióxido de carbono (CO_2)	0 – 60
Sulfuro de hidrogeno (H_2S)	0 – 3
Hidrogeno (H_2)	0 – 1

Fuente: Diseño de un biodigestor para el aprovechamiento energético de la excreta genera por los animales de cría, Chuquitarco 2010.

Para cada materia de fermentación produce un cierto porcentaje de metano, alcanzando valores presentados en la Tabla 2.

Tabla 2 Porcentaje del metano según el material de fermentación

Material de fermentación	Porcentaje de metano (%)
Estiércol de gallina	60
Estiércol de cerdo	67
Estiércol de establo	55
Pasto	70
Desechos orgánicos	50

Fuente: Diseño de un biodigestor para el aprovechamiento energético de la excreta genera por los animales de cría, Chuquitarco 2010.

Esta se produce a través de la digestión anaerobia (sin oxígeno). Los residuos orgánicos disueltos en agua y sumergidos dentro de un recipiente hermético a una temperatura de 20 a 30 grados centígrados, se descomponen debido a los microorganismos anaeróbicos en un tiempo de 30 a 40 días de retención. Y cuando los residuos se terminen de degradar a una cierta magnitud, se procede a limpiar el biodigestor entre una a dos veces al año. [9]

Se tiene que son dos fases de descomposición de la materia orgánica, la fase acidogénesis, donde a partir de las proteínas se forman los aminoácidos grasos y la metanogénesis, donde se forma el CH₄, el CO₂ y el amoníaco NH₃, etc. [9]

2.2.3.1. Aplicaciones

El biogás puede ser empleado como cualquier otro gas combustible, ya sea a pequeña o mediana escala.

Los usos más importantes del biogás para determinar la demanda energética del usuario son, las siguientes. [9]

a. Cocinas

Se trabaja a una presión de 75-90 mm. c.d.a., a razón de 0,38 - 0,42 m³ por persona al día. Para presiones inferiores, debe calcularse a razón de 0,5 m³/día. [9]

b. Alumbrado

En 60 W, se consume 0,11 a 0,15 m³/h de biogás, trabajando con una presión de 70 a 85 mm. c.d.a. [9]

c. Calderas

Para un diámetro del quemador de 50 mm, este consume 0,32 m³/h. Para un diámetro del quemador de 100 mm, este consume 0,46 m³/h.

Para un diámetro del quemador de 150 mm, este consume 0,63 m³/h. [9]

d. Motor de combustión interna

Con presión de 25 a 100 mm. c.a., el consumo continuo de biogás en motores alternativos esta entre 0,45 y 0,55 m³/h por 1HP de carga.

En caso contrario, entre 0,6 y 0,7 m³/h por 1kW de carga. [9]

e. Soldadura

Por cuestiones de temperaturas de la llama, el oxi biogás no puede soldar materiales ferrosos, pero si materiales no ferrosos.

La temperatura de la llama de oxi – biogás es menor por 250 °C que la temperatura de la llama de oxiacetilénica. [9]

f. Efluente como fertilizante

El efluente sirve como nutriente para las plantas, el nitrógeno se convierte en amoníaco NH₃.

El efluente líquido es rico en nitrógeno y potasio y el efluente espeso, es rico en fosforo. Un balance de estas características sirve de buen fertilizante. [9]

2.2.3.2. Antecedentes

El biogás se logra valorizar y gestionar los diferentes residuos que generan las actividades domésticas, industriales, de mercado, etc. La elaboración de un sistema de planta de biogás, abarata costos de gestión y de tratamiento de los residuos para su caracterización. [9]

La co-digestión se puede realizar en una sola planta, por ejemplo, estiércol de vaca, pulpas de fábrica, lodos, residuos de mataderos, etc.

El biogás ha reemplazado en muchos casos al combustible fósil que a veces es importado de otros países.

Así pues, el biogás alcanza a generar 2,1 kWh con cada metro cubico, siempre y cuando comprenda el 65% de metano. [9]

2.2.4. Generación eléctrica con biogás

Para generar de energía eléctrica, se alimenta un motor de combustión interna, acoplado a un generador. [10]

Existe una diferencia entre los motores a gas y a gasolina, esa diferencia se nota en la admisión por medio de una válvula. Esta regula presión de la inyección de la gasolina al carburador. [10]

Se recomienda que la carga sea constante para evitar regular el motor y por ende una baja calidad de energía eléctrica.

Caso contrario se debe diseñar un sistema de control para que el flujo del gas del motor cumpla con la demanda máxima. [10]



Figura 7 Motor Biogás-Otto instalado en central de biogás
Fuente: Biogás y los biodigestores, FAO 2019.

III. Marco metodológico

Según [11], se refiere a los métodos o procedimientos que debe seguir una investigación para lograr uno o más objetivos de manera específica y efectiva.

3.1. Tipo y diseño de investigación

La presente investigación es descriptiva y cuasi experimental, se analiza el efecto producido por la manipulación de una o más variables independientes sobre una o varias dependientes y cuantifica datos sin la intervención de juicios de valor. [11]

Con el fin de demostrar leyes que son del conocimiento para conseguir una máquina con características establecidas. [11]

3.2. Técnicas e instrumentos

Las técnicas e instrumentos utilizados en este trabajo de investigación se detallan a continuación.

3.2.1. Técnicas de recolección de datos

La técnica de la entrevista se centra en el diálogo entre el interrogador y el encuestado. Generalmente los entrevistados son expertos en la materia, en este caso fueron los dirigentes del comité del mercado Modelo.

La observación nos permite comprender, identificar y registrar datos o situaciones. El análisis de documentos se utiliza para identificar cualquier documento importante y extraer de él la información más valiosa.

Observación, permite conocer, identificar y registrar datos o situaciones.

Análisis de documentos, sirve para identificar cualquier documento importante y extraer la información más valiosa del mismo.

3.2.2. Instrumentos de recolección de datos

Cuestionario, se generó un cuestionario a los comerciantes con respecto a su opinión en la implementación del sistema propuesto.

Registro de observación, se utilizará para registrar datos e información más importante.

Formulario de análisis de datos, es una herramienta en la que se analiza toda la información obtenida de diferentes documentos.

3.3. Operacionalización de variables

3.3.1. Variable independiente

Según [11] menciona que las variables independientes representan la causa del evento o suceso observado. Por tanto, en un diseño experimental, la variable independiente es el tratamiento aplicado en el grupo experimental.

3.3.2. Variable dependiente

Según [11] indica que, se modifica según el orden de cambio independiente. Crean efectos o eventos que producen resultados científicos.

Tabla 3 Operacionalización de variables

Tipo de variable	Variable	Definición conceptual	Definición operacional	Unidades
Dependiente Generador eléctrico a base de gas metano	Volumen	Magnitud que busca representar el espacio que ocupa un objeto o cuerpo en el espacio	Metros cúbicos	m ³
	Presión	Relación de una fuerza normal ejercida sobre una superficie	N/m ² – Lb/in ²	Pa/Psi
	Factor de seguridad	La capacidad máxima de un sistema	N	-
	Propiedades mecánicas	Comportamiento de los materiales cuando están expuestos a esfuerzos mecánicos.	Aceros, otros	Mpa/Psi
	Tipos de biodigestores	Modelos de biodigestores, de acuerdo al diseño.	Criterios de selección	-
Independiente Biodigestor de materia orgánica	Materia orgánica	Conjunto de desechos de animales y/o vegetales descompuestos total o parcialmente por la acción de microorganismos.	Kilogramo	kg
	Tiempo	Período determinado durante el que se realiza una acción o se desarrolla un acontecimiento	Segundos	s
	Flujo volumétrico	Volumen de fluido que pasa a través de una superficie dada en un tiempo determinado.	Metros cúbicos por segundo	m ³ /s
	Valor actual neto	Indica el beneficio neto de los flujos obtenidos en el futuro.	VAN	S/.
	Tasa interna de retorno	Indica la tasa interna de retorno de los flujos generados menos la inversión inicial.	TIR	%

Fuente: Elaboración propia

3.4. Población y muestra

3.4.1. Residuos orgánicos generados en mercados a nivel regional

Con la información otorgada del secretario general Felipe Cieza Gálvez del comité del Mercado Modelo, menciona que según a la ordenanza 017 de Municipalidad Provincial de Chiclayo, el mercado modelo se compone de 4 plataformas (Cuglievan, José Balta, Manuel Pardo y Arica) con 2 350 comerciantes y en el interior de la misma con 1 000 comerciantes. Lo que conforma un total de 3 350 comerciantes (puesto o establecimiento).

Actualmente en la región Lambayeque existen 12 mercados de lo cual se ha calculado una generación total de 12,64 TM/día de materia orgánica, tal cual se muestra la Tabla 4. [12]

Tabla 4 Cuadro de generación de residuos en 12 mercados.

Tipo de residuos	N° de mercados	N° de puestos	Generación (kg/puesto/día)	Generación de residuos (TM)		
				Diaria	Mensual	Anual
Mercado	12	11 373	1,11	12,64	379,33	4 551,95

Fuente: Resolución Ministerial N° 457-2018-MINAM .- Aprueban la Guía para la Caracterización de Residuos Sólidos Municipales

3.4.2. Residuos orgánicos generados en el mercado Modelo

En consecuencia, el producto de los 3 350 comerciantes o puestos con la generación de 1,11 de kilogramos de cada puesto se genera 3 718,5 kg de residuos orgánicos, lo que equivale a 3,7185 TM por día en el Mercado Modelo. [13]

En base a la proporción del tipo de productos que comercializan, estos van a generar un 61,55% de materia orgánica lo que equivale a 2,2887 TM diarias de lo que se generaría de residuos orgánicos, compuesto por restos de verduras, alimentos y frutas, disponible para el biodigestor. Mensualmente generaría un aproximado de 68,662 TM al mes. [13]

3.4.3. Demanda de residuos orgánicos

Como se observa en la Figura 8, el material predominante en los residuos generados es el material orgánico con 61,55%, mientras que el material reciclable (plásticos, papel, cartón, vidrio y metales) se encuentra en 15,52%, también tenemos los residuos textiles, madera y otros que totalizan un 15,66%

de los residuos generados y el 7,28% corresponde a la generación de residuos peligrosos. [13]

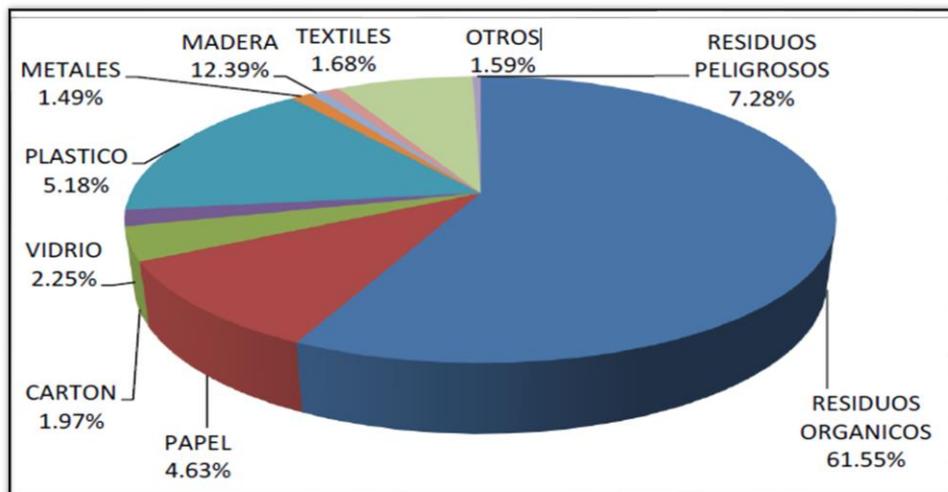


Figura 8 Composición física de residuos sólidos en el Mercado Modelo.
Fuente: Elaboración propia

3.4.4. Demanda de energía eléctrica

La máxima demanda eléctrica se recopila información brindada a través de la Empresa Regional de Servicio Público de Electricidad del Norte S.A. [14]

De la Tabla 5 en la columna EN09 la potencia y con el mayor valor corresponde al mes de diciembre con 199,26 kW. [14]

Tabla 5 Consumo mensual del 2021 en el mercado modelo - SED EN09

SED	EN09 (kW)
Enero	177,29
Febrero	181,59
Marzo	199,23
Abril	188,67
Mayo	183,23
Junio	174,74
Julio	177,90
Agosto	177,70
Setiembre	175,17
Octubre	177,63
Noviembre	168,72
Diciembre	199,26

Fuente: Electronorte - Perspectiva Formato D1 Consumos e Importes - SBI30002

En la siguiente Figura 9 se muestra el comportamiento SED EN09.

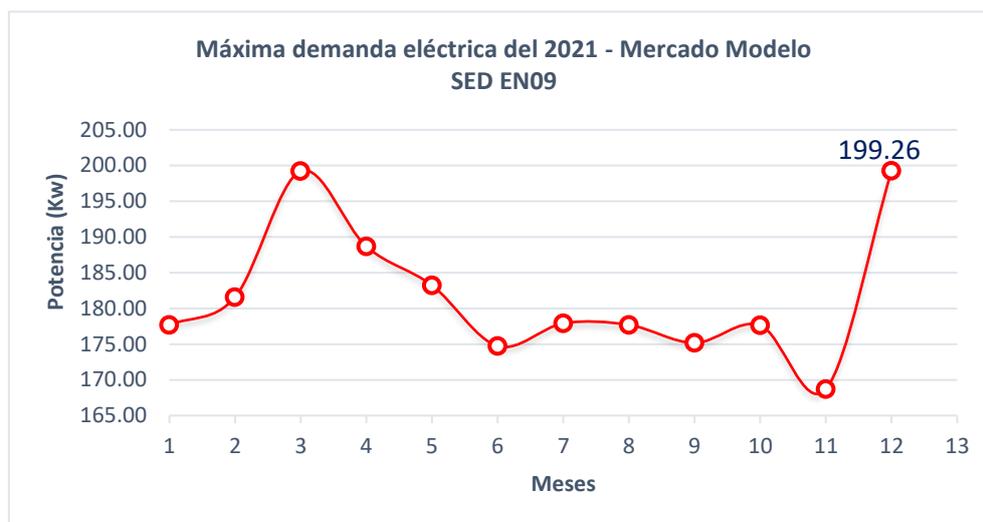


Figura 9 Máxima Demanda eléctrica del 2021- Mercado Modelo (SED EN09).

Fuente: Elaboración propia

De igual manera en la Tabla 6 para la columna EN519 la potencia máxima se da en el mes de diciembre con 22,97 kW.

Tabla 6 Demanda máxima mensual del 2021 en el mercado modelo - SED EN519.

SED	EN519 (kW)
Enero	20,21
Febrero	19,16
Marzo	19,66
Abril	18,14
Mayo	22,81
Junio	19,85
Julio	20,09
Agosto	21,87
Setiembre	18,66
Octubre	19,89
Noviembre	22,87
Diciembre	22,97

Fuente: Electronorte - Perspectiva Formato D1 Consumos e Importes - SBI30002

En la siguiente Figura 10 se muestra el comportamiento SED EN519 de la potencia durante los 12 meses correspondientes al año 2021.

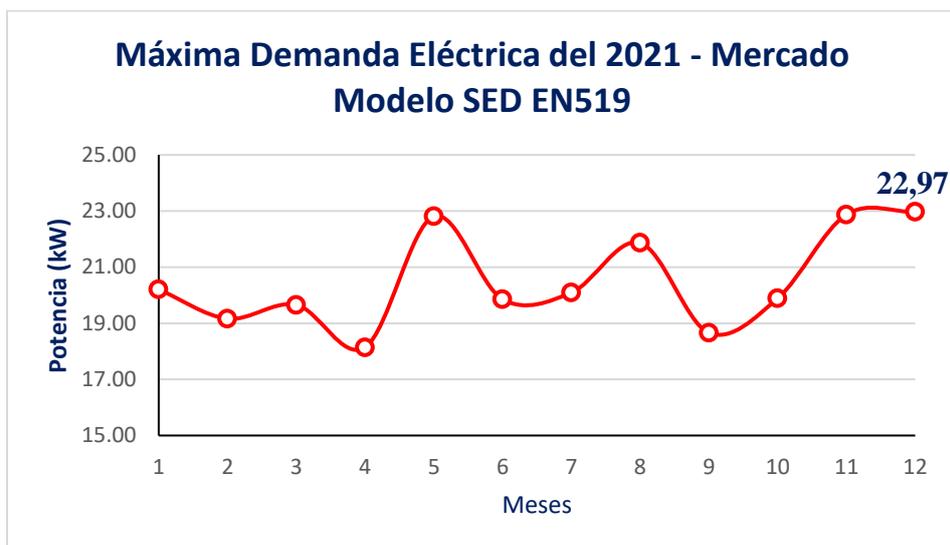


Figura 10 Máxima Demanda eléctrica del 2021- Mercado Modelo (SED EN519).
Fuente: Elaboración propia

3.5. Análisis de resultados

Consecuente a ello, analizando la información recolectada, se muestra y se interpreta que de los 12 mercados a nivel regional constan de 11 373 comerciantes o puestos que generan un total de 12,64 TM/día; de los cuales el mercado modelo – Chiclayo con 3 350 comerciantes generarían 2,2887 TM/día lo que equivale al 61,55% de nivel local.

Aunado, se identifica que un 90% de los comerciantes que generan residuos orgánicos no tienen los conocimientos de que dichos residuos producen energía con la cual se podrían autoabastecer de ello, para de esa manera ser independientes con su consumo energético. Por lo que, una vez dada la información por medio de bases teóricas, un 95% manifiesta que el diseño de un sistema energético autosustentable provee energía eléctrica al mercado modelo, en ese sentido mejora las condiciones de trabajo y salubridad.

3.6. Propuesta

La presente investigación propone un diseño de un sistema energético autosustentable mediante la recolección de los residuos orgánicos lo que equivale al 61,55% del total, con el fin de suministrar energía eléctrica para el mercado modelo.

IV. Diseño

4.1. Metodología del diseño

En la Figura 11 Metodología del proceso de diseño, se muestra lo importante que es identificar con cautela las expectativas y necesidades del usuario, antes de iniciar el diseño.

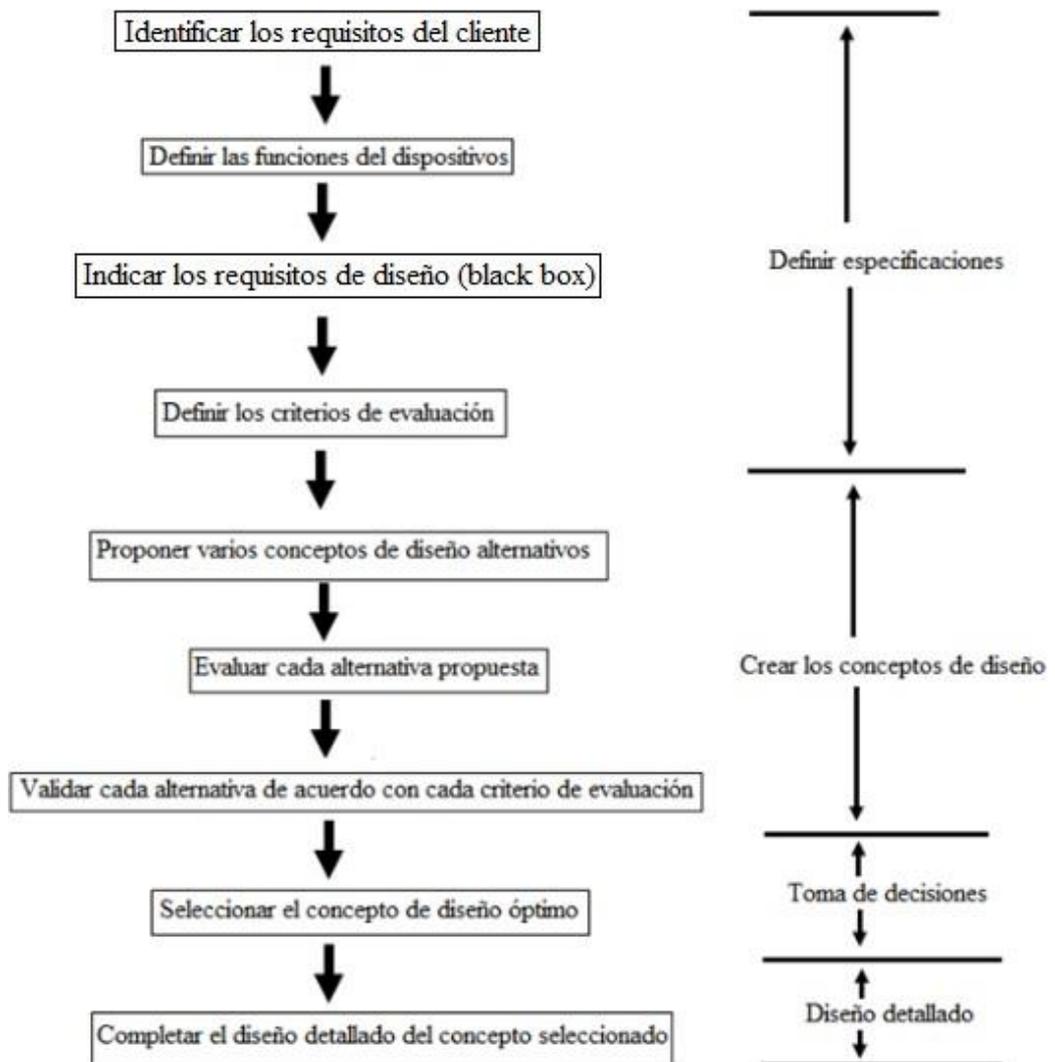


Figura 11 Metodología del proceso de diseño
Fuente: Robert L. Mott, P.E. Diseño de Elementos de Máquinas. 4ª Ed. México 2006.

4.2. Identificar los requisitos del cliente

A continuación, se describen los requisitos.

- ✓ El usuario debe ser capaz de alimentar al sistema sin necesidad de escalera o banco.
- ✓ El manejo del sistema debe ser sencillo.
- ✓ No debe ser muy costosa.
- ✓ Debe buscarse la mejor disposición de los componentes.
- ✓ Debe mantenerse en el interior del sistema la temperatura del biogás.
- ✓ En el diseño debe considerarse el depósito del biogás obtenido en el sistema.
- ✓ Debe considerarse las mediciones de la presión del biogás.
- ✓ El transporte del biogás debe ser a través de tuberías de acero.

4.3. Requisitos de diseño

4.3.1. Caja negra

Para representar el funcionamiento del biodigestor, este se realizará mediante una caja negra que deberá tener en cuenta 3 mediciones de entrada y salida.



Figura 12 Caja Negra
Fuente: Elaboración propia

Se delimita las entradas y salidas correspondiente a: materia, energía, señales.

Entradas:

- ✓ Material: Residuos orgánicos.
- ✓ Energía: Energía de una persona para abastecer al sistema.
- ✓ Señal: Para iniciar llenado del sistema.

Salidas:

- ✓ Material: Biogás.
- ✓ Energía: Combustible.
- ✓ Señal: Que da formación de biogás y correcto funcionamiento.

4.3.2. Funciones del dispositivo

Durante este período, se exploran todas las funciones necesarias que el sistema debe cumplir para ejecutar su tarea principal.

4.3.2.1. Características de funcionalidad

El sistema debe llevar a cabo las siguientes tareas para funcionar correctamente.

a. Alimentación

Abastecimiento del sistema con residuos orgánicos.

b. Transformación

Medio por el cual se convierte el residuo orgánico en energía química.

c. Operación

Manejo sencillo del sistema.

d. Presión

Presión que se genera a través del biogás por el cual están sometidos todos los componentes del sistema.

e. Almacenamiento

Recipiente en el cual se almacena el biogás su respectivo uso posteriormente.

4.4. Criterios de evaluación

Para elegir una de las tres opciones disponibles, se tienen en cuenta siete criterios de selección que son representativos en el proceso de diseño, como se ilustra a continuación:

4.4.1. Fabricación

Se podría fabricar en talleres locales donde se llevará a cabo la producción de biogás, utilizando técnicos especializados y equipos altamente precisos, y utilizando materiales disponibles en el mercado local.

4.4.2. Presión

La presión debe ser la adecuada en todo el sistema para un correcto funcionamiento.

4.4.3. **Mantenimiento**

Para asegurar la durabilidad prevista del sistema según su diseño original, es necesario llevar a cabo un mantenimiento apropiado utilizando el equipo esencial. Esto garantizará su correcto desempeño y permitirá que el mantenimiento pueda realizarse en cualquier taller, además de disponer de repuestos disponibles en el mercado nacional.

4.4.4. **Materiales**

Los materiales utilizados en la fabricación deben estar disponibles en el mercado nacional, evitando la inclusión de componentes importados.

4.4.5. **Seguridad**

El diseño del sistema debe incluir todas las precauciones de seguridad necesarias para facilitar su operación por parte del usuario final, con especial atención a la protección de su integridad física.

4.4.6. **Confiabilidad**

Se refiere al biodigestor, el cual debe operar correctamente durante un período determinado, cumpliendo con las condiciones de operación establecidas.

4.4.7. **Medio ambiente**

El diseño debe contemplar la disminución de la necesidad de utilizar combustibles fósiles como fuente de energía.

4.5. **Disposición básica**

En este estudio, se abordarán los distintos diseños de soluciones óptimas desarrollados a partir de tres alternativas obtenidas. Cada una de estas alternativas se conoce como un concepto de solución, representando una primera aproximación hacia el diseño final que cumple con los requisitos establecidos.

4.5.1. **Concepto de solución - (C.S.1)**

El suministro de los residuos orgánicos al biodigestor será de manera manual el cual se acumulará en un recipiente de alimentación que se transportará mediante tuberías de acero ASTM A53 a un recipiente principal de un material adecuado. La obtención de biogás se llevará a cabo de manera natural mediante la descomposición de residuos orgánicos. Contará con dispositivos para regular la presión y será fácil de manejar. El diseño del biodigestor se realizará a nivel del suelo para facilitar el mantenimiento, y estará orientado verticalmente.

4.5.2. Concepto de solución (C.S.2)

El suministro de los residuos orgánicos al biodigestor será de manera manual el cual se acumulará en un recipiente de alimentación que se transportará mediante tuberías de pvc a un recipiente principal de un material adecuado. La generación de biogás se llevará a cabo de manera espontánea mediante la descomposición de los desechos orgánicos. Tendrá accesorios para el control de la presión y de fácil manipulación. Su construcción será a nivel de piso para un fácil mantenimiento. Su posición del biodigestor es de forma vertical.

4.5.3. Concepto de solución (C.S.3)

El suministro de los residuos orgánicos al biodigestor será de manera manual el cual se acumulará en un recipiente de alimentación que se transportará mediante tuberías de pvc a un recipiente principal de un material adecuado. La producción de biogás se realizará de manera natural mediante la descomposición de materia orgánica. Contará con dispositivos para regular la presión y será fácil de manejar. Su construcción será a nivel de piso para un fácil mantenimiento. Su posición del biodigestor es de forma horizontal.

4.6. Evaluación de los conceptos de solución

Se realiza la evaluación de los conceptos de solución en dos tablas distintas, Tabla 7 y Tabla 8, una enfocada únicamente en los aspectos técnicos y la otra en los aspectos económicos.

Tabla 7 Evaluación técnica del concepto de solución

DISEÑO MECÁNICO-EVALUACIÓN DE PROYECTOS									Área de Diseño	
Valor Técnico (xi)										
Proyecto: DISEÑO DE UN SISTEMA AUTOSUSTENTABLE PARA LA PRODUCCION DE ENERGIA ELECTRICA PARA EL MERCADO MODELO – CHICLAYO										
<p>p: Puntaje de 0 a 4 0 = No satisface, 1= Casi Aceptable, 2 = Suficiente, 3 = Bien, 4 = Muy bien (ideal)</p> <p>gp: El peso ponderado está función de los criterios de evaluación</p> <p>Criterios de evaluación para diseño en fase de conceptos <u>ó</u> proyectos</p>										
Variantes de Proyectos			Solución 3		Solución 2		Solución 1		Solución ideal	
Nr.	Criterios de evaluación	<u>gp</u>	p	<u>gp</u>	p	<u>Gp</u>	p	<u>gp</u>	p	<u>gp</u>
1	Fabricación	3	3	9	3	9	3	9	4	12
2	Presión	4	3	12	2	8	3	12	4	16
3	Mantenimiento	3	4	12	3	9	4	9	4	12
4	Materiales	4	3	12	3	12	4	16	4	16
5	Seguridad	3	4	12	2	6	4	12	4	12
6	Confiabledad	3	3	9	3	9	3	9	4	12
7	Medio ambiente	4	3	12	4	16	4	16	4	16
Puntaje máximo Σp ó $\Sigma g.p$		24	23	78	20	79	25	85	28	96
Valor Técnico xi		-	0,81		0,83		0,88		-	
Orden de selección		-	3		2		1		-	

Fuente: Elaboración Propia

Tabla 8 Evaluación económica del concepto de solución

DISEÑO MECÁNICO-EVALUACIÓN DE PROYECTOS										Área de Diseño
Valor Económico (y_i)										
Proyecto: DISEÑO DE UN SISTEMA AUTOSUSTENTABLE PARA LA PRODUCCION DE ENERGIA ELECTRICA PARA EL MERCADO MODELO – CHICLAYO										
<p>p: Puntaje de 0 a 4 0 = No satisface, 1= Casi Aceptable, 2 = Suficiente, 3 = Bien, 4 = Muy bien (ideal)</p> <p>gp: El peso ponderado está función de los criterios de evaluación</p>										
Criterios de evaluación para diseño en fase de conceptos ó proyectos										
Variantes de Proyectos			Solución 3		Solución 2		Solución 1		Solución ideal	
Nr.	Criterios de evaluación	gp	p	gp	p	Gp	p	gp	p	gp
1	Fabricación	3	3	9	3	9	3	9	4	12
2	Presión	4	2	8	2	8	3	12	4	16
3	Mantenimiento	2	3	6	3	6	4	8	4	8
4	Materiales	4	3	12	3	12	3	12	4	16
5	Seguridad	3	3	9	4	12	4	12	4	12
6	Confiabilidad	3	3	9	3	9	3	9	4	12
7	Medio ambiente	4	3	12	4	16	3	12	4	16
Puntaje máximo Σp ó $\Sigma g.p$		23	20	65	22	72	23	74	28	92
Valor Técnico x_i		-	0,74		0,78		0,80		-	
Orden de selección		-	3		2		1		-	

Fuente: Elaboración Propia

Los resultados de este análisis están representados visualmente en la Tabla 9, donde se identifica la opción que presenta el mejor desempeño técnico o económico, así como el mejor equilibrio entre ambos aspectos. La alternativa que se aproxima más al valor óptimo es la solución 1.

Tabla 9 Evaluación de conceptos de solución

	C.S.3	C.S.2	C.S.1	Solución ideal
Valor Técnico x_i	0,81	0,83	0,88	1,00
Valor Económico y_i	0,74	0,78	0,80	1,00

Fuente: Elaboración Propia

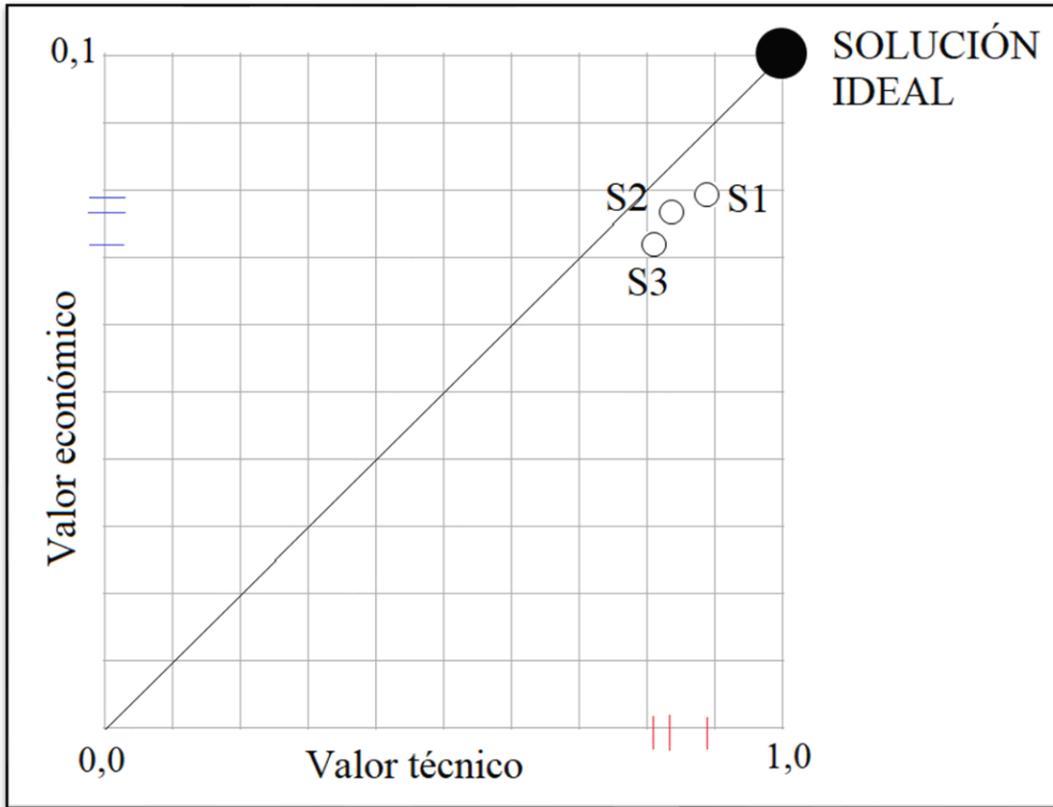


Figura 13 Diagrama de evaluación final del concepto de solución óptimo
Fuente: Elaboración propia

V. Resultados

5.1. Dimensionamiento del biodigestor

5.1.1. Ubicación

La ubicación del biodigestor es muy importante ya que gracias a ello se tiene un fácil manejo, operación y mantenimiento.

Las consideraciones clave a tener presente son las siguientes:

- ✓ Instalar el recipiente alimentador cerca de la generación de la materia prima.
- ✓ Al momento de la instalación se tiene que tener en cuenta la geografía del terreno para que el llenado del biodigestor sea por gravedad.
- ✓ Tener cerca un grifo de agua para realizar su limpieza al biodigestor.
- ✓ Lugar despejado de escombros que interfiera al momento de la instalación del biodigestor.
- ✓ Temperatura óptima para el proceso eficiente de fermentación de los residuos orgánicos. Una temperatura mínima de 19 °C y una máxima de 25°C.

Se propone la ubicación de la planta en las siguientes coordenadas UTM WGS84 ESTE(X): 639000 NORTE(Y): 9234350, zona 17 y hemisferio Sur. Considerando el reglamento aprobado por Decreto Supremo N° 037-2007-EM. Para ver el plano de ubicación ir a

Anexo C – planos CAD.



Figura 14 Ubicación de la planta
Fuente: Elaboración propia

5.1.2. Características físicas, químicas y biológicas de la biomasa

A efecto de garantizar una eficiente producción de biogás, se deberá tomar en cuenta, datos de las características físicas, químicas y biológicas del influente.

a. Contenido de sólidos

Sólidos volátiles, Demanda Bioquímica de Oxígeno (DBO) y de la Demanda Química de Oxígeno (DQO), mismos que servirán para cuantificar la carga orgánica del sistema, el cual será el parámetro base para calcular el volumen del biodigestor. [6]

b. Ph

Importante medida que permite controlar la alcalinidad y acidez del influente. Para el buen rendimiento en la producción de biogás, este debe estar en un rango de 6,5 a 7,5 caso contrario la digestión se verá inhibida la degradación anaerobia (hidrolisis, acidogénesis, acetogénesis y metanogénesis) ya sea por la alcalinidad o acidez. [6]

c. Temperatura del influente

Es un factor importante para determinar el tiempo que permanecerá la materia orgánica dentro del reactor, por lo que se debe de tener registros de la temperatura del influente [6]

d. Relación carbono – nitrógeno

Para el proceso de biodigestión anaerobia, se deberá considerar la relación de nutrientes encontrada en el influente. Esta puede expresarse en función de la relación carbono-nitrógeno. Para este proceso la óptima relación es de C/N es de 25:1

En la Tabla 10, se muestra la relación C/N para diversos residuos sólidos urbanos donde tiene un índice de relación carbono – nitrógeno en la masa fermentable entre 25 – 35. [6]

Tabla 10 Relación C/N

NITRÓGENO Y RELACIÓN C/N EN VARIAS MATERIAS			
MATERIAL		% N2	C/N
Residuos de comida	Fruta	1,52	34,80
	Mataderos	7,0 – 10	2
Estiércoles	Vaca	1,70	18
	Cerdo	3,75	20
	Aves	6,30	15
	Oveja	3,75	22
Madera y paja	Serrín	0,10	200 – 500
	Paja trigo	0,30	128
	Madera pino	0,07	723
Papel	Mezclado	0,25	173
	Periódico	0,05	983
	Revistas	0,07	470
Residuos de jardín	Césped	2,15	20,10
	Hojas caídas	0,5 – 1	40 – 80
Biomasa	General	1,96	20,90

Fuente: Planta de transferencia y tratamiento de residuos sólidos en el distrito de comas provincia y departamento de lima, 2015.

e. Presencia de agentes inhibidores

Tener en cuenta, que no debe haber en la materia orgánica agentes químicos o biológicos que inhiban la producción de biogás. Estos agentes a evitar son, metales pesados, antibióticos, sales minerales, desinfectantes, amoníaco, detergentes, nitrógeno, etc.

En la Tabla 11, se muestran sustancias químicas y su concentración que limita el proceso de digestión anaerobia. [6]

Tabla 11 Concentración inhibitoria de inhibidores comunes.

Inhibidores	Concentración inhibitoria
SO₄	5000 ppm
NaCl	40000 ppm
Nitrato (según contenido de Nitrógeno)	0,05 mg/l
Cu	100 mg/l
Cr	200 mg./l
Ni	200 – 500 mg./l
CN	25 mg./mg./l
Detergente Sintético	20 – 40 mg./l
Na	3500 – 5500 mg./l
K	2500 -4500 mg./l
Ca	2500 – 4500 mg./l
1000 – 1500 mg./l	1000 – 1500 mg./l

Fuente: Planta de transferencia y tratamiento de residuos sólidos en el distrito de comas provincia y departamento de lima, 2015.

5.1.3. Tiempo de retención

El lapso de retención asegura la descomposición total (metanogénesis) de la materia orgánica. Seguidamente, en la Tabla 12 siguiente, se detalla la correlación entre la temperatura y el tiempo necesario para la descomposición completa de la materia orgánica presente en el biodigestor.

Tabla 12 Tiempo de retención en función de la temperatura.

Temperatura [°C]	Tiempo de retención (días)
10	55
20	25
30	10

Fuente: Manual del biogás, FAO 2011.

La materia orgánica debe permanecer dentro del biodigestor 22 días, es decir conforme la temperatura aumenta, el tiempo de permanencia de la materia orgánica se reduce. Y en el caso de la zona de estudio, los datos obtenidos se fijó 22°C como la temperatura. Se logra un análisis Figura 15, a continuación:

Tiempo de retención vs temperatura

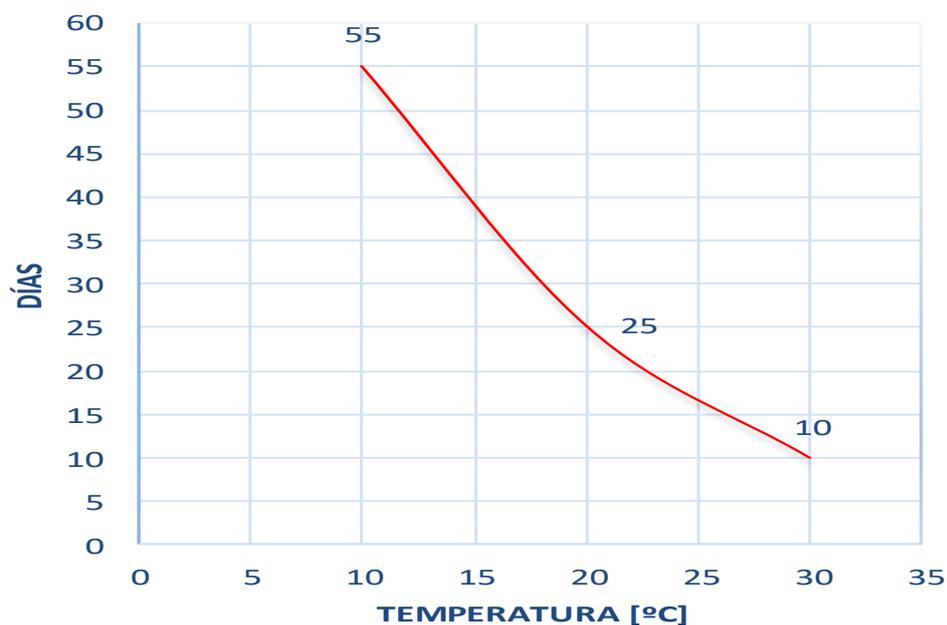


Figura 15 Gráfico de tiempo de retención (días) vs Temperatura (°C).
Fuente: Elaboración propia

Mediante la Figura 15, se utiliza para calcular el tiempo en que la materia orgánica se retiene dentro del biodigestor, lo cual es crucial para determinar las dimensiones adecuadas de la cámara reactiva.

5.1.4. Dimensionamiento del biodigestor.

Por tanto, para su cálculo del volumen, la cámara de fermentación será mayor en comparación con el volumen de la materia orgánica a cargar para facilitar la limpieza de ésta y reducir las fugas que puedan ocasionarse. En la determinación del volumen de la cámara de fermentación se toma en cuenta la siguiente ecuación.

$$\text{Ecuación 1 Volumen de biodigestor (V.B.)}$$

$$V.B. = V.C.T. + 5\%(V.C.T.)$$

Donde:

V.B. = Volumen de la cámara de fermentación.

V.C.T. = Volumen de la carga total, está vinculado a la producción que se desea alcanzar, y esta demanda determinará la cantidad de materia prima

necesaria para introducir en el biodigestor. El poder calorífico del biogás es de 4,767 kcal/m³, y su eficiencia de combustión alcanza un promedio del 60%. Esto resulta en un poder calorífico efectivo del biogás de 2,860 kcal/m³. Para determinar la cantidad de biogás a producir, nos basaremos en los datos proporcionados en la Tabla 13:

Tabla 13 Demanda diaria de biogás para diferentes usos

EQUIPOS	CARACTERISTICA	CONSUMO
Lampara	Equivalente aprox. a 100 W	0,09 m ³
Cocina	Por hornilla estándar	0,40 m ³
Horno	Estándar	0,44 m ³
Nevera	1 quemador – 1 inyector	0,15 m ³
Motor	Ciclo otto	0,45 m ³ /Hp
Soplete	Estándar	0,80 m ³
Criadora	1 500 kcal por 1 inyector	0,16 m ³
	Hervir agua a 100 °C	0,08 m ³ /lt
	Electricidad	0,62 m ³ /kW

Fuente: Manual del biogás, FAO 2011.

Una vez que se ha establecido la necesidad de biogás, se tiene en cuenta la eficiencia del biodigestor. En este caso particular, para el concepto de solución número 01, el rendimiento es de 0,5 metros cúbicos de biogás por cada kilogramo de residuo orgánico. [15]

Obteniendo los valores más altos de cada SED (SED EN 09: 199,26 kW y SED EN519: 22.97 kW) suman 222.23 kW de demanda, valor más alto a lo que pueden llegar a necesitar en el mercado Modelo al mes.

Ahora determinamos los kW que tenemos que producir diariamente a través de la demanda máxima en el mercado dividiendo entre 30 días (del mes), esto equivale 7,41 kW diarios.

Sabiendo que la demanda diaria de gas por uso eléctrico según Tabla 13 es de 0,62 m³ por cada kW de producción, entonces podemos decir que se necesita producir.

$$7,41 \frac{kW}{día} * 0,62 \frac{m^3}{kW} = 4,59 \frac{m^3}{día}$$

De biogás para cubrir la demanda máxima del mercado modelo.

Basándonos en este cálculo, es posible calcular la cantidad de biogás que se puede producir a partir de 2,3 toneladas de materia orgánica. Antes de determinar la carga, hay que tener en cuenta la densidad media de la materia orgánica. Se ha mencionado anteriormente que, la relación C/N que se debe mantener en 25:1.

La densidad media de los residuos orgánicos es de 171.95 Kg/m³. [15]

En el cálculo de la producción de biogás es imprescindible conocer el dato de los porcentajes de sólidos totales (%ST) donde, los sólidos totales se definen como el peso seco de la materia prima, o porción que permanece cuando el material es secado a una temperatura de 105 °C. [15]

En la Tabla 14 se puede observar los porcentajes de sólidos totales y volátiles de los residuos orgánicos, los datos más resaltantes a tomar en cuenta son de residuos de mercados.

Tabla 14 Valores de los porcentajes de sólidos totales y sólidos volátiles

Material (residuos secos)	% Humedad	% Sólidos totales (%ST)	% Nitrógeno (N)	% Carbono (C)	% Sólidos Volátiles (% SV)
Gallinaza	65	35	6.3	94.5	65
Bovinaza	86	14	1.7	30.8	80
Porquinaza	87	13	3.8	76	85
Residuos de mercados	1	99	3.0	54.7	77
Papel periódico	7	93	0.1	5	97,1
Desechos agrícolas	7.2	37	1.2	90	63
Humanaza	73	27	6.0	50	92
Orina	94	6	18	14	75

Fuente: Manual del biogás, FAO 2011.

5.1.5. Cálculo de la carga periódica del biodigestor

Datos a tener en cuenta para calculo:

- ✓ Demanda de biogás: 4,59 m³/día.

- ✓ Tiempo de retención: 22 días.
- ✓ Porcentaje de sólidos totales: 99%
- ✓ Volumen de gas requerido: $4,59 \times 22 = 101,07 \text{ m}^3$.
- ✓ Materia prima sólida total:

Ecuación 2 materia prima sólida total (Sólidos Totales)

$$S.T. = \frac{\text{Demanda de gas}}{\text{Rendimiento}}$$

$$S.T. = \frac{101,07 \text{ m}^3}{0,5 \frac{\text{m}^3}{\text{kg ST}}} = 202,145 \text{ kg ST}$$

- ✓ Materia prima:

Ecuación 3 Materia prima (M.P.)

$$M.P. = \frac{\text{Sólidos totales}}{\text{Porcentajes de ST}}$$

$$M.P. = \frac{202,145 \text{ kg}}{0,99} = 204,19 \text{ kg}$$

- ✓ Volumen de materia prima

Ecuación 4 Volumen de materia prima (V.M.P)

$$V.M.P. = \frac{\text{Materia prima}}{\text{densidad}}$$

$$V.M.P. = \frac{204,19 \text{ kg}}{171,95 \text{ kg/m}^3} = 1,19 \text{ m}^3$$

Por ende, la cantidad de materia orgánica que ingresa al reactor cada 22 días, tiene un volumen de $1,19 \text{ m}^3$, de la Ecuación 4, por lo que se agrega un segundo biodigestor para que su producción de biogás sea perenne.

Se sugiere añadir un 5% adicional al volumen total de carga en la cámara de fermentación.

Por lo que la cámara de fermentación sería de $1,25 \text{ m}^3$.

Existen diferentes empresas que se dedican al rubro de la manufactura o en la construcción de estructuras metálicas para su construcción del tanque.

Aplicando la Ecuación 4, con el incremento del 5% se tiene el nuevo volumen:

$$V.C.F. = V.C.T. + 5\%(V.C.T.)$$

$$V.C.F. = 1,19 * 1.05 = 1,25 \text{ m}^3$$

5.1.5.1. Cálculo de esfuerzos en la cámara del biodigestor

Como primer punto el biodigestor será de material en acero inoxidable con un $S_y=24\ 800$ psi, para que los fluidos no lo afecten con la corrosión.

Será de las siguientes medidas, espesor $t=1,5\text{mm} \approx 0,059$ in, el radio será de $0,6$ m ≈ 23.6 in, su altura de $1,11$ m, por lo que el volumen será de $1,25$ m³.

Se emplea la teoría de los cilindros de pared delgada para analizar los esfuerzos en el biodigestor.

Según [15] indica una presión de 60 psi conveniente para biodigestores.

En la figura 16 se muestra la distribución de esfuerzos en los cilindros de pared delgada cuando están bajo presión.

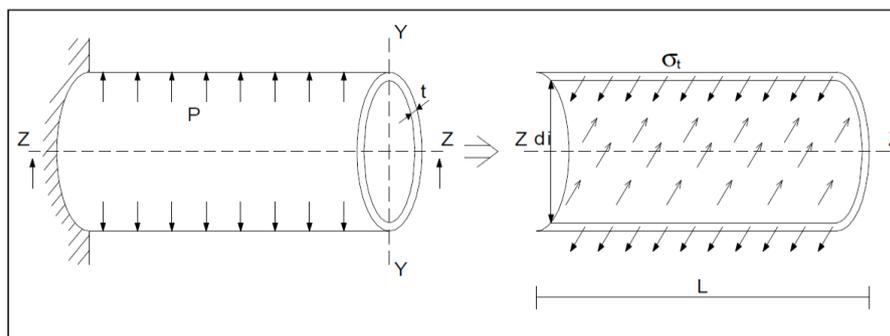


Figura 16 Representación de los esfuerzos en un cilindro de pared delgada

Fuente: Planta de transferencia y tratamiento de residuos sólidos en el distrito de comas provincia y departamento de lima, 2015.

El esfuerzo tensional se define por la Ecuación 5:

Ecuación 5 esfuerzo tensional

$$\sigma_t = \frac{pd}{2t}$$

Donde:

σ_t : Esfuerzo de tensión.

p: Presión interna del fluido.

d: Diámetro.

t: Espesor del tanque.

Hay un criterio que asegura la resistencia de la cámara a la presión a la que estará sometida, siguiendo la siguiente inecuación:

Ecuación 6 relación entre esfuerzo máximo y admisible

$$\sigma_{m\acute{a}x} \leq [\sigma]_m$$

Donde:

$\sigma_{m\acute{a}x}$ = Esfuerzo máximo.

$[\sigma]_m$ = Esfuerzo Admisible.

El esfuerzo máximo equivale al esfuerzo de tensión en la siguiente ecuación:

Ecuación 7 equivalente entre esfuerzo máximo y tensional

$$\sigma_{m\acute{a}x} \approx \sigma_t = \frac{pd}{2t}$$

La ecuación del esfuerzo admisible viene dada de la siguiente manera:

Ecuación 8 esfuerzo admisible

$$[\sigma]_m = \frac{S_{y_t}}{F.S.}$$

Donde:

$[\sigma]_m$ = Esfuerzo Admisible.

S_{y_t} = Resistencia a la tensión (24 800 psi).

FS = Factor de Seguridad (1,67).

$$[\sigma]_m = \frac{24\,800 \left[\frac{lb}{in^2} \right]}{1,67}$$

$$[\sigma]_m = 14\,850,3 \left[\frac{lb}{in^2} \right]$$

Realizando las sustituciones de las Ecuación 6 y Ecuación 7, se tiene la Ecuación 5:

$$\sigma_t = \frac{pd}{2t}$$

$$\sigma_t = \frac{60 \left[\frac{lb}{in^2} \right] \times 47,2[in]}{2 \times 0,059[in]} \left[\frac{lb}{in^2} \right]$$

$$\sigma_t = 24\,000 \left[\frac{lb}{in^2} \right]$$

Por lo tanto, se concluye que el biodigestor es capaz de soportar la presión de diseño. Sin embargo, la presión de diseño de 60 psi genera un esfuerzo de tensión (σ) que excede el esfuerzo admisible (σ_m) calculado con un factor de seguridad de 1.67. Por lo tanto, se sugiere ajustar la presión, como se demuestra en el cálculo del factor de seguridad.

Ecuación 9 factor de seguridad

$$F.S. = \frac{S_{y_t}}{\sigma_t}$$

$$F.S. = \frac{24\,800[\text{psi}]}{24\,000[\text{psi}]} = 1,03$$

De acuerdo al análisis realizado, el biodigestor puede resistir cierta presión, aunque según las regulaciones de diseño de recipientes a presión de la norma ASME Sección VIII, no lo hará adecuadamente. Por ende, es necesario reducir la presión para garantizar un factor de seguridad igual o superior a 1,67. Para determinar la presión óptima de diseño, se resolverá la Ecuación 5 por lo que la ecuación queda:

Ecuación 10 presión óptima de diseño

$$P_{\text{óptimo diseño}} = \frac{\sigma_m 2t}{d}$$

$$P_{\text{óptimo diseño}} = \frac{14\,850,3 \left[\frac{\text{lb}}{\text{in}^2} \right] \times 2 \times 0,059[\text{in}]}{47,2[\text{in}]}$$

$$P_{\text{óptimo diseño}} = 37,13 [\text{psi}]$$

La operación más reciente señala que la presión de diseño puede ajustarse a 37,13 psi, lo que produce un esfuerzo de 14 850,3 psi. Por consiguiente, un nuevo cálculo del factor de seguridad muestra lo siguiente:

Ecuación 11 nuevo factor de seguridad

$$F.S. = \frac{S_{y_t}}{\sigma_m}$$

$$F.S. = \frac{24\,800[\text{psi}]}{14\,850,3[\text{psi}]}$$

$$F.S. = 1,67$$

El último factor de seguridad calculado garantiza un adecuado uso del material que se pretende construir el biodigestor, así también garantiza resistir casi el doble de la presión de diseño.

Podemos también determinar la presión máxima que el biodigestor puede soportar al igualar el esfuerzo admisible con la resistencia a la tensión.

Ecuación 12 presión máxima

$$\sigma_m = S_{y_t}$$

$$\frac{pd}{2t} = S_{y_t}$$

Despejando la presión máxima se tiene lo siguiente:

$$p_{max} = \frac{S_y t}{d}$$

$$p_{max} = \frac{24\,800[\text{psi}] \times 0,059[\text{in}]}{47,2[\text{in}]}$$

$$p_{max} = 62 [\text{psi}]$$

5.2. Cálculo de la tapa del biodigestor

Este elemento que forma parte del biodigestor, prácticamente viene a ser la tapa para que este sea hermético, será de forma elipsoidal.

La mitad de la sección de la tapa del biodigestor será móvil para facilitar la alimentación de los residuos orgánicos, previamente premezclado.

Se emplea las ecuaciones siguientes para su dimensionamiento, según ASME sección VIII.

Ecuación 13 espesor mínimo requerido

$$t = \frac{P * D}{2 * S * E - 0,2 * P}$$

Donde:

t = Espesor mínimo requerido.

P = Presión de diseño, a la que estará sometido el elemento.

D = Diámetro interno de la tapa.

S = Esfuerzo máximo permisible a tensión [lb/in²].

E = Eficiencia máxima de las juntas en la cúpula.

Sustituyendo valores en la

Ecuación 13, se tiene:

$$t = \frac{37,13 \left[\frac{\text{lb}}{\text{in}^2} \right] * 47,2[\text{in}]}{2 * 24\,800 \left[\frac{\text{lb}}{\text{in}^2} \right] * 1 - 0,2 * 37,13 \left[\frac{\text{lb}^2}{\text{in}} \right]}$$

$$t = 0,035[\text{in}] = 0,9 \text{ mm}$$

El grosor de la tapa de acero se encontró ser de 0,9 mm, lo que indica que el grosor de 1,5 mm utilizado en los cálculos es adecuado. Además, la presión máxima que la cúpula puede soportar también puede ser determinada a partir de la

Ecuación 13.

$$P = \frac{2 * S * E * t}{D + 0,2 * t}$$

$$P = \frac{2 * 24\,800 \left[\frac{\text{lb}}{\text{in}^2} \right] * 1 * 0,059[\text{in}]}{47,2[\text{in}] + 0,2 * 0,059[\text{in}]}$$

$$P = 62 \left[\frac{lb}{in^2} \right]$$

Así, empleando los datos obtenidos en el diseño de la cámara del biodigestor, pero sin tener conocimiento del grosor del material, es posible calcular el grosor necesario de la cúpula. La presión máxima en la cámara de fermentación ya está establecida, y para asegurar coherencia entre el cuerpo y la cúpula, el grosor de esta última también se calculará bajo la misma presión. La siguiente fórmula permite realizar este cálculo.

$$P = \frac{2 * S * E * t}{D + 0,2 * t}$$

$$62 = \frac{2 * 24\,800 \left[\frac{lb}{in^2} \right] * 1 * t[in]}{47,2[in] + 0,2 * t[in]}$$

$$t = 0,06 \text{ in} = 1.5 \text{ mm}$$

5.3. Cálculo del espesor del aislante térmico

Una de las variables imprescindibles para la generación del metano es la temperatura dentro del reactor.

Para que la temperatura no tenga variación, en este ítem se diseña un aislante térmico, en el cual este evita la pérdida de calor dentro del reactor en pleno proceso de metanogénesis. Mediante análisis de transferencia de calor se establece la superficie que debe ser monitoreada, sin embargo, antes de esto se realiza el cálculo del grosor del material aislante.

La Figura 17 ilustra la disposición del material aislante al lado del reactor.

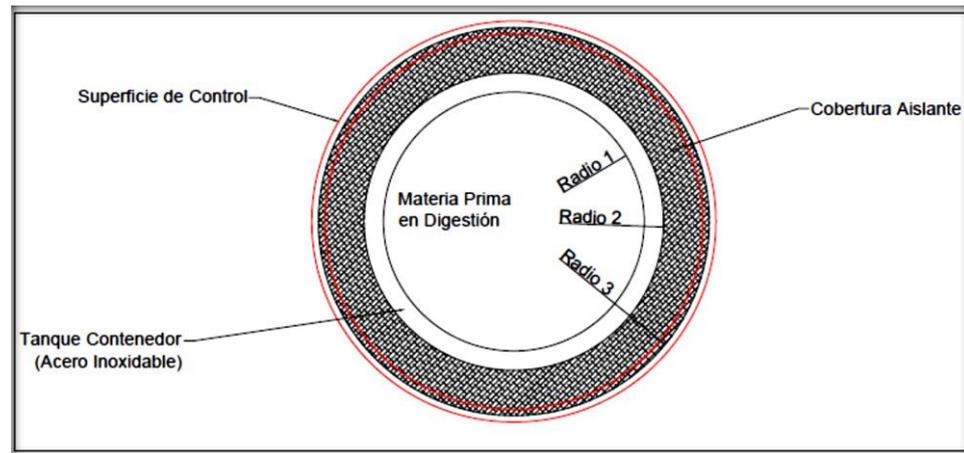


Figura 17 Representación esquemática del cuerpo del biodigestor y la cobertura aislante.

Fuente: Elaboración Propia

Esto implica que la energía que sale de la superficie bajo observación es equivalente a la energía que entra en ella. Esta relación se formula en la siguiente ecuación:

Ecuación 14 primera ley de la termodinámica para sistemas cerrados

$$E_{entrante} = E_{saliente}$$

El circuito térmico que sintetiza este proceso, en la Figura 18

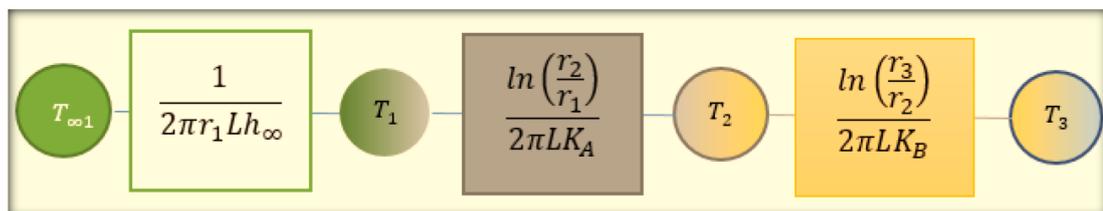


Figura 18 Circuito térmico

Fuente: Elaboración Propia

Para su cálculo se empleó un software de ingeniería que lleva de nombre ArmWin, indicado para determinar el espesor de aislamiento térmico.

La función principal del aislamiento para bajas y altas temperaturas es prevenir la condensación y evaporación respectivamente. Además de la calidad del material y la mano de obra, un espesor correcto del aislamiento resulta determinante para lograr un control a largo plazo de la condensación o evaporación, incluso en condiciones críticas.

Para calcular el espesor del aislamiento es necesario conocer, o definir, las temperaturas del conducto y ambiente y la humedad relativa, así como determinar la conductividad térmica y el coeficiente de transmisión de calor del aislamiento y el

objeto (tubería/conducto, etc.) a aislar. Estos cálculos resultan mucho más sencillos con el nuevo programa ArmWin proporcionado por Armacell.

ArmWin se puede utilizar no solo para determinar el espesor mínimo del aislamiento necesario para controlar la temperatura en el interior del conducto o cilindro, sino también para calcular:

- ✓ La temperatura de la superficie,
- ✓ La transferencia de calor,
- ✓ Los cambios de temperatura en tuberías, conductos y depósitos,
- ✓ Los espesores de aislamiento más económicos.

Por lo que ingresando los datos pertinentes al software en cada sección como:

- ✓ Opciones de cálculo.
- ✓ Valores Calculados.

Se obtiene los resultados, el software arrojó un espesor real de aislamiento térmico 32 mm para la cámara de fermentación. En los siguientes Anexo_A 1, Anexo_A 2, Anexo_A 3 se detalla los datos ingresados en cada sección del software.

5.4. Tuberías, codos y tee de carga y descarga

Las tuberías de carga y descarga son de importante espesor, para que permita fluir el biogas al aperturar la válvula de paso.

Se instalará una tubería de descarga en los biodigestores para direccionar el biogas que es producto de la fermentación. Debe tomarse en cuenta que al disminuir la presión, extrayendo biogás, parte de los líquidos regresa hacia el biodigestor.

Ver fichas técnicas de la tubería, codo y tee en el Anexo_B 1, Anexo_B6 y Anexo_B7.

5.5. Cálculo de gasómetro

Este mecanismo asegura la consistencia en la presión del biogás extraído del biodigestor. Consiste en un recipiente con un cabezal elipsoidal diseñado para almacenar el biogás. El dispositivo tiene la capacidad de contener el doble del volumen de biogás requerido diariamente, lo que significa que el gasómetro tendrá un volumen de 9,2 m³.

Basándonos en un volumen de 9,2 m³, una altura de 1,5 m y un radio interior de 1,4 m, la ecuación siguiente define el volumen del recipiente (cilíndrico):

Ecuación 15 volumen del contenedor (cilíndrico)

$$V_c = \pi r_1^2 h + \frac{2}{3} \pi d_1^2 h$$

Donde:

VC = Volumen del contenedor.

r1 = Radio interno del contenedor.

h = Altura del contenedor.

De la Ecuación 15, la adición de la fracción forma parte de la mitad del elipsoide del contenedor.

$$V_c = \pi x(1,4)^2 x 1,5 + \frac{2}{3} x \pi x(2,8)^2 x 0,05 = 10,1 \text{ m}^3$$

El resultado obtenido de 10,1 m³ es la suma total del volumen del cilindro más la mitad del elipsoide, consciente de dejar un vacío en el gasómetro, equivalente a 0.86 m³.

Para el cálculo del espesor del gasómetro, considerando una presión de diseño de 37,0 psi, y con material de acero al carbono SA36 con una tensión admisible S=16 534,3 psi.

Se utiliza la formula siguiente, según ASME VIII:

Ecuación 16 espesor del gasómetro

$$t = \frac{P * R}{S * E - 0,6 * P}$$

Donde:

t = Espesor mínimo requerido.

P = Presión de diseño, a la que estará sometido el elemento.

R = Radio interno de la tapa.

S = Esfuerzo máximo permisible a tensión [psi].

E = Eficiencia máxima de las juntas en la cúpula.

Sustituyendo valores en la ecuación 16 se tiene:

$$t = \frac{37,0 \text{ [psi]} * 55,12 \text{ [in]}}{16 534,3 \text{ [psi]} * 1 - 0,6 * 37,0 \text{ [psi]}}$$

$$t = 0,124 \text{ in} \approx 3,15 \text{ mm.}$$

5.6. Selección del grupo electrogeno

La elección del generador eléctrico alimentado por biogás para ser utilizado en el sistema se basa en la potencia requerida para satisfacer la demanda máxima del

mercado, tal como se determina en los análisis de las SED EN09 y SED EN519, la cual asciende a 222,23 kW.

Suponiendo que los factores tanto de demanda y de simultaneidad integran en el resultado de la máxima demanda del mercado.

5.6.1. El factor de demanda

Permite que la ampacidad del alimentador sea inferior al 100 por ciento de todas las cargas del circuito derivado conectadas a él.

5.6.2. El factor de simultaneidad

Es el cociente entre la máxima potencia que proporciona una instalación eléctrica, y la suma de las potencias nominales de todos los receptores que están conectados a ella.

5.6.3. Cálculo potencia del grupo electrógeno a biogás a instalar.

Tomando los valores de la máxima demanda del mes más alto (diciembre 2021)

Se procede a calcular la potencia del grupo electrógeno a biogás tomando en cuenta la reserva para futuras ampliaciones, estamos hablando de un 25 % y el factor de potencia en la siguiente fórmula:

$$\begin{aligned} & \text{Ecuación 17 potencia eléctrica} \\ & P = \sqrt{3} \cdot VI \cdot \cos \varphi = S \cdot \cos \varphi \\ S = \frac{P}{\cos \varphi} = \frac{222,23}{0,75} + 0,25 \left(\frac{222,23}{0,75} \right) = 370,40 \text{ KVA} \end{aligned}$$

Para obtener más detalles sobre la elección del generador eléctrico, consulta el Anexo_B 9.

5.7. Operación del sistema

Para el funcionamiento de un biodigestor no se requiere mayor control, pero la persona a cargo de ello, requiere de conocimiento de cómo operar los equipos.

5.7.1. Prueba del biodigestor

Antes de su puesta en marcha, se debe revisar su resistencia mecánica, hermeticidad para prever daños en el biodigestor

El uso por un año del biodigestor se debe realizar mantenimiento completo, tomando en cuenta su sellado e impermeabilidad. [9]

5.7.2. Preparación de la carga

Es recomendable recolectar el material durante un período de 20 a 30 días antes de introducirlo en el reactor, ya que esto mejora el rendimiento y la producción del proceso de fermentación. [9]

5.7.3. Alimentación al biodigestor

En la inicial introducción de material en el biodigestor, dado que no se dispone de sustancia previamente procesada que contenga los microorganismos esenciales para la digestión, se debe dejar en descomposición parcial por un tiempo de 1 a 2 semanas, para luego llenar el reactor y durante 3 días dejar abierto para que los microorganismos aeróbicos puedan desarrollar su trabajo. [9]

En 2 días con una temperatura de 22 grados centígrados se aplica agua a la mezcla, posteriormente se mide lo importante que es el PH. El PH indicado comprende de 6 a 7 para luego sellar el reactor y así comience el proceso de producción de biogás.

Por último, asegurarse de que todas las tuberías, conexiones y salidas de materiales y gas estén operativas correctamente, y que las válvulas estén en la posición adecuada, ya sea abiertas o cerradas según corresponda. [9]

5.7.4. Producción de gas

Esto se producirá, en los primero 3 días después de sellar el reactor el biogás es pobre en metano, por lo que la combustión del biogás tiene que regularse hasta que se pueda usar el metano en un 60%. [9]

5.7.5. Descarga del gas

Es aquel, que debe salir todo el biogás producido para después poder retirar la tapa o la cubierta hermética y así poder limpiar el reactor para que esté disponible a un nuevo proceso. [9]

5.7.6. Alimentación de combustible al grupo electrógeno

La instalación dispone de unos requisitos mínimos para su funcionamiento, que deben cumplirse para garantizar el funcionamiento del sistema:

- El gas proporcionado al generador eléctrico debe cumplir con ciertos estándares de calidad, lo que significa que la cantidad de energía por unidad de volumen del combustible debe ser alta.
- Es importante que el suministro de biogás tenga la presión adecuada para garantizar un funcionamiento óptimo.
- Debe haber una cantidad suficiente de biogás disponible para alimentar el generador eléctrico. Por lo tanto, es crucial seleccionar una tubería de transporte que permita un flujo adecuado de biogás. Se debe tener en cuenta que, a mayor calidad del combustible, menor será el caudal requerido.

VI. **Diseño CAD**

Figura 19 Diseño del Sistema energético.

Fuente: Elaboración propia

VII. Evaluación económica

Se considerarán los siguientes criterios.

Dado que varios elementos influyen en un análisis económico durante el ciclo de vida de un sistema energético, es esencial tener en cuenta los siguientes aspectos:

- Duración operativa del sistema
- Inversión inicial del proyecto
- Costo por kilovatio-hora (kWh)
- Tasa de interés utilizada para el descuento de flujos futuros
- Gastos asociados a operación y mantenimiento

Descripción de la inversión:

1. Desarrollo del proyecto
2. Biodigestor
3. Grupo eléctrico.
4. Dirección y Gestión del proyecto.

7.1. Costos directos

Estos son los factores que impactan directamente en el producto en sí mismo. Por lo tanto, en esta clasificación se incluyen el generador eléctrico, los materiales necesarios para la construcción o adquisición, así como la mano de obra requerida para su montaje y edificación. Todos estos costos directos se resumen en la Tabla 15:

Tabla 15 Costos directos - Biodigestor

Item	Descripción	Und.	Cantidad	Precio (S/.)	Costo Total (S/.)
BIODIGESTOR					
1	Plancha acero 1 200 x 2 400 x 1,5 mm AISI-316	und	4,00	420,00	1 680,00
2	Lamina 2 440 x 1 220 x 1,5 mm	und	2,00	50,00	100,00
3	Tapa del biodigestor	und	1,00	250,00	250,00
4	Manómetro hasta 1000 psi	und	2,00	25,00	50,00
5	Electrodos C-307 AWS E307 - 16	kg	15,00	140,00	2 100,00
6	Aislamiento térmico 2 000 x 500 x 32 mm	m2	12,00	307,00	3 684,00
7	Tubería de salida 3" ISO-65	m	1,00	24,00	24,00
8	Válvula de descarga ISO-65	und	1,00	73,00	73,00
9	Pintura para altas temperaturas Negro	L	5,00	90,00	450,00

GASOMETRO					
10	Plancha acero 2 400 x 1 200 x 3,5 mm SA36	und	10,00	450,00	4 500,00
11	Manómetro	und	1,00	25,00	25,00
12	Canal de salida	und	1,00	250,00	250,00
13	Pintura para altas temperaturas Negro	L	4,00	90,00	360,00
14	Electrodos E6011	kg	25,00	18,00	450,00

TUBERIAS Y ACCESORIOS					
15	Codo Ø25mm ISO-65	und	6,00	13,00	78,00
16	Te Ø25mm ISO-65	und	5,00	8,00	40,00
17	Tubería Ø25mm ASTM-A53 - 6 m.	und	8,00	150,00	1 200,00
18	Pintura para altas temperaturas Negro	L	1,00	90,00	90,00
19	Válvulas tipo bola Ø25mm	und	5,00	95,00	475,00

MANO DE OBRA DIRECTA					
20	Soldadura y ensamble 1 – Biodigestores	Und	1,00	350,00	350,00
21	Soldadura y ensamble 2 – Gasómetro	Und	1,00	220,00	220,00
22	Instalación 1 – Biodigestores	Und	1,00	200,00	200,00
23	Instalación 2 – Gasómetro	Und	1,00	200,00	200,00
24	Conexión gasómetro/grupo eléctrico.	Und	1,00	450,00	450,00

GRUPO ELÉCTROGENO (Activo fijo)					
25	375 kW / 430 kVA	Und	1,00	226 000,00	226 000,00

Fuente: Elaboración propia

7.2. Costos indirectos

Estos elementos impactan en el costo total del proyecto, pero no influyen significativamente en la calidad del producto final. Esta categoría abarca el transporte, herramientas extra, servicios esenciales, almacenamiento de componentes y el alojamiento para aquellos involucrados en el proyecto que no residan en el área donde se lleva a cabo.

Tabla 16 Costos indirectos – Biodigestor

Item	Descripción	Und	Cantidad	Precio (S/.)	Costo total (S/.)
1	Alimentación y hospedaje	Und	10,00	150,00	1 500,00
2	Transporte de materiales	Und	2,00	700,00	1 400,00
3	Almacén de equipos y materiales	Und	1,00	600,00	600,00
4	Herramientas	Und	1,00	500,00	500,00

Fuente: Elaboración propia

7.3. Costo de operación y mantenimiento

Los costes de operación y mantenimiento vendrán a ser el 10% del total de la inversión, en este caso resulta con un valor de 24 729,9 Soles.

Los costos de operación y mantenimiento son variables para el grupo electrógeno y los gastos referentes a la mano de obra en la operación del sistema de biodigestión.

En la Tabla 17 y Tabla 18 especificamos las actividades y costos tanto de operación como de mantenimiento:

Tabla 17 Actividades de Operación y Mantenimiento

Actividades		
	Operación	Mantenimiento
De la materia prima	Mano de obra	Mantenimiento del biodigestor, debe estar listo para su utilización
	Equipo para transporte	Revisión de accesorios para asegurar su hermeticidad.
Del empleo del efluente	Mano de obra	
	Equipo para transporte	
	Almacenamiento	
De utilización del biogás	Almacenamiento	Mantenimiento de fugas
	Distribución	Revisión mensual de válvulas
	Adaptación de equipos	Revisión de accesorios para asegurar su hermeticidad en su almacenamiento
	Purificación	Disminuir el Acido Sulfurico
Del Grupo Eléctrogeno	Mano de obra (Inspección, arranque, operación y parada del motor).	Mantenimiento del sistema de enfriamiento Sistema de lubricación Cambio de aceite

Fuente: Elaboración propia

Tabla 18 Costos de Mantenimiento y Operación.

Elemento	Especificaciones	Cant.	Costo Unitario (S/)	Total (s/)
Costos de Mantenimiento y operación	Inversión de reposición 10%	0,10	247 299,00	24 729,90

Fuente: Elaboración propia

7.4. Costo total del proyecto

El resumen del costo total del proyecto, abarcando los costos directos, indirectos, así como los costos de mantenimiento y operación, se presenta en la Tabla 19:

Tabla 19 Costo Total

Costo directo	S/ 243 299,00
Costo indirecto	S/ 4 000,00
Mantenimiento y operación	S/ 24 729,90
Costo total	S/ 272 028,9

Fuente: Elaboración propia

7.5. Ingresos

7.5.1. Bonos de carbono

Los créditos de carbono se generan a partir de proyectos que reducen la emisión de gases presentes en la atmósfera, ayudando a mitigar el efecto invernadero y el consecuente calentamiento global.

Este mecanismo proporciona incentivos económicos para que empresas privadas contribuyan a mejorar la calidad ambiental y regulen las emisiones generadas por sus procesos productivos. El derecho a emitir CO₂ se considera un recurso intercambiable, con un valor establecido en el mercado de \$27,4 por tonelada.

Tabla 20 Costo Total del Proyecto.

	Consumo anual (kWh) - 2021	Factor de emisión (kg de CO ₂ eq/kWh)	Kg de CO ₂ eq
Electricidad	246 185,99	0,39	96 012,54

Fuente: Elaboración propia

El precio de 1,000 kg de CO₂ es de \$27.4, lo que al convertirlo a moneda local equivale a 100.56 nuevos soles. Según la Tabla 20, el ingreso por créditos de carbono es de S/ 9,654.83.

7.5.2. Coste del kw/h del sistema

Se determina utilizando el LCOE, que representa el costo teórico de generar energía eléctrica e incluye la inversión inicial, la tasa de descuento y los costos de mantenimiento y operación.

El LCOE (Costo Nivelado de Energía, por sus siglas en inglés) es un método que permite la comparación de diversos proyectos de generación, que pueden variar en tamaño o tecnología, convirtiéndolos en una unidad común para facilitar la toma de decisiones por parte de los inversores. Esto les permite evaluar y comparar un conjunto de proyectos en términos de sus costos.

a. Costos de mantenimiento.

Los gastos de mantenimiento y operación representarán el 10% del monto total de la inversión, que en esta ocasión asciende a 24,729.90 Soles.

b. Energía generada durante la vida del sistema

A través de Electronorte S.A. se accedió a un resumen del consumo de energía eléctrica (medido en kWh) de los usuarios del Mercado Modelo durante el año 2021. La Tabla 21 proporciona detalles sobre este consumo.

Tabla 21 Consumo de usuarios en el Mercado Modelo – kW-h

Año de emisión (2021)	Consumo (kW-h)
	246 185,99

Fuente: Electronorte S.A.

Por lo que, al consumo de energía del Mercado Modelo, se multiplica por los cinco años de vida para obtener la energía generada durante la vida del sistema.

La fórmula LCOE para analizarlo es la siguiente:

Ecuación 18 coste teórico de generación de energía eléctrica (LCOE)

$$\text{LCOE} = \frac{\sum_{t=1}^n \frac{i + Mt}{(1+r)^t}}{\sum_{t=1}^n \frac{E}{(1+r)^t}}$$

Tabla 22 Datos para LCOE.

Vida estimada de la instalación (t)	5 años
Inversión inicial (i)	272 028,90
Costos operación y mantenimiento (Mt)	24 729,90
Energía generada durante la vida del sistema (E)	1 230 929,95
Tasa de descuento (r)	0,12
COSTO (S/ - kW)	0,24

Fuente: Elaboración propia

$$\begin{aligned} \text{LCOE} &= \frac{\frac{242043,47 + 2396,47}{(1+0,12)^1} + \frac{242043,47 + 2396,47}{(1+0,12)^2} + \frac{242043,47 + 2396,47}{(1+0,12)^3} + \dots + \frac{242043,47 + 2396,47}{(1+0,12)^5}}{\frac{14\,385\,600}{(1+0,12)^1} + \frac{14\,385\,600}{(1+0,12)^2} + \frac{14\,385\,600}{(1+0,12)^3} + \frac{14\,385\,600}{(1+0,12)^4} + \dots + \frac{14\,385\,600}{(1+0,12)^5}} \end{aligned}$$

$$\text{LCOE} = 0,24 \frac{\text{soles}}{\text{kWh}}$$

7.6. Valorización del proyecto

Para analizar la viabilidad de la inversión, se llevará a cabo un cálculo del Valor Actual Neto (VAN) y una tasa interna de rendimiento (TIR), ya que son los métodos más comúnmente utilizados para evaluar la rentabilidad de un proyecto de inversión.

El Valor Actual Neto (VAN) implica descontar todos los flujos de efectivo futuros al momento actual utilizando una tasa de descuento. Esto permite comparar la equivalencia en el tiempo cero de los flujos de efectivo futuros generados por un proyecto con el desembolso inicial.

La Tasa Interna de Rendimiento (TIR) es la tasa de descuento que hace que el Valor Actual Neto (VAN) de una inversión sea igual a cero ($VAN=0$).

Tabla 23 Evaluación económica VAN - TIR

Años	0	1	2	3	4	5
Egresos	-S/ 272 028,90	-S/ 24 729,90	-S/ 24 729,90	-S/ 24 729,90	-S/ 24 729,90	-S/ 24 729,90
Inversión del proyecto	-S/ 272 028,90					
Operación y Mantenimiento		-S/ 24 729,90	-S/ 24 729,90	-S/ 24 729,90	-S/ 24 729,90	-S/ 24 729,90
Ingresos		S/ 132 747,82	S/ 132 747,82	S/ 132 747,82	S/ 132 747,82	S/ 132 747,82
Venta de Energía		S/ 123 093,00	S/ 123 093,00	S/ 123 093,00	S/ 123 093,00	S/ 123 093,00
Bonos de carbono		S/ 9 654,83	S/ 9 654,83	S/ 9 654,83	S/ 9 654,83	S/ 9 654,83
Beneficios	-S/ 272 028,90	S/ 108 017,92	S/ 108 017,92	S/ 108 017,92	S/ 108 017,92	S/ 108 017,92

VAN=	S/ 117 351,54
TIR=	28%

Fuente: Elaboración propia

Al examinar los resultados de la Tabla 23, se confirma que el proyecto es rentable, dado que el Valor Actual Neto (VAN) es positivo y la Tasa Interna de Rendimiento (TIR) supera el 12%. Por lo tanto, podemos concluir que el proyecto propuesto puede ser implementado sin dificultades.

VIII. Conclusiones

- Al determinar la demanda máxima del Mercado Modelo se determinó la demanda máxima mensual en 2021 en dos subestaciones, tales como, SED EN 09 y SED EN 519, por lo que se tomó valores altos correspondientes al mes de diciembre. Valores que resultan en un requerimiento máximo de 222,23 kW, cifra importante que sirvió de base para el dimensionamiento del sistema energético de biodigestión.
- En la cuantificación o gestión de residuos orgánicos e inorgánicos, resultó significativa la producción diaria de residuos orgánicos en los 3 350 comerciantes o puestos del Mercado Modelo, esto corresponde a un porcentaje del 61,55% de materia orgánica, lo que equivale a 2,288 TM al día. Por lo que el sistema energético de biodigestión cuenta con materia prima suficiente para producir energía eléctrica de forma ininterrumpida.
- Al dimensionar el biodigestor, resultó que, por la misma producción de residuos orgánicos, contará con la disponibilidad de otro biodigestor para cargar y así mantener biogás en reserva para cubrir las conexiones de cargas futuras, el cual sería el 25% más la demanda existente.

Por otro lado, el biodigestor tendrá las siguientes dimensiones, 0,60 m de radio de su base y una altura de 1,1 m; utilizando un aislante térmico de espuma elastomérica con un espesor de 32 mm. En la cual le permite garantizar una eficiente producción de biogás y así también no ocupa mucho espacio para la producción de la misma.

El gasómetro dimensionado, tiene la capacidad para contener el doble de biogás del requerido a diario, lo cual permite la continuidad de alimentación de biogás hacia el motor del grupo electrógeno.

En la selección del generador con un cálculo de potencia de 375 kW/430 kVA elevó el costo del proyecto, pero a pesar del alto nivel del costo de la inversión, el capital se recupera en 5 años, gracias a la mayor demanda de energía eléctrica que requieren los comerciantes de dicho Mercado.

- Se ha realizado un análisis de viabilidad económica para determinar la cantidad total que se debe invertir en la implementación del sistema de biodigestión de residuos orgánicos autosostenible en el Mercado Modelo de Chiclayo. El estudio arrojó un total de S/.272 028,90 como costo de inversión. Según esta evaluación económica, el Valor Actual Neto (VAN) resultó en

S/117 351,54 y la Tasa Interna de Rendimiento (TIR) fue del 28%. Además, el periodo de recuperación de la inversión es de 5 años. Por lo tanto, se concluye que la inversión en la instalación del sistema es rentable.

IX. Recomendaciones

- Se sugiere que el biogás derivado de residuos orgánicos podría respaldar la viabilidad de un sistema de cogeneración. Esto implicaría aprovechar la energía térmica que actualmente se disipa a través del escape de residuos de la combustión.
- Es importante considerar la proporción entre carbono y nitrógeno, ya que esto influye en la generación de biogás y, por ende, en su eficacia.
- Se recomienda utilizar el Biol, producido después de la metanogénesis de los residuos orgánicos, como abono foliar orgánico en los cultivos.
- Conducir una evaluación sobre las medidas de protección eléctrica utilizando la energía generada a partir de desechos orgánicos, con el objetivo de conectarse al Sistema Eléctrico Interconectado Nacional (SEIN).

Referencias

- [1] O. O. ORGANIZACIÓN PARA EL DESARROLLO SOSTENIBLE, «Plan Integral de Gestión Ambiental de Residuos Sólidos de la Provincia de Chiclayo, Departamento de Lambayeque.,» Chiclayo, 2012.
- [2] H. v. y. S.Kedrrers, «Estiércol de ganado bovino sometidos a presiones y temperaturas,» 1998.
- [3] R. G.-W. y. O. Rivas-Solano, «Producción de metano a partir de desechos orgánicos generados en el Tecnológico de Costa Rica,» Junio 2012. [En línea]. Available: https://revistas.tec.ac.cr/index.php/tec_marcha/article/view/1631. [Último acceso: Junio 2018].
- [4] A. Gonzáles, «Reactores gaseosos de presión variable para generación de energía eléctrica,» Venezuela, 2008.
- [5] A. C. Gómez, «BAZERO,» Gómez, Andrea Castro, [En línea]. Available: <https://bazero.jimdo.com/conceptos/residuos-s%C3%B3lidos-o-basura/>. [Último acceso: 3 Junio 2017].
- [6] O. V. ACEVEDO AGUIRRE y A. J. RAMOS CURLETTI, «PLANTA DE TRANSFERENCIA Y TRATAMIENTO DE RESIDUOS SÓLIDOS,» Lima, 2015.
- [7] RMR-PRIGEDS, «LOS BIODIGESTORES: UNA TECNOLOGÍA QUE TRANSFORMA SUS DESECHOS EN ENERGÍA,» [En línea]. Available: <http://ricardo.bizhat.com/rmr-prigeds/biodigestores-biogas.htm>. [Último acceso: 14 Junio 2017].
- [8] «BioGAS,» [En línea]. Available: <https://sites.google.com/a/educ.ar/eti/aula-electromecanica/biogas>. [Último acceso: 16 Junio 2017].
- [9] Chuquitarco y H. Darío, *DISEÑO DE UN BIODIGESTOR PARA EL APROVECHAMIENTO ENERGÉTICO DE LA EXCRETA GENERA POR LOS ANIMALES DE CRÍA - EN LA FINCHA DE AUTOCONSUMO DEL INSTITUTO PREUNIVERSITARIO VOCACIONAL DE CIENCIAS EXACTAS FEDERICO ENGELS*, Ecuador: UNIVERSIDAD TÉCNICA DE COTOPAXI, 2010.
- [10] FAO, «PROBIOMASA,» 2019. [En línea]. Available: http://www.probiomasa.gob.ar/_pdf/GuiadeBiogasyBiodigestores-19-08-29.pdf. [Último acceso: 02 Junio 2022].
- [11] S. Palella Stracuzzi y F. Martins Pestana, Metodología de la investigación cuantitativa, Caracas, Venezuela: FEDUPEL, 2012.
- [12] Resolución Ministerial N° 457-2018-MINAM, «Aprueban la Guía para la Caracterización de Residuos Sólidos Municipales,» 2018 Diciembre 31. [En línea]. Available: <https://sinia.minam.gob.pe/normas/aprueban-guia-caracterizacion-residuos-solidos-municipales>.
- [13] «Sistema de información de fundaciones produce,» [En línea]. Available: http://siproduce.sifupro.org.mx/seguimiento/archivero/13/2013/trimestrales/anexo_1389-5-2013-11-4.pdf. [Último acceso: 14 Junio 2017].
- [14] ENSA, «ELECTRONORTE SA,» [En línea]. Available: <https://www.distriluz.com.pe/ensa.servicios/>. [Último acceso: 15 Mayo 2017].
- [15] R. A. R. Gia, *Diseño y simulación de un biodigestor para generar biogás y abono a partir de vísceras de animales*, Ecuador, 2016.

[16] A. B. Buhigas, «Sistema biodigestor para el tratamiento de desechos orgánicos (Estelí, Nicaragua),» Estelí, 2010.

X. Anexos

10.1. Anexos A – Aislamiento térmico

Anexo_A 1 Opciones de cálculo – Software ArmWin



ArmWin®
Cálculo Profesional de Espesores de Aislamiento

Iniciar nuevo > Datos de Cálculo > Resultados de cálculo > Informe de cálculo

INFORMACIÓN DEL PROYECTO

OPCIONES DE CÁLCULO

Tipo de cálculo	Temperatura exterior de la superficie
Opciones de cálculo	El espesor debe ser calculado
Tipo de objeto	Depósito, cilíndrico
Materia	Acero inoxidable
Espesor de pared	1,00 [mm]
Orientación del objeto	Horizontal
Diámetro	1200 [mm]
Longitud	1,11 [m]
Medio	Butane [C4H10]
Materia aislamiento	- - AF/Armaflex - - Planchas
Emissividad	Acero inoxidable austenítico [E- 0,150]
Norma para cálculo	ISO 12241

CANCELAR GUARDAR

Anexo_A 2 Valores calculados – Software ArmWin



ArmWin®
Cálculo Profesional de Espesores de Aislamiento

Iniciar nuevo > Datos de Cálculo > Resultados de cálculo > Informe de cálculo

INFORMACIÓN DEL PROYECTO

OPCIONES DE CÁLCULO

VALORES CALCULADOS

Temperatura exterior de la superficie	23	[°C]
Temperatura ambiente	22	[°C]
Temperatura del medio Interior/Exterior	25	[°C]
	En el interior	

BORRAR TODO CALCULAR

Anexo_A 3 Resultados calculados – Software ArmWin



ArmWin®
Cálculo Profesional de Espesores de Aislamiento

Iniciar nuevo Datos de Cálculo **Resultados de cálculo** Informe de cálculo

PROYECTO: [▼]

OPCIONES DE CÁLCULO [✍] [i]

EL SISTEMA DE AISLAMIENTO FLEXIBLE CON UN CONTROL DE CONDENSACIÓN FIABLE DESDE HACE MÁS DE 40 AÑOS AF/ARMAFLEX® - el aislamiento de alto rendimiento y eficiencia energética para uso en instalaciones de aire acondicionado, refrigeración y procesos. Con protección antimicrobiana MICROBAN® que aporta una protección adicional contra microbios, moho y humedad.
Transmitancia térmica 0,803[W/m²·K]

Espesor mínimo necesario de aislamiento [mm]	Aislamiento seleccionado	Espesor real del aislamiento [mm]	Temperatura exterior de la superficie [°C]	Flujo de calor [W/m²]
29,00	AF-32MM/E	32,00	22,9	2,40

Calcular el espesor económico Información de producto Guardar resultados

← Atrás Mis Reportes →

Anexo_A 4 Espesores de aislante térmico

PLANCHAS EN HOJA
Longitud 2,0 m, anchura 0,5 m, Microban®



Referencia	Espesor de aislamiento [mm]	m²/cartón	€/m²
AF-10MM •	10,0	13	27,75
AF-13MM •	13,0	9	35,41
AF-16MM •	16,0	8	47,36
AF-19MM •	19,0	7	52,32
AF-25MM •	25,0	5	59,65
AF-32MM •	32,0	4	77,49
AF-50MM •	50,0	3	113,79

Anexo_A 5 Datos técnicos de aislante térmico

Aislamiento térmico flexible de célula cerrada, con elevada resistencia a la difusión de vapor de agua, baja conductividad térmica y protección antimicrobiana Microban® incorporada.			
Propiedades	Valor	Norma	
Rango de temperaturas			
	Temperatura máx. de trabajo	+110 °C	EN 14706
	Temperatura mín. de trabajo	-50 °C	EN 14707 / EN 14304
Conductividad térmica *			
	Coquillas (AF-1 a AF-4)	$\lambda_{0°C} \leq 0,033 \text{ W/(m·K)}$	EN ISO 13787
	Coquillas (AF-5 y AF-6),	$\lambda_{0°C} \leq 0,036 \text{ W/(m·K)}$	EN ISO 8497
	Planchas (AF-10MM a AF-32MM) y cinta	$\lambda_{0°C} \leq 0,033 \text{ W/(m·K)}$	EN 12667
	Plancha AF-36MM y 50MM	$\lambda_{0°C} \leq 0,036 \text{ W/(m·K)}$	
Resistencia a la difusión del vapor de agua			
	Planchas (AF-3MM a AF-32MM) y coquillas (AF-1 a AF-4)	$\mu \geq 10000$	EN 12086
	Plancha AF-50MM y coquillas (AF-5 y AF-6)	$\mu \geq 7000$	EN 13469
Comportamiento al fuego			
Reacción al fuego	Coquillas	B ₁ -s3, d0	EN 13501-1
	Planchas y cinta	B-s3,d0	EN 13823 / EN ISO 11925-2
Comportamiento en caso de incendio			
Autoextinguible, no gotea, no propaga la llama.			
Rendimiento acústico			
Reducción de la transmisión del ruido estructural			
	Atenuación acústica	$\leq 28 \text{ dB (A)}$	EN ISO 3822-1
Otras supervisiones			
	Supervisión conforme a Factory Mutual		UBC26-3 / DIN 5510-2 / DIN 54837 I
	Supervisión conforme a UL		UL 94 / UL 746C
	Supervisión conforme a Sector Naval		MED 96/98/EC MODULE D
Otras características técnicas			
Observaciones	Declaración de Prestaciones disponible según lo establecido en el Artículo 7(3) del Reglamento (EU) No 305/2011 en nuestra página web: www.armacell.com/DoP Declaración Ambiental de Producto (EPD) Tipo III. Documento número "EPD-ARM-20150060-IBB1-DE".		
Tiempo de almacenaje	Material autoadhesivo: 1 año Material no autoadhesivo: indefinido Debe almacenarse en salas limpias y secas, con una humedad relativa normal (50% a 70%) y a temperatura ambiente (0°C a 35°C)		
Característica antimicrobiana	Microban® Protección antimicrobiana activa incorporada. No se observa la proliferación de hongos.		ASTM G21 ASTM 1338 VDI 6022
Protección a la intemperie	AF/Armaflex expuesto a la intemperie, se protegerá pasadas 36 horas y antes de 3 días después de su instalación, con un recubrimiento resistente a la radiación solar. Recomendamos la pintura Armafinish o los recubrimientos Arma-Chek.		

10.2. Anexos B – catálogos

Anexo_B 1 Catalogo de tubos acero ASTM A53 – Aceros Arequipa

Tubos Schedule (SCH) - sin costura

Diámetro Nominal	Diámetro exterior		Diámetro de pared		Peso kg/m	SCH Tipo	SCH Número	Presión de prueba Grado 80 psi
	pulgada	mm	pulgada	mm				
1/2"	0.84	21.3	0.11	2.77	1.27	STD	40	700
1/2"	0.84	21.3	0.15	3.73	1.62	XS	80	850
3/4"	1.05	26.7	0.11	2.87	1.69	STD	40	700
3/4"	1.05	26.7	0.15	3.81	2.26	XS	80	850
1"	1.32	33.4	0.13	3.38	2.50	STD	40	700
1"	1.32	33.4	0.18	4.55	3.24	XS	80	850
1 1/4"	1.66	42.2	0.14	3.56	3.39	STD	40	1,300
1 1/4"	1.66	42.2	0.19	4.85	4.47	XS	80	1,900
1 1/2"	1.90	48.3	0.15	3.68	4.05	STD	40	1,300
1 1/2"	1.90	48.3	0.2	5.08	5.41	XS	80	1,900
2"	2.38	60.3	0.15	3.91	5.44	STD	40	2,500
2"	2.38	60.3	0.22	5.54	7.48	XS	80	2,500
2 1/2"	2.88	73.0	0.20	5.16	8.63	STD	40	2,500
2 1/2"	2.88	73.0	0.28	7.01	11.41	XS	80	2,500
3"	3.50	88.9	0.22	5.49	11.29	STD	40	2,500
3"	3.50	88.9	0.3	7.62	15.27	XS	80	2,500
4"	4.50	114.3	0.24	6.02	16.07	STD	40	2,210
4"	4.50	114.3	0.34	8.56	22.32	XS	80	2,800
5"	5.56	141.3	0.26	6.55	21.77	STD	40	1,950
5"	5.56	141.3	0.38	9.52	30.94	XS	80	2,800
6"	6.63	168.3	0.28	7.11	28.26	STD	40	1,780
6"	6.63	168.3	0.43	10.97	42.56	XS	80	2,740
8"	8.63	219.1	0.32	8.18	42.55	STD	40	1,570
8"	8.63	219.1	0.50	12.7	64.64	XS	80	2,430
10"	10.75	273.0	0.37	9.27	60.29	STD	40	1,430
10"	10.75	273.0	0.59	15.09	95.97	XS	80	2,330
12"	12.75	323.8	0.41	10.31	79.7	STD	40	1,340
12"	12.75	323.8	0.69	17.48	132.04	XS	80	2,270
14"	14.00	355.6	0.44	11.13	94.55	STD	40	1,310
14"	14.00	355.6	0.75	19.05	158.1	XS	80	2,250



Tubo para alta presión (SCH) fabricado sin costura (SEAMLESS) con acero al carbono de calidad estructural, utilizando la técnica de extrusión en caliente.

NORMAS TÉCNICAS

- Propiedades Mecánicas: Tubos de calidad trinorma: ASTM A53/A53M, ASTM A106/A106M y API 5L PSL 1.
- Tolerancia Dimensional: ASTM A 53 /A 53M.

PRESENTACIÓN

- Longitud: SRL de 4.8 y 6.7m, DRL de 10.7m mín.
- Extremos: Planos para diámetros menores de 2" y biselados para diámetros ≥ 2".

PROPIEDADES MECÁNICAS

Norma técnica	Grado	Lim. de fluencia (min)		Resis. a la tracción (min)	
		ksi	MPa	ksi	MPa
ASTM A 53/A 53M	B	35	240	60	415
ASTM A 106/A 106M	B	35	240	60	415
API 5 L PSL 1	B	35	241	60	413

USOS

Conducción de fluidos a alta temperatura y/o presión en minería, pesca, petróleo, construcción y servicio en general.

Anexo_B 2 Regulador de presión – Marca REGO

Reguladores Industriales / Comerciales de Alta Presión Libras por Libras de la Serie 597F

Diseñados para reducir la presión del contenedor de gas propano entre 3 y 100 PSIG. Ideales para servicio con líquido o vapor, se pueden usar en una variedad de aplicaciones incluyendo calentadores de salamandra, sopletes de quema de hierba, cocinetas, calentadores de chapopote y otros tipos de servicios industriales.

Información Para Ordenar Productos

Número de Parte	Método de Ajuste	Conexión de Entrada	Conexión de Salida	Rango de Presión de Servicio Recomendado (PSIG)	Capacidad determinada a la presión de configuración de PSIG*	Capacidad BTU/hora Propano**
597FA	Manija en T	1/4" NPT	1/2" NPT	1-15	10	1,750,000
597FB				10-30	20	3,000,000
597FC				20-45	30	3,500,000
597FD				40-100	40	4,500,000





597F

* Presión de configuración establecida a 100 PSIG de entrada y un flujo de 250,000 BTU/hora
 ** Capacidad determinada a una presión de servicio real 20% inferior a la presión de configuración con presión de entrada 20 PSIG por arriba de la presión de configuración.

Anexo_B 3 Manómetro de presión – Marca WINTERS

Manómetros				
	DPG Digital	P1S Serie 100*	P3S Serie 300*	P9S Serie 90*
Carátula	2.5" (63mm)	3.5" (90mm) 4" (100mm) 4.5" (115mm) 6" (150mm)	4.5" (115mm) 6" (150mm) 8.5" (215mm) 10" (250mm)	1.5" (40mm) 2" (50mm) 2.5" (63mm) 3.5" (90mm)
Bourdon & Conector	316 SS	Bronce al Fósforo/Latón	316 L SS/Latón	Bronce al Fósforo/Latón
Conexión	1/4" NPT	1/4" NPT	1/4" NPT hasta 600 psi 1/2" NPT superior a 1,000 psi	1.5" carátula: 1/4" NPT 2" carátula: 1/4", 1/2" NPT 2.5", 3.5" carátula: 1/2" NPT
Rango	Vac-0-15,000 psi	Vac-0-5,000 psi/bar, psi/kg/cm ²	Vac-0-20,000 psi/bar, psi/kg/cm ²	Vac-0-600 psi/bar, psi/kg/cm ²

Anexo_B 4 Válvula de alivio de presión – Marca REGO

Válvulas de Alivio de Vapor de la Serie 3139						
<p>Diseñadas para uso como válvulas de alivio en reguladores de alta presión para cumplir con la norma 58 de la NFPA 5.1.9 "Los reguladores de alta presión con capacidad de diseño de más de 500,000 BTU/hora, donde se permite emplearlos en sistemas de dos etapas, deberán incluir una válvula de alivio integral o deberán contar con una válvula de alivio aparte."</p>						
Número de Parte	Presión de Config.	Conf. del Regulador	Tamaño de Conexión	Altura	Ancho	Cap. de Flujo al 120% de la Pres. de Conf. (SCFH de Propano)
3139-18	18 PSIG	10 PSIG				1357*
3139-26	26 PSIG	15 PSIG	1/4" NPT M.	2 ²⁷ / ₃₂ "	1 ¹ / ₁₆ "	1725**
3139-38	38-PSIG	20 PSIG				2304***

* Flujo registrado a una presión de entrada de 21.6 PSI para esta válvula.
 ** Flujo registrado a una presión de entrada de 31.2 PSI para esta válvula.
 *** Flujo registrado a una presión de entrada de 45.6 PSI para esta válvula.

Anexo_B 5 Válvula de bola – Marca CIM

DN	D	L	H	W	S	X	BL	Kg
1/4"	11,6	48,5	48	91	19	5	M8	0,188
3/8"	12,5	48,5	48	91	21	5	M8	0,185
1/2"	15	58	52	91	25,5	5	M8	0,270
3/4"	20	64	61	111	31	5,8	M8	0,390
1"	25	77	65	111	37,5	5,8	M8	0,550
1 1/4"	32	90	79	154	46,5	7	M10	1,021
1 1/2"	38	98	83	154	53,5	7	M10	1,132
2"	50	121	97	192	66	8	M10	2,080
2 1/2"	64	145	129	246	82,5	12	M16	4,120
3"	76	166	138	246	97,5	12	M16	5,850

Nota: Todas las medidas son en mm.

Anexo_B 6 Codo 90° – Marca CIM

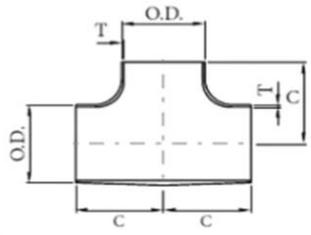
MEDIDA	DIÁMETRO EXTERIOR (OD)	ESPESOR DE PARED (T)			CENTRO A FINAL (A)	PESO (Kg)		
		SCH 10	SCH 40	SCH 80		SCH 10	SCH 40	SCH 80
1/2'	0.84	0.083	0.109	0.147	1.5	0.065	0.082	0.104
3/4'	1.05	0.083	0.113	0.154	1.12	0.07	0.09	0.113
1'	1.32	0.109	0.133	0.179	1.5	0.14	0.16	0.218
1 1/4'	1.66	0.109	0.14	0.191	1.88	0.22	0.27	0.399
1 1/2'	1.9	0.109	0.145	0.147	0.2	0.3	0.5	0.513
2'	2.38	0.109	0.154	0.218	3	0.5	0.69	0.907
2 1/2'	2.88	0.12	0.203	0.276	3.75	0.84	1.36	1.814
3'	3.5	0.12	0.216	0.3	4.5	1.23	2.13	2.976
4'	4.5	0.12	0.237	0.337	6	2.11	4.05	6.183
5'	5.56	0.134	0.258	0.375	7.5	3.64	6.87	9.585
6'	6.62	0.134	0.28	0.432	9	5.24	10.68	16.329
8'	8.62	0.148	0.322	0.5	12	11	21	33.113
10'	10.75	0.165	0.365	0.5	15	16	32	51.71
12'	12.75	0.18	0.375	0.5	18	26	52	76.379

Anexo_B 7 Tee – Marca CIM

Normas de Diseño:
ANSI/ASME B16.9

Material:
Acero A234 WPB

Cédula:
STD, SCH 40, XS, SCH 80,
SCH 160

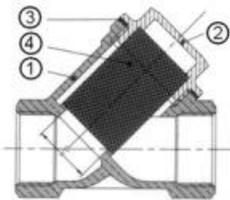



Unidad: Milímetros (mm)

MEDIDA	DIÁMETRO EXTERIOR (OD)	ESPESOR DE PARED (T)					CENTRO A FINAL (C)	PESO APROX (Kg)				
		STD	SCH 40	XS	SCH 80	SCH 160		STD	SCH 40	XS	SCH 80	SCH 160
1/2'	213	2.8	2.8	3.7	3.7	4.8	25.4	0.09	0.09	0.11	0.11	-
3/4'	267	2.9	2.9	3.9	3.9	5.6	28.4	0.13	0.13	0.17	0.17	-
1'	335	3.4	3.4	4.5	4.5	6.4	38.1	0.25	0.25	0.32	0.32	-
1 1/4'	422	3.6	3.6	4.9	4.9	6.4	47.8	0.43	0.43	0.56	0.56	-
1 1/2'	483	3.7	3.7	3.7	3.7	7.1	57.2	0.61	0.61	0.81	0.81	-
2'	60.5	3.9	3.9	5.5	5.5	8.7	63.5	0.88	0.88	1.20	1.20	-
2 1/2'	732	5.2	5.2	7.0	7.0	9.5	76.2	1.74	1.74	2.28	2.28	3.63
3'	88.9	5.5	5.5	7.6	7.6	11.1	85.9	2.41	2.41	3.25	3.25	5.87

Anexo_B 8 Válvula Check Tipo Y – Marca CIM

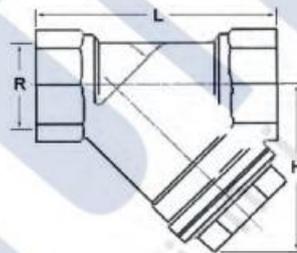
Construcción cuerpo en Bronce 838 B 584 ASTM.
 Construcción tapón latón DIN-17763.
 Extremos roscados gas ISO 228/1.
 Presión máxima de trabajo 10 Bar.
 Temperatura máxima de trabajo 180°C.



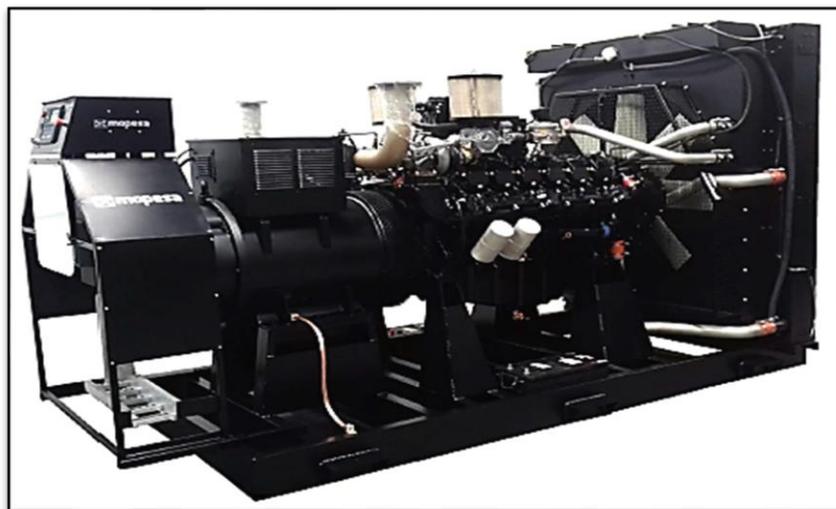
Nº	Parte	Material
1	Cuerpo	Bronce
2	Tapa	Latón
3	Junta	Betaflex 71
4	Filtro	Inox AISI-304



DN	Luz	Dimensiones				Peso (grs)
		P	L	H	p	
3/8"	400 micr.	12	55	40	1,5	180
1/2"	400 micr.	15	58	40	1,5	180
3/4"	400 micr.	20	70	50	1,5	280
1"	400 micr.	25	87	60	1,5	465
1 1/4"	500 micr.	32	96	68	2	700
1 1/2"	500 micr.	40	106	75	2	940
2"	500 micr.	50	126	90	2	1500
2 1/2"	600 micr.	65	145	100	2,5	2150
3"	600 micr.	78	165	118	2,5	3250
4"	600 micr.	98	215	170	2,5	6550



Anexo_B 9 Catalogo de grupo electrógeno Marca Protelec de modelo MG415 de 375 kW/430 kVA



Anexo_B 10 Especificaciones técnicas de grupo electrógeno Marca Protelec de modelo MG415 de 344 kW/430 kVA

Especificaciones del Motor	
Potencia del Motor Nominal @ 1800 R.P.M.	400 kWe
Potencia del Motor Continua @ 1800 R.P.M.	250 kWe.
Modelo	MG415
R.P.M.	1800
Combustible	Biogás
Tipo de encendido	Electrónico
Tipo de Aspiración	Turbo cargado Post-Enfriado
Sistema de Refrigeración	100% Refrigerante
Número de Cilindros	12 en "V"
Tipo de Motor	4 Ciclos
Diámetro y Carrera (mm)	128 x 142
Relación de Compresión	10.5:1
Cilindrada (L)	21.9
Orden de encendido	1,12,5,8,3,10,6,7,2,11,4,9
Calibración Válvulas de Admisión (mm)	0.30
Calibración Válvulas de Escape (mm)	0.40
Especificaciones del Aceite	SAE 20W-50 Norma MIL-2014 CD Serie 3
Tipo de Gobernador	Electrónico ≤ 1%
Filtros de Aire	2 Secos
Capacidad Sistema de Refrigeración (L)	228
Capacidad Sistema de Lubricación incluyendo filtros (L)	48
Batería recomendada	2 baterías de 12V en serie LTH 827C
Brida de Acoplamiento	SAE 1

Anexo_B 11 Catalogo de generador eléctrico Marca Protelec de modelo MG415 de 344 kW/430 kVA

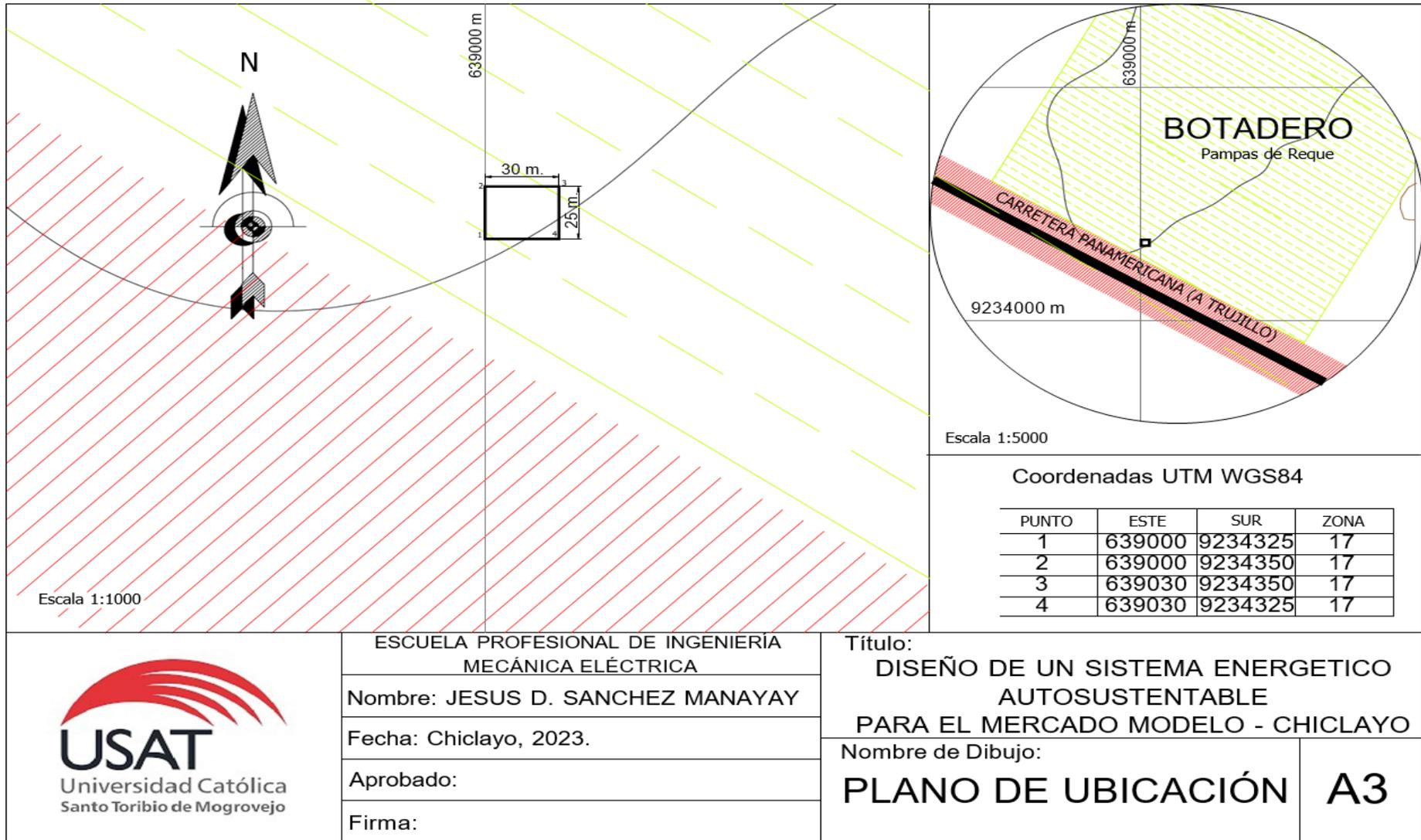


Anexo_B 12 Especificaciones técnicas de generador eléctrico Marca Protelec de modelo MG415 de 375 kW/430 kVA

Características del Generador	
Modelo	GTA311AIVIB15T
Servicio Prime	344 kWe / 430 kVA
Servicio Standby	375 kWe / 469 kVA
Tensión	220 / 440 V
Factor de Potencia	0.8 Cos Phi
Frecuencia	60 Hz @ 1800 rpm
Brida	SAE1
Disco	SAE 14
No. de Terminales del Generador	12 Cable / 3 Fases 4 Hilos
Tipo de Aislamiento del Generador	Clase H
Tipo de Excitación	Generador sin escobilla con bobina auxiliar
Tipo de Refrigeración del Generador	Abierto Autoventilado (estándar)
Tipo de Carcasa del Generador	IEC 31 – Carcasa 315
Regulador de Tensión Integrado	Electrónico
Amperaje	220 V – 164.02 Amp. 440 V – 82.01 Amp.

10.3. Anexo C – planos CAD.

Anexo_C 1 Plano de Ubicación.



ESCUELA PROFESIONAL DE INGENIERIA
MECÁNICA ELÉCTRICA

Nombre: JESUS D. SANCHEZ MANAYAY

Fecha: Chiclayo, 2023.

Aprobado:

Firma:

Título:

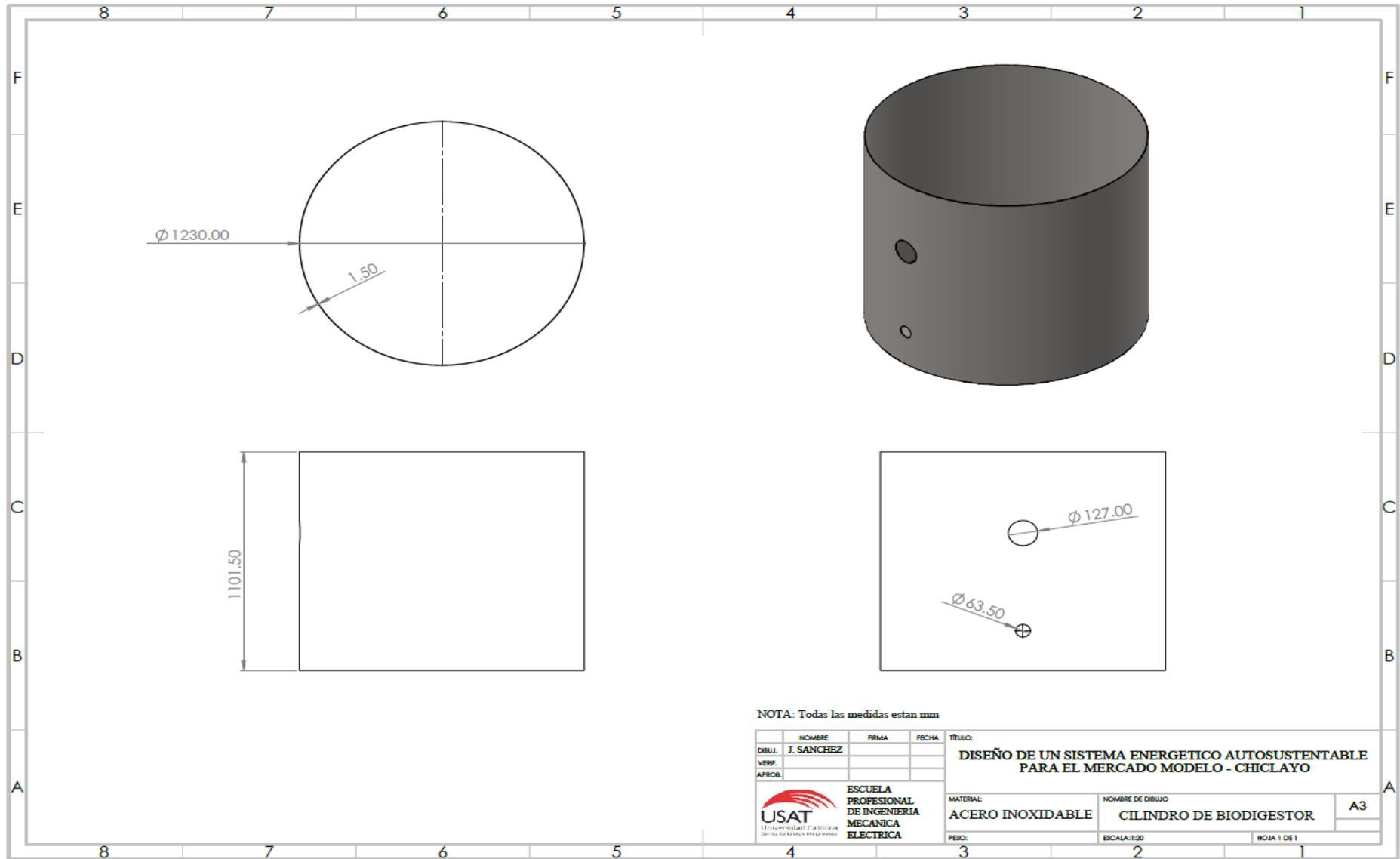
**DISEÑO DE UN SISTEMA ENERGETICO
AUTOSUSTENTABLE
PARA EL MERCADO MODELO - CHICLAYO**

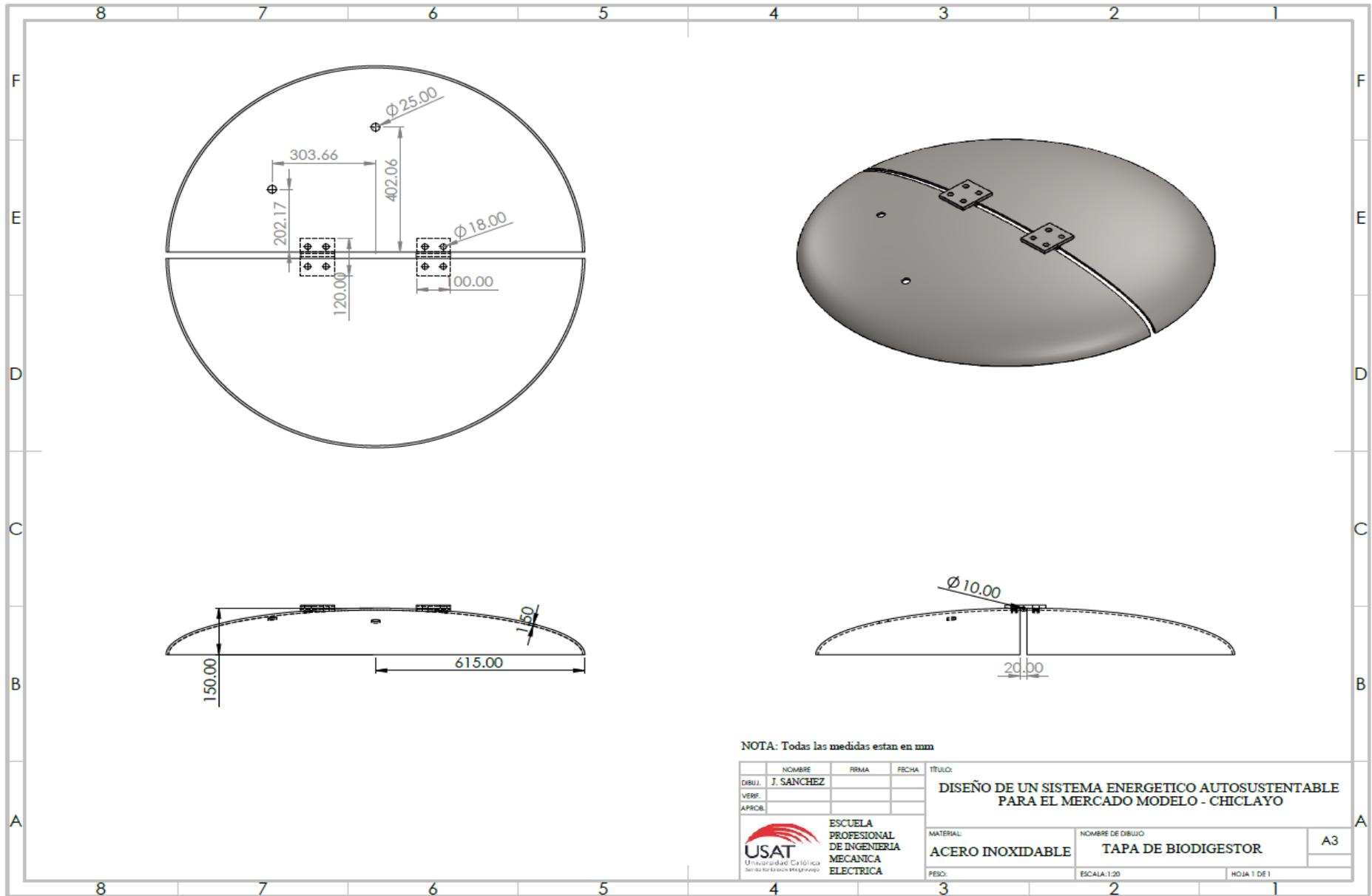
Nombre de Dibujo:

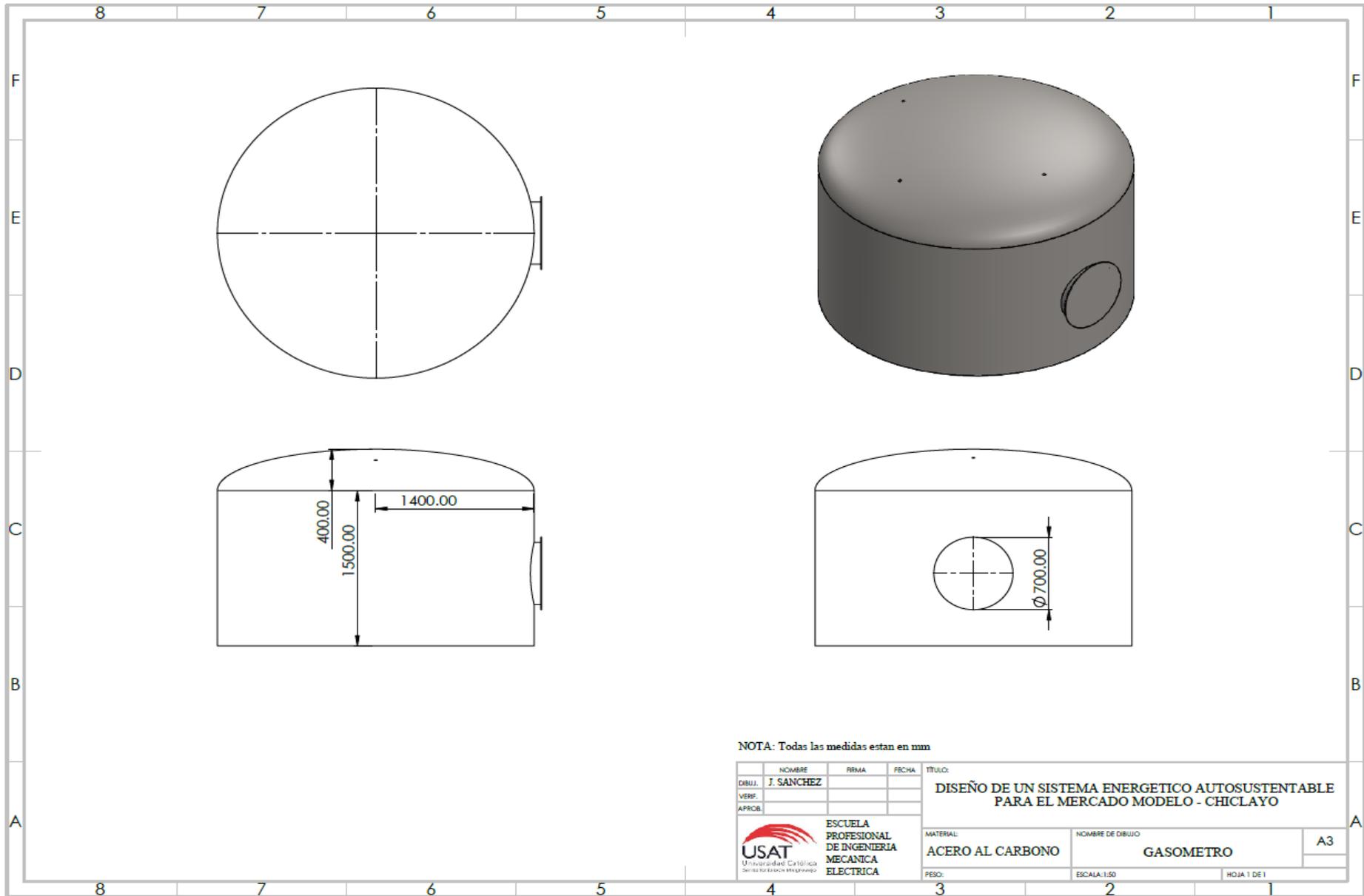
PLANO DE UBICACIÓN

A3

Anexo_C 2 Planos de los elementos del Sistema.







NOTA: Todas las medidas estan en mm

	NOMBRE	FRMA	FECHA	TITULO:
DRUJ.	J. SANCHEZ			DISEÑO DE UN SISTEMA ENERGETICO AUTOSUSTENTABLE PARA EL MERCADO MODELO - CHICLAYO
VERIF.				
APROB.				
 ESCUELA PROFESIONAL DE INGENIERIA MECANICA ELECTRICA				MATERIAL:
				ACERO AL CARBONO
				NOMBRE DE DIBUJO
				GASOMETRO
				A3
				PESO:
				ESCALA: 1:50
				HOJA 1 DE 1