

UNIVERSIDAD NACIONAL HERMILIO VALDIZÁN

FACULTAD DE INGENIERÍA INDUSTRIAL Y DE SISTEMAS

ESCUELA PROFESIONAL DE INGENIERÍA INDUSTRIAL



**DISEÑO DE UNA PLANTA DE GENERACIÓN DE ENERGÍA
ELÉCTRICA CON RECURSO RENOVABLES – BIO GÁS – PARA LA
EMPRESA OLEAGINOSA DEL PERÚ S.A – OLPESA - 2018**

**TRABAJO DE INVESTIGACION
PARA OPTAR EL TÍTULO DE INGENIERO INDUSTRIAL**

TESISTA:
BACH. JOHAN MANUEL CRUZADO PALMI

ASESOR:
DR. GERARDO GARAY ROBLES

**HUÁNUCO – PERÚ
2019**

AGRADECIMIENTO

Doy gracias a Dios por la vida y permitirme tener tan buena experiencia en la universidad y en mi centro de labores, gracias a mi universidad por permitir convertirme en un profesional en lo que me apasiona, gracias a cada maestro que hizo parte de este proceso integral de formación, gracias al gerente general, jefe de planta de la empresa Olpesa por la facilidad y guía para poder desarrollar la presente tesis, a mi asesor por la predisposición y apoyo en el desarrollo del presente trabajo.

Finalmente agradezco a quien lee la presente tesis, por permitir a mis experiencias, investigaciones y conocimiento, incurrir dentro de su repertorio de información mental.

DEDICATORIA

La presente tesis la dedico a toda mi familia, amigos y colegas de trabajo, principalmente a mis padres por ser un pilar fundamental en mi formación como persona y profesional, por brindarme confianza, consejos, oportunidad y guiarme por el camino correcto, y por ultimo a esos verdaderos amigos con que comparto estos años.

RESUMEN

El trabajo de investigación nace con el objetivo de diseñar una planta de generación eléctrica con recursos renovables (Biogás) para la empresa oleaginosas del Perú S.A. y así disminuir la contaminación de los afluentes que generan gas metano mediante la utilización de este gas en la generación de energía eléctrica.

Para el desarrollo del trabajo se tuvo que conocer y describir el proceso de generación de energía eléctrica, se detalló los aspectos técnicos de la planta, se proyectó el ingreso de materia prima y se determinó la energía generada.

También se propone los criterios para la adquisición de los equipos e instrumentos. Se desarrolló los planos de ubicación, planos de distribución, planos de tubería y planos de distribución eléctrica. La investigación se catalogó dentro de un tipo aplicado-tecnológico, por lo tanto, es no experimental descriptivo transeccional.

INDICE

	Pág.
1. PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA	1
1.1. Antecedentes y fundamentación del problema.	1
1.2. Formulación del problema	3
1.2.1. Problema general	3
1.2.2. Problemas específicos	3
1.3. Objetivos: Generales y Específicos	3
1.3.1. Objetivo general	3
1.3.2. Objetivo Específicos	4
1.4. HIPOTESIS	4
1.5. Variable, dimensiones e indicadores	5
1.6. Cuadro de operacionalizacion de variables	5
1.7. Limitaciones.	6
2. MARCO TEORICO	6
2.1. Revisión de estudios realizados - Antecedentes	6
2.2. Bases Teóricas	10
3. MARCO METODOLÓGICO	30
3.1. Nivel y Tipo de Investigación.	30
3.2. Diseño de la Investigación.	30
3.3. Determinación del Universo, población y muestra	30
3.4. Técnicas de recolección y tratamiento de datos.	30
3.5. Procesamiento y Presentación de Datos	32
4. RESULTADOS	33
4.1. Descripción del proceso de generación de energía con recursos energéticos renovables – Biogás	33
4.2. Aspectos técnicos de la planta de generación de energía eléctrica con afluentes de la molienda del aceite crudo de palma - Palm oil mill effluent.	36
4.3. Ingreso de materia prima de racimo de fruto fresco (RFF) a la planta extractora de aceite crudo de palma. La producción de bio gas y los Kilowatss - por hora (Kw-hora) generados por metro cúbico de bio gas.	38
4.4. Criterios de adquisición del biodigestor, desulfurador, chiller y generador eléctrico	44
4.5. Diseño de la Planta generadora de energía eléctrica	46
4.6. Aporte de la investigación al conocimiento	47
CONCLUSIONES	49
RECOMENDACIONES	51
ANEXO	56

INTRODUCCION

Hoy las empresas se encuentran en un mundo competitivo, deben ser más eficientes en sus procesos, cuidar el medio ambiente y crecer de manera sostenible.

Uno de los caminos para alcanzar la competitividad en la agroindustria es la generación propia de la energía y así disminuir sus costos de producción, ser más eficientes y tener una nueva fuente de ingreso.

Tal es el caso de la empresa oleaginosas del Perú-OLPESA, que genera gas metano a través de sus efluentes, y este gas que hoy representa un desperdicio y contaminante, se convierte en una fuente de energía, si no que este se comercializa en la sociedad.

El informe consta de cinco capítulos, en el capítulo uno se detalla el planteamiento del problema, en el capítulo dos se fundamenta las bases teóricas, en el capítulo tres se describe la metodología del trabajo desarrollado, en el capítulo cuatro se presenta los trabajos desarrollados. Así también se tiene en cuenta las conclusiones y recomendaciones respectivas.

1. PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA

1.1. Antecedentes y fundamentación del problema.

La empresa Oleaginosas del Perú S.A. (OLPESA) se encuentra ubicada en el caserío de Villa Palma, Distrito de Tocache, Provincia de Tocache, Departamento de San Martín, es una empresa que se dedica a la extracción de aceite crudo de palma, aceite crudo de palmiste y harina de palmiste. Tiene como dueños a agricultores agrupados en asociaciones.

Dentro del proceso de fabricación se cuenta con un sistema de tratamiento de efluentes, este sistema consiste de una unidad de separación de aceites y grasas (florentino), seguido de una torre de enfriamiento, un biodigestor, y dos lagunas facultativas.

El florentino es un tanque construido en acero, el cual posee varios cuerpos, los cuales tienen el propósito de precipitar los sólidos presentes en el efluente y a la vez permitir que el aceite contenido en el efluente flote para ser recuperado.

La Torre de enfriamiento es de 12 m de altura y tiene 10 camas de madera. La gradiente de temperatura es de 20° a 30°C, ya que disminuye la temperatura del afluente de 65° a 35°C.

El Digestor Anaeróbico tiene como función descomponer los elementos contaminantes del efluente por acción bacteriana hasta lograr los niveles deseados de descarga.

Como consecuencia de este proceso se produce un gas (metano) a una proporción aproximada de 30 m³ de gas por metro cubico de efluente.

El biodigestor funciona bajo el sistema biodigestor anaeróbico encarpado en subsuelo con sistema de bombas y tuberías de HDPE para garantizar la continua agitación del efluente para evitar la formación de sedimentos, lo que convierte al biodigestor en libre mantenimiento.

Las lagunas facultativas tienen como función terminar con el trabajo de descomposición de últimos remanentes de contaminantes DQO, DBO con un proceso aeróbico, es necesario este proceso para disminuir la carga orgánica del efluente.

Actualmente el biogás generado en la laguna anaerobia se capta mediante cubiertas especiales, evitando la liberación directa de metano¹ a la atmósfera.

El biogás (que contiene metano en una proporción del 60 – 65 %) se succiona y se quema directamente en una antorcha²; la quema permite una destrucción económica del biogás, sin embargo, no permite utilizar su energía y aprovechar el metano como combustible para la generación de energía eléctrica, gracias a su alto poder calorífico del orden de 5100 Kcal/m³.

1 El metano (principal componente del biogás) es un sub-producto de todos los sistemas de tratamiento de efluentes de extractoras de aceite de palma y un potente gas con efecto invernadero.

2 La quema del bio gas nos ayuda a contribuir con el medio ambiente porque el metano es un gas de efecto invernadero, con un efecto contaminante 21 veces superior al CO₂.

Por tal razón se hace perentorio y necesario proponer el diseño de una planta de generación de energía eléctrica con recursos energéticos renovables (biogás).

1.2. Formulación del problema

1.2.1. Problema general

¿Cuáles serán los requisitos técnicos de un sistema de generación de energía eléctrica con recursos energéticos renovables (biogás) para la empresa Oleaginosas del Perú S.A.?

1.2.2. Problemas específicas

- ¿Cómo es el proceso de generación de energía eléctrica con recursos energéticos renovables?
- ¿Cuáles son los aspectos técnicos de una planta de generación de energía eléctrica con recursos energéticos renovables?
- ¿Cuánto será el ingreso de materia prima (RFF) a la planta extractora de aceite de palma, la producción de biogás y los Kw-Hr generados por metro cubico de biogás?
- ¿Cuáles serán los criterios de adquisición del biodigestor, desulfurador, chiller y generador eléctrico?

1.3. Objetivos: Generales y Específicos

1.3.1. Objetivo general

Proponer un sistema de generación de energía eléctrica con recursos energéticos renovables (biogás) en la empresa Oleaginosas del Perú S.A (OLPESA).

1.3.2. Objetivo Específicos

- Conocer y describir el proceso de generación de energía eléctrica con recursos energéticos renovables (biogás).
- Detallar los aspectos técnicos de la planta de generación de energía eléctrica con recursos energéticos Renovables (biogás).
- Determinar el ingreso de materia prima (RFF) a la planta de extractora de aceite de palma, la producción de biogás y los Kw-Hr generados por metro cubico de biogás - OLPEsa.
- Determinar los criterios de adquisición del biodigestor, desulfurador, chiller y generador eléctrico

1.4. HIPOTESIS

Dado que la investigación es de tipo tecnológico y por lo tanto no pronostica un hecho o genera causalidad, esta no genera hipótesis. Las investigaciones tecnológicas no tiene por finalidad provocar determinados fenómenos que no se presentan usualmente en la naturaleza (Cegarra 2004: 86), por eso no presentan hipótesis.

También, la ciencia a través de su investigación busca leyes y teorías para describir y explicar la realidad, mientras tanto que la tecnología vía la investigación, busca la producción de cosas, para controlar y transformar ciertos sectores de la realidad (Hashimoto 2010: 290).

La ciencia dentro del modo de abordar la investigación es el problema, hipótesis y contrastar hipótesis, mientras que el modo de abordar la tecnología es problema – necesidad, seleccionar solución, experimentar, desarrollar el artefacto y evaluarlo (Hashimoto 2010: 291).

1.5. Variable, dimensiones e indicadores

Variable: DISEÑO DE UNA PLANTA DE GENERACIÓN DE ENERGÍA ELÉCTRICA CON RECURSO RENOVABLES – BIOGÁS – PARA LA EMPRESA OLEAGINOSAS DEL PERÚ S.A – OLPESA

1.6. Cuadro de operacionalización de variables

Variable	Dimensiones	Indicadores
Diseño de una planta de generación de energía eléctrica con recurso renovables - Biogás	Proceso de generación de energía eléctrica con recursos energéticos renovables (biogás)	• Cantidad de efluente generado. • Torre de enfriamiento
	Aspectos técnicos de la planta de generación de energía eléctrica.	• Capacidad de los equipos. • Eficiencia de los equipos
	Ingreso de materia prima (RFF) a la planta extractora de aceite de palma.	• Cantidad de racimo de fruto fresco (RFF).
	Criterios de adquisición de los equipos.	• Calidad de los equipos. • Costo de operación de los equipos.

1.7. Limitaciones.

La investigación está centrada solamente al diseño de una planta de generación de energía eléctrica con residuos del proceso de extracción de aceite crudo de palma. Como residuo del proceso de extracción del aceite crudo de palma consideramos al efluente. El efluente son las aguas residuales las que contienen (agua, lodo liviano, lodo pesado, restos de aceite y partículas en suspensión)

2. MARCO TEORICO

2.1. Revisión de estudios realizados

2.1.1. Antecedentes internacionales

Téllez Santana Cristian Alberto, en el año 2008, en Chile desarrolló la tesis **Diseño y selección de elementos para una planta de biogás**, en la Universidad Austral de Chile, Facultad de Ciencias de la Ingeniería, Escuela de Ingeniería Civil Mecánica; esta tesis tuvo como objetivo general diseñar y seleccionar elementos de una planta de biogás capaz de recepcionar los purines de un plantel de 100 vacas lecheras. Al finalizar la tesis el autor concluye en cuanto a los beneficios económicos producto de la generación de biocombustible, en una producción como la del trabajo, no resulta rentable para la zona, debido a la gran cantidad de energía necesaria para mantener la temperatura del proceso, en este caso particular el gas producido en el día, alcanza para abastecer el quemador por 7,5 horas. La construcción de una planta de biogás necesita de una alta inversión inicial, operacionalmente es de baja o nula rentabilidad por lo que su

ejecución obedece más que a una evaluación económica a una de carácter ambiental, dado que cada vez tiene mayores exigencias de la legislación nacional e internacional sobre el manejo de purines.

Arce Cabrera, Jorge Jimmy, en el año 2011, en Ecuador desarrolló la tesis **diseño de un biodigestor para generar biogás y abono a partir de desechos orgánicos de animales aplicable en las zonas agrarias del Litoral**, en la Universidad de Politécnica Salesiana sede Guayaquil, Facultad de Ingeniería Industrial; esta tesis tuvo como objetivo general diseñar un biodigestor para generar biogás y abono a partir de desechos orgánicos de animales aplicable en las zonas agrarias del Litoral. El autor llegó a concluir como efectiva la producción de biogás mediante la utilización de estiércol de vaca, los resultados obtenidos durante todas las pruebas que realizó con el digestor es rentable para cualquier hacienda ganadera, especialmente en productora de leche ya que el costo de materia prima es \$0.00. El uso del biogás para la generación de la electricidad y de energía térmica da un valor adicional al empleo de biodigestores en las empresas agropecuarias. La adopción de la técnica y los resultados exitosos depende de aspectos como localización (disponibilidad de combustible tradicional) y la manera en la que la tecnología se introduce, adapta y mejora según las condiciones locales y técnicas.

2.1.2. Antecedentes nacionales

Ramírez Rodríguez, Herbert Bernardo y Rivera Cabrera, Oscar, en Arequipa, en el año 2014, desarrollaron el trabajo de investigación titulado **“Comparación de la producción de biogás a partir de lenteja de agua (*Lemna gibba*), como sustrato alternativo frente a la biomasa tradicional”**, en la Universidad Católica de Santa María, Facultad de Ciencias Farmacéuticas, Bioquímicas y Biotecnológicas, Escuela Profesional de Ingeniería Biotecnológica; esta tesis tuvo como objetivo general comparar la producción de biogás a partir de lenteja de agua (*Lemna gibba*) como sustrato alternativo frente a la biomasa tradicional. Los autores concluyeron que: el parámetro de sólidos totales se detalló antes y después de la fermentación para cada sustrato. La lenteja de agua presentó el valor de 17.1% de sólidos totales, el cual disminuyó hasta el 9.82% con un grado de remoción del 48%. Para el estiércol, los datos arrojaron una remoción superior al 50%, reduciendo el contenido de sólidos totales de 18.2% antes de la fermentación hasta 8.71% después de la fermentación.

Los antecedentes recolectados sobre el aislamiento de bacterias metanogénicas permitieron desarrollar medios de cultivo específicos para determinar la presencia de estas bacterias en los procesos de fermentación en el biorreactor y en las botellas. La presencia de este consorcio bacteriano es prueba de que las reacciones estacionales del proceso metanogénico se realizaron apropiadamente.

Vega Archiño, Jhon Alexis, en Chimbote, Perú, en el año 2015 desarrolló la tesis titulado **Diseño, construcción y evaluación de un biodigestor semicontinuo para la generación de biogás con la fermentación anaeróbica del estiércol de cuy y de conejo para la Institución Educativa Privada Cristiana Bereshi**, en la Universidad Nacional del Santa, Facultad de Ingeniería, Escuela Académico Profesional de Ingeniería en Energía; esta tesis tuvo como objetivo general obtener biogás a partir de la fermentación anaeróbica del estiércol de cuy en un biodigestor semicontinuo. Al finalizar la investigación se obtuvo un biodigestor de 2.27 m³. Con las siguientes características:

TABLA 2.1
Datos del tamaño de la planta de biogás

Zona	VOLUMEN (m³)	Altura (m)
Campana	0.54	0.4
Pared	1.569	1
Base cónica	0.16	0.24

Fuente: Diseño, construcción y evaluación de un biodigestor semicontinuo para la generación de biogás con la fermentación anaeróbica del estiércol de cuy y de conejo para la Institución Educativa Privada Cristiana Bereshi (Vega, 2015, p.103).

También el investigador obtuvo los parámetros para el desarrollo del proceso de la fermentación anaeróbica en un Biodigestor. Los cuales se describe en la tabla 2.2

TABLA 2.2

Conclusión de los parámetros adecuados para el desarrollo del proceso de la fermentación anaeróbica en un Biodigestor tipo chino

Zona	VOLUMEN(m³)	Altura (m)
Campana	0.54	0.4
Pared	1.569	1
Base cónica	0.16	0.24

Fuente: Diseño, construcción y evaluación de un biodigestor semicontinuo para la generación de biogás con la fermentación anaeróbica del estiércol de cuy y de conejo para la Institución Educativa Privada Cristiana Bereshi (Vega, 2015, p.104).

Por último, detalla que se obtuvo biogás, con una producción total de 6m³, con una velocidad de producción de 0.194 m³/día y una concentración de metano del 55% dentro de la composición del biogás.

2.1.3. Antecedentes locales

En la región Huánuco aún no se han realizado estudios similares para tomar como trabajo de investigación referente a este tema.

2.2. Bases Teóricas

2.2.1. Energía renovable

La energía renovable es aquella derivada de recursos naturales que son repuestos a una tasa mayor a la que son consumidos. Las fuentes de energía renovables más comunes son la eólica, la solar, la hidráulica y ciertas formas de biomasa (...). la geotérmica y mareomotriz son energías renovables con menor desarrollo. (Hernández, 2015, p.7)

Para Jarauta Rovira (2014), las energías renovables son aquellas que pueden producir trabajo a partir de fuentes inagotables, por lo menos a escala humana. Así, el aprovechamiento de la radiación solar no supone un agotamiento de la radiación solar, ni que esta disminuye día a día.

2.2.2. Biogás

El biogás es un combustible (gas metano) generado a partir de las reacciones de biodegradación³ de los compuestos orgánicos mediante la acción de múltiples microorganismos que reaccionan en ausencia de oxígeno (reacción anaeróbica), naturalmente se producen en los vertederos de basura o en pozos donde se acumulan desechos orgánicos ya sean estos de animales o productos orgánicos. El biogás “se genera a partir de residuos orgánicos⁴ sometidos a un proceso de digestión anaeróbico que ocurre en compartimentos cerrados llamados biodigestores. El biogás tiene un alto contenido de metano, lo que le confiere un valor energético. Además del beneficio energético, el residuo de la digestión es un fertilizante agrícola.” (Hernández, 2015, p.4).

Martí (2006), Sostiene que el biogás “es una mezcla gaseosa formada, principalmente, por metano y dióxido de carbono y pequeñas proporciones de otros gases, como H₂S, H₂, NH₃, etc. La composición o riqueza del biogás depende del material digerido y del funcionamiento del proceso” (p.3).

3 Para Cruz y Alcalá (2007), los procesos de biodegradación se deben a fundamentalmente a la microflora del suelo (bacterias y hongos).

4 Los residuos orgánicos son el conjunto de desechos provenientes de vegetales o animales o sus subproductos. Forman parte de más de la mitad de nuestros desperdicios y tienen la particularidad de poder desintegrarse o descomponerse: son biodegradables (Cantoni, 2010, p.13).

En la siguiente tabla N° 2.3 se muestra los valores medios de composición del biogás en función del sustrato utilizado.

TABLA N° 2.3
Componentes del biogás en función del sustrato utilizado.

Componente	Residuos agrícolas	Lodos de depuradora	Residuos industriales	Gas de vertedero
Metano	50 - 80%	50 - 80%	50 - 70%	45 - 65%
Dióxido de carbono	30 - 50%	20 - 50%	30 - 50%	34 - 55%
Agua	Saturado	Saturado	Saturado	Saturado
Hidrógeno	0 - 2%	0 - 5%	0 - 2%	0 - 1%
Sulfuro de hidrógeno	100 - 700 ppm	0 - 1%	0 - 8%	0.5 - 100ppm
Amoníaco	Trazas	Trazas	Trazas	Trazas
Monóxido de carbono	0 - 1%	0 - 1%	0 - 1%	Trazas
Nitrógeno	0 - 1%	0 - 3%	0 - 1%	0 - 20%
Oxígeno	0 - 1%	0 - 1%	0 - 1%	0 - 5%
Compuestos orgánicos	Trazas	Trazas	Trazas	5 ppm

Fuente: Martí Ortega, N. (2006). *Phosphorus Precipitation in Anaerobic Digestion Process*. Florida, USA: Boca Raton

2.2.2.1. Digestión aeróbica y anaeróbica

Según el enfoque de Sánchez y otros (2014), el biogás es un “proceso de degradación de la materia orgánica en ausencia de oxígeno para obtener un material orgánico parcialmente estabilizado (“digerido”) y un biogás con elevado potencial energético compuesto principalmente de metano y dióxido de carbono” (p.323). Moreno y Moral (2008), sostiene y menciona que la digestión anaerobia es un proceso de tratamiento biológico que permite la obtención de energía a partir de la descomposición de la materia orgánica. El proceso genera gases con alto contenido en metano (55 - 70%),

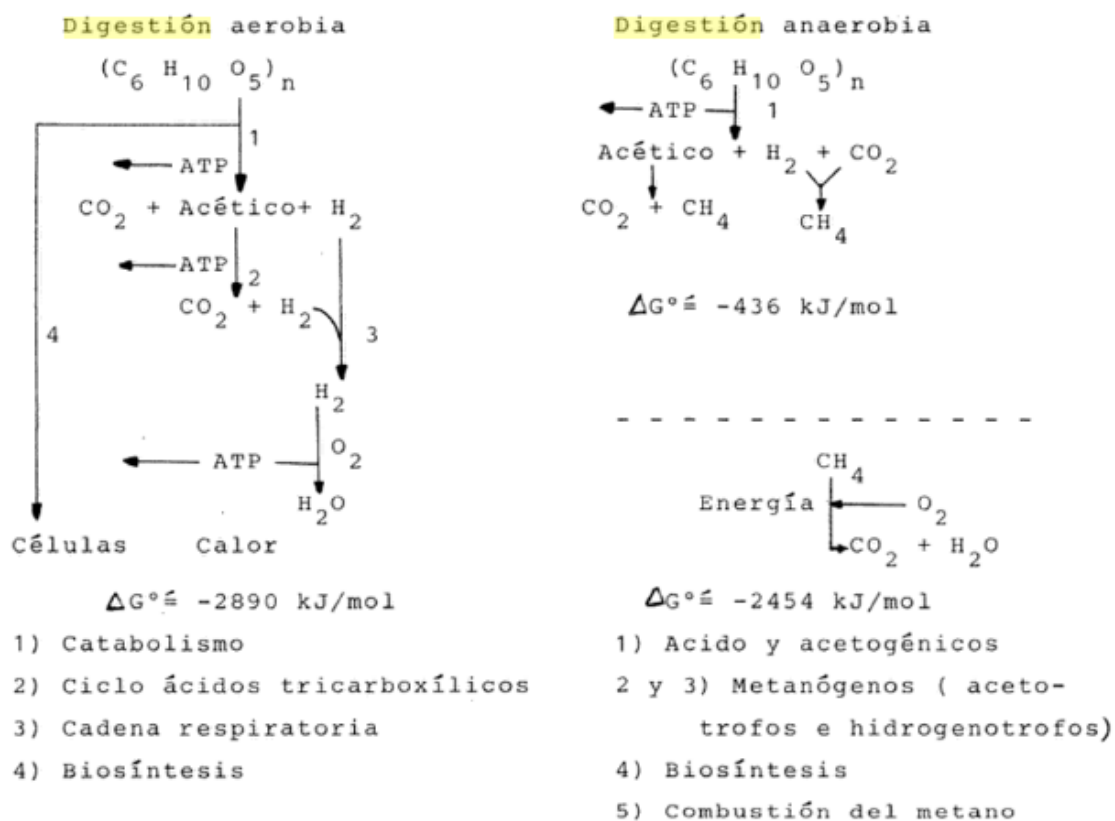
una fracción líquida con un cierto contenido en nutrientes y fracción sólida.

En el proceso de digestión anaeróbica la mayor parte de la energía libre se encuentra contenida en el sustrato original y se conserva el gas metano y puede ser utilizada como fuente de energía, en cambio la digestión aeróbica CO_2 es un proceso que se da mediante la presencia de oxígeno y los productos son preponderantes (Bermúdez et al., 1988).

En la figura N°2.1 se puede ver la comparación de las reacciones anaeróbicas y aeróbicas.

FIGURA N°2.1

Comparación entre los procesos de digestión aerobia y anaerobia



Fuente: La digestión anaerobia, Bermúdez et al.,1988, p.18.

Por último, la digestión anaeróbica es un proceso donde sus microorganismos reaccionan para la desintegración de la materia orgánica en ausencia del oxígeno y, la digestión aerobia es un proceso donde interactúan varios microorganismos en presencia de oxígeno; la materia orgánica al desintegrarse produce gas metano a una gran proporción y este es un buen combustible que tiene un potente poder calorífico.

2.2.3. Planta de producción de biogás

Las empresas, o industrias optan por diseñar este sistema para generar gas a partir de la desintegración de la materia orgánica, la putrefacción de los residuos orgánicos genera energía que se

puede aprovechar como fuente principal para operar con las máquinas en las industrias. Al desintegrarse los compuestos orgánicos⁵ en el medio ambiente genera el gas metano (CH_4), Fraume (2006), dice que el gas metano es llamado gas de los pantano, es uno de los hidrocarburos más sencillos de la naturaleza y está constituida de cuatro átomos de hidrógenos y un átomo de carbono. Según Sebastián, García y Rezeau (2010), los procesos y las etapas para la elaboración de biogás son los siguientes:

a) Pretratamiento de la biomasa⁶ para adecuar sus características a las necesidades de operación del proceso anaerobio. Las operaciones de pretratamiento que se utilizan para la separación y procesamiento del flujo orgánico de entrada se diseñan para:

- Modificar sus características físicas para que los diferentes componentes puedan ser separados fácilmente.
- Separar componentes y contaminantes específicos del flujo de biomasa.
- Preparar la biomasa, una vez separada, para la digestión anaerobia.
- Homogenizar la biomasa, sobre todo en casos de codigestión.

5 Los compuestos orgánicos están formados por moléculas que contienen uniones covalentes carbono-carbono (C–C), carbono-hidrógeno (C–H) o de ambos tipos (Thibodeau, Kevin & Patton, 2008).

6 La biomasa es toda la materia que se puede derivar directa o indirectamente de la fotosíntesis de las plantas, encontrándose en forma vegetal o animal, es decir, la biomasa es energía solar transformada (Gómez, Klose & Rincón, 2008, p.1).

- Proteger equipos.

Proceso biológico anaeróbico⁷ en el que la parte de la fracción orgánica biodegradable contenida en la biomasa es transformada por microorganismos anaerobios en biogás y nuevos microorganismos (biosólido).

Postratamiento del biosólido para adecuar sus características a las exigidas por legislación en función de su utilización posterior. El biosólido que se obtiene tras el proceso de digestión anaerobia no se considera un residuo debido a sus posibles aplicaciones, pero éste presenta una serie de propiedades que le confieren características que hacen que este biosólido tiene que ser sometido a un postratamiento:

- De reducción de peso y volumen: dado el elevado contenido en agua que hace que el volumen de biosólido a gestionar sea elevado.
- De estabilización: pues el biosólido está compuesto principalmente por materia orgánica sujeta a procesos de descomposición.
- De higienización: para reducir la presencia de sustancias (metales) u organismos (patógenos), que necesitan de un proceso de desinfección.

b) Tratamiento y utilización del biogás para eliminar los compuestos que sea necesario (dióxido de carbono, vapor de agua, ácido

⁷ El proceso anaeróbico es un proceso biológico degradativo en el cual, parte de la materia orgánica contenida en un sustrato y es convertida en una mezcla de gases, principalmente metano (CH₄) y dióxido de carbono (CO₂), mediante la acción de un conjunto de microorganismos en ausencia de aceptores de electrones de carácter inorgánico (O₂, NO₃⁻, SO₄²⁻) (Martí Ortega, 2006).

sulfhídrico, siloxanos, etc.) dependiente del uso final al que se vaya a distinguir el biogás obtenido. El biogás generado durante la digestión anaeróbica no es totalmente puro, por ello cada componente o resultado de los procesos se hacen su tratamiento final.

2.2.3.1. Biodigestor

Según Chinchilla, Chi y Carrillo (1998), el biodigestor “es un recipiente en donde se lleva a cabo la fermentación de materia orgánica para producir biogás” (p.19).

El biodigestor es un depósito completamente cerrado, donde el estiércol de los animales se fermenta sin aire para producir gas metano. Además de las ventajas que trae por ser generador de energía no convencional y renovable, representa una forma adicional de elaborar abono mediante la fermentación de sus materiales y puede ser aplicado en los diferentes cultivos (Palomino Torres, et al. 2004, p.193).

En base a las definiciones, se afirma que el biodigestor es un contenedor⁸ físico cerrado; en la producción del biogás se diseña y construye para la descomposición de los compuestos orgánicos.

2.2.4. Detalles de diseño para construcción de biogás

⁸ Es un recipiente cerrado muy resistente y se da múltiple uso en la industria. Generalmente se usa para almacenar residuos o productos en descomposición en el caso para la generación del biogás.

Para la construcción y diseño de una planta de biogás se requiere distintos tipos de herramientas y materiales según sea la ubicación de la planta. A continuación, se hace mención en forma teórica y general los materiales más usados por Guardado (2007).

En la tabla N° 2.4 se menciona algunos de los materiales generales que se usa para la construcción de una planta de biogás. Esto puede variar según las dimensiones y la ubicación de la planta.

TABLA N°2.4
Materiales usados en la construcción de una planta de biogás

1. CIMENTACIÓN Y VIGAS DE CERRAMIENTO Y ZAPATA (ANILLO)

Elementos	Materiales
LOSA DE CIMENTACIÓN DEL BIODIGESTOR	Hormigón Rbk = 15-20 Mpa
LOSA DE CIMENTACIÓN DEL TANQUE DE COMPENSACIÓN	Cemento P o PP-200, 250
LOSA DE LA VENTANA	Arena gruesa lavada, sin materia orgánica
VIGA DE AMARRE REFORZADA (CERRAMIENTO DE MUROS)	Grava gruesa.
TAPA DEL CUELLO	Acero en barras con Rbk-200-300 Mpa

2. MAMPOSTERÍA

A) DE BLOQUE DE HORMIGÓN

BLOQUES DE HORMIGÓN DE 15 A 20 CM DE ESPESOR	Cemento P o PP-200, 250
MORTERO DE CEMENTO	Arena fina
MORTERO PARA MACIZADO (EVENTUAL)	Arena gruesa

B) DE LADRILLOS

LADRILLOS DE BARRO COCIDO	Cemento P o PP-200, 250
MORTERO DE CEMENTO	Arena fina y cal apagada

3. ACABADOS

REPELLOS DE MUROS	Cemento P o PP-200, 250
REPELLOS DE CÚPULA	Arena fina
ESTUCADO DE CÚPULA	Cal apagada
	Pintura impermeabilizante
	En ocasiones se utiliza arena fina de mar para el repello fino y el estucado de la cúpula

4. TUBERÍA Y ACCESORIOS

TUBERÍA DE SUMINISTRO DE CIENO A LA PLANTA	Tubos de PVC
TUBERÍA DE CAPTACIÓN Y CONDUCCIÓN DE BIOGÁS	Accesorios (uniones, codo, etc.)
	Limpiador y pegamento para PVC
	Válvulas de cierre
	Pueden emplearse tuberías de otro tipo de material (hierro galvanizado, polietileno)

Fuente: Diseño y construcción de plantas de biogás sencillas (Guardado, 2007, p.41)

2.2.5. Planta física de biogás

Dolly (2007), menciona que “una planta física tiene que diseñarse y ubicarse adecuadamente, porque debe reflejar los elementos tangibles de servicio que hacen parte de la oferta total” (p.120). En teoría, una planta física es un conjunto de áreas distribuidas entre máquinas, instalaciones y otros componentes, más que se ubican en un lugar adecuado para transformar los insumos en productos terminados. Para diseñar una planta física de biogás se considera la capacidad en el diseño, las instalaciones y las ubicaciones de maquinarias y los instrumentos que se utilizarán para el proceso de control de los gases que se obtendrán a partir de los residuos orgánicos.

2.2.5.1. Tipos de plantas de biogás

Para obtener el biogás se requiere fundamentalmente de los biodigestores que son fuentes de almacenamiento de residuos orgánicos, en ella luego de un proceso anaeróbico se produce una sustancia llamado gas metano, y por lo tanto para diseñar los biodigestores depende de varios factores, así como plantea Guardado (2007):

“El diseño y dimensionamiento de un biodigestor depende, en lo fundamental, de los factores siguientes:

- a)** Tipo y composición del material orgánico que se debe emplear para la biodigestión.

- b)** Demanda de biogás y de biofertilizante.
- c)** Materiales de construcción que se deben emplear.
- d)** Tecnologías constructivas apropiadas.
- e)** Facilidad de explotación y mantenimiento.
- f)** Posibilidad económica del usuario.

Estos seis factores pueden ser resumidos en dos:

- Factibilidad de la inversión (necesidad y condiciones creadas).
- Características y situación económica del usuario.

Las plantas de tecnología simple, según el régimen de carga o llenado, se clasifican en dos tipos fundamentales: de flujo continuo mayormente empleadas para la obtención de volúmenes considerables de gas, y las de flujo discontinuo o Batch para pequeñas producciones de biogás.

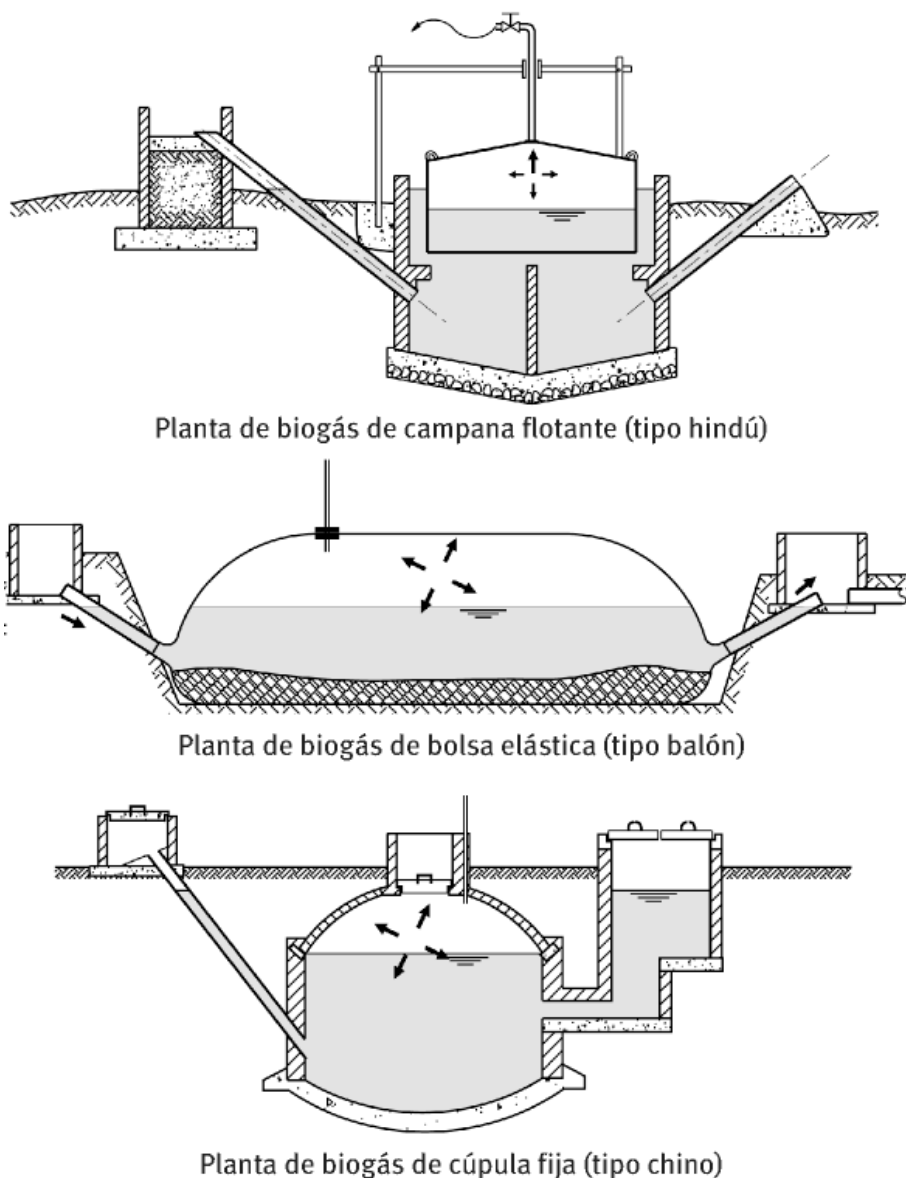
La gran ventaja de las primeras es que las bacterias metano génicas reciben un suministro estable del material orgánico, por lo que producen biogás de manera más uniforme.

Las plantas de tecnología simple más empleadas, y de flujo continuo pueden agruparse en dos tipos ampliamente desarrollados en la práctica:

- a) Planta de cúpula móvil, en la cual el gasómetro (compuesto generalmente por planchas metálicas) flota sobre el material orgánico en fermentación.
- b) Planta de cúpula fija, en la que el gas se almacena en la parte superior debido al desplazamiento gaseoso” (Guardado, 2007, p.13).

En la figura Nº 2.2 se indica los tres tipos de plantas de biogás que son utilizados a nivel mundial para generar biogás a partir de los compuestos orgánicos.

FIGURA N°2.2
Clasificación de las plantas de biogás simples más empleadas.



Fuente: Diseño y construcción de plantas de biogás sencillas (Guardado, 2007, p.14)

Para Guardado (2007), la construcción de estos biodigestores se realiza con paredes y bloques de hormigón, los materiales usados para su construcción son el cemento, arena, piedra y acero, además en su interior no presenta partes móviles ni materiales que se puedan oxidar

fácilmente permitiéndole esto a una vida útil mayor a 20 años.

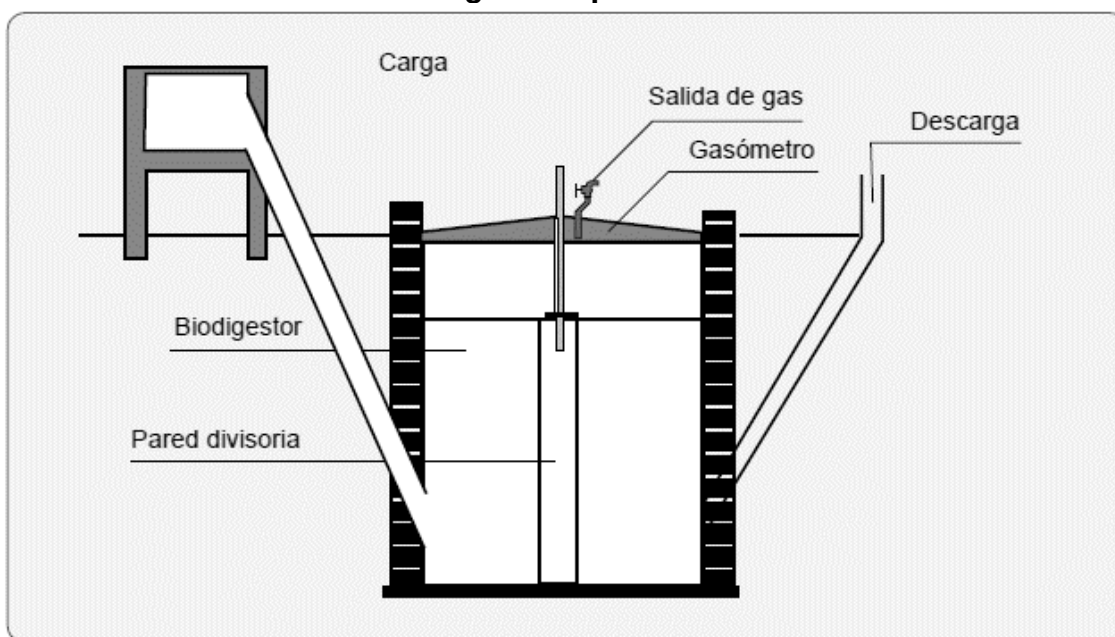
A. Planta de biogás campana flotante (tipo Indú)

Este biodigestor es un tanque que su estructura está construido de concreto y son enterrados bajo nivel de la tierra. Se dice campana porque en la parte superior del pozo flota una campana donde se almacena el gas.

Para Hilbert y Eppel (2007), citado por Vernerero (2011), “los biodigestores se cargan por gravedad una vez al día, con un volumen de mezcla que depende del tiempo de fermentación o retención y producen una cantidad diaria más o menos constante de biogás si se mantienen las condiciones de operación” (Vernerero, 2011, p.99).

En la figura N°2.3 se observa las partes principales que tiene el diseño de un biodigestor de tipo indiano.

FIGURA N°2.3
Biodigestor tipo Indiano



Fuente: Manual de biogás (Vernero, 2011, p.99).

B. Planta de biogás de bolsa elástica (tipo balón)

Guardado (2007) citado por Vega (2015) comenta que “este tipo de digestor es muy económico y fácil de transportar por su bajo peso, en especial en aquellos sitios de difícil acceso. Al ser hermético se reducen las pérdidas, pero con su fragilidad requiere disciplina social de las personas que lo manejan o que están a su alrededor, para evitar que lo dañen” (p.12)

En la figura N°2.4 se observa la concentración del biogás, el diseño y la forma del biodigestor de plástico de flujo continuo.

FIGURA N°2.4

El biodigestor plástico de bajo costo y de flujo continuo

Fuente: página web Biodigestor de bajo costo:

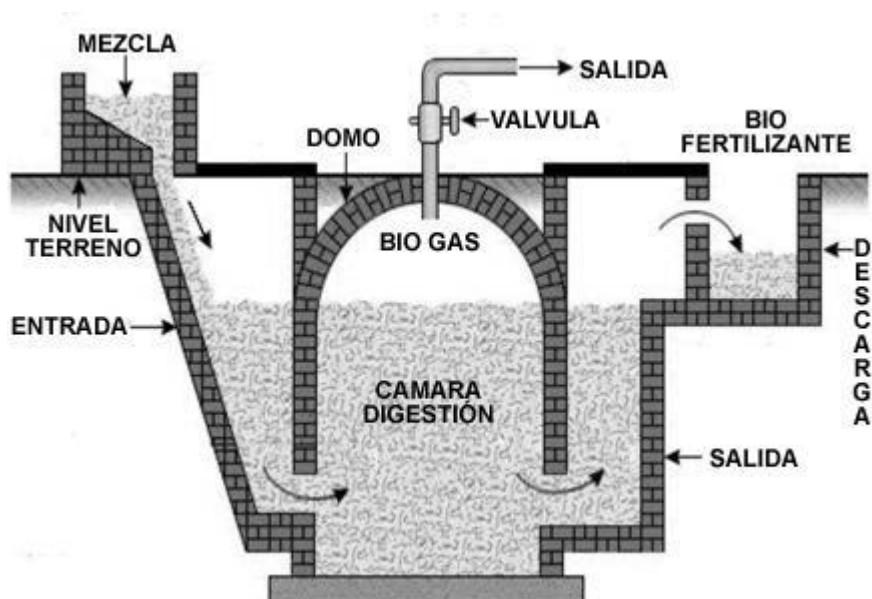
<https://bioreactorcrc.wordpress.com/2011/03/31/biodigestor-de-bajo-costo/>

C. Planta de biogás de cúpula fija (tipo chino)

Para Guardado (2007) citado por Vega (2015), “este modelo es muy difundido en China, es un tanque construido totalmente en mampostería, sin campana movable y totalmente enterrado. Igual que el modelo hindú, recibe la carga fresca por un conducto que lo lleva hacia la parte baja y entrega el efluente por rebose a un depósito externo en la parte exterior” (p.11).

La figura N°2.5, indica el diseño de un sistema de biodigestión de cúpula fija.

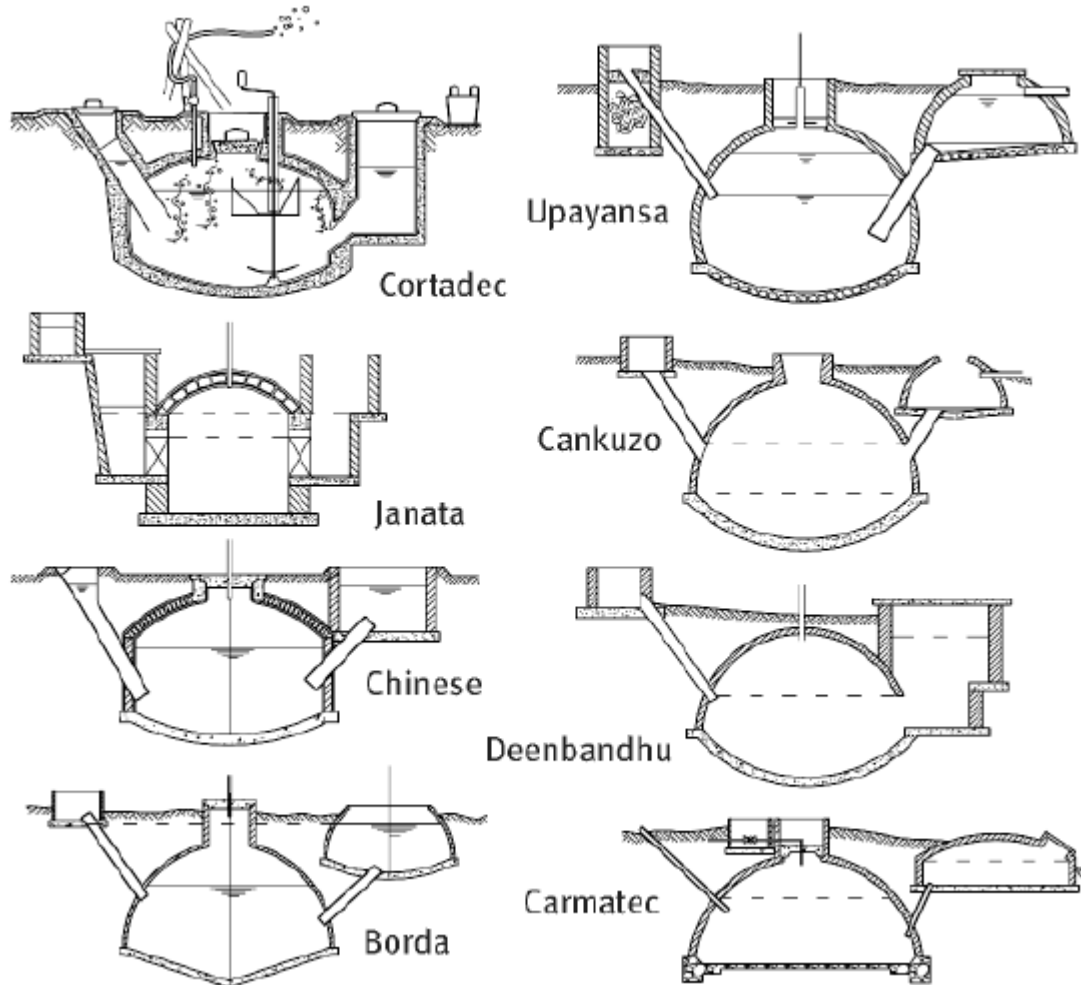
FIGURA N° 2.5
Sistema de biodigestión de cúpula fija (tipo chino)



Fuente: Fundación Argentina para el Desarrollo Humano Ambiental

En la figura N° 2.6, según Guardado (2007), se indica varios tipos de biodigestores que son los más utilizados en varias regiones del mundo.

FIGURA N°2.6
Diseños de biodigestores de cúpula fija empleados en diferentes regiones del mundo.



Fuente: Diseño y construcción de plantas de biogás sencillas (Guardado, 2007, p.15)

2.2.6. Dispositivos para la construcción de la planta de biogás

Los dispositivos que se requieren para la construcción de una planta de biogás, en el diseño de biodigestor, según Guardado (2007) son:

“El biodigestor está compuesto básicamente por tres elementos estructurales con forma de tres figuras geométricas definidas: losa de cimentación (cono), muro circular (cilindro) y cúpula superior

(esfera). Para facilitar la construcción se recomienda disponer de los dispositivos siguientes:

Eje central. Se instala un tubo de hierro galvanizado de 2' (pulg.) de diámetro y 6 m de longitud en un agujero conformado en el vértice del fondo cónico, aplomándose debidamente y fijándolo mediante arriostres o vientos (tres como mínimo), en su parte superior para conservar su verticalidad. (...).

Guía rectangular. Se utiliza para la construcción del muro circular.

Puede elaborarse con listones de madera o mejor aún con tubos galvanizados. Se fija al eje central (del cual se retiró previamente la escuadra utilizada para la conformación de la losa), de manera que gire libremente alrededor de éste. Generalmente, el extremo libre de la guía se arrastra mediante un tirante (viento) al extremo superior del eje central.

Escuadra de madera. Se requiere para la fundición de la losa con placa cónica de fondo. Se ajusta al eje central, sobre el cual gira con el radio y la altura requerida por la losa.

Guía o formaleta recta. Se utiliza para la construcción de la cúpula esférica. Se ajusta en un extremo al eje central (del cual fue retirado previamente la guía rectangular), girando libremente alrededor de éste y además, con una bisagra o eje adicional que permite su movimiento circular en el plano vertical.

Ganchos de sujeción. Se utiliza para la colocación de contrapesos para la sujeción de los ladrillos durante la construcción de las últimas hiladas que conforman la cúpula. Se elaboran con cabillas de 3/8 pulgadas” (pp.44-45).

3. MARCO METODOLÓGICO

3.1. Nivel y Tipo de Investigación.

3.1.1. Nivel de Investigación

El desarrollo la investigación catalogada dentro de tecnológica, no se encuentra necesariamente dentro de una estructura de una investigación de tipo social, por lo que no presenta nivel de investigación.

3.1.2. Tipo de Investigación

Según Landeau (2007), la presente investigación dada la naturaleza de su desarrollo es del tipo aplicada-tecnológico (dinámico activo), aplicada porque está encaminado a la resolución de problemas prácticos y "... es un tipo de estudio que se emplea con frecuencia en el contexto industrial, orientado a la producción de materiales, instrumentos, sistemas, métodos, procedimientos y modelos" (Landeau 2007:55).

3.2. Diseño de la Investigación.

Dada que la investigación está catalogada como tecnológica y no de carácter social esta no presenta diseño.

3.3. Determinación del Universo, población y muestra

Dada que la investigación está catalogada como tecnológica y no de carácter social, es esta no presenta universo, población y muestra.

3.4. TECNICAS DE RECOLECCIÓN Y TRATAMIENTO DE DATOS.

3.4.1. Definición operativa del instrumento de recolección de información

Para la recolección de la información⁹ se utilizó fichas textuales.

Para Alayza et al. (2011):

⁹ Para Alayza et al. (2011, p. 149) información es un conjunto de datos que constituyen un mensaje sobre un determinado ente o fenómeno.

Las fichas textuales son aquellas cuyo contenido es una transcripción literal de lo que figura en una fuente de información. Este tipo de fichas se realizan cuando necesitamos recoger definiciones – estas no deberían ser alteradas o parafraseadas; cuando necesitamos recoger datos muy precisos – fechas, cifras, nombres, clasificaciones, etc.; cuando encontramos una idea que resulta valiosa, en parte por la forma en que está expresada; o cuando simplemente necesitamos las ideas de un autor tal y como él las expresó (p. 149).

Las fichas textuales nos permitieron también elaborar el estado del arte o estado del conocimiento sobre energía a base de biodigestor.

La recogida de la información se hizo a medida que se fueron revisando las fuentes y estas provinieron de papers (artículos científicos), repositorios de las universidades locales, nacionales y extranjeras, revistas técnicas físicas y virtuales (Potencial de generación de energía de palma de aceite), manuales, libros físicos y virtuales.

3.4.2. Definición operativa del instrumento de recolección de datos

La recogida de los datos fue mediante una encuesta y como herramienta un cuestionario dirigida a especialistas sobre el tema para la obtención de datos sobre funcionamiento y requerimientos técnicos de biodigestor.

También se usó la técnica del análisis documental y, mediante los instrumentos como son las fichas de resumen, fichas de

análisis y análisis de informes se pudo recoger datos de los efluentes.

3.5. Procesamiento y Presentación de Datos

En el procesamiento de datos se utilizó el programa estadístico Excel, que mediante tablas se describe datos técnicos especialmente sobre la materia prima. También se desarrollaron planos para la visualización de los objetivos planteados.

4. RESULTADOS

4.1. Descripción del proceso de generación de energía con recursos energéticos renovables – Biogás

El biogás se produce por la descomposición anaeróbica de los residuos de la extracción del aceite crudo de palma. También es posible producirlo a través de la descomposición de residuos urbanos. (Blanco et al, 2017).

El bio gas es una mezcla de gases, como el metano (CH_4), anhídrido carbónico (CO_2), agua (H_2O), óxido nitroso (N_2O), sulfuro de hidrogeno (H_2S), oxígeno (O_2), mercaptanos, ácidos orgánicos, sulfuros orgánicos, aminas, aldehídos y acetonas. (Weiss, A. et al. 2009).

En la mayoría de los procesos y producción de biogás, esta comienza con la llegada del sustrato (residuos sólidos urbanos, heces de los animales, residuos vegetales como los de la palma aceitera, etc.). En nuestro caso comienza con los residuos de la extracción del aceite crudo de palma. Para el acopio se utilizan patios si estos sustratos son sólidos o, almacenar en fosas abiertos o cerrados si los sustratos tienen un alto contenido de agua o lodo. Mayormente estos sustratos son adaptados a las necesidades de la planta. Además, dependiendo de las características del biodigestor, será necesario contar con estanques de premezclado y almacenamiento del sustrato.

Para la producción del bio gas se necesita un reactor, donde se forman el metano, dióxido de carbono y otros componentes (ver tabla 4.1) mediante un proceso de digestión anaeróbico¹⁰.

¹⁰ Las bacterias anaerobias cuentan con un metabolismo que genera su energía a partir de sustancias

El biogás, como producto final de la digestión anaerobia, tiene la ventaja de ser ocupada como una fuente de energía calorífica o para la generación de electricidad, lo que permite reducir la demanda de los combustibles fósiles (Duran et al, 2006).

Para producir energía eléctrica con el biogás es necesario contar con un motor generador, y su funcionamiento es mediante generación de calor o ser parte de la combustión interna del motor.

El rendimiento del bio gas, así como la proporción de cada compuesto, depende de diversos factores, como: la composición y bio degradabilidad de la materia orgánica, población microbiana, temperatura y el pH. (Berkday, 2008).

Deutsche Gesellschaft Sonnenenergie y ECOFYS (2005) presenta la composición del biogás, detallada en la siguiente tabla.

TABLA N° 4.1.
Composición del biogás

COMPONENTE	PORCENTAJE (%)
Metano (CH ₄)	50 a 80
Anhídrido Carbónico (CO ₂)	20 a 50
Nitrógeno (N ₂)	< 1
Hidrogeno (H ₂)	< 1
Amoniaco (NH ₃)	< 1
Sulfuro de Hidrogeno (H ₂ S)	< 1

que carecen de oxígeno, lo hacen generalmente a través de procesos de fermentación.

El proceso biológico se da a través de una reacción (hidrolítica ácido génica) que se produce dentro del biodigestor anaeróbico por ausencia de oxígeno. La ausencia de oxígeno en esta etapa hace que la generación del biogás sea más eficiente y reduciendo la generación de amoníaco cuya presencia inhibe el crecimiento de las bacterias. Cabe recalcar que este efluente es ácido con un Ph de 4.15. Con las bacterias ácido génicas, acetogénicas y metanogénicas que se tiene en el biodigestor (capacidad de 15 000 m³) se obtendrá el bio gas. Este bio gas contenido en el biodigestor, en la salida nos proporciona un punto de muestreo que nos sirve para medir parámetros porcentuales de H₂O, CH₄, CO₂, O₂ el cual determina la calidad del biogás. Para la medición de los parámetros se utiliza el equipo llamado gas data.

4.1.1. Generación de Energía Eléctrica con biogás

El bio gas puede utilizarse como fuente de energía térmica, para la generación de electricidad, para la producción de un combustible de alto poder calorífico (biometano), o como combustible en un motor de combustión interna. Para Blanco et al (2017) el uso del bio gas utilizado para la producción de electricidad mediante motores de combustión interna es una de las aplicaciones más beneficiosas y que es menos común la generación de electricidad a través de sistemas caldera-turbina de vapor por ser más costosas

Los motores reciprocantes de combustión interna son los más utilizados ya que presentan alta eficiencia en comparación con las turbinas de gas y microturbinas (LMOP, 2015). Son de bajo costo por kW en comparación con las turbinas de gas y microturbinas,

y existen en varios tamaños adecuados a los flujos de Biogas, especialmente de rellenos sanitarios (Blanco et al, 2017).

Para la generación de energía eléctrica es necesario generadores de electricidad, estos generadores son alimentados por la fuerza de los motores; para Cengel & Boles (2012) un generador eléctrico "... es todo dispositivo capaz de transformar la energía mecánica en energía eléctrica, la eficiencia del generador es igual a la relación directamente proporcional a la salida de potencia eléctrica (generador) y a la entrada de potencia mecánica (turbina a gas)".

4.2. Aspectos técnicos de la planta de generación de energía eléctrica con afluentes de la molienda del aceite crudo de palma - Palm oil mill effluent.

Para la instalación de la planta es necesario:

A) Biodigestor

El biodigestor tiene una capacidad de 15,000 m³, este volumen es de acuerdo al ratio (0.80m³/Tm RFF) de generación de efluente por tonelada de fruta procesada.

Tiempo de residencia de los afluentes, min 21 días.

Material, geomembrana de 1.5 milímetros de espesor.

La captación de los afluentes es mediante tuberías de PVC de 6 pulgadas de diámetro. Esta debe de contar con un flujometro para que nos proporcione la cantidad de afluentes ingresadas al biodigestor. Los datos nos servirán para el balance de materia.

Para el paso de los afluentes es necesario una bomba de 10 Hp. Se debe de contar en cada estación de bombeo con dos unidades de bombeo para asegurar la continuidad del paso de los afluentes si es que uno de ellos no se encuentra operativo. Dada la formación del bio gas en CH_4 , H_2S , CO_2 , y otros, es necesario generar normas de seguridad como es el de no hacer fuego a menos de 50 metros.

B) Desulfurador

Este equipo es necesario para bajar el nivel de H_2S generados en el biodigestor. Dada que los gases deben de pasar directamente al Chiller y de posteriormente a los generadores. Si este proceso se omitiese el H_2S que es altamente corrosivo estropearía los generadores eléctricos.

El desulfurador debe de tener una capacidad de 1000 m^3 por hora. Esta capacidad está considerada teniendo en cuenta la cantidad de biogás que necesitaran los generadores eléctricos. El desulfurador deberá tener una eficiencia mayor al 90 %. Esto debido al ingreso de H_2S permitido a los generadores.

C) Chiller

La función del chiller es enfriar el biogás. El biogás mayormente se encuentra a una tempera de 45°C , según especialistas estas deben de ingresar a menos de 33°C a los generadores, ya que a esta temperatura la cantidad de agua/m^3 de gas será de 40. Dato recomendado según tabla.

TABLA N° 4.2

Temperatura (C°)	Humedad g H ₂ O/m ³ Gas húmedo	Temperatura (C°)	Humedad g H ₂ O/m ³ Gas húmedo
1	5	21	20
2	6	22	21
3	6	23	22
4	6	24	24
5	7	25	25
6	7	26	27
7	8	27	28
8	9	28	30
9	9	29	32
10	10	30	34
11	10	31	36
12	11	32	38
13	12	33	40
14	13	34	42
15	14	35	45
16	14	36	47
17	15	37	50
18	16	38	53
19	18	39	56
20	19		

Fuente: shengdong

El chiller debe de contar con dos compresores alternados, uno con trabajo continuo y el otro de acuerdo a la necesidad de biogás de los generadores.

D) Generadores

Los generadores eléctricos deben tener una capacidad de generación de 750 KWa. Esta capacidad se da en función a la cantidad de biogás generada. El consumo de biogás será de 350 m³ /hora, esto teniendo en cuenta la mínima producción de afluentes.

- 4.3. Ingreso de materia prima de racimo de fruto fresco (RFF) a la planta extractora de aceite crudo de palma. La producción de bio gas y los Kilowatss - por hora (Kw-hora) generados por metro cúbico de bio gas.**

4.3.1. Ingreso de materia prima RFF

La materia prima racimo de fruta fresca (RFF) proyectada, para los años venideros está considerada de acuerdo al incremento de nuevas áreas de producción y a la mejora del rendimiento por hectárea/año.

TABLA N° 4.3
INGRESO DE RFF PROYECTADO

AÑO	HA	TON. X HA	TON RFF	% ACOPIO	ACOPIO DE RFF
2,019	7,700.00	18	138,600.00	83%	114,610.95
2,020	8,200.00	19	155,800.00	83%	128,833.96
2,021	8,200.00	20	164,000.00	83%	135,614.69
2,022	8,200.00	22	180,400.00	83%	149,176.16
2,023	8,200.00	24	196,800.00	83%	162,737.63
2,024	8,200.00	24	196,800.00	83%	162,737.63
2,025	8,200.00	24	196,800.00	83%	162,737.63

4.3.2. Producción de bio gas y los Kilowatss - por hora (Kw-hora) generados

De acuerdo a la tabla proyecta N°4.3, se presenta en la siguiente tabla N° 4.4 la producción de biogás y los kilowhats por hora proyectas

TABLA N° 4.4

AÑO	ACOPIO DE RFF	m ³ efluente generado	m ³ Biogás generado	Energía generada kwh	Energía generada MWh
2,019	114,610.95	106,588.19	5,329,409.29	12,790,582.30	12,790.58
2,020	128,833.96	119,815.58	5,990,778.99	14,377,869.57	14,377.87
2,021	135,614.69	126,121.66	6,306,083.14	15,134,599.55	15,134.60
2,022	149,176.16	138,733.83	6,936,691.46	16,648,059.50	16,648.06
2,023	162,737.63	151,346.00	7,567,299.77	18,161,519.45	18,161.52
2,024	169,518.36	157,652.08	7,882,603.93	18,918,249.43	18,918.25
2,025	169,518.36	157,652.08	7,882,603.93	18,918,249.43	18,918.25

4.3.2.1 Mediciones y cálculos de los parámetros del biodigestor

Las mediciones y cálculos de los parámetros del biodigestor se realizara una vez por día en un punto de muestreo ubicado a la salida del biogás con el medidor de gas llamado **GASBOARD**, esta medición nos determina las concentraciones de los gases presentes, el poder calorífico del “bio gás”, formado fundamentalmente por metano (45%-65%). este gas es susceptible de ser utilizado como combustible para la generación de energía térmica y/o eléctrica, eta contiene permisiblemente Dióxido de carbono (30-50%) y con pequeñas cantidades de Sulfuro de Hidrógeno (H_2S), Nitrógeno(N), Oxígeno (O_2), Hidrógeno(H).

Figura N° 4.1
GASBOARD



Fuente: Fotografía propia

Las etapas del proceso son:

- a. Hidrólisis-acidogénesis:** La materia orgánica compleja (proteínas, grasas, carbohidratos) es hidrolizada por la acción de enzimas extracelulares que la transforman en sustratos más simples (aminoácidos, glicéridos péptidos y azúcares). Al mismo tiempo se produce la acidogénesis, los sustratos simples son transformados en ácidos volátiles, por bacterias facultativas (viven con o sin aire).

Las bacterias Hidrolíticas y Acidogénicas tales como: Clostridium, Bifidobacterium, Desulphovibrio, Actinomyces y staphylococcus.

- b. Acetogénesis:** Producción de acetato que sirve de sustrato nutritivo a las bacterias metanogénicas. Ocurre la fermentación y transformación de ácidos grasos- ácidos volátiles- en ácido acético – acetato-: CO_2 y H_2 .

Las bacterias Acetogénicas: Propionibacterium, clostridium Propionicum, Clostridium Butyricum

- c. Metanogénesis:** los acetatos son metabolizados por las bacterias metanogénicas anaerobias (sin aire) produciendo metano, por la fermentación de ácido acético y/o reducción del CO_2 por H_2 naciente.

Las bacterias metanogénicas: Methanobacterium, Methanothermus, Metanococcus, Methanonicrobium, Methanogenium, Methanosarcina, Methanolobus, Methanotherix, Methanopyrus, Methanocorpusculum y Methanobacillus.

La energía resultante del proceso biológico nos da como resultado:

Valor energético 6Kw h /m³

Valor eléctrico 2.4Kw h / m³

Teniendo en cuenta estos valores:

Los generadores con una potencia nominal: 750 Kw

Potencia máxima real: 630 Kw

Eficiencia del Generador: 85%

Se necesita una potencia mecánica: $630 \text{ Kw} / 0.85 = 741 \text{ Kw}$

Para que el generador reciba 741 Kw durante 1 Hora es necesario:

$741 \text{ Kw-h} / 2.4 \text{ Kw-h} = 308.82 \text{ M}^3$ de biogás.

Para que los dos grupos generen su potencia máxima (630 Kw) se necesitara:

$308.82 \text{ m}^3 * 2 = 617.65 \text{ M}^3$ de biogás/ Hora.

El cual presentamos en la tabla N° 4.5

TABLA N° 4.5

Año	HA	TONx HA	TON RFF	% ACOPIO	ACOPIO DE RFF	m ³ EFLUENTE GENERADO	m ³ BIOGAS GENERADO	Energía Generada KwH	Energía Generada mWh
2020	8,200.00	19	155,800.00	83 %	128,833.96	199,815.58	5,990,778.99	14,377,869.57	14,377.87
2021	8,200.00	20	164,000.00	83 %	135,614.69	126,121.66	6,306,083.14	15,134,599.55	15,134.60
2022	8,200.00	22	180,400.00	83 %	149,176.16	138,733.83	6,936,691.46	16,648,059.50	16,648.06
2023	8,200.00	24	196,800.00	83 %	162,737.63	151,346.00	7,567,299.77	18,161,519.45	18,161.52
2024	8,200.00	25	205,000.00	83 %	169,518.36	157,652.08	7,882,603.93	18,918,249.43	18,918.25
2025	8,200.00	25	205,000.00	83 %	169,518.36	157,652.08	7,882,603.93	18,918,249.43	18,918.25

Fuente: Elaboración propia

Valor energético 6 6Kw h/m³Valor eléctrico 2,4 Kw h/m³

Parámetros	
0.93	m ³ efluente/TM de RFF
50	m ³ biogas/m ³ efluente
2.40	K wh / m ³ biogas
0.040	\$/Kw h(Precio de venta)

4.4. Criterios de adquisición del biodigestor, desulfurador, chiller y generador eléctrico

4.4.1 Biodigestor

Se tuvo en cuenta la eficiencia de la digestión anaerobia de sistema continuo que esta entre 90% y 95%, por el proceso de fermentación anaerobia, ya que el material orgánico en ausencia de oxígeno sufre transformaciones en su composición y produce burbujas de gas(biogás), su mantenimiento es continuo y a bajo costo. El biodigestor consta de una bomba y las 10 válvulas de agitación.

Los afluentes es la materia orgánica Líquida, es degradada por bacterias produciendo metano* (CH_4), dióxido de carbono (CO_2), ácido sulfhídrico (H_2S) y lodos activados.

Para el flujo de los afluentes y la recirculación de los mismos, se detalla la ubicación de las tuberías. Ver Anexo N°4

4.4.2 Filtros para reducir el H_2S en el biogás (desulfuradores)

Se eligió estos desulfuradores debido a su capacidad de disminución del H_2S , una eficiencia de 90% a volúmenes altos de biogás $1000 \text{ m}^3/\text{H}$, otro criterio determinante es su bajo costo de operación por que funcionaran con el POME (palm oil mill effluent), ya que estos efluentes no tienen ningún costo. Su mantenimiento es funcional solo necesita un lavado de la parte interna con agua. Estos desulfuradores están hechos de fibra de vidrio, por ende, no se van a corroer. Para alimentar las plantas

eléctricas sin riesgo de corrosión de los motores (en particular de las piezas de cobre y de bronce en contacto con el aceite del motor) es necesario reducir la concentración en H_2S del biogás. Para lograrlo se implementará un sistema de filtración biológica con bacterias del género *Thiobacillus*, que crecen en el medio gracias a una micro-inyección de oxígeno en el biogás. El sistema de filtración biológica tiene dos etapas (dos medios de soporte): la superficie de la laguna, y una torre empacada con material orgánico. La etapa permite reducir la concentración de H_2S a menos de 100 ppm.

4.4.3 Intercambiador de calor (CHILLER)

Se optó por este chiller por su capacidad ($1\,500\text{ m}^3/\text{H}$), para dar las condiciones al motor el rango de temperatura que está directamente relacionada con la humedad. Bajando la temperatura del biogás bajamos la humedad y con ello damos las condiciones al motor. El chiller tiene un sistema de dos compresores alternados, en el que el primer compresor trabaja en forma continua. El rango de trabajo debe ser menor a 40 g de $\text{H}_2\text{O}/\text{m}^3$.

4.4.4 Generador eléctrico

El biogás con menos de 100 ppm de H_2S se utiliza como combustible (50-65% de metano) en los grupos electrógenos. El criterio principal que se tuvo en cuenta es el bajo costo de mantenimiento, la eficiencia del generador, y el bajo costo de sus piezas de repuestos.

- Modelo grupo electrógeno: 750GFZ1-PWZ
- Modelo motor: T12V190ZLDK
- Modelo alternador: 1FC6 454-6LA8
- Potencia nominal: 750 KW
- Voltaje nominal: 440 V
- Factor de potencia: $0.8 \cos \Phi$
- Frecuencia: 60 Hz
- Consumo de gas combustible: 9 MJ/(kW.h)
- Eficiencia eléctrica: 42%
- Dimensiones (LxAxH) mm: 5600X2100X2335
- Requerimiento del gas combustible: Biogás con contenido promedio de 50%.

4.5. Diseño de la Planta generadora de energía eléctrica

4.5.1. Ubicación de la Planta

La planta de cogeneración de energía eléctrica de la empresa OLPESA se encontrará ubicada en el caserío de Villa Palma, Distrito de Tocache, Provincia de Tocache, Departamento de San Martín.

Para mayor detalle de la ubicación ver el anexo 01.

Los criterios considerados para la ubicación del Sistema de Generación:

- Accesibilidad y cercanía con las vías de comunicación
- El área seleccionada no es inundable
- Superficie necesaria para actuales instalaciones y posteriores ampliaciones.
- No hay presencia de vestigios arqueológicos.
- No presenta cobertura arbórea nativa.

- Áreas de propiedad de la empresa.

4.5.2. Distribución de equipos

Los equipos necesarios para la planta de generación de energía eléctrica de la empresa Olpesa son:

Biodigestor – Modelo continuo, desulfuradores, chiller y generadores. Para mayor detalle ver Anexo 2

La distribución de los equipos se desarrollara teniendo en cuenta los siguientes:

4.5.3. Distribución de la energía eléctrica

La instalación de la energía eléctrica estará en función del requerimiento de los equipos. Para mayor detalle ver el plano de distribución de energía eléctrica Anexo 03.

4.6. Aporte de la investigación al conocimiento

La investigación es por excelencia el puente que une la teoría y la práctica dentro del proceso de búsqueda del conocimiento, (...). Bajo esta consideración se comprenderá que todo acto de investigación deberá girar en torno a la reflexión teórica y metodológica, así como deberá tener proyección directamente en los diferentes escenarios de la práctica, delimitando y fortaleciendo tanto el quehacer profesional como el planteamiento de teorías o modelos teóricos. (Gonzales Vásquez, 2014).

Por tal razón este trabajo valida el conocimiento teórico, traduciéndolo a un mundo real de la práctica profesional. Traducción que debe repercutir

con mayor énfasis en las carreras ingenieriles, bajo el entorno de nuestra realidad y nuestra necesidad. Con el trabajo desarrollado estamos contrastando el conocimiento existente con la aplicación de la misma.

CONCLUSIONES

La generación de electricidad a partir de biogás a partir de residuos sólidos urbanos (RSU), presenta desde el punto de vista ambiental un doble aporte a la mitigación de la generación de gases de efecto invernadero (GEI): una a través de la captura de metano y la segunda por la sustitución de combustibles fósiles para la generación de electricidad (Blanco et al, 2017).

El proceso propuesto de generación de energía eléctrica con recursos energéticos renovables – Biogás, en la empresa Olpesa, son los siguiente:

- Bombeo de los efluentes hacia el PTARI.
- Captación del efluente en el biodigestor.
- Almacenamiento del biogás en el biodigestor.
- Desulfuración del biogás
- Enfriamiento del biogás.
- Proceso de generación de energía eléctrica.

Los aspectos técnicos de la planta de generación eléctrica con recursos renovables – Biogás son:

- Ubicación de la planta: caserío de Villa Palma, distrito de Tocache, provincia de Tocache, región San Martín.
- Biodigestor: Cobertura de la parte inferior con geomembrana de 1 mm y la parte superior de 1.5 mm de espesor, con una capacidad de 15 000 m³, una eficiencia de 90%.
- Desulfurador: material de fibra de vidrio, con capacidad de 1000 m³/h.

- Chiller: Es un intercambiador de calor, funciona con dos compresores alternados, que da las condiciones de temperatura y humedad al biogás, con capacidad de 1500 m³/h.
- Generador eléctrico: con capacidad para generar 750 Kw/h con un consumo de biogás de 350 m³/h.

El ingreso de materia prima y los KW–Hr proyectados para los siguientes años son:

AÑO	ACOPIO DE RFF	m³ efluente generado	m³ Biogás generado	Energía generada kwh	Energía generada MWh
2,019	114,610.95	106,588.19	5,329,409.29	12,790,582.30	12,790.58
2,020	128,833.96	119,815.58	5,990,778.99	14,377,869.57	14,377.87
2,021	135,614.69	126,121.66	6,306,083.14	15,134,599.55	15,134.60
2,022	149,176.16	138,733.83	6,936,691.46	16,648,059.50	16,648.06
2,023	162,737.63	151,346.00	7,567,299.77	18,161,519.45	18,161.52
2,024	169,518.36	157,652.08	7,882,603.93	18,918,249.43	18,918.25
2,025	169,518.36	157,652.08	7,882,603.93	18,918,249.43	18,918.25

RECOMENDACIONES

Con base a la información obtenida del estudio realizado, evaluar y actualizar los equipos disponibles en el mercado. Estas evaluaciones deben tener las especificaciones del diseño presentado, ya que la tecnología es cambiante en el tiempo.

Tener en cuenta como estudio siguiente la seguridad de planta y por lo tanto del personal; como también la calidad de la producción y la gestión de venta de energía.

REFERENCIAS BIBLIOGRAFICA

- Arce Cabrera, J. J. (2011). ***Diseño de un biodigestor para generar biogás y abono a partir de desechos orgánicos de animales aplicable en las zonas agrarias de Litoral*** (Tesis para optar título profesional de Ingeniero Industrial). Universidad Politécnica Salesiana, Guayaquil, Ecuador.
- Berkday, A. Nas, B. (2008). ***Biogas Production and utilización Potencial of Wastewater treatment sludge***. Energy Sources. 30, 179 -188
- Bermúdez, Cánovas, Manjón, Iborra & Howell (1988). ***La digestión anaerobia***. España: Compobell, S.A.
- Blanco, G. Santalla, E. Córdova, V. Levy, A. (2017). ***Generación de electricidad a partir de biogás capturado de residuos sólidos urbanos: un análisis teórico-práctico***. Nota técnica Nro.IDB-TN-1260. EEUU, Washintong DC: División de energía del Banco Interamericano de Desarrollo.
- Cantoni N. (2010). ***Reciclado, una solución al problema de la basura***. Argentina: Albatros Saci.
- Cengel, Y. Boles, M. (2012). ***Termodinámica***. 7ma ed. España: Mc Graw Hill
- Chinchilla, M., Chi, H. & Carrillo, W. (1998). ***Producción semi-intensiva de cerdos y uso de desechos para generar energía***. Venezuela: Priag
- Cruz, M. & Alcalá, G. (2007). ***La contaminación de suelos y aguas: su prevención con nuevas sustancias naturales***. España: Publidisa.

- Deutsche Gesellschaft Sonnenenergie y ECOFYS. (2005). ***Planning and installing Bioenergy Systems: A guide por installers, architects and egineers***. UK: James & James.
- Dolly Tejada, B. (2007). ***Administración de servicios de alimentación: Calidad, nutrición, productividad y beneficios***. 2ªEd. Colombia: Universidad de Antioquia.
- Duran, M. Tepe, N. Yurtsever, D. Punzi, VL (2006). ***Bioaugmenting anaerobic digestion of biosolids with selected strains of Bacillus, Pseudomonas, and Actinomycetes species for increased methanogenesis and odor control***. Applied Microbiology and BIOTECHNOLOGY 73. 960 -966
- Guardado Chacón, J. A. (2007). ***Diseño y construcción de plantas de biogás sencillas***. Cuba: Cubasolar
- Gómez A., Klose W., Rincón S. (2008). ***Pirólisis de biomasa. Cuesco de palma***. Bogotá: Kassel.
- Hernández, F. (2015). ***Producción de biogás con suero de queso: Tratamiento y generación de energía renovable a partir de lactosuero***. Argentina.
- Jarauta Rovira, L. (2014). ***Las energías renovables***. México: Jordi Bertran.
- Fraume R., N. J. (2006). Manual: ***abecedario ecológico, la más completa guía de términos ambientales***. Colombia: San Pablo
- González-Velázquez, S.. (2014). ***La investigación y su aporte al conocimiento: La experiencia de Enfermería en la Facultad de Estudios Superiores Zaragoza de la UNAM***. *Enfermería universitaria*, 11(2), 45-46. Recuperado en 21 de octubre de

2019, de http://www.scielo.org.mx/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S1665-70632014000200001&lng=es&tlng=es.

Landeau, R. (2007). **Elaboración de trabajos de investigación**. Caracas: Alfa.

LMOP. (2015). **LFG Energy Project Development Handbook**. Landfill Methane Outreach Program. USEPA

<http://www.epa.gov/lmop/publicationstools/handbook.html>.

Martí Ortega, N. (2006). **Phosphorus Precipitation in Anaerobic Digestion Process**. Florida, USA: Boca Raton.

Morena, C. J. & Moral, H. R. (2008). **Compostaje**. México: Aedos, s.a.

Palomino Torres, A., et al. (2004). **Manual de la granja integral autosuficiente**. Colombia: San Pablo.

Ramírez Rodríguez, H. B. & Rivera Cabrera, O. (2014). **Comparación de la producción de biogás a partir de lenteja de agua (*lemna gibba*), como sustrato alternativo frente a la biomasa tradicional (Tesis para optar el Título Profesional de Ingenieros Biotecnólogo)**. Universidad Católica de Santa María, Arequipa, Perú.

Sánchez Ferrer, A. et al (2014). **De residuo a recurso. El camino hacia la sostenibilidad**. México: Aedos, S.A.

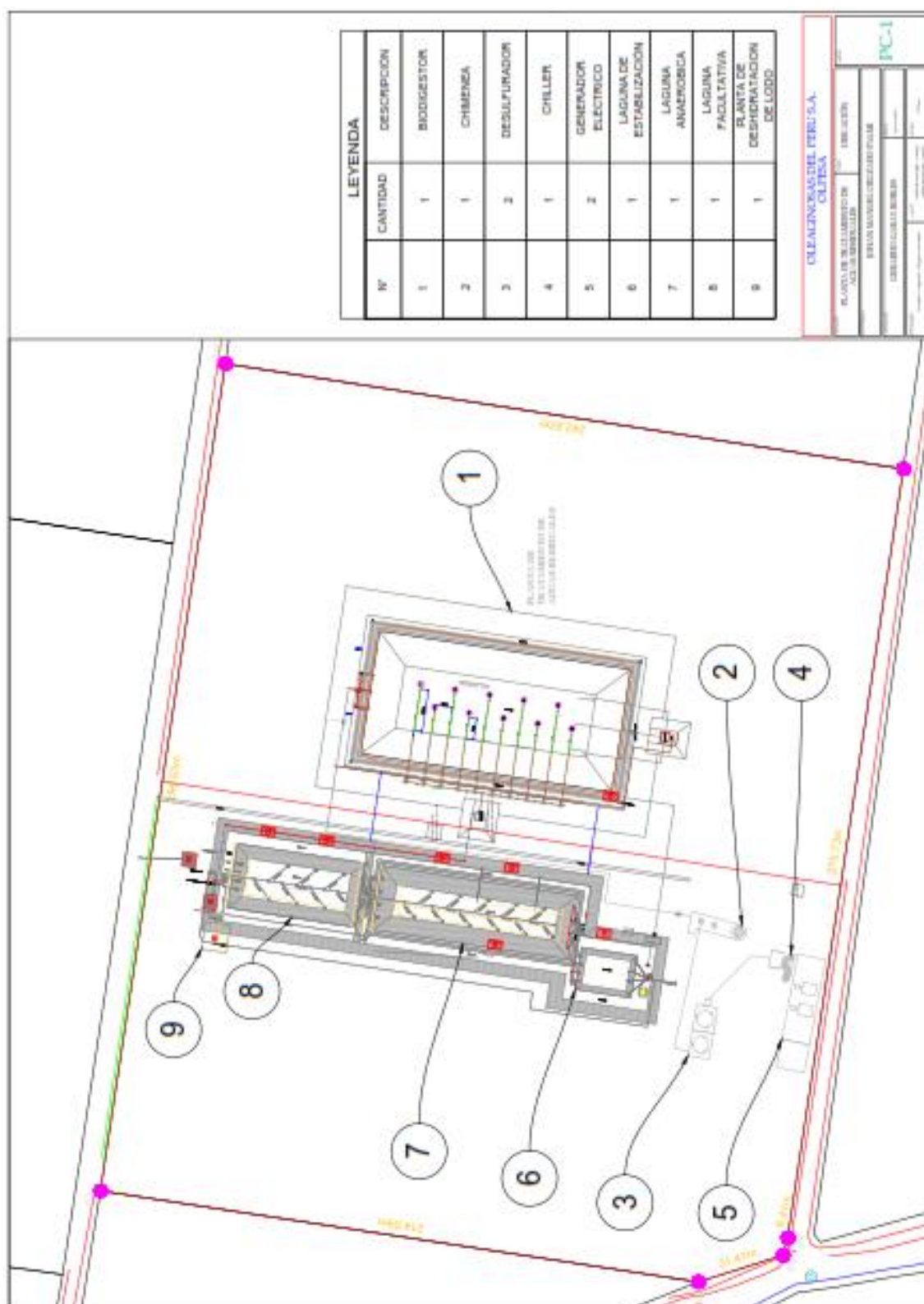
Sebastián Nogués, F., García Galindo, D., & Rezeau, A. (2010). **Energía de la biomasa II (Energías renovables) (Vol. II)**. España: Prensas Universitarias de Zaragoza.

Thibodeau Gary A., Patton, Kevin T. (2008). **Estructura y función del cuerpo humano**. 13ª Ed. España: Elsevier.

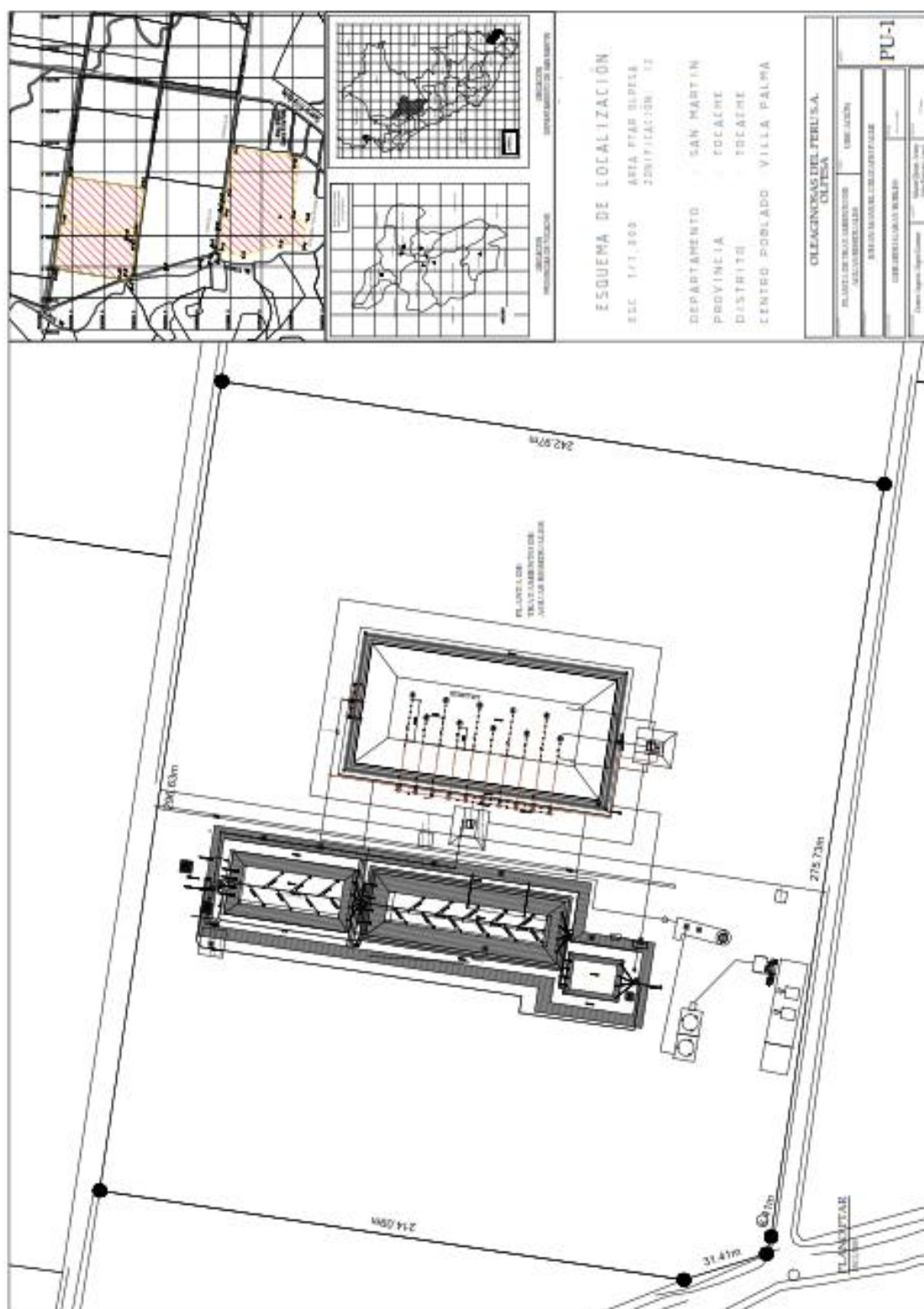
- Téllez Santana, C. A. (2008). ***Diseño y selección de elementos para una planta de biogás*** (Tesis desarrollado para optar título profesional de Ingeniero Mecánico). Universidad Austral de Chile, Valdivia, Chile.
- Vernero Moreno, M. T. (2011). ***Manual de biogás***. Chile: FAO
- Vega Arquíño, J., A. (2015). ***Diseño, construcción y evaluación de un biodigestor semicontinuo para la generación de biogás con la fermentación anaeróbica del estiércol de cuy y de conejo para la Institución Educativa Privada Cristiana Bereshi*** (Tesis para optar título profesional de Ingeniero en Energía). Universidad Nacional del Santa, Chimbote, Perú.
- Weiss, A. Jérôme, V. Burghardt, D. Likke, L. (2009). ***Investigation of factors influencing biogas production in a large-scale thermophilic municipal biogas plant***. Applied Microbiology and BIOTECHNOLOGY, 84, 987 -1001.

ANEXO

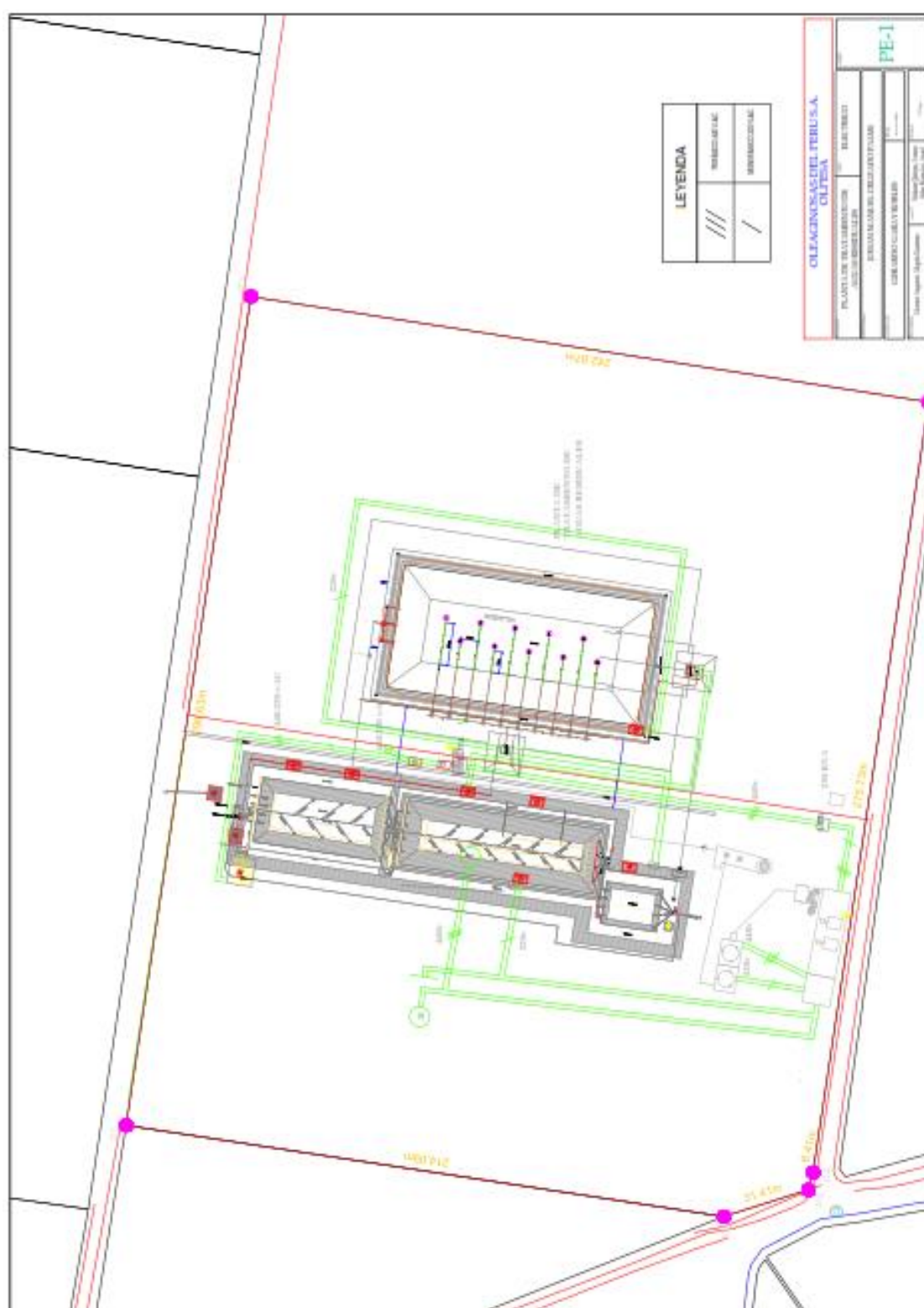
ANEXO 1



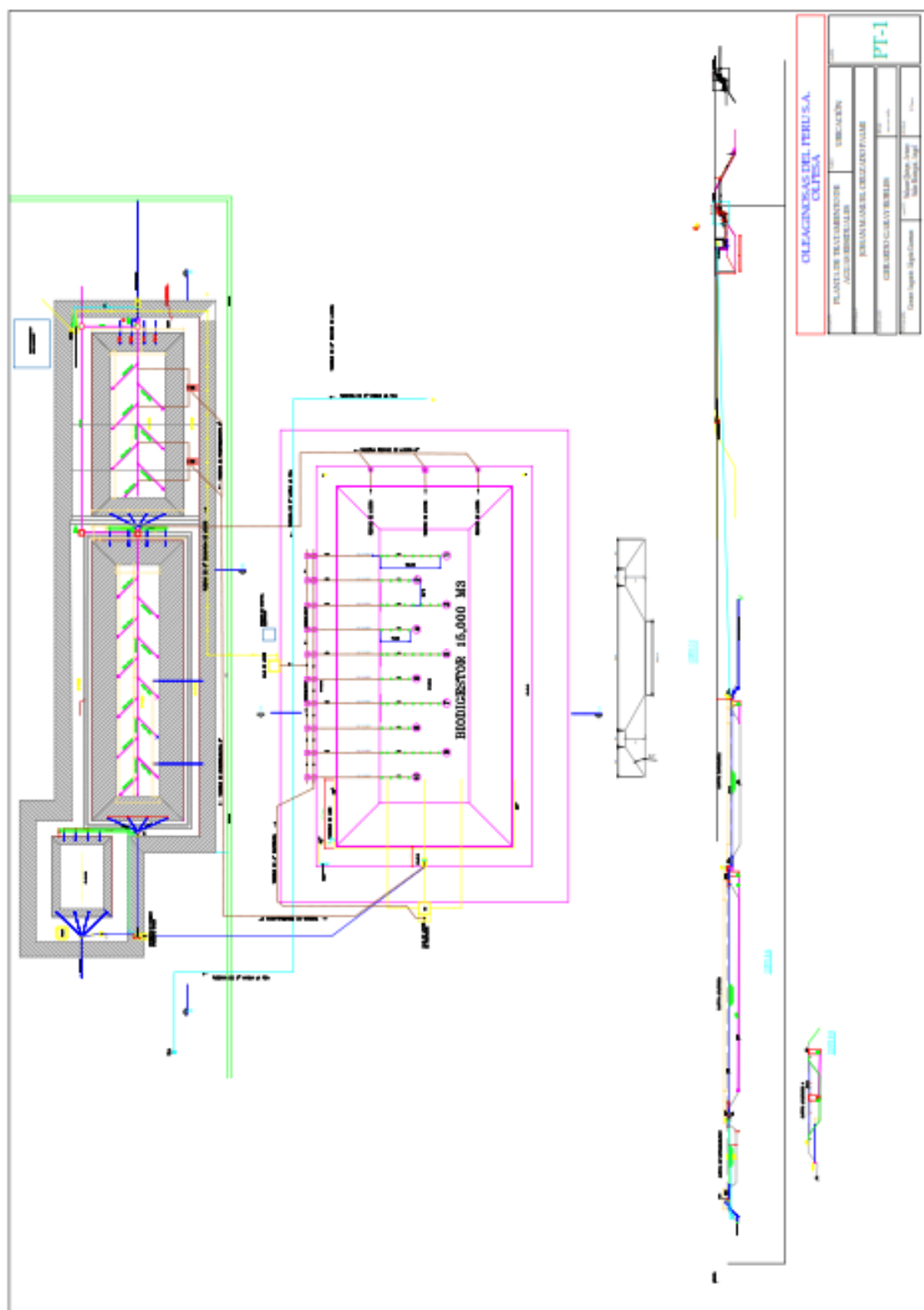
ANEXO 2



ANEXO 3

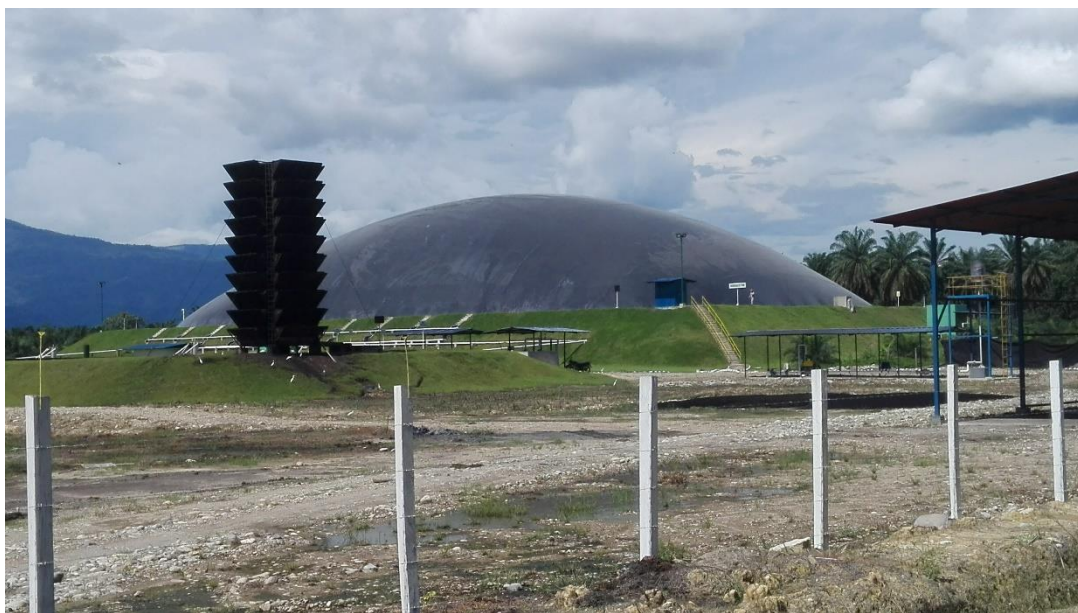


ANEXO 4



REFERENCIAS FOTOGRAFICAS

Fotografía N°1



Fuente: fotografía propia

Donde se instalará los desulfuradores.

Fotografía N°2



Fuente: fotografía propia

Donde se instalará el chiller.

Fotografía N°3



Fuente: fotografía propia

Donde se montara los grupos generadores.

Fotografía N°4



Fuente: fotografía propia

Donde se instalará la planta de generación de energía eléctrica.