

**UNIVERSIDAD CATÓLICA SANTO TORIBIO DE MOGROVEJO  
FACULTAD DE INGENIERÍA  
ESCUELA DE INGENIERÍA INDUSTRIAL**



**GENERACIÓN DE BIOGÁS A PARTIR DE LA  
CASCARILLA DE ARROZ PARA REDUCIR  
COSTOS ENERGÉTICOS EN LA PILADORA  
LA MERCED S.R.L.**

**TESIS PARA OPTAR EL TÍTULO DE  
INGENIERO INDUSTRIAL**

**CRISTIAN ALEXANDER ROJAS SANCHEZ**

**Chiclayo, 18 de Junio de 2018**

**GENERACIÓN DE BIOGÁS A PARTIR DE LA  
CASCARILLA DE ARROZ PARA REDUCIR  
COSTOS ENERGÉTICOS EN LA PILADORA  
LA MERCED S.R.L.**

**POR:**

**CRISTIAN ALEXANDER ROJAS SANCHEZ**

**Presentada a la Facultad de Ingeniería de la  
Universidad Católica Santo Toribio de Mogrovejo  
para optar el título de  
INGENIERO INDUSTRIAL**

**APROBADA POR:**

---

**Mgtr. César Ulises Cama Peláez  
PRESIDENTE**

---

**Ing. María Luisa Espinoza García Urrutia  
SECRETARIO**

---

**Mgtr. Alejandro Segundo Vera Lázaro  
ASESOR**

## DEDICATORIA

*A Dios,*

Por protegerme durante todo mi camino  
y darme las fuerzas necesarias para superar  
obstáculos y dificultades a lo largo de mi vida.

*A la memoria de mi abuelo Enrique Sánchez,*

Porque sé que desde el cielo me cuidas junto  
con Dios y porque a ti te debo lo que soy  
como persona, mis valores, mis principios,  
mi carácter, mi empeño y mi perseverancia.

*A mi abuela María y a mi madre Olga*

Por haberme apoyado en todo momento,  
por sus consejos, por su comprensión,  
por preocuparse por mí, pero más que  
nada, por su amor de madres.

*A mi familia en general,*

Porque me han brindado su apoyo  
incondicional y por compartirme todos sus  
consejos.

*Finalmente,*

A todas aquellas personas que  
estuvieron en los buenos y malos  
momentos que me tocó vivir.

## AGRADECIMIENTOS

*A mi madre y a mis tías*, por brindarme los recursos necesarios para ser un profesional realizado.

*A mi asesor Mgtr. Alejandro Segundo Vera Lázaro*, por la orientación en el desarrollo de este proyecto de investigación.

*A mis maestros*, por los conocimientos y consejos aportados en toda mi carrera universitaria.

*A la empresa Piladora La Merced S.R.L.*, por proporcionarme toda la información necesaria para elaborar este proyecto.

*A mis amigos*, por brindarme su apoyo incondicional y enseñarme el valor de la amistad.

## ÍNDICE

DEDICATORIA .....	iii
AGRADECIMIENTOS .....	iv
RESUMEN .....	xi
ABSTRACT .....	xii
I. INTRODUCCIÓN.....	13
II. MARCO DE REFERENCIA DEL PROBLEMA .....	15
2.1. Antecedentes del problema.....	15
2.2. Fundamentos Teóricos.....	17
2.2.1. Procesos de biodigestión .....	17
2.2.2. Biogás.....	17
2.2.3. Etapas del proceso de generación de biogás.....	19
2.2.4. Tipos de biodigestores anaeróbicos .....	20
2.2.5. Componentes de un biodigestor anaeróbico .....	23
2.2.6. Parámetros en el proceso de generación de biogás .....	25
2.2.7. Generación de energía eléctrica .....	26
2.2.8. Cascarilla de arroz.....	27
2.2.9. Propiedades físicas, químicas y bioquímicas de la cascarilla de arroz .....	27
III. RESULTADOS .....	30
3.1. Diagnóstico de la situación actual de la empresa.....	30
3.1.1. Datos generales de la empresa .....	30
3.1.2. Descripción del sistema de producción.....	33
3.1.3. Producción anual.....	43
3.1.4. Energía eléctrica .....	46
3.2. Determinación de la producción de cascarilla de arroz y la demanda del requerimiento de energía futuros en la Piladora La Merced S.R.L.....	51
3.2.1. Análisis del acopio de arroz cáscara .....	51
3.2.2. Pronóstico de producción de cascarilla de arroz.....	52
3.2.3. Pronóstico del requerimiento de energía para motores de producción .....	59
3.2.4. Pronóstico del importe de energía de motores de producción.....	62
3.2.5. Generación de biogás a partir de cascarilla de arroz pronosticada .....	63
3.2.6. Generación de energía eléctrica a partir de biogás pronosticado .....	64
3.3. Identificación y selección del sistema de generación de biogás a partir de la cascarilla de arroz en la Piladora La Merced S.R.L. ....	68

3.3.1. Ubicación del sistema de generación de biogás .....	68
3.3.2. Elección del tipo de biodigestor .....	69
3.3.3. Elección de la tecnología de aprovechamiento del biogás .....	74
3.3.4. Elección de la tecnología para depuración de H <sub>2</sub> S .....	78
3.3.5. Elección del sistema generador de electricidad .....	79
3.3.6. Descripción de los elementos complementarios en el sistema de generación de biogás y electricidad .....	82
3.4. Diseño del sistema de generación de biogás a partir de la cascarilla de arroz para reducir costos energéticos en la Piladora La Merced S.R.L.....	84
3.4.1. Determinación de la cantidad de biogás y materia prima requerida .....	84
3.4.2. Análisis del potencial de biogás .....	85
3.4.3. Diseño del sistema de generación de biogás .....	88
3.4.4. Balance de masa y energía .....	102
3.4.5. Distribución y cálculos de superficie .....	103
3.5. Realización del análisis costo-beneficio de la propuesta del sistema de generación de biogás .....	106
3.5.1. Contexto económico de la generación de electricidad a partir de biogás .	106
3.5.2. Inversiones.....	107
3.5.3. Financiamiento .....	111
3.5.4. Cronograma de ejecución.....	112
3.5.5. Presupuesto de ingresos .....	112
3.5.6. Presupuestos de egresos .....	114
3.5.7. Estado de Ganancias y Pérdidas .....	116
3.5.8. Flujo de caja.....	117
3.5.9. Evaluación económica financiera .....	118
IV. CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES .....	119
4.1. Conclusiones .....	119
4.2. Recomendaciones.....	120
V. REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS.....	121
VI. ANEXOS.....	126

## ÍNDICE DE TABLAS

Tabla 1: Características generales del biogás .....	18
Tabla 2: Ventajas y desventajas del biogás .....	18
Tabla 3: Propiedades físicas de la cascarilla de arroz.....	28
Tabla 4: Propiedades químicas de la cascarilla de arroz.....	29
Tabla 5: Propiedades bioquímicas de la cascarilla de arroz.....	29
Tabla 6: Datos generales de los motores de la empresa.....	35
Tabla 7: Peso total de acopio de arroz cáscara (kg).....	43
Tabla 8: Producción de arroz pilado (kg).....	44
Tabla 9: Producción de cascarilla de arroz (kg) .....	45
Tabla 10: Consumo de energía eléctrica de los motores de producción (kWh) .....	47
Tabla 11: Importe del consumo de energía de los motores de producción (soles) .....	48
Tabla 12: Levantamiento de cargas .....	49
Tabla 13: Factor de estacionalidad promedio de la producción de cascarilla de arroz...	54
Tabla 14: Índice de estacionalidad de la producción de cascarilla de arroz .....	55
Tabla 15: Factor cíclico promedio de producción de cascarilla de arroz.....	56
Tabla 16: Pronóstico de producción de cascarilla de arroz mensual (kg).....	57
Tabla 17: Factor de estacionalidad promedio del requerimiento de energía de los motores de producción .....	59
Tabla 18: Índice de estacionalidad de requerimiento de energía de los motores .....	59
Tabla 19: Factor cíclico promedio del requerimiento de energía de motores .....	61
Tabla 20: Pronóstico del requerimiento de energía de motores del área de producción (kWh) .....	61
Tabla 21: Pronóstico del importe de consumo de energía de motores .....	62
Tabla 22: Composición de biogás a partir de cascarilla de arroz .....	63
Tabla 23: Producción de biogás a de partir cascarilla de arroz (m <sup>3</sup> /día).....	63
Tabla 24: Comparación entre diferentes tipos de biodigestores.....	70
Tabla 25: Matriz de enfrentamiento para elección del biodigestor .....	72
Tabla 26: Escala de calificación .....	73
Tabla 27: Factores ponderados para la elección del biodigestor .....	73
Tabla 28: Resultados de elección de biodigestor.....	74
Tabla 29: Comparación de grupos electrógenos.....	75
Tabla 30: Matriz de enfrentamiento para elección del grupo electrógeno.....	76
Tabla 31: Factores ponderados para la elección del grupo electrógeno .....	77
Tabla 32: Resultados de elección del grupo electrógeno .....	78
Tabla 33: Métodos de depuración de H <sub>2</sub> S en el biogás.....	78

Tabla 34: Tipos de sistemas de generación de electricidad .....	80
Tabla 35: Comparación entre los sistemas de generación de electricidad .....	81
Tabla 36: Dimensiones básicas según el número de biodigestores .....	90
Tabla 37: Dimensiones del biodigestor.....	90
Tabla 38: Resumen de las cantidades de flujo másico y volumétrico por biodigestor ...	95
Tabla 39: Especificaciones técnicas del grupo electrógeno a biogás .....	99
Tabla 40: Cálculos de la superficie estática .....	103
Tabla 41: Cálculos de la superficie de gravitación.....	104
Tabla 42: Cálculo de la superficie de evolución.....	105
Tabla 43: Tabla resumen de las superficies.....	105
Tabla 44: Costo de mano de obra para la construcción del sistema de biogás.....	107
Tabla 45: Costos de materiales para la construcción del sistema de biogás .....	107
Tabla 46: Costo de mano de obra para la construcción del desulfurador .....	108
Tabla 47: Costos de materiales para la construcción del desulfurador .....	108
Tabla 48: Inversión fija .....	108
Tabla 49: Depreciación de la inversión fija.....	109
Tabla 50: Inversión diferida .....	109
Tabla 51: Capital de trabajo .....	110
Tabla 52: Inversión total .....	110
Tabla 53: Servicio de deuda .....	112
Tabla 54: Cronograma de ejecución .....	112
Tabla 55: Producción anual de ingresos.....	112
Tabla 56: Presupuesto de ingresos.....	113
Tabla 57: Costos de materiales .....	114
Tabla 58: Costos de mano de obra.....	114
Tabla 59: Gastos administrativos.....	114
Tabla 60: Gastos financieros .....	115
Tabla 61: Costos totales .....	115
Tabla 62: Estado de ganancias y pérdidas.....	116
Tabla 63: Flujo de caja.....	117
Tabla 64: Evaluación de VAN y TIR .....	118
Tabla 65: Periodo de recuperación .....	118

## ÍNDICE DE FIGURAS

Figura 1: Usos del biogás .....	19
Figura 2: Etapas del proceso de generación de biogás .....	19
Figura 3: Reactor de mezcla completa sin recirculación .....	21
Figura 4: Reactor de mezcla completa con recirculación .....	21
Figura 5: Biodigestor modelo indiano .....	22
Figura 6: Biodigestor modelo chino .....	22
Figura 7: Biodigestor discontinuo o batch .....	23
Figura 8: Organigrama de la empresa .....	30
Figura 9: Emplazamiento de Piladora La Merced S.R.L .....	31
Figura 10: Instalaciones de Piladora La Merced S.R.L. ....	32
Figura 11: Área de Producción de Piladora La Merced S.R.L. ....	39
Figura 12: Diagrama de flujo del proceso industrial del arroz.....	40
Figura 13: Balance de masa del proceso industrial del arroz.....	41
Figura 14: Diagrama de análisis del proceso industrial del arroz.....	42
Figura 15: Generación, transmisión y distribución de energía eléctrica.....	46
Figura 16: Modelo de demanda eléctrica diario .....	50
Figura 17: Producción de cascarilla de arroz 2012 - 2017.....	52
Figura 18: Tendencia de producción de cascarilla de arroz 2012 – 2017.....	55
Figura 19: Pronóstico de producción de cascarilla de arroz diaria.....	58
Figura 20: Tendencia de consumo de energía campañas 2012-2017 .....	60
Figura 21: Tendencia del importe de consumo de energía eléctrica 2012-2017.....	62
Figura 22: Demanda de energía eléctrica para el año 2018 .....	65
Figura 23: Demanda de energía eléctrica para el año 2019 .....	65
Figura 24: Demanda de energía eléctrica para el año 2020 .....	66
Figura 25: Demanda de energía eléctrica para el año 2021 .....	66
Figura 26: Demanda de energía eléctrica para el año 2022 .....	67
Figura 27: Demanda de energía eléctrica para el año 2023 .....	67
Figura 28: Experiencias de biodigestores en Latinoamérica.....	69
Figura 29: Lectura de factor de corrección .....	86
Figura 30: Fórmulas de dimensionamiento de la cámara digestión .....	89
Figura 31: Biodigestores de Piladora La Merced S.R.L. ....	94
Figura 32: Grupo electrógeno a biogás de 180 kWh .....	100
Figura 33: Cimentación para el grupo electrógeno.....	101
Figura 34: Balance de masa y energía .....	102

Figura 35: Motor Delcrosa 3HP para elevador.....	126
Figura 36: Motor Delcrosa 10HP para pre-limpieza.....	127
Figura 37: Motor Delcrosa 20HP para descascarado.....	127
Figura 38: Motor Delcrosa 5HP para post-limpieza.....	128
Figura 39: Motor Japonés para mesas paddy.....	128
Figura 40: Motor Delcrosa 3HP para mesas paddy.....	129
Figura 41: Motor Delcrosa 25HP para pulidora.....	130
Figura 42: Motor Siemens 5HP para lustradora.....	130
Figura 43: Motor Siemens 2HP para mesa rotatoria.....	131
Figura 44: Motor Siemens 2HP para mesas rotativas.....	131
Figura 45: Máquina pre-limpieza.....	132
Figura 46: Máquina para mesa rotativa.....	132
Figura 47: Máquina pulidora.....	133
Figura 48: Máquina mesa paddy.....	133
Figura 49: Panel de control.....	134
Figura 50: Potencia instalada.....	134
Figura 51: Partes del biodigestor chino.....	143
Figura 52: Cuello del biodigestor modelo chino.....	143
Figura 53: Cámara de carga del biodigestor modelo chino.....	144
Figura 54: Montaje de un desulfurador.....	144
Figura 55: Esquema del sistema de alimentación de combustible.....	145
Figura 56: Esquema del sistema eléctrico.....	145
Figura 57: Cimentación de un grupo electrógeno.....	145

## RESUMEN

El proceso industrial del arroz genera grandes cantidades de residuos que no poseen una ruta de disposición ambientalmente sostenible, sin embargo podría ser una fuente importante de carbono para tecnologías energéticas. En la actualidad, algunas empresas afrontan déficits energéticos, a pesar de que poseen abundantes recursos biológicos, esta realidad genera nuevas alternativas para dar un valor agregado a la materia prima, produciendo esa energía faltante a partir de biomasa, ofreciendo así autonomía energética en las industrias.

La presente investigación se centra en aprovechar la cascarilla de arroz de la Piladora La Merced S.R.L. ubicada en la ciudad de Chiclayo, debido a que este residuo es incinerado, constituyendo un serio problema de contaminación ambiental. Por lo que se propone la generación de biogás a partir de la cascarilla de arroz para reducir costos energéticos en la empresa, empleando biodigestores de cúpula fija, ya que representa una opción viable a la generación de energía limpia, el cuidado del medioambiente y la disminución del efecto invernadero.

A través de pronóstico de descomposición, método de factores ponderados, balance de materia y energía, método de Güerchet, software AutoCAD, herramienta costo-beneficio, fuentes bibliográficas, revisión de artículos científicos y diversos estudios; se determinó que para el año 2023 se empleará 1 105 707 kg de cascarilla de arroz en concentración de 1:5 de agua, para generar 323 827 kWh de energía para el funcionamiento de los motores del área de producción; pretendiéndose reducir así 23 288 kg CH<sub>4</sub> equivalente a 489 053 kg CO<sub>2</sub>. Así mismo, la viabilidad del proyecto radica en el crecimiento tanto económico, social y ambiental, ya que permitirá que la empresa pueda aprovechar este residuo de manera eficiente para su propio beneficio teniendo una ganancia de 0,39 soles y recuperando la inversión en un periodo de 3 años y 24 días, reduciendo así el 100% de los costos energéticos.

**Palabras clave:** biogás, digestión anaerobia, biodigestor de cúpula fija, cascarilla de arroz, costos energéticos.

## **ABSTRACT**

The industrial process of rice generates large quantities of waste that do not have an environmentally sustainable route, however, it could be an important source of carbon for energy technologies. Currently, some companies face energy deficits, even though biological resources abound, that is, the new reality alternatives to make an added value to the raw material, produce the missing energy of the biomass, as well as energy autonomy in the industries.

The present investigation focuses on taking advantage of the rice husk from Piladora La Merced S.R.L. located in the city of Chiclayo, because this waste is incinerated, constituting a serious problem of environmental contamination. Therefore, the generation of biogas from rice husks is proposed to reduce energy costs in the company, using fixed dome biodigesters, since it represents a viable option for the generation of clean energy, care for the environment and reduction of the greenhouse effect.

Through decomposition forecast, weighted factors method, material and energy balance, Güerchet method, AutoCAD software, cost-benefit tool, bibliographic sources, review of scientific articles and various studies; it was determined that by the year 2023, 1 105 707 kg of rice husks will be used in a concentration of 1:5 of water, to generate 323 827 kWh of energy for the operation of the engines in the production area; trying thus to reduce 23 288 kg CH<sub>4</sub> equivalent to 489 053 kg CO<sub>2</sub>. Likewise, the viability of the project lies in the economic, social and environmental growth, since it will allow the company to take advantage of this waste efficiently for its own benefit having a gain of 0,39 soles and recovering the investment in a period 3 years and 24 days, thus reducing 100% of energy costs.

**Keywords:** biogas, anaerobic digestion, fixed dome digester, rice husks, energy costs.

## I. INTRODUCCIÓN

En el siglo XXI, la humanidad tiene que afrontar tres grandes problemas: la superpoblación, el agotamiento de los recursos y la degradación del medio ambiente. Todos ellos tienen un epicentro común, la energía, la cual es básica para mejorar los niveles de bienestar de las sociedades de todo el mundo (Sisternas 2011).

La estructura de consumo por fuentes energéticas es una de las claves para analizar los retos en que la sociedad se enfrentará en un futuro, donde los hidrocarburos aportan más de la mitad de la energía primaria consumida. En particular, el 30,50% del consumo energético primario global proviene del petróleo, siendo así la fuente energética más utilizada (Agencia Internacional de la Energía 2016).

La preocupación por un suministro de energía seguro, sumado al negativo impacto ambiental del uso de los combustibles fósiles, ha generado una necesidad de transformar el modelo actual, caracterizado por el uso de energías convencionales y grandes infraestructuras de generación, en una propuesta basada en las energías renovables, la eficiencia y la generación distribuida.

En la actualidad, algunas empresas afrontan déficits energéticos importantes, a pesar de poseer abundantes recursos biológicos. Esta realidad puede generar nuevas alternativas para dar valor agregado a esta materia prima produciendo la energía faltante a partir de biomasa, que pueden ahorrar miles de dólares al año, ya que gracias a ellas es posible ser independiente de las compañías eléctricas.

En materia de biogás, no se ha incursionado en la producción industrial en la mayoría de los países latinoamericanos, a pesar de que representa una nueva oportunidad de negocio para la obtención de energía eléctrica y calor a partir de biomasa, y como solución al problema de los desperdicios orgánicos de establecimientos ganaderos, granjas avícolas y residuos sólidos de las agroindustrias. Es decir, es una solución que abarca dos aristas: medioambiental y energética (Contreras, Pereda y Romero 2012).

En la actividad agroindustrial del arroz, a nivel mundial, se estimó una producción de arroz cáscara de 783,4 millones de toneladas para el año 2017, constituyendo una de las principales actividades generadoras de empleo en diversos países. En este proceso se separa la cáscara del grano, donde esta constituye el 20% del peso total de arroz, que finalmente se convierte en residuo, concentrando 116,5 millones de toneladas anualmente en el mundo (FAO 2017).

En esta línea agroindustrial, la maquinaria y la tecnología empleada cumplen un lugar primordial, pues la calidad del arroz pilado depende íntimamente del molino; por lo que muchos productores señalan la necesidad de seguir equipando sus molinos y adquirir maquinaria industrial, ya que la calidad del grano se ve implicado directamente en el procesamiento final.

En Lambayeque existen más de 134 molinos constituyéndose en la región con la mayor capacidad de molienda. Dentro del departamento se encuentra Piladora “La Merced” S.R.L. situada en la ciudad de Chiclayo, departamento de Lambayeque, que se dedica al servicio de pilado, seleccionado y envasado de arroz de las variedades NIR, Tinajones, Mayar, Fortaleza, Esperanza e Idal, así como la venta de subproductos del proceso de pilado de arroz como el polvillo, arrocillo de  $\frac{1}{2}$  y  $\frac{3}{4}$ , descarte y ñelén.

En el año 2017, la empresa acopió un peso total de 8 099 583 kg de arroz cáscara, convirtiéndose en una de las empresas arroceras más importantes de la zona. Sin embargo, de acuerdo con entrevistas realizadas a los encargados y representantes de la empresa, se observó que está atravesando por un problema que el rubro arrocero busca minimizar o eliminar. Este inconveniente es la deposición de la cascarilla de arroz, pues en el mismo año se generó 1 483 844 kg de este residuo.

La cascarilla de arroz generada en el proceso de producción de arroz pilado de esta empresa es trasladada del área de descarga de la máquina descascaradora a través de un conducto hacia un almacén produciendo su acumulación y posterior incineración, por lo que constituye un serio problema de contaminación ambiental afectando tanto al aire, suelo y ecosistemas. Además, existen anuncios en internet en donde se ofrece la ceniza de la cascarilla de arroz incinerada, desaprovechando así el potencial energético que tiene este residuo.

Piladora La Merced S.R.L. es abastecida en el servicio eléctrico por Electronorte S.A., con la tarifa MT2 con doble medición de energía activa y contratación o medición de dos potencias. Esta empresa cuenta con 40 motores teniendo así una potencia teórica de 202,46 kW, sin embargo, considerando el rendimiento de cada motor resulta una potencia útil de 145,17 kW. Además, el importe mensual de energía eléctrica en el último año se encontró entre los 10 000 a 14 000 soles aproximadamente.

Por este motivo, se planteó la siguiente interrogante ¿La generación de biogás a partir de la cascarilla de arroz permitirá reducir los costos energéticos en la Piladora La Merced S.R.L.? formulándose por objetivo principal proponer la generación de biogás a partir de la cascarilla de arroz para reducir costos energéticos. Teniendo como objetivos específicos: diagnosticar la situación energética actual de la empresa, determinar la producción de cascarilla de arroz y su demanda del requerimiento de energía futuros de la empresa, identificar y seleccionar el sistema de generación de biogás a partir del residuo, diseñar el sistema para reducir costos energéticos y realizar el análisis costo-beneficio de la propuesta de generación de biogás.

La importancia de la investigación radica en que permite plasmar los conocimientos adquiridos a lo largo de la carrera para plantear una solución al problema presentado, brindando así una propuesta para aprovechar el potencial energético de la cascarilla de arroz mediante la ruta de bio-conversión a biogás, siendo una de las vías más eficientes de manejo y generación de energía a partir de biomasa.

Por otra parte, este biocombustible constituye una parte importante en el mix de tecnologías aplicadas a la generación de energía limpia, el cuidado del medioambiente y la disminución del efecto invernadero. Desde 2008, Perú estableció que era de interés nacional y necesidad pública la promoción de las energías renovables, ofreciendo incentivos a los inversionistas, como la prioridad en el despacho, el acceso a las redes de transmisión y distribución, y tarifas estables a largo plazo determinadas mediante subastas competitivas.

## II. MARCO DE REFERENCIA DEL PROBLEMA

### 2.1. Antecedentes del problema

- Ezekoye et al. (2014), en su investigación: **“Caracterización de biogás producido a partir de cascarilla de arroz y algas utilizando un biodigestor de domo fijo”** basada en caracterizar la cascarilla de arroz y algas para la producción de biogás; empleando un biodigestor de domo fijo así como análisis aproximados, método de desplazamiento de agua usando un recipiente graduado de 20 litros a presión atmosférica, gráficas estadísticas y revisión literaria; llegaron a la conclusión que de un total de 35 kg de suspensión a base de 5 kg de cáscara de arroz y 30 kg de algas mezcladas con agua en una proporción de 1:6 llevada a cabo en una digestión anaeróbica de tipo Batch y a temperaturas mesófilas de 29,00°C a 33,45°C en un lapso de tiempo de 75 días, se produjo 156,25 litros de biogás. El biogás de la cascarilla de arroz sembrado era inflamable a partir del día 45 demostrando así que muchos de los microorganismos asociados con la fermentación de la cascarilla de arroz y algas de estanque de aguas residuales, se originó a partir del inóculo y el sustrato utilizado y la población de los microbios en el digestor se incrementó mediante la adición del inóculo, pues hubo una fuerte competencia por el sustrato limitado y la intensidad de la competencia dependió de la población neta de los microbios en el biodigestor, ya que este el factor determinante para el tiempo de retención del sustrato así como la cantidad de biogás producido.
- Mustonen, Raiko y Luukkanen (2013), en su investigación: **“Consumo bioenergético y potencial de biogás en los hogares de Camboya”** basada en un estudio del consumo bioenergético residencial y recursos bioenergéticos en función de los residuos de la producción agrícola y la ganadería; empleando la encuesta de medios de vida y de energía residencial nacional llevada a cabo en Camboya en 2009, además de fórmulas, ecuaciones y revisión literaria; llegaron a la conclusión que las mezclas de estos sustratos pueden producir biogás por varias zonas de subsistencia de Camboya, además la aparición de biomasa adecuada para biometanización es más favorable en las zonas rurales no electrificadas, a excepción de las aldeas de pescadores, y el potencial de biogás diaria teórica de los excrementos de los animales y la cascarilla de arroz parece ser prometedor para los hogares en los pueblos rurales no electrificados, tanto para los digestores domésticos y los locales destinados a la generación de electricidad a pequeña escala, ya que el contenido de CH<sub>4</sub> teórico de biogás fue del 63,9% y el biogás específico fue de 0,41 Nm<sup>3</sup>/kg para los hogares de las aldeas no electrificadas, asimismo sobre la base de la encuesta, el contenido de energía del potencial de biogás fue de 25,5 PJ por año, lo cual demostró que el biogás tiene potencial técnico significativo a nivel nacional en Camboya.
- Bishir y Ekwenchi (2012), en su investigación: **“Estudios cinéticos de la producción de biogás por hongos a partir de determinados residuos agrícolas”** basada en un estudio sobre la degradación anaeróbica de la caña de azúcar y la cáscara de arroz por hongos celulolíticos en condiciones de funcionamiento óptimo de concentración 1:5 w/v de las lignocelulosas: agua y la temperatura de 33°C; empleando matraz de fondo redondo, fórmulas, ecuaciones e información bibliográfica; llegaron a la conclusión que las tasas medias de producción de biogás determinados para la caña de azúcar y la cáscara de arroz fueron 57 cm<sup>3</sup>

por día y 47 cm<sup>3</sup> por día, mientras que el rendimiento de biogás evaluadas pareció ser alta, 15,2% de la caña de azúcar y 12,5% de cáscara de arroz. Asimismo, los rendimientos de otros residuos agrícolas fueron inferiores a estos valores (0,8% de estiércol de vaca - 11,6% jacinto de agua). También se evaluaron los rendimientos de composición de biogás; 5,7% de CH<sub>4</sub>, 8,3% de CO<sub>2</sub> y 1,2% de H<sub>2</sub>S para la caña de azúcar y 4,9% de CH<sub>4</sub>, 6,1% de CO<sub>2</sub> y 1,5% de H<sub>2</sub>S para la cáscara de arroz. Estos resultados demostraron que el biogás de la cáscara de arroz es de mejor calidad que la de la caña de azúcar debido a su menor contenido de CO<sub>2</sub> y se encontró que cuando la cantidad de los substratos se duplicaron, respectivamente, la tasa media de la producción de biogás se duplicó, lo que implica que cinéticamente, la degradación es probablemente de primer orden. El rendimiento del biolíquido de la caña de azúcar se determinó en 94% y cáscara de arroz fue de 68%.

- Contreras, Pereda y Romero (2012), en su investigación: ***“Aprovechamiento energético de residuos arroceros por bio-conversión. Caso de estudio Cuba”*** basada en realizar una caracterización bioquímica de paja de arroz, cáscara de arroz y residuo del proceso de secado, provenientes de la región central de Cuba con el objetivo de evaluar su potencial energético mediante la ruta de bio-conversión a biogás; empleando los métodos APHA, AWWA, WPCF para análisis de aguas y aguas residuales, VDULA para análisis de pastos y forrajes, Kjeldahl para análisis de proteína cruda y VDI-4630 para la determinación de potencial bioquímico de biogás de cada residuo arrocerero analizado en el Instituto Agrario de Bornim-Potsdam (ATB) en Alemania, así como también el uso de fórmulas y ecuaciones, software SPSS 15.0 e información bibliográfica; llegaron a la conclusión que los residuos arroceros poseen una composición química adecuada para la producción de biogás, con limitaciones solamente en la relación C/N, además el análisis del uso energético de estos residuos vía biogás demostró que por este concepto se podrían generar un índice de 0,73 MWht<sup>-1</sup> de residuo y hasta un 1,5% del consumo de electricidad de país, a la vez que se contribuiría a disminuir en un 0,5% las emisiones netas del país y hasta un 7,2% las del sector energético.
- Gutiérrez et al. (2012), en su investigación: ***“Biogás: una alternativa ecológica para la producción de energía”*** basada en realizar una investigación en el campo de los biocombustibles para obtener mejores rendimiento y calidad en cuanto a su producción utilizando residuos como pasto seco, paja de maíz seca, cascarilla de arroz seca, camalote seco, camalote húmedo, estiércol de cerdos, estiércol de gallinas y estiércol de vacunos (25°C) para reducir la contaminación ambiental; empleando muestras de cada substrato para comprobar a nivel laboratorio la tasa de degradación y velocidad de transformación biológica, así como el uso de fórmulas, ecuaciones e información bibliográfica; llegaron a la conclusión que el biogás es una alternativa ecológica viable para ser usado como combustible, ya que la materia prima para su producción son desechos orgánicos, pues 1 kg/día de la mezcla de estos residuos produjeron 3,5 m<sup>3</sup>biogás/día, lo que ayudaría a la solución de la disposición de residuos y otros problemas actuales de contaminación; además constituye una excelente alternativa para el uso de tecnologías enfocadas a la sustentabilidad del medio ambiente, ya que es una tecnología madura, ecológica y un negocio viable a gran escala para regiones agrícolas e industrias con desechos biodegradables por metanogénesis.

## **2.2. Fundamentos Teóricos**

### **2.2.1. Procesos de biodigestión**

El correcto manejo de los residuos orgánicos se logra a través de diferentes tratamientos que implican un reciclaje de estas materias orgánicas, transformándolas en productos con valor agregado. La población microbiana juega un importante papel en estas transformaciones, especialmente si se considera que disponen de un amplio rango de respuestas frente a la molécula de oxígeno, componente universal de las células. Esto permite establecer bioprocesos en función de la presencia o ausencia de oxígeno, con el objeto de tratar adecuadamente residuos orgánicos (Varnero 2011).

De acuerdo con (Varnero 2011), se identifican dos tipos de procesos:

#### **2.2.1.1. Digestión aeróbica**

La digestión aeróbica consiste en procesos realizados por diversos grupos de microorganismos, principalmente bacterias y protozoos que, en presencia de oxígeno actúan sobre la materia orgánica disuelta, transformándola en productos finales inocuos y materia celular.

Presenta diversas ventajas como la facilidad de operación del sistema, bajo capital de inversión, no genera olores molestos, reduce la cantidad de coliformes fecales y organismos patógenos. Entre sus desventajas se encuentran altos costos de operación por consumos elevados de energía, falta de parámetros para el diseño y la dificultad que presentan los lodos digeridos para ser separados mediante centrifugación.

#### **2.2.1.2. Digestión anaeróbica**

La digestión anaeróbica es un proceso biológico complejo y degradativo en el cual parte de los materiales orgánicos de un substrato (residuos animales y vegetales) son convertidos en biogás, mezcla de dióxido de carbono y metano con trazas de otros elementos, por un consorcio de bacterias que son sensibles o completamente inhibidas por el oxígeno o sus precursores.

Los microorganismos metanogénicos desempeñan la función de enzimas respiratorios y, con las bacterias no metanogénicas, constituyen una cadena alimentaria que guarda relación con las cadenas enzimáticas de células aeróbicas. De esta forma, los residuos orgánicos se transforman completamente en biogás que abandona el sistema, sin embargo, el biogás generado suele estar contaminado con componentes que complican su manejo y aprovechamiento.

### **2.2.2. Biogás**

El biogás es una mezcla gaseosa formada principalmente de metano y dióxido de carbono, que también contiene diversas impurezas producto del proceso de biodegradación del material biológico bajo condiciones anaerobias. La composición del biogás depende del material digerido y del funcionamiento del proceso. Cuando el biogás tiene un contenido de metano superior al 45% es inflamable (Varnero 2011).

El biogás presenta las siguientes propiedades, las cuales se indican en la *Tabla 1*.

**Tabla 1: Características generales del biogás**

<b>Característica</b>	<b>Descripción</b>
<b>Composición</b>	55 - 70% metano (CH <sub>4</sub> ) 25 - 40% dióxido de carbono (CO <sub>2</sub> ) Trazas de otros gases
<b>Contenido energético</b>	6,0 – 6,5 kWhm <sup>-3</sup>
<b>Equivalente de combustible</b>	0,60 – 0,65 L petróleo/m <sup>3</sup> biogás
<b>Límite de explosión</b>	6 – 12 % de biogás en el aire
<b>Temperatura de ignición</b>	650 – 750°C (con el contenido de CH <sub>4</sub> mencionado)
<b>Presión crítica</b>	74 – 88 atm
<b>Temperatura crítica</b>	-82,5 °C
<b>Densidad normal</b>	1,2 kg m <sup>-3</sup>
<b>Olor</b>	Huevo podrido (el olor del biogás desulfurado es imperceptible)
<b>Masa molar</b>	16,043 kg kmol <sup>-1</sup>

Fuente: Deublein y Steinhauser, 2008

### 2.2.2.1. Ventajas y desventajas del biogás

El biogás es un tipo de biocombustible que presenta ventajas y desventajas tanto en el aspecto ambiental, económico, social y energético como se muestra en la *Tabla 2*.

**Tabla 2: Ventajas y desventajas del biogás**

<b>Aspecto</b>	<b>Ventajas</b>	<b>Desventajas</b>
Ambiental	Descontaminación de los residuos.	Plantea dificultad para almacenarlo y distribución.
Económico	Materia prima existente en cualquier lugar de los países.	El sistema de producción plantea altos costes.
Social	Ideal para el desarrollo de proyectos energéticos.	Peligro por su capacidad de inflamarse fácilmente.
Energético	Fuente de energía renovable, uso eficiente y generación distribuida.	Produce menos energía por unidad de volumen.

Fuente: Ramos y Torres, 2016

### 2.2.2.2. Usos del biogás

El volumen de biogás generado determina la vía de aprovechamiento a elegir, entre la más eficaz se encuentra la generación de energía eléctrica y térmica. Los porcentajes varían en función de la composición del residuo, la edad del vertido y temperaturas ambientales (Bueso, Samayoa y Viquez 2012).

En la *Figura 1* se muestran aplicaciones destinadas a la generación de energía a partir de biogás.

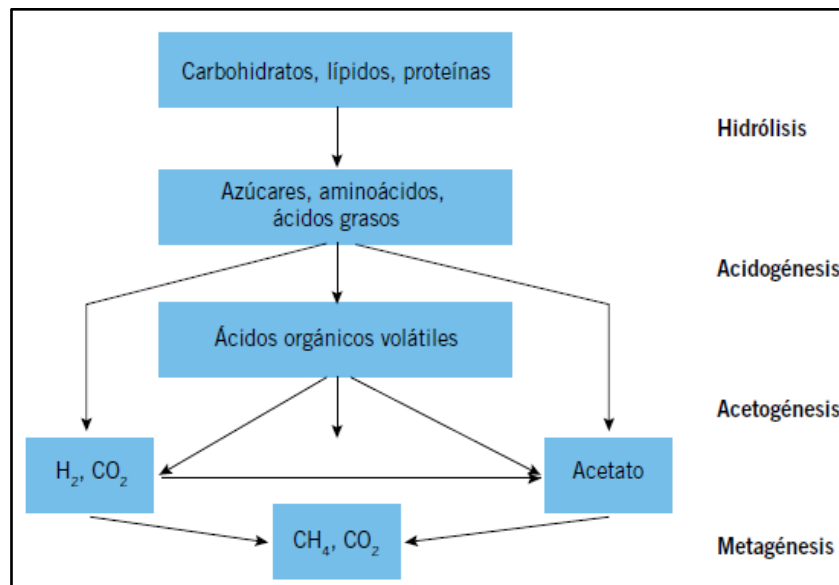


**Figura 1: Usos del biogás**

Fuente: Bueso, Samayoa y Viquez, 2012

### 2.2.3. Etapas del proceso de generación de biogás

El proceso de producción de biogás depende de varios factores, sin embargo, lo más importante de su producción es que el metano sea el de mayor contenido. En la *Figura 2* se muestra las etapas que componen el proceso de digestión anaerobia.



**Figura 2: Etapas del proceso de generación de biogás**

Fuente: Silva, 2002

Según (Silva, 2002) las etapas que componen el proceso de digestión anaerobia son: hidrólisis, acidogénesis, acetogénesis y metanogénesis. A continuación, se realizará una breve explicación de cada etapa:

### **2.2.3.1. Hidrólisis**

En esta etapa las bacterias hidrolíticas actúan sobre los compuestos orgánicos de gran tamaño del sustrato, tales como celulosa, almidones, proteínas y grasas; transformándolos por hidrólisis en compuestos orgánicos solubles. Este término indica la conversión de compuestos orgánicos complejos e insolubles en otros compuestos más sencillos y solubles al agua.

La hidrólisis es fundamental para suministrar los compuestos orgánicos necesarios para la estabilización anaerobia en forma que pueden ser utilizados por las bacterias responsables de las dos etapas siguientes.

### **2.2.3.2. Acidogénesis**

Los compuestos orgánicos sencillos generados en la etapa anterior son utilizados por las bacterias generadoras de ácidos. Como resultado se produce su conversión en ácidos orgánicos volátiles (acetato, propionato, butirato), alcoholes y otros subproductos importantes para etapas posteriores (amoníaco, hidrógeno y dióxido de carbono). Esta etapa la pueden llevar a cabo bacterias anaerobias o facultativas.

### **2.2.3.3. Acetogénesis**

Los productos finales de la etapa anterior son transformados en acetato, hidrógeno y dióxido de carbono por un grupo de bacterias que aportan el 54% del hidrógeno que se utilizará en la formación de metano. La función de estos microorganismos en el proceso de digestión anaerobia es generar los sustratos (hidrógeno, dióxido de carbono y acetato) para las bacterias metanogénicas.

Las bacterias acetogénicas son microorganismos que viven en estrecha colaboración con las archaeas metanogénicas. Estos microorganismos son capaces de transformar los ácidos grasos resultantes de la etapa anterior en los sustratos propios de la metanogénesis.

### **2.2.3.4. Metanogénesis**

Una vez formados los ácidos orgánicos, dos nuevas categorías de bacterias entra en acción, aquellas que convierten el acetato en metano y dióxido de carbono (acetoclásticos) y aquellas que combinan el dióxido de carbono y el hidrógeno para producir metano y agua (hidrotróficos).

A diferencia de lo que ocurre con la fase acidogénica, el metabolismo de estas bacterias es más lento y más sensible a distintas condiciones ambientales, tales como pH y temperatura. Actúan las bacterias especializadas, degradando estos ácidos y alcoholes obteniendo como productos finales del proceso metabólico gas metano, principal componente del biogás.

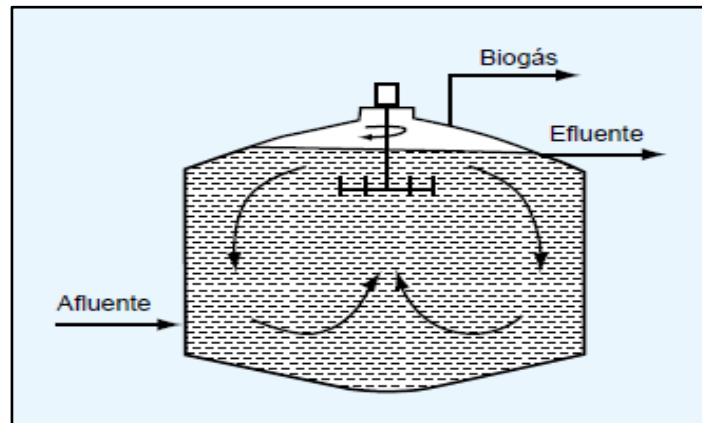
## **2.2.4. Tipos de biodigestores anaeróbicos**

De acuerdo con (Varnero 2011) los diseños utilizados para digestión anaerobia pueden clasificarse en función de su capacidad para mantener altas concentraciones de microorganismos en el reactor. Entre ellos se tiene:

### 2.2.4.1. Sistemas continuos

#### a. Reactor de mezcla completa sin recirculación

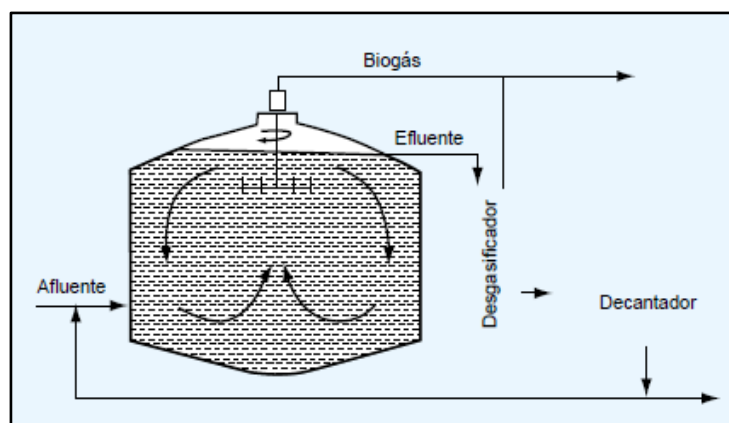
Consiste en un reactor que mantiene una distribución uniforme de concentraciones, tanto de sustrato como microorganismos mediante un sistema de agitación que puede ser mecánica o neumática, y se realiza a baja velocidad. Esta tipología de reactor no ofrece problemas de diseño y es el más utilizado para residuos (*Ver Figura 3*). Comparativamente a otros reactores, el tiempo de retención necesario es alto, debido a que la concentración de cualquier especie, que se mantiene en el reactor en régimen estacionario, es la misma que la que se pretende en el efluente.



**Figura 3: Reactor de mezcla completa sin recirculación**  
Fuente: Varnero, 2011

#### b. Reactor de mezcla completa con recirculación

Este sistema tiene el nombre de reactor anaerobio de contacto, y se comprueba que regulando la recirculación es posible conseguir tiempos de retención hidráulica más bajos que en un reactor simple de mezcla completa a costa de aumentar el tiempo de retención de los microorganismos, gracias a su confinamiento en el sistema (*Ver Figura 4*). Sin embargo, este sistema solo es aplicable a aguas residuales de alta carga orgánica.

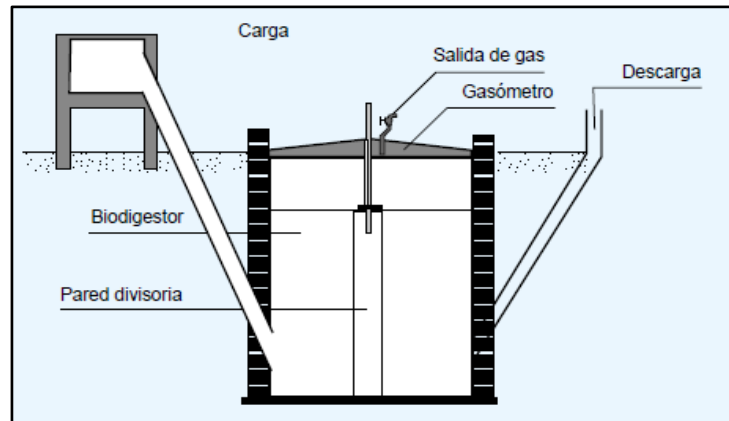


**Figura 4: Reactor de mezcla completa con recirculación**  
Fuente: Varnero, 2011

## 2.2.4.2. Sistemas semicontinuos

### a. Modelo hindú o domo flotante

Estos digestores en general son enterrados y verticales, semejando a un pozo. 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. El gasómetro está integrado al sistema, en la parte superior del pozo se tiene una campana flotante donde se almacena el gas, balanceada por contrapesos, y de ésta sale el gas para su uso (Ver Figura 5).

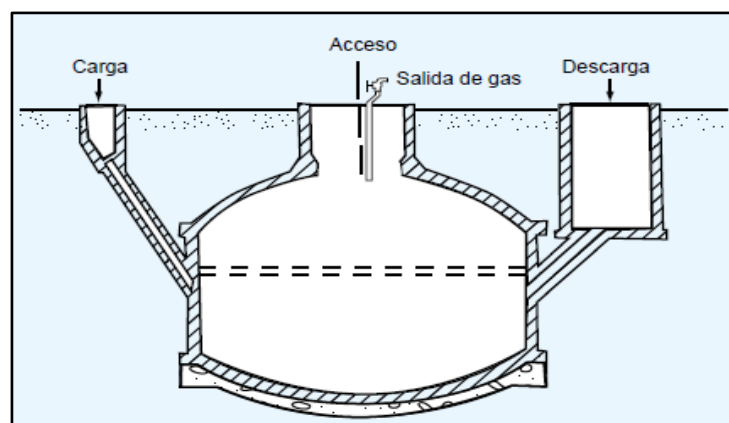


**Figura 5: Biodigestor modelo indiano**

Fuente: Varnero, 2011

### b. Modelo chino o domo fijo

Son tanques cilíndricos con el techo y el piso en forma de domo, y se construyen totalmente enterrados. En este tipo de digestores no existe gasómetro, almacenándose el biogás dentro del mismo sistema. A medida que aumenta el volumen del gas almacenado en el domo de la planta, aumenta su presión, forzando al líquido en los tubos de entrada y salida a subir (Ver Figura 6).

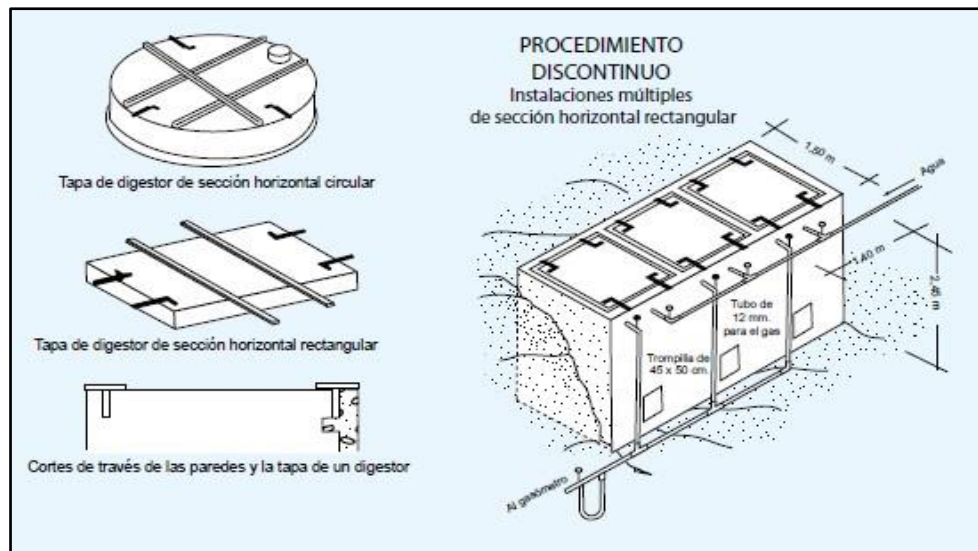


**Figura 6: Biodigestor modelo chino**

Fuente: Varnero, 2011

### 2.2.4.3. Sistemas discontinuos

Este tipo consiste en una batería de tanques o depósitos herméticos (digestores) con una salida de gas conectada con un gasómetro flotante, donde se almacena el biogás. La curva de evolución temporal de la producción de biogás sigue la misma tendencia que la curva típica del crecimiento de microorganismos. Estos reactores han sido aplicados a residuos con una alta concentración de sólidos que dificultan la adopción de sistemas de bombeo (Ver Figura 7).



**Figura 7: Biodigestor discontinuo o Batch**

Fuente: Varnero, 2011

### 2.2.5. Componentes de un biodigestor anaeróbico

Los principales componentes de un digestor anaeróbico lo constituyen reactor o contenedor de materias primas a digerir, contenedor de gas con los accesorios para salida de biogás, entrada o carga de materias orgánicas primas y salida o descarga de materias orgánicas (Varnero 2011):

#### 2.2.5.1. Reactor o biodigestor

Dispositivo principal donde ocurre el proceso bioquímico de degradación de la materia orgánica. Los reactores de digestión pueden tener forma cilíndrica, cúbica, ovoide o rectangular. El suelo del reactor está inclinado para que la arena, el material inorgánico sedimentable y la fracción pesada del afluente puedan ser extraídos del tanque.

Los digestores modernos tienen cubiertas, fijas o flotantes, cuya misión es impedir que escapen olores, conservar la temperatura, evitar la entrada de oxígeno y recoger el gas producido. Pueden estar contruidos desde concreto hasta acero inoxidable.

#### 2.2.5.2. Entrada del afluente

Normalmente, el afluente se introduce por la parte superior del digestor y el sobrenadante se extrae por el lado contrario.

### **2.2.5.3. Salida del efluente**

En un digestor de cubierta fija puede haber de 3 a 5 tubos de sobrenadante colocados a distintos niveles, o un único tubo con válvulas a distintos niveles, para la extracción de este. Por regla general, se elige aquel nivel que extraiga un efluente de mejor calidad (con la menor cantidad posible de sólidos).

### **2.2.5.4. Sistema de gas**

El gas se compone fundamentalmente de metano y anhídrido carbónico. El contenido en metano del gas de un digestor que funcione adecuadamente variará del 65% al 70% en volumen, con una oscilación en el anhídrido carbónico del 30% al 35%. El sistema de gas lo traslada desde el digestor hasta los puntos de consumo o al quemador de gases en exceso. Se compone de las siguientes partes:

#### **a. Cúpula de gas**

Habitualmente, la parte superior del digestor llamado domo, cúpula o campana de gas, se utiliza para almacenar el biogás que se genera. Esta puede ser rígida o flotante, y en algunos casos, está separada del digestor y se le llama gasómetro. En los tanques de cubierta fija, puede haber también un cierre de agua incorporado, para proteger la estructura del tanque del exceso de presión positiva o negativa.

#### **b. Válvulas de seguridad**

La válvula de seguridad consta de un plato cargado con arandelas de peso calibrado. Si la presión de gas en el tanque excede de este límite, la válvula se abrirá y dejará escapar gas durante un par de minutos.

#### **c. Manómetros**

Los manómetros se instalan en varios puntos del sistema para indicar la presión del gas en centímetros de columna de agua.

#### **d. Reguladores de presión**

Estos reguladores suelen ser del tipo diafragma y controlan la presión en todo el sistema de gas del digestor. Se instalan, generalmente, antes y después del quemador de gases en exceso.

#### **e. Almacenamiento del gas**

El gas producido en la digestión anaeróbica se puede almacenar en un gasómetro que está separado del digestor, o bien, en el mismo digestor en la parte superior de este. En los gasómetros a presión, el gas que se produce en el digestor es enviado por medio de compresores a depósitos donde queda almacenado a presión y posteriormente, es extraído de estos depósitos y enviado a las instalaciones de utilización o de quemado. En cambio, en los gasómetros de cubierta flotante se almacenan el gas variando su altura, pues los gases se mantienen a una presión baja.

## **2.2.6. Parámetros en el proceso de generación de biogás**

Los parámetros ambientales que se deben controlar hacen referencia a condiciones que deben mantenerse o asegurarse para el desarrollo del proceso y parámetros operacionales a las condiciones de trabajo de los reactores (Varnero 2011):

### **2.2.6.1. Tiempo de residencia en el biodigestor**

Es el cociente entre el volumen y el caudal de tratamiento, es decir, el tiempo medio de permanencia del influente en el reactor, sometido a la acción de los microorganismos, indicando la tendencia general de los índices de eliminación de materia orgánica y de producción específica de gas, por unidad de volumen de reactor, en función del tiempo de retención.

### **2.2.6.2. Demanda bioquímica de oxígeno (DQO) y demanda biológica de oxígeno (DBO)**

La DBO corresponde al consumo de oxígeno en mg/L de la suspensión y determina la cantidad de materia prima que será oxidada. Tanto la DBO como la DQO son proporcionales al contenido de materia orgánica en la suspensión a degradar, sin embargo, la DBO es la más representativa de la degradabilidad de esta.

### **2.2.6.3. Relación carbono/nitrógeno de la materia prima**

Prácticamente toda la materia orgánica es capaz de producir biogás, sin embargo, la cantidad y la calidad del biogás producido dependerá de la composición utilizada. El carbono y el nitrógeno son las fuentes principales de alimentación de las bacterias formadoras de metano; pues el carbono es fuente de energía y el nitrógeno contribuye a la formación de nuevas células.

### **2.2.6.4. Potencial de hidrógeno (pH)**

Es un indicador del funcionamiento del proceso dentro del biodigestor, en cada fase del proceso los microorganismos presentan máxima actividad en un rango de pH diferenciado. El mayor problema generalmente es mantener el pH por encima de 6,6, ya que los ácidos orgánicos producidos como intermediarios en las primeras etapas debido a una sobrecarga o cualquier otro desequilibrio pueden provocar un rápido descenso del pH y el consiguiente cese de la producción de metano. La alcalinidad y el pH en la digestión anaerobia pueden ajustarse añadiendo a la mezcla diferentes productos químicos.

### **2.2.6.5. Temperatura**

Es uno de los parámetros más importantes en la digestión anaerobia, ya que determina la velocidad de degradación del proceso anaeróbico, principalmente las de las etapas de hidrólisis y metanogénesis. Existen tres rangos de temperatura en los que la digestión anaerobia puede llevarse a cabo: psicrófilo por debajo de 25 °C, mesófilo entre 30-40 °C y termófilo entre 50-60 °C. Con el aumento en el rango de temperaturas se aumenta la tasa de hidrólisis, la velocidad de crecimiento y con ello la velocidad en la producción de biogás.

#### **2.2.6.6. Porcentaje de sólidos**

Experimentalmente se ha demostrado que una carga que contenga entre 7 y 9% de sólidos totales es óptima para la digestión. Para calcular el volumen de agua que debe ser mezclado con la materia prima es indispensable conocer la humedad de dicha materia prima.

#### **2.2.6.7. Agitación**

En función de la tipología de reactor debe transferirse al sistema el nivel de energía necesario para favorecer la transferencia de substrato a cada población o agregados de bacterias, así como homogeneizar para mantener concentraciones medias bajas de inhibidores.

#### **2.2.6.8. Requerimientos energéticos**

Los requerimientos energéticos varían entre una planta pequeña y una de gran escala; la pequeña necesita más energía eléctrica por tonelada de materia, ya que tiene pocas posibilidades de utilizar el calor generado durante la fermentación como energía.

### **2.2.7. Generación de energía eléctrica**

La generación de electricidad, utilizando biogás, es una posibilidad real y altamente documentada. Según (Hernández 2014) dentro de las alternativas posibles para generar electricidad empleando este combustible se encuentran: motores de combustión interna, celdas de combustible, turbinas de gas, grupos electrógenos, etc.

#### **2.2.7.1. Generación con motores de combustión interna alternativos**

El biogás puede ser empleado como combustible en motores de combustión interna con el cometido de generar energía eléctrica. El gas obtenido por fermentación tiene un octanaje que oscila entre 100 y 110 lo cual lo hace muy adecuado para su uso en motores de alta relación volumétrica de compresión, pero una desventaja es su baja velocidad de encendido. Los equipos de generación de energía eléctrica pueden haber sido diseñados para funcionar con biogás como combustible, o funcionar con un combustible diferente.

#### **2.2.7.2. Conversión de motores a biogás**

##### **a. Motores de gasolina**

Los motores de combustión a gasolina pueden funcionar con biogás con una merma de la potencia máxima de entre un 20 y 30%. Para ello se les realiza una simple adaptación, que consiste en colocar entre el filtro del aire y el carburador por donde se suministra el biogás al sistema. Al ser alimentado con biogás directamente al colector de admisión, el motor no permite una regulación automática de la mezcla y la carga, por lo que el ajuste del motor se debe realizar de forma manual desde la válvula de control del biogás.

## **b. Motores diésel**

Los motores a diésel pueden operar con una sustitución del diésel por biogás de hasta un 70% con un consumo de diésel del 30% restante. Al consumir los dos tipos de combustible al mismo tiempo el motor no sufre alteración. En estos motores la mezcla de diésel y biogás se realiza directamente en la cámara de combustión del motor.

## **c. Motores a gas**

En los motores de combustión a gas el combustible utilizado es generalmente gas natural. El gas natural es un hidrocarburo compuesto principalmente por metano ( $\text{CH}_4$ ) y su poder calorífico es muy parecido al de los combustibles derivados del petróleo. Para que un motor pueda funcionar con gas natural debe de ser de explosión con encendido por chispa (Ciclo Otto). El porcentaje de sustitución de biogás por gas es del 100%.

### **2.2.7.3. Grupos electrógenos a biogás**

Un grupo electrógeno a biogás es una máquina que, a través de un motor de combustión interna cuyo combustible es biogás, mueve un generador eléctrico. El motor que se encarga de transformar la energía química contenida en el biogás en energía mecánica que hará girar el alternador. Al ser el combustible biogás, los motores que se emplean son de ciclo Otto y son estructuralmente similares a los motores a gas natural.

Por su parte, el generador eléctrico se encarga de producir la energía eléctrica de salida a partir de la energía mecánica del motor. Generalmente se trata de alternadores autorregulados y sin escobillas, los cuales van acoplados de manera precisa al motor.

### **2.2.8. Cascarilla de arroz**

La cascarilla de arroz constituye un subproducto del proceso agroindustrial del arroz, con aplicaciones reducidas, que en la práctica puede considerarse como un material de desecho. Es un tejido vegetal constituido por celulosa y sílice, elementos que ayudan a su buen rendimiento como combustible (Valverde, Sarria y Monteagudo 2007).

La cascarilla de arroz tiene forma de canoa, superficie rugosa y presenta un color amarillento, su longitud depende de la variedad, y está entre 8 a 10 mm de largo por 1 a 2 mm de ancho, que corresponde del 30% al 40% de su longitud. De acuerdo con su tamaño una cascarilla pesa entre 2,5 y 4,8 mg (Quiceno y Mosquera 2010).

### **2.2.9. Propiedades físicas, químicas y bioquímicas de la cascarilla de arroz**

En el Perú, se encuentran diversos residuos agroindustriales energéticos como la cascarilla de arroz, en la cual se debe realizar una caracterización del residuo para evaluar su uso como combustible. Las pruebas de laboratorio necesarias para la caracterización de un material combustible son el análisis próximo, análisis último y análisis de cenizas (Quiceno y Mosquera 2010).

### 2.2.9.1. Propiedades físicas

Para determinar las propiedades físicas de la cascarilla de arroz se realizó el análisis inmediato usando un horno, donde se va elevando la temperatura y se va observando la pérdida de peso del material. En la *Tabla 3* se detallan las propiedades físicas de la cascarilla de arroz (Quiceno y Mosquera 2010).

**Tabla 3: Propiedades físicas de la cascarilla de arroz**

Propiedad física	Descripción	Valor
Poder calorífico	Cantidad de energía que la unidad de masa libera al producirse una reacción química.	3 650 kcal/kg o 15 275 kJ/kg
Humedad	En estado seco, la cascarilla absorbe agua hasta el punto en que se equilibren su propio contenido de agua y la humedad relativa del aire.	8,88%
Materia volátil	Compuestos de gases y vapores, parte de la biomasa que se libera cuando el material se calienta entre 400°C y 500 °C)	64,70%
Contenido de cenizas	Residuo obtenido después de la combustión completa de la cascarilla formada por todos los óxidos de sus minerales.	13,06%
Carbono fijo	Porción de combustible del sólido que queda después de la remoción de humedad, cenizas y material volátil.	13,36%
Porosidad	Se distingue el volumen de aire de un lecho de cascarilla y el volumen de aire o de los poros en sí.	54%
Densidad	Resultado del cociente de la masa entre la resta de la densidad aparente menos el volumen de todos los poros contenidos en una cascarilla, obteniendo.	1 420 kg/m <sup>3</sup>
Conductividad térmica	La cascarilla posee una muy buena capacidad aislante.	0,03 605 W/mK

Fuente: Quiceno y Mosquera, 2010

### 2.2.9.2. Propiedades químicas

Para obtener las propiedades químicas del combustible se tiene que realizar un análisis elemental. La técnica está basada en la completa e instantánea oxidación de la muestra mediante una combustión con oxígeno puro a una temperatura aproximada de 1 000 °C, donde se obtiene diferentes productos de combustión CO<sub>2</sub>, H<sub>2</sub>O y N<sub>2</sub> (*Ver Tabla 4*), los cuales son transportados a un tubo de reducción y después selectivamente separados en columnas específicas para ser luego desorbidos térmicamente. Finalmente, los gases pasan de forma separada por un detector de conductividad térmica que proporciona una señal de cada uno de los componentes de la mezcla (Quiceno y Mosquera 2010).

**Tabla 4: Propiedades químicas de la cascarilla de arroz**

<b>Componente</b>	<b>Porcentaje (%)</b>
Carbono	39,1%
Hidrógeno	5,2%
Nitrógeno	0,6%
Oxígeno	37,2%
Azufre	0,1%
Ceniza	17,8%

Fuente: Quiceno y Mosquera, 2010

### 2.2.9.3. Propiedades bioquímicas

La cascarilla de arroz es un tejido vegetal que está compuesto por tres polímeros: celulosa, lignina y hemicelulosa (Huaraz 2013).

- La celulosa es un polímero lineal de unidades anhidroglucosa su compuesto es típicamente  $(C_6H_{10}O_5)_n$ .
- Hemicelulosa: es un polímero mixto conformado por pentosas y hexosas.
- Lignina es un polímero irregular de unidades fenilpropano.

Uno de los elementos que se encuentra en mayor cantidad en la cascarilla de arroz es la celulosa, siendo el principal componente de las fibras como se observa en la *Tabla 5* de los rangos obtenidos para análisis químico a nivel mundial (Huaraz 2013).

**Tabla 5: Propiedades bioquímicas de la cascarilla de arroz**

<b>Parámetro</b>	<b>Porcentaje (%)</b>
Celulosa	25,89 - 39,05
Hemicelulosa	18,10 - 27,06
Lignina	18,20 - 24,60

Fuente: Huaraz, 2013

### III. RESULTADOS

#### 3.1. Diagnóstico de la situación actual de la empresa

##### 3.1.1. Datos generales de la empresa

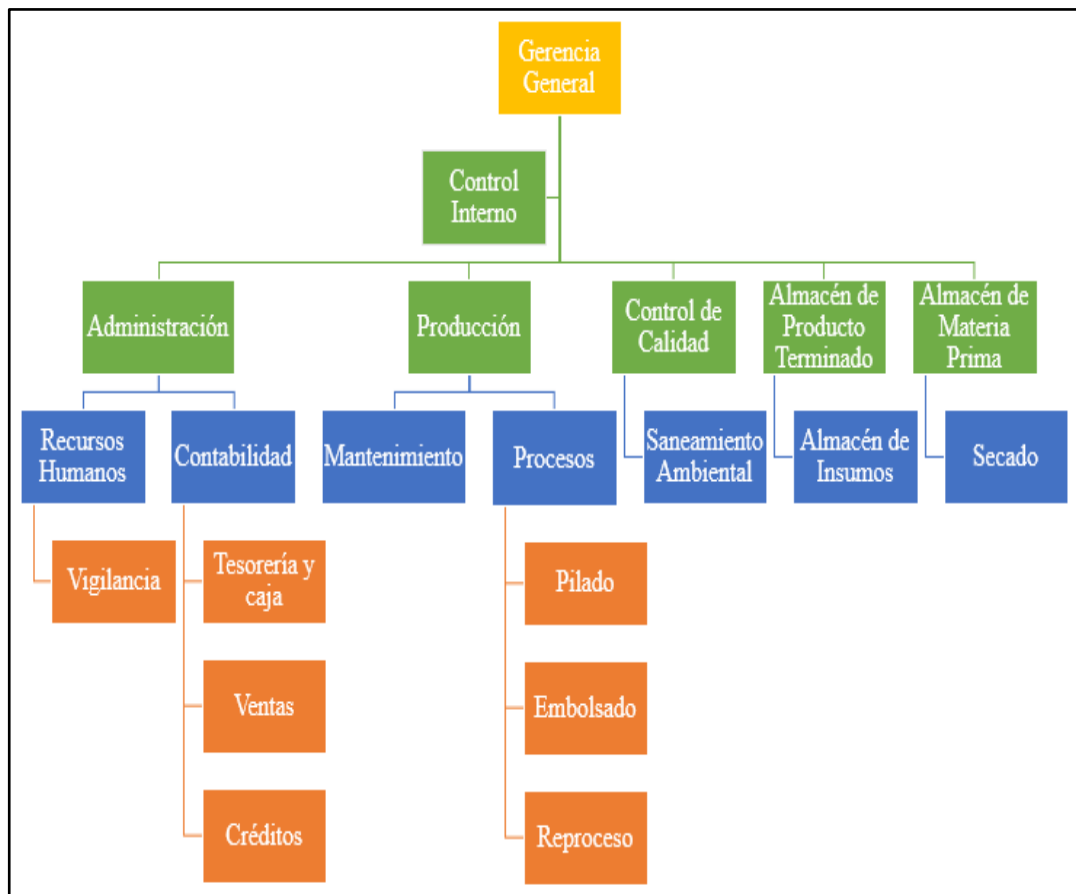
###### 3.1.1.1. Reseña histórica

Piladora La Merced S.R.L. inicia sus actividades en el año 2000, cuando su fundadora, Nélica Calderón Galindo, incursiona en el acopio y comercialización del arroz y subproductos, implementando así un molino de mediana capacidad para realizar el procesamiento industrial del arroz, con la finalidad de garantizar la calidad y estandarización del producto.

Actualmente, esta empresa tiene el compromiso de satisfacer las necesidades y expectativas de sus clientes, ofreciendo el servicio de pilado, seleccionado y secado de arroz con alta tecnología y con talento humano eficiente, calificado y comprometido a mejorar continuamente para el progreso de la región Lambayeque.

###### 3.1.1.2. Organigrama

A continuación, en la *Figura 8* se observa el organigrama actual de Piladora La Merced. S.R.L.



**Figura 8: Organigrama de la empresa**

Fuente: Piladora La Merced S.R.L., 2018

### 3.1.1.3. Localización, clima y emplazamiento

Piladora La Merced S.R.L. se encuentra ubicada en la carretera a Ferreñafe km 3 Upis César Vallejo, distrito de José Leonardo Ortiz, provincia de Chiclayo, departamento de Lambayeque.

Al estar situada en una zona tropical, cerca del ecuador, el clima debería ser caluroso, húmedo y lluvioso; sin embargo, su estado subtropical lo convierte en un lugar seco, sin lluvias, con fuertes vientos denominados ciclones. Periódicamente se presentan temperaturas elevadas, con lluvias regulares y aumento extremado del agua de los ríos, lluvias que siempre han causado destrozos en cultivos, viviendas, caminos y puentes (Lambayeque.com 2013).

La temperatura en verano fluctúa entre 20°C como mínimo y 30°C como máximo; cuando el clima se tropicaliza, la temperatura fluctúa entre 30°C a 35°C. En invierno la temperatura mínima es de 15°C y máxima de 24°C. Entre los factores que influyen en la determinación del clima departamental están: el Océano Pacífico, las corrientes peruanas del Niño, la atmósfera dominada por el anticiclón de Pacífico Sur, los vientos y las Cordillera de los Andes (Lambayeque.com 2013).

En la *Figura 9* se muestra el emplazamiento del terreno de la empresa, el cual abarca una superficie aproximada de 21 000 m<sup>2</sup>.



**Figura 9: Emplazamiento de Piladora La Merced S.R.L**

Fuente: Google Maps, 2016

### 3.1.1.4. Instalaciones

En la *Figura 10* se muestran las áreas que cuenta la empresa Piladora La Merced S.R.L. tanto del área productiva como administrativa.

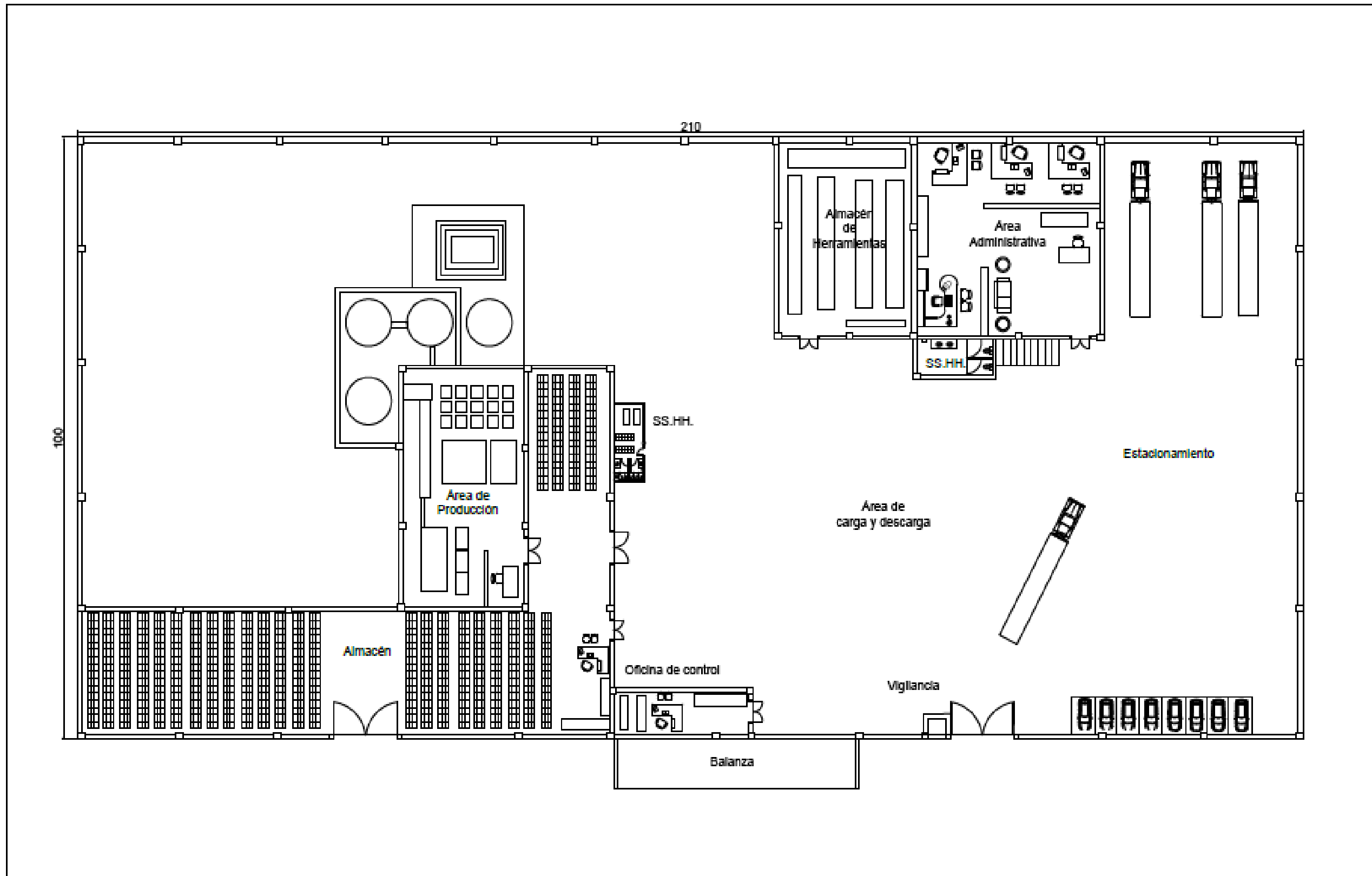


Figura 10: Instalaciones de Piladora La Merced S.R.L.

### **3.1.2. Descripción del sistema de producción**

#### **3.1.2.1. Productos**

##### **a. Descripción del producto**

El producto principal es el arroz de la variedad NIR, pues es el de mayor consumo y considerado el mejor de la región Lambayeque. Es un grano alargado, blanco cremoso y en cocción es de sabor agradable y suave. Es envasado en presentaciones de 10 kg, 25 kg, 49 kg y 50 kg. Así mismo, ofrece otras variedades como Tinajones, Mayar, Fortaleza, Esperanza e Idal.

La empresa cuenta como más de 50 marcas de arroz como Mi Caserito, Olla Capoteña, Kobol Suave, Casserita, Don Víctor, Mi Betty, Sacos del Pueblo Fresco y Añejo, Chola Fuerte Fresco y Añeja, Dragón, Sayer Amarillo y Celeste Añejo, entre otras.

##### **b. Subproductos**

En el proceso de pilado de arroz se obtienen 5 subproductos ofrecidos a venta, los cuales son:

- Arrocillo de  $\frac{1}{2}$  y  $\frac{3}{4}$ , granos quebrados mayores o iguales a  $\frac{1}{2}$  de la longitud de la variedad del grano de mayor contraste y se obtiene del procesamiento físico al que es sometido el arroz. Son envasados en presentaciones de 50 kg.
- El ñelén, subproducto conformado por los granos quebrados menores a  $\frac{1}{2}$  de la longitud de la variedad del grano de mayor contraste. Es envasado en presentaciones de 25 kg o 50 kg.
- El rechazo o descarte corresponde a todos los granos manchados o tizosos del proceso, que son envasados en sacos de 50 kg.
- El polvillo está compuesto por el pericarpio y el germen de arroz con la cantidad de cascarilla, granillo de arroz, que son inevitables en el proceso del arroz comestible. Es envasado en presentación de 30 kg.

##### **c. Desechos**

La cascarilla de arroz tiene como valor de mercado cero, puesto que es considerada como desecho, constituyendo un serio problema de contaminación ambiental.

##### **d. Desperdicios**

El arroz durante su post cosecha es propenso a contaminarse con piedras, metales, tierra, polvo, paja o palotes, los cuales deberán ser removidos durante el proceso de pilado de arroz.

### **3.1.2.2. Materiales e insumos**

#### **a. Materiales directos**

La materia prima es el arroz cáscara o paddy, que es el grano de este cereal justo después de su recolección. Aún dispone de su cáscara natural que lo cubre firmemente de todas sus propiedades nutritivas, que posteriormente será destinado para la alimentación humana.

La principal variedad es el arroz NIR, un grano entero de arroz que conserva 1/8 más de las cubiertas exteriores (glumas) o cáscara en relación con el tamaño original del grano.

#### **b. Materiales indirectos**

Dentro de los materiales necesarios en el procesamiento industrial del arroz se tiene: envases (sacos, bobinas y empaques), etiquetas y embalaje.

#### **c. Mano de obra**

La empresa Piladora La Merced S.R.L. cuenta con 35 trabajadores distribuidos de la siguiente manera: 8 trabajadores administrativos que se encargan de gestionar, planificar y realizar tareas de soporte y apoyo a la empresa, 12 trabajadores calificados que tienen a su cargo las responsabilidades de cada área del molino como jefaturas, supervisores, analistas y operadores, y finalmente, 7 personas encargadas del secado del arroz cáscara y de transportar los sacos hasta la tolva de producción mientras que 8 se encuentran dentro de planta para el traslado de los sacos de arroz blanco hacia el almacén de producto terminado.

#### **d. Maquinaria y equipos**

Esta empresa actualmente cuenta con 40 motores teniendo una potencia teórica de 271,50 HP equivalente a 202,46 kW, sin embargo, considerando el rendimiento de cada motor resulta una potencia útil de 145,17 kW (*Ver Tabla 6*). Así mismo, se cuenta con 2 transformadores de 100 kVA y otro de 250 kVA conectados en paralelo, de los cuales solo funciona el segundo. Por otra parte, existe un banco de condensadores que genera un factor de potencia de 0,97 (*Ver Anexo 1*).

Estos motores se rigen bajo la norma IEC (International Electrotechnical Commission) que regula los campos: eléctrico, electrónico y tecnologías relacionadas. Dentro de la maquinaria que forma parte del proceso se tiene: dosificadores, sinfines, llenadora de sacos, vibradoras, mesas paddy, elevadores, máquina pre limpia y post limpia, lustradoras, circuitos, mesas rotatorias, descascaradoras, ventiladores y pulidoras pertenecientes a la marca Delcrosa, Siemens, Voges y Japonés (*Ver Anexo 2*).

**Tabla 6: Datos generales de los motores de la empresa**

<b>Marca</b>	<b>Ubicación</b>	<b>Potencia teórica (kW)</b>	<b>Rendimiento</b>	<b>Potencia útil (kW)</b>	<b>Antigüedad</b>
Delcrosa	Dosificador 1	0,75	0,75	0,56	2008
Delcrosa	Dosificador 2	0,75	0,75	0,56	2008
Delcrosa	Llenadora de sacos	0,75	0,75	0,56	2008
Delcrosa	Vibradora 1	0,75	0,75	0,56	2002
Delcrosa	Vibradora 2	0,75	0,75	0,56	2002
Japonés	Mesa Paddy 1	1,49	0,65	0,97	2000
Japonés	Mesa Paddy 2	1,49	0,65	0,97	2000
Delcrosa	Sinfín 1	0,37	0,70	0,26	2003
Delcrosa	Sinfín 2	2,24	0,75	1,68	2003
Delcrosa	Sinfín 3	2,24	0,75	1,68	2003
Delcrosa	Elevador 1	2,24	0,75	1,68	2003
Delcrosa	Elevador 2	2,24	0,75	1,68	2003
Delcrosa	Elevador 3	2,24	0,75	1,68	2003
Delcrosa	Elevador 4	2,24	0,75	1,68	2003
Delcrosa	Elevador 5	2,24	0,75	1,68	2003
Delcrosa	Elevador 6	2,24	0,75	1,68	2003
Delcrosa	Elevador 7	2,24	0,75	1,68	2003
Delcrosa	Elevador 8	2,61	0,75	1,96	2007
Delcrosa	Pre-Limpia	2,24	0,75	1,68	2003
Delcrosa	Post-Limpia	2,24	0,75	1,68	2003
Delcrosa	Lustradora 1	2,98	0,70	2,09	2003
Delcrosa	Lustradora 2	2,98	0,70	2,09	2003
Delcrosa	Lustradora 3	4,47	0,70	3,13	2000
Delcrosa	Lustradora 4	4,47	0,70	3,13	2000
Delcrosa	Circuito 1	3,73	0,70	2,61	2003
Delcrosa	Circuito 2	3,73	0,70	2,61	2003
Delcrosa	Circuito 3	3,73	0,70	2,61	2006
Delcrosa	Mesa Rotatoria 1	4,10	0,70	2,87	2008
Siemens	Mesa Rotatoria 2	3,73	0,75	2,80	2000
Siemens	Mesa Rotatoria 3	3,73	0,75	2,80	2000
Delcrosa	Descascaradora 1	7,46	0,75	5,59	2000
Delcrosa	Descascaradora 2	7,46	0,75	5,59	2000
Voges	Ventilador 1	9,32	0,65	6,06	2006
Voges	Ventilador 2	9,32	0,65	6,06	2006
Delcrosa	Pulidora 1	14,91	0,70	10,44	2001
Delcrosa	Pulidora 2	14,91	0,70	10,44	2001
Delcrosa	Pulidora 3	14,91	0,70	10,44	2001
Delcrosa	Pulidora 4	14,91	0,70	10,44	2001
Delcrosa	Pulidora 5	18,64	0,75	13,98	2008
Delcrosa	Pulidora 6	18,64	0,75	13,98	2008
<b>TOTAL</b>		<b>202,46</b>		<b>145,17</b>	

Fuente: Piladora La Merced S.R.L., 2018

### **3.1.2.3. Proceso de producción**

#### **a. Recepción y almacenamiento de envases y embalajes**

Los envases ingresan a la empresa protegidos y forrados con precinto de protección en los extremos y en una bolsa plástica sin presentar signos de maltrato. Además, cada envase deberá traer una etiqueta que permita realizar la trazabilidad si el caso lo exigiera.

Seguidamente, el asistente de calidad realizará la evaluación de materiales y una vez aprobados los sacos, empaques y bobinas serán ingresados y almacenados sobre parihuelas y envueltos en un lugar fresco, seco, limpio y libre de cualquier fuente de contaminación física.

#### **b. Recepción y muestreo de materia prima**

Para la producción de arroz pilado, en primer lugar, el arroz cáscara proveniente de las diversas zonas de la región ingresan en camiones a la empresa en sacos de 85 kg y son pesados por el personal encargado de balanza a través de un sistema computarizado, los cuales registran el número de placa, producto, cliente/proveedor, conductor, guía remisión, fecha, hora de ingreso y finalmente el peso total del vehículo.

Cada vez que llega un lote de materia prima a la planta se realiza su respectivo muestreo por el personal de control de calidad para determinar la humedad con que ingresa, y si esta es mayor a 15%, la materia prima irá directamente a secado. Por otra parte, se evalúa su estado fitosanitario, y si se encuentra evidencias de estar contaminado con hongos, absolutamente se devolverán.

#### **c. Secado**

Posteriormente, se realiza el secado que puede ser de dos maneras: secado natural, utilizando carpas de polipropileno en la pampa. El secado va de acuerdo con la variedad de arroz, sin embargo, los responsables del secado monitorean de manera periódica la disminución del contenido de humedad en el grano hasta lograr una disminución no mayor de 15%. La duración del secado es de 48 horas con la finalidad de que se enfríen los almidones y pueda cristalizar.

Por otra parte, para el secado industrial se utiliza un Control Lógico Programable (PLC) que garantiza el secado más uniforme y limpio. Esta operación se realiza en torres de secado con un diseño que asegura un mismo nivel de humedad, permitiendo un rendimiento óptimo en los sucesivos procesos del molino.

Luego, se almacena en una máquina llamada silos, que a su vez está conectado con una serie de mecanismos que permiten que el arroz sea transportado por debajo de este hasta llegar a una tolva donde se reserva.

#### **d. Almacenamiento de materia prima**

Después del secado, la materia prima se almacena a temperatura ambiente en lugares libres de infestaciones hasta que se programe su respectivo pilado. El almacenado se realiza encima de parihuelas y/o mantas y se cubren para protegerlos de posibles lluvias que se presenten.

#### **e. Pre-Limpieza**

En esta operación se da la limpieza del grano buscando remover la mayor parte del material extraño y semillas objetables que se encuentran en el grano recibido del campo. El arroz cáscara seco es colocado en una tolva y por intermedio de un elevador de paletas accionado por un motor hace ingresar al arroz paddy continuamente a una zaranda vibratoria.

Para asegurar que el grano ingrese limpio al proceso de descascarado, las impurezas son retiradas por medio de un juego de mallas. En la primera malla quedan retenidas las impurezas mayores y pasa el arroz; mientras que en la segunda elimina los vanos y el arroz queda retenido en la malla. Los rechazos como paja, polvo, piedras, metales y palotes son continuamente llenados en sacos de polipropileno que luego se disponen para su eliminación fuera del molino.

#### **f. Descascarado**

En arroz llega hasta aquí por de un elevador hacia 2 máquinas encargadas del descascarado mediante 2 rodillos de caucho, los cuales que giran en sentido convergente. La separación entre ellas es de 0,5-1,0 mm y son accionadas por dos motores quedando la cascarilla separada del grano, siendo expulsada por un ventilador hacia una zona externa pasando por una máquina encargada de eliminar pequeñas impurezas encontradas.

El descascarado se realiza por la combinación de tres efectos: presión de los rodillos, efecto de la velocidad diferencial de los mismo e impacto contra la platina colocada debajo de la descarga de los rodillos.

#### **g. Separación de cáscara**

En esta etapa se emplea la mesa separadora de paddy, donde el principio de funcionamiento es la separación del grano por diferencias de peso por unidad de grano, siendo el más pesado aquel que contiene cáscara (el 10% no descascarado). El arroz llega aquí del circuito cerrado a través de un elevador que es accionado por un motor.

La operación de separación se realiza regulando tres partes: el ángulo de inclinación es de 10°, hacia la salida de arroz descascarado, permitiendo así trasladar el arroz cáscara hacia el extremo superior; la revolución de la mesa consiste en aumentar o disminuir la frecuencia de la mesa (vaivén u oscilación); y el curso de la caja donde regulará el brazo o distancia de cada ciclo a realizar la mesa, dependiendo esta calibración del tipo o tamaño de arroz a tratar. Esta regulación se realiza moviendo la parte excéntrica localizada en la parte inferior y central de la mesa.

## **h. Pulido**

En esta etapa se remueve la película oscura que cubre al grano de arroz, es decir el salvado o polvillo. El arroz descascarado es trasladado por medio de un elevador accionado por un motor hacia 6 pulidoras encargados de blanquear el arroz. En el pulido se genera harina la cual es separada mediante aspiración generada por un ventilador. Luego esta es colocada en sacos para su posterior venta como polvillo y las partículas de menor tamaño que la harina de arroz es recuperada en unos filtros de manga con la finalidad que no se produzca polución en el medio ambiente.

Una vez pulido se pasa a 4 lustradoras encargadas de eliminar el polvo que se encuentre en el producto. Es la fase final más suave del limpiado de las partículas de salvado y polvo del arroz blanco y de aislamiento de su superficie para darle mejor aspecto.

## **i. Clasificación por tamaño**

El arroz llega hasta aquí a través de un elevador y antes de ingresar el arroz pulido a la zaranda pasa por una caja de entrada donde fluye al interior del cilindro rotativo, cuya cubierta está provista con alveolos de diseño esférico para la separación según su longitud. Los granos que encajan totalmente en el alveolo serán elevados, y a cierta altura caerán fuera por gravedad a la bandeja y será descargado por medio de una rosca sinfín. Los granos, sin embargo, son más grandes que el diámetro del alveolo, se deslizan y permanecen sobre la superficie interior del cilindro (producto de la camisa).

El arroz del clasificador 1 se transporta por un elevador al clasificador 2 donde se clasifica el arroz entero del arroz  $\frac{1}{2}$  y se envasan en forma continua en sacos de 50 kg. El arroz entero y arroz  $\frac{3}{4}$  sigue a la siguiente etapa de selección.

## **j. Selección por color**

El arroz después de ser clasificado es llevado a través de un elevador y tornillo sinfín que lo transporta hacia la etapa de seleccionado por color con la finalidad de separar los granos tizosos, yesosos, manchados o materia extraña de color diferente. En la tolva que abastece a la selectora hay ubicado un imán para retener posibles metales o limaduras que acompañen al arroz. Además, la selectora presenta bandejas vibratorias que alimenta un conjunto de canales metálicos por donde se desliza el grano hasta alcanzar una velocidad uniforme.

Cuando finaliza el recorrido por el canal, durante un instante permanece en suspensión en el aire, momento en que se aprovecha para observarlo por una fotocelda u ojo electrónico que al detectar cualquier elemento que no tenga la transparencia o blancura calibrada como patrón da una orden a un eyector, que opera con aire a presión, para que lo saque del camino hacia otro sitio de salida diferente al grano aceptado. El arroz rechazo o descarte y arroz  $\frac{3}{4}$  también son envasados en sacos de 50 kg para su venta.

### **k. Envasado**

Los envases deben ser de material inerte a la acción del producto, de tal forma que no altere sus características físicas, organolépticas, nutricionales y a la vez no produzca sustancias tóxicas.

Una vez seleccionado el producto es transportado para el envasado en sacos de polipropileno de 50 kg; previo pesaje en una balanza electrónica realizado por el operario. Los sacos son llevados hacia el almacén de producto terminado puestos sobre parihuelas.

### **l. Almacenamiento**

Después de ser pesado y cosido el saco de arroz es trasladado hacia el almacén donde se arrumará en camas de 5 x 20, 7 x 20 ó 11 x 20 sacos de alto. Aquí el arroz puede permanecer un tiempo mínimo de 2 a 3 meses siempre y cuando el ambiente esté limpio.

### **m. Distribución**

Los alimentos se transportan en unidades de usos exclusivos y debidamente acondicionados para tal fin. El producto final se dispondrá en el interior del vehículo evitando el contacto directo con el piso, paredes y techo, teniendo cuidado de evitar su rotura y vaciado del contenido durante el transporte.

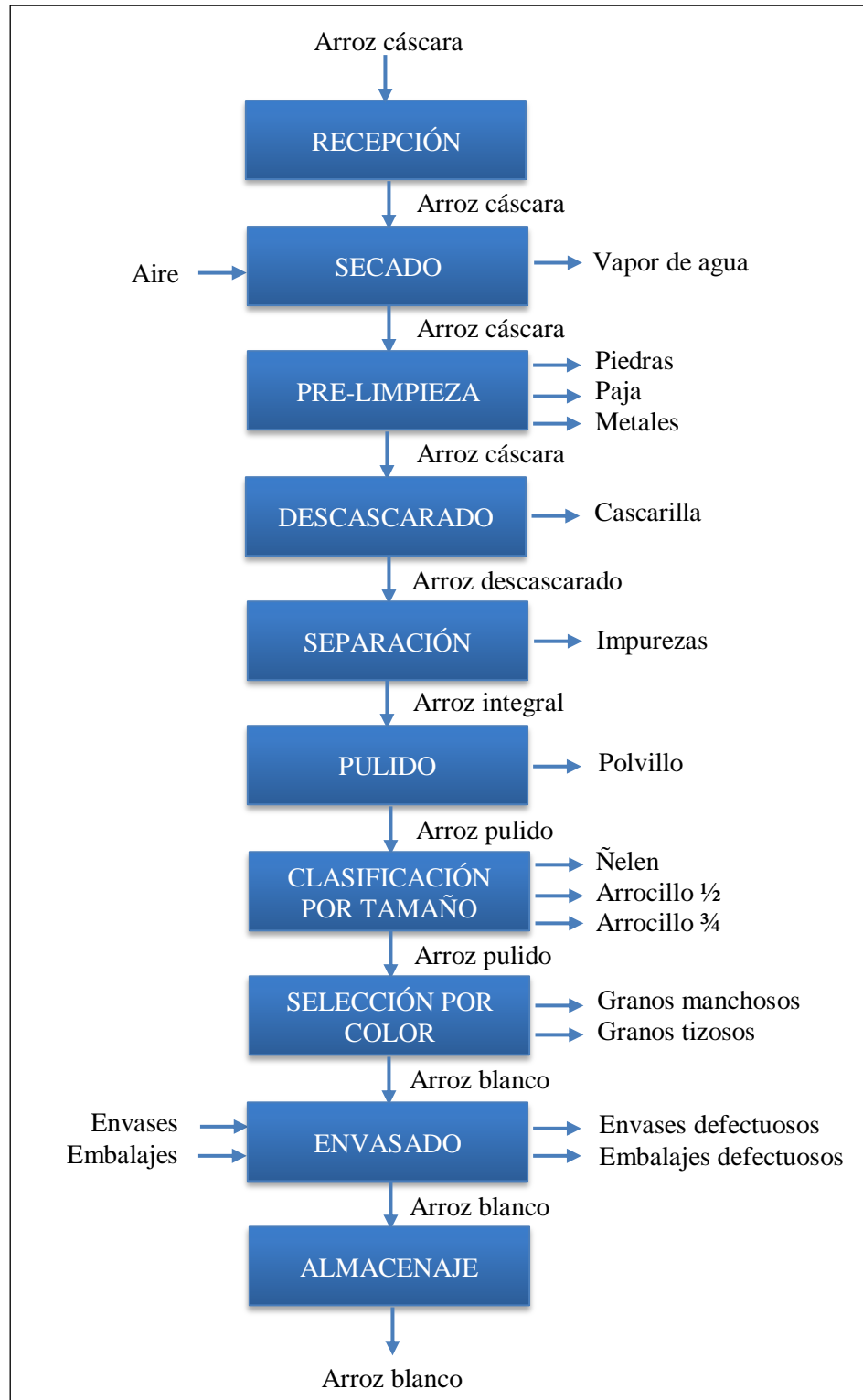
En la *Figura 11* se observa el área de producción de Piladora La Merced S.R.L. para el pilado de arroz.



**Figura 11: Área de Producción de Piladora La Merced S.R.L.**  
Fuente: Piladora La Merced S.R.L., 2015

### 3.1.2.4. Diagrama de flujo del proceso industrial del arroz

En el *Figura 12* se muestra el proceso industrial del arroz, donde la materia prima es el arroz cáscara de la variedad NIR obteniendo como producto principal el arroz blanco.

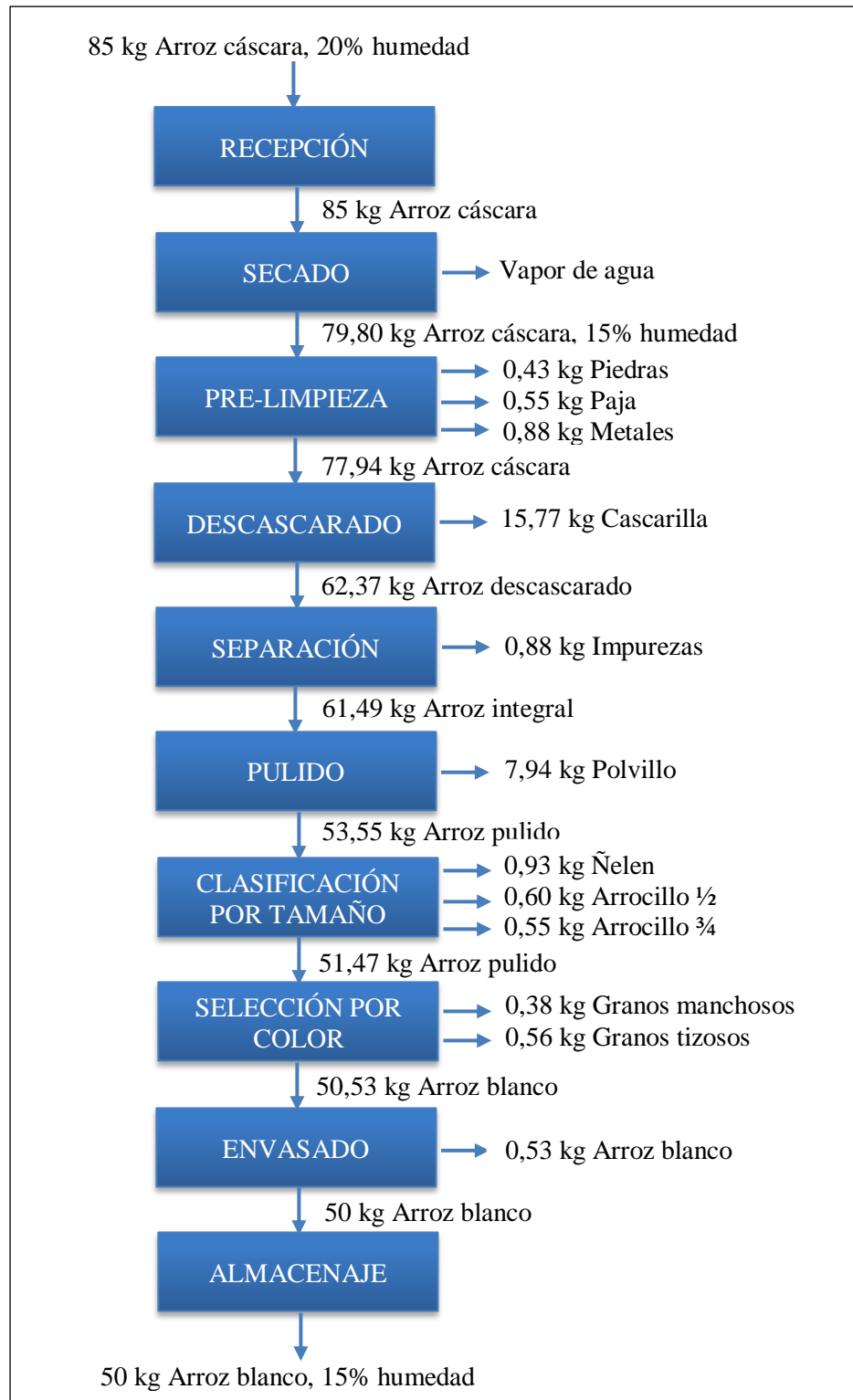


**Figura 12: Diagrama de flujo del proceso industrial del arroz**

Fuente: Piladora La Merced S.R.L., 2018

### 3.1.2.5. Balance de masa del proceso industrial del arroz

En el *Figura 13* se muestra el balance de masa del proceso industrial del arroz, donde se ingresa 85 kg de arroz cáscara a 20% de humedad para la obtención de arroz blanco de 50 kg a 15% de humedad.



**Figura 13: Balance de masa del proceso industrial del arroz**

Fuente: Piladora La Merced S.R.L., 2018

### 3.1.2.6. Diagrama de análisis de proceso industrial del arroz

En la *Figura 14*, se muestra el diagrama de análisis de proceso industrial del arroz para la obtención de sacos de arroz blanco de 50 kg. Además, se observa el resumen de las actividades, así como el total de tiempo requerido.

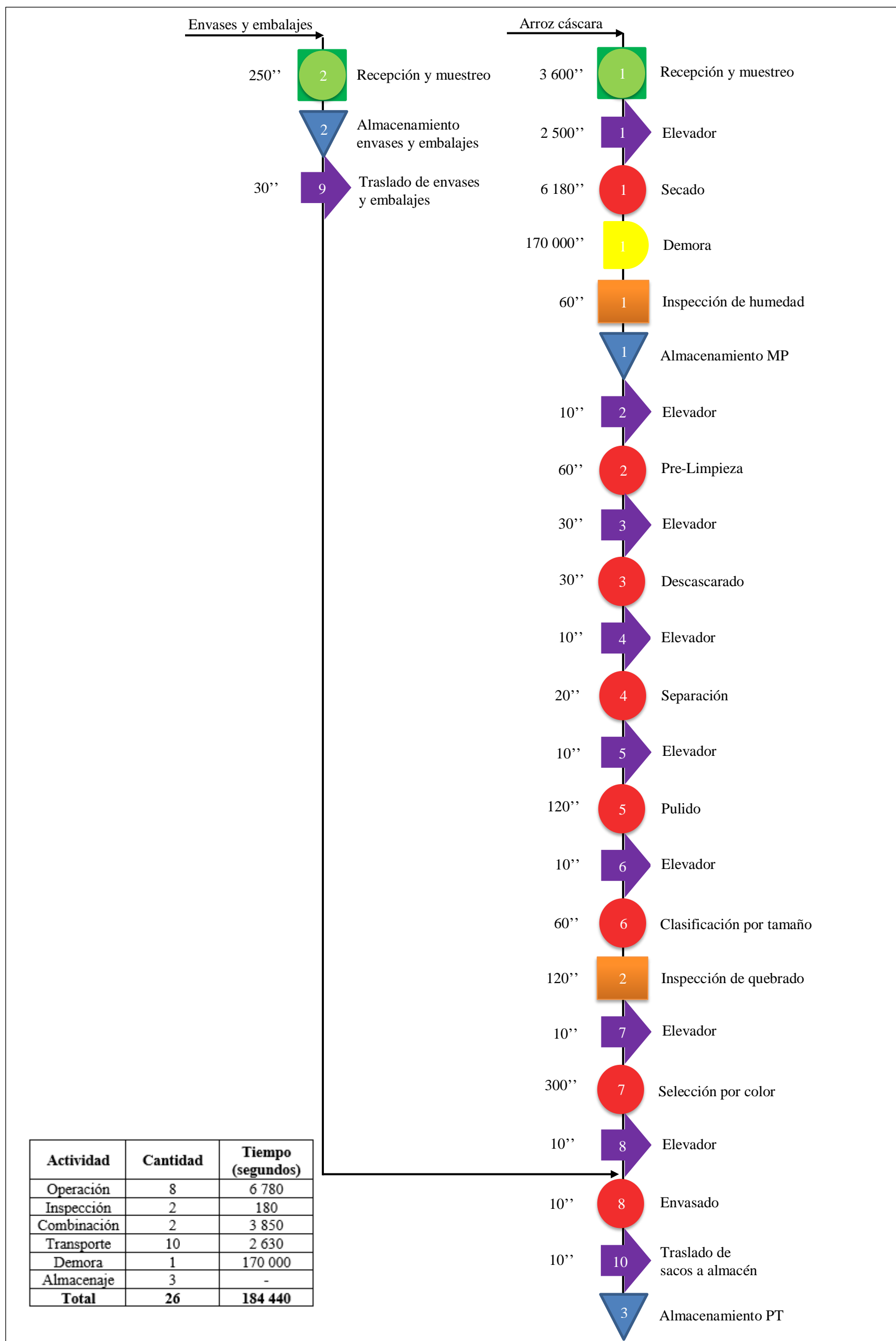


Figura 14: Diagrama de análisis del proceso industrial del arroz

### 3.1.3. Producción anual

#### 3.1.3.1. Acopio de arroz cáscara

El acopio de arroz cáscara se realiza de dos maneras: la materia prima es comprada en campo durante la cosecha por el Jefe de Acopio en coordinación con el área de Control de Calidad, quien realiza un análisis fisicoquímico y revisa el estado fitosanitario mediante la toma de una muestra in situ; por otra parte, la materia prima también puede ingresar a planta por parte de los clientes, a quienes la empresa les brinda el servicio de pilado.

El arroz cáscara es trasladado y pesado a la balanza electrónica para registrar el peso total. La unidad de medida llamada fanega es utilizada para determinar la capacidad o volumen del grano, las legumbres y otros frutos, de valor variable según las regiones y/o empresas. En Piladora La Merced S.R.L. se lleva una contabilización del arroz en cáscara tanto en kilogramos como fanegas, siendo 1 fanega equivalente a 144 kg.

A continuación, se presenta en la *Tabla 7* una data histórica con respecto al peso total de acopio de arroz cáscara en Piladora La Merced S.R.L. correspondiente a las campañas del año 2012 al 2017.

**Tabla 7: Peso total de acopio de arroz cáscara (kg)**

<b>Campaña</b>	<b>2012</b>	<b>2013</b>	<b>2014</b>	<b>2015</b>	<b>2016</b>	<b>2017</b>
Enero	547 212	565 080	592 221	618 261	634 903	668 745
Febrero	514 873	519 190	526 009	539 874	551 760	589 506
Marzo	530 786	546 223	552 246	568 109	582 146	580 456
Abril	540 098	549 027	566 732	580 078	587 723	579 698
Mayo	548 732	561 344	579 345	600 082	632 345	640 560
Junio	556 802	592 333	614 867	640 532	678 678	671 098
Julio	692 434	713 943	726 331	747 235	760 234	768 890
Agosto	560 002	564 312	590 231	622 302	650 983	670 891
Setiembre	570 801	583 601	603 980	623 001	645 095	683 455
Octubre	580 189	592 499	614 701	635 812	688 098	710 245
Noviembre	606 098	623 098	650 233	668 079	700 565	753 905
Diciembre	693 345	718 014	735 025	747 822	760 903	782 134
<b>Total</b>	<b>6 941 372</b>	<b>7 128 664</b>	<b>7 351 921</b>	<b>7 591 187</b>	<b>7 873 433</b>	<b>8 099 583</b>

Fuente: Piladora La Merced S.R.L., 2018

En la tabla anterior se observa un crecimiento en el acopio de arroz cáscara en los últimos seis años, donde en el año 2017, la empresa acopió 8 099 583 kg de arroz cáscara equivalente a 56 247 fanegas. El acopio del año 2017 representó un incremento del 16% con respecto a lo registrado en el año 2012. Además, la mayor concentración se da en el segundo semestre del año (54% del total) y en los meses de julio y diciembre de cada campaña, el peso de arroz cáscara sobrepasa los 750 000 kg, debido a las diversas celebraciones y/o fiestas del Perú.

### 3.1.3.2. Producción de arroz pilado

El arroz cáscara de la variedad NIR es un producto de gran demanda en el mercado regional y nacional, destinado en su totalidad al consumo humano. Al contarse con otras variedades en el molino, el arroz pilado obtenido se clasifica en arroz extra superior y corriente, pues existen factores que determinan la calidad molinera como la capacidad del campo para producir mayores porcentajes de grano entero y el alto rendimiento de pila.

Actualmente, la eficiencia en el proceso de pilado es quizás uno de los puntos más débiles en la empresa, ya que de acuerdo con el balance de masa mostrado en la *Figura 13*, por 1 kg de arroz cáscara que ingresa al proceso se obtiene 0,59 kg de arroz pilado.

$$\text{Eficiencia de pilado} = \frac{\text{Peso de arroz pilado (kg)}}{\text{Peso de arroz cáscara (kg)}} \times 100\%$$

$$\text{Eficiencia de pilado} = \frac{50,00 \text{ kg}}{85,00 \text{ kg}} \times 100\% = 59\%$$

Este porcentaje se sitúa debajo del promedio nacional de pilado de arroz, que se encuentra en 69% (MINCETUR 2018). Esto se debe en medida a factores como las deficiencias en el control de calidad, antigüedad de la maquinaria, entre otros.

En la *Tabla 8* se muestra la producción de arroz pilado durante las campañas 2012 - 2017, donde se puede observar una disminución en los meses de marzo, abril y junio del año 2017, debido a los efectos negativos del Fenómeno del Niño ocurridos en el norte del Perú, lo que significó grandes pérdidas, pues se esperaba en la empresa aumentos de hasta 20 000 kg por mes.

**Tabla 8: Producción de arroz pilado (kg)**

<b>Campaña</b>	<b>2012</b>	<b>2013</b>	<b>2014</b>	<b>2015</b>	<b>2016</b>	<b>2017</b>
Enero	321 889	332 400	348 365	363 683	373 472	393 379
Febrero	302 866	305 406	309 417	317 573	324 565	346 768
Marzo	312 227	321 308	324 851	334 182	342 439	341 445
Abril	317 705	322 957	333 372	341 222	345 719	340 999
Mayo	322 784	330 202	340 791	352 989	371 968	376 800
Junio	327 531	348 431	361 686	376 784	399 222	394 764
Julio	407 314	419 966	427 254	439 550	447 196	452 288
Agosto	329 413	331 948	347 195	366 060	382 931	394 642
Setiembre	335 765	343 295	355 282	366 471	379 468	402 032
Octubre	341 288	348 529	361 589	374 007	404 764	417 791
Noviembre	356 528	366 528	382 490	392 988	412 097	443 474
Diciembre	407 850	422 361	432 368	439 895	447 590	460 079
<b>Total</b>	<b>4 083 160</b>	<b>4 193 332</b>	<b>4 324 659</b>	<b>4 465 404</b>	<b>4 631 431</b>	<b>4 764 461</b>

Fuente: Piladora La Merced S.R.L., 2018

### 3.1.3.3. Producción de cascarilla de arroz

La cascarilla generada en el proceso industrial del arroz es trasladada desde la máquina descascaradora a través de un conducto hacia un almacén produciendo su acumulación y posterior incineración. Esta solución optada por la empresa obedece a que la cascarilla de arroz posee características químicas, físicas, energéticas y bromatológicas que dificultan su manejo y aprovechamiento.

Por tanto, en Piladora La Merced S.R.L. no se lleva un registro de la cantidad de cascarilla de arroz generada en el proceso de producción, sin embargo, a través del balance de masa realizado en la *Figura 13*, se puede calcular la relación entre el arroz cáscara que ingresa a la empresa y la cascarilla de arroz generada durante el proceso de pilado.

$$\text{Eficiencia de descascarado} = \frac{\text{Peso de cascarilla (kg)}}{\text{Peso de arroz cáscara (kg)}} \times 100\%$$

$$\text{Eficiencia de descascarado} = \frac{15,57 \text{ kg}}{85,00 \text{ kg}} \times 100\% = 18,32\%$$

Entonces, de acuerdo con lo hallado, el 18,32% del peso total de arroz cáscara corresponde a la cascarilla. Este valor es cercano al proporcionado por la revisión bibliográfica donde (Ahumada y Rodríguez 2006) afirma que la cascarilla constituye el 20% del peso total del arroz.

En la *Tabla 9* se observa la producción de cascarilla de arroz donde en los últimos seis años se registraron más de 90 000 kg de este producto. Así mismo, en el último año se produjo cerca de 1 483 T, una cantidad que preocupa a la población, ya que la deposición actual afecta al medio ambiente.

**Tabla 9: Producción de cascarilla de arroz (kg)**

<b>Campaña</b>	<b>2012</b>	<b>2013</b>	<b>2014</b>	<b>2015</b>	<b>2016</b>	<b>2017</b>
Enero	100 249	103 523	108 495	113 265	116 314	122 514
Febrero	94 325	95 116	96 365	98 905	101 082	107 997
Marzo	97 240	100 068	101 171	104 078	106 649	106 340
Abril	98 946	100 582	103 825	106 270	107 671	106 201
Mayo	100 528	102 838	106 136	109 935	115 846	117 351
Junio	102 006	108 515	112 644	117 345	124 334	122 945
Julio	126 854	130 794	133 064	136 893	139 275	140 861
Agosto	102 592	103 382	108 130	114 006	119 260	122 907
Setiembre	104 571	106 916	110 649	114 134	118 181	125 209
Octubre	106 291	108 546	112 613	116 481	126 060	130 117
Noviembre	111 037	114 152	119 123	122 392	128 344	138 115
Diciembre	127 021	131 540	134 657	137 001	139 397	143 287
<b>Total</b>	<b>1 271 659</b>	<b>1 305 971</b>	<b>1 346 872</b>	<b>1 390 705</b>	<b>1 442 413</b>	<b>1 483 844</b>

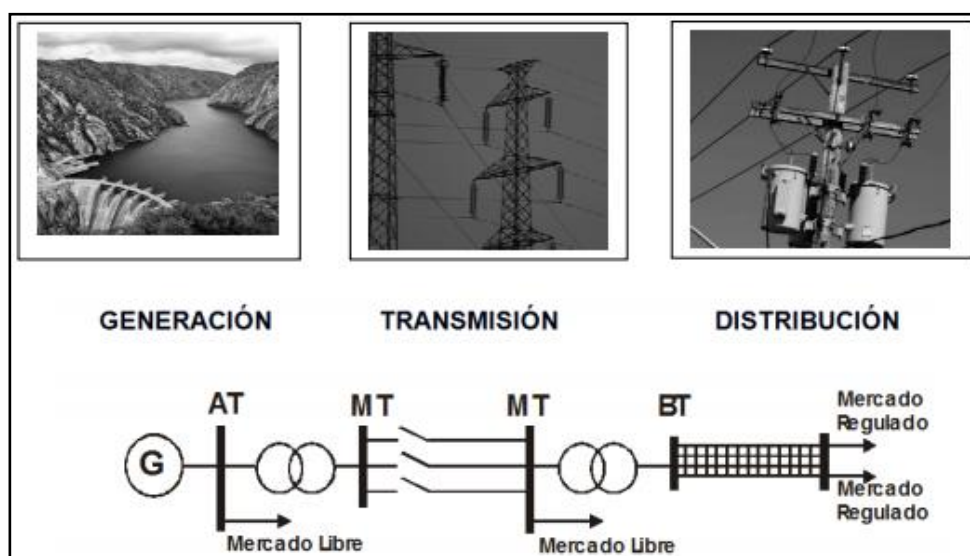
Fuente: Piladora La Merced S.R.L., 2018

### 3.1.4. Energía eléctrica

#### 3.1.4.1. Sistema eléctrico de alimentación y distribución

El Sector Eléctrico Peruano está regido por la Ley de Concesiones Eléctricas, la cual reglamenta entre otros la estructura del Sector Eléctrico Peruano y la fijación de tarifas y precios. Además, el Sistema Eléctrico Interconectado Nacional abastece al 85% de la población conectada, con varios sistemas aislados que cubren el resto del país (Ministerio de Energía y Minas 2011).

La tarifa está compuesta por los componentes de generación, transmisión y distribución eléctrica. La formación de precios de energía para el usuario final está en función de los costos de generación, costos por peaje de transmisión, valor agregado de distribución para media tensión y el valor agregado para baja tensión (Ver Figura 15).



**Figura 15: Generación, transmisión y distribución de energía eléctrica**

Fuente: Ministerio de Energía y Minas, 2011

Piladora La Merced S.R.L. es abastecida en el servicio eléctrico por Electronorte S.A., la cual cuenta con la tarifa MT2 (Media Tensión) con doble medición de energía activa y contratación o medición de dos potencias (2E2P), la misma que incluye los parámetros de medición:

- Energía en punta y fuera de punta.
- Potencia en punta y fuera de punta.
- Medición de energía reactiva.

Esta opción tarifaria fue escogida por la empresa, puesto que el usuario puede elegir libremente cualquiera de las opciones tarifarias vigentes, teniendo en cuenta el sistema de medición que exige la respectiva opción tarifaria, la cual es aceptada obligatoriamente por la concesionaria, las que proporcionarán de forma gratuita a los usuarios que lo soliciten: el histórico de consumos de energía y potencia en HP y HFP y los precios vigentes de los cargos de facturación (Ministerio de Energía y Minas 2011).

De acuerdo con (Ministerio de Energía y Minas 2011) esta opción tarifaria está dirigida para aquellos usuarios con consumos mínimos de demanda en el periodo de horas punta. Se considera precios diferenciados para la facturación de potencia según si esta se efectúa en horas punta o bien en horas fuera de punta. La tarifa MT2 comprende los siguientes cargos:

- Cargo fijo mensual.
- Cargo por energía activa en horas punta.
- Cargo por energía activa en horas fuera de punta.
- Cargo por potencia activa de generación en horas punta.
- Cargo por potencia activa por uso de redes en horas punta.
- Cargo por exceso de potencia por uso de redes en horas fuera de punta.
- Cargo por energía reactiva.

### 3.1.4.2. Consumo de energía eléctrica de los motores de producción

En la *Tabla 10* se presenta una data histórica sobre el consumo de energía eléctrica por parte de los motores de producción de Piladora La Merced S.R.L. correspondiente al periodo 2012 - 2017 registrándose los mayores consumos en los meses de julio y diciembre del año 2017 de 28 298 kWh y 28 168 kWh respectivamente. Esto se sustenta por el incremento de las áreas cosechadas en la región Lambayeque. Así mismo, se identifica que para la producción de los 4 764 461 kg de arroz pilado se necesitó 284 116 kWh de energía eléctrica.

**Tabla 10: Consumo de energía eléctrica de los motores de producción (kWh)**

<b>Campaña</b>	<b>2012</b>	<b>2013</b>	<b>2014</b>	<b>2015</b>	<b>2016</b>	<b>2017</b>
Enero	20 123	20 484	20 961	21 490	21 652	21 805
Febrero	18 397	18 508	18 680	18 951	19 145	20 080
Marzo	19 542	19 687	19 852	20 150	20 265	20 090
Abril	19 743	19 884	20 050	20 279	21 319	21 092
Mayo	20 203	20 385	20 539	21 281	21 559	22 152
Junio	21 031	21 288	21 439	21 906	22 439	23 665
Julio	24 772	25 230	25 834	26 577	26 915	28 298
Agosto	20 497	20 604	20 765	21 313	22 245	23763
Setiembre	20 837	21 005	21 221	21 575	22 530	24 087
Octubre	21 140	21 293	21 479	22 052	23 939	25 259
Noviembre	21 979	22 285	22 563	23 002	24 208	25 657
Diciembre	24 881	25 292	25 817	26 442	26 928	28 168
<b>Total</b>	<b>253 145</b>	<b>255 945</b>	<b>259 200</b>	<b>265 018</b>	<b>273 144</b>	<b>284 116</b>

Fuente: Electronorte S.A., 2018

Cabe mencionar que para determinar estas cantidades de energía eléctrica consumidas en el proceso de pilado de arroz fue necesario revisar las facturas por suministro eléctrico, ya que como se mencionó en el punto anterior, la tarifa MT2 contratada por Electronorte S.A. incluye varios cargos, los cuales no forman parte del presente estudio, pues solo se está enfocando en los motores del área de producción.

Además, se consideró la jornada laboral de la empresa que es de 10 horas diarias, que comienza desde las 08:00 hasta 18:00 horas. Este dato es muy importante ya que las horas de trabajo de los motores del proceso industrial del arroz se encuentran fuera de la hora punta establecida por la concesionaria, que está determinada entre las 18:00 a 23:00 horas.

Por ello, al encontrarse fuera de la hora punta, se observó en las facturas de servicio eléctrico que la empresa tiene un exceso de potencia, lo que significa que la potencia utilizada por la empresa Piladora La Merced S.R.L. supera la potencia contratada, representando un exceso de 3%.

### 3.1.4.3. Importe de consumo de energía eléctrica

La factura que recibe mensualmente el consumidor por parte de Electronorte S.A. muestra el importe por el consumo de electricidad. Dicho importe es el resultado de la aplicación de la estructura tarifaria vigente. El costo de la energía consumida es calculado mediante la diferencia de lecturas entre el mes actual y el mes anterior, multiplicando el resultado por el factor del medidor y por la tarifa en la cual se factura el servicio.

En la *Tabla 11* se muestra el importe del consumo de suministro eléctrico, donde los 284 116 kWh generados en la campaña 2017 fueron equivalentes a S/. 135 196. Igualmente, el importe mensual de ese año superó los S/. 10 000, a pesar de las pérdidas en la producción de arroz pilado, producto del Fenómeno del Niño, lo que se deduce en un aumento en el precio tarifario por parte de Electronorte S.A.

**Tabla 11: Importe del consumo de energía de los motores de producción (soles)**

<b>Campaña</b>	<b>2012</b>	<b>2013</b>	<b>2014</b>	<b>2015</b>	<b>2016</b>	<b>2017</b>
Enero	10 086	10 141	10 167	10 167	10 565	10 846
Febrero	9 436	9 471	9 496	9 511	9 725	9 915
Marzo	9 867	9 916	9 937	10 563	10 542	10 605
Abril	9 943	9 990	10 012	10 012	10 568	10 617
Mayo	10 116	10 179	10 397	10 201	10 690	10 667
Junio	10 428	10 520	10 536	10 549	10 689	10 802
Julio	12 842	12 939	12 977	13 064	13 665	13 868
Agosto	10 324	10 358	10 378	10 499	10 654	10 728
Setiembre	10 453	10 511	10 552	10 599	10 709	10 820
Octubre	10 568	10 720	10 749	10 881	10 778	11 136
Noviembre	10 887	10 998	11 062	11 142	11 373	11 390
Diciembre	13 223	13 289	13 348	13 556	13 723	13 802
<b>Total</b>	<b>128 173</b>	<b>129 032</b>	<b>129 611</b>	<b>130 744</b>	<b>133 681</b>	<b>135 196</b>

Fuente: Electronorte S.A., 2018

### 3.1.4.4. Levantamiento de cargas

Es importante conocer la magnitud de las cargas y el tiempo de trabajo dentro de la empresa, pues ello permitirá definir los picos de demanda y dimensionar el sistema de generación de biogás. Debido a que la información obtenida en el apartado de consumo de energía eléctrica se considera insuficiente, se realizó un estudio de las cargas del molino en apoyo con los operadores a cargo de cada máquina y un levantamiento de las cargas dentro de la instalación.

El levantamiento de cargas permite obtener el consumo eléctrico a lo largo del día teniendo en cuenta la potencia demandada por cada uno de los motores y la franja horaria de operación como se muestra en la *Tabla 12*.

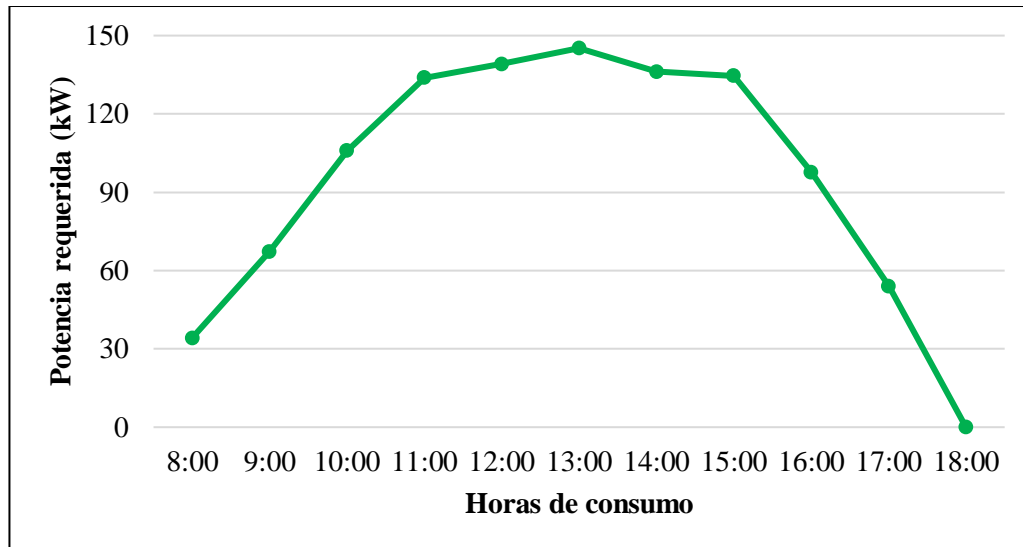
**Tabla 12: Levantamiento de cargas**

<b>Franja horaria de trabajo de motor</b>	<b>08:00-09:00</b>	<b>09:00-10:00</b>	<b>10:00-11:00</b>	<b>11:00-12:00</b>	<b>12:00-13:00</b>	<b>13:00-14:00</b>	<b>14:00-15:00</b>	<b>15:00-16:00</b>	<b>16:00-17:00</b>	<b>17:00-18:00</b>	<b>Potencia Total</b>
Dosificador 1	0,56	0,56	0,56	0,56	0,56	0,56	0,56	0,56	0	0	<b>4,48</b>
Dosificador 2	0	0	0,56	0,56	0,56	0,56	0,56	0,56	0	0	<b>3,36</b>
Llenadora de sacos	0	0,56	0,56	0,56	0,56	0,56	0,56	0,56	0,56	0,56	<b>5,03</b>
Vibradora 1	0,56	0,56	0,56	0,56	0,56	0,56	0,56	0,56	0,56	0	<b>5,03</b>
Vibradora 2	0	0,56	0,56	0,56	0,56	0,56	0,56	0,56	0,56	0	<b>4,47</b>
Mesa Paddy 1	0,97	0,97	0,97	0,97	0,97	0,97	0,97	0,97	0	0	<b>7,76</b>
Mesa Paddy 2	0	0	0,97	0,97	0,97	0,97	0,97	0,97	0,97	0,97	<b>7,76</b>
Sinfín 1	0	0,26	0,26	0,26	0,26	0,26	0,26	0,26	0	0	<b>1,83</b>
Sinfín 2	0	1,68	1,68	1,68	1,68	1,68	1,68	1,68	1,68	1,68	<b>15,10</b>
Sinfín 3	0	0	0	0	1,68	1,68	1,68	1,68	1,68	1,68	<b>10,07</b>
Elevador 1	1,68	1,68	1,68	1,68	1,68	1,68	1,68	1,68	0	0	<b>13,42</b>
Elevador 2	1,68	1,68	1,68	1,68	1,68	1,68	1,68	1,68	0	0	<b>13,42</b>
Elevador 3	1,68	1,68	1,68	1,68	1,68	1,68	1,68	1,68	0	0	<b>13,42</b>
Elevador 4	0	1,68	1,68	1,68	1,68	1,68	1,68	1,68	0	0	<b>11,74</b>
Elevador 5	0	1,68	1,68	1,68	1,68	1,68	1,68	1,68	0	0	<b>11,74</b>
Elevador 6	0	0	1,68	1,68	1,68	1,68	1,68	1,68	0	0	<b>10,07</b>
Elevador 7	0	0	0	0	1,68	1,68	1,68	1,68	1,68	1,68	<b>10,07</b>
Elevador 8	0	0	0	0	1,96	1,96	1,96	1,96	1,96	1,96	<b>11,74</b>
Pre-Limpia	1,68	1,68	1,68	1,68	1,68	1,68	1,68	0	0	0	<b>11,74</b>
Post-Limpia	0	1,68	1,68	1,68	1,68	1,68	1,68	1,68	1,68	1,68	<b>15,10</b>
Lustradora 1	0	2,09	2,09	2,09	2,09	2,09	2,09	2,09	0	0	<b>14,62</b>
Lustradora 2	0	2,09	2,09	2,09	2,09	2,09	2,09	2,09	0	0	<b>14,62</b>
Lustradora 3	0	0	3,13	3,13	3,13	3,13	3,13	3,13	0	0	<b>18,79</b>
Lustradora 4	0	0	3,13	3,13	3,13	3,13	3,13	3,13	0	0	<b>18,79</b>
Circuito 1	2,61	2,61	2,61	2,61	2,61	2,61	2,61	2,61	2,61	0	<b>23,49</b>
Circuito 2	2,61	2,61	2,61	2,61	2,61	2,61	2,61	2,61	2,61	0	<b>23,49</b>
Circuito 3	0	0	2,61	2,61	2,61	2,61	2,61	2,61	2,61	2,61	<b>20,88</b>
Mesa Rotatoria 1	2,87	2,87	2,87	2,87	2,87	2,87	0	0	0	0	<b>17,23</b>
Mesa Rotatoria 2	0	0	2,80	2,80	2,80	2,80	2,80	2,80	0	0	<b>16,78</b>
Mesa Rotatoria 3	0	0	2,80	2,80	2,80	2,80	2,80	2,80	2,80	2,80	<b>22,37</b>
Descascaradora 1	5,59	5,59	5,59	5,59	5,59	5,59	5,59	5,59	0	0	<b>44,74</b>
Descascaradora 2	5,59	5,59	5,59	5,59	5,59	5,59	5,59	5,59	0	0	<b>44,74</b>
Ventilador 1	6,06	6,06	6,06	6,06	6,06	6,06	0	0	0	0	<b>36,35</b>
Ventilador 2	0	0	0	0	0	6,06	6,06	6,06	6,06	0	<b>24,24</b>
Pulidora 1	0	10,44	10,44	10,44	10,44	10,44	10,44	10,44	10,44	0	<b>83,52</b>
Pulidora 2	0	10,44	10,44	10,44	10,44	10,44	10,44	10,44	10,44	0	<b>83,52</b>
Pulidora 3	0	0	10,44	10,44	10,44	10,44	10,44	10,44	10,44	0	<b>73,08</b>
Pulidora 4	0	0	10,44	10,44	10,44	10,44	10,44	10,44	10,44	10,44	<b>83,52</b>
Pulidora 5	0	0	0	13,98	13,98	13,98	13,98	13,98	13,98	13,98	<b>97,87</b>
Pulidora 6	0	0	0	13,98	13,98	13,98	13,98	13,98	13,98	13,98	<b>97,87</b>
<b>Potencia Total</b>	<b>34,14</b>	<b>67,28</b>	<b>105,83</b>	<b>133,80</b>	<b>139,11</b>	<b>145,17</b>	<b>136,24</b>	<b>134,56</b>	<b>97,73</b>	<b>54,01</b>	<b>1 047,86</b>

Fuente: Piladora La Merced S.R.L., 2018

Este levantamiento de cargas realizado permite elaborar un modelo de demanda de energía eléctrica de la empresa a lo largo de una jornada laborable, a razón de 10 horas/día.

El modelo de la *Figura 16* representa esquemáticamente la duración de cada uno de los motores obtenido a partir del levantamiento de cargas. Se puede observar como los procesos varían en diferentes momentos del día, hecho importante que se deberá tener en cuenta a la hora de calcular la demanda de energía eléctrica.



**Figura 16: Modelo de demanda eléctrica diario**

Fuente: Piladora La Merced S.R.L., 2018

De lo anterior, se concluye lo siguiente:

- La energía eléctrica diaria para el proceso de pilado de arroz es de 1 047,86 kWh durante las 08:00 a 18:00 horas.
- La potencia pico que puede llegar a consumir el molino arrocero es de 145,17 kW, que se da a partir de las 13:00 hasta 14:00 horas.
- El 65,74% de la demanda eléctrica diaria se da entre las 11:00 a 15:00 horas, puesto que los 40 motores ya funcionaron durante el día.
- Los motores de la llenadora de sacos, vibradora 1, sinfín 2, post-limpia, circuito 1 y circuito 2 trabajan durante 9 horas diarias.

Por otra parte, se conoce que la empresa labora normalmente de lunes a sábado, es decir 1 mes equivale a 26 días, entonces se tiene que el consumo diario de 1 047,86 kWh/día supondría un consumo mensual de 27 244,45 kWh/mes. Sin embargo, si se compara con los consumos reportados en julio y diciembre del año 2017 (*Ver Tabla 10*), estos son mayores a lo calculado anteriormente, incluso si se añade el 3% de exceso que reporta comúnmente la empresa, pues este sería de 28 061,78 kWh/mes.

Esto se puede sustentar en que estos meses representan la campaña grande del pilado de arroz, por lo que la empresa realiza programaciones los días domingo para abastecer todo el arroz acopiado, por tanto, se considera la equivalencia de 1 mes igual a 30 días, lo que resulta en 31 435,90 kWh/mes. Esta información es importante para el diseño del sistema de generación de biogás que se pretende plantear, ya que se considerará esta relación para poder abastecer la demanda en caso exceda de la que se tiene en un mes promedio.

### **3.2. Determinación de la producción de cascarilla de arroz y la demanda del requerimiento de energía futuros en la Piladora La Merced S.R.L.**

#### **3.2.1. Análisis del acopio de arroz cáscara**

Perú es el tercer productor más importante de América, después Brasil y Estados Unidos. Ello, en gran medida, a los hábitos de consumo interno, pues la penetración del consumo de arroz en el Perú es alta. Así mismo, tiene uno de los tres rendimientos más altos del continente después de Uruguay y Estados Unidos (MINCETUR 2018).

La producción y los rendimientos de arroz en el Perú han mejorado ostensiblemente en las últimas décadas. La mejora de la economía nacional y la apertura comercial han permitido a los productores racionalizar de mejor forma sus recursos y orientarlos al crecimiento productivo. Sin embargo, en el último lustro, la producción ha crecido a un ritmo bajo, debido en parte a la movilización de inversiones hacia otros negocios agrícolas más rentables, así como los efectos negativos del Fenómeno de El Niño Costero (MINCETUR 2018).

El arroz es, junto a la papa, el cultivo más importante del país. En 2017, la producción de arroz cayó 4% debido a los desastres naturales registrados en la primera parte del año. La producción en las regiones de la costa fue duramente afectada por el Fenómeno del Niño costero, lo que redujo la participación de Piura y Lambayeque en la producción nacional (MINCETUR 2018).

En Lambayeque, parte de Chepén y Guadalupe se perdieron 20 mil toneladas métricas de arroz cáscara (granos con envoltura), debido a las intensas precipitaciones. La pérdida se debe a que el arroz cáscara es almacenado al exterior de los molinos, pero las lluvias registradas entre febrero y marzo inundaron tanto los almacenes como las áreas alternas donde se acopiaba el producto. Esta cantidad de agua acumulada generó hongos en el arroz, dejándolo inservible (La República 2017).

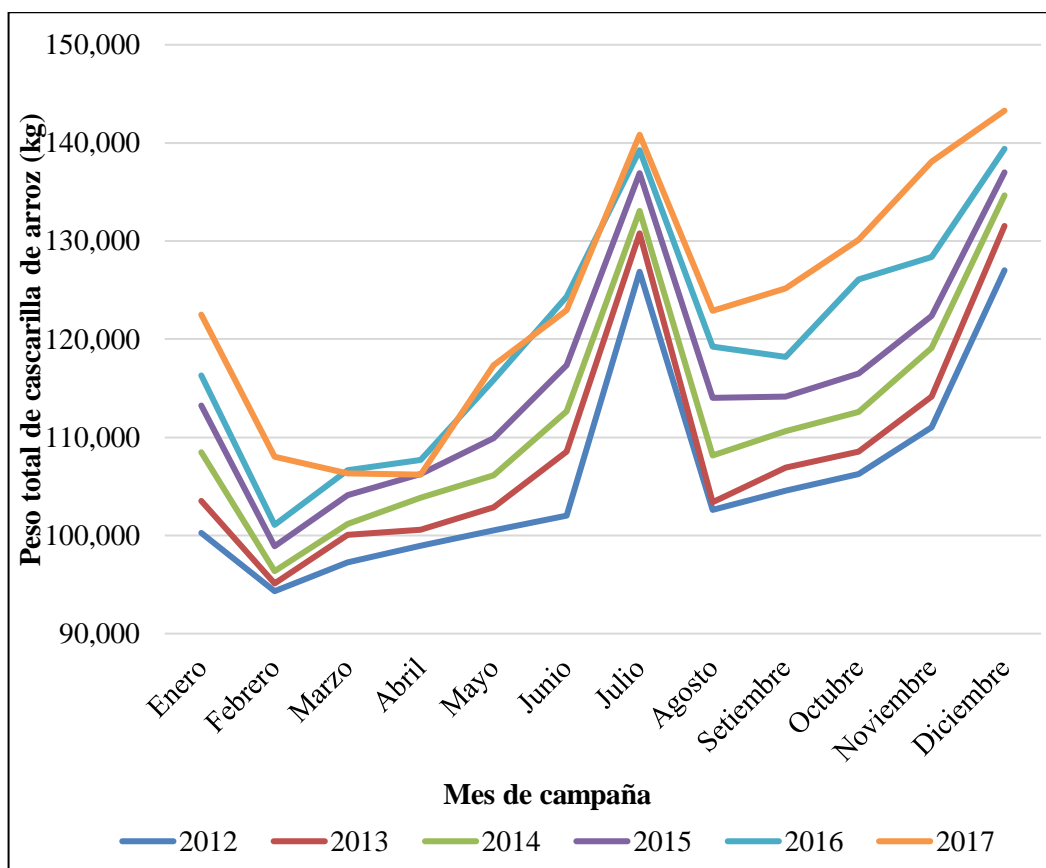
Por ello, la campaña de arroz inició con retraso debido a la sequía que golpeaba desde el año pasado, pues de haber iniciado antes, la cosecha se habría cruzado con las lluvias y sumado a la alta temperatura habría generado pérdidas en la campaña agrícola. Por otra parte, la infraestructura como la maquinaria de las molineras se vieron afectadas por las lluvias, un golpe más del fenómeno (La República 2017).

A pesar del panorama adverso, el arroz lambayecano es muy solicitado en el mercado nacional, pues es considerado uno de los mejores de América Latina. Además, uno de los componentes que contribuye a mejorar la calidad del cereal es la semilla IRR43 o NIR, pues las condiciones de esta variedad de semilla la hacen adaptarse fácilmente a los factores climáticos.

De todo ello, se prevé que el acopio de arroz cáscara en la región seguirá creciendo en los próximos años, y en caso de que el fenómeno se vuelva a presentar, los molinos se encuentran actualmente preparados, pues la mayoría ha instalado techos y realizado aberturas de zanjas con el fin de los almacenes de materia prima no se inunden y conlleve a pérdidas en las empresas.

### 3.2.2. Pronóstico de producción de cascarilla de arroz

En Piladora La Merced S.R.L., la producción de cascarilla de arroz ha ido incrementando en estos últimos seis años, sin embargo, existe variabilidad mensual, debido a que se presentan las llamadas campañas grandes, las cuales se dan entre los meses de mayo a julio y octubre a diciembre. Por ejemplo, durante el año 2016, se registró en el mes de enero 116 314 kg de cascarilla de arroz, disminuyendo en febrero a 101 082 kg, aumentando en los siguientes meses hasta registrar en julio 139 275 kg, para disminuir nuevamente en agosto y setiembre, y finalmente aumentar hasta alcanzar en diciembre 139 397 kg.



**Figura 17: Producción de cascarilla de arroz 2012 - 2017**

Fuente: Piladora La Merced S.R.L., 2018

En la *Figura 17* se muestra la tendencia de la producción de cascarilla de arroz de las campañas 2012 - 2017, donde se observa en primer lugar una disminución en los meses de marzo, abril y junio del año 2017 con respecto a los del año 2016, ello se debe a las condiciones climáticas ocurridas en el norte del Perú. A pesar de ello, se visualiza un patrón de cambio de enero a diciembre, el cual se repite año tras año, por lo que se afirma que existe un patrón estacional anual en la producción de cascarilla de arroz en Piladora La Merced S.R.L.

Por tanto, en la presente investigación, se realizará un pronóstico de la cascarilla de arroz con el fin de conocer el comportamiento futuro de este residuo obtenido del procesamiento industrial del arroz y así determinar la cantidad con que se contará en los próximos años.

Los procedimientos formales de pronóstico comprenden la extensión de las experiencias del pasado al futuro incierto, es decir la suposición de que las condiciones que generaron los datos anteriores son indistinguibles de las condiciones futuras que se podrían presentar, con excepción de aquellas variables reconocidas de manera explícita por el modelo de pronóstico.

La selección del método correcto de pronóstico depende de muchos factores, entre los que se encuentran el objetivo del pronóstico, la accesibilidad de los datos históricos, el costo-beneficio para la empresa, el tiempo que se desea realizar el pronóstico, la etapa del ciclo de vida del producto, entre otros.

Para un modelado estructural de una serie temporal, los datos observados en la *Figura 17* se interpretan como una combinación de componentes no observables donde destaca los componentes estacionales, cíclicos y tendencias. Por tal razón, se optó por seleccionar el método de descomposición, puesto que requiere identificar estos tres componentes aislados.

Para el desarrollo de este modelo, se siguió con la metodología de (González 2012), para lo cual se empleó la siguiente ecuación que se muestra a continuación:

$$X_t = T_t \times S_t \times C_t + U_t$$

Donde:

$X_t$ : Valor de la serie en el instante t

$T_t$ : Tendencia

$S_t$ : Componente estacional

$C_t$ : Componente cíclico

$U_t$ : Componente aleatorio

La tendencia  $T_t$  se mide con las unidades de la variable en estudio y los componentes  $S_t$ ,  $C_t$  y  $U_t$  son medidos en términos relativos, ya sea mayores valores que 1 indicando que el efecto cíclico está por encima de la tendencia, el efecto estacional está por encima del nivel promedio o que el efecto irregular está por encima de la combinación de los componentes de tendencia, cíclico y estacional. De otro modo, si los valores relativos para  $S_t$ ,  $C_t$  y  $U_t$  son menores que 1 indican niveles por debajo de los promedios del respectivo componente.

Si bien no es necesario el cálculo del componente aleatorio o variación no sistemática ( $U_t$ ) para desarrollar un pronóstico, interesa que dicha variación no sugiera la presencia de error sistemático, por lo que la ecuación resulta de la siguiente manera:

$$X_t = T_t \times S_t \times C_t$$

Para la identificación de las influencias estacionales, se calculó la media o promedio móvil simple con  $n = 12$ , debido a que se pretende obtener los pronósticos de los 12 meses de los próximos seis años. Al utilizar esta técnica cuanto más grande sea  $n$ , mayor será la influencia de los datos antiguos y se estarían eliminando las influencias estacionales e irregulares para medir el efecto combinado de la tendencia y el componente cíclico. En síntesis, las medias móviles promedian las fluctuaciones estacionales.

Para hallar esta estacionalidad, se obtuvo cocientes entre el valor pronosticado según la media móvil simple con  $n = 12$  y el valor real del peso total de cascarilla de arroz (Ver Anexo 3). Este procedimiento se facilitó al trabajar con Tablas Dinámicas en Excel.

Si solo existiera la fluctuación estacional deberían obtenerse una misma influencia para cada mes, sin embargo, esto no es así, ya que como se observa en el Anexo 3 no existe solo un efecto estacional, sino se trata de un efecto combinado. Por tanto, dada la situación, se trata de eliminar la irregularidad calculando los promedios sin irregularidades y los factores estacionales.

Los promedios sin irregularidades son obtenidos eliminando previamente los valores altos o bajos. En la Tabla 13 se muestra los factores estacionales promedios sin irregularidad.

**Tabla 13: Factor de estacionalidad promedio de la producción de cascarilla de arroz**

<b>Mes de campaña</b>	<b>Factor de estacionalidad</b>
Enero	1,001
Febrero	0,884
Marzo	0,916
Abril	0,926
Mayo	0,973
Junio	1,029
Julio	1,194
Agosto	0,992
Setiembre	1,002
Octubre	1,031
Noviembre	1,077
Diciembre	1,185
<b>Total</b>	<b>12,211</b>

Así mismo, se ajustó cada factor promedio multiplicándolo por el factor de estacionalidad  $K$  con el propósito de obtener índices de estacionalidad. Estos sirven para distinguir los periodos donde el valor de la variable en análisis está por encima o por debajo de su valor promedio. La siguiente ecuación muestra el cociente entre el número de observaciones y la sumatoria de los factores promedios.

$$K = \frac{\text{Número de observaciones por periodo}}{\sum \text{factores promedios}}$$

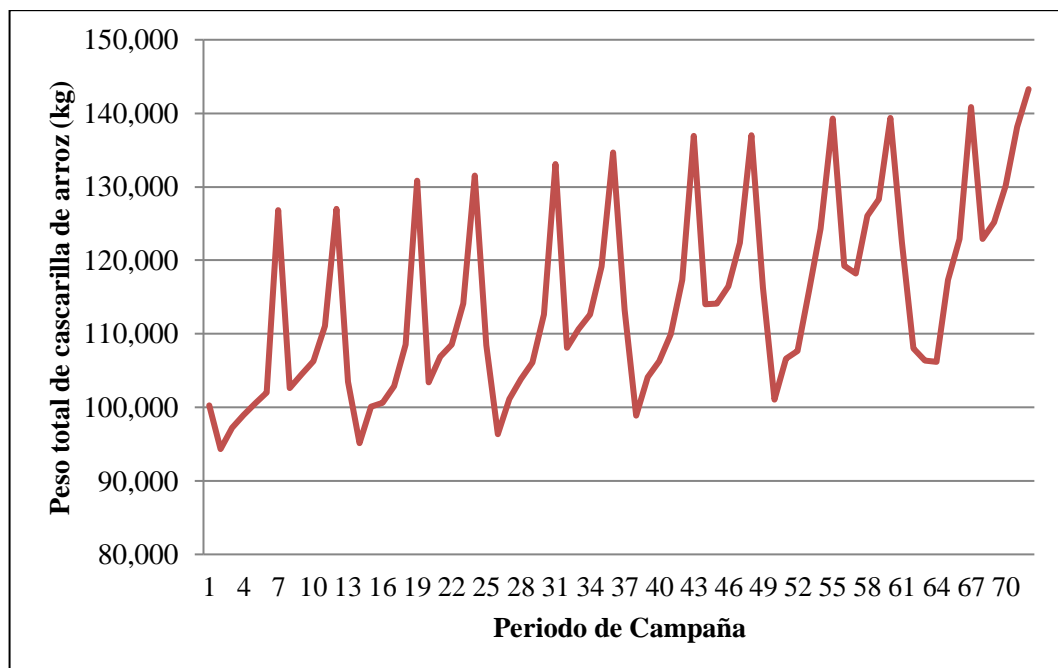
$$K = \frac{12}{12,211} = 0,983$$

En la Tabla 14 se muestra el índice de estacionalidad correspondiente a cada mes del año.

**Tabla 14: Índice de estacionalidad de la producción de cascarilla de arroz**

Mes de campaña	Índice de estacionalidad
Enero	0,984
Febrero	0,869
Marzo	0,901
Abril	0,910
Mayo	0,956
Junio	1,012
Julio	1,173
Agosto	0,975
Setiembre	0,985
Octubre	1,013
Noviembre	1,058
Diciembre	1,164

Para la segunda parte, se procedió a analizar la tendencia de la serie de tiempo ajustando los datos a una regresión lineal, puesto que este modelo es óptimo para patrones de demanda con tendencia (creciente o decreciente). Esto quedó evidenciado con los datos brindados por la empresa como se muestra en la *Figura 18*.



**Figura 18: Tendencia de producción de cascarilla de arroz 2012 – 2017**

Fuente: Piladora La Merced S.R.L., 2018

Se supone una tendencia lineal, donde la variable en estudio es el peso total de cascarilla de arroz (variable dependiente) en función del periodo de campaña (variable independiente). La siguiente ecuación muestra esta relación:

$$y = 355,38 x + 101\ 494$$

Donde:

y: Peso total de cascarilla de arroz (kg)

x: Periodo de campaña (mes)

En la tercera parte, se halló la variación cíclica, pues permite calcular el valor esperado o pronosticado cuando existen fluctuaciones periódicas de la serie de tiempo, esto generalmente como resultante de la influencia de fenómenos de naturaleza económica. Este componente refleja comportamientos recurrentes, aunque no tienen por qué ser exactamente periódicos, con un periodo superior a un año.

En el *Anexo 4* se muestra el factor cíclico para cada periodo mediante el cociente entre el promedio móvil hallado con  $n = 12$  y la tendencia expresada en la ecuación anterior. El factor cíclico es expresado de la siguiente manera:

$$Factor\ cíclico_t = \frac{Promedio\ móvil_t}{Tendencia_t}$$

Seguidamente, se calculó el factor cíclico promedio, ya que al igual que el factor estacional, se tiene distintos valores para cada periodo de campaña. Este procedimiento se facilitó al trabajar con Tablas Dinámicas en Excel obteniendo así los siguientes resultados mostrados en la *Tabla 15*.

**Tabla 15: Factor cíclico promedio de producción de cascarilla de arroz**

Mes de campaña	Factor cíclico
Enero	0,983
Febrero	0,983
Marzo	0,982
Abril	0,980
Mayo	0,978
Junio	0,978
Julio	0,978
Agosto	0,977
Setiembre	0,977
Octubre	0,977
Noviembre	0,977
Diciembre	0,978
<b>Total</b>	<b>11,747</b>

Finalmente, se calculó los pronósticos de producción de cascarilla de arroz para las próximas campañas 2018 - 2023 con la ecuación planteada para el método de descomposición, que está afectado por los factores de tendencia, estacionalidad y cíclico, los cuales se muestran en la *Tabla 16*, donde en diciembre del 2023 se tendrá la mayor producción mensual de cascarilla de arroz en la empresa, la cual bordeará los 173 776 kg.

**Tabla 16: Pronóstico de producción de cascarilla de arroz mensual (kg)**

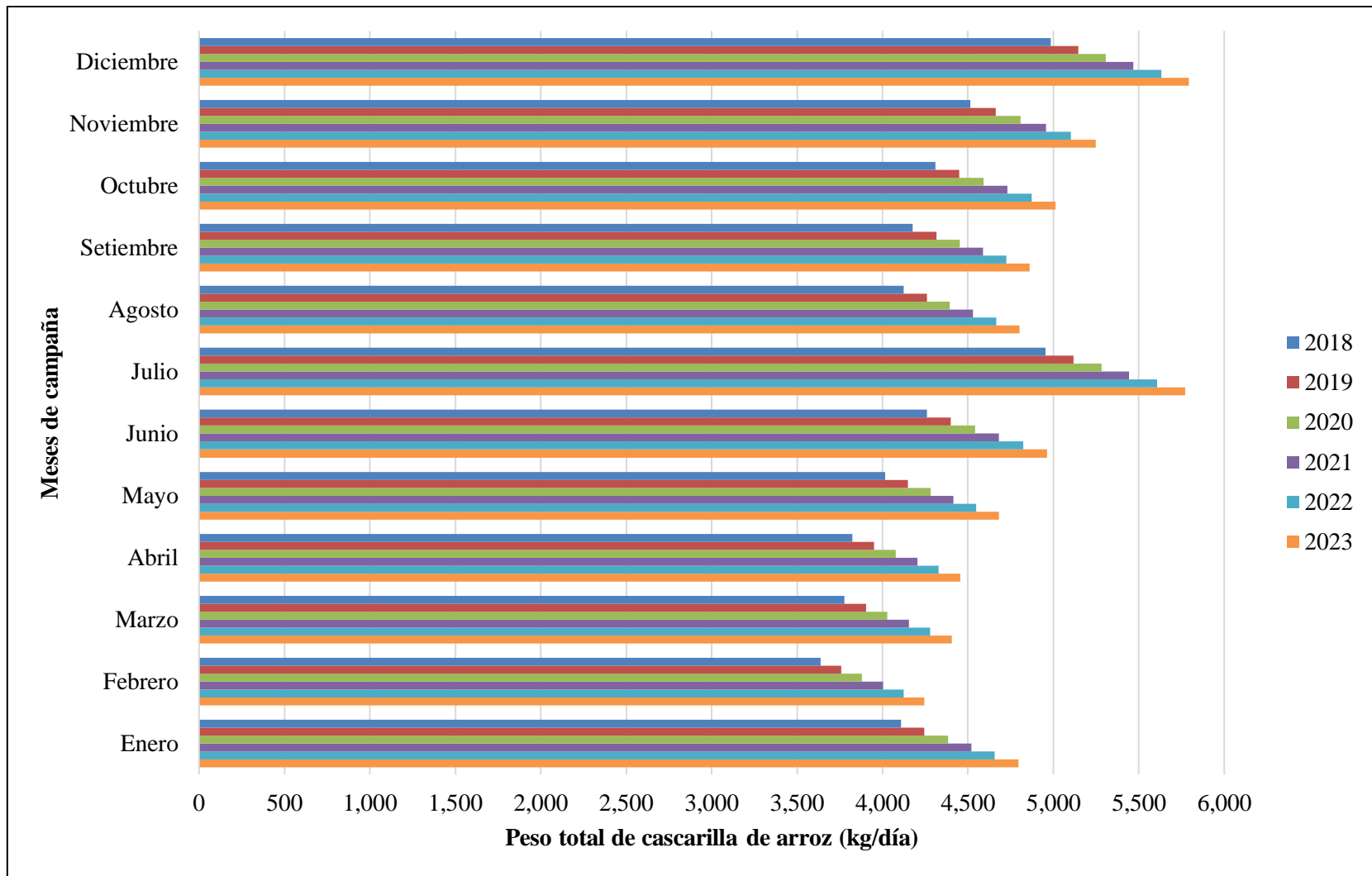
<b>Campaña</b>	<b>2018</b>	<b>2019</b>	<b>2020</b>	<b>2021</b>	<b>2022</b>	<b>2023</b>
Enero	123 226	127 349	131 473	135 597	139 720	143 844
Febrero	109 136	112 778	116 420	120 062	123 704	127 346
Marzo	113 318	117 089	120 860	124 631	128 402	132 173
Abril	114 669	118 474	122 280	126 085	129 890	133 696
Mayo	120 493	124 481	128 468	132 456	136 444	140 432
Junio	127 806	132 024	136 242	140 460	144 678	148 896
Julio	148 649	153 541	158 434	163 327	168 219	173 112
Agosto	123 710	127 771	131 831	135 892	139 953	144 013
Setiembre	125 331	129 433	133 536	137 638	141 741	145 843
Octubre	129 294	133 514	137 735	141 956	146 177	150 398
Noviembre	135 432	139 841	144 251	148 660	153 069	157 478
Diciembre	149 505	154 359	159 213	164 067	168 922	173 776
<b>Total</b>	<b>1 520 568</b>	<b>1 570 655</b>	<b>1 620 743</b>	<b>1 670 831</b>	<b>1 720 919</b>	<b>1 771 006</b>

La cascarilla de arroz es considerada actualmente como un residuo agroindustrial, que por su baja densidad ocupa grandes volúmenes y crea un problema a la hora de depositarlo, ya que provoca afectaciones al medio ambiente, pues al ser quemados al aire libre generan una ceniza contaminante para el suelo provocando afectaciones como polvo y partículas que sobrevuelan por toda la ciudad, trayendo malestar a la población, contaminación del aire nivel local y a la comunidad.

La eliminación de volúmenes considerables de cascarilla de arroz es un problema actual en los molinos de la zona norte del país, por lo que la cascarilla de arroz pronosticada deberá ser aprovechada o utilizada, bajo vías medioambientales, para el beneficio propio de la empresa.

Por otra parte, es necesario conocer la disponibilidad diaria de esta materia prima en Piladora La Merced S.R.L., ya que de ello dependerá el diseño del sistema de generación de biogás y de electricidad que se pretende plantear en los próximos años. Como se mencionó en el apartado de levantamiento de cargas, se tomará como referencia 30 días para cada mes de campaña, ya que se considerará las programaciones extras que se puedan dar en los distintos meses de campaña.

En la *Figura 19* se tiene un panorama de la producción futura de cascarilla arroz diaria en Piladora La Merced S.R.L.



**Figura 19: Pronóstico de producción de cascarilla de arroz diaria**

### 3.2.3. Pronóstico del requerimiento de energía para motores de producción

Para determinar el requerimiento de energía futuro, se realizó el mismo procedimiento realizado para el pronóstico de producción de cascarilla de arroz, donde se halló un cociente entre el valor pronosticado y el valor real del consumo de energía (*Ver Anexo 5*) para así determinar el factor de estacionalidad mensual (*Ver Tabla 17*).

**Tabla 17: Factor de estacionalidad promedio del requerimiento de energía de los motores**

<b>Mes de campaña</b>	<b>Factor de estacionalidad</b>
Enero	0,977
Febrero	0,875
Marzo	0,917
Abril	0,940
Mayo	0,969
Junio	1,011
Julio	1,211
Agosto	0,988
Setiembre	1,001
Octubre	1,030
Noviembre	1,061
Diciembre	1,193
<b>Total</b>	<b>12,173</b>

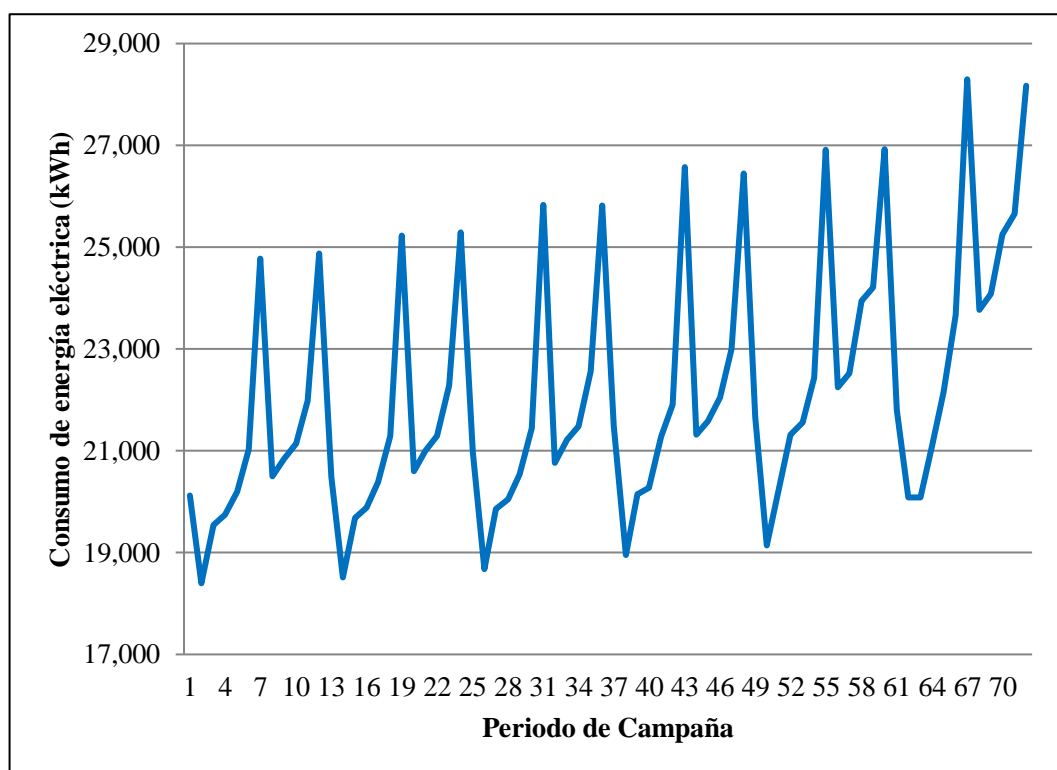
Además, se ajustó cada factor promedio, multiplicándolo por el factor de estacionalidad  $K$  para la obtención del índice de estacionalidad (*Ver Tabla 18*).

$$K = \frac{12}{12,173} = 0,986$$

**Tabla 18: Índice de estacionalidad de requerimiento de energía de los motores**

<b>Mes de campaña</b>	<b>Índice de estacionalidad</b>
Enero	0,964
Febrero	0,862
Marzo	0,904
Abril	0,927
Mayo	0,955
Junio	0,997
Julio	1,194
Agosto	0,973
Setiembre	0,987
Octubre	1,016
Noviembre	1,046
Diciembre	1,176

Seguidamente, se procedió a analizar la tendencia de la serie de ajustando los datos a una regresión lineal. Esto quedó evidenciado con los datos brindados por la empresa sobre el consumo de energía de los motores ubicados en el área de producción como se muestra en la *Figura 20*.



**Figura 20: Tendencia de consumo de energía campañas 2012-2017**

Fuente: Electronorte S.A., 2018

La siguiente muestra la relación entre el consumo de energía eléctrica de los motores de producción (variable dependiente) y el periodo de campaña de arroz pilado (variable independiente).

$$y = 53,22 x + 20\ 149$$

Donde:

y: Consumo de energía de motores (kWh)

x: Periodo de campaña (mes)

A continuación, en el *Anexo 6* se muestra el factor cíclico para cada periodo mediante el cociente entre el promedio móvil hallado con  $n = 12$  y la tendencia expresada en la ecuación anterior. En seguida, se calculó el factor cíclico promedio para cada periodo de campaña como se muestra en la *Tabla 19*.

**Tabla 19: Factor cíclico promedio del requerimiento de energía de motores**

Mes de campaña	Factor cíclico promedio
Enero	0,985
Febrero	0,984
Marzo	0,983
Abril	0,981
Mayo	0,980
Junio	0,979
Julio	0,978
Agosto	0,978
Setiembre	0,979
Octubre	0,979
Noviembre	0,979
Diciembre	0,980

Finalmente, se calculó los pronósticos del requerimiento de energía para las campañas 2018 - 2023 con la del método de descomposición, los cuales se muestran en la *Tabla 20*, donde en julio del 2023 se alcanzará el mayor consumo de energía en la empresa con 32 164 kWh.

**Tabla 20: Pronóstico del requerimiento de energía de motores del área de producción (kWh)**

Campaña	2018	2019	2020	2021	2022	2023
Enero	22 810	23 417	24 023	24 629	25 235	25 841
Febrero	20 438	20 980	21 522	22 064	22 605	23 147
Marzo	21 449	22 016	22 584	23 151	23 719	24 286
Abril	21 987	22 568	23 148	23 729	24 309	24 889
Mayo	22 684	23 282	23 879	24 477	25 075	25 672
Junio	23 707	24 330	24 953	25 576	26 199	26 822
Julio	28 435	29 181	29 927	30 672	31 418	32 164
Agosto	23 249	23 857	24 466	25 074	25 683	26 291
Setiembre	23 615	24 231	24 848	25 465	26 081	26 698
Octubre	24 367	25 002	25 637	26 271	26 906	27 541
Noviembre	25 162	25 816	26 470	27 124	27 778	28 433
Diciembre	28 363	29 099	29 835	30 571	31 306	32 042
<b>Total</b>	<b>286 266</b>	<b>293 778</b>	<b>301 291</b>	<b>308 803</b>	<b>316 315</b>	<b>323 827</b>

### 3.2.4. Pronóstico del importe de energía de motores de producción

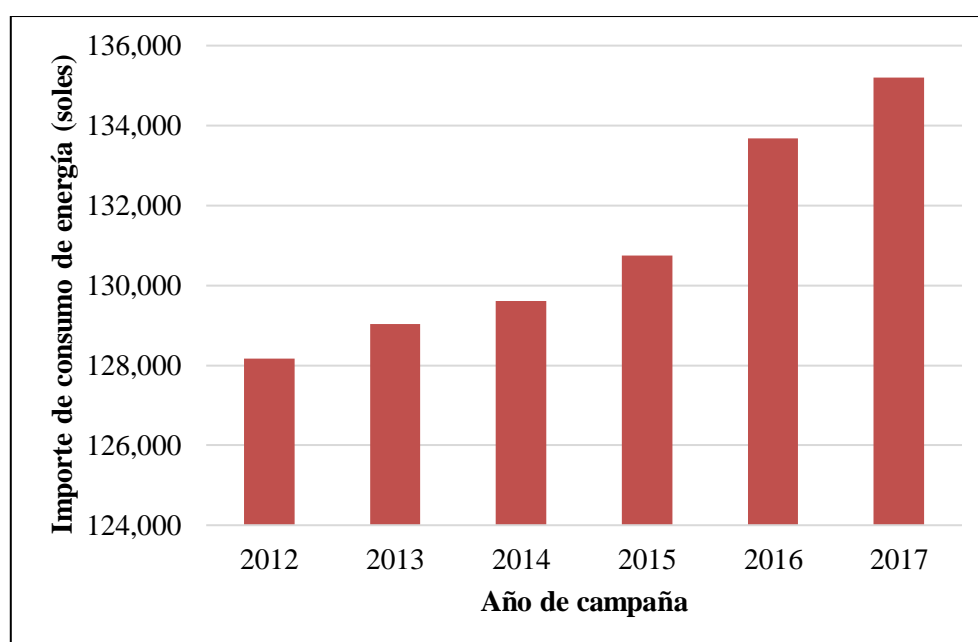
Para este caso, se empleó la regresión lineal como método de pronóstico, pues ambas variables analizadas están estrechamente relacionadas. Esto se evidencia en el coeficiente de correlación, el cual es de 0,97. Así mismo, se obtuvo la siguiente ecuación que muestra la relación entre el importe del consumo de energía de motores (variable dependiente) y el periodo de campaña (variable independiente) (Ver Figura 21).

$$y = 1\,434,10x + 126\,053$$

Donde:

y: Importe del consumo de energía de motores (kWh)

x: Periodo de campaña (año)



**Figura 21: Tendencia del importe de consumo de energía eléctrica 2012-2017**

Fuente: Electronorte S.A., 2018

Por último, se calculó los pronósticos del importe de consumo de energía para los motores en las campañas 2018 – 2023 como se muestra en la *Tabla 21*, donde en el año 2023 se alcanzará los 143 262 soles.

**Tabla 21: Pronóstico del importe de consumo de energía de motores**

Año de campaña	Importe de consumo de energía (S/.)
2018	136 092
2019	137 526
2020	138 960
2021	140 394
2022	141 828
2023	143 262

### 3.2.5. Generación de biogás a partir de cascarilla de arroz pronosticada

En un estudio realizado sobre “*Análisis comparativo de las características fisicoquímicas de la cascarilla de arroz*” obtenida por investigaciones realizadas en las universidades de Canadá, California, China y Colombia como punto de partida para la realización del proyecto de transformación de la biomasa arroceras en energía eléctrica y térmica, se concluyó que existe una igualdad entre los rangos de las características fisicoquímicas de la cascarilla de arroz para estas regiones (Valverde, Sarria y Monteagudo 2007). Esto nos da a entender que no habría inconvenientes en la selección de las relaciones propuestas en los estudios.

Por otra parte, la investigación “*Estudios cinéticos de la producción de biogás por hongos a partir de determinados residuos agrícolas*”, se basó en la degradación anaeróbica de la cascarilla de arroz, donde a través del experimento realizado se obtuvo una tasa de producción de biogás de 47 cm<sup>3</sup>/g.día equivalente a 0,047 m<sup>3</sup>/kg.día (Bishir y Ekwenchi 2012). Este biogás contiene 62,50% de metano en su composición y 9,20% de H<sub>2</sub>S (Ver Tabla 22).

**Tabla 22: Composición de biogás a partir de cascarilla de arroz**

Componente	Fórmula	Porcentaje
Metano	CH <sub>4</sub>	62,50
Dióxido de carbono	CO <sub>2</sub>	28,30
Ácido sulfhídrico	H <sub>2</sub> S	9,20

Fuente: Bishir y Ekwenchi, 2012

Tomando como referencia que cada 1 kg de cascarilla de arroz produce 0,047 m<sup>3</sup> de biogás al día (Bishir y Ekwenchi 2012). En la *Tabla 23* se observa que se obtendría entre 180 a 272 m<sup>3</sup> de biogás diarios aproximadamente durante los próximos 6 años, si se utilizara toda la cascarilla pronosticada.

**Tabla 23: Producción de biogás a de partir cascarilla de arroz (m<sup>3</sup>/día)**

Campaña	2018	2019	2020	2021	2022	2023
Enero	193	200	206	212	219	225
Febrero	171	177	182	188	194	200
Marzo	178	183	189	195	201	207
Abril	180	186	192	198	203	209
Mayo	189	195	201	208	214	220
Junio	200	207	213	220	227	233
Julio	233	241	248	256	264	271
Agosto	194	200	207	213	219	226
Setiembre	196	203	209	216	222	228
Octubre	203	209	216	222	229	236
Noviembre	212	219	226	233	240	247
Diciembre	234	242	249	257	265	272
<b>Total</b>	<b>2 382</b>	<b>2 461</b>	<b>2 539</b>	<b>2 618</b>	<b>2 696</b>	<b>2 775</b>

### 3.2.6. Generación de energía eléctrica a partir de biogás pronosticado

La necesidad de alternativas de producción energética sumado a la ejecución de prácticas amigables con el ambiente y el aprovechamiento de los recursos crea una oportunidad para la implementación de la tecnología de biodigestores para la producción de biogás.

La generación de electricidad a partir de biogás como fuente de energía alternativa constituye un pilar en el mix de tecnologías renovables. En la actualidad, su uso como fuente de combustible local es una realidad, pues se está obteniendo impactos positivos como la disminución de las emisiones de gases contaminantes y la importancia de sustituir las tradicionales fuentes energéticas no renovables, que son escasas y costosas.

Para determinar la energía eléctrica que se puede generar a partir del biogás pronosticado en el punto anterior, es necesario conocer el poder calorífico referido a la cantidad de energía por unidad de masa o volumen de cualquier materia que puede desprender al producirse una reacción química. Se tomó como referencia el PCI del metano, que de acuerdo con estudios como de (Lombarte 2011) y (Fachagentur Nachwachsende Rohstoffe 2013) su valor se encuentra en 9,97 kWh/m<sup>3</sup> que, sumado al rendimiento de biogás y porcentaje de metano en este combustible, se tiene la siguiente ecuación:

$$\text{Generación de energía} = n_{\text{biogás}} \times \%CH_4 \times PCI_{CH_4}$$

Donde:

$n_{\text{biogás}}$ : Rendimiento de biogás a partir de cascarilla de arroz

$\%CH_4$ : Porcentaje de metano en el biogás

$PCI_{CH_4}$ : Poder calorífico del metano

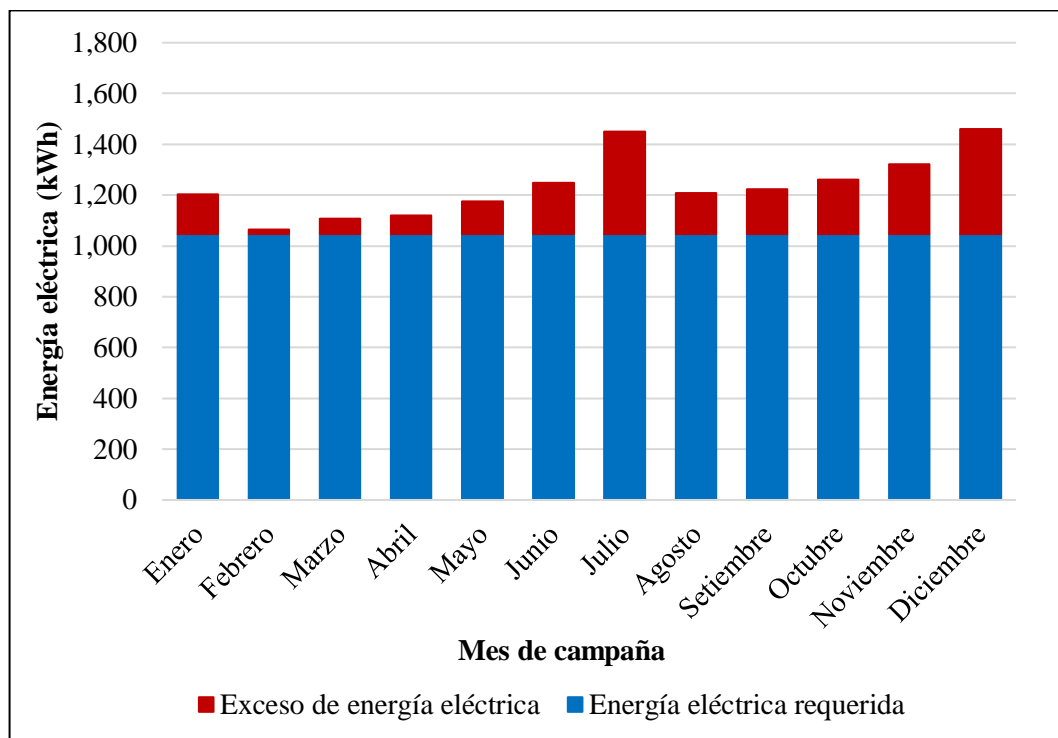
$$\text{Generación de energía} = 0,047 \frac{m^3 \text{ biogás}}{kg \text{ cascarilla}} \times 0,625 \frac{m^3 CH_4}{m^3 \text{ biogás}} \times 9,97 \frac{kWh}{m^3 CH_4}$$

$$\text{Generación de energía} = 0,293 \frac{kWh}{kg \text{ cascarilla}}$$

Por tanto, se concluye que 1 kg de cascarilla de arroz podrá generar 0,293 kWh de energía eléctrica, representando una oportunidad para la generación de electricidad en los motores ubicados en el área de producción de Piladora La Merced S.R.L.

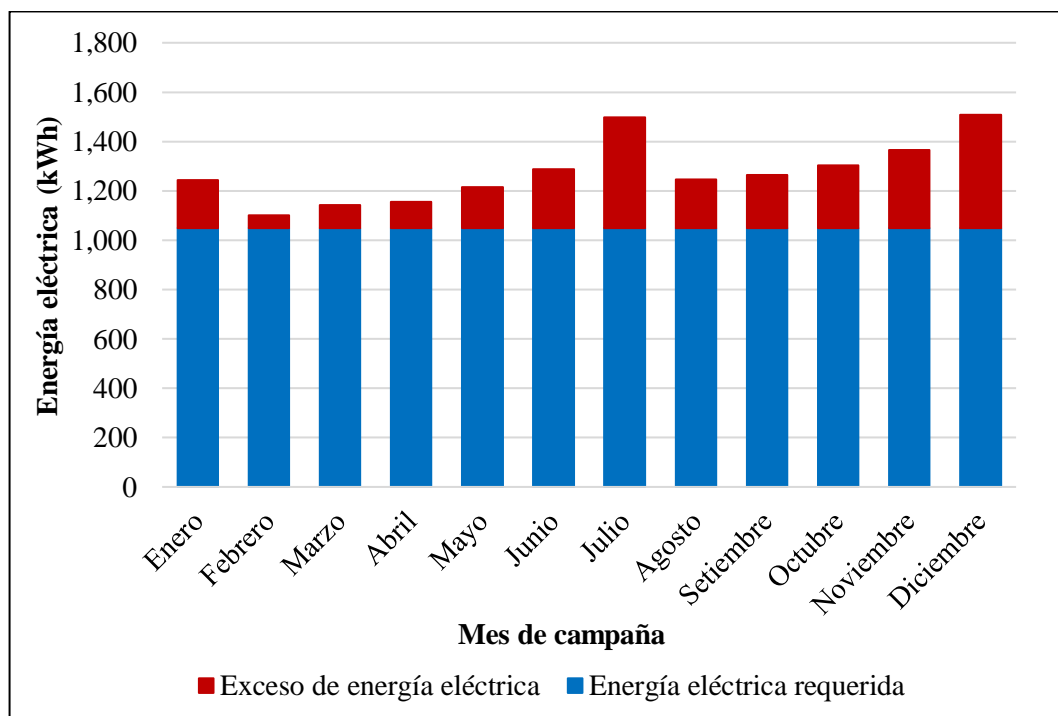
En las siguientes figuras se muestran un análisis del pronóstico de energía eléctrica para las campañas 2018 hasta 2023, si en caso se emplearan todo el biogás proyectado en el apartado anterior.

En La *Figura 22*, se observa el pronóstico de energía eléctrica para el año 2018, donde en el mes de Febrero existe apenas un exceso de 18 kWh, el cual es equivalente al motor de 5,5 HP de la mesa rotatoria 1 trabajando a 6 horas diarias.



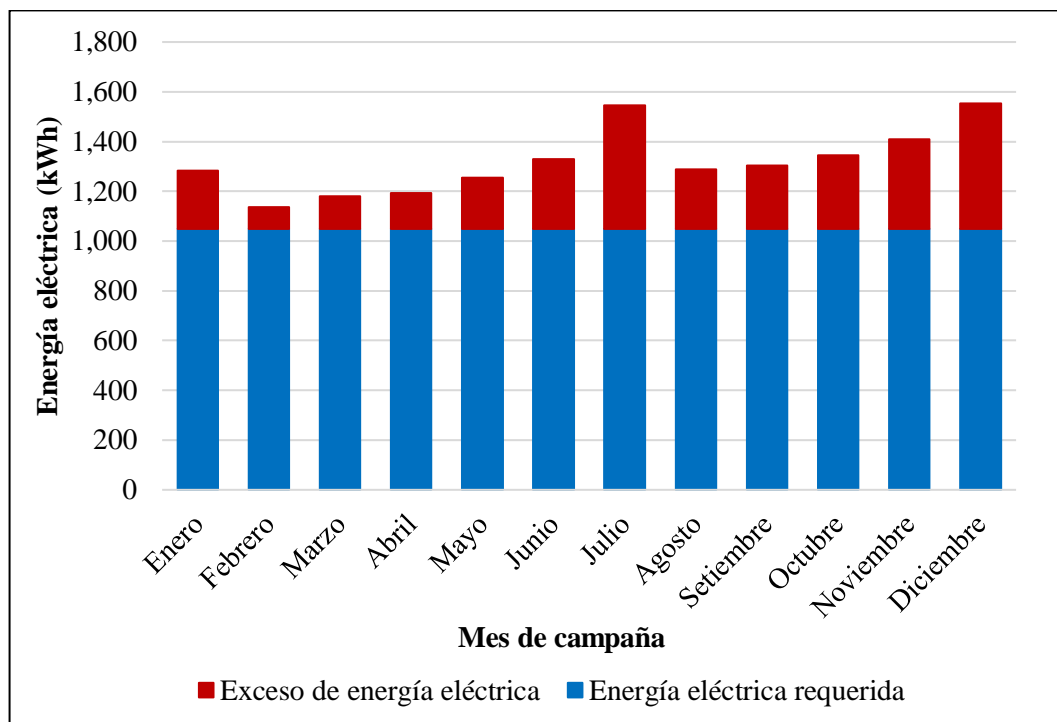
**Figura 22: Demanda de energía eléctrica para el año 2018**

En la *Figura 23*, se observa el pronóstico de energía eléctrica para el año 2019, donde existe exceso de energía eléctrica en todos los meses de la campaña, teniendo en julio un sobrante de 451 kWh y en diciembre 459 kWh.



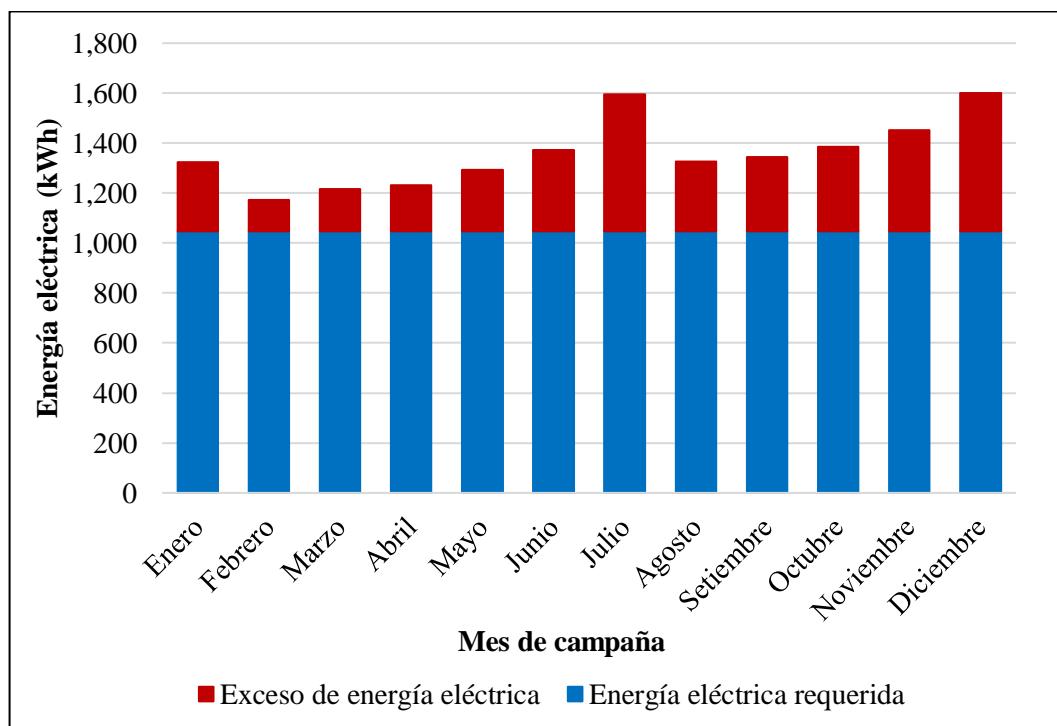
**Figura 23: Demanda de energía eléctrica para el año 2019**

En la *Figura 24*, se observa el pronóstico de energía eléctrica para el año 2020, donde en el mes de diciembre existe un exceso de 506 kWh, el cual representa aproximadamente la mitad de la energía necesaria para la producción de pilado.



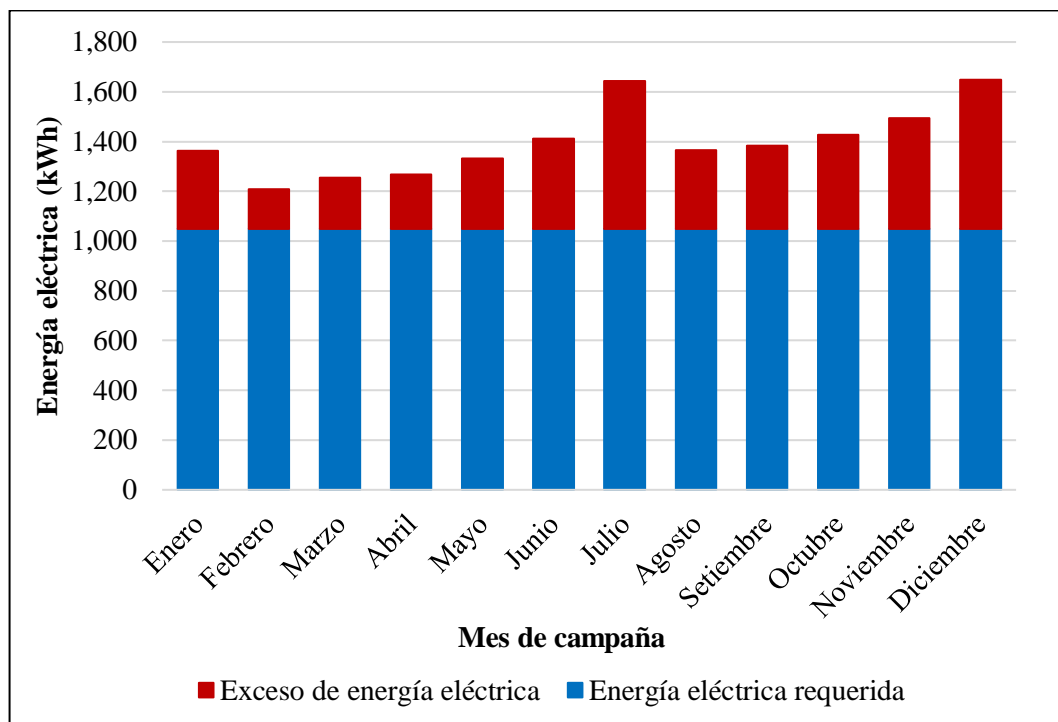
**Figura 24: Demanda de energía eléctrica para el año 2020**

En la *Figura 25*, se observa el pronóstico de energía eléctrica para el año 2021, donde se proyecta en la campaña de mayo a julio un exceso de 1 115 kWh, mientras que en la campaña de octubre a diciembre un exceso de 1 295 kWh.



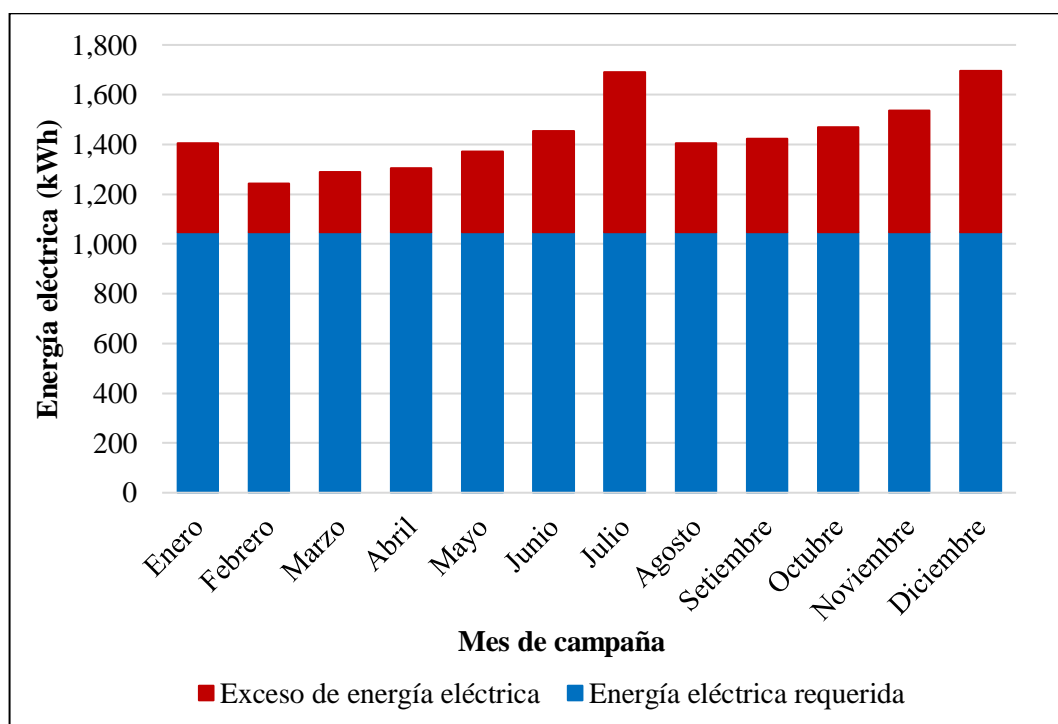
**Figura 25: Demanda de energía eléctrica para el año 2021**

En la *Figura 26*, se observa el pronóstico de energía eléctrica para el año 2022, donde existe exceso de energía eléctrica en todos los meses de la campaña, pues la energía total varía entre 1 243 kWh y 1 696 kWh.



**Figura 26: Demanda de energía eléctrica para el año 2022**

En la *Figura 27*, se observa el pronóstico de energía eléctrica para el año 2023, donde existe exceso de energía eléctrica en cada mes de campaña, estos excesos superan los 195 kWh, los cuales podrían ser vendidos a la red pública o algunas empresas que atraviesen de problemas de déficit electricidad.



**Figura 27: Demanda de energía eléctrica para el año 2023**

### **3.3. Identificación y selección del sistema de generación de biogás a partir de la cascarilla de arroz en la Piladora La Merced S.R.L.**

#### **3.3.1. Ubicación del sistema de generación de biogás**

La ubicación desempeña un papel importante para el manejo y operación del funcionamiento del sistema de generación de biogás, además de ahorrar costes de transporte y materiales, y facilitar la construcción. De acuerdo (Hernández 2014) los principales aspectos para ubicar este sistema son los siguientes:

- Seleccionar el lugar más cercano posible a la fuente de materia prima, en este caso al área de producción.
- Tratar que la topografía del terreno permita el cargado de la planta por gravedad y que favorezca la extracción del biol.
- En el lugar debe existir una fuente de agua para realizar la mezcla y mantener la limpieza de la planta.
- Se debe evitar el contacto con el manto freático, para prevenir las filtraciones hacia el interior o la contaminación del manto.
- En esta área es imprescindible eliminar escombros, plantas, raíces o cualquier otro elemento.

Por su parte, el sistema de generación de electricidad y los elementos asociados se tendrán que colocar lo más cerca posible al sistema de generación de biogás. Esto facilitará el suministro de combustible a la vez que evita los costes asociados al transporte. Así mismo, las instalaciones del molino disponen de un amplio terreno que podría albergar a estos dos sistemas.

Por esto, es necesario implementarlos en una ubicación exterior al área de producción, pues de acuerdo con (Hernández 2014) esto ofrece diversas ventajas como:

- Evacuación sencilla de los gases de combustión, ya que en caso de una ubicación cerrada se requeriría de un circuito aislado para expulsar los gases al exterior.
- No es necesaria la instalación de conductos de refrigeración y ventilación. El calor desprendido por el equipo puede ser liberado directamente al ambiente.
- Se evita acondicionar un habitáculo en el interior de la empresa para albergar al sistema. Por otra parte, se debe instalar el mismo en una ubicación exterior tan solo se debe disponer una cubierta que proteja la máquina del polvo y las inclemencias meteorológicas como la radiación solar entre otras.
- Se reducen las intromisiones por ruido al personal que se encuentra trabajando en la empresa.

### 3.3.2. Elección del tipo de biodigestor

#### 3.3.2.1. Comparación entre los diferentes tipos de biodigestores

Conocido el potencial de biogás para los próximos años en la empresa, se seleccionó la tecnología de generación de biogás que se consideraría más adecuada en el presente proyecto, y posteriormente utilizar los resultados para dimensionar el sistema.

Para el caso de la Piladora La Merced S.R.L. se consideró como principales alternativas tres tipos de biodigestores, los cuales son los más difundidos en países en vías de desarrollo: biodigestor de cúpula fija (modelo chino), biodigestor de cúpula flotante (modelo hindú) y el biodigestor de polietileno tubular (modelo taiwán).

Además, más del 80% de las plantas de biogás difundidas en el mundo pertenecen a estos tipos de diseño, cuyos nombres derivan de los países en los cuales se realizaron los primeros modelos que posteriormente se difundieron de forma masiva. Otro motivo responde a que son relativamente de bajo costo (Hernández 2014).

La ubicación del molino es otro de los factores que se obtuvo en cuenta en esta preselección, pues estos son los más usados en zonas tropicales o subtropicales. En la *Figura 28* se muestran algunas experiencias a nivel latinoamericano.

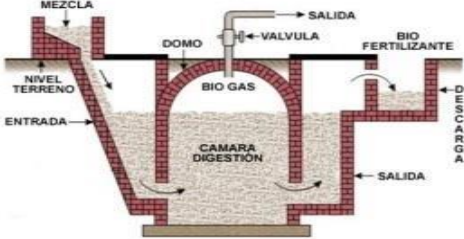
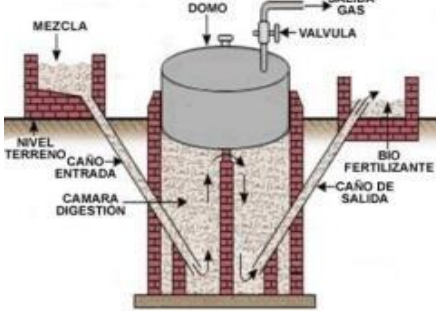
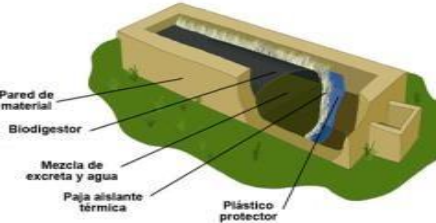


**Figura 28: Experiencias de biodigestores en Latinoamérica**

Fuente: Hernández, 2014

A continuación, se muestra en la *Tabla 24* la comparación entre los 3 biodigestores seleccionados resaltando sus ventajas y desventajas para su diseño.

**Tabla 24: Comparación entre diferentes tipos de biodigestores**

Tipo de Biodigestor	Ventajas	Desventajas
<p><i>Biodigestor Domo Fijo o Modelo Chino</i></p> 	<ul style="list-style-type: none"> <li>✓ Costes iniciales bajos.</li> <li>✓ Larga vida útil hasta 20 años.</li> <li>✓ No presenta partes móviles ni oxidables.</li> <li>✓ Elevada flexibilidad de tamaño.</li> <li>✓ La construcción crea empleo local.</li> <li>✓ Almacenamiento de gas interno grande.</li> <li>✓ No tiene restricciones para materia prima.</li> <li>✓ Producción de biogás es de 0,1 m<sup>3</sup> a 0,4 m<sup>3</sup> de biogás de digestor.</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>✓ Presión de gas no constante.</li> <li>✓ Afecta a la eficiencia de los equipos.</li> <li>✓ Puede ser la causa de fugas debido a los esfuerzos cíclicos que se presentan en las paredes del biodigestor.</li> <li>✓ Gas producido no es apreciable a la vista.</li> <li>✓ Funcionamiento de la planta no es rápidamente comprensible.</li> <li>✓ La excavación puede ser costosa en rocas.</li> </ul>
<p><i>Biodigestor Domo Flotante o Modelo Hindú</i></p> 	<ul style="list-style-type: none"> <li>✓ Fáciles de entender y utilizar.</li> <li>✓ Presión del gas constante</li> <li>✓ Los escapes de gas no son un problema siempre que el tambor sea pintado y desoxidado.</li> <li>✓ Alta eficiencia de 0,5 a 1 v<sub>gas</sub>/v<sub>biodigestor</sub>.</li> <li>✓ El tamaño depende si es uso familiar, mediano, gran escala.</li> <li>✓ Almacenamiento de gas interno mediano.</li> <li>✓ Materia prima: residuos con mucha fibra pueden causar problemas en la cúpula.</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>✓ Costes de construcción y mantenimiento de la campana altos, si ésta es metálica.</li> <li>✓ Campana expuesta a corrosión si no es de acero inoxidable.</li> <li>✓ Mantenimiento intensivo ya que se tiene que pintar y quitar el óxido.</li> <li>✓ Vida útil baja, en zonas tropicales unos 5 años.</li> <li>✓ Si se utilizan sustancias fibrosas, la campana tiende a quedar pegada en la escoria flotante.</li> </ul>
<p><i>Biodigestor Tubular de plástico</i></p> 	<ul style="list-style-type: none"> <li>✓ Modelo estandarizado y a bajo coste.</li> <li>✓ Apropiado para zonas con alto nivel freático.</li> <li>✓ Altas temperaturas de digestión en climas cálidos.</li> <li>✓ Fácil limpieza, vaciado y mantenimiento.</li> <li>✓ Tipo de residuo: aguas residuales de cualquier sector, evitando uso de desechos sólidos.</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>✓ Normalmente se necesitan bombas para aumentar la presión del gas.</li> <li>✓ La escoria no puede ser sacada mientras está funcionando.</li> <li>✓ Tiene una vida útil baja, y es susceptible a daños mecánicos.</li> <li>✓ Almacenamiento de gas interno pequeño.</li> </ul>

Fuente: Bueso, Samayoa y Viquez, 2012

### **3.3.2.2. Criterios para selección del tipo biodigestor**

Para tomar la decisión del tipo de biodigestor que se seleccionará, se tomó en cuenta 8 criterios. Con estos se evaluó la importancia relativa de cada factor con respecto a otro mediante una matriz de enfrentamiento (*Ver Tabla 25*).

#### **a. Tipo de materia prima**

La materia prima con que se cargará el biodigestor será cascarilla de arroz, subproducto del proceso industrial del arroz.

#### **b. Mantenimiento**

El desempeño de la empresa estará en la calidad del mantenimiento que se dé al biodigestor, pues es de suma importancia planificarlo y programarlo, y así no incurrir en repuestos.

#### **c. Inversión**

Representado por todos los factores técnicos medibles en dinero, que intervienen en el sistema de generación de biogás. Se tratará de buscar el menor costo de inversión para la implementación del biodigestor.

#### **d. Vida útil**

Referida a la duración estimada para el sistema de generación de biogás, cumpliendo correctamente con la función para el cual ha sido creado, es decir de abastecer de energía eléctrica en el proceso productivo.

#### **e. Seguridad**

Es la medida que se orienta y consciente a proteger a las personas, los bienes de la empresa, los procesos y el ambiente de trabajo, transformándose en una poderosa arma competitiva.

#### **f. Capacidad de carga**

Referida al almacenamiento de materia prima en el biodigestor, pues algunos pueden ser relativamente pequeños, medianos, grandes y elevada flexibilidad al tamaño requerido.

#### **g. Complejidad del método**

Este factor corresponde al funcionamiento de cada tipo de biodigestor, pues varían según el modelo o flujo que siguen, siendo fáciles de entender hasta muy complejos.

#### **h. Rendimiento del biodigestor**

Cada tipo de biodigestor es capaz de producir cierta cantidad de biogás al día, por ello se tendrá que evaluar la eficiencia en la producción de este componente gaseoso para la producción de electricidad.

**Tabla 25: Matriz de enfrentamiento para elección del biodigestor**

<b>Factores</b>	<b>Tipo de Materia Prima</b>	<b>Mantenimiento</b>	<b>Inversión</b>	<b>Vida útil</b>	<b>Seguridad</b>	<b>Capacidad de carga</b>	<b>Complejidad del método</b>	<b>Rendimiento de biodigestor</b>	<b>Conteo</b>	<b>Ponderación</b>
<b>Tipo de Materia Prima</b>		0	0	0	1	1	1	1	4	9%
<b>Mantenimiento</b>	1		1	1	1	1	1	0	6	14%
<b>Inversión</b>	1	1		1	1	1	1	1	7	17%
<b>Vida útil</b>	1	1	1		1	1	1	1	7	17%
<b>Seguridad</b>	1	1	0	1		1	1	1	6	14%
<b>Capacidad de carga</b>	1	0	0	1	0		1	0	3	7%
<b>Complejidad del método</b>	1	0	0	0	0	1		0	2	5%
<b>Rendimiento de biodigestor</b>	1	1	1	1	1	1	1		7	17%
<b>TOTAL</b>									<b>28</b>	<b>100%</b>

El desarrollo de esta matriz de enfrentamiento se realizó asignando un valor de 1 a aquel factor más importante con el que se comparó, y valor de 0 a aquel factor menos importante. En casos de importancia equivalente, ambos factores obtuvieron el valor de 1.

### 3.3.2.3. Resultados de la elección del biodigestor

Para la elección del biodigestor, se realizó una calificación en escala creciente de acuerdo con la factibilidad del ítem a evaluar, desde deficiente con una escala de 1 a 2 hasta excelente con una escala de 9 a 10 como se observa en la *Tabla 26*.

**Tabla 26: Escala de calificación**

Valoración	Escala
Excelente	9-10
Muy bueno	7-8
Bueno	5-6
Regular	3-4
Deficiente	1-2

Este método realizó un análisis cuantitativo en el que se compararon entre sí las diferentes alternativas para determinar uno o varios biodigestores válidos, pues el objetivo del estudio no es buscar el mejor biodigestor sino el biodigestor más aceptable para el residuo.

En la *Tabla 27* se observa la ponderación asignada a los biodigestores de domo fijo o modelo Chino, domo flotante o modelo Hindú y tubular de plástico o modelo Taiwán con respecto a los factores de mantenimiento, inversión, seguridad, vida útil, capacidad de carga, complejidad del método y rendimiento del biodigestor, obteniendo así los siguientes resultados:

**Tabla 27: Factores ponderados para la elección del biodigestor**

Criterios de evaluación	Ponderación (%)	Biodigestor Chino	Biodigestor Hindú	Biodigestor Taiwán
Tipo de materia prima	9%	10	4	5
Mantenimiento	14%	8	5	8
Inversión	17%	7	5	7
Seguridad	17%	6	8	8
Vida útil	14%	10	4	3
Capacidad de carga	7%	5	8	8
Complejidad del método	5%	4	8	8
Rendimiento del biodigestor	17%	6	9	5

Una vez asignada la escala de calificación, se deberá realizar la puntuación total para cada alternativa mediante la suma de las puntuaciones para cada factor ponderado según su importancia relativa. Esto es representado mediante la siguiente fórmula:

$$C = \sum \frac{W_i x P_i}{100}$$

Donde:

$W_i$ : Peso del factor  $i$

$P_i$ : Puntuación del factor  $i$

En la *Tabla 28* se observa los resultados obtenidos mediante el método de factores ponderados, donde la puntuación de cada uno de los biodigestores se indica a continuación:

**Tabla 28: Resultados de elección de biodigestor**

<b>Criterios de evaluación</b>	<b>Biodigestor chino</b>	<b>Biodigestor hindú</b>	<b>Biodigestor tubular</b>
Tipo de materia prima	0,90	0,36	0,45
Mantenimiento	1,12	0,70	1,12
Inversión	1,19	0,85	1,19
Seguridad	1,02	1,36	1,36
Vida útil	1,40	0,56	0,42
Capacidad de carga	0,35	0,56	0,56
Complejidad del método	0,20	0,40	0,40
Rendimiento del biodigestor	1,02	1,53	0,85
<b>Total</b>	<b>7,20</b>	<b>6,32</b>	<b>6,35</b>

Por lo tanto, el biodigestor de cúpula fija o modelo chino es la mejor opción para la instalación del sistema de generación de biogás en la empresa Piladora La Merced S.R.L.

### 3.3.3. Elección de la tecnología de aprovechamiento del biogás

Existen diversas tecnologías para la generación de electricidad a partir de biogás, sin embargo, el grupo electrógeno se considera la opción más adecuada en el presente proyecto. El motivo principal de la elección radica en que se trata de la tecnología más adecuada al combustible que se va a emplear.

Por otra parte, los beneficios que conllevan la generación de biogás y su uso como energía han propiciado el desarrollo de esta tecnología. Además, la vida útil del equipo será presumiblemente mayor que en otras tecnologías por encontrarse adecuado a funcionar con biogás y se contará con una garantía por parte de la empresa que suministra el equipo, cosa que se pierde en el caso de emplear un equipo que se modifique para el empleo de biogás (Labiano 2014).

### 3.3.3.1. Comparación entre grupos electrógenos

En la *Tabla 29* se muestra una comparación entre 2 grupos electrógenos seleccionados resaltando sus principales características.

**Tabla 29: Comparación de grupos electrógenos**

<b>Criterios</b>	<b>Grupo Electrónico Modelo: MD-180</b>	<b>Grupo Electrónico Modelo: 180GF-RZ</b>
Dimensiones	2,625 m x 0,95 m x 1,568 m	3,226 m x 1,12 m x 1,63 m
Peso neto	1 720 kg	4 000 kg
Proveedor	Modasa	Shengli Power Machinery
Cubierta de ionización	No incluye	Incluye
Vida útil	10 años	12 años
Factor de potencia	0,8	0,8
Costo total	S/. 190 000	S/. 225 000

### 3.3.3.2. Criterios para la selección del grupo electrógeno

Para tomar la decisión del grupo electrógeno a escoger se tuvo en cuenta 5 criterios. Con estos se evaluó la importancia relativa de cada factor con respecto a otro mediante una matriz de enfrentamiento (*Ver Tabla 30*).

#### a. Inversión

Representa el costo para la adquisición del grupo electrógeno que transformará el biogás a energía eléctrica, se tratará de buscar la menor inversión.

#### b. Seguridad

Se refiere a la medida consciente de proteger a las personas, en este caso primará el grupo electrógeno que tenga cubierta de ionización con el fin de reducir el ruido que se emana.

#### c. Vida útil

Duración estimada para el funcionamiento del grupo electrógeno, cumpliendo correctamente con la función para el cual ha sido creado.

#### d. Relación con el proveedor

La relación con el proveedor del grupo electrógeno es importante, puesto que ella dependerá la adquisición de este equipo.

#### e. Dimensionamiento

El tamaño y el peso del grupo electrógeno influirán en el sistema de aprovechamiento de biogás, pues se tendrá que evaluar el espacio para instalarlo.

**Tabla 30: Matriz de enfrentamiento para elección del grupo electrógeno**

<b>Factores</b>	<b>Inversión</b>	<b>Seguridad</b>	<b>Vida útil</b>	<b>Relación con el proveedor</b>	<b>Dimensionamiento</b>	<b>Conteo</b>	<b>Ponderación</b>
<b>Inversión</b>		1	1	1	1	4	29%
<b>Seguridad</b>	1		1	1	1	4	29%
<b>Vida útil</b>	1	1		1	1	4	29%
<b>Relación con el proveedor</b>	0	0	0		1	1	7%
<b>Dimensionamiento</b>	0	0	0	1		1	7%
<b>TOTAL</b>						<b>14</b>	<b>100%</b>

### 3.3.3.3. Resultados de la elección del grupo electrógeno

El grupo electrógeno sufre pérdidas de energía por emisión de calor con su entorno más próximo. Si se pone en el caso de una instalación interior, la ventilación del ambiente en donde se encuentre el equipo generador es necesaria para proporcionar aire de combustión al motor y así eliminar el calor emitido por el equipo y las emisiones de gases tóxicos (Labiano 2014).

Sin embargo, para el caso de una instalación exterior como Piladora La Merced S.R.L., el problema de la ventilación desaparece, pues el calor se disipa mediante convección natural, debido a que por mucho calor que se presente en el ambiente, nunca se alcanzarán temperaturas elevadas que impidan la transferencia de calor del equipo con su entorno.

Por otra parte, el ruido de un equipo generador durante su funcionamiento, de no ser tratado, se puede aproximar a los 100 dB. Sin embargo, el nivel de ruido permitidos es menor a 85 dB. Además, el ruido del equipo se puede amplificar dependiendo de las condiciones del sitio.

Esta información será tomada en cuenta para el caso del molino, en donde el ruido del generador puede ser molesto para los trabajadores y la población que habita esta zona. Para evitar estos problemas será necesario adquirir una cubierta que reducirá el ruido del grupo electrógeno.

Los grupos electrógenos se pueden adquirir con cubiertas atenuadoras de sonido, pues forman un espacio cerrado alrededor del conjunto generador y reducen de forma efectiva el nivel de ruido producido por la máquina. El precio de la cubierta está directamente relacionado con la atenuación de sonido, es decir cuanto mayor sea la atenuación de ruido que se logre, mayor será el costo de la cubierta.

En la *Tabla 31* se observa la ponderación asignada a los grupos electrógenos modelo MD-180 y modelo 180GF-RZ con respecto a los factores de inversión, seguridad, vida útil, relación con el proveedor y dimensionamiento obteniendo los siguientes resultados:

**Tabla 31: Factores ponderados para la elección del grupo electrógeno**

<b>Criterios de evaluación</b>	<b>Ponderación (%)</b>	<b>Modelo MD-180</b>	<b>Modelo 180GF-RZ</b>
Inversión	29%	8	6
Seguridad	29%	4	10
Vida útil	29%	6	8
Relación con proveedor	7%	9	7
Dimensionamiento	7%	9	7

En la *Tabla 32* se observa los resultados obtenidos mediante el método de factores ponderados, donde la puntuación de cada grupo electrógeno se indica a continuación:

**Tabla 32: Resultados de elección del grupo electrógeno**

<b>Criterios de evaluación</b>	<b>Modelo MD-180</b>	<b>Modelo 180GF-RZ</b>
Inversión	2,32	1,74
Seguridad	1,16	2,90
Vida útil	1,74	2,32
Relación con proveedor	0,63	0,49
Dimensionamiento	0,63	0,49
<b>Total</b>	<b>6,48</b>	<b>7,94</b>

Por lo tanto, el grupo electrógeno modelo 180GF-RZ es la mejor opción como tecnología de aprovechamiento de biogás.

### 3.3.4. Elección de la tecnología para depuración de H<sub>2</sub>S

#### 3.3.4.1. Comparación de métodos de depuración de H<sub>2</sub>S

El biogás es utilizado en diversos equipos eléctricos, por lo que el H<sub>2</sub>S puede causar daños internos disminuyendo así la vida útil de todos los equipos que intervienen en la producción, transferencia y suministro de energía eléctrica. En la *Tabla 33* se observa los métodos de depuración de ácido sulfhídrico:

**Tabla 33: Métodos de depuración de H<sub>2</sub>S en el biogás**

<b>Tecnología</b>	<b>Ventajas</b>	<b>Inconvenientes</b>
Carbón activado	Actúa como catalizador para convertir H <sub>2</sub> S en azufre elemental. Es necesaria la impregnación con KI, ya que es un método común para eliminar H <sub>2</sub> S.	Requiere regeneración o bien su disposición final. Costes de operación elevados. Trabaja altas presiones. La eficiencia disminuye a medida que se produce la saturación del material.
Adición de sales férricas	Operación sencilla. Eliminación hasta <150 ppm	Exceso de Fe <sup>+3</sup> puede inhibir formación biogás.
Desulfuración biológica	Los microorganismos de la familia <i>Thiobacillus</i> son utilizados para reducir el nivel de sulfitos en el biogás por oxidación. Los contenidos pueden reducirse de 3000 - 5000 ppm a 50 - 100 ppm.	Debe ser añadido oxígeno al biogás para la desulfuración biológica. El nivel necesario depende de la concentración de H <sub>2</sub> SO <sub>4</sub> , normalmente entre 2 - 6 % vol. aire en biogás.
Scrubber (lavado) con soluciones	Absorbe también el CO <sub>2</sub> .	Elevados costes de operación.
Scrubber (lavado) con soluciones alcalinas	Absorbe el H <sub>2</sub> S. Se eliminan los problemas de formación de espumas y corrosión.	El agente antiespumante hace que el equipamiento y la operación sean complicados. Consume mucha energía para el bombeo de la solución y de los gases.

Fuente: Llana, González y González, 2010

### **3.3.4.2. Elección del método de depuración de H<sub>2</sub>S**

Como se mostró anteriormente existen diferentes mecanismos para la remoción del H<sub>2</sub>S, por desgracia la mayoría de este tipo de tecnología ha sido diseñada para la industria petrolera, lo que deja al sector agroindustrial sin posibilidades de adquisición, desde el análisis económico.

De acuerdo con investigaciones como de (Viquez 2010) donde reporta la absorción del H<sub>2</sub>S a partir de compuestos de hierro. Las limallas de hierro se colocan en columnas rellenas con otros materiales como el aserrín y se humedecen con agua de manera discontinua. El proceso opera a diferentes presiones y ha permitido remover eficientemente el H<sub>2</sub>S, con un contenido de humedad de las limallas entre el 30 y 60% y un pH entre 7,5 y 8,5.

En este método es posible utilizar el óxido de hierro (III) hidratado para la purificación del biogás, la adición de cloruro de hierro (III), utilización de pellets de hierro, de residuos de la extracción de níquel, lavado con solución de hidróxido de sodio, así como otros sustratos secos como el óxido de zinc, sólidos alcalinos, entre otros.

Por tanto, se consideró que la tecnología más adecuada en el presente proyecto para la eliminación de H<sub>2</sub>S son las columnas rellenas de hierro y aserrín, revestidos para evitar su corrosión, ya que se contará con un gas purificado y el H<sub>2</sub>S quedará retenido para posteriormente ser eliminado.

La importancia de diseñar un desulfurador radica en que es extremadamente nocivo para la salud debido a su alta toxicidad, ya que puede causar daños internos por corrosión en equipos como generadores eléctricos y su combustión genera dióxido de azufre (SO<sub>2</sub>), compuesto que además de toxico es dañino para el medio ambiente (Labiano 2014).

### **3.3.5. Elección del sistema generador de electricidad**

En la actualidad, la comunidad internacional ha decidido suscribir diversos compromisos internacionales para buscar un nuevo modelo de desarrollo sostenible sin comprometer las necesidades de futuras generaciones, pues se obtendrían resultados como la casi nula emisión de CO<sub>2</sub> y otros GEI por cada MWh generado en comparación con la energía fósil, la factibilidad técnica que tienen para generar energía eléctrica en zonas aisladas y vulnerables favoreciendo el acceso a la energía y permiten la diversificación de la matriz eléctrica y disminuyen la dependencia del suministro eléctrico (Tamayo et al. 2016)

En este proyecto es necesario que se cuente con un sistema eléctrico que se encargue de hacer llegar la electricidad generada por el alternador del grupo electrógeno hasta las instalaciones de planta de la empresa. Puesto que en esta investigación no se pretende aislarse completamente de la red, se tendrá que operar en paralelo con la misma permitiendo así poder emplear la red durante las horas que no funcione el sistema generador y contar con la seguridad de suministro en caso de que el sistema generador deje de funcionar, ya que solo alimentará a los motores ubicados en planta.

### 3.3.5.1. Tipos de sistemas generadores de electricidad

En la *Tabla 34* se proporciona información de los sistemas de generación de electricidad más habituales:

**Tabla 34: Tipos de sistemas de generación de electricidad**

<b>Tipos de Sistemas</b>	<b>Descripción</b>	<b>Lugar de instalación</b>
Sistemas de emergencia obligatorios	Están diseñados para proporcionar energía e iluminación por periodos cortos y medios.	Edificios, equipo de apoyo a la vida o sistemas de comunicación e instalación.
Sistemas de emergencia opcionales	Se instalan en lugares donde la seguridad no está en riesgo, pero pueden causar pérdida económica.	Centro de datos, granjas, edificios comerciales e industriales y residencias.
Sistemas para instalaciones aisladas	Se instalan cuando no se dispone de red eléctrica que da servicio. Sustituye energía de la red pública.	Granjas, caseríos y otras zonas rurales.
Sistemas para cobertura de picos	Utiliza la generación para reducir los picos de mayor demanda de electricidad.	Industrias, residencias y edificios comerciales.
Sistemas para reducción de tarifa	Emplean la generación para llegar a acuerdos con las distribuidoras locales de electricidad.	Industrias y edificios comerciales.
Sistemas de carga de base continua	Suministra energía de manera constante por medio de un equipo sincronizado con la red pública.	Son propiedad de las distribuidoras o están bajo su control.
Sistemas de cogeneración	Utiliza la generación de electricidad para cubrir demandas de energía eléctrica y térmica.	Plantas de cogeneración

Fuente: Ministerio de Energía y Minas, 2011

### 3.3.5.2. Elección del sistema generador de electricidad

Entre los sistemas descritos anteriormente, en primer lugar, quedó descartado el sistema para instalaciones aisladas, puesto que el molino cuenta con suministro por parte de Electronorte S.A. Debido al gran potencial generador del molino, se descartó, de igual manera, la alternativa de implementar un sistema de emergencia, ya que los mismos solo se emplean en caso de fallos en la red pública.

Por otra parte, se descartó la opción de un sistema de carga de base continua, ya que se otorgaría al molino la responsabilidad de asegurar el suministro de energía eléctrica a un cliente, el cual es un rol que no le corresponde.

El sistema de cogeneración no es el adecuado para este proyecto, debido a que en las instalaciones no existe una demanda térmica obligatoria. El sistema que permite recuperar el calor del motor es muy costoso y su adquisición no se compensaría por la demanda que se pretendería cubrir.

En definitiva, solo 2 tipos de sistemas son posibles de implementar: el sistema de cobertura de picos y el sistema de reducción de tarifa. A continuación, en la *Tabla 35* se muestra la comparación entre estos dos tipos de sistemas:

**Tabla 35: Comparación entre los sistemas de generación de electricidad**

<b>Criterio</b>	<b>Sistema de cobertura de picos</b>	<b>Sistema para reducción de tarifa</b>
Objetivo del sistema	Suministra energía a una instalación durante horas de alta demanda eléctrica.	Suministra energía a la red a cambio de reducción en facturas eléctricas (descuento o venta).
Tipo de Operatividad	Permite trabajar en conjunto o aislado de la red.	Solo permite trabajar aislado de la red.
Consumo de biogás	En caso de disponer de suficiente biogás, estos no permitirán generar más electricidad.	Obligará a elegir un equipo que permita consumir la totalidad del biogás que se decida inyectar.
Rol de la empresa	Autoprodutores (produce energía eléctrica para consumo exclusivo, independiente de su proceso).	Generadores (venta electricidad) y autoprodutores (industrias que producen su electricidad).
Marco Legal	No necesita licencia y se cuenta con la certeza de que el sistema es viable legalmente.	Deberá tramitar una solicitud de autorización en el Gobierno Regional.

Fuente: Ministerio de Energía y Minas, 2011

Al analizar estos tipos de sistemas de generación, se concluyó que la opción más adecuada es el sistema para cobertura de picos, pues el propósito es autoabastecer a Piladora La Merced S.R.L. generando la energía eléctrica que demande el mismo durante las horas del proceso de producción maximizando el ahorro en las facturas eléctricas.

Entre las ventajas de emplear un sistema de cobertura de picos, según (Labiano 2014) se destacan el ahorro económico y energía primaria debido al autoabastecimiento de electricidad, garantía de suministro en caso de un posible fallo de la red eléctrica y se evitan las dificultades de conexión y temas legales que acarrearía la interacción con la red para compra - venta de energía eléctrica. Además, existen una serie de desventajas del sistema de reducción de tarifa lo que ha facilitado esta elección.

Por su parte, el sistema de reducción de tarifa, se considera un sistema viable, este no sería el adecuado, ya que el marco legal que envuelve la inyección a la red del Sistema Eléctrico Interconectad representa un obstáculo complicado de superar, pues en caso de lograrlo, el beneficio obtenido por la inyección no es muy alto debido a los bajos precios de compra de energía eléctrica de los últimos años (Ministerio de Energía y Minas 2011).

### **3.3.6. Descripción de los elementos complementarios en el sistema de generación de biogás y electricidad**

A continuación, se caracterizaron los elementos complementarios que no han intervenido en el diseño de los sistemas de generación y que son necesarios para garantizar su correcto funcionamiento (Labiano 2014):

#### **3.3.6.1. Tanque de combustible**

Su función es almacenar el biogás destinado a alimentar el grupo electrógeno. El biogás llega al tanque a través del desulfurador. Tras someter al biogás generado en el biodigestor a una remoción de su contenido en sulfuro de hidrógeno pasará a ser almacenado en el tanque de combustible.

La función de este tanque es la de recibir el biogás que se va produciendo progresivamente y almacenarlo, para que desde ahí el tren de calibración lo comprima y suministre al grupo electrógeno. Los tanques de almacenamiento de combustible emplean habitualmente materiales como el acero inoxidable o el polietileno tubular.

#### **3.3.6.2. Tren de calibración**

Su función es hacer llegar el biogás desde el tanque hasta el grupo electrógeno en las condiciones adecuadas de presión, volumen y temperatura. El biogás que se va a emplear como combustible en el grupo electrógeno debe cumplir ciertas condiciones relativas a volumen, calidad, presión de servicio, seguridad y control. Si estos parámetros no se cumplen el generador no podrá operar.

La instalación de un tren de calibración antes del ingreso del biogás en el grupo electrógeno permitirá adecuar la presión y el caudal de biogás, evitar temperaturas que impidan la combustión, controlar el encendido y el apagado del compresor, así como el cierre del paso de biogás. Dentro del tren de calibración, el elemento más importante es el compresor, ya que es el encargado de adecuar la presión para que el caudal de biogás llegue al grupo electrógeno en condiciones de hacerlo funcionar.

#### **3.3.6.3. Líneas de inyección y de retorno**

Las líneas de inyección y de retorno establecen una unión entre la alimentación del grupo electrógeno y la entrada al motor de combustión. Permiten que en última instancia el combustible sea suministrado al motor en las condiciones adecuadas para que el mismo funcione. Llevan el biogás desde el tren de calibración al motor. Por su parte, la línea de retorno se encarga de llevar de vuelta el combustible sobrante de los inyectores al tanque de almacenamiento de combustible.

#### **3.3.6.4. Sistema de escape**

Su función es llevar los productos de la combustión del motor al exterior del recinto para dispersar las emanaciones de hollín y ruido que se genera. Al estar en una ubicación exterior librarse de los productos de la combustión requiere de un sistema de escape mucho más simple que en el caso de interiores.

Los tubos empleados se separan del motor mediante conexiones flexibles capaces de tolerar las cargas por vibración, siendo además necesario colocar soportes para permitir la expansión de estas conexiones ya que un metro de tubo de acero se expande aproximadamente 1,2 mm cuando su temperatura aumenta hasta los 100 °C.

### **3.3.6.5. Interruptor de transferencia**

Se utiliza para seleccionar el circuito eléctrico del molino y separarlo de la red eléctrica. De esta forma la maquinaria pasa a ser la carga que debe alimentar la unidad generadora. Funciona de manera automática controlando la tensión de entrada a las instalaciones durante todo el día. Además, funcionará permitiendo que las cargas del molino sean alimentadas por el grupo electrógeno cuando el mismo se encuentre generando la electricidad requerida por las mismas.

El interruptor de transferencia automática detecta cuando el generador está funcionando a la velocidad correcta y cierra de forma segura la línea de servicio al tiempo que abre la línea de alimentación del generador. En segundos, el sistema generador comienza a suministrar electricidad a las cargas requeridas. Durante ese tiempo, el interruptor de transferencia continúa monitoreando las condiciones de la línea. Cuando se interrumpa el suministro eléctrico, el interruptor de transferencia automática detecta inmediatamente el problema y permite a la red alimentar a las cargas.

### **3.3.6.6. Interruptor de circuito**

Situado a la salida de la unidad generadora y que mediante su cierre permite el suministro de energía a las cargas por parte de la unidad generadora. Su finalidad es la de proteger el alternador y su instalación es de carácter opcional. En caso de disponer de él, este interruptor debe cerrarse cuando las cargas están siendo alimentadas por la red de suministro (antes de que el interruptor de transferencia se haya cerrado), es decir, cuando todas las cargas estén desconectadas del grupo electrógeno.

### **3.3.6.7. Dispositivos de protección**

El sistema deberá contar con un tablero de distribución o cuadros eléctricos, los cuales se encargan de proteger cada uno de los distintos circuitos en los que se divide la instalación empleando fusibles, protecciones magnetotérmicas y protecciones diferenciales. Se recomienda que exista un tablero principal por instalación el cual alimente a uno o más tableros secundarios.

Además, se deberá contar con protección contra sobrecorriente para conductores y equipos. Tiene el propósito de interrumpir el circuito eléctrico cuando la corriente alcanza un valor que pudiera causar una temperatura excesiva y peligrosa en el conductor o en su aislamiento. Los dispositivos empleados más comúnmente son interruptores y fusibles.

### 3.4. Diseño del sistema de generación de biogás a partir de la cascarilla de arroz para reducir costos energéticos en la Piladora La Merced S.R.L.

#### 3.4.1. Determinación de la cantidad de biogás y materia prima requerida

##### 3.4.1.1. Cálculo de la cantidad de biogás necesario

En Piladora La Merced, el requerimiento de energía para el proceso de pilado de arroz es 1 047,86 kWh/día  $\approx$  1048 kWh/día (Ver Tabla 12). Con ello, se determinó la cantidad de biogás necesario a partir de la siguiente ecuación, tomándose como referencia (Bishir y Ekwenchi 2012) donde el biogás obtenido contenía 62,5% de metano y de acuerdo con (Lombarte 2011) y (Fachagentur Nachwachsende Rohstoffe 2013) el PCI del metano es de 9,97 kWh/m<sup>3</sup>.

$$C_{biogás} = \frac{E_{req}}{PC_{CH_4} \times \%CH_4}$$

Donde:

$C_{biogás}$ : Cantidad de biogás requerido (m<sup>3</sup>/día)

$E_{req}$ : Energía diaria requerida (kWh/día)

$\%CH_4$ : Porcentaje de metano en biogás (m<sup>3</sup>/ m<sup>3</sup>)

$PC_{CH_4}$ : Poder calorífico del biogás (kWh/m<sup>3</sup>)

$$C_{biogás} = \frac{1048,00 \frac{kWh}{día}}{9,97 \frac{kWh}{m^3 CH_4} \times 0,625 \frac{m^3 CH_4}{m^3 biogás}}$$
$$C_{biogás} = 168,19 \frac{m^3}{día}$$

Por tanto, la cantidad de biogás requerido para satisfacer la demanda de energía en molino será de 168,19 m<sup>3</sup> de biogás.

##### 3.4.1.2. Cálculo de la materia prima requerida

Una vez determinado la cantidad de biogás requerido, se procedió a calcular la cantidad de cascarilla de arroz que será introducida en la cámara de carga para el proceso de digestión anaeróbica teniendo como referencia (Bishir y Ekwenchi 2012) donde el rendimiento de biogás obtenido fue de 0,047 m<sup>3</sup>/kg. Por lo que se determinó que cantidad necesaria para alimentar al biodigestor es de 3 579 kg.

$$C_{cascarilla} = \frac{C_{biogás}}{n_{biogás}}$$

Donde:

$C_{cascarilla}$ : Cantidad de cascarilla de arroz requerida (kg/día)

$C_{biogás}$ : Cantidad de biogás requerido (m<sup>3</sup>/día)

$n_{biogás}$ : Rendimiento de biogás ( $m^3/kg$ )

$$C_{cascarilla} = \frac{168,19 \frac{m^3}{día}}{0,047 \frac{m^3}{kg}}$$

$$C_{cascarilla} = 3\,578,52 \frac{kg}{día}$$

$$C_{cascarilla} \approx 3\,579,00 \frac{kg}{día}$$

### 3.4.2. Análisis del potencial de biogás

Para determinar el potencial de biogás requerido se siguió la metodología empleada por (Hernández 2014) en su investigación “*Diseño de un sistema para el aprovechamiento energético de biogás a partir de los residuos generados por el ganado vacuno en la Vaquería 101 perteneciente a la empresa pecuaria Camilo Cienfuegos (Pinar del Río, Cuba)*”.

#### 3.4.2.1. Volumen de biomasa necesaria

Para determinar el volumen de biomasa disponible se procedió a calcular la mezcla total (cascarilla de arroz + agua) que se debería cargar al biodigestor de cúpula fija. Del mismo modo realizado en el experimento de (Bishir y Ekwenchi 2012), se consideró la concentración de 1:5, es decir se mezclará 1 kg de cascarilla de arroz en 5 L de agua, puesto que la cascarilla presenta un bajo contenido de humedad (Ver Tabla 3).

La cascarilla de arroz es 1,42 veces tan pesada como el agua (Ver Tabla 3). Por lo tanto, para determinar el volumen de biomasa se empleará la ecuación siguiente:

$$V_{biomasa} = \frac{C_{cascarilla}}{\rho_{cascarilla}} + \frac{5C_{cascarilla}}{\rho_{agua}}$$

Donde:

$V_{biomasa}$ : Volumen de biomasa disponible ( $m^3$ )

$C_{cascarilla}$ : Cantidad de cascarilla de arroz disponible ( $kg/día$ )

$\rho_{cascarilla}$ : Densidad de la cascarilla de arroz ( $kg/m^3$ )

$\rho_{agua}$ : Densidad del agua ( $kg/m^3$ )

$$V_{biomasa} = \frac{3\,579,00 \frac{kg}{día}}{1\,420,00 \frac{kg}{m^3}} + \frac{5 \times 3\,579,00 \frac{kg}{día}}{1\,000,00 \frac{kg}{m^3}}$$

$$V_{biomasa} = 20,42 \frac{m^3}{día}$$

### 3.4.2.2. Volumen de biomasa en el biodigestor

Es necesario definir un tiempo de retención para el cálculo del volumen de diseño planteado. El tiempo de retorno es calculado a partir del tiempo de retención ideal afectado por un factor de corrección acorde a la temperatura promedio de la ubicación del molino arrocero, cuya lectura es mostrada en la *Figura 29*.

Al estar la empresa situada en la región Lambayeque, el clima es subtropical, por lo que se toma como tiempo ideal de retorno 20 días. Entonces, el volumen necesario corresponde al volumen capaz de almacenar la biomasa diaria concentrada durante el tiempo de retención.

$$T_{retención} = T_{ideal} \times F_{corrección}$$

Donde:

$T_{retención}$ : Tiempo de retención (días)

$T_{ideal}$ : Tiempo de retención ideal (días)

$F_{corrección}$ : Factor de corrección

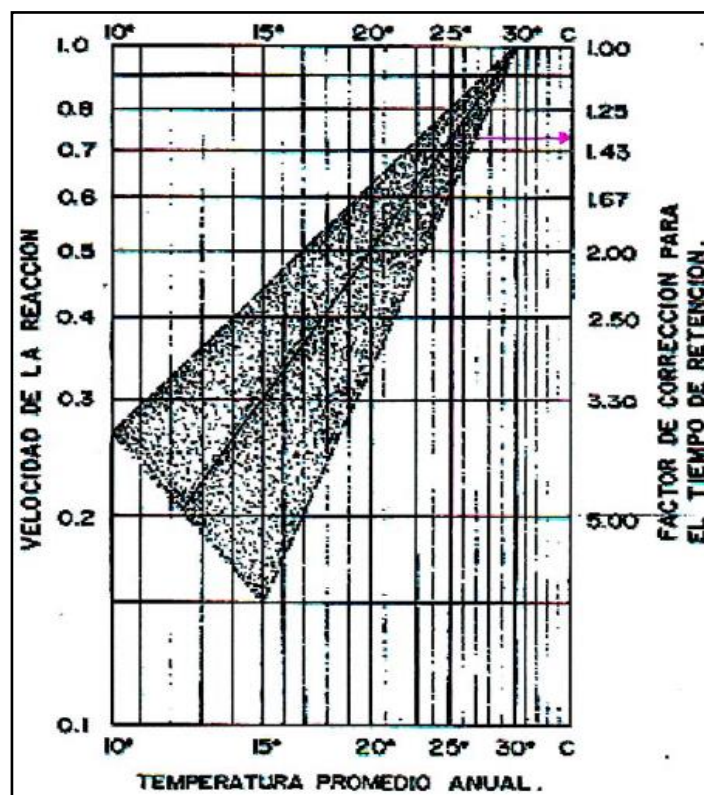


Figura 29: Lectura de factor de corrección

Fuente: Olaya y González, 2009

Entonces, al observar la figura anterior, a una temperatura de 25°C le corresponde un factor de corrección de 1,40 para el tiempo de retención.

$$T_{retención} = 20 \text{ días} \times 1,40$$

$$T_{retención} = 28 \text{ días}$$

Dado que la biomasa disponible que se introducirá en el biodigestor a diario deberá permanecer dentro de él, en un determinado tiempo de retención, esta se irá acumulando durante un periodo de 28 días.

Cumplido el tiempo de retención, al seguir introduciendo nueva mezcla en el biodigestor, la biomasa ya digerida deberá salir por la cámara de compensación al depósito de descarga, y así el volumen de biomasa dentro del biodigestor permanecerá constante. Por tanto, se tiene lo siguiente:

$$V_{biodigestor} = V_{biomasa} \times T_{retención}$$

Donde:

$V_{biodigestor}$ : Volumen de biomasa en el biodigestor ( $m^3$ )

$V_{biomasa}$ : Volumen de biomasa disponible ( $m^3$ )

$T_{retención}$ : Tiempo de retención (días)

$$V_{biodigestor} = 20,42 \frac{m^3}{día} \times 28 \text{ días}$$

$$V_{biodigestor} = 571,76 m^3$$

### 3.4.2.3. Volumen de biogás generado

Seguidamente, se procede al cálculo del volumen de biogás que produce la cantidad de biomasa que se tiene disponible, a lo largo del tiempo de retención especificado con la siguiente ecuación mostrada.

$$V_{biogás} = C_{biomasa} \times n_{biogás}$$

Donde:

$V_{biogás}$ : Volumen de biogás ( $m^3$ )

$C_{biomasa}$ : Cantidad de biomasa disponible ( $kg/día$ )

$n_{biogás}$ : Rendimiento de biogás ( $m^3/kg$ )

$$V_{biogás} = 3\,579,00 \frac{kg}{día} \times 0,047 \frac{m^3}{kg}$$

$$V_{biogás} = 168,22 m^3$$

Este valor será el volumen de biogás que se producirá en el biodigestor cada día de trabajo.

### 3.4.2.4. Volumen total del biodigestor

El volumen del biodigestor tendrá que contener tanto el volumen de la mezcla (cascarilla de arroz y agua) en proceso de fermentación anaeróbica como el biogás producido a diario a consecuencia de dicho proceso. Por tanto, el volumen interno del biodigestor será la suma de ambos volúmenes como se muestra a continuación:

$$V_{total} = V_{biodigestor} + V_{biogás}$$

Donde:

$V_{total}$ : Volumen total del biodigestor ( $m^3$ )

$V_{biodigestor}$ : Volumen de biomasa en el biodigestor ( $m^3$ )

$V_{biogás}$ : Volumen de biogás ( $m^3$ )

$$V_{total} = 571,76 m^3 + 168,22 m^3$$

$$V_{total} = 739,98 m^3$$

$$V_{total} \approx 740 m^3$$

El volumen total del biodigestor planteado será de  $740 m^3$ .

### 3.4.3. Diseño del sistema de generación de biogás

Para el dimensionamiento del sistema de generación de biogás se siguió con la metodología planteada por (Guardado 2007) en su investigación “*Diseño y construcción de plantas de biogás sencillas*” utilizando los resultados obtenidos en el potencial de biomasa de la Piladora La Merced S.R.L.

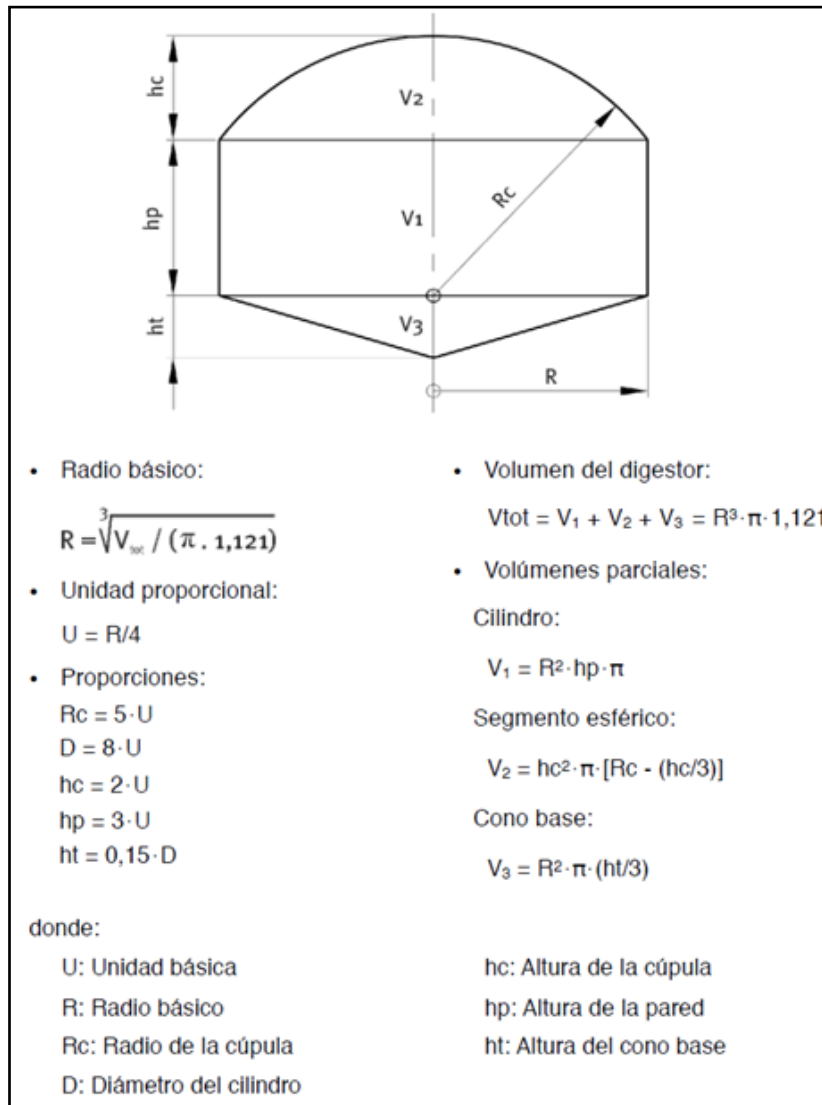
#### 3.4.3.1. Cámara de digestión

El sistema de generación de biogás estará formado por biodigestores donde se realizará el proceso de digestión anaerobia produciendo gas metano que será transformado en energía eléctrica y fertilizantes como el biol, rico en nitrógeno, fósforo y potasio.

La cámara de digestión es la parte principal de este sistema, pues marcó el dimensionamiento del resto de partes. Las fórmulas que se emplearon para el dimensionamiento de la cámara de digestión del biodigestor de modelo chino se exponen en la *Figura 30*.

Para facilitar el cálculo en esta investigación, se dividió el volumen de la cámara de digestión en tres segmentos: esférico, cilíndrico y cónico. Por otra parte, los pasos que se siguieron para el empleo de las fórmulas fueron en primer lugar, calcular el volumen total ( $V_{tot}$ ) para poder diseñar esta cámara, luego calcular el radio básico del volumen predefinido ( $R$ ), después hallar la unidad básica, en metros ( $U = R/4$ ) y finalmente determinar las proporciones ( $Rc, D, hc, hp, ht$ ) necesarias para el diseño propuesto.

De acuerdo con experiencias realizadas, el proceso de construcción de estos tipos de biodigestores es relativamente sencillo y no se requiere de mano de obra altamente calificada. Por otro lado, como no se contará con grandes excedentes de biogás, no será necesario considerar el uso de gasómetros en el proyecto.



**Figura 30: Fórmulas de dimensionamiento de la cámara digestión**

Fuente: Guardado, 2007

### 3.4.3.2. Cantidad de biodigestores

El volumen de biomasa y biogás obtenido anteriormente es posible que presente ciertos inconvenientes, pues las dimensiones del biodigestor planteado son excesivas, ocupando así gran espacio y los procedimientos para su construcción y operación se pueden complicar claramente.

Actualmente, los biodigestores con un volumen mayor a 200 m<sup>3</sup> requieren tecnologías de generación de biogás más complejas que las elegidas en el proyecto, ya que el volumen grande de la cámara de digestión hace imposible alcanzar las condiciones de operación adecuadas para el proceso.

Como solución a este problema es necesario plantear el diseño de varios biodigestores en paralelo, los cuales tendrá las mismas dimensiones y la suma de sus volúmenes será equivalente al volumen de digestión planteado en los puntos anteriores. Sin embargo, se tomará en cuenta que el número de biodigestores propuestos deberá ser el mínimo posible para asegurar su correcto funcionamiento,

En la *Tabla 36* se muestran las dimensiones que se obtienen para cada biodigestor empleando las fórmulas de la *Figura 30*, según el número de biodigestores elegidos, sabiendo que el volumen total planteado debe ser de 740 m<sup>3</sup>.

**Tabla 36: Dimensiones básicas según el número de biodigestores**

Número de biodigestores	Volumen de biodigestor (m <sup>3</sup> )	Radio del biodigestor (m)	Unidad básica (m)	Altura del biodigestor (m)
1	740,00	5,95	1,49	9,21
2	370,00	4,72	1,18	7,31
3	246,67	4,12	1,03	6,39
<b>4</b>	<b>185,00</b>	<b>3,75</b>	<b>0,94</b>	<b>5,81</b>
5	148,00	3,48	0,87	5,39

En definitiva, se concluyó que el sistema de generación de biogás en la empresa deberá estar formado por 4 biodigestores en paralelo de 185 m<sup>3</sup> cada uno. En la *Tabla 37* se observa las dimensiones del biodigestor seleccionado:

**Tabla 37: Dimensiones del biodigestor**

Dimensiones	Símbolo	Valor (m)
Radio básico	R	3,75
Unidad básica	U	0,94
Radio de la cúpula	R <sub>c</sub>	4,68
Diámetro del cilindro	D	7,49
Altura de la cúpula	h <sub>c</sub>	1,87
Altura de la pared	h <sub>p</sub>	2,81
Altura del cono base	h <sub>t</sub>	1,12

### 3.4.3.3. Cuello del biodigestor

Su función será permitir el acceso al interior del biodigestor y a su vez contará con una tubería que recogerá el biogás acumulado en el interior de la cúpula. Es decir, conectará la cámara de digestión con la superficie del terreno. Se apoya en la parte superior de la cúpula y está constituido por un muro cilíndrico donde sale el tubo de extracción de biogás, que lo conduce hasta el grupo electrógeno.

Es importante destacar que sobre el cuello se sitúa una tapa de cierre, que garantizará la hermeticidad del biodigestor, a fin de que no ocurra escape del biogás acumulado. Por ello, se colocará una tapa y posteriormente se recubrirá con una capa de 3 a 10 cm de espesor en cada uno de los extremos.

Puesto que el cuello debe permitir el acceso al interior del biodigestor, se considerará el diámetro mínimo suficiente para que una persona pueda ingresar sin problemas. El valor de la abertura del diámetro será de 0,8 m, dado la dimensión del biodigestor planteado.

### 3.4.3.4. Cámara de carga

La mezcla será almacenada en la cámara de carga antes de su ingreso a los biodigestores en paralelo, con el fin de diluir la cascarilla de arroz con agua. Esta cámara estará abierta a la atmósfera para facilitar la colocación de este subproducto en la superficie por gravedad y así ser extraído manualmente.

Esta cámara de carga contará con un tanque de mezcla y desarenador, donde la mezcla pasará del tanque al desarenador, que cuenta con una suave pendiente para que los sólidos más densos se almacenen en el fondo y puedan retirarse de la mezcla por el conducto correspondiente.

#### a. Tanque de mezcla

En esta parte del sistema, se realizará la mezcla cascarilla de arroz - agua que se introducirá posteriormente al biodigestor con frecuencia diaria. En cualquier tipo de planta, se debe considerar un volumen interno mayor que el volumen de carga (volumen de biomasa disponible) el cual será entre 10% a 20%.

Al contar con 4 biodigestores en el sistema, se optó por tener 2 cámaras de carga, que estarán conectadas con dos biodigestores en paralelo. Por tanto, para el cálculo del volumen del tanque de mezcla se tomará un margen de seguridad del 15% respecto al volumen de carga diaria. Así mismo, como se tendrá dos cámaras de carga, ambas compartirán las mismas dimensiones como se muestra a continuación:

$$V_{tanque} = \frac{1,15 V_{biomasa}}{2}$$

Donde:

$V_{tanque}$ : Volumen del tanque de mezcla ( $m^3$ )

$V_{biomasa}$ : Volumen de biomasa disponible ( $m^3$ )

$$V_{tanque} = \frac{1,15(20,42 m^3)}{2}$$

$$V_{tanque} = 11,74 m^3$$

Obtenido el volumen del tanque de mezcla, se procedió a hallar el diámetro mediante la siguiente ecuación, teniendo en consideración que la altura del tanque será de 1,12 m (*Ver Tabla 37*).

$$A = \sqrt{\frac{4V_{tanque}}{(1,12 m)\pi}}$$

Donde:

A: Diámetro del tanque de mezcla (m)

$V_{tanque}$ : Volumen del tanque de mezcla ( $m^3$ )

$$A = \sqrt{\frac{4(11,74 \text{ m}^3)}{(1,12 \text{ m})\pi}}$$

$$A = 3,65 \text{ m}$$

### b. Desarenador

Tiene como función evitar que materiales inertes como piedras, palos, metales puedan ser arrastrados por el sustrato cuando ingrese al biodigestor. El diseño del suelo del desarenador contará con una pequeña inclinación hacia el lado opuesto del tubo de carga, por donde los materiales inertes puedan descender por gravedad y será conveniente dejar una abertura para evacuarlos.

El tubo que comunica el desarenador con el biodigestor tendrá un diámetro de 15 cm. El extremo que conecta en el biodigestor estará a cierta altura del fondo, para evitar que el material sedimentado lo obstruya. Así mismo, se colocará un sistema para tapar el tubo de descarga y el de evacuación de sedimentos mientras se esté realizando la mezcla.

Dado que cada cámara de carga debe alimentar a dos biodigestores del sistema, se deberá dividir en dos el caudal de la mezcla antes que ingrese a los biodigestores. Para ello, se coloca en el último tramo del desarenador una pared divisoria y dos tubos de carga, que alimentarán cada biodigestor. Ambos tendrán un diámetro de 10 cm, y el extremo que entra en la cámara de digestión estará a 1 m de altura sobre el fondo.

### 3.4.3.5. Tanque de compensación

La carga diaria de mezcla introducida al biodigestor es sometida al proceso de digestión anaerobia produciendo biogás. A la salida del biodigestor, se obtiene un líquido ya digerido el cual sirve como un excelente fertilizante llamado biol. Inicialmente este era considerado un producto secundario, sin embargo, en la actualidad está adquiriendo gran importancia debido a que mejora el rendimiento de las cosechas.

El tanque de compensación tiene forma cilíndrica y un volumen equivalente al volumen de gas contenido en la cúpula esférica de la cámara de digestión ( $V_2$ ), ya que el volumen de mezcla que pasa al tanque es el que desaloja el biogás al formarse, el cual se acumula en la cúpula esférica de la cámara de digestión. Para ello se emplea la siguiente ecuación, extraída de la *Figura 30*.

$$V_2 = h_c^2 \times \pi \times \left[ R_c - \frac{h_c}{3} \right]$$

$$V_{tc} = (1,87\text{m})^2 \cdot \pi \cdot \left[ 4,68\text{m} - \frac{1,87\text{m}}{3} \right]$$

$$V_{tc} = 44,70 \text{ m}^3$$

El radio del tanque de compensación se toma igual al de la cámara de digestión ( $R$ ). La altura se calcula mediante la ecuación que se muestra a continuación extraída de la *Figura 30*, sustituyendo el volumen de la cúpula esférica y añadiendo un margen de seguridad de 20 cm de altura.

$$h = \frac{V_{tc}}{\pi \cdot R^2} + 0,2$$

Donde:

$h$ : Altura del tanque de compensación (m)

$V_{tc}$ : Volumen del tanque de compensación ( $m^3$ )

$R$ : Radio de la cámara de digestión (m)

$$h = \frac{41,07 m^3}{\pi \cdot (3,64m)^2} + 0,2m$$

$$h = 1,21 m$$

El biol es un abono orgánico líquido que se origina a partir de la descomposición de materiales orgánicos, en ausencia de oxígeno. Son rentables ecológica y económicamente, pues contiene nutrientes que son asimilados fácilmente por las plantas haciéndolas más resistentes.

De acuerdo (Bishir y Ekwenchi 2012) en su experimento realizado en Nigeria se obtuvo un rendimiento del 68% de biolíquido con respecto a la biomasa utilizada. Entonces para determinar el abono que se obtendrá como máximo para el diseño de este sistema se tiene:

$$C_{biol} = C_{cascarilla} \times n_{biol}$$

Donde:

$C_{biol}$ : Biol generado diariamente (kg/día)

$C_{cascarilla}$ : Cantidad de cascarilla de arroz requerida (kg/día)

$n_{biol}$ : Rendimiento del biol ( $m^3$ biol/ $m^3$ cascarilla)

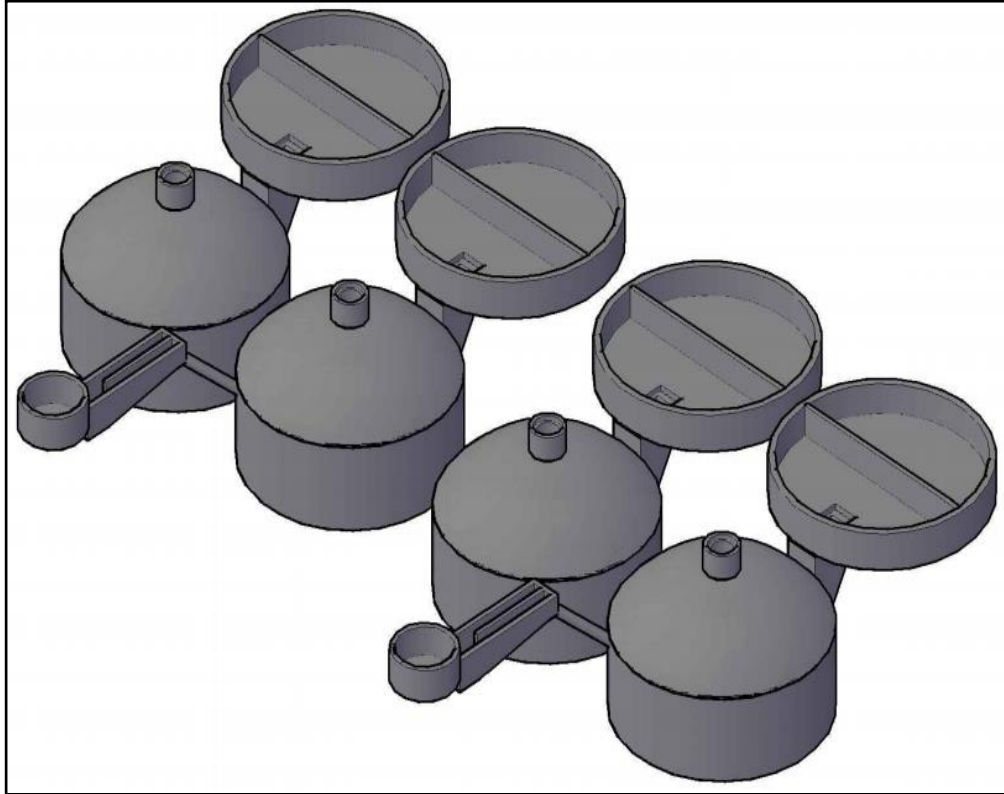
$$C_{biol} = 3\,579,00 \frac{kg\ cascarilla}{día} \times 0,68 \frac{kg\ biol}{kg\ cascarilla}$$

$$B_{biol} = 2\,433,72 \frac{kg\ biol}{día}$$

La cascarilla de arroz generará biogás y a su vez permitirá obtener una gran cantidad de biol, el cual deberá ser almacenado para su uso como abono o su venta. En el biodigestor diseñado, el biol saldrá por la acción de la presión del biogás generado y pasará al tanque de compensación. En un futuro, sería necesario excavar una laguna en la que se pueda depositar el biol.

### 3.4.3.6. Sistema completo

En conclusión, el sistema estará formado por 4 biodigestores en paralelo, cada uno de ellos con la cámara de compensación correspondiente. Sin embargo, la cámara de carga será común para 2 biodigestores. En la *Figura 31* se puede observar el sistema integrado.



**Figura 31: Biodigestores de Piladora La Merced S.R.L.**

### 3.4.3.7. Desulfurador

Dado que el biogás será el combustible que se empleará para la generación de electricidad, es de suma importancia garantizar que el mismo no contenga compuestos que vayan a dañar física o químicamente el equipo escogido. Por tanto, se tendrá que diseñar un desulfurador con el fin de eliminar el ácido sulfhídrico ( $H_2S$ ). Este biocombustible es transportado por medio de una bomba de vacío a través de este filtro.

De acuerdo con la *Tabla 22* de composición de biogás brindado por (Bishir y Ekwenchi 2012), se puede obtener la cantidad de metano ( $CH_4$ ) que se produce, pues este representa el 62,5% del volumen del biogás, así mismo el  $H_2S$  representa el 9,2 %. Conociendo estos datos se puede calcular el volumen de  $CH_4$  y del  $H_2S$  para proceder al diseño del desulfurador.

A continuación, se calculó el flujo volumétrico para el conjunto total de los biodigestores empleando la siguiente ecuación:

$$\dot{V} = \frac{V}{t}$$

Donde:

$\dot{V}$ : Flujo volumétrico del componente ( $m^3/h$ )

$V$ : Volumen del componente ( $m^3$ )

$t$ : Tiempo (h)

$$\dot{V}_{biogás} = 168,19 \frac{m^3}{día} \times \frac{1 día}{10h} = 16,82 \frac{m^3}{h}$$

$$\dot{V}_{CH_4} = 16,82 \frac{m^3}{h} \times 0,625 = 10,51 \frac{m^3}{h}$$

$$\dot{V}_{H_2S} = 16,82 \frac{m^3}{h} \times 0,092 = 1,55 \frac{m^3}{h}$$

Una vez encontrado el volumen para cada componente, se halló el flujo másico de cada uno empleando la siguiente ecuación, que para el caso del  $H_2S$  se multiplicó por la densidad de  $1,539 \text{ kg/m}^3$  a CNPT (Facultad de Química UNAM 2016), y para el  $CH_4$  de  $0,717 \text{ kg/m}^3$  a CNPT (Messer 2016).

$$\dot{m} = \dot{V} \times \rho$$

Donde:

$\dot{m}$ : Flujo másico del compuesto ( $kg/h$ )

$\dot{V}$ : Flujo volumétrico compuesto ( $m^3/h$ )

$\rho$ : Densidad del compuesto ( $kg/m^3$ )

$$\dot{m}_{CH_4} = 10,51 \frac{m^3}{h} \times 0,717 \frac{kg}{m^3} = 7,54 \frac{kg}{h}$$

$$\dot{m}_{H_2S} = 1,55 \frac{m^3}{h} \times 1,539 \frac{kg}{m^3} = 2,38 \frac{kg}{h}$$

Para el caso del flujo másico del biogás se tomó como referencia el porcentaje en peso de metano.

$$\dot{m}_{biogás} = \frac{7,54 \text{ kg/h}}{0,625} = 12,06 \frac{kg}{h}$$

En la *Tabla 38* muestra las cantidades de flujo de masa y volumen que se producirán en cada biodigestor.

**Tabla 38: Resumen de las cantidades de flujo másico y volumétrico por biodigestor**

Gases producidos	Flujo de masa (kg/h)	Flujo volumétrico ( $m^3/h$ )
Biogás	3,01	4,20
Metano	1,88	2,63
$H_2S$	0,60	0,39

En el presente proyecto, se consideró la construcción de 1 desulfurador para poder acoger el biogás proveniente de los 4 biodigestores, lo que significa un total de 2,38 kg H<sub>2</sub>S/h. Diversos experimentos a escala industrial demuestran que la capacidad del desulfurador es en promedio 0,35 kgS/kgFe (Montalvo y Guerrero 2003).

Según la composición química del H<sub>2</sub>S, para un total de 2,38 kg H<sub>2</sub>S corresponde 2,24 kgS/h o lo que es lo mismo 22,41 kgS/día. Por tanto, la capacidad de eliminación de la columna está dada por:

$$CE_{Fe} = CE_S \times n_{Fe \rightarrow S}$$

Donde:

$CE_{Fe}$ : Capacidad de eliminación de hierro (kg/día)

$CE_S$ : Capacidad de eliminación de azufre (kg/día)

$n_{Fe \rightarrow S}$ : Rendimiento de eliminación de hierro por azufre (kg/kg)

$$CE_{Fe} = 22,41 \frac{kgS}{día} \times \frac{1 kgFe}{0,35 kgS}$$

$$CE_{Fe} = 64,02 \frac{kgFe}{día}$$

Entonces, para obtener el volumen de hierro se divide por la densidad de este de 7 860 kg/m<sup>3</sup> (Agapito 2007) y se multiplica por 60 días (2 meses laborales) obteniendo el siguiente resultado:

$$V_{Fe} = \frac{CE_{Fe}}{\rho_{Fe}} \times d$$

Donde:

$V_{Fe}$ : Volumen de hierro en desulfurador (m<sup>3</sup>)

$CE_{Fe}$ : Capacidad de eliminación de hierro (kg/día)

$d$ : Periodo laboral (días)

$$V_{Fe} = \frac{64,02 \frac{kgFe}{día}}{7\,860 \frac{kg}{m^3}} \times 60 días$$

$$V_{Fe} = 0,49 m^3 Fe$$

La columna debe estar rellena con hierro y aserrín en proporción de 60% a 40 %, respectivamente (Montalvo y Guerrero 2003). El valor obtenido de 0,49 m<sup>3</sup> representa el 60% de la columna, por tanto, el volumen de aserrín será de 0,33 m<sup>3</sup> de aserrín.

$$V_t = V_{Fe} + V_{Aserrín}$$

Donde:

$V_t$ : Volumen de total del desulfurador ( $m^3$ )

$V_{Fe}$ : Volumen de hierro en desulfurador ( $m^3$ )

$V_{Aserrín}$ : Volumen de aserrín en desulfurador ( $m^3$ )

$$V_t = 0,49m^3 + 0,32m^3$$

$$V_t = 0,81m^3$$

El área transversal del desulfurador es una sección circular, la cual puede hallarse de la siguiente manera:

$$A_T = \frac{\dot{V}_{biogás}}{v_{biogás}} = \pi \left(\frac{\phi}{2}\right)^2$$

Donde:

$A_T$ : Área transversal del desulfurador

$\dot{V}_{biogás}$ : Caudal volumétrico de biogás

$v_{biogás}$ : Velocidad del biogás

$\phi$ : Diámetro del desulfurador

La velocidad del biogás a través del desulfurador será de 1,5 cm/s equivalente a 54 m/h. Entonces se tiene:

$$A_T = \frac{16,82 \frac{m^3}{h}}{54 \frac{m}{h}}$$

$$A_T = 0,31m^2$$

$$0,31m^2 = \pi \left(\frac{\phi}{2}\right)^2$$

$$\phi = 0,63 m$$

Por último, la altura del desulfurador viene dado por la siguiente ecuación:

$$h = \frac{V_T}{A_T}$$

Donde:

$h$ : Altura del desulfurador

$A_T$ : Área transversal del desulfurador

$V_T$ : Volumen total del desulfurador

$$h = \frac{0,81 m^3}{0,63 m^2}$$

$$h = 2,62 \text{ m}$$

Para el análisis del desulfurador únicamente se restó la cantidad que ingresa de biogás menos la cantidad de H<sub>2</sub>S retenido en el desulfurador. La cantidad entrante de biogás al desulfurador es de 12,06 kg/h menos la cantidad del ácido 2,38 kg/h, entonces la cantidad de biogás limpio que saldrá del desulfurador es de 9,68 kg biogás/h.

Entonces, si la cantidad entrante de metano es de 9,68 kg/h, el porcentaje de metano en el biogás limpio será de:

$$\%CH_4 = \frac{\dot{m}_{CH_4}}{\dot{m}_{biogás}} \times 100\%$$

Donde:

$\%CH_4$ : Porcentaje de metano en gas limpio (%)

$\dot{m}_{CH_4}$ : Flujo de metano (kg/h)

$\dot{m}_{biogás}$ : Flujo de biogás limpio (kg/h)

$$\%CH_4 = \frac{7,54 \text{ kg } CH_4/h}{9,68 \text{ kg biogás/h}} \times 100\%$$

$$\%CH_4 = 77,9$$

Mientras que el porcentaje de dióxido de carbono será de:

$$\%CO_2 = 100 - 77,9$$

$$\%CO_2 = 22,1$$

Estos porcentajes obtenidos de 77,9% de metano y 22,1% dióxido de carbono se acercan a los porcentajes propuestos por (ECO 2008) y (Siemons 2002), los cuales señalan que el H<sub>2</sub>S es atrapado por las limallas de hierro y el aserrín, y que el gas de salida contiene 80% de metano y 20% de dióxido de carbono.

### 3.4.3.8. Grupo Electrónico

El biogás proveniente del desulfurador es utilizado como combustible en el grupo electrónico para la generación de electricidad. Por tanto, la potencia que tendrá el grupo electrónico que se pretende escoger deberá ser mayor de 145,17 kW para poder abastecer los motores que se encuentran en el área de producción.

El grupo electrónico seleccionado anteriormente corresponde al modelo 180GF-RZ/PwZ/PZ, la cual utiliza tecnología eléctrica de mezcla de combustible de gas, de baja presión de entrada de aire, de control automático para la combustión y un seguro sistema de transporte.

A continuación, en la *Tabla 39* se observa las especificaciones técnicas del grupo electrónico a biogás seleccionado:

**Tabla 39: Especificaciones técnicas del grupo electrógeno a biogás**

<b>Especificaciones Técnicas</b>		
<b>Parámetro</b>	<b>Unidad</b>	<b>Valor</b>
Potencia	kW	180
Corriente	A	324
Voltaje	V	220
Frecuencia	Hz	60
Velocidad de rotación	r/min	1000
Factor de potencia	cos	0,8 (retraso)
Número de fases		Tres bobinas cableadas por tres líneas trifásicas o una línea cero
Método de ajuste de presión		Ajuste a presión automático
Método de excitación		Excitación sin buje
Dimensiones	mm	5 300×1 970×2 410
Peso neto	kg	8200
<b>Motor</b>		
<b>Parámetro</b>	<b>Unidad</b>	<b>Valor</b>
Número de cilindros		6
Organización de los cilindros		Disposición recta
Diámetro de los cilindros	mm	190
Trayectoria	mm	210
Desplazamiento total	L	35,73
Método de entrada de aire		Aspiración natural
Potencia índice	kW	210
Velocidad de rotación índice	r/min	1000
Mín. velocidad de rotación estable sin carga	r/min	600
Dimensiones	mm	3 226×1 120×1 630
Peso neto	kg	4 000

Fuente: Shengli Power Machinery Group Company LTD, 2015

Entre las condiciones de uso de este grupo electrógeno se encuentra:

- La temperatura del gas no debe sobrepasar los 40°C cuando la distancia entre el gas y la válvula de regulación de presión para la entrada de aire es de 1 m.
- El rango de presión que este grupo electrógeno puede sostener debe ser 3 kPa a 10 kPa y la frecuencia de fluctuado no debe sobrepasar 1 kPa/min.
- El contenido de metano en el biogás no debe ser menor del 45% y su frecuencia de fluctuado no debe sobrepasar 2%/min.
- El contenido de H<sub>2</sub>S no debe sobrepasar 200 mg/Nm<sup>3</sup> y la granulidad de las impurezas no debe sobrepasar 5 μm y el contenido de impurezas no debe sobrepasar 30 mg/Nm<sup>3</sup>.

En la *Figura 32* se observa el grupo electrógeno a utilizar para el sistema de generación de biogás.



**Figura 32: Grupo electrógeno a biogás de 180 kWh**

Fuente: Shengli Power Machinery Group Company LTD, 2015

#### **3.4.3.9. Cimentación del grupo electrógeno**

La cimentación será capaz de soportar el peso del conjunto generador y sus accesorios, así como resistir las cargas dinámicas y evitar que se transmita el ruido y la vibración. La transmisión de las vibraciones puede conllevar el fallo durante el servicio de este.

Por ello, todos los componentes que se conectan con el conjunto generador como sistema de escape, líneas de combustible, cableado de suministro de energía, cableado de la carga, cableado de control, entre otros deben ser flexibles para absorber el movimiento de vibración sin dañarse.

Se calculó la altura de la cimentación que requerirá el grupo electrógeno empleando la siguiente ecuación:

$$Z = \frac{W}{d \cdot l \cdot w}$$

Donde:

*Z: Altura de la cimentación*

*W: Peso de la cimentación*

*l: Longitud de la cimentación*

*w: Anchura de la cimentación*

*d: Densidad del material empleado*

El peso de la cimentación es considerado como dos veces el peso del grupo electrógeno. Como el grupo electrógeno elegido pesa 8 600 kg, se tiene:

$$W = 2(8\,200\text{kg}) = 16\,400\text{ kg}$$

Para determinar la longitud y la anchura de la cimentación se debe conocer las dimensiones del grupo electrógeno, en este caso 5 300 mm y 1 970 mm, y teniendo en cuenta que la cimentación debe extenderse al menos 150 mm por cada lado de la base de este.

$$l = 5\,300\text{mm} + (2 \times 150\text{mm}) = 5\,600\text{mm} = 5,60\text{m}$$

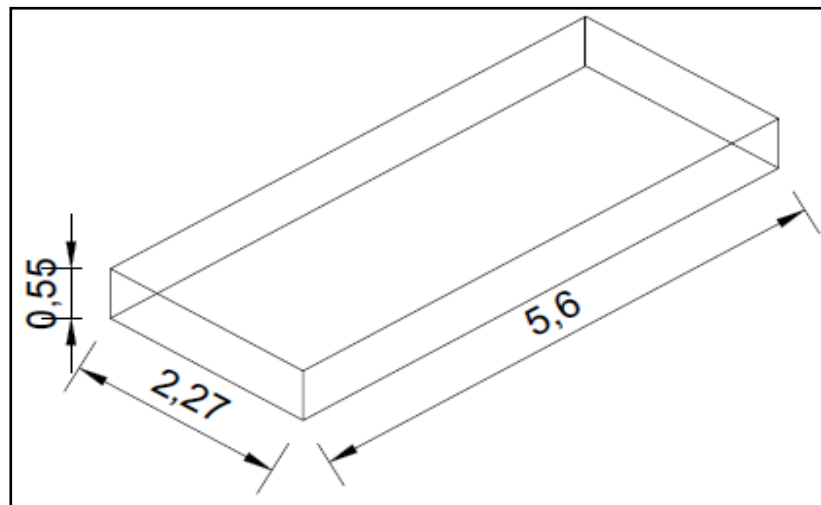
$$w = 1\,970\text{mm} + (2 \times 150\text{mm}) = 2\,270\text{mm} = 2,27\text{m}$$

El material empleado para la cimentación es el hormigón armado cuya densidad es 2 350 kg/m<sup>3</sup> (Cummins Power Generation 2010). Por tanto, se tiene que:

$$Z = \frac{16\,400\text{ kg}}{\left(2\,350 \frac{\text{kg}}{\text{m}^3}\right) (5,60\text{m})(2,27\text{m})}$$

$$Z = 0,55\text{ m}$$

Finalmente, se obtiene que la altura de cimentación es de 0,55 m, esto permitió definir la base de hormigón armado sobre la que se ubicará el grupo electrógeno. Además, se concluyó que se requerirán 7 m<sup>3</sup> de hormigón armado para la construcción de la cimentación como se muestra en la *Figura 33*.



**Figura 33: Cimentación para el grupo electrógeno**

### 3.4.4. Balance de masa y energía

En la *Figura 34* se muestra el balance de masa y energía propuesto en el sistema de generación y aprovechamiento de biogás para su conversión en energía eléctrica:

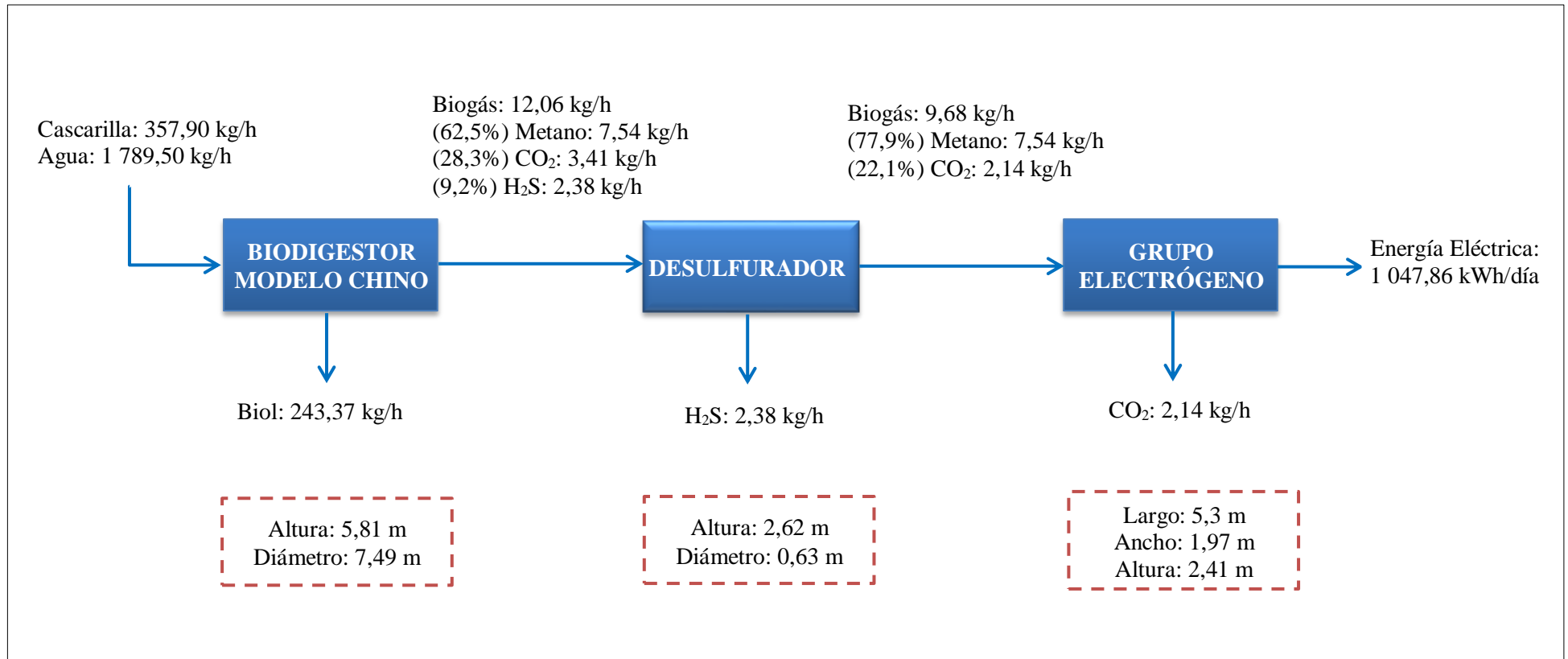


Figura 34: Balance de masa y energía

### 3.4.5. Distribución y cálculos de superficie

#### 3.4.5.1. Superficie estática

Es el área efectiva ocupada por el equipo, se halla multiplicando sus dimensiones, como se muestra a continuación:

$$S_e = L \times a = \pi \left(\frac{\theta}{2}\right)^2$$

Donde:

$S_e$ : Superficie estática (m<sup>2</sup>)

$L$ : Largo del equipo (m)

$a$ : Ancho del equipo (m)

En la *Tabla 40* se muestra la superficie estática de los componentes del sistema de generación de biogás.

**Tabla 40: Cálculos de la superficie estática**

Equipos	Largo (m)	Ancho (m)	Diámetro (m)	Superficie estática (m <sup>2</sup> )
Tanque de mezcla			3,65	10,45
Desarenador	10,40	1,12		11,68
Biodigestor			7,49	44,07
Tanque de compensación			7,49	44,07
Desulfurador			0,63	0,31
Grupo electrógeno*	5,60	2,27		12,71

(\*) Se considera con la cimentación

#### 3.4.5.2. Superficie de gravitación

Es el área necesaria para el tránsito del operador alrededor del equipo. Se calcula multiplicando la superficie estática por el número de lados accesibles al equipo como se muestra:

$$S_g = S_e \times N$$

Donde:

$S_g$ : Superficie de gravitación (m<sup>2</sup>)

$S_e$ : Superficie estática (m<sup>2</sup>)

$N$ : Número de lados accesibles

En la *Tabla 41* se muestra la superficie estática de los componentes del sistema de generación de biogás.

**Tabla 41: Cálculos de la superficie de gravitación**

Equipos	Superficie estática (m <sup>2</sup> )	N (Lados)	Superficie de gravitación (m <sup>2</sup> )
Tanque de mezcla	10,45	1	10,45
Desarenador	11,68	2	23,37
Biodigestor	44,07	1	44,07
Tanque de compensación	44,07	1	44,07
Desulfurador	0,31	1	0,18
Grupo electrógeno*	12,71	2	25,42

(\*) Se considera con la cimentación

### 3.4.5.3. Superficie de evolución

Área necesaria para el movimiento de personas y equipos móviles, se calcula mediante la multiplicación de la suma de la superficie estática y superficie de gravitación con la altura promedio ponderada de personas u objetos que se desplazan “k” la cual se halla mediante:

$$k = \frac{h_{EM}}{2 \times h_{EE}}$$

$$k = \frac{\frac{(A_{EM} \times N_{EM} \times h_{prom})}{A_{EM} \times N_{EM}}}{2 \times \frac{\sum(A_{EE} \times N_{EE} \times h_{EE})}{(A_{EE} \times N_{EE})}}$$

Donde:

*k*: Factor de altura promedio de personas u objetos que se desplazan.

*A<sub>EM</sub>*: Área de los objetos móviles (en este caso área de las personas) (m<sup>2</sup>)

*N<sub>EM</sub>*: Número de elementos móviles

*h<sub>prom</sub>*: Altura promedio de los elementos móviles (m)

*A<sub>EE</sub>*: Área de los elementos estáticos (equipos) (m<sup>2</sup>)

*N<sub>EE</sub>*: Número de elementos estáticos

*h<sub>EE</sub>*: Altura de los elementos estáticos (m)

A partir de los datos brindados por la *Tabla 42* se calculó el factor de altura promedio el cual se obtuvo:

$$k = \frac{\frac{0,5m^2 \times 4 \times 1,65m}{0,5m^2 \times 4}}{\frac{(10,45m^2 \times 2 \times 1,12m + 11,68m^2 \times 2 \times 1,21m + 44,07m^2 \times 4 \times 5,81m + 44,07m^2 \times 4 \times 1,21m + 0,31m^2 \times 1 \times 2,62m + 12,71m^2 \times 1 \times 2,18m)}{10,45m^2 \times 2 + 11,68m^2 \times 2 + 44,07m^2 \times 4 + 44,07m^2 \times 4 + 0,31m^2 \times 1 + 12,71m^2 \times 1}}$$

$$k = 0,23$$

Con este factor, se determinó el cálculo de la superficie de evolución:

$$S_{ev} = k(S_e + S_g)$$

**Tabla 42: Cálculo de la superficie de evolución**

Equipo	Altura (m)	Cantidad de equipos	Cantidad de personal	Superficie de evolución (m <sup>2</sup> )
Tanque de mezcla	1,12	2		5,36
Desarenador	1,21	2	2	8,99
Biodigestor	5,81	4		22,61
Tanque de compensación	1,21	4	1	22,61
Desulfurador	2,62	1		0,16
Grupo electrógeno*	2,18	1	1	9,79

(\*) Se considera con la cimentación

#### 3.4.5.4. Superficie total del sistema

A continuación, en la *Tabla 43* se muestran la superficie total para el sistema de generación de biogás planteado, es decir la instalación de 2 tanques de mezcla, 2 desarenadores, 4 biodigestores, 4 tanques de compensación, desulfurador y grupo electrógeno, el cual es de 1 075,28 m<sup>2</sup>.

**Tabla 43: Tabla resumen de las superficies**

Equipos	Superficie estática (m <sup>2</sup> )	Superficie de gravitación (m <sup>2</sup> )	Superficie de evolución (m <sup>2</sup> )	Superficie total (m <sup>2</sup> )
Tanque de mezcla	10,45	9,90	5,36	52,53
Desarenador	11,68	22,45	8,99	88,10
Biodigestor	44,07	41,62	22,61	442,98
Tanque de compensación	44,07	41,62	22,61	442,98
Desulfurador	0,31	0,31	0,16	0,78
Grupo electrógeno*	12,71	25,42	9,79	47,92
<b>Total</b>				<b>1 075,28</b>

(\*) Se considera con la cimentación

### **3.5. Realización del análisis costo-beneficio de la propuesta del sistema de generación de biogás**

#### **3.5.1. Contexto económico de la generación de electricidad a partir de biogás**

En 2014, con el objetivo de conocer la capacidad de las fuentes renovables e incrementar la producción de energías renovables, el Estado peruano se ofreció como voluntario para realizar la primera Evaluación del Estado de Preparación de las Energías Renovables (RRA) en América Latina, realizada en cooperación con la Agencia Internacional de las Energías Renovables (Tamayo et al. 2016).

El RRA concluye que el país ha realizado un gran avance en el desarrollo de las subastas de energías renovables y que tiene, además de un considerable potencial de energía hidroeléctrica, abundantes recursos energéticos tales como la biomasa, la fuerza eólica, la energía solar y geotérmica, de los cuales la mayoría no ha sido explotada. Además, Perú tiene posibilidades de instalar centrales eléctricas convencionales de biomasa con una capacidad de 177 MW y centrales de biogás con una capacidad de 5151 MW (Tamayo et al. 2016).

En Perú, históricamente, más de 50% de la producción de electricidad ha provenido de fuentes renovables. Hasta 2002, la generación hidroeléctrica representaba 85% del total de energía eléctrica generada en el país. Con el desarrollo del gas de Camisea, las centrales hidroeléctricas han ido disminuyendo hasta representar actualmente 48% de la matriz energética (Tamayo et al. 2016). Por tanto, el principal factor desfavorable para la generación de electricidad a partir de biogás es que debe competir económicamente con las plantas hidroeléctricas.

Las evaluaciones de factibilidad económica en proyectos de generación eléctrica con biogás en muchos casos son contradictorias, pues de acuerdo con diversos comunicados de prensa e información procedente de productores de biogás hacen referencia a periodos de recuperación de la inversión de tan solo 1,5 a 2,5 años (Dimpl 2010), a pesar de la desventaja de competir con otras fuentes de energía.

Se espera que la rentabilidad económica del proyecto sea favorable, es decir que la cantidad de dinero que se consiga ahorrar gracias al autoabastecimiento de energía eléctrica sea muy elevada. Sin embargo, la necesidad de adquirir componentes en países industrializados incrementa enormemente la inversión inicial debido al elevado precio de estos. Además, se tendría contemplado costes de importación de ciertos equipos.

Mediante las subastas realizadas en nuestro país, se adjudicaron contratos a proyectos que deben ingresar a operación comercial dentro de un plazo máximo de tres años a futuro. En total, durante las cuatro subastas RER realizadas se han adjudicado 64 proyectos equivalentes a 1274 MW. La inversión estimada alcanza US\$ 1957 millones, habiéndose puesto en servicio la mayoría de las plantas adjudicadas. La simplicidad del proceso de las subastas RER ha permitido obtener muy buenos resultados económicos como en el caso de los 4 proyectos de biogás planteados con capacidad de 10,4 MW significaron una inversión de US\$ 16,1 millones (Tamayo et al. 2016).

## 3.5.2. Inversiones

### 3.5.2.1. Inversión fija

La inversión fija está constituida por dos tipos de elementos: bienes físicos e intangibles. Los primeros se caracterizan por su materialidad y estar sujetos en su mayor parte a la depreciación. Los bienes físicos sujetos a depreciación en el proyecto son: equipos y maquinarias (grupo electrógeno, cubierta de ionización, alimentadores y cableado), equipos de seguridad, herramientas y material para reparaciones.

Para la construcción del biodigestor, cámara de carga y tanque de compensación, los costos dependen básicamente de la tecnología que se use, así como de los requerimientos de producción. La implementación del sistema de generación de biogás constituye una inversión que traerá a largo plazo beneficios económicos, ambientales y sociales en el molino.

Para el cálculo de la mano de obra y material, se calculó mediante (Guardado 2007) haciendo un dimensionamiento de su proyecto realizado en Cuba. Por otra parte, se consideró el sueldo para cada trabajador de acuerdo con el Régimen de Construcción Civil (CONAFOVICER 2017). En las *Tabla 44* y *45* se muestran los costos de mano de obra y materiales respectivamente.

**Tabla 44: Costo de mano de obra para la construcción del sistema de generación de biogás**

Labor	Número de trabajadores	Días laborales	Sueldo (S./día)	Total (S./)
Paredes de las cámaras	12 albañiles	120	58,60	84 384,00
Preparación del mortero	6 ayudantes	120	43,30	31 176,00
Pozo y pintura	10 obreros	30	48,50	14 550,00
<b>Total</b>				<b>130 110,00</b>

**Tabla 45: Costos de materiales para la construcción del sistema de generación de biogás**

Material	Unidad	Cantidad	Costo por unidad (S./)	Total (S./)
Cemento	saco	4 500	20,7	93 150,00
Arena	m <sup>3</sup>	1 200	41,9	50 280,00
Bloque de 15 cm	unidad	16 500	1,18	19 470,00
Ladrillo macizo	unidad	22 500	1,35	30 375,00
Acero 3/8''	kg	2 950	13,2	38 940,00
Acero 1/4''	kg	780	15,5	12 090,00
<b>Total</b>				<b>244 305,00</b>

Por otra parte, la construcción del desulfurador tuvo los siguientes costos de mano de obra y materiales como se muestra en las *Tablas 46 y 47*.

**Tabla 46: Costo de mano de obra para la construcción del desulfurador**

Número de trabajadores	Días laborales	Sueldo (S./día)	Total (S/.)
1 albañil	7	58,60	410,20
<b>Total</b>			<b>410,20</b>

**Tabla 47: Costos de materiales para la construcción del desulfurador**

Material	Unidad	Cantidad	Costo por unidad (S/.)	Total (S/.)
Fierro	kg	60	22,20	1 322,00
Aserrín	kg	40	2,00	80,00
<b>Total</b>				<b>1 412,00</b>

En caso del sistema de aprovechamiento de biogás, se tiene en cuenta, los equipos que serán necesarios adquirir por un fabricante, siendo los que representarán la mayor parte de la inversión. Igualmente, se consideró las herramientas necesarias como se muestra en la *Tabla 48*.

**Tabla 48: Inversión fija**

	Ítem	Total (S/.)
Construcción	Biodigestor, cámara carga y tanque de compensación	374 415,00
	Desulfurador	1 822,20
	Grupo electrógeno y cubierta de ionización	225 000,00
Maquinaria	Interruptor de red	4 500,00
	Tanque de combustible	2 400,00
	Tren de calibración	16 500,00
	Tuberías y cableado	25 000,00
	Equipos de seguridad	4 500,00
Herramientas y equipos	Herramientas para mantenimiento	1 200,00
	Material para reparaciones	1 500,00
	Mantenimiento preventivo	700,00
<b>Total</b>		<b>657 537,20</b>

Además, en la *Tabla 49* se muestra la depreciación de la maquinaria (10%), herramientas (25%) y construcción (3%). El valor de la depreciación es el mismo durante todos los años.

**Tabla 49: Depreciación de la inversión fija**

	<b>Ítem</b>	<b>Valor</b>	<b>Depreciación anual (S/.)</b>
Maquinaria	Grupo electrógeno y cubierta	225 000,00	22 500,00
	Alimentadores y cableado	49 900,00	4 990,00
	Equipos de seguridad	4 500,00	1 125,00
Herramientas	Herramientas para mantenimiento	1 200,00	300,00
	Material para reparaciones	1 500,00	375,00
	Mantenimiento preventivo	700,00	175,00
Construcción	Biodigestor, cámara carga y tanque de compensación	374 415,00	11 232,45
	Desulfurador	1 822,20	54,67
	<b>Total</b>		<b>40 752,12</b>

### 3.5.2.2. Inversión diferida

La inversión diferida no ingresa en el proceso productivo, sin embargo, es necesaria para poner a punto el proyecto. Los intangibles son parte de la inversión diferida, se caracterizan por su inmaterialidad, pues son servicios o derechos adquiridos que no están sujetos a desgaste físico. En la *Tabla 50* se muestra la inversión diferida del proyecto.

**Tabla 50: Inversión diferida**

<b>Ítem</b>	<b>Total (S/.)</b>
Emplazamiento	2 500,00
Estudio topográfico	500,00
Gastos de envío	15 000,00
Trámites	2 000,00
Estudios técnicos de investigación	2 000,00
<b>Total</b>	<b>22 000,00</b>

Por tanto, la inversión total que requería el proyecto es de S/. 679 537,20.

### 3.5.2.3. Capital de trabajo

El capital de trabajo considera aquellos recursos que requiere el proyecto para atender las operaciones de producción y comercialización de bienes o servicios y, contempla el monto de dinero que se precisa para dar inicio al ciclo productivo del proyecto en su fase de funcionamiento. Para el proyecto se consideró un capital de trabajo de dos meses como se muestra en la *Tabla 51*.

**Tabla 51: Capital de trabajo**

<b>Ítem</b>		<b>Total (S/.)</b>
Mano de obra directa	Operario sistema de generación de biogás	3 400,00
	Operario tanque compensación	1 700,00
	Operario grupo electrógeno-desulfurador	1 700,00
Insumos	Bidones para biol	6 030,00
	Agua	1 560,00
Otros	Mantenimiento	650,00
	Limpieza	140,00
<b>Total</b>		<b>15 180,00</b>

**3.5.2.4. Inversión total**

En la *Tabla 52* se muestra la inversión total para la instalación de la planta de biogás propuesta.

**Tabla 52: Inversión total**

<b>Descripción</b>	<b>Inversión Total (S/.)</b>	<b>Piladora La Merced (20%)</b>	<b>Financiamiento (80%)</b>
<b>Inversión Tangible</b>	<b>657 537,20</b>	<b>131 507,44</b>	<b>526 029,76</b>
Edificios y construcciones	376 237,20	75 247,44	300 989,76
Maquinarias	274 900,00	54 980,00	219 920,00
Herramientas y equipos	6 400,00	1 280,00	5 120,00
<b>Inversión Diferida</b>	<b>22 000,00</b>	<b>4 400,00</b>	<b>17 600,00</b>
Emplazamiento	2 500,00	500,00	2 000,00
Estudio topográfico	500,00	100,00	400,00
Gastos de envío	15 000,00	3 000,00	12 000,00
Trámites	2 000,00	400,00	1 600,00
Estudios técnicos de investigación	2 000,00	400,00	1 600,00
<b>Capital de trabajo</b>	<b>15 180,00</b>	<b>3 036,00</b>	<b>12 144,00</b>
<b>Imprevistos 5%</b>	<b>6 947,17</b>	<b>6 947,17</b>	
<b>Total</b>	<b>701 664,37</b>	<b>145 890,61</b>	<b>555 773,76</b>

### **3.5.3. Financiamiento**

Dentro de las fuentes de financiamientos para proyectos de desarrollo energéticos empleando energía renovable, se tiene:

#### **3.5.3.1. Ministerio de Energía y Minas**

El Ministerio de Energía y Minas tiene varias dependencias entre las cuáles es el Subsector de Energía tiene como propósito: conseguir la seguridad y la calidad del suministro y el uso sensato y eficiente de los recursos de energía, tanto como el uso de la energía alternativa, como mantener en orden el ambiente, además el desarrollo de la infraestructura de energía en los lugares aislados. Dentro del subsector de energía tiene un área de electricidad. Esta área busca promocionar la inversión particular en la transmisión, generación, a distribución eléctrica y proyectos de electrificación rural.

#### **3.5.3.2. Fondo Nacional del Ambiente**

Es una entidad que financia proyectos y actividades orientadas al mejoramiento de la calidad ambiental del Perú. Es una institución de derecho privado, sin fines de lucro encargada de promover la inversión pública y privada en el desarrollo de proyectos prioritarios ambientales en el Perú. Sus actividades se dirigen a promover la inversión en planes, programas y proyectos orientados al mejoramiento de la calidad ambiental, el uso sostenible de los recursos naturales, y el fortalecimiento de las capacidades para una adecuada gestión ambiental.

#### **3.5.3.3. Banco de Desarrollo de América Latina**

El Banco de Desarrollo de América Latina es una institución con mandatos, herramientas y programas de cooperación técnica y proyectos de desarrollo económico y social. Así, tiene el Programa Latinoamericano de Carbono, Energías Limpias Alternativas - PLAC+e que busca contribuir a la reducción del Calentamiento Global y promueve el uso de Energías Limpias en Latinoamérica y el Caribe.

Al evaluar a las tres organizaciones, el Programa Latinoamericano de Carbono, Energías Limpias Alternativas del Banco de Desarrollo de América Latina ofrece la tasa de interés más baja de 1,3%, que solo son aplicadas a energía eólicas, solar, geotérmica, biomasa y biocombustibles. El préstamo se pagaría en un periodo de 5 años. En la *Tabla 53* se observa el servicio de deuda a pagar.

*Características del crédito:*

- Tasa de interés mensual: 0,0011
- Tasa de interés anual: 0,013
- Periodo de pago: 5 años
- Total del préstamo: S/. 555 773,76
- Valor de la cuota: S/. 115 527,11

**Tabla 53: Servicio de deuda**

Años	Principal inicio	Amortización	Interés	Servicio de deuda	Principal final
2019	555 773,76	108 302,05	7 225,06	115 527,11	447 471,71
2020	447 471,71	109 709,98	5 817,13	115 527,11	337 761,73
2021	337 761,73	111 136,21	4 390,90	115 527,11	226 625,52
2022	226 625,52	112 580,98	2 946,13	115 527,11	114 044,53
2023	114 044,53	114 044,53	1 482,58	115 527,11	0
<b>Total</b>	<b>555 773,76</b>	<b>555 773,76</b>	<b>21 861,80</b>	<b>577 635,56</b>	<b>1 125 903,48</b>

**3.5.4. Cronograma de ejecución**

En la *Tabla 54* se muestra el cronograma de ejecución para el presente proyecto:

**Tabla 54: Cronograma de ejecución**

ACTIVIDAD	AÑO 2018											
	E	F	M	A	M	J	J	A	S	O	N	D
Construcción de la planta	■	■	■	■	■	■	■	■				
Supervisión de construcción			■		■			■				
Instalación de equipos									■	■		
Supervisión de instalación									■	■		
Iniciación de instalaciones											■	
Periodo de prueba												■

**3.5.5. Presupuesto de ingresos**

Los ingresos están representados por tres rubros: la energía eléctrica que se pretende sustituir para los próximos años, la venta de biol obtenido como subproducto del proceso, la venta de bonos de carbono y finalmente el ahorro por pago de multas por incineración de cascarilla de arroz (*Ver Tabla 55*).

**Tabla 55: Producción anual de ingresos**

Ingresos	2019	2020	2021	2022	2023
Energía eléctrica (kWh)	293 778	301 291	308 803	316 315	323 827
Bonos de carbono (kg CO <sub>2</sub> )	443 673	455 019	466 364	477 709	489 053
Cascarilla de arroz (kg)	1 003 105	1 028 758	1 054 407	1 080 057	1 105 707
Biol (L)	682 111	699 555	716 997	734 439	751 881

Para la determinación del ahorro energético que supondrá la implementación del sistema generador planteado, se partió de la potencia instalada en el molino y las horas trabajadas diariamente. La importancia de obtener un valor de consumo realista radica en que este dato determinará el ahorro en términos monetarios.

Es necesario realizar el cálculo de la energía eléctrica, sin embargo como ya se ha mencionado la tarifa MT2 incluye varios cargos, porque lo que es complicado calcular realmente que porcentaje representa la energía pronostica, por tanto fue necesario pronosticar el importe de la energía. Para la venta de biol, que es el subproducto que se obtiene del proceso de digestión anaerobia, se consideró su precio en el mercado local de S/. 0,45/L.

Por otro lado, la Ley General del Ambiente, Ley N° 28 611 establece la implementación de un sistema nacional de gestión ambiental en forma conjunta con las comisiones ambientales regionales y la autoridad ambiental nacional (MINAM). En materia de cambio climático promueve bonos de descontaminación u otros mecanismos alternativos a fin de que las industrias y proyectos puedan acceder a fondos creados al amparo del Protocolo de Kyoto.

Los bonos de carbono son dispositivos financieros que promueven la creación de proyectos que contribuyen al desarrollo ambiental y a su vez disminuyen las emisiones de gases de efecto invernadero a la atmósfera. Los expertos señalan que los proyectos utilizados para la emisión de bonos de carbono son los de relleno sanitario, cambio de combustible, conversión de energía, eficiencia energética, uso de biomasa, reforestación, entre otros (El Peruano 2008).

Considerando que 1 tonelada de metano equivale a la reducción de 21 toneladas de CO<sub>2</sub>. Según el país y el tipo de proyecto el Mecanismo de Desarrollo Limpio del Protocolo de Kyoto, ha determinado que el bono de carbono vale como mínimo 10 dólares (1 tonelada de CO<sub>2</sub> equivalente = 1 bono de carbono) pudiendo llegar hasta 20 dólares por tonelada (ASJA 2008). Teniendo en cuenta de la cantidad de energía limpia generada para el proyecto se tomará en cuenta el precio de \$20,00 por tonelada.

Asimismo, la Municipalidad de Chiclayo sanciona con una infracción de 20 UIT (unidad impositiva tributaria) por incineración de residuos, debido a que atenta contra de la salud y medio ambiente. Actualmente la ruta de disposición que tiene la cascarilla de arroz en Piladora La Merced es la incineración. Cada UIT, según la SUNAT, en el año 2018 se paga 4 150 soles. Por lo tanto, la sanción correspondería a 83 000 soles.

En la *Tabla 56* se muestra de forma detallada el presupuesto de ingresos:

**Tabla 56: Presupuesto de ingresos**

<b>Ingresos (S/.)</b>	<b>2019</b>	<b>2020</b>	<b>2021</b>	<b>2022</b>	<b>2023</b>
Energía eléctrica	137 525,80	138 959,90	140 394,00	141 828,10	143 262,20
Bonos de carbono	28 927,45	29 667,23	30 406,92	31 146,60	31 886,29
Ahorro por sanción	83 000,00	83 000,00	83 000,00	83 000,00	83 000,00
Venta de biol	170 527,79	174 888,82	179 249,27	183 609,72	187 970,17
<b>Total</b>	<b>419 981,04</b>	<b>426 515,95</b>	<b>433 050,19</b>	<b>439 584,42</b>	<b>446 118,66</b>

### 3.5.6. Presupuestos de egresos

#### 3.5.6.1. Costos de producción

Para el proyecto se consideran como costos de producción a los insumos o materiales (*Ver Tabla 57*), entre los cuales se tiene al agua con el que se realizará la mezcla de cascarilla que tiene un costo de S/. 7,05/m<sup>3</sup> para zonas industriales y los envases de biol que tienen una capacidad de 200L. Asimismo se consideró la mano de obra directa que estarán a cargo de inspeccionar el proceso (*Ver Tabla 58*).

**Tabla 57: Costos de materiales**

Ítem	2018	2019	2020	2021	2022	2023
Consumo de agua	34 455,29	35 359,44	36 263,71	37 167,86	38 072,02	38 976,17
Bidones de 200 L	33 233,47	34 105,56	34 977,76	35 849,85	36 721,94	37 594,03
<b>Total</b>	<b>67 688,75</b>	<b>69 465,00</b>	<b>71 241,48</b>	<b>73 017,72</b>	<b>74 793,96</b>	<b>76 570,20</b>

**Tabla 58: Costos de mano de obra**

Mano de obra directa	Cantidad	Sueldo mensual	Sueldo anual	Sueldo Anual Total (51%)
Operario tanque de compensación	1	930,00	11 160,00	<b>16 851,60</b>
Supervisor del sistema de generación de biogás	1	1 200,00	14 400,00	<b>21 744,00</b>
<b>Total</b>	<b>2</b>		<b>25 560,00</b>	<b>38 595,60</b>

#### 3.5.6.2. Gastos administrativos

Los gastos administrativos, son los gastos reconocidos sobre las actividades administrativas globales de una empresa, para el proyecto se ha considerado: mantenimiento, capacitaciones, material de limpieza y controles médicos (*Ver Tabla 59*).

**Tabla 59: Gastos administrativos**

Ítem	Costo mensual	Costo anual
Mantenimiento	1 500,00	3 000,00
Alquiler de terreno	3 000,00	36 000,00
Capitaciones	1 000,00	1 000,00
Controles médicos	1 000,00	1 000,00
<b>Total</b>	<b>6 500,00</b>	<b>41 000,00</b>

### 3.5.6.3. Gastos de financieros

Los gastos financieros son los pagos que se realizar por haber adquirido un préstamo del Banco de Desarrollo de América Latina como se muestra en la *Tabla 60*.

**Tabla 60: Gastos financieros**

<b>Préstamo</b>	<b>2019</b>	<b>2020</b>	<b>2021</b>	<b>2022</b>	<b>2023</b>
555 773,76	118 379,81	116 934,80	115 489,79	114 044,78	112 599,76

### 3.5.6.4. Costos totales

En la *Tabla 61* se muestran los costos totales que se incurrirían para la instalación de la pequeña planta de biogás.

**Tabla 61: Costos totales**

<b>Concepto</b>	<b>2019</b>	<b>2020</b>	<b>2021</b>	<b>2022</b>	<b>2023</b>
<b><i>Costos de Producción</i></b>					
Materiales Directos	69 465,00	71 241,48	73 017,72	74 793,96	76 570,20
Mano de Obra Directa	38 595,60	38 595,60	38 595,60	38 595,60	38 595,60
<b>Total</b>	<b>108 060,60</b>	<b>109 837,08</b>	<b>111 613,32</b>	<b>113 389,56</b>	<b>115 165,80</b>
<b><i>Gastos de Operación</i></b>					
Gastos Administrativos	41 000,00	41 000,00	41 000,00	41 000,00	41 000,00
Gastos Financieros	118 379,81	116 934,80	115 489,79	114 044,78	112 599,76
<b>Total</b>	<b>159 379,81</b>	<b>157 934,80</b>	<b>156 489,79</b>	<b>155 044,78</b>	<b>153 599,76</b>
<b>Costo total</b>	<b>267 440,41</b>	<b>267 771,88</b>	<b>268 103,11</b>	<b>268 434,34</b>	<b>268 765,56</b>

### 3.5.7. Estado de Ganancias y Pérdidas

En la *Tabla 62* se muestra el Estado de Ganancias y Pérdidas para los próximos 5 años.

**Tabla 62: Estado de ganancias y pérdidas**

<b>Concepto</b>	<b>2019</b>	<b>2020</b>	<b>2021</b>	<b>2022</b>	<b>2023</b>
<b>Ingresos Totales</b>	<b>419 981,04</b>	<b>426 515,95</b>	<b>433 050,19</b>	<b>439 584,42</b>	<b>446 118,66</b>
(-) Costos de producción	108 060,60	109 837,08	111 613,32	113 389,56	115 165,80
<b>Utilidad Bruta</b>	<b>311 920,44</b>	<b>316 678,87</b>	<b>321 436,87</b>	<b>326 194,86</b>	<b>330 952,86</b>
(-) Gastos Administrativos	41 000,00	41 000,00	41 000,00	41 000,00	41 000,00
Depreciación	40 752,12	40 752,12	40 752,12	40 752,12	40 752,12
<b>Utilidad Operativa</b>	<b>230 168,32</b>	<b>234 926,75</b>	<b>239 684,75</b>	<b>244 442,74</b>	<b>249 200,74</b>
(-) Gastos de financiamiento	118 379,81	116 934,80	115 489,79	114 044,78	112 599,76
<b>Utilidad antes de Impuestos</b>	<b>111 788,51</b>	<b>117 991,95</b>	<b>124 194,96</b>	<b>130 397,96</b>	<b>136 600,98</b>
Impuesto a la renta (28%)	31 300,78	33 037,75	34 774,59	36 511,43	38 248,27
<b>Utilidad Neta</b>	<b>80 487,73</b>	<b>84 954,20</b>	<b>89 420,37</b>	<b>93 886,53</b>	<b>98 352,71</b>

### 3.5.8. Flujo de caja

Tabla 63: Flujo de caja

Concepto / Años	2018	2019	2020	2021	2022	2023
<b>I. Ingresos</b>						
<b>1.-Total Ingreso</b>		419 981,04	426 515,95	433 050,19	439 584,42	446 118,66
Ingresos		<b>419 981,04</b>	<b>426 515,95</b>	<b>433 050,19</b>	<b>439 584,42</b>	<b>446 118,66</b>
<b>II. Egresos</b>						
<b>Costo de Inversión</b>						
Total de Inversión	701 664,37					
<b>Egresos por Actividad</b>						
<b>2.-Total Egresos</b>	<b>701 664,37</b>	<b>149 060,60</b>	<b>150 837,08</b>	<b>152 613,32</b>	<b>154 389,56</b>	<b>156 165,80</b>
Costo de Producción		108 060,60	109 837,08	111 613,32	113 389,56	115 165,80
Gastos Administrativos		41 000,00	41 000,00	41 000,00	41 000,00	41 000,00
<b>Utilidad Operativa</b>	<b>-701 664,37</b>	<b>270 920,44</b>	<b>275 678,87</b>	<b>280 436,87</b>	<b>285 194,86</b>	<b>289 952,86</b>
Depreciación		40 752,12	40 752,12	40 752,12	40 752,12	40 752,12
<b>Utilidad antes de Impuestos</b>	<b>-701 664,37</b>	<b>311 672,56</b>	<b>316 430,99</b>	<b>321 188,99</b>	<b>325 946,98</b>	<b>330 704,98</b>
<b>Utilidad a los trabajadores 8%</b>		24 933,80	25 314,48	25 695,12	26 075,76	26 456,40
(Impuesto a la Renta 28%)		87 268,32	88 600,68	89 932,92	91 265,16	92 597,39
(Inversión)	-701 664,37					
Depreciación		40 752,12	40 752,12	40 752,12	40 752,12	40 752,12
<b>FCE</b>	<b>-701 664,37</b>	<b>158 718,32</b>	<b>161 763,72</b>	<b>164 808,83</b>	<b>167 853,95</b>	<b>170 899,07</b>
Préstamo	555 773,76					
Flujo neto Pago		113 864,10	114 258,32	114 657,66	115 062,20	115 471,99
<b>FCF</b>	<b>-145 890,61</b>	<b>44 854,22</b>	<b>47 505,40</b>	<b>50 151,17</b>	<b>52 791,75</b>	<b>55 427,08</b>
<b>Caja acumulada</b>	<b>-145 890,61</b>	<b>-101 036,39</b>	<b>-53 531,00</b>	<b>-3 379,82</b>	<b>49 411,93</b>	<b>104 839,00</b>

### 3.5.9. Evaluación económica financiera

Este punto se considera el más importante ya que es de suma ayuda para tomar la decisión de si el proyecto es aprobado o rechazado. En la *Tabla 64* se observa los valores obtenidos del valor actual neto (VAN) y la tasa interna de retorno (TIR)

**Tabla 64: Evaluación de VAN y TIR**

Indicador	Valor
VAN	S/. 76 427,69
TIR	20%

Como el VAN y TIR en primera instancia son positivos, entonces la inversión producirá ganancias y se podrá aceptar el proyecto.

El indicador Beneficio/Costo da como referencia cuanto se va a ganar por cada unidad monetaria que se invierte. El mismo reveló que por cada sol invertido se obtiene 0,39 soles de ganancia.

$$B/C = 1,39$$

Con respecto al periodo de recuperación se tiene lo siguiente:

**Tabla 65: Periodo de recuperación**

Ítem	2018	2019	2020	2021	2022	2023
<b>Ingresos</b>		44 854,22	47 505,40	50 151,17	52 791,75	55 427,08
<b>Inversión</b>	-145 890,61					
<b>Caja acumulada</b>		-101 036,39	-53 531,00	-3 379,82	49 411,93	104 839,00

De acuerdo con lo hallado, en la *Tabla 65* se aprecia que el plazo de recuperación de la inversión es de 3 años y 24 días aproximadamente. Este se considera un plazo de recuperación muy aceptable para una planta de este tipo, por lo que el proyecto es rentable económicamente.

## IV. CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES

### 4.1. Conclusiones

- El potencial energético de la cascarilla de arroz de la Piladora La Merced es muy elevada, ello se debe a que se obtiene más de 100 toneladas mensuales durante el proceso de pilado de arroz, lo que permite producir un gas combustible con gran contenido energético. Por ello, el molino dispone de muchas posibilidades para aprovechar la energía contenida en este gas, lo cual posibilita plantear un proyecto de generación de biogás para la producción de electricidad, logrando un tratamiento responsable de este residuo y reduciendo las emisiones de CO<sub>2</sub>.
- La producción de cascarilla de arroz en los próximos cinco años garantizará que se contará con la materia prima necesaria para la generación de biogás, pues de 1 771 953 kg de este residuo pronosticado para el año 2023, solo será necesario utilizar 1 105 707 kg, siendo aprovechado por el grupo electrógeno para generar 323 827 kWh. Este equipo contará con una cubierta de ionización, el cual derivará a los motores del área de producción, pues la autonomía y sencillez de estos los hacen ser la tecnología más adecuada y empleada en proyectos de este tipo.
- El biodigestor modelo chino o cúpula fija se considera la opción más viable para la instalación del sistema de generación de biogás, pues se adapta a las condiciones climáticas de la región Lambayeque, pues es uno de los más usados por sus costos bajos, larga vida útil, elevada flexibilidad al cambio y no tiene restricciones para la materia prima. Así mismo la elección de emplear la generación de electricidad a partir de biogás consigue un ahorro económico en las facturas eléctricas, pues la opción de autoabastecer a la empresa era la indicada. Sin embargo, considerar el autoconsumo por delante de otras opciones fue una decisión en parte condicionada por los factores desfavorables que ofrecían el resto de los sistemas de generación planteados.
- El análisis costo-beneficio develó que el sistema diseñado en el presente proyecto es viable económicamente, pues por cada sol invertido se obtiene una ganancia de S/.0,39. En este análisis se obtiene que el sistema será rentable a partir de los 3 años y 24 días, lo cual se considera un resultado muy favorable, donde los ingresos están representados por la energía eléctrica a sustituir, el ahorro por pago de multas de incineración, los bonos de carbono y la venta de biol. Por otro lado, el incremento de precio de los combustibles fósiles es algo inevitable, ya que se trata de recursos limitados, y esto podría favorecer las posibilidades de la autogeneración obteniendo incluso mayores ahorros económicos o posibilitando la venta de electricidad.
- La energía ahorrada para el año 2023 es de 323 827 kWh, que representaría un importe total de S/. 143 262. La importancia de obtener un valor de consumo que sea realista radica en que será este el dato que determine el ahorro en términos monetarios. La reducción del importe de la energía eléctrica representaría el 100% para los próximos años, el cual cumple con el objetivo de minimizar los costos energéticos.

## 4.2. Recomendaciones

- El factor económico no es el único que se debe tener en cuenta al evaluar si el proyecto es viable o no, pues existen varios beneficios tanto sociales como medioambientales que se deben tener en cuenta. La reducción de las emisiones de gases de efecto invernadero, el tratamiento adecuado de residuos, el uso del efluente como fertilizante o la reducción de humos y olores son ejemplos de estos beneficios.
- La inversión inicial calculada en el proyecto podría ser mayor en la realidad, debido a los componentes adicionales del sistema que sea necesario adquirir y a la inaccesibilidad de algunos de ellos. Además, el costo derivado de la obra y el posterior mantenimiento del sistema de generación podría desencadenar nuevos gastos.
- La situación del Sistema Eléctrico Peruano se encuentra en un estado cambiante, y esto puede resultar en variaciones del coste de generación en el futuro. Pues en 2017, el sector industrial incrementó en un 4,1% la tarifa de electricidad, donde diversos sectores han sido perjudicados, lo que llevó a algunas empresas optar por la cogeneración y otras amortiguaron el impacto de las mayores tarifas a través de la mejora en sus procesos productivos o la adquisición de maquinaria más eficiente.
- La construcción tanto de los biodigestores como de varios elementos del sistema de aprovechamiento del biogás han de construirse artesanalmente, por lo que su buen funcionamiento dependerá en buena medida de la calificación de la mano de obra, ya que si no se dispone de este personal aumentan el riesgo de un mal funcionamiento y la probabilidad de fallos en la construcción e instalación. Algunos de los elementos del sistema pueden ser de difícil acceso y los costes de envío e impuestos aplicados a los mismos pueden aumentar notablemente el precio final de los equipos.
- Actualmente, se considera que los biodigestores de más de 200 m<sup>3</sup> requieren tecnologías de generación de biogás más complejas que las elegidas en el diseño, ya que el volumen grande de la cámara de digestión hace que no sea posible alcanzar las condiciones de operación adecuadas para que se produzca la digestión anaerobia. Este factor representaría el principal problema si se pretendería ampliar el número de biodigestores.
- La empresa Piladora La Merced S.R.L. al generar su propia energía, tendría que evaluar a partir del año 2024 la capacidad de los biodigestores, pues en el futuro las horas de trabajo en la empresa puedan aumentar debido a la alta demanda del acopio de arroz con cáscara, por lo que la energía que se generaría en el biodigestor no abarcaría a cubrir toda la demanda energética de la empresa, recomendando así a la empresa trabajar en paralelo con la red de Electronorte S.A. y no desprenderse de ella por completo.

## V. REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- Agapito, Teodoro. 2007. *Factores de conversión. Serie: Ingeniería*. Lima: Editorial Isabel.
- Agencia Internacional de la Energía y Dirección Técnica de Repsol. 2016. *Matriz Energética Mundial* [Internet]. Publicaciones IEA [visitada en agosto de 2018]. Disponible en: [http://www.repsol.com/es\\_es/corporacion/conocer-repsol/contexto-energetico/matriz-energetica-mundial-2016/](http://www.repsol.com/es_es/corporacion/conocer-repsol/contexto-energetico/matriz-energetica-mundial-2016/)
- Ahumada, Luis y Rodríguez Jorge. 2006. Uso del SiO<sub>2</sub> obtenido de la cascarilla de arroz en la síntesis de silicatos de calcio. *Revista de la Academia Colombiana de Ciencias Exactas, Físicas y Naturales*: 581-594, <http://biblat.unam.mx/es/revista/revista-de-la-academia-colombiana-de-ciencias-exactas-fisicas-y-naturales/articulo/uso-del-sio2-obtenido-de-la-cascarilla-de-arroz-en-la-sintesis-de-silicatos-de-calcio>
- ASJA. 2008. *Contaminación evitada*. [Internet]. Publicaciones ASJABIZ [visitada en setiembre de 2016]. Disponible en: <http://www.asja.biz/spa/asja/contaminacionevitada.html>
- Bishir, Usman y Ekwenchi, Mento. 2012. Kinetics studies of fungal biogas production from certain agricultural waste. *Bajopas*: 79-83, <http://www.ajol.info/index.php/bajopas/article/view/85953>
- Bohn, Irene; Björnsson, Lovisa y Matiasson, Bo. 2007. The energy balance in farm scale anaerobic digestion of crop residues at 11-37 °C. *Process Biochemistry*: 57-64, <http://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S1359511306002807>
- Bueso, Carlos; Samayoa, Svetlana y Viquez, Joaquín. 2012. *Implementación de sistemas de biodigestión en ecoempresas*. Tegucigalpa: Publicación SNV.
- Castillo, Álvaro. 1985. *Manual sobre preparación de estudios de factibilidad para almacenamiento de granos*. Bogotá: Instituto Interamericano de Cooperación para la Agricultura.
- Castillo, Abel. 2008. *Biodigestores* [Internet]. Instituto Interamericano de Cooperación para la agricultura [visitada en octubre del 2016]. Disponible en: [http://www.iica.int.ni/Estudios\\_PDF/Biodisgestores.pdf](http://www.iica.int.ni/Estudios_PDF/Biodisgestores.pdf)
- Comité Nacional de Administración del Fondo para la Construcción de Viviendas y Centros Recreacionales para los Trabajadores en Construcción Civil del Perú. 2015. *Tablas Salariales 2015-2016*. [Internet]. Publicación CONAFOVICER [visitada en setiembre de 2016]. Disponible en: [http://www.conafovicer.com/index.php?option=com\\_content&view=article&id=156:tablas-salariales-2015-2016&catid=20&Itemid=210](http://www.conafovicer.com/index.php?option=com_content&view=article&id=156:tablas-salariales-2015-2016&catid=20&Itemid=210)
- Contreras, Luz; Pereda, Ileana y Romero, Osvaldo. 2012. Aprovechamiento energético de residuos arroceros por bio-conversión. Caso de estudio Cuba. *DYNA Energía y Sostenibilidad*: 1-3, <http://www.revistadyna.com/Documentos/pdfsES%5C1010%5C6897DYNAINDEX.pdf>

- Cornejo, Erik. 2012. *Producción de biogás a nivel laboratorio, utilizando estiércol de ganado vacuno y residuos agroindustriales (torta de piñón, cascarilla de arroz y rumen de ganado vacuno) en la E.E.A. El Porvenir - Distrito de Juan Guerra*. Tesis Pregrado, Universidad Nacional de San Martín - Departamento Académico de Ingeniería Agroindustrial. Tarapoto.
- Cummins Power Generation. 2010. *Manual de Aplicación*. México: Cummins Power Generation Inc.
- Deublein, Dieter y Steinhauser, Angelika. 2008. *Biogas from waste and renewable resources: An Introduction*. Weinheim: Wiley-VCH Verlag GmbH & Co KGaA.
- Dimpl, Elmar. 2010. *Small-scale Electricity Generation from Biomass - Part II: Biogas*. Alemania: GTZ-HERA – Poverty-oriented Basic Energy Service
- ECO. 2008. *Relevant publications or studies on household energy, indoor air pollution and health: PCIA Partners in Europe* [Internet]. Publicación ECO [visitada en febrero de 2016]. Disponible en: <http://www.pciaonline.org/site/apps/kb/cs/contactdisplay.asp?c=krLWJ7PIKqG&b=3497327&sid=gqLQKXNHJfJOI6MJLtF>
- Ezekoye, Verónica; Onah, Dumb; Offor, Peter y Ezekoye Bernis. 2014. Characterization of Biogas Produced from Rice Husks and Algae using a Metal Fixed-Dome Biodigester. *Global Journals Inc: 2-5*, [https://globaljournals.org/GJSFR\\_Volume14/1-Characterization-of-Biogas-Produced.pdf](https://globaljournals.org/GJSFR_Volume14/1-Characterization-of-Biogas-Produced.pdf)
- Ezekoye, Verónica y Okeke, Celia 2006. Design, Construction, and Performance Evaluation of Plastic Biodigester and the Storage of Biogas. *The Pacific Journal of Science and Technology: 2-8*, [http://www.akamaiuniversity.us/PJST7\\_2\\_176.pdf](http://www.akamaiuniversity.us/PJST7_2_176.pdf)
- Fachagentur Nachwachsende Rohstoffe e. V. (FNR). 2013. *Leitfaden Biogas: Von der Gewinnung zur Nutzung*. Gülzow-Prüzen: Fachagentur Nachwachsende Rohstoffe e. V. (FNR), Abteilung Öffentlichkeitsarbeit
- Facultad de Química UNAM. 2016. *Hoja de seguridad XIX Sulfuro de Hidrógeno* [Internet]. Publicación UNAM [visitada en octubre de 2016]. Disponible en: <http://www.quimica.unam.mx/IMG/pdf/19sulfuroh.pdf>
- González, Francisco. 2012. *Predicción de señales: Métodos de descomposición*. Madrid: Universidad Carlos III.
- Google Maps. 2016. *Mapas* [Internet]. Google [visitada en agosto de 2016]. Disponible en: <https://www.google.com.pe/maps/@-6.7520485,-79.8106741,3a,75y,354.12h,76.77t/data=!3m6!1e1!3m4!1s9AQ7mV-Ug4G8klZVNI4vQA!2e0!7i13312!8i6656>
- Gordón, Jorge y Samaniego, José. 2014. *Diseño y construcción de un biodigestor chino anaerobio a partir del estiércol vacuno en la Finca "Los 5 Hermanos" de la Parroquia El Dorado*. Tesis de Grado, Escuela Superior Politécnica de Chimborazo – Facultad de Ciencias. Riobamba.

- Grupo AB. 2007. *Digestión Anaeróbica* [Internet]. Ecomax Línea Bio [visitada en octubre de 2016]. Disponible en: <http://www.gruppoab.it/anaerobica.htm>
- Guardado, José. 2007. *Diseño y construcción de plantas de biogás sencillas*. Ciudad de la Habana: Editorial Cuba Solar.
- Gutiérrez, Guadalupe; Moncada, Iram; Meza, María; Félix, Anacleto; Balderas, José. y Gortáres, Pablo. 2012. Biogás: una alternativa ecológica para la producción de energía. *Ideas CONCYTEG*: 891-894, [http://www.concyteg.gob.mx/ideasConcyteg/Archivos/85\\_1\\_GUTIERREZ\\_GARCIA\\_ET\\_AL.pdf](http://www.concyteg.gob.mx/ideasConcyteg/Archivos/85_1_GUTIERREZ_GARCIA_ET_AL.pdf)
- Hernández, Javier. 2014. *Diseño de un sistema para el aprovechamiento energético de biogás a partir de los residuos generados por el ganado vacuno en la Vaquería 101 perteneciente a la empresa pecuaria “Camilo Cienfuegos” (Pinar del Río, Cuba)*. Tesis Pre-Grado, Escuela Técnica Superior de Ingenieros Industriales y de Telecomunicación. Pamplona.
- Huaraz, Carlos. 2013. *Diseño de un gasificador de 25 kW para aplicaciones domésticas usando como combustible cascarilla de arroz*. Tesis Pregrado, Universidad Pontificia Católica del Perú – Facultad de Ciencias e Ingeniería. Lima.
- Instituto para la Diversificación y Ahorro de la Energía (IDAE). 2007. *Biomasa: Digestores anaerobios*. Madrid: Besel S.A.
- Labiano, Iradiel. 2014. *Estudio de viabilidad de un sistema de generación eléctrica empleando biogás como combustible en el Matadero Municipal de Cochabamba (Bolivia)*. Tesis Pregrado, Escuela Técnica Superior de Ingenieros Industriales y de Telecomunicación. Pamplona.
- Lambayeque.com. 2013. *Clima en Lambayeque* [Internet]. Difundiendo el Turismo y Comercio de Lambayeque en el Mundo [visitada en agosto del 2015]. Disponible en: <http://www.lambayeque.com/departamento/clima.php>
- Lara, Edwin e Hidalgo, María. 2011. *Diseño de un biorreactor y conducción del biogás generado por las excretas de ganado vacuno, Estación Tunshi – Espoch*. Tesis de Grado, Escuela Superior Politécnica de Chimborazo – Facultad de Ciencias. Riobamba.
- La República. 2017. “Lambayeque: 20 mil toneladas de arroz cáscara se pierden por lluvias.”, *La República*, Abril 2017, 1.
- Llanea, Moris; González, Lola y González, Elisabet. 2010. *Estudio de viabilidad de sistemas de purificación y aprovechamiento de biogás: Caracterización, purificación y control del biogás*. España: PSE PROBIOGAS.
- Lombarte, Mario. 2011. *Especificaciones técnicas para las actividades de Jefe de Obra de Canalización de Distribución de Gas: Propiedades de los combustibles gaseosos* [Internet]. SEDIGAS [visitada en octubre de 2016]. Disponible en: [https://www.sedigas.es/php/download.php?f=paginas/79/archivos/744/doc/es/Especificaciones\\_Tecnicas\\_Jefes\\_Obra\\_Unidad\\_02\\_rev\\_0.pdf](https://www.sedigas.es/php/download.php?f=paginas/79/archivos/744/doc/es/Especificaciones_Tecnicas_Jefes_Obra_Unidad_02_rev_0.pdf).

- Messer. 2016. *Metano Puro* [Internet]. Messer Gases for Life [visitada en octubre de 2016]. Disponible en: [http://www.messer.es/Productos\\_y\\_suministro/Gases/fichas\\_gases/FT\\_Metano\\_puro.pdf](http://www.messer.es/Productos_y_suministro/Gases/fichas_gases/FT_Metano_puro.pdf)
- Ministerio de Agricultura. 2013. *El Arroz: Principales Aspectos de la Cadena Agroproductiva*. Lima: Dirección Comercial de Competitividad Agraria
- Ministerio de Comercio Exterior y Turismo. 2018. *Reporte Comercial de Productos Arroz: Marzo 2018*. Lima: Publicaciones MINCETUR
- Ministerio de Energía y Minas. 2011. Guía de orientación para la selección de la tarifa eléctrica para usuarios en media tensión. *Dirección General de Electricidad*: 6-14, <http://www.minem.gob.pe/archivos/prepublicacion-zmz7973zz4.PDF>
- Montalvo, Silvio y Guerrero, Lorna. 2003. *Tratamiento anaeróbico de residuos*. Valparaíso: Universidad Técnica Federico Santa María.
- Mustonen, Suvisanna; Raiko, Risto y Luukkanen, Jyrki. 2013. Bioenergy consumption and biogas potential in Cambodian households. *Sustainability: 1875-1892*, <http://www.mdpi.com/2071-1050/5/5/1875>
- Olaya, Yeison y González, Luis. 2009. *Fundamentos para el diseño de biodigestores: Módulo para la asignatura de construcciones agrícolas* [Internet]. Universidad Nacional de Colombia Sede Palmira [visitada en diciembre de 2015]. Disponible en: <http://www.bdigital.unal.edu.co/7967/4/luisoctaviogonzalezsalcedo.20121.pdf>
- Organización de las Naciones Unidas para la Agricultura y la Alimentación (FAO). 2017. *Seguimiento del mercado del arroz de la FAO* [Internet]. Publicación FAO [visitada en agosto de 2018]. Disponible en: <http://www.fao.org/economic/est/publications/publicaciones-sobre-el-arroz/seguimiento-del-mercado-del-arrozsm/es>
- Pineda, Jaime, Gómez, Gabriela, y Vargas José. 2013. *Proceso para la producción de gas de combustión por gasificación de la cascarilla de arroz*. Tesis Pre-Grado, Universidad Nacional del Callao – Escuela de Ingeniería Química. Callao.
- Quiceno, David y Mosquera, Marvin. 2010. *Alternativas tecnológicas para el uso de la cascarilla de arroz como combustible*. Tesis Pre-Grado, Universidad Autónoma de Occidente – Departamento de Energética y Mecánica, Santiago de Cali.
- Ramos, David. y Torres, Leonardo. 2016. *La energía biomasa en Miajadas España con importante liderazgo* [Internet]. Energía Limpia XXI [visitada en agosto de 2016]. Disponible en: <https://energialimpiaparatodos.com/2016/08/05/contexto-sustentable>
- Shengli Power Machinery Group Company LTD. 2015. *Grupo electrógeno de biogás 120kW-180kW* [Internet]. Shengli Power Machinery Group [visitada en setiembre de 2016]. Disponible en: <http://www.generatorsets.es/1-3-2-biomass-generator-set.html>

- Siemons, Roland. 2002. *A development perspective for biomass – fuelled electricity generations technologies: Economic technology assessment in view of sustainable*. Amsterdam: Universidad de Amsterdam (UVA).
- Silva, Juan. 2002. *Tecnología del Biogás* [Internet]. Universidad del Valle - Escuela de Ingeniería de Recursos Naturales y del Ambiente [visitada en agosto de 2015]. Disponible en: <http://www.bvsde.paho.org/bvsaar/e/fulltext/gestion/biogas.pdf>
- Sisternas, Pablo. 2011. *El problema de la energía: El consumo actual es desigual, excesivo y dependiente de los combustibles fósiles* [Internet]. Mètode [visitada en agosto del 2015]. Disponible en: <http://metode.cat/es/Noticias/El-problema-de-l-energia>
- Tamayo, Jesús; Salvador, Julio; Vásquez, Arturo y Carlo Vilches. 2016. *La industria de la electricidad en el Perú: 25 años de aportes al crecimiento económico del país*. Lima: OSINERGMIN.
- Valverde, Agustín, Sarria, Bienvenido y Monteagudo, José. 2007. Análisis comparativo de las características fisicoquímicas de la cascarilla de arroz. *Scientia Et Technica*: 255 – 260, <http://www.redalyc.org/articulo.oa?id=84903743>
- Varnero, María. 2011. *Manual de biogás*. Santiago de Chile: Organización de las Naciones Unidas para la Agricultura y la Alimentación (FAO).
- Vela, Lindon. 2010. *La Inversión Privada en Lambayeque y sus tendencias* [Internet]. Chiclayo: Cámara de Comercio y Producción en Lambayeque [visitada en agosto de 2015]. Disponible en: <http://web.ua.es/es/giecryal/documentos/documentos839/documentos-2011/la-inversion-privada-en-lambayeque-y-sus-tendencias.pdf>
- Víquez, Joaquín. 2010. Remoción del sulfuro de hidrógeno en el biogás. *VIOGAS*: 16 – 21, <http://nebula.wsimg.com/858cfa23e4f7673d37430eb60925c021?AccessKeyId=11F7CE3E4517D29E4C81&disposition=0&alloworigin=1>

## VI. ANEXOS

### Anexo 1: Motores en el proceso de pilado de arroz

#### ➤ Motor de los elevadores N°1 y N°3

##### ARRANQUE DIRECTO

<b>TIPO</b> 6 100C6/ ED/ ER		<b>N°</b> 2 356/ 1 006			<b>NORMA</b> IEC	
<b>HP/KW</b> 3,0/2,2		<b>AISL.</b> F			<b>IP.</b>	
<b>SERVICIO</b> S1		<b>Ia/in</b> 6,0			<b>CAT.</b>	
<b>ROD delantero</b> 6 206		ZZ		<b>Trasero</b> 6208		ZZ
<b>HZ</b>	<b>RPM</b>	<b>F.S.</b>	<b>V</b> 220	<b>380</b>	<b>440</b>	<b>(760)</b>
50			A			
60	1 145	1,15	A 10	5,76	3.0	

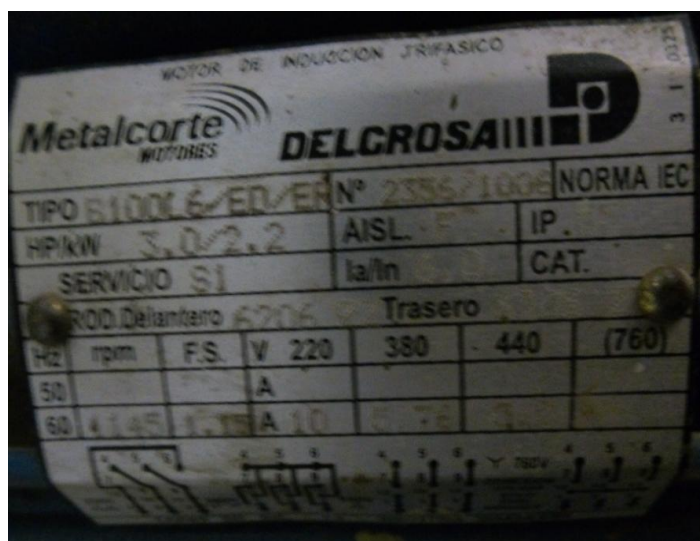


Figura 35: Motor Delcrosa 3HP para elevador

#### ➤ Motor N°2 de la máquina pre-limpia

##### ARRANQUE DIRECTO

<b>TIPO</b> B13284/ ED		<b>N°</b> 0 200			<b>NORMA</b> IEC	
<b>HP/KW</b> 10/7,5		<b>AISL.</b> F			<b>IP.</b> 55	
<b>SERVICIO</b> S1		<b>Ia/in</b> 7,3			<b>CAT.</b>	
<b>ROD delantero</b> 6 308		ZZ		<b>Trasero</b> 6 308		ZZ
<b>HZ</b>	<b>RPM</b>	<b>F.S.</b>	<b>V</b> 220	<b>380</b>	<b>440</b>	<b>(760)</b>
50			A			
60	1 750	1,15	A 26	15	13	



Figura 36: Motor Delcrosa 10HP para pre-limpia

➤ Motor N°4 de la máquina descascaradora

ARRANQUE ESTRELLA TRIANGULO (γ- Δ)

TIPO B1160114/ ED		N° 0200		NORMA IEC		
HP/KW 20/15		AISL. F		IP. 55		
SERVICIO S1		Ia/in 7,3		CAT.		
ROD delantero 6309ZZC3				Trasero 6309ZZC3		
HZ	RPM	F.S.	V	220	380	440 (760)
50			A			
60	1 745	1,15	A	50	30	25



Figura 37: Motor Delcrosa 20HP para descascarado

➤ Motor N°5 de la máquina post-limpia

**ARRANQUE DIRECTO**

<b>TIPO</b> 9100L4/ ED/ER		<b>N°</b> 2 064/0 701		<b>NORMA</b> IEC		
<b>HP/KW</b> 5.0/3.7		<b>AISL.</b> F		<b>IP.</b> 55		
<b>SERVICIO</b> S1		<b>Ia/in</b> 7.5		<b>CAT.</b>		
<b>ROD delantero</b> 6206			<b>ZZ</b>	<b>Trasero</b> 6201		<b>ZZ</b>
<b>HZ</b>	<b>RPM</b>	<b>F.S.</b>	<b>V</b> 220	<b>380</b>	<b>440</b>	<b>(760)</b>
50			A			
60	1 730	1,15	A 14,1	8,1	7,0	

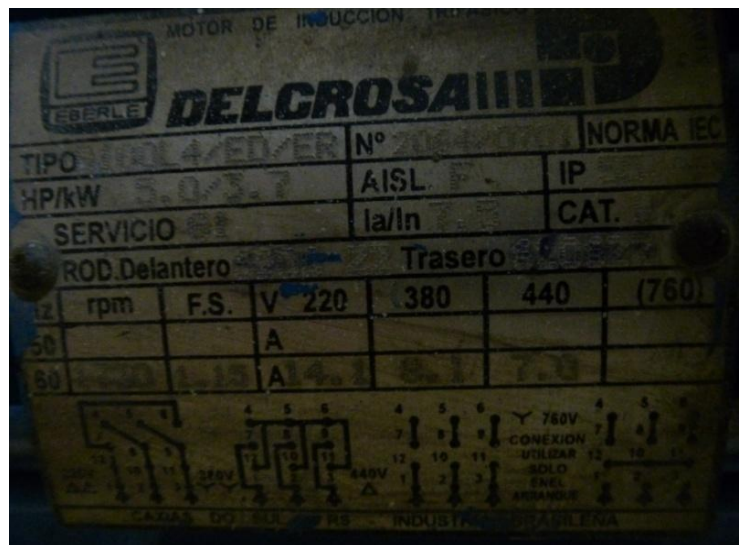


Figura 38: Motor Delcrosa 5HP para post-limpia

➤ Motor N°6 y N°7 de las mesas paddy



Figura 39: Motor Japonés para mesas paddy

➤ Motor N°8, N°9 y N°16 de las mesas paddy

**ARRANQUE DIRECTO**

<b>TIPO</b> 6100C6/ ED/ ER		<b>N°</b> 2 356 / 1 006		<b>NORMA</b> IEC		
<b>HP/KW</b> 3.0/2.2		<b>AISSL.</b> F		<b>IP.</b>		
<b>SERVICIO</b> S1		<b>Ia/in</b> 6,0		<b>CAT.</b>		
<b>ROD delantero</b> 6 206		ZZ		<b>Trasero</b> 6208		ZZ
<b>HZ</b>	<b>RPM</b>	<b>F.S.</b>	<b>V</b> 220	<b>380</b>	<b>440</b>	<b>(760)</b>
50			A			
60	1 145	1,15	A 10	5,76	3,0	

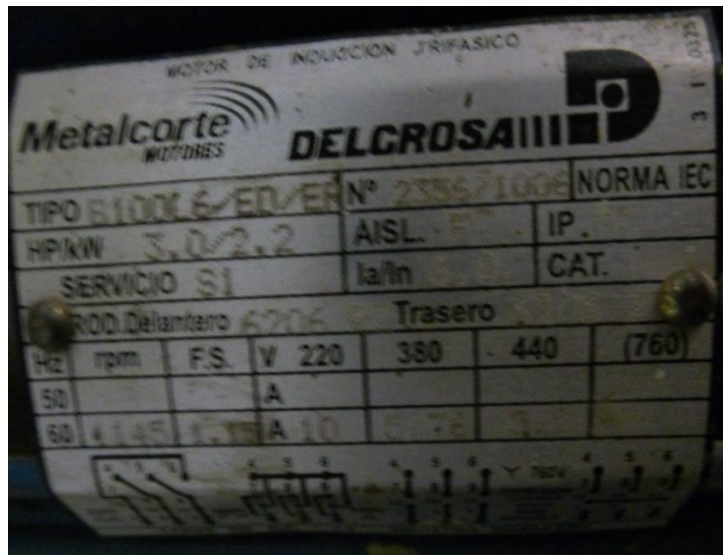


Figura 40: Motor Delcrosa 3HP para mesas paddy

➤ Motor N°10, N°11, N°12, N°14, N°15 y N°16 de las pulidoras

**ARRANQUE ESTRELLA TRIÁNGULO ( $\gamma$ -  $\Delta$ )**

<b>TIPO</b> B160LA/ ED/ ER		<b>N°</b> 03011215		<b>NORMA</b> IEC		
<b>HP/KW</b> 25/18,5		<b>AISSL.</b> F		<b>IP.</b>		
<b>SERVICIO</b> S1		<b>Ia/in</b> 9,1		<b>CAT.</b>		
<b>ROD delantero</b> 6309ZZ C3				<b>Trasero</b> 6208		ZZ
<b>HZ</b>	<b>RPM</b>	<b>F.S.</b>	<b>V</b> 220	<b>380</b>	<b>440</b>	
50			A			
60	1 755	1,15	A 60,1	34,7	25	

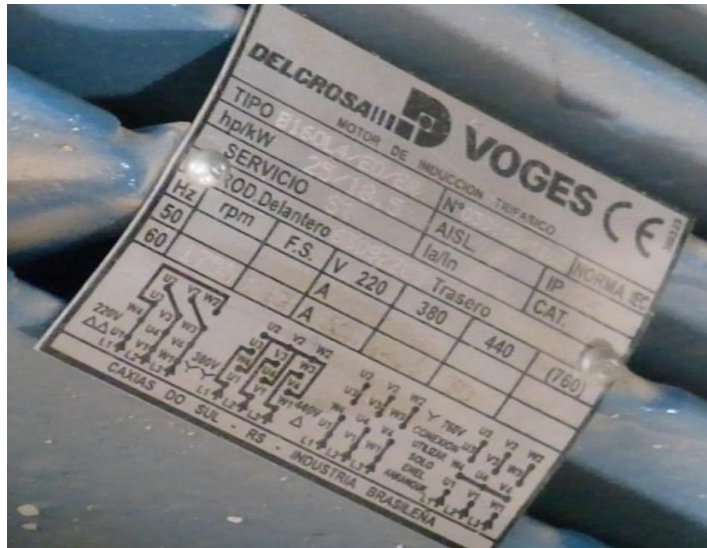


Figura 41: Motor Delcrosa 25HP para pulidora

➤ Motor N°17 de la lustradora

**ARRANQUE DIRECTO**

<b>SIEMENS</b>	3 Motor		<b>1LA5 112-4YB80</b>	
	5,0 / 3,7		<b>HP/kW</b>	<b>F.S. 1,15</b>
<b>BG 112M</b>	<b>Form. Cons</b>	<b>IMB3</b>		<b>S1</b>
<b>IP54</b>	220 Δ Δ – 380 YY – 440 Δ V			<b>Cl. Aisl F.</b>
30,7 kg	17 – 9,8 – 8,5	<b>A</b>		60 Hz
<b>IEC 34</b>	<b>Cos θ 0,78</b>			1760 RPM

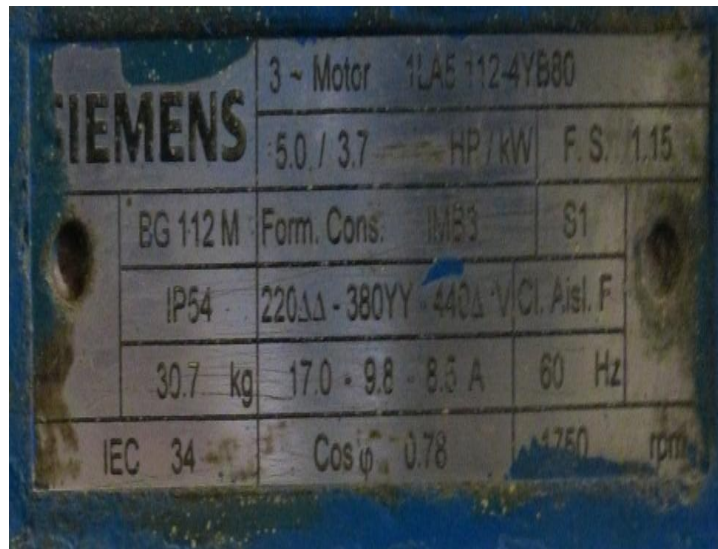


Figura 42: Motor Siemens 5HP para lustradora

➤ **Motor N°18 de las mesas rotativas**

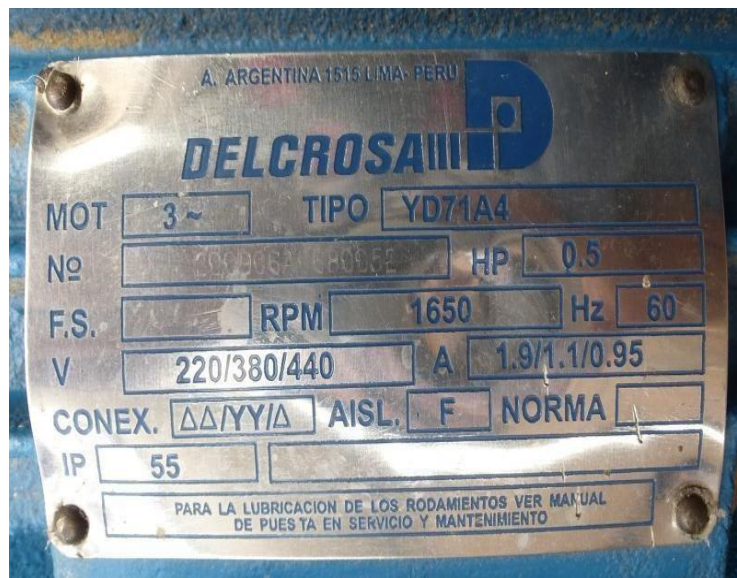
**ARRANQUE DIRECTO**

<b>SIEMENS</b>	3 Motor		<b>1LA5 112-4YB80</b>	
	2,0 / 1,5	<b>HP/kW</b>	<b>F.S. 1,15</b>	
<b>BG 112M</b>	<b>Form. Cons</b>	<b>IMB3</b>	<b>S1</b>	
<b>IP55</b>	220 – 380	<b>V</b>	<b>Cl. Aisl F.</b>	
<b>Ip/In 5,8</b>	7,21 – 4,17	<b>A</b>	60 Hz	
<b>IEC 34</b>	<b>Cos θ 0,70</b>		1150 RPM	



**Figura 43: Motor Siemens 2HP para mesa rotatoria**

➤ **Motor N°19 de las mesas rotativas**



**Figura 44: Motor Siemens 2HP para mesas rotativas**

## Anexo 2: Maquinaria en el proceso de pilado de arroz

### ➤ Máquina pre-limpia



Figura 45: Máquina pre-limpia

### ➤ Máquina mesa rotativa



Figura 46: Máquina para mesa rotativa

➤ **Máquina pulidora**



**Figura 47: Máquina pulidora**

➤ **Máquina mesa paddy**



**Figura 48: Máquina mesa paddy**

➤ **Panel de control**



**Figura 49: Panel de control**

➤ **Potencia instalada en la empresa**



**Figura 50: Potencia instalada**

### Anexo 3: Promedio móvil y factor de estacionalidad de la cascarilla de arroz

Año	Mes	Peso total de cascarilla de arroz (kg)	Promedio Móvil (n=12)	Factor de estacionalidad
2012	Enero	100 249		
	Febrero	94 325		
	Marzo	97 240		
	Abril	98 946		
	Mayo	100 528		
	Junio	102 006		
	Julio	126 854		
	Agosto	102 592		
	Septiembre	104 571		
	Octubre	106 291		
	Noviembre	111 037		
	Diciembre	127 021		
2013	Enero	103 523	105 972	0,977
	Febrero	95 116	106 244	0,895
	Marzo	100 068	106 310	0,941
	Abril	100 582	106 546	0,944
	Mayo	102 838	106 682	0,964
	Junio	108 515	106 875	1,015
	Julio	130 794	107 417	1,218
	Agosto	103 382	107 746	0,960
	Septiembre	106 916	107 811	0,992
	Octubre	108 546	108 007	1,005
	Noviembre	114 152	108 195	1,055
	Diciembre	131 540	108 454	1,213
2014	Enero	108 495	108 831	0,997
	Febrero	96 365	109 245	0,882
	Marzo	101 171	109 349	0,925
	Abril	103 825	109 441	0,949
	Mayo	106 136	109 712	0,967
	Junio	112 644	109 986	1,024
	Julio	133 064	110 330	1,206
	Agosto	108 130	110 520	0,978
	Septiembre	110 649	110 915	0,998
	Octubre	112 613	111 226	1,012
	Noviembre	119 123	111 565	1,068
	Diciembre	134 657	111 980	1,203

2015	Enero	113 265	112 239	1,009
	Febrero	98 905	112 637	0,878
	Marzo	104 078	112 849	0,922
	Abril	106 270	113 091	0,940
	Mayo	109 935	113 294	0,970
	Junio	117 345	113 611	1,033
	Julio	136 893	114 003	1,201
	Agosto	114 006	114 322	0,997
	Septiembre	114 134	114 812	0,994
	Octubre	116 481	115 102	1,012
	Noviembre	122 392	115 424	1,060
	Diciembre	137 001	115 697	1,184
2016	Enero	116 314	115 892	1,004
	Febrero	101 082	116 146	0,870
	Marzo	106 649	116 328	0,917
	Abril	107 671	116 542	0,924
	Mayo	115 846	116 659	0,993
	Junio	124 334	117 151	1,061
	Julio	139 275	117 734	1,183
	Agosto	119 260	117 932	1,011
	Septiembre	118 181	118 370	0,998
	Octubre	126 060	118 707	1,062
	Noviembre	128 344	119 505	1,074
	Diciembre	139 397	120 001	1,162
2017	Enero	122 514	120 201	1,019
	Febrero	107 997	120 718	0,895
	Marzo	106 340	121 294	0,877
	Abril	106 201	121 268	0,876
	Mayo	117 351	121 146	0,969
	Junio	122 945	121 271	1,014
	Julio	140 861	121 155	1,163
	Agosto	122 907	121 288	1,013
	Septiembre	125 209	121 591	1,030
	Octubre	130 117	122 177	1,065
	Noviembre	138 115	122 515	1,127
	Diciembre	143 287	123 330	1,162

**Anexo 4: Tendencia y factor cíclico de la cascarilla de arroz**

<b>Año</b>	<b>Mes</b>	<b>Peso total de cascarilla de arroz (kg)</b>	<b>Tendencia</b>	<b>Factor cíclico</b>
2012	Enero	100 249		
	Febrero	94 325		
	Marzo	97 240		
	Abril	98 946		
	Mayo	100 528		
	Junio	102 006		
	Julio	126 854		
	Agosto	102 592		
	Septiembre	104 571		
	Octubre	106 291		
	Noviembre	111 037		
	Diciembre	127 021		
2013	Enero	103 523	106 114	0,999
	Febrero	95 116	106 469	0,998
	Marzo	100 068	106 825	0,995
	Abril	100 582	107 180	0,994
	Mayo	102 838	107 535	0,992
	Junio	108 515	107 891	0,991
	Julio	130 794	108 246	0,992
	Agosto	103 382	108 602	0,992
	Septiembre	106 916	108 957	0,989
	Octubre	108 546	109 312	0,988
	Noviembre	114 152	109 668	0,987
	Diciembre	131 540	110 023	0,986
2014	Enero	108 495	110 379	0,986
	Febrero	96 365	110 734	0,987
	Marzo	101 171	111 089	0,984
	Abril	103 825	111 445	0,982
	Mayo	106 136	111 800	0,981
	Junio	112 644	112 155	0,981
	Julio	133 064	112 511	0,981
	Agosto	108 130	112 866	0,979
	Septiembre	110 649	113 222	0,980
	Octubre	112 613	113 577	0,979
	Noviembre	119 123	113 932	0,979
	Diciembre	134 657	114 288	0,980

2015	Enero	113 265	114 643	0,979
	Febrero	98 905	114 998	0,979
	Marzo	104 078	115 354	0,978
	Abril	106 270	115 709	0,977
	Mayo	109 935	116 065	0,976
	Junio	117 345	116 420	0,976
	Julio	136 893	116 775	0,976
	Agosto	114 006	117 131	0,976
	Septiembre	114 134	117 486	0,977
	Octubre	116 481	117 841	0,977
	Noviembre	122 392	118 197	0,977
	Diciembre	137 001	118 552	0,976
2016	Enero	116 314	118 908	0,975
	Febrero	101 082	119 263	0,974
	Marzo	106 649	119 618	0,972
	Abril	107 671	119 974	0,971
	Mayo	115 846	120 329	0,969
	Junio	124 334	120 685	0,971
	Julio	139 275	121 040	0,973
	Agosto	119 260	121 395	0,971
	Septiembre	118 181	121 751	0,972
	Octubre	126 060	122 106	0,972
	Noviembre	128 344	122 461	0,976
	Diciembre	139 397	122 817	0,977
2017	Enero	122 514	123 172	0,976
	Febrero	107 997	123 528	0,977
	Marzo	106 340	123 883	0,979
	Abril	106 201	124 238	0,976
	Mayo	117 351	124 594	0,972
	Junio	122 945	124 949	0,971
	Julio	140 861	125 304	0,967
	Agosto	122 907	125 660	0,965
	Septiembre	125 209	126 015	0,965
	Octubre	130 117	126 371	0,967
	Noviembre	138 115	126 726	0,967
	Diciembre	143 287	127 081	0,970

### Anexo 5: Promedio móvil y factor de estacionalidad del consumo de energía

Año	Mes	Consumo de energía (kWh)	Promedio Móvil (n=12)	Factor de estacionalidad
2012	Enero	20 123		
	Febrero	18 397		
	Marzo	19 542		
	Abril	19 743		
	Mayo	20 203		
	Junio	21 031		
	Julio	24 772		
	Agosto	20 497		
	Septiembre	20 837		
	Octubre	21 140		
	Noviembre	21 979		
	Diciembre	24 881		
2013	Enero	20 484	21 095	0,971
	Febrero	18 508	21 126	0,876
	Marzo	19 687	21 135	0,931
	Abril	19 884	21 147	0,940
	Mayo	20 385	21 159	0,963
	Junio	21 288	21 174	1,005
	Julio	25 230	21 195	1,190
	Agosto	20 604	21 233	0,970
	Septiembre	21 005	21 242	0,989
	Octubre	21 293	21 256	1,002
	Noviembre	22 285	21 269	1,048
	Diciembre	25 292	21 295	1,188
2014	Enero	20 961	21 329	0,983
	Febrero	18 680	21 369	0,874
	Marzo	19 852	21 383	0,928
	Abril	20 050	21 397	0,937
	Mayo	20 539	21 410	0,959
	Junio	21 439	21 423	1,001
	Julio	25 834	21 436	1,205
	Agosto	20 765	21 486	0,966
	Septiembre	21 221	21 500	0,987
	Octubre	21 479	21 518	0,998
	Noviembre	22 563	21 533	1,048
	Diciembre	25 817	21 556	1,198

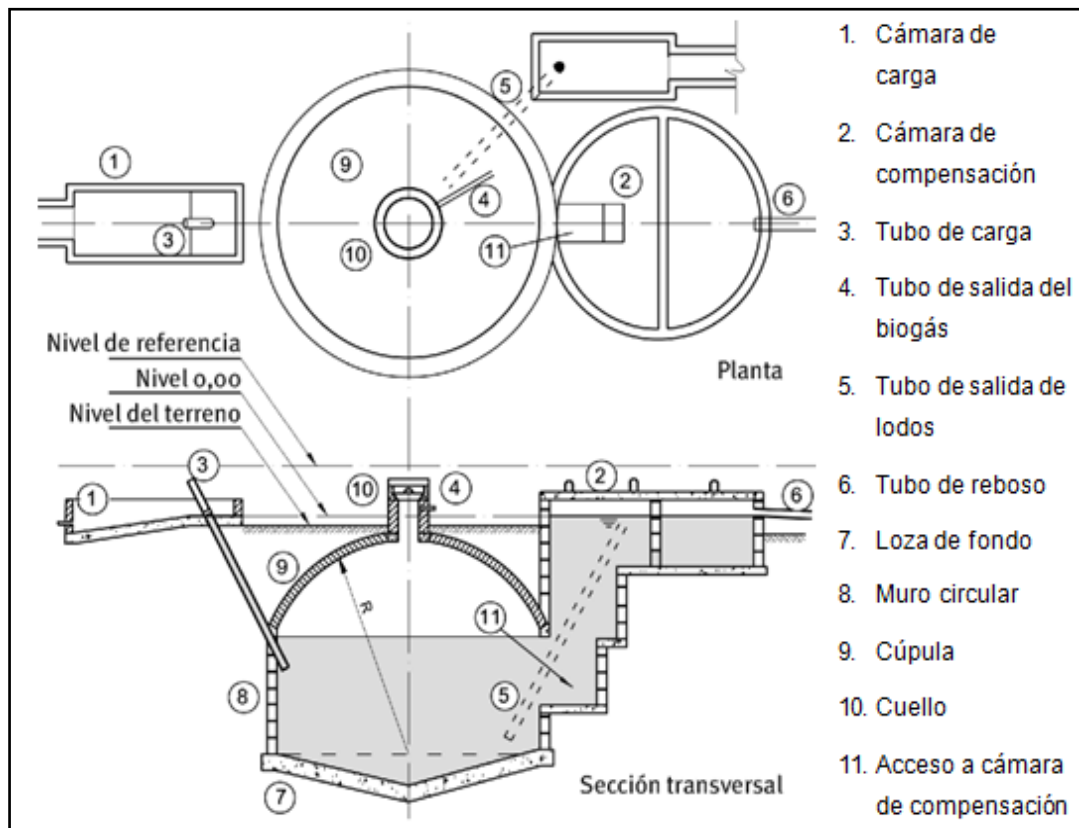
2015	Enero	21 490	21 600	0,995
	Febrero	18 951	21 644	0,876
	Marzo	20 150	21 667	0,930
	Abril	20 279	21 692	0,935
	Mayo	21 281	21 711	0,980
	Junio	21 906	21 772	1,006
	Julio	26 577	21 811	1,218
	Agosto	21 313	21 873	0,974
	Septiembre	21 575	21 919	0,984
	Octubre	22 052	21 948	1,005
	Noviembre	23 002	21 996	1,046
	Diciembre	26 442	22 033	1,200
2016	Enero	21 652	22 085	0,980
	Febrero	19 145	22 098	0,866
	Marzo	20 265	22 115	0,916
	Abril	21 319	22 124	0,964
	Mayo	21 559	22 211	0,971
	Junio	22 439	22 234	1,009
	Julio	26 915	22 278	1,208
	Agosto	22 245	22 307	0,997
	Septiembre	22 530	22 384	1,007
	Octubre	23 939	22 464	1,066
	Noviembre	24 208	22 621	1,070
	Diciembre	26 928	22 722	1,185
2017	Enero	21 805	22 762	0,958
	Febrero	20 080	22 775	0,882
	Marzo	20 090	22 853	0,879
	Abril	21 092	22 838	0,924
	Mayo	22 152	22 819	0,971
	Junio	23 665	22 869	1,035
	Julio	28 298	22 971	1,232
	Agosto	23 763	23 086	1,029
	Septiembre	24 087	23 213	1,038
	Octubre	25 259	23 342	1,082
	Noviembre	25 657	23 452	1,094
	Diciembre	28 168	23 573	1,195

### Anexo 6: Tendencia y factor cíclico del consumo de energía

Año	Mes	Consumo de energía (kWh)	Tendencia	Factor de estacionalidad
2012	Enero	20 123		
	Febrero	18 397		
	Marzo	19 542		
	Abril	19 743		
	Mayo	20 203		
	Junio	21 031		
	Julio	24 772		
	Agosto	20 497		
	Septiembre	20 837		
	Octubre	21 140		
	Noviembre	21 979		
	Diciembre	24 881		
2013	Enero	20 484	20 841	1,012
	Febrero	18 508	20 894	1,011
	Marzo	19 687	20 947	1,009
	Abril	19 884	21 001	1,007
	Mayo	20 385	21 054	1,005
	Junio	21 288	21 107	1,003
	Julio	25 230	21 160	1,002
	Agosto	20 604	21 213	1,001
	Septiembre	21 005	21 267	0,999
	Octubre	21 293	21 320	0,997
	Noviembre	22 285	21 373	0,995
	Diciembre	25 292	21 426	0,994
2014	Enero	20 961	21 480	0,993
	Febrero	18 680	21 533	0,992
	Marzo	19 852	21 586	0,991
	Abril	20 050	21 639	0,989
	Mayo	20 539	21 692	0,987
	Junio	21 439	21 746	0,985
	Julio	25 834	21 799	0,983
	Agosto	20 765	21 852	0,983
	Septiembre	21 221	21 905	0,981
	Octubre	21 479	21 959	0,980
	Noviembre	22 563	22 012	0,978
	Diciembre	25 817	22 065	0,977

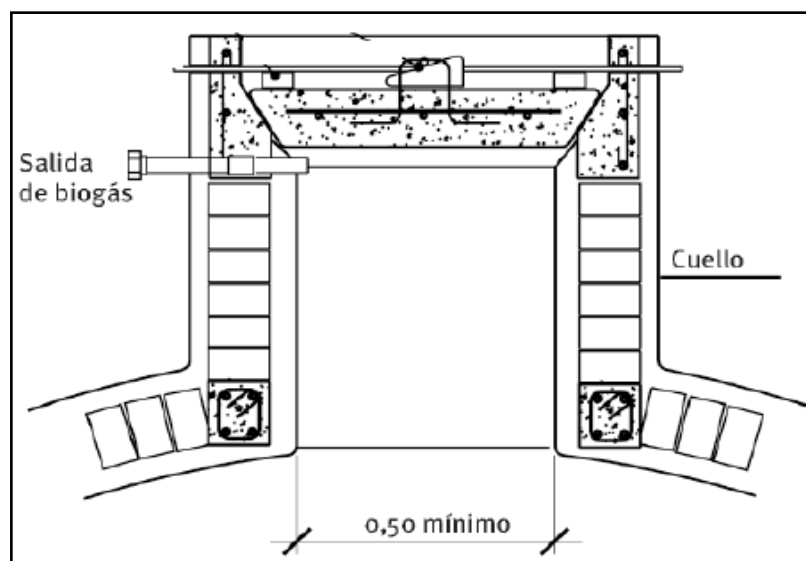
2015	Enero	21 490	22 118	0,977
	Febrero	18 951	22 172	0,976
	Marzo	20 150	22 225	0,975
	Abril	20 279	22 278	0,974
	Mayo	21 281	22 331	0,972
	Junio	21 906	22 384	0,973
	Julio	26 577	22 438	0,972
	Agosto	21 313	22 491	0,973
	Septiembre	21 575	22 544	0,972
	Octubre	22 052	22 597	0,971
	Noviembre	23 002	22 651	0,971
	Diciembre	26 442	22 704	0,970
2016	Enero	21 652	22 757	0,970
	Febrero	19 145	22 810	0,969
	Marzo	20 265	22 863	0,967
	Abril	21 319	22 917	0,965
	Mayo	21 559	22 970	0,967
	Junio	22 439	23 023	0,966
	Julio	26 915	23 076	0,965
	Agosto	22 245	23 130	0,964
	Septiembre	22 530	23 183	0,966
	Octubre	23 939	23 236	0,967
	Noviembre	24 208	23 289	0,971
	Diciembre	26 928	23 342	0,973
2017	Enero	21 805	23 396	0,973
	Febrero	20 080	23 449	0,971
	Marzo	20 090	23 502	0,972
	Abril	21 092	23 555	0,970
	Mayo	22 152	23 609	0,967
	Junio	23 665	23 662	0,966
	Julio	28 298	23 715	0,969
	Agosto	23 763	23 768	0,971
	Septiembre	24 087	23 821	0,974
	Octubre	25 259	23 875	0,978
	Noviembre	25 657	23 928	0,980
	Diciembre	28 168	23 981	0,983

**Anexo 7: Esquemas referenciales en el diseño del sistema de generación de biogás**



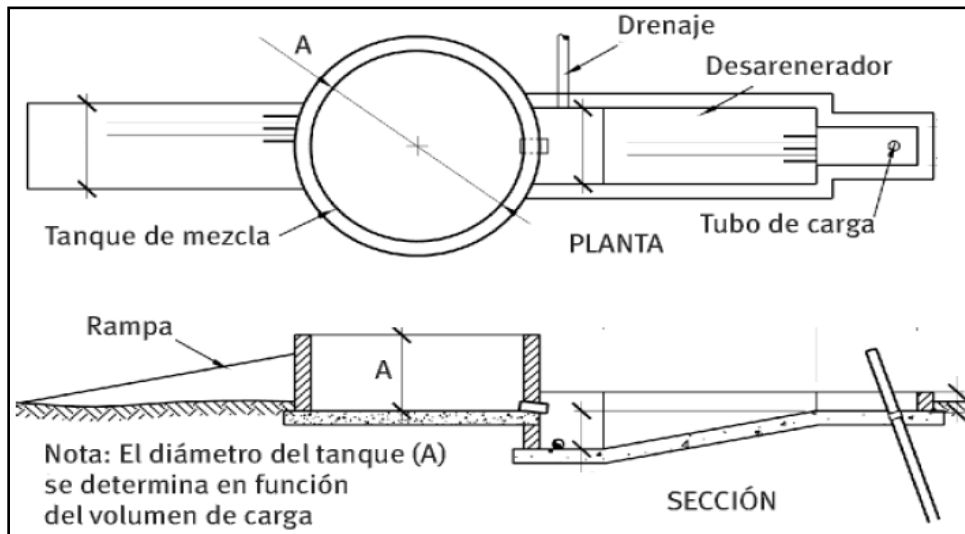
**Figura 51: Partes del biodigestor chino**

Fuente: Guardado, 2007



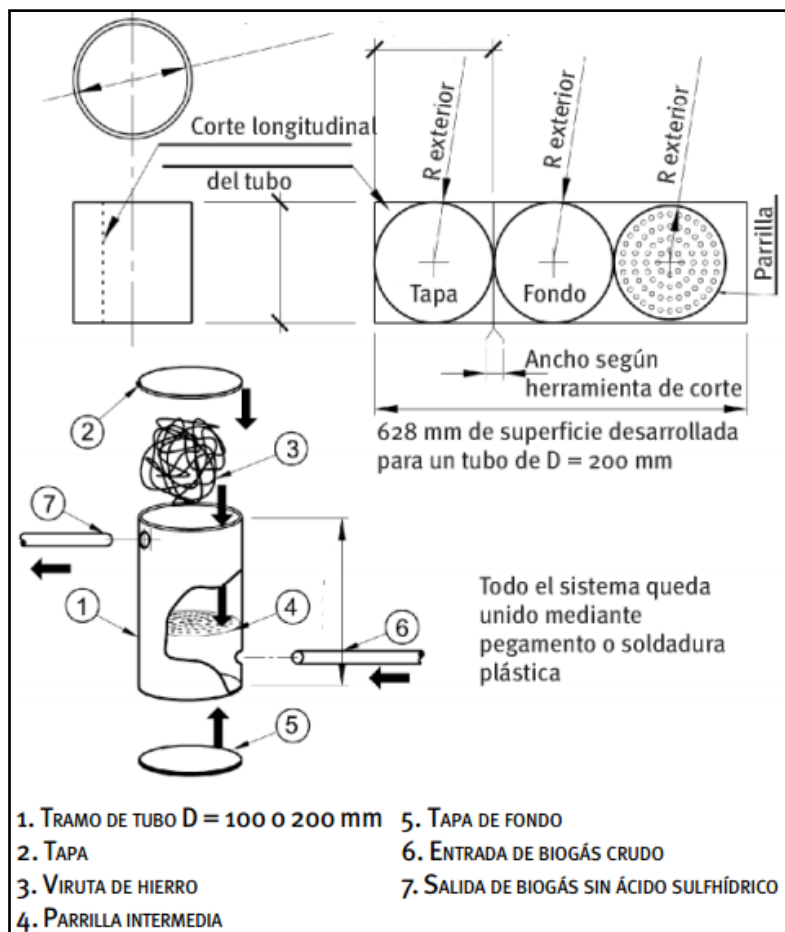
**Figura 52: Cuello del biodigestor modelo chino**

Fuente: Guardado, 2007



**Figura 53: Cámara de carga del biodigestor modelo chino**

Fuente: Guardado, 2007

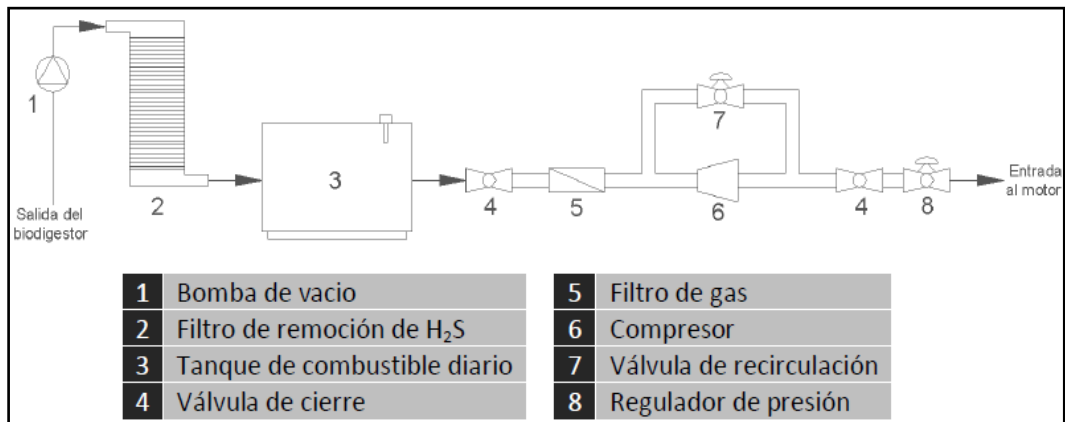


- |                                   |   |
|-----------------------------------|---|
| 1. TRAMO DE TUBO D = 100 O 200 mm | 5. TAPA DE FONDO                        |
| 2. TAPA                           | 6. ENTRADA DE BIOGÁS CRUDO              |
| 3. VIRUTA DE HIERRO               | 7. SALIDA DE BIOGÁS SIN ÁCIDO SULFÚRICO |
| 4. PARRILLA INTERMEDIA            |   |

**Figura 54: Montaje de un desulfurador**

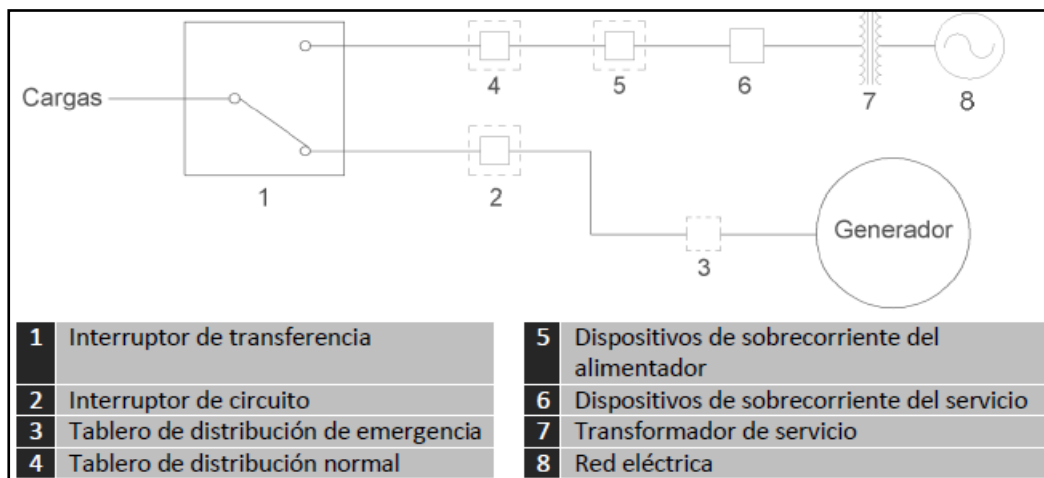
Fuente: Guardado, 2007

## Anexo 8: Esquemas referenciales en el diseño del sistema de aprovechamiento de biogás y generación de electricidad



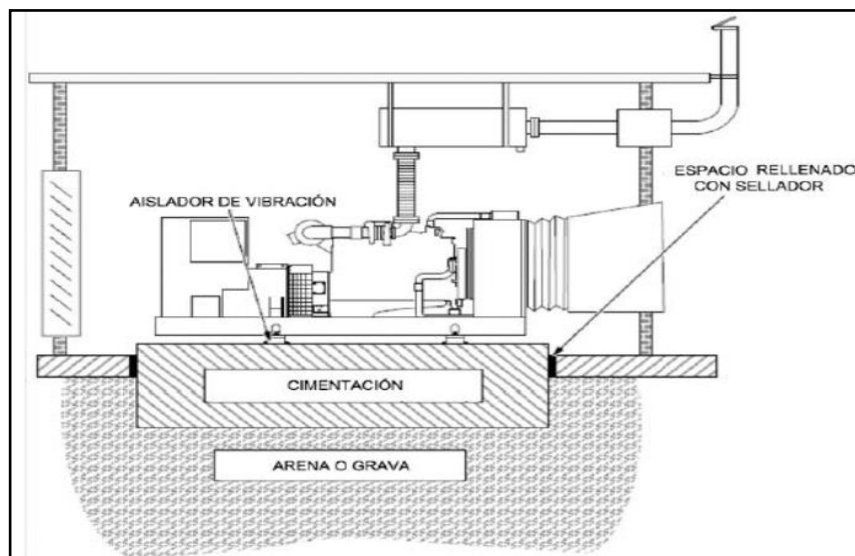
**Figura 55: Esquema del sistema de alimentación de combustible**

Fuente: Labiano, 2014



**Figura 56: Esquema del sistema eléctrico**

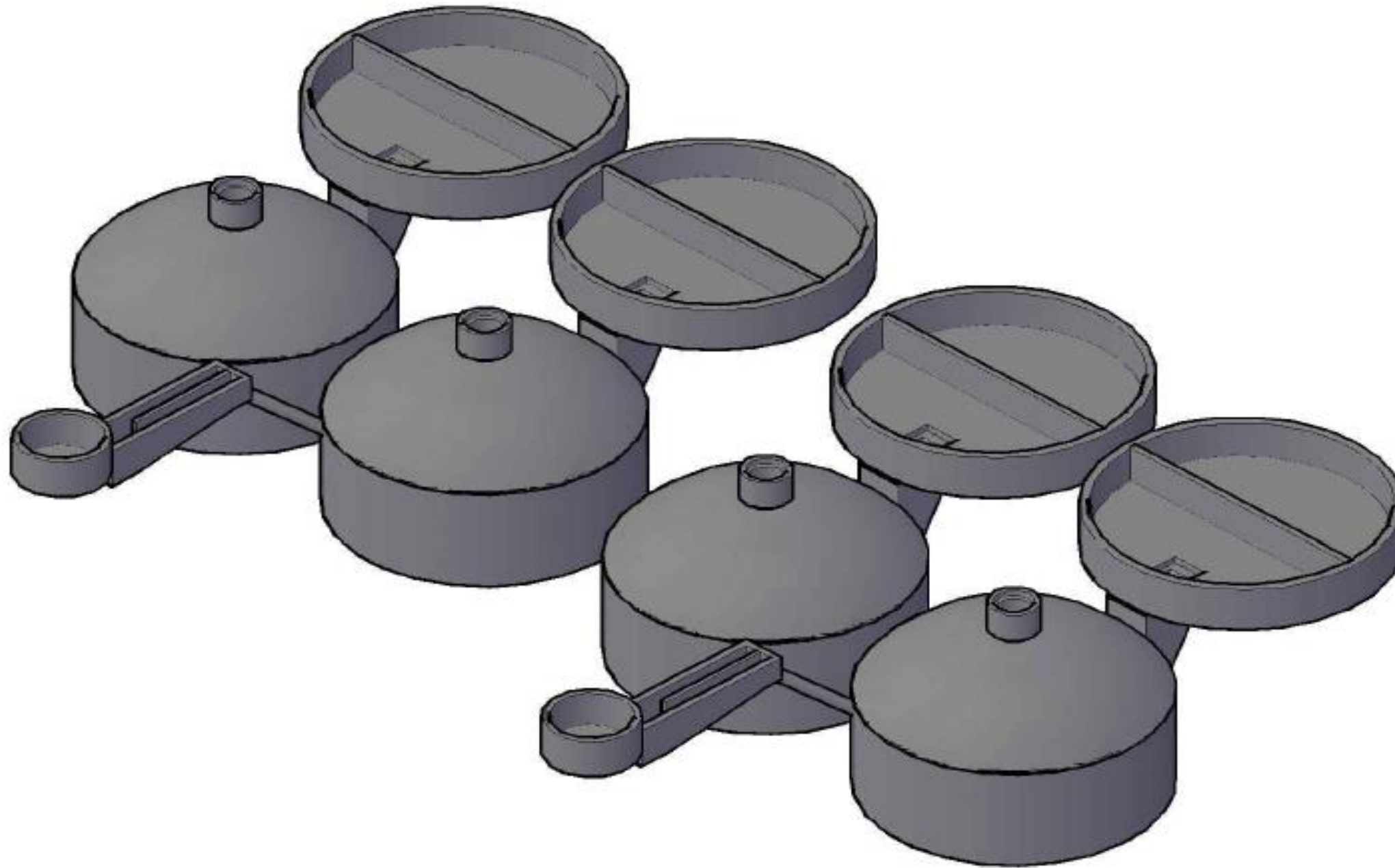
Fuente: Labiano, 2014


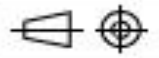


**Figura 57: Cimentación de un grupo electrógeno**

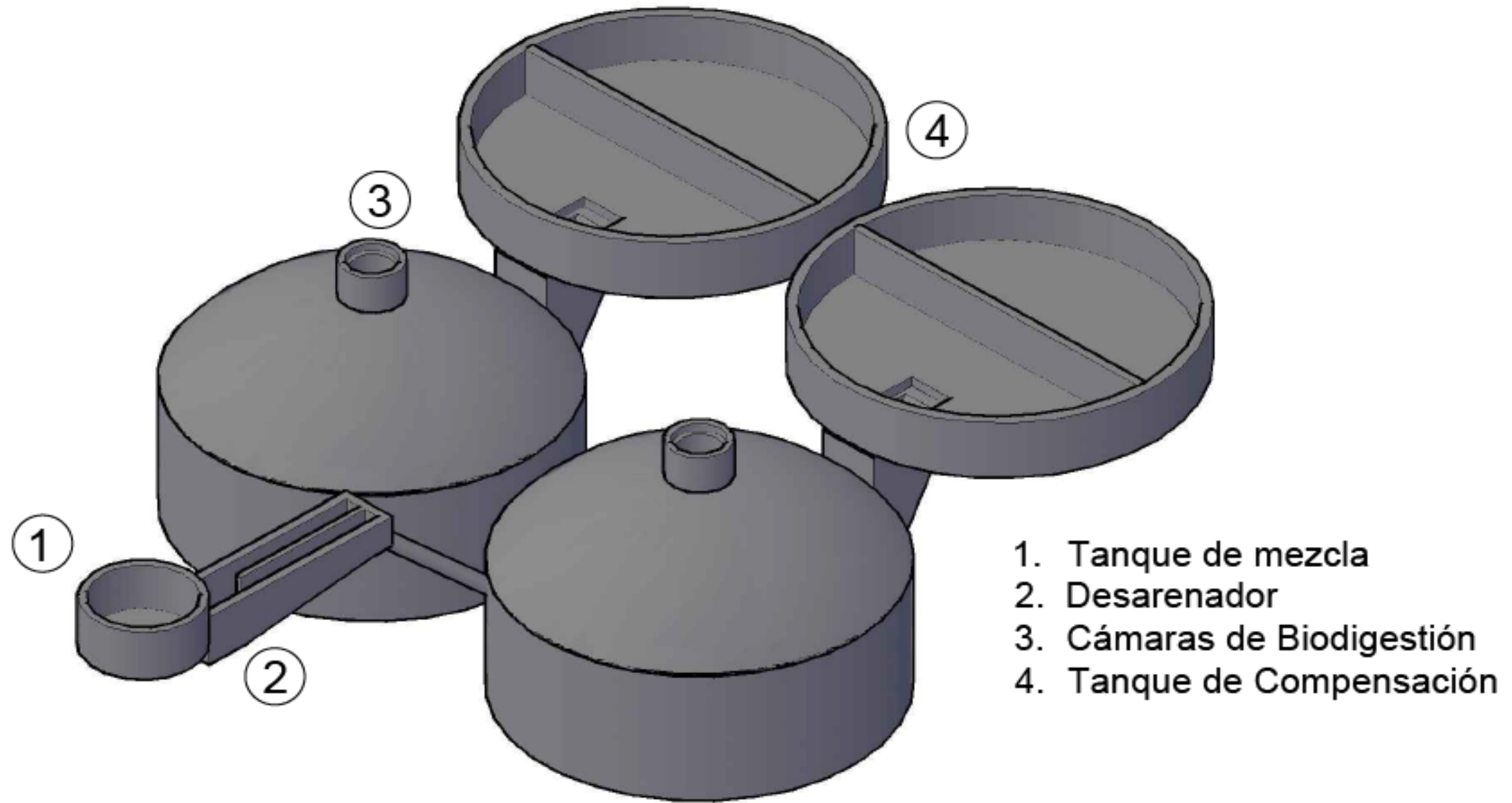
Fuente: Cummins Power Generation, 2010


Anexo 9: Sistema de generación de biogás



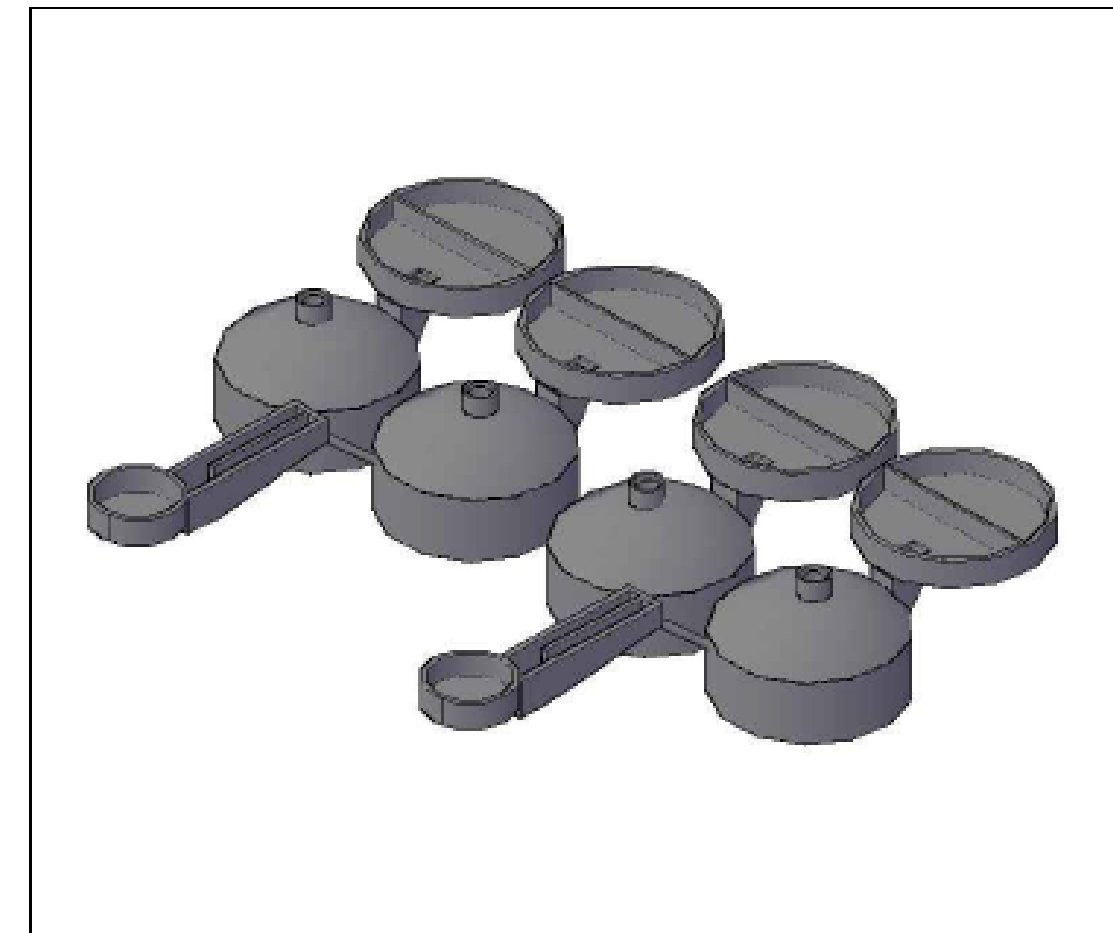
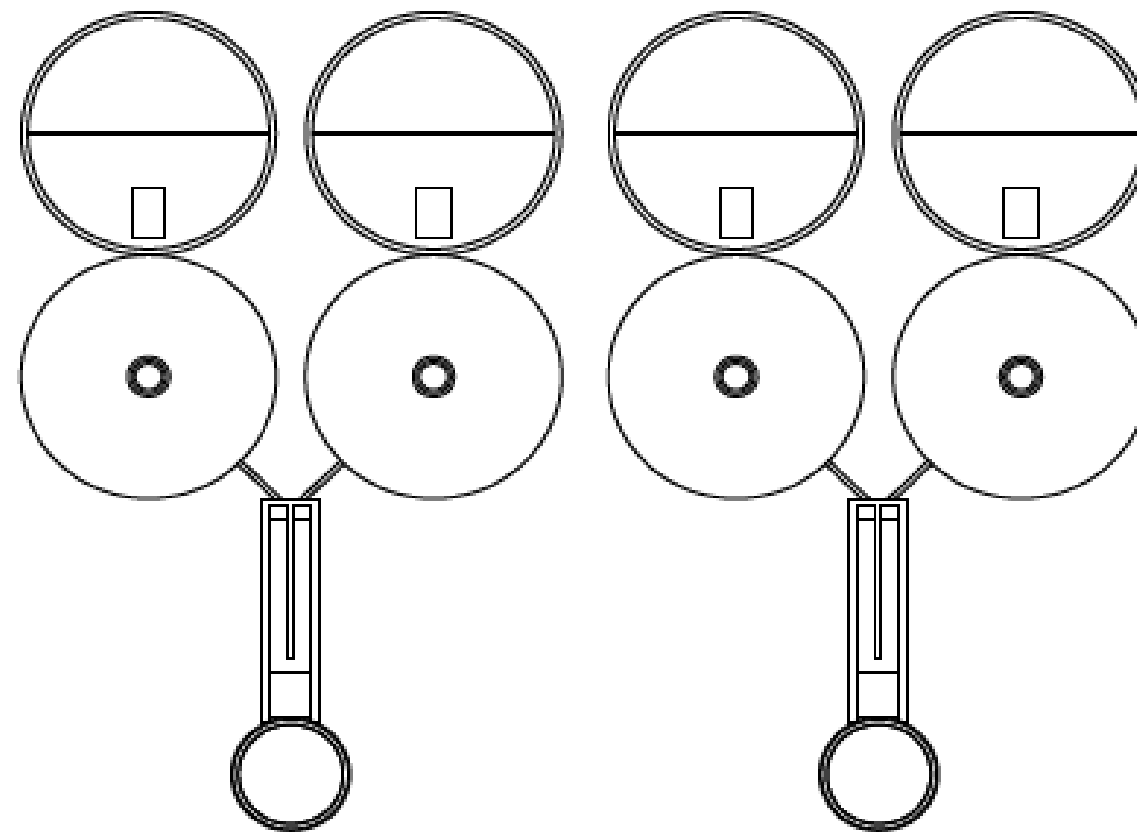
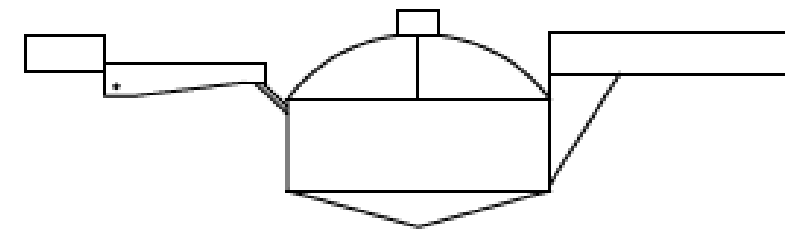
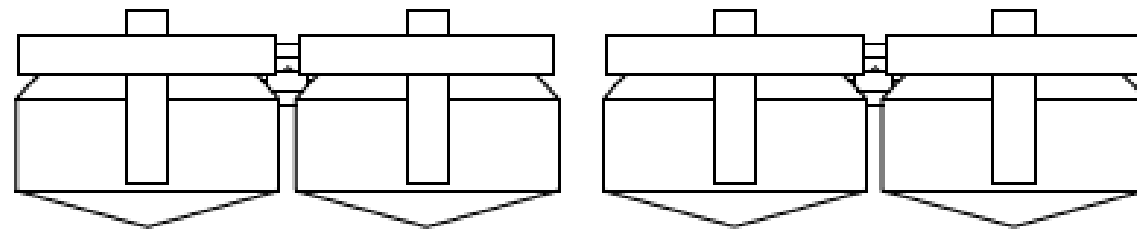
Observaciones		Título: <b>SISTEMA DE GENERACIÓN DE BIOGÁS</b>		Código: PG1
				Hoja N°: 1 de 1
Escala	Un. dim. m		ESCUELA DE INGENIERIA INDUSTRIAL	Fecha: 07/09/2016
1:5			UNIVERSIDAD CATOLICA SANTO TORIBIO DE MOGROVEJO	

Anexo 10: Partes del sistema de generación de biogás



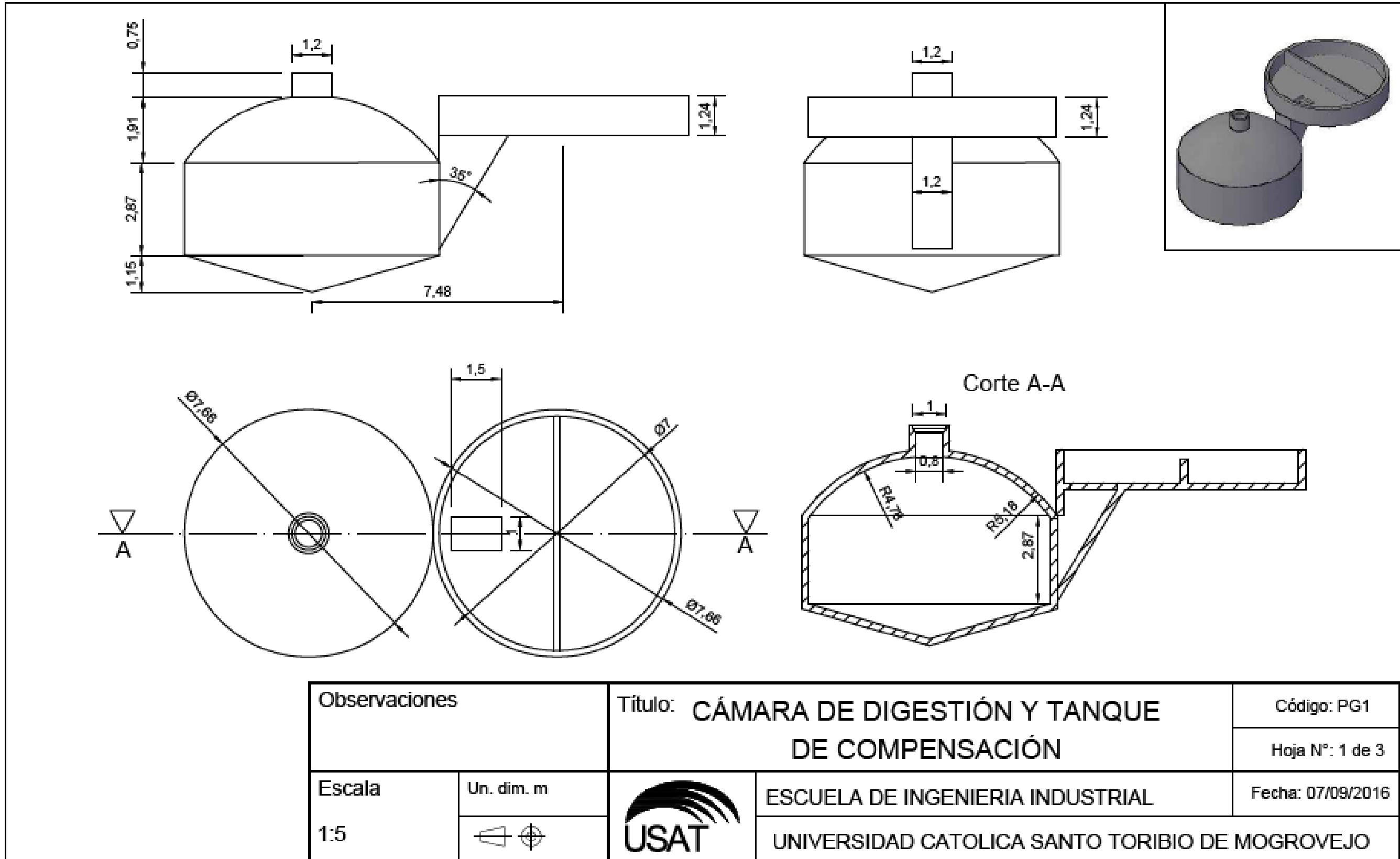
Observaciones		Título: SISTEMA DE GENERACIÓN DE BIOGÁS		Código: PG1
				Hoja N°: 1 de 1
Escala 1:5	Un. dim. m ⊕		ESCUELA DE INGENIERIA INDUSTRIAL	Fecha: 07/09/2016
			UNIVERSIDAD CATOLICA SANTO TORIBIO DE MOGROVEJO	

Anexo 11: Biodigestores en paralelo

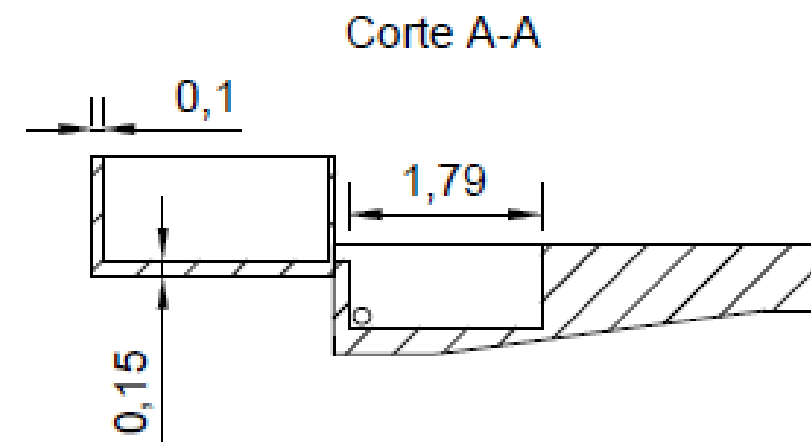
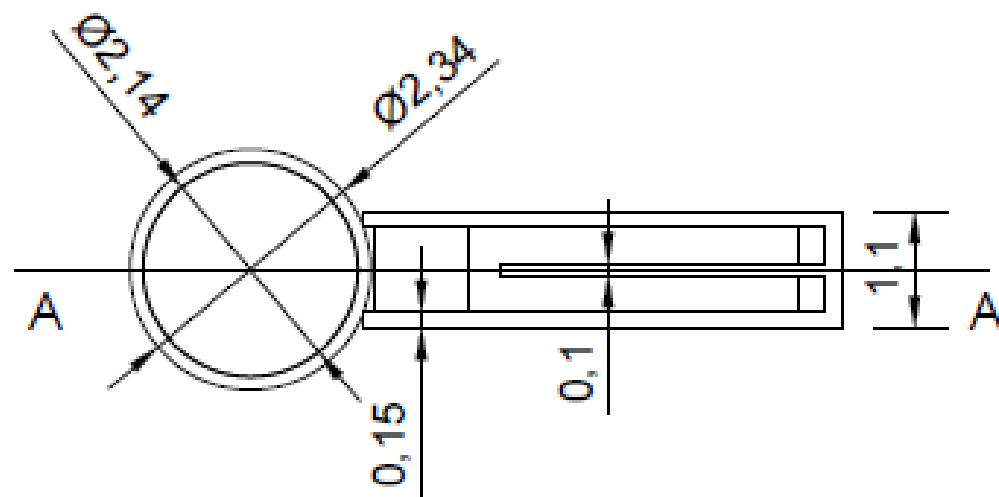
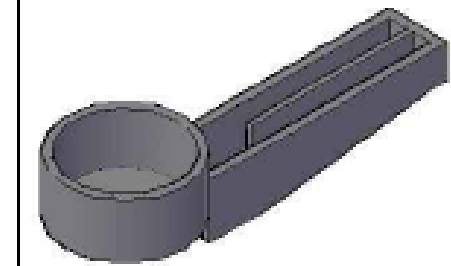
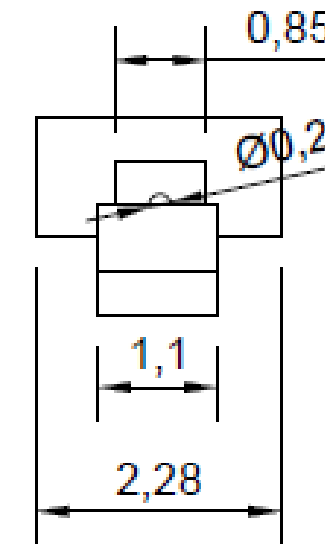
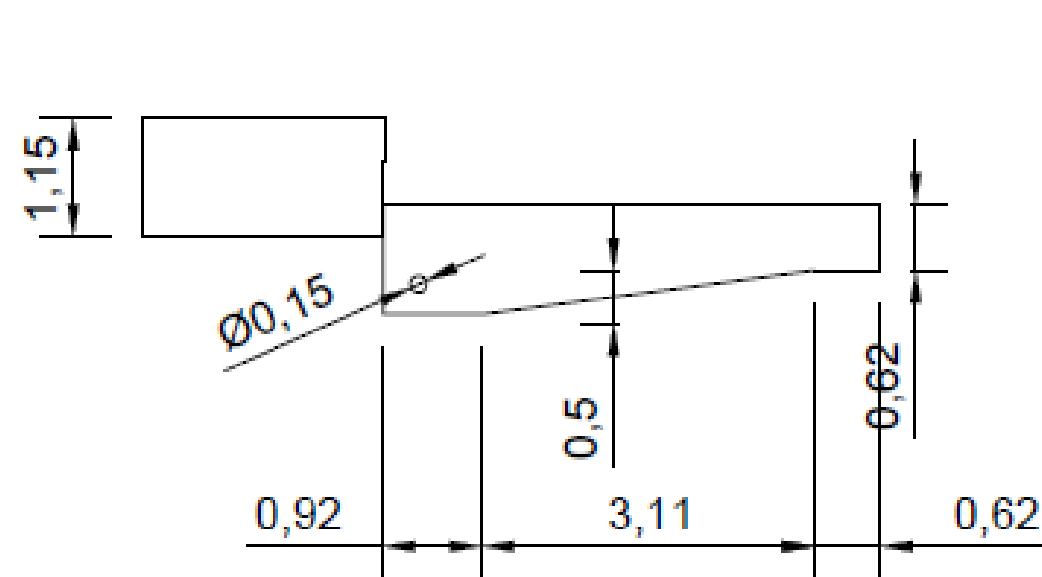




Observaciones		Título: <b>BIODIGESTORES EN PARALELO</b>		Código: PG3
				Hoja N°: 3 de 3
Escala	Un. dim. m		ESCUELA DE INGENIERIA INDUSTRIAL	Fecha: 30/10/2016
1:5			UNIVERSIDAD CATOLICA SANTO TORIBIO DE MOGROVEJO	

Anexo 12: Cámara de digestión y tanque de compensación

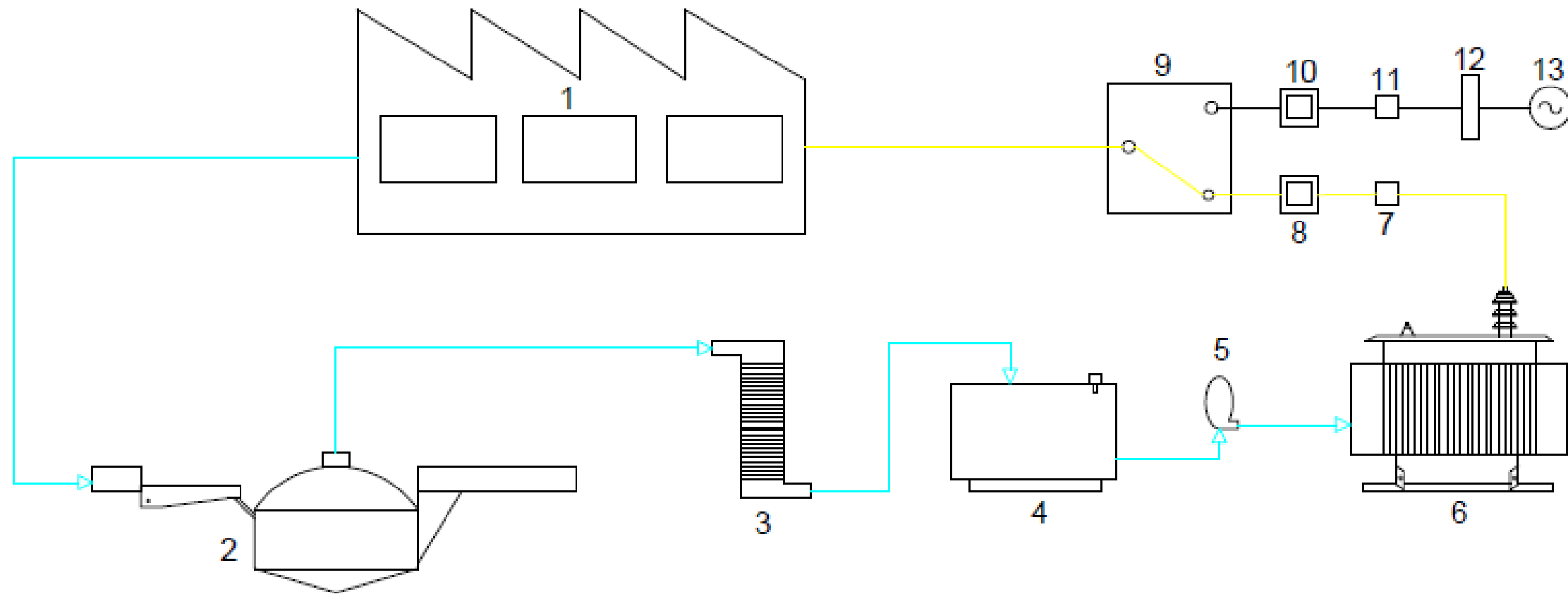


Anexo 13: Cámara de carga del biodigestor


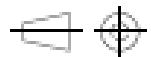


Observaciones		Título: <b>CÁMARA DE CARGA</b>		Código: PG2
				Hoja N°: 2 de 3
Escala	Un. dim. m		ESCUELA DE INGENIERIA INDUSTRIAL	Fecha: 07/09/2016
1:5			UNIVERSIDAD CATOLICA SANTO TORIBIO DE MOGROVEJO	

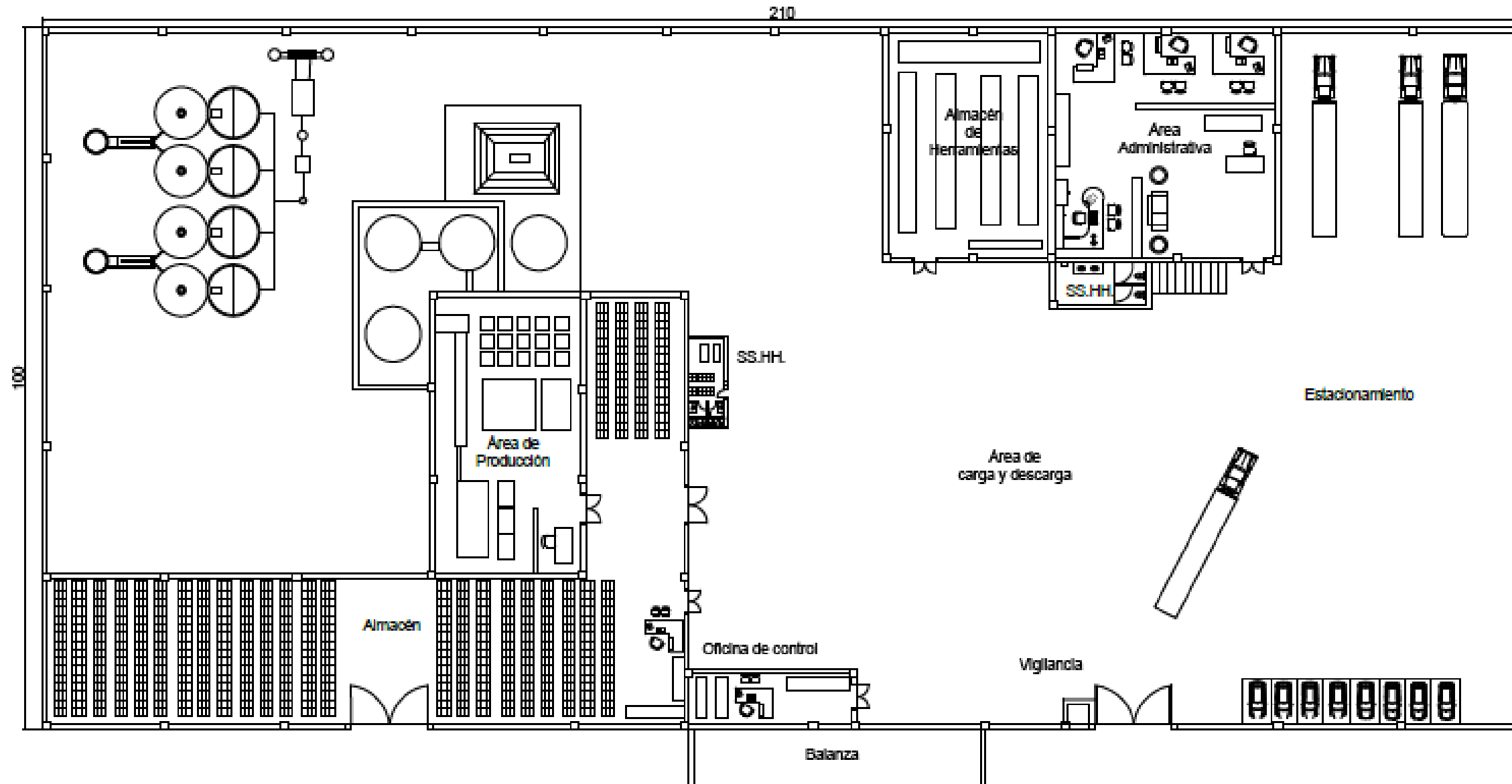
Anexo 14: Sistema de aprovechamiento de biogás





- |                                |                                     |
|--------------------------------|-------------------------------------|
| 1. Instalaciones de la empresa | 7. Interruptor de circuito          |
| 2. Biodigestores               | 8. Tablero de distribución          |
| 3. Desulfurador                | 9. Interruptor de transferencia     |
| 4. Tanque de Almacenamiento    | 10. Tablero de distribución         |
| 5. Tren de calibración         | 11. Dispositivos de sobrecorrientes |
| 6. Grupo electrógeno           | 12. Transformador                   |
|                                | 13. Red eléctrica                   |

Observaciones		Título: <b>SISTEMA DE APROVECHAMIENTO DE BIOGÁS</b>		Código: PG1
				Hoja N°: 1 de 1
Escala	Un. dim. m		ESCUELA DE INGENIERIA INDUSTRIAL	Fecha: 07/09/2016
1:5			UNIVERSIDAD CATOLICA SANTO TORIBIO DE MOGROVEJO	

Anexo 15: Distribución del sistema de generación de biogás en Piladora La Merced S.R.L.



Observaciones		Título: INSTALACIONES DEL SISTEMA DE GENERACIÓN DE BIOGÁS		Código: PG1
				Hoja N°: 1 de 1
Escala	Un. dim. m		ESCUELA DE INGENIERIA INDUSTRIAL	Fecha: 30/10/2016
1:5			UNIVERSIDAD CATOLICA SANTO TORIBIO DE MOGROVEJO	