



**UNIVERSIDAD CÉSAR VALLEJO**

**FACULTAD DE INGENIERÍA Y ARQUITECTURA  
ESCUELA PROFESIONAL DE INGENIERÍA MECÁNICA  
ELÉCTRICA**

Optimización del sistema eléctrico utilizando energías renovables no convencionales. Caso: molinera de arroz en Lambayeque

**TESIS PARA OBTENER EL TÍTULO PROFESIONAL DE:**

Ingeniero Mecánico Electricista

**AUTORES:**

Flores Effio, Rafael Heber (ORCID: 0000-0003-1900-4426)

Ramirez Veliz, Renzo German Guido (ORCID: 0000-0002-4858-8064)

**ASESOR:**

Dr. Salazar Mendoza, Anibal Jesus (ORCID: 0000-0003-4412-8789)

**LÍNEA DE INVESTIGACIÓN:**

Generación, Transmisión y Distribución

**LÍNEA DE RESPONSABILIDAD SOCIAL UNIVERSITARIA:**

Innovación tecnológica y desarrollo sostenible

**CHICLAYO – PERÚ**

**2021**

## **Dedicatoria**

A Dios

Por haberme dado la vida y poder gozar de buena salud, el cual permitió culminar con éxito mi formación profesional.

A mis padres

Por ser mi motor y motivo para lograr alcanzar mi mayor meta.

***Renzo German Guido***

A Dios por haberme brindado las fuerzas necesarias para superar las dificultades que se me presentaron ya que sin él nunca hubiese logrado mis metas trazadas.

***Rafael Heber***

## **Agradecimiento**

Mi más sincero agradecimiento a nuestros profesores por las sabias enseñanzas, que me brindaron. Asimismo, agradezco a nuestros queridos padres por la enseñanza que me dieron de seguir luchando para cumplir las metas

***Renzo German Guido y Rafael Heber***

## Índice de contenidos

Carátula .....	i
Dedicatoria .....	ii
Agradecimiento .....	iii
Índice de contenidos .....	iv
Índice de tablas .....	v
Índice de figuras .....	vi
Resumen.....	vii
Abstract.....	viii
<b>I. INTRODUCCIÓN.....</b>	<b>1</b>
<b>II. MARCO TEÓRICO.....</b>	<b>4</b>
<b>III. METODOLOGÍA.....</b>	<b>13</b>
3.1. Tipo y diseño de investigación .....	13
3.2. Variables y operacionalización.....	13
3.3. Población, muestra, muestreo, unidad de análisis .....	13
3.4. Técnicas e instrumentos de recolección de datos.....	14
3.5. Procedimientos .....	15
3.6. Método de análisis de datos.....	16
3.7. Aspectos éticos .....	16
<b>IV. RESULTADOS.....</b>	<b>17</b>
<b>V. DISCUSIÓN.....</b>	<b>47</b>
<b>VI. CONCLUSIONES.....</b>	<b>50</b>
<b>VII. RECOMENDACIONES.....</b>	<b>51</b>
<b>REFERENCIAS.....</b>	<b>52</b>
<b>ANEXOS.....</b>	<b>59</b>

## Índice de tablas

<b>Tabla 1.</b> <i>Parámetros climáticos de la ciudad de Lambayeque</i> .....	17
<b>Tabla 2.</b> <i>Maquinas eléctricas de la línea de pilado</i> .....	18
<b>Tabla 3.</b> <i>Motores eléctricos de la planta de secado</i> .....	19
<b>Tabla 4.</b> <i>Cargas del área de computo</i> .....	19
<b>Tabla 5.</b> <i>Cargas de iluminación</i> .....	19
<b>Tabla 6.</b> <i>Consumo Energético del molino (kWh)</i> .....	21
<b>Tabla 7.</b> <i>Radiación promedio mensual</i> .....	22
<b>Tabla 8.</b> <i>Energía solar obtenida en un año a base de los datos de la NASA</i> .....	23
<b>Tabla 9.</b> <i>Comparación de poder calorífico cascara de arroz – combustibles</i> .....	24
<b>Tabla 10.</b> <i>Comparación de los sistemas de aprovechamiento energético aplicado al molino de arroz</i> .....	28
<b>Tabla 11.</b> <i>Reacciones y formulas del proceso de gasificación de biomasa</i> .....	30
<b>Tabla 12.</b> <i>Comparación de características básicas de tipos de gasificadores</i> .....	31
<b>Tabla 13.</b> <i>Producción proyectada de arroz pilado</i> .....	34
<b>Tabla 14.</b> <i>Proyección de la producción de la cascarilla de arroz</i> .....	35
<b>Tabla 15.</b> <i>Data histórica de consumo de energía 2015 – 2019</i> .....	36
<b>Tabla 16.</b> <i>Series de proyección de consumo energético</i> .....	37
<b>Tabla 17.</b> <i>Data de costo de energía S/</i> .....	37
<b>Tabla 18.</b> <i>Costo energético proyectado</i> .....	38
<b>Tabla 19.</b> <i>Flujo de caja</i> .....	45

## Índice de figuras

<i>Figura 1.</i> Evolución de la potencia instalada según tipo de generación – Perú (2009 al 2019) .....	1
<i>Figura 2.</i> Configuración de un Sistema Solar On Grid .....	9
<i>Figura 3.</i> Configuración de un Sistema Solar Off Grid .....	10
<i>Figura 4.</i> Diagrama de barras de potencia instalada del molino.....	20
<i>Figura 5.</i> Diagrama circular del porcentaje de carga en cada sector .....	20
<i>Figura 6.</i> Diagrama circular de consumo energético en cada sector.....	21
<i>Figura 7.</i> Sistema de combustión directa para generar electricidad.....	25
<i>Figura 8.</i> Capacidad de potencia de los gasificadores .....	32
<i>Figura 9.</i> Gasificador de tiro ascendente.....	33
<i>Figura 10.</i> Proyección de la Producción de arroz Pilado del 2020 – 2026 .....	34
<i>Figura 11.</i> Proyección de la Producción de cascarilla de Arroz 2020 – 2026.....	35
<i>Figura 12.</i> Proyección del consumo de electricidad en kWhr 2020 – 2026 .....	36
<i>Figura 13.</i> Proyección del Costo de Energía Eléctrica 2020 – 2026 .....	38
<i>Figura 14.</i> Luz solar completa .....	41
<i>Figura 15.</i> Sol con neblina.....	41
<i>Figura 16.</i> Parcialmente nublado.....	41
<i>Figura 17.</i> De noche.....	42
<i>Figura 18.</i> Facilitadores de flexibilidad .....	42
<i>Figura 19.</i> Comparación económica de fuentes de flexibilidad .....	43

## Resumen

La crisis energética mundial expresado en el aumento de carbono en la atmosfera, que ha originado todo un objetivo mundial de descarbonización de la producción de energía, en el cual en el mes de noviembre del 2021, el Perú en la COP 29, se ha comprometido a disminuir su aportación de carbono a la atmosfera y el cenit de Petróleo, que hace que este sea cada vez más escaso y lejano de extraer y con mayores impactos a la naturaleza, determinan la utilización de la energías renovables no convencionales , el Perú en el Norte y en específico la región Lambayeque, existe un gran potencial de energía renovable no convencional en la biomasa de los residuos sólidos para plantas de incineración , en la biomasa de la caña y del arroz, los cuales con modernos procedimientos, Termoquímicos tales como la pirolisis, la gasificación hasta los modernos tratamientos Hidro termales y de Carbonificación, permiten la obtención de energía de la biomasa, la cual tiene la ventaja que no tiene las incertidumbre de las energías de origen solar como la fotovoltaica y la solar térmica, así mismo la eólica.

**Palabras clave:** Cascarilla, pirolisis, gasificación, viable.

## **Abstract**

The world energy crisis increased in the increase of carbon in the atmosphere, which has originated a whole world objective of decarbonization of energy production, in which in the month of November 2021, Peru at COP 29, has committed itself to reduce its contribution of carbon to the atmosphere and peak oil, which makes this sea increasingly scarce and far from extracting and with greater impacts on nature, determines the use of non-conventional renewable energies, Peru in the North and specifically Lambayeque, there is a great potential for non-conventional renewable energy in the biomass of solid waste for incineration plants, in the region biomass of cane and rice, which with modern procedures, thermochemicals such as pyrolysis , gasification to modern Hydrothermal and Carbonification treatments, allow obtaining energy from biomass, which has the advantage that it does not have the uncertainties of energies of solar origin such as photovoltaic and solar thermal, as well as wind.

**Keywords:** Husk, pyrolysis, gasification, viable.



## I. INTRODUCCIÓN

En el Perú, la matriz energética está compuesta principalmente por energía hidráulica y térmica (según la figura 1), sin embargo, gracias a los avances tecnológicos de las energías renovables ha sido rentable la utilización e implementación de estos en zonas alejadas de la red eléctrica y se ha promovido su desarrollo a nivel industrial, comercial y residencial. Esto ha sido fomentado por el gobierno a través del desarrollo de programas como “Frontera Energética” del MINEM. Dado oportunidad a diferentes zonas para poder progresar y desarrollarse gracias al servicio eléctrico (Gobierno del Perú, 2021); (MINEM, 2021).



Figura 1. Evolución de la potencia instalada según tipo de generación – Perú (2009 al 2019)

Fuente: (MINEM, 2020)

Según el Atlas de la Energía Solar del Perú, este cuenta con un elevado potencial solar, con una radiación de 5.5 a 6.5 kWh/m<sup>2</sup> en la costa y en la selva 4.5 a 5.0 kWh/m<sup>2</sup>; asimismo en el caso de la Energía Eólica se establece un gran potencial en el norte del País y la serranía, como los departamentos de Cajamarca, Lambayeque, Ayacucho e Ica. Estas cifras indican la gran posibilidad de satisfacer las necesidades de la población de zonas rurales que actualmente no cuenta con energía eléctrica. El gobierno del Perú con el Plan Nacional de Electrificación Rural (PNER) busca que miles de familias reciban el servicio eléctrico de forma eficiente y sostenible gracias a la energía renovables no convencionales (AUTOSOLAR, 2020).

Una alternativa de desarrollo y utilización de las energías renovables no convencionales (ERNC) como recurso energético es el autoconsumo, generando una parte del consumo total de la vivienda o empresa. Esto genera en el usuario una optimización de su sistema eléctrica permitiéndole reducir el consumo de la red e inyectar energía a la red eléctrica. La generación tanto eólica como solar está actualmente incentivando el autoconsumo de modo que la sociedad pueda solventar sus necesidades energéticas y ahorrando dinero a la vez (Mendoza Huamán, 2020).

La necesidad de disminuir los costos por energía eléctrica y por la optimización de los recursos al alcance de cada industria motiva a la implementación de energías renovables a pequeña escala para el autoconsumo, como el uso de paneles fotovoltaicos, biomasa, aerogeneradores en la zona norte del país debido al gran potencial energético solar/eólico con el que se cuenta.

Actualmente, con el cambio de la matriz energética hacia las energías renovables, muchas industrias están implementando generación fotovoltaica para autoconsumo y venta a la red, esto por su facilidad de instalación y monitoreo; también el uso de generación eólica, aunque sus precios son relativamente más elevados que la generación fotovoltaica. Pero, en Perú aún no existe generación distribuida, por lo que las instalaciones industriales no pueden inyectar a la red eléctrica. Las industrias solo pueden auto consumir la generación que producen.

El proyecto se justifica porque permite analizar el uso de energías renovables no convencionales (solar/eólica/biomasa) para la aplicación de este recurso energético a más empresas del rubro que busquen autonomía energética y una generación más limpia a diferencia de las tradicionales.

En base a esto, se planteó la siguiente formulación del problema de la investigación ¿Cómo optimizar el sistema eléctrico de una empresa molinera de arroz empleando energías renovables no convencionales? Formulando la siguiente hipótesis: El uso de energías renovables no convencionales permitió optimizar el sistema eléctrico de un molino de arroz mediante el autoconsumo y la generación distribuida.

Por todo lo expuesto, el objetivo general de esta investigación es optimizar el sistema eléctrico de un molino de arroz ubicado en el departamento de Lambayeque mediante el uso de energías renovables no convencionales. La investigación se basa en los siguientes objetivos específicos: 1) Analizar y clasificar las cargas eléctricas de la molinera de arroz ubicada en el departamento de Lambayeque. 2) Analizar las alternativas de uso de las ERNC, para el presente caso de Molino de Arroz. 3) Diseñar y determinar la operatividad de la comercialización de la energía eléctrica en la red (Net Billing y Net Metering). 4) Evaluar la viabilidad técnica - económica del proyecto.

## II. MARCO TEÓRICO

En este capítulo, se estudiaron las investigaciones relacionadas al tema principal del proyecto, desde artículos de revista hasta tesis. Además, se analizaron conceptos necesarios para comprender el tema. A continuación, se presentan las investigaciones relacionadas:

Se comenzó analizando la investigación realizada por Gómez López y Mayorga Arias (2020), quienes tuvieron como objetivo general dimensionar un sistema de generación fotovoltaico para su implementación en un molino ubicado en Guanenta. Para esto, los investigadores emplearon una metodología de tipo práctica no experimental, dado que utilizaron la simulación mediante PVsyst para obtener el rendimiento del sistema fotovoltaico en un escenario de generación on grid. Los resultados obtenidos indicaron que, de los escenarios estudiados se optó por una pequeña central fotovoltaica para autoconsumo con inyección cero, de este modo se evitan costos adicionales como el cambio de transformador. Se obtuvo como indicadores económicos una tasa de retorno de 5.19 años y TIR de 21.23%, concluyendo que la instalación es rentable dado que el sistema fotovoltaico tiene una vida útil de 20 años.

Mientras, Osorio Aguirre (2019) tuvo como objetivo analizar el residuo agrícola industrial del molino de arroz Pacande para la generación de electricidad por medio del proceso de gasificación (biogás). El investigador hizo uso de una metodología aplicada de tipo experimental, analizando el potencial energético de la cascarilla de arroz empleando el equipo Power Pallet para los ensayos, y evaluando la rentabilidad de la investigación mediante los indicadores económico VPN y TIR. Los resultados obtenidos indicaron que, el potencial teórico de la planta de gasificación de cascarilla de arroz es de 12 539.58 MJ/h, siendo el verdadero potencial (técnico) de 9 404.69 MJ/h, con un VPN de 1431 838.62 USD y TIR de 46%; la vida del proyecto es de 15 años. Se concluyó que, la implementación de una central de biogás por medio de los residuos industriales del molino redujo el gasto energético de la planta de 346.79 USD/kWh a 182 USD/kWh.

Por otro lado, Pascual Hernández (2020) hizo lo mismo pero aplicado a una carga industrial. Los pasos que siguió fue analizar la demanda eléctrica, el recurso solar

de la zona y los costes de instalación para poder realizar el análisis de viabilidad. Realizó dos diseños empleando el software PVGIS, obteniendo un sistema PV de 300 kW capaz de producir 220 MWh/año. Del análisis de factibilidad se obtuvo, un presupuesto óptimo de 108.022,48 EUR, una reducción de emisión de dióxido de carbono de 1020 tCO<sub>2</sub>/MWh, LCOE de 0.77 EUR/WP y un ROI de 6 años. A diferencia del anterior, él empleó un algoritmo para el dimensionamiento y comparó presupuestos para seleccionar el diseño óptimo.

Por otro lado, la investigación realizada por Sanchez Sanchez y Muñoz Pérez (2017) guarda mucha relación con los antes mencionados, ya que también realizó un diseño solar fotovoltaico para suministrar parcialmente la demanda de energía eléctrica de la empresa BATNICSA. La principal diferencia es que, en esta tesis, el investigador analiza a profundidad los equipos conectados a esta industria realizando un censo de carga para saber cuántos equipos estaban conectados a la red y un monitoreo de las horas de funcionamiento de cada máquina. De este modo los valores que obtiene son más acercados a los reales, dimensionando así un sistema más eficiente. Emplearon el software PVsyst para el dimensionamiento fotovoltaico. Gracias al análisis económico que realizó determinó que, el tiempo de amortización del proyecto sería de 5 años aproximadamente, con un VAN de 4 42926.47 cUSD. Lo destacable de esta investigación es la metodología que usa para determinar con exactitud la parte de la demanda que va a suministrar en la empresa.

En el caso de Querebalú Santisteban (2020), dimensionó una mini central eólica para suministrar de energía a un molino de yeso que se encuentra ubicado en el distrito de Mórrope del departamento de Lambayeque, Perú. Se utilizaron los datos recopilados de SENAHMI-Lambayeque para determinar el potencial eólico de la zona de estudio, esto sirvió para dimensionar el sistema eólico y seleccionar sus componentes. De los resultados obtenidos, se indicó un potencial eólico de 279.6 kWh/día, siendo la máxima demanda obtenida del análisis de cargas del molino de 37 kW. Los componentes del sistema eólico fueron un aerogenerador de la marca VESTAS de 55 kW, siendo el sistema de almacenamiento 34 baterías de plomo ácido OPZs de la marca HOPPECKE de 1500 Ah. Además, como sistema de regulación se tuvo el inversor SUNTREE de 30 kW y el regulador FLEXMAX FM80.

Se concluyó que, el sistema de generación empleado tuvo un CAPEX de 264 106.9 Soles con un VAN de 149 075 soles, un TIR del 19% y un ROI de 6.64 años.

Otra tesis que se basó en la generación mediante la gasificación de cascarilla de arroz fue la desarrollada por Fernández García (2019), quienes centraron su estudio en un molino ubicado en Lambayeque. Emplearon una metodología aplicada con diseño experimental, donde obtuvieron que la el potencial biomásico de la cascarilla de arroz fue de 6 307.2 Toneladas/año capaz, la cual es capaz de producir 607 kW. De los resultados obtenidos de la investigación se determinó que el flujo de masa para tener la potencia establecida fue de 0.28 kg/s con una humedad relativa del 10%, de este modo la potencia varía en el rango de 500-750 kW. Se concluyó que, el valor actual neto del proyecto propuesto fue de 113 293 USD y un TIR de 11.53%.

Asimismo, Alcántara Gómez (2020) propuso una central termoeléctrica para reducir el consumo de un molino de arroz, también empleando los residuos industriales (cascarilla de arroz), en este caso los molinos de estudio fueron cuatro: Norte Nueva Villa, los Cocos, el Agricultor y Piladora el Sol, todos ubicados en el departamento de Lambayeque. En el diseño de la central se seleccionó una caldera pirotubular RL-1500 capaz de producir un flujo másico de vapor de 1500 kg/h y una potencia térmica de 116 BHP, otro de los componentes fue la turbina de 300 kW de la marca SST-040 y el transformador de potencia de 400 kVA. Dentro del análisis de la potencia de los molinos seleccionados se obtuvo que en total fue de 290 kW/día. Se concluyó que, el diseño del sistema de generación es viable con una inversión de 579 169.76 soles con un ROI (retorno de inversión) de 4.62 años.

Finalmente, dentro de las investigaciones se analizó la de Salazar Sanchez (2019), que a diferencia de las anteriores analizó un molino con un máximo rendimiento de 169 kW por hora. Por lo que se diseñó un gasificador alimentado con un flujo de cascarilla de arroz de 324 kg/h, el cual fue capaz de producir una potencia de salida de 245 kW por hora. En el análisis económico del molino con la gasificadora se obtuvo un índice de beneficio costo (B/C) de 1.53 con un VAN de 2 172 489 soles a una tasa interna de retorno (TIR) de 32%, siendo económicamente rentable.

Para el desarrollo del trabajo es primordial contar con el conocimiento de algunos conceptos básicos como las energías renovables no convencionales, los sistemas de generación, el sistema eléctrico y los indicadores económicos. La variable dependiente sistema eléctrico, se define como el conjunto de cargas y generación que conforman una red de energía eléctrica, así que lo conforman los equipos que consumen energía eléctrica, así como los equipos que la generan y la transmiten (García Altamirano, 2019).

Se dice también de los componentes que consumen electricidad dentro de una industria, ya sean los motores, las computadoras, las luminarias y los sistemas que la regulan. Dentro del análisis del sistema eléctrico industrial se requiere del análisis de cada carga y también de la red junto con el transformador (Fernández García, 2019). Las cargas eléctricas pueden ser lineales o no lineales, siendo las lineales aquellas que producen una onda similar a la onda de alimentación (tensión, corriente), siendo esa similitud referida a la forma de la función y no a su amplitud. Mientras que, las cargas no lineales producen una onda distorsionada a la onda de alimentación, ejemplo son las cargas electrónicas (Lucero de la Cruz, 2019).

El análisis del sistema eléctrico viene dado por tres indicadores claves: Energía promedio diaria, Potencia instalada, Tensión de Suministro. El primero se refiere a la cantidad de consumo eléctrico del molino en unidades de kWh, es una medida importante porque los sistemas de generación de energía eléctrica se dimensionan para abastecer la energía total del sistema (Rojas Sánchez, 2018). Mientras que, la potencia instalada se refiere a la cantidad de potencia total del sistema eléctrico entre motores, cargas de cómputo, luminarias, etc.; esto referido a la cantidad de potencia máxima real del sistema si funcionaran todos los equipos a la vez (Gastelo-Roque, Vargas Portocarrero, Valqui Ramirez, Alsop, & Merello Cabezas, 2020). La tensión se refiere a la cantidad de voltaje en la que se alimentan los equipos o cargas del molino (en voltio) siendo en Perú entre 220 / 380 V, dependiendo del sistema (Canziani, Vargas, & Gastelo-Roque, 2021).

En el caso de la variable independiente Energías Renovables no Convencionales, son aquellas fuentes con potencial energético que se encuentran en la naturaleza y son virtualmente infinitas como lo son la fuerza de las mareas, el caudal del río,

la fuerza del viento, la radiación del sol y los combustibles biomásicos (García Altamirano, 2019). Por otro lado, Benalcazar, Suski y Kaminski (2020) los define como aquellas energías diferente de las termoeléctrica e hidroeléctrica empleadas con combustibles fósiles tradicionales y a gran escala, que generan energía a base de nuevas tecnologías como inversores y reguladores. En el caso de la hidroeléctrica, se considera como RER (renovable) por debajo de los 20 MW en Perú, mientras las termoeléctricas convencionales son referidas a aquellas que emplean recursos fósiles tradicionales (Hilares, Vargas, & Gastelo-Roque, 2020).

El análisis de las ERNC se encuentran los Sistema de Generación (potencial solar, potencial eólico, biomasa, potencial hidráulico). El potencial se refiere a la cantidad de energía que puede generar la fuente, en el caso de potencial solar se refiere a los sistemas fotovoltaicos y termosolares, el potencial eólico se refiere a los sistemas de generación eólica, mientras los sistemas de biomasa se refieren a los biodigestores con generación térmica (se debe quemar la biomasa) (El-huari, y otros, 2020). En el caso del molino de estudio, no se cuenta con un río o fuente hídrica cercana aprovechable, por lo que solo se analizarán los sistemas fotovoltaicos, eólicos y con biomasa.

Se definen primero los sistemas solares fotovoltaicos, los cuales utilizan la energía del sol para convertirla a energía eléctrica mediante el efecto fotovoltaico. Estos sistemas están divididos en dos grupos, los autónomos (Off-Grid) y los conectados a la red (On-Grid). En el caso del último, se muestra un ejemplo en la figura 2. Estos últimos pueden suplir la energía del usuario parcial o totalmente y tienen la opción de vender el excedente producido inyectándolo a la red (Letcher & Fthenakis, 2018).



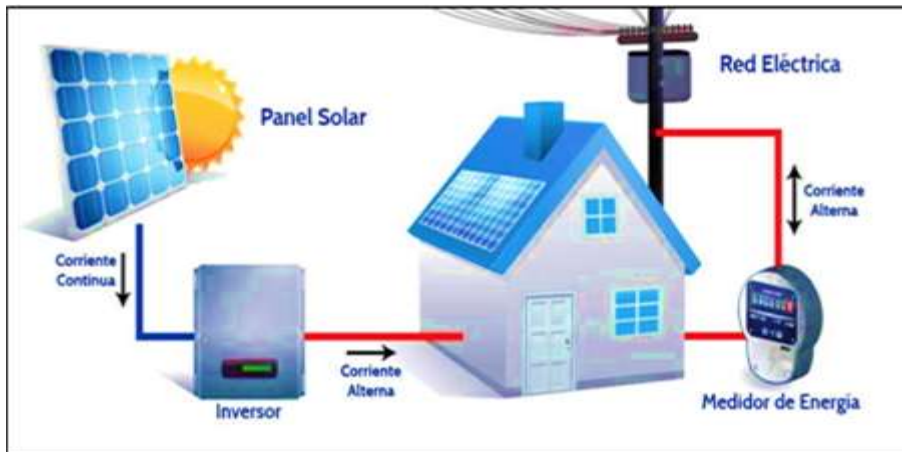


Figura 2. Configuración de un Sistema Solar On Grid

Fuente: (ICARUS, 2020)

Se muestra la composición de un sistema conectado a red, el cual solo tiene tres componentes: el arreglo solar (PV array), el inversor (invertir) y el medidor bidireccional (bi-directional meter). El arreglo es la unidad de producción de energía, el inversor se encarga de transformar la corriente generada del arreglo solar en corriente alterna, y el medidor tiene la función de medir la energía producida por el cliente y medir la energía consumida del cliente desde la red principal. Si no existiera el medidor bidireccional, entonces la energía producida se contaría como consumida, lo cual generaría pérdida al cliente dado que la empresa distribuidora le cobraría el total de energía producida (Dragičević, Wheeler, & Blaabjerg, 2018); (Deli & Noel, 2019).

Por otro lado, los sistemas aislados, no conectados a la red o autónomos requieren de la utilización de un sistema de almacenamiento, el cual está conformado comúnmente por baterías, como se muestra en la figura 3. En estas baterías se almacena la energía generada por los paneles de modo que puede ser usada cuando el recurso solar no esté disponible. El sistema está conformado igual que el de uno conectado a la red, con la excepción de contar con las baterías (Asian Development Bank, 2020).

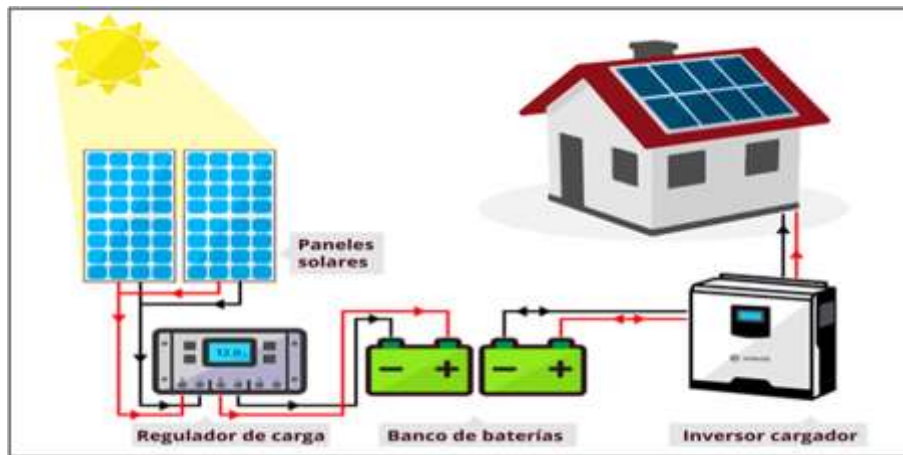


Figura 3. Configuración de un Sistema Solar Off Grid

Fuente: (SOLARTIK, 2020)

Para diseñar un sistema fotovoltaico, es necesario conocer la potencia del módulo que se va a emplear, la energía a abastecer y la radiación de la zona de estudio (este valor puede estar representado por la hora solar pico - HSP). Para el dimensionamiento del sistema se tiene las siguientes fórmulas (Tomar & Kandari, 2020).

$$P_{instalada-PV} \geq \frac{E_{demanda}}{HSP \times PR} \quad (1)$$

$$\#módulos_{max} \geq \frac{P_{pv}}{P_{módulo PV}} \quad (2)$$

Dónde:

- PR=Performance Ratio de la instalación (0.8).
- P<sub>PV</sub>: potencia del sistema fotovoltaico.
- P<sub>módulo-PV</sub>: potencia del módulo fotovoltaico.
- E<sub>demanda</sub>: consumo de energía demandado.
- HSP: hora solar pico

Por otro lado, los sistemas eólicos son aquellos que aprovechan la velocidad del viento para generar electricidad, esto por medio de aerogeneradores. En el caso del molino se evaluará el dimensionamiento de un aerogenerador de pequeña escala para cubrir parte de la demanda en conjunto con el sistema fotovoltaico.

La ecuación para determinar la potencia del aerogenerador es la siguiente (Bordons, Garcia-Torres, & Ridaio, 2020):

$$P = \frac{\rho \times A \times v^3}{2} \quad (3)$$

Dónde:

- $\rho$ : densidad del aire.
- A: área de la aeroturbina.
- v: velocidad del viento.

En el caso del potencial energético de la cascarilla de arroz (biomasa), su aprovechamiento se obtiene en base a un proceso térmico. Se necesita analizar el potencial de la cascarilla de arroz como combustible para una caldera o proceso de biodigestor. En la mayoría de las investigaciones realizadas se han empleados el biogás para la producción de energía, desde pequeños sistemas hasta centrales termoeléctricas para alimentar una o varios molinos. Para este tipo de residuo industrial se necesita el uso de biodigestores anaeróbicos y un sistema de tuberías para alimentar al generador (Rojas Sánchez, 2018).

Un concepto importante para el entendimiento de tema es el de autoconsumo, es producir energía eléctrica para tu propio consumo ya sea en una vivienda, un local o una industria. La forma más común de generar tu propia energía eléctrica es instalando un sistema de generación de energía cerca de la zona de trabajo. Los beneficios que otorga son: ahorro económico, cuidado del medio ambiente ya que la generación de energía es más limpia y autonomía energética para los usuarios ya que no dependen totalmente de la red eléctrica convencional (Ray & Biswal, 2020).

Dentro del anterior concepto se analiza la generación distribuida que se refiere a inyectar energía a la red. Existen sistemas eléctricos con generación eficiente que exceden su producción de energía a la que necesitan en su autoconsumo y ese excedente lo inyectan a la red bajo dos enfoques diferentes: Net Metering (medición neta) y Net Billing (facturación neta). El primer se refiere a una compensación en

energía mientras que el segundo se refiere a una compensación económica en base a una tarifa de venta de energía (Kottayil, 2020).

También es necesario conocer los indicadores usados para estudiar la viabilidad de un proyecto, esto nos sirve para descartar o implementar los diseños calculados. Entre estos indicadores está VAN, TIR, ROI y LCOE. El VAN (Valor Actual Neto) indica que tan viable es un proyecto también denominado costo neto nivelado NPC, TIR (Tasa Interna de Retorno) nos muestra la rentabilidad del proyecto, mientras más alto el valor de TIR más rápido es el retorno de la inversión. ROI es el tiempo necesario para recuperar lo invertido y LCOE es el costo nivelado de la energía, es el indicador más empleado para analizar sistemas de generación. Las fórmulas para calcular cada uno se muestran a continuación (Borlase, 2017):

$$VAN = -I_0 + \sum_{t=0}^n \frac{C_t}{(1+i)^t} \quad (4)$$

$$0 = -I_0 + \sum_{t=0}^n \frac{C_t}{(1+TIR)^t} \quad (5)$$

$$LCOE = \frac{CAPEX + \left( \sum_{t=1}^n \frac{OPEX_t}{(1+i)^t} \right)}{\sum_{t=1}^n \frac{E_t}{(1+i)^t}} \quad (6)$$

$$ROI = \frac{CAPEX + (OPEX) \times n}{TARIFA \times E} \quad (7)$$

Dónde:

- $I_0$ : inversión inicial.
- $C_t$ : costo total de la instalación en el año “t”.
- n: número de años del proyecto (para sistemas PV – 25 años).
- E: energía generada por el sistema PV.

Uno de los conceptos introducidos en este análisis es el CAPEX y OPEX, que son los costos de inversión y de operación & mantenimiento, respectivamente. El valor de TIR se obtiene igualando el valor de VAN a 0. Para calcular de valor de ROI se necesita la tarifa que es el precio de venta de la energía de la red principal (Sallam & Malik, 2019).

### **III. METODOLOGÍA**

#### **3.1. Tipo y diseño de investigación**

##### **3.1.1. Tipo de investigación**

El presente trabajo de investigación fue del tipo aplicado con diseño no experimental – transversal; porque emplearon conocimiento sobre diseño de sistemas de generación de energía e indicadores tecno - económicos para evaluar el rendimiento y factibilidad cada sistema diseñado, utilizando datos de radiación, velocidad de viento y análisis de cantidad de residuos de cascarilla de arroz, los cuales se recopilarán una única vez para el diseño.

##### **3.1.2. Diseño de investigación**

La simulación se hizo considerando el tiempo de vida de cada sistema de generación, analizando las cargas del molino de arroz mediante los informes y reportes solicitados una única vez, siendo necesario en el periodo de un año (consumo eléctrico de 1 año) y conocer el consumo por proceso.

#### **3.2. Variables y operacionalización**

Las variables se muestran en la tabla ubicada en el anexo 1 de este documento, así como su definición, dimensiones e indicadores. A continuación, se procede a indicar las variables:

##### **3.2.1. Variable independiente:**

Energías Renovables No Convencionales (ERNC)

##### **3.2.2. Variable dependiente:**

Sistema Eléctrico

#### **3.3. Población, muestra, muestreo, unidad de análisis**

##### **3.3.1. Población**

Empresas Molineras del Perú

### **3.3.2. Muestra**

Molinos de arroz ubicados en el departamento de Lambayeque, Perú.

### **3.3.3. Muestro**

El muestreo del tipo aleatorio a conveniencia del autor

## **3.4. Técnicas e instrumentos de recolección de datos**

Cada técnica se ha descrito a continuación siguiendo el orden de la tabla (ubicada en el anexo 2):

### **3.4.1. Técnicas de recolección de datos**

#### **Análisis documental:**

Se realizó el análisis del consumo de la industria y el haciendo una revisión de los informes y reportes brindados por la empresa.

#### **Simulación:**

Permitió analizar la viabilidad de cada sistema de generación ERNC, desde el sistema fotovoltaico, el sistema eólico y el potencial de la cascarilla de arroz (biomasa/biogás).

### **3.4.2. Instrumentos de recolección de datos**

#### **Análisis Económico:**

Sirvió para evaluar cada sistema diseñado mediante indicadores económicos como el VAN, LCOE y ROI que son los más empleados para analizar sistema de generación de energía.

#### **Estadística descriptiva:**

Permitió obtener los datos mediante tablas y figuras, que facilitan el análisis de cada sistema de energía.

### **3.5. Procedimientos**

Se procede a describir los procedimientos empleados para realizar el proyecto, se describen en orden:

#### **Recolección de datos:**

Se recolectaron datos como los valores de irradiación de la zona, el consumo mensual de la empresa de estudio y el perfil de carga de la misma.

#### **Análisis de datos:**

En este paso se clasificaron las cargas eléctricas, desde las luminarias, los equipos que se requieren para el área de producción del molino, y el sistema de control (monitoreo de motores, variadores de velocidad, control), también analizando si existen otro tipo de cargas como computadoras, etc. Esto es importante porque en base a las cargas se diseñó el sistema fotovoltaico, escogiendo el tipo de inversor para cada carga.

#### **Diseño y simulación:**

Mediante el software libre System Advisor Model "SAM" y HOMER, se procedió a diseñar y simular cada sistema de generación (fotovoltaico, eólico, biomasa) para obtener el sistema óptimo.

#### **Análisis económico:**

Utilizando el mismo software, se procedió a obtener los indicadores económicos LCOE, VAN y ROI.

#### **Análisis de generación distribuida:**

Se analizó cada el escenario conectado a la red de energía (inyección a la red) con generación distribuida.

### **3.6. Método de análisis de datos**

Se procedió a describir los métodos empleados para el análisis de datos:

#### **Métodos deductivos:**

Por la teoría aplicada de diseño para obtener los indicadores LCOE, VAN y ROI, en base a las revisiones realizadas evaluación de sistemas de energía.

#### **Métodos analíticos:**

Por el uso de software y algoritmos que permiten analizar los sistemas de generación, esto mediante:

- Hojas de cálculo:  
Permiten obtener gráficos y tablas.
- SAM y HOMER:  
Permite diseñar y simular los sistemas de generación ERNC.

#### **Algoritmos de optimización:**

Permite mejorar la simulación y obtener los indicadores económicos del diseño.

### **3.7. Aspectos éticos**

El proyecto de investigación es de autoría propia, se realizó cumpliendo con las normas APA, respetando las ideas y conceptos de otros autores mediante el uso de citas y referencias.



## IV. RESULTADOS

### 4.1. Análisis y clasificación las cargas eléctricas de la molinera de arroz

#### 4.1.1. Condiciones Ambientales del Área de estudio

Es importante conocer el lugar de instalación para hacer un correcto dimensionamiento del sistema fotovoltaico, en este caso será cerca al espacio adyacente de una molinera ubicada en el departamento de Lambayeque con coordenadas -6.746 de latitud y -79.874 de longitud a 18 msnm.

**Tabla 1.** *Parámetros climáticos de la ciudad de Lambayeque*

PARÁMETROS	
T° Máx.	33°C
T° min.	15°C
T°prom.	21.5°C
Prob. Precipitaciones	2%

Fuente: Elaborado en base a WEATHER SPARK (2020)

Estos datos, nos dan una idea de las condiciones de trabajo. En el caso de la densidad del aire, como se va a encontrar a 28 metros de altura sobre el nivel del mar, la variación de la densidad es relativamente baja, hasta un valor de 1.1937 kg/m<sup>3</sup>.

Luego, se procede a analizar los datos meteorológicos obtenidos de la base de datos online de la NASA y las estaciones meteorológicas. El objetivo es determinar si el potencial energético solar/eólico es factible para satisfacer el consumo de los equipos en el molino de arroz.

#### 4.1.2. Análisis de demanda de energía

El molino cuenta con diversas cargas, siendo estas clasificadas como las cargas de iluminación, los equipos en cada proceso productivo del molino (pilado y secado), y las cargas del área de cómputo. En las siguientes tablas se detalla la lista de demandas que se localizan en la línea de pilado y en la planta de secado

de arroz, como también el número de equipos de cómputo e iluminación. Todo esto teniendo en cuenta que dicha información se obtuvo de la gerencia del molino, obteniendo un total de 26 motores eléctricos y los puntos del área de computación (cómputo/impresión) y los puntos de Cargas iluminación.

**Tabla 2. Máquinas eléctricas de la línea de pilado**

#	Carga de Pilado	Potencia (kW)	Cos( $\theta$ )
1	Extractor de polvo	2.5	0.74
2	Elevador mesa pady	2.5	0.71
3	Mesa pady	1.5	0.54
4	Sin fin de piedra	1.4	0.74
5	Elevador de pulidora	1.5	0.77
6	Alimentador de Pulidora	48	0.75
7	Elevador pulidor vertical	2.5	0.71
8	Pulidora vertical	32	0.79
9	Elevador del cernidor	3.5	0.79
10	Elevador tolva	4	0.78
11	Elevador pre limpia	1.4	0.72
12	Pre limpia	5.7	0.74
13	Descascadora	9	0.79
14	Elevador de Clasificadores	1.5	0.85
15	Clasificadores	45	0.81
16	Mesa clasificadora	35	0.82
17	Sin fin de descarga	2	0.78
18	Elevadora Tolva	2	0.79
19	Extractor de polvillo	16.9	0.81
20	Sin fin de polvillo	2.5	0.79

Fuente: Elaborado en base a los datos recopilados al área administrativa

En la tabla 2, se visualiza 20 motores eléctricos que mueven los mecanismos para la línea productiva en la zona de pilado de cascara de arroz con una energía instalada total de 220.4 kW.

**Tabla 3. Motores eléctricos de la planta de secado**

#	Cargas de Secado	Potencia (kW)	Cos( $\Theta$ )
1	Elevador tolva	3	0.77
2	Pre limpia	5	0.75
3	Elevador de pre almacenamiento	2	0.83
4	Caída de arroz ziczac	5	0.81
5	Elevador de tolva almacenamiento	2	0.81
6	Extracto de polvo de Secador	6	0.75

Fuente: Elaborado en base a los datos recopilados al área administrativa.

En la tercera tabla se ven 6 motores eléctricos que para el proceso productivo mueven las maquinas del proceso de producción en el lugar de secado de arroz con una energía instalada total de 24.9 kW. Llegando a un total de potencia instalada entre la zona de pilado de arroz y la zona de secado de arroz de 245.3 kW. El Voltaje de trabajo de todos los motores especificados en el molino es de 380V.

**Tabla 4. Cargas del área de computo**

Sistemas	Cantidad	Potencia instalada (W)	Potencia Total instalada (kW)
Puntos de Cómputo	5	170	0.85
Puntos de Impresión	5	150	0.75

Fuente: Elaborado en base a los datos recopilados al área administrativa

El total de potencia del área de cómputo es de 1.6 kW.

**Tabla 5. Cargas de iluminación**

Sistemas	Cantidad	Potencia instalada (W)	Potencia Total instalada (kW)
Puntos de Iluminación	80	60	4.8

Fuente: Elaborado en base a los datos recopilados al área administrativa

El total de potencia del área de cómputo es de 4.8 kW.

En tal sentido se tiene que:

**Tabla 6. Potencia instalada de carga eléctrica**

Sistemas	Potencia instalada (W)	Porcentaje
Motores Eléctricos de Planta de Pilado	220.4	87.56%
Motores eléctricos de la planta de secado	24.9	9.89%
Iluminación	4.8	1.91%
Equipos de Cómputo	1.6	0.64%
Total	251.70	100%

Fuente: Elaborado en base a los datos recopilados al área administrativa

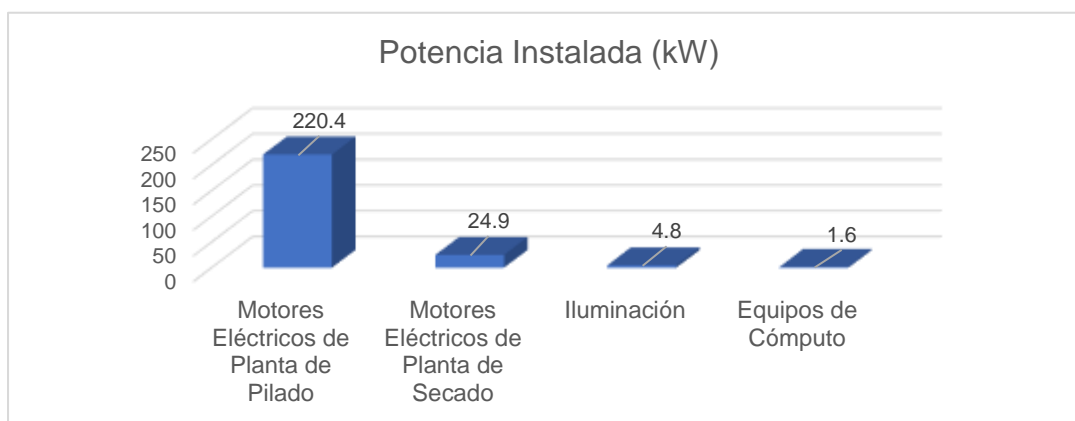


Figura 4. Diagrama de barras de potencia instalada del molino

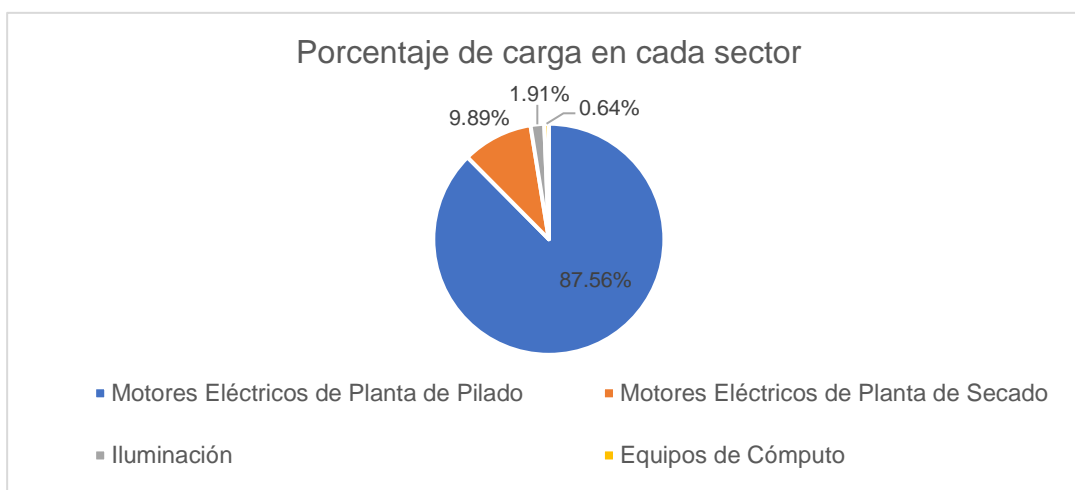


Figura 5. Diagrama circular del porcentaje de carga en cada sector

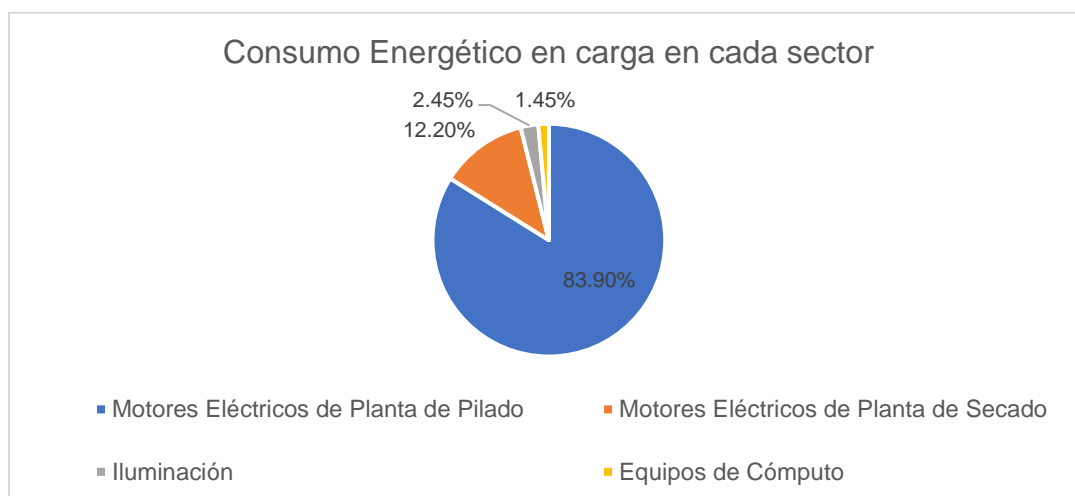
Fuente: Elaborado en base a los datos recopilados al área administrativa

Otro factor importante a analizar es la energía que consume cada equipo, en este caso, el tiempo de uso de los motores, equipos de iluminación y cómputo. En la siguiente tabla se presenta el consumo energético.

**Tabla 6.** Consumo Energético del molino (kWh)

Sistema	Energía Consumida (kWh)	Porcentaje
Motores Eléctricos de Planta de Pilado	887.20	83.90 %
Motores Eléctricos de Planta de Secado	129.03	12.20%
Iluminación	25.92	2.45 %
Equipos de Cómputo	15.36	1.45 %
Total	1057.51	100 %

Fuente: Elaborado en base a los datos recopilados al área administrativa



*Figura 6.* Diagrama circular de consumo energético en cada sector

Fuente: Elaborado en base a los datos recopilados al área administrativa

El mayor porcentaje de consumo energético lo tiene el sector de los motores de la planta de pilado, seguido por los motores eléctricos de la planta de secado, la iluminación de cómputo. Los últimos suman el 3.9% del consumo energético del molino. Entonces, se presentan cuatro sectores para el diseño de los sistemas fotovoltaicos.

## 4.2. Análisis de alternativas de uso de ERNC

### 4.2.1. Sistema Fotovoltaico

#### 4.2.1.1. Recurso Solar

Primero, se evalúa el recurso solar, el cual viene determinado por la irradiación diaria como HSP con unidades de kWh/m<sup>2</sup>/día. En la tabla siguiente, tenemos un promedio de las radiaciones en un rango de tiempo desde Julio de 1983 hasta junio del 2005, obtenidos de la base de datos de NASA.

**Tabla 7. Radiación promedio mensual**

Mes	GHI [kWh/m <sup>2</sup> /día]
Enero	5.43
Febrero	5.15
Marzo	5.77
Abril	5.43
Mayo	5.03
Junio	4.64
Julio	4.63
Agosto	5.00
Setiembre	5.56
Octubre	5.8
Noviembre	5.71
Diciembre	5.57
Anual	5.31

Fuente: Elaboración propia

Como podemos observar, el mes de marzo presenta la mayor cantidad de radiación solar con un valor de 5.77, mientras que, la menor radiación se presenta en el mes de Julio con 4.63. El promedio de radiación solar diaria es de 5.31 kWh/m<sup>2</sup>/día. Esto es correcto dado que, las radiaciones varían entre los equinoccios y otros factores como las épocas de avenida.

Las siglas GHI significan Global Horizontal Irradiación, que es la irradiación horizontal global o total sobre una superficie en unidad de área. Así fue determinada por la base de datos. Otro estudio que se realizó sobre una base meteorológica de SENAMHI del departamento de Lambayeque indicó una radiación promedio

general de 5.564 kWh/m<sup>2</sup>/día, valor estimado a partir del modelo Bristow-Campbell aplicado. (Farfán Neyra, 2020).

Para el cálculo de la energía solar, solo se necesita multiplicar la radiación por la cantidad de días correspondiente al mes indicado por la tabla 9, esto nos dará el potencial solar por unidad de área en un año típico.

**Tabla 8.** *Energía solar obtenida en un año a base de los datos de la NASA*

Mes	GHI [kWh/m <sup>2</sup> /día]	N° Días	Energía [kWh/m <sup>2</sup> ]
Enero	5.43	31	168.33
Febrero	5.15	28	144.2
Marzo	5.77	31	178.87
Abril	5.43	30	162.9
Mayo	5.03	31	155.93
Junio	4.64	30	139.2
Julio	4.63	31	143.53
Agosto	5	31	155
Setiembre	5.56	30	166.8
Octubre	5.8	31	179.8
Noviembre	5.71	30	171.3
Diciembre	5.57	31	172.67
TOTAL			1938.53

Fuente: Elaborado en base a NASA (2021)

Entonces, el potencial solar de la zona es de 1938.53 kWh/m<sup>2</sup> al año.

La otra gran alternativa, energética es la utilización de la biomasa de la cascara de arroz, que se pila en el molino, materia del presente trabajo de investigación, en donde procederemos a analizar la producción – disponibilidad de cascarilla de arroz, el poder calorífico superior e inferior, humedad intrínseca, los procesos preparatorios tales como la pirolisis, gasificación, limpieza, y el proceso de quemado y producción de vapor en un sistema dual , ciclo Joule y ciclo Rankine combinados de la siguiente manera:

«Llegando a la conclusión que la biomasa es un origen de renovable energía que suele reemplazar la utilización de hidrocarburos, formadores de gases de efecto invernadero.», (Prada, 2018).

### **Características energéticas de la cascarilla de arroz**

En cuanto a las características termodinámicas y caloríficas de la cascarilla de arroz, la mayor cantidad de residuo de la actividad del molino de arroz que se elabora en el molino razón del presente estudio, y que se obtiene de la zona de Lambayeque y San Martín, es uno de los más presentes materia Prima lignocelulósicos obtenibles que se puede tener cambiado a diversas clases de combustibles y materiales primas por medio de una variedad de procesos de cambio térmica.

La potencia calorífica inferior (PCI) del arroz su cascarilla permite obtener un móvil de 14 500 kJ/kg, el PCI del diésel es de 43 700 kJ/kg, el de natural gas es de 36 271 kJ/kg y del gasoil es de 44 550 kJ/kg. (Amenero, 2017).

Los poderes de calor de la pulpa del bagazo, deben ser clasificados y comparados con las potencias caloríficos de los combustibles más usuales, como:

**Tabla 9.** *Comparación de poder calorífico cascara de arroz – combustibles*

<b>Combustible</b>	<b>Poder calorífico inferior (kJ/kg)</b>
Diesel	42700
Gas natural	37271
Gasolina	43550
Kerosene	43340
Cascarilla de arroz (base seca)	14330
Cascarilla de arroz (muestra simple)	13320

Fuente: (UNPRG- FIME, 2017)

La generación de energía térmica es el conjunto directo de la combustión de la biomasa sólida y la cascara de arroz; su utilización es para brindar calor y poder de



producir el vapor en los sistemas de calentamiento de las industrias, cabe señalar que para la generación de energía eléctrica se obtendrá mediante la cogeneración por lo cual esto nos proporcionara energía eléctrica y energía térmica de manera simultánea.

### La producción de la energía eléctrica:

La utilización de la biomasa para la calefacción de la generación de electricidad, potencia y con la energía de calor de la combustión sin embargo la biomasa es convertida en energía eléctrica por medio de sus diferentes métodos de estudios; en este caso se puede precisar el más utilizado es la biomasa de combustión directa en su estado sólido de los desechos y residuos agrícolas o materiales leñoso. Otros conocimientos añaden gasificación y digestión anaeróbica. (Leonardo, 2017).

La harina que se obtiene del maíz y de los residuos del trigo por medio de la paja, es de la cascara del arroz que son añadidos con el fin de su transformación o combustión en resultados de un gas usado y pobre en biodigestores anaeróbicos. Sin embargo, la yara y la bosta que son producidos por medios de los animales y humanos, son convertidos en gas de alta energía por medio de un digestor anaerobios; se utiliza un motor interno de combustión para el cambio del gas a energía eléctrica. (Gonzales, 2018).

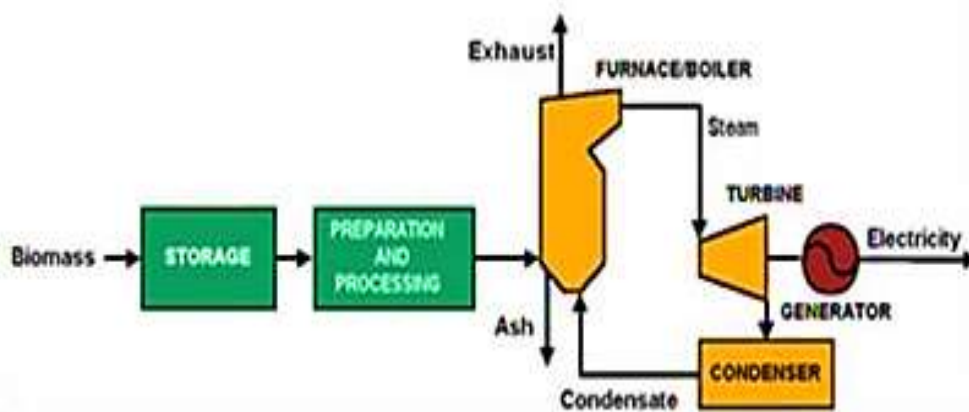


Figura 7. Sistema de combustión directa para generar electricidad

Fuente: (DEMIRBAS, 2008)

En la industria molinera, existen varios, tipos y tecnologías de aprovechamiento energético de la cascarilla del arroz, que las procedemos a describir:

### **Sistema basado en la combustión**

Según el autor; (Hupa,2017), señala que la biomasa del combustible es diferente en los convencionales usados del combustible para el proceso de combustión como por ejemplo el carbón. Se sabe que la biomasa de combustible con menores valores caloríficos y que tienen alto contenido de humedad, poseen una variedad de menor cantidad de partes de cloro, fosforo, azufre y nitrógeno en determinada variedad de metales que producen y se conforman cenizas.

(Couto,2017); señala su gran interés en la ciencia y desarrollo de la gasificación; por lo que esto ha generado un interés alto en su investigación, por lo cual esto se correlaciona de manera muy estrecha en costo relativo y su disponibilidad que demostró una serie de altibajos en sus primeras apariciones. La investigación tiene el interés de la gasificación y que cuenta con una relación de manera muy estrecha en el costo relativo y su presentación fácil de la ubicación de fósiles líquidos y gaseoso del combustible.

### **Sistema basado en digestión anaeróbica**

Según, (Xu, 2017); determino una enorme proporción de los residuos orgánicos con el fin de convertirlo en dos grandes retos, esto es básicamente a la reducción de los fósiles de combustibles de nuestra moderna sociedad. En la digestión anaeróbica la biotecnología es prometedora usando la energía renovable de la biomasa en conjunto con los desperdicios orgánicos, el biogás generado y la concentración de residuo de nitrógeno, fosforo y muchos micronutrientes que se podrá ser utilizado para la mejora del suelo que se le podrán puesta en valor para crear otros productos de valor agregado.

### **Sistema basado en la pirolisis**

Según, (Ozsin, 2017); determino la paralización y que el uso de la cascara de las castañas, la semilla de las uvas e incluso el hueso de los cerezos son los que contribuyen en las raciones tan complejas en paralelos que dan como resultados de consecuencia los gases evolucionados de H<sub>2</sub>O, CO<sub>2</sub> he hidrocarbonos como metanos.

## **Sistema basado en la incineración**

Para el autor (Graciosa, 2017), nos determina que los gases de efecto invernadero a través de sus emisiones producidas por la obtención del carbón de leña, se podrá disminuir por medio de la incineración el procedimiento del dióxido de carbono y el agua.

Sin embargo, cabe señalar que la incineración conocido o llamado de esa forma por el proceso que es sometido a los materiales solidos como líquidos en que son marginales o no de los regímenes de valores medios (850 – 1200 °C); esto es en reacción de los efectos de oxidación de la exotérmica que brinda los propios residuos.

## **Gasificación**

(Beltran, 2017); nos señala en cuanto a la gasificación se desempeña en un procedimiento superior de muchos criterios de la biomasa de combustión directa que permite la interpretación de forma común del valor aceptada. Uno de los casos de forma típico de la excelencia es remitida la biomasa leñosa granulada o astilla en la obtención térmica eléctrica y la energía que es generada por vapor.

## **Agentes gasificantes**

El principal gasificante se utiliza y se obtiene de ello distintos efectos en la gasificación por lo que el syn gas conocido como producto se cambia en su estructura de poder calorífico y composición.

Según el Instituto para la diversificación y ahorro de energía 2017; lo determina que si el aire se gasifica una parte muy importante de la biomasa obtenida se combustiona al presente oxígeno y por lo que existe una reducción muy diferente de la biomasa.

**Tabla 10. Comparación de los sistemas de aprovechamiento energético aplicado al molino de arroz**

Comparación de los Sistemas de Aprovechamiento Energético relativos al Molino de Arroz					
Tipos de	Combustión	Gasificación	Digestión anaeróbica	Pirólisis	Incineración
Viabilidad técnica	Si tiene la viabilidad técnica, se puede obtener energía en forma de calor, útil en diferentes procesos industriales de secado.	Si tiene viabilidad técnica, el gas de síntesis producido tiene un poder calorífico inferior que garantiza rendimiento.	Si tiene viabilidad técnica, el producto final, el biogás, puede ser transformado en gas natural renovable y combustibles de transporte y electricidad.	El pirólisis si es viable técnicamente y el gas de síntesis, producto de esta puede ser utilizado para generación de energía térmica y eléctrica.	Esta tecnología también tiene viabilidad técnica, su producto son gases de combustión y
Viabilidad ambiental	Genera reacciones indeseables en los hornos de combustión, la presencia de sílice y azufre en combinación con metales alcalinos afectan gravemente el medio ambiente.	La emisión de gases de efecto invernadero pueden variar de acuerdo al tipo de gasificado utilizado.	Este sistema también contamina, pero se pueden utilizar sus subproductos para mitigar la contaminación al aire.	Genera gases condensables y un promedio de 30% de bio carbón.	Produce emisiones significativas de partículas perjudiciales al medio ambiente a comparación de otros sistemas de aprovechamiento.
Rendimiento del gas de acuerdo a su PCI	Rendimiento Bajo	Rendimiento bajo	Rendimiento medio	Rendimiento bajo	Falta información
Costo de Implementación	Altos costos	Costo manejable	Costo manejable	Falta información	Altos costos
Beneficios/ Desventajas para la producción de electricidad en el molino	-----	Gas apropiado para motores de combustión interna y producción de electricidad. Se utilizará oxígeno para la fabricación del gas.	Gas apropiado para motores de combustión interna y producción de electricidad. Pero se va a requerir el abastecimiento de excretas de animales para que pueda lograrse a cabo el proceso, esto tiene un costo extra.	Produce biocombustible en mayor proporción que gas de síntesis, y esto puede dar baja eficiencia para la producción de electricidad	----

Fuente: Elaboración propia

### **Etapas de la gasificación:**

Para (Nicollini 2016); las reacciones preliminares que se necesitan para obtener un logro en la producción del gas de síntesis son denominado proceso de gasificación. Es necesario la materia orgánica que se obtiene de antemano este dentro del reactor del vapor de agua y del carbono ( $H_2O$  y  $C$ ); para poder producir el calor suficiente para la gasificación final mediante las correspondientes reacciones. Esto cuenta con cuatro etapas sucesivas de forma acoplados grandemente útiles en la etapa de producción al calor requerido por los otros tres niveles.

#### **Primera etapa:**

- Secado del material para producir calor

Bajo el efecto del calor y dentro del rango de temperaturas entre  $100\text{ }^{\circ}\text{C}$  y  $160\text{ }^{\circ}\text{C}$ , se puede llevar a cabo, debajo el efecto del calor, el agua cuenta con el contenido del material orgánico que se evapora.

Se advierte que el combustible es seco en su resultado carbonoso y es variado en su tipo de carbón, biomasa, etc. Se advierte que los productos no homogéneos, la primera etapa o en su etapa preliminar de clasificar, moler esto se presenta en la entrada del gasificado donde está la entrada al gasificado y se requiere antes de la introducción.

#### **Segunda etapa:**

- Petrolizar las entradas para obtener coque (residuos de carbono) y gas de pirolisis.

Es cuando al aumento gradual de la temperatura ante la falta de oxígeno y del paso sin el oxígeno anaeróbico se producen el incremento de temperatura entre  $120\text{ }^{\circ}\text{C}$  y  $600\text{ }^{\circ}\text{C}$ , denominándose auto térmico debido que no produce o sumen energía; sin embargo, en esta etapa lo que pasa es que el material seco mostrara su estado en que se descompone por lo que los átomos y moléculas de carbono se asocian entre ellos.

### Tercera etapa:

- Oxidación del gas de pirolisis para generar calor suficiente a la gasificación.

En esta tercera etapa implica realizar en presencia de temperatura del oxígeno que se encuentra entre los 1200 °C y 1500 °C, en donde los materiales son volátiles por lo que causan la oxidación y la pirolisis. Este proceso de combustión entre el calor suficiente de las dos etapas anteriores más la etapa de gasificación en la que requiere un suministro de oxígeno fuerte.

### Cuarta etapa:

- Gasificación y reducción de carbono para generar gas de síntesis

Se podrá esquematizar las principales reacciones alrededor de la síntesis del gas y la gasificación de la biomasa:

**Tabla 11.** Reacciones y formulas del proceso de gasificación de biomasa

Nombre de reacción	Fórmulas de la reacción	$\Delta H$ 289k, 1 atm (kJ/mol)
<b>Reacciones heterogenias</b>		
Agua a gas primario	$C(s) + H_2O < \dots > CO + H_2$	131,3
Agua a gas primario	$C(s) + 2H_2O < \dots > CO_2 + 2H_2$	90,2
Boudouard	$C(s) + CO_2 < \dots > 2CO$	172,4
Oxidación	$C(s) + O_2 < \dots > CO_2$	-392,5
Oxidación parcial	$C(s) + \frac{1}{2} O_2 < \dots > CO$	-110,5
Metanacion	$C(s) + 2H_2 < \dots > CH_4$	-74,6
<b>Reacción homogénea</b>		
Cambio de agua a gas	$CO + H_2O < \dots > CO_2 + H_2$	-41
Reformando H <sub>2</sub> (Vapor)	$CO + 3H_2 < \dots > CH_4 + H_2O$	-205,9
Reacciones de oxidación	$CO + \frac{1}{2} O_2 < \dots > CO_2$	-283
	$H_2 + \frac{1}{2} O_2 < \dots > H_2O$	-242
Reformando vapor	$CH_4 + 2 H_2O < \dots > CO_2 + 4 H_2$	-164,7
	$C_6H_6O + 5 H_2O < \dots > 6CO + 8H_2$	642
Reformando CO <sub>2</sub>	$CH_4 + CO_2 < \dots > 2 CO_2 + 2 H_2$	247

Fuente: Elaboración propia

Respectivamente a referencia del hidrogeno y el oxígeno de carbono forma gas de síntesis, el combustible mezclando en proporciones variables a CO y H2.

En cuanto a los tipos de gasificadores de tecnología vigente en el mercado y que podrían ser utilizados, en el molino de arroz, materia del presente estudio, tenemos en el anexo 3, adjunta el cuadro sinóptico del caso.

En cuanto la comparación entre las características básicas de los distintos tipos de gasificadores en la siguiente tabla 12, la cual aporta bastante bien las diferencias entre cada tecnología disponible en puntos clave del proyecto.

**Tabla 12.** Comparación de características básicas de tipos de gasificadores

	Lecho fijo			Lecho fluidizado	
	Contraflujo	Flujo directo	Flujo cruzado	Burbujeante	Circulante
<b>Sensible a:</b>					
Tipo de combustible	Moderado	Especifico	Moderado	Flexible	Flexible
Tamaño de combustible	Muy bueno	Bueno	Bueno	Medio	Medio
Contenido de humedad	Muy bueno	Medio	Bueno	Bueno	Bueno
Contenido de cenizas	Pobre	Pobre	Pobre	Muy bueno	Muy bueno
Temperatura de reacción	1000 °C	1000 °C	900 °C	800 °C	850 °C
Mezclado de combustible	Pobre	Pobre	Pobre	Muy bueno	Excelente
Temperatura de salida de gas	250 °C	800 °C	90 °C	800 °C	850 °C
Alquitrán en el gas	Muy alto	Muy bajo	Muy alto	Moderado	Bajo
Polvo en el gas	Bueno	Moderado	Alto	Muy alto	Muy alto
Reacción entre los flujos máximo y mínimo	Bueno	Medio	Bueno	Muy bueno	Bueno
Potencial para escalar	Bueno	Pobre	Pobre	Bueno	Bueno
Facilidad de puesta en marcha	Pobre	Pobre	Pobre	Bueno	Bueno
Facilidad de control	Medio	Medio	Medio	Muy bueno	Muy bueno
Conversión de carbón	Muy bueno	Muy bueno	Pobre	Medio	Muy bueno
Eficiencia térmica	Excelente	Muy bueno	Bueno	Bueno	Muy bueno
PCI del gas	Pobre	Pobre	Pobre	Pobre	Medio

Fuente: Elaboración propia

De acuerdo a la experiencia internacional, se tiene el nomograma, que se indica en la figura 8, donde se muestra una comparación de los tipos de gasificadores de acuerdo con la potencia eléctrica que pueden producir, con esto se tendrá un mejor análisis para la elección del tipo de gasificador, para el molino de arroz materia del presente trabajo de investigación.

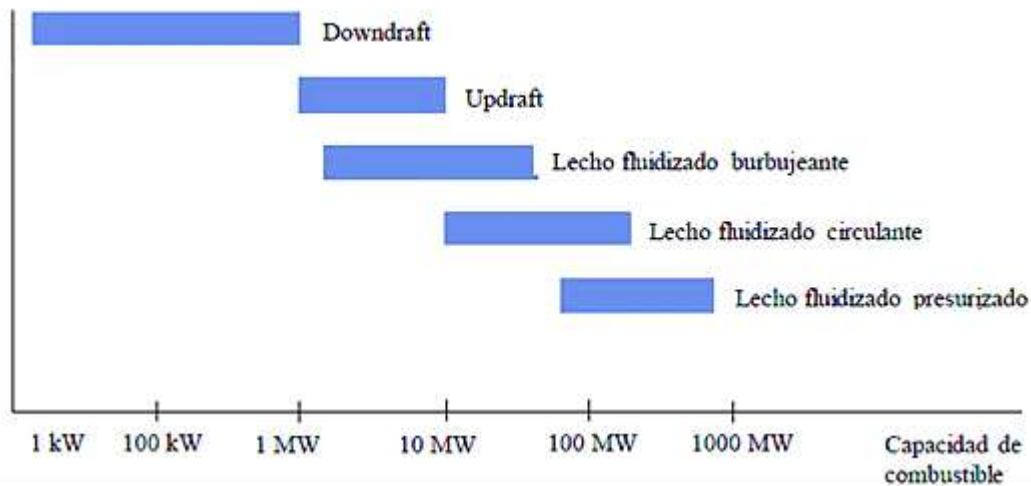


Figura 8. Capacidad de potencia de los gasificadores

Fuente: Elaboración propia

De acuerdo con la potencia que utiliza la empresa, la cual aproximadamente es de 251.70 kW, el gasificador más apropiado es el de lecho fijo tipo downdraft (de corriente descendente), el cual procedemos a especificar:

### Gasificador de corriente descendente (downdraft)

«El nombre de corriente se utiliza debido a que el aire se desplaza en el mismo sentido que el combustible, hacia abajo. El sistema descendente de un gasificador de corriente está creado de tal manera que la brea, que se fabrica en el lugar de la pirólisis, viaja a través de la zona de combustión, donde es quemado o botado». (Cabrera, 2018).

En, (Speight, 2017), nos dijo que este modelo de gasificador en el lugar de corriente ascendente es más fácil de controlar, pero es más complejo a la calidad de la materia prima.



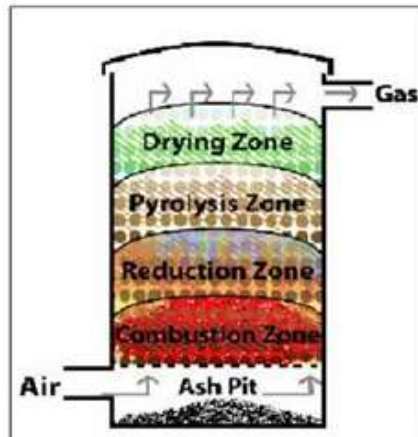


Figura 9. Gasificador de tiro ascendente

Fuente: (ENGGCYCLOPEDIA, 2017)

Para la determinación de la cantidad de energía eléctrica, que puede producir el molino de arroz, materia del siguiente análisis, analizamos primero la capacidad de producción de cascara de arroz, que tiene relación directa con la cantidad de arroz pilado y el tipo de arroz pilado, contando con el dato de poder calorífico inferior y el poder calorífico superior, nos dará la cantidad de energía, térmica disponible a lo cual debemos de multiplicar por la eficiencia térmica del proceso, para poder calcular la cantidad de energía eléctrica disponible, esta cantidad de energía será cruzada con la demanda de energía y de esa manera podemos disponer o calcular las horas en que el molino de arroz se autoabastece de energía eléctrica, las horas en que tiene que comprar energía eléctrica al sistema eléctrico interconectado Nacional, y el tiempo en que puede vender excedentes de energía eléctrica al sistema.

### **Proyección de arroz pilado**

Se utilizó la curva de ajuste lineal para establecer la proyección de arroz pilado en la que se recolectó los datos históricos de la producción de arroz pilado que fue procesado en los últimos 5 años. Los datos históricos proporcionados por la fábrica se encuentran en resumen en el anexo 4, desde los años 2013 al 2017 en la muestra cantidades en sacos y kilogramos.

La figura 10, se muestra los datos históricos de la proyección de arroz pilado en kg, de los coeficientes de correlación ( $R^2$ ) es igual a 0,97 por lo que se significa la

regresión lineal como método el más idóneo para el pronóstico más cerca de uno del grado más alto de fiabilidad.

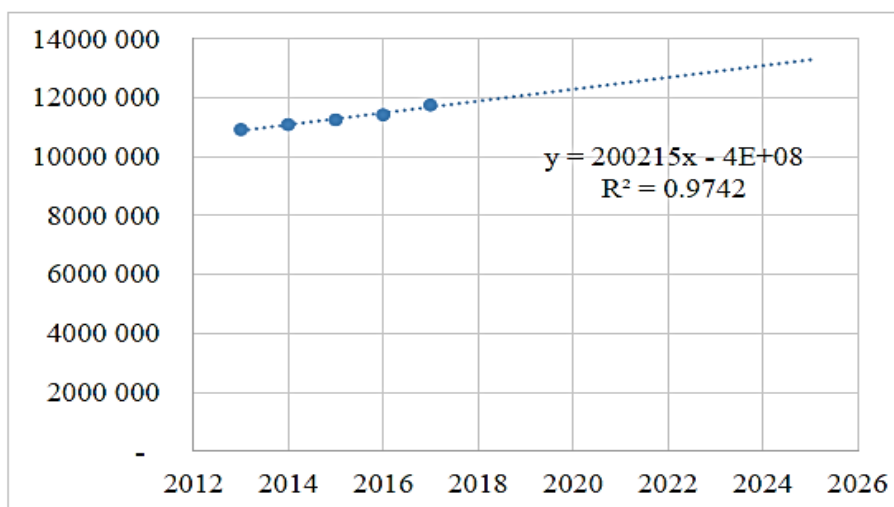


Figura 10. Proyección de la Producción de arroz Pilado del 2020 – 2026

Fuente: Elaboración propia

En la tabla 13, los valores comprendidos entre el 2020 y 2026 se muestra la producción de arroz pilado.

**Tabla 13. Producción proyectada de arroz pilado**

Año	Producción Proyectada de arroz pilado
2020	12' 341,332
2021	12' 562,128
2022	12' 752,413
2023	12' 984,276
2024	13' 196,710
2025	13' 407,244
2026	13' 621,137

Fuente: Elaboración propia

De acuerdo con los datos histórico brindado desde el 2013 al 2019 el hallazgo de la proyección de arroz pilado es para su proyección de la cascarilla de arroz por lo que el molino no registra las cantidades que se obtuvo de la cascarilla. Con este se pondrán a trabajar a corde con la serie de la historia de la cascarilla del arroz de acuerdo con los datos encontrado del arroz de pila, después que se encontró estos

datos se procedió a calcular la cascarilla del arroz en kg; como se muestra en la figura 11, por lo que se muestra el ratio de correlación de 0,97, es por ello que se traduce un alto grado de confiabilidad y que la metodología de regresión no lineal es conveniente. Cabe señalar que la tabla 14, se proyecta en el cuadro de la cascarilla de arroz en su proyección que se realizó en el periodo del año del 2020 hasta el 2026 como el hallazgo a partir de los datos histórico.

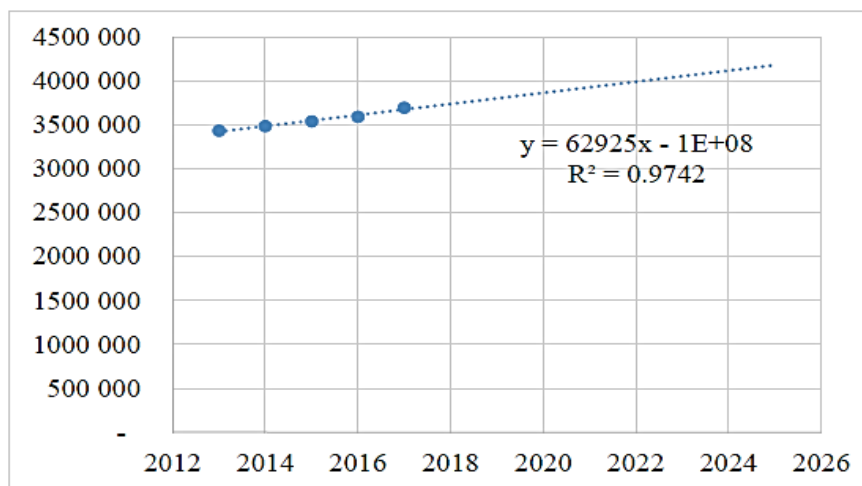


Figura 11. Proyección de la Producción de cascarilla de Arroz 2020 – 2026

Fuente: Elaboración propia

**Tabla 14.** Proyección de la producción de la cascarilla de arroz

Año	Cascarilla de Arroz en kg
2020	3`878,704
2021	3`948,097
2022	4`007,901
2023	4`080,773
2024	4`147,538
2025	4`213,538
2026	4`280,588

Fuente: Elaboración propia

En cuanto al análisis de proyección de la demanda de energía, realizaremos el análisis, tanto como demanda de energía como también la demanda de potencia para confirmar si es posible generar mediante la gasificación vertical turbulenta de

la cascara de arroz, la energía luego de ver los horarios para determinar los horarios de déficit junto con los horarios de excedencias de potencia.

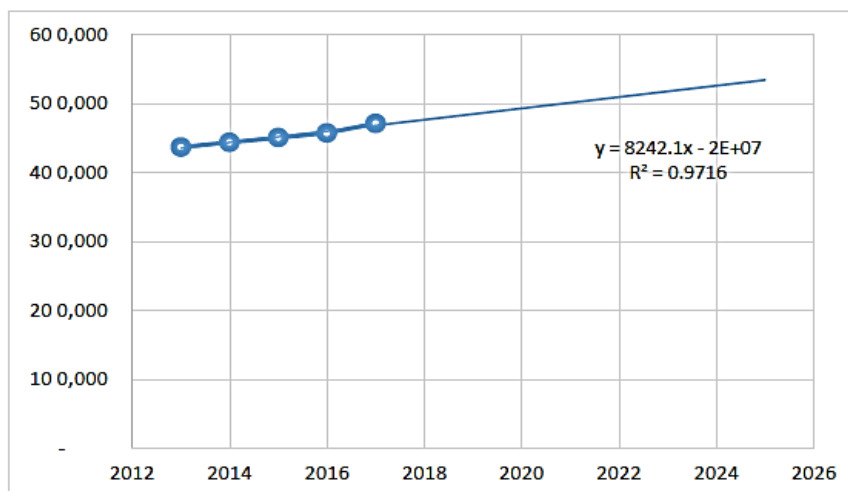
Se puede observar en la tabla 15, por lo que se muestra los datos históricos del consumo de energía eléctrica del periodo de 5 años, en que se permite el consumo de proyección de energético en kWhr, en donde se recopiló los recibos de potencia y energía eléctrica en kW, kWhr del periodo del 2015 al 2019.

**Tabla 15. Data histórica de consumo de energía 2015 – 2019**

Año	Consumo de Energía kWhr
2015	437,367,70
2016	444,201,60
2017	451,035,50
2018	457,869,30
2019	471,744,20

Fuente: Elaboración propia

La figura 12, se muestra el consumo de energía eléctrica en kWh utilizando el método lineal de regresión, por lo que se calculó  $R^2 = 0,97$ ; en valores de alto grado de fiabilidad.



**Figura 12. Proyección del consumo de electricidad en kWhr 2020 – 2026**

Fuente: Elaboración propia

En la tabla 16, se muestra el valor pronosticado del 2020 hasta el 2026 por lo que indica las cantidades de kWh mínimas de la producción para cumplir la producción del arroz pilado.

**Tabla 16.** *Series de proyección de consumo energético*

<b>Año</b>	<b>Consumo Energía en kWh</b>
2020	478,578,0
2021	488,932,4
2022	499,286,7
2023	507,880,8
2024	518,235,2
2025	527,709,4
2026	537,186,4

Fuente: Elaboración propia

### **Proyección del costo de consumo energético en S/.**

Podemos apreciar que en la tabla 17, se detallan los precios de energía eléctrica durante esta razón de periodo y también se puede ver que se han aumentado los costos con el tiempo, estos cálculos, se obtienen de la utilización de la data histórica del costo de la energía y potencia consumida, la cual fue obtenida de los datos del molino del año 2015 al 2019.

**Tabla 17.** *Data de costo de energía S/.*

<b>Año</b>	<b>Costo energía en S/.</b>
2015	175,054,50
2016	177,789,70
2017	180,567,70
2018	183,345,70
2019	192,581.00

Fuente: Elaboración propia

En la figura 13, con un  $R^2 = 0.91$  podemos apreciar el costo de potencia y la energía eléctrica en soles por lo que se utilizó la regresión lineal del método por lo que se

obtuvo un  $R^2 = 0,91$ ; que tiene como significado el alto grado de confiabilidad con la utilización de la metodología aplicado.

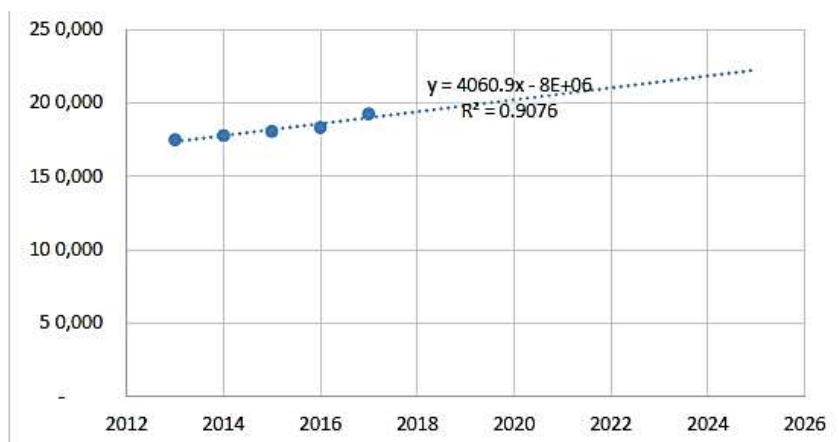


Figura 13. Proyección del Costo de Energía Eléctrica 2020 – 2026

Fuente: Elaboración propia

Los valores pronosticados desde principios del año 2020 por lo que se muestra en la tabla 18, hasta el periodo 2026 por lo que estos constituyo los costos de potencia y energía eléctrica que se genera por producción del polvillo, cascara de arroz e incluso el arroz pilado. La pronosticación del precio energético aumento debido a la producción del mismo costo de la potencia y la energía eléctrica.

**Tabla 18. Costo energético proyectado**

<b>Año</b>	<b>Costo energía S/</b>
2020	195,359.0
2021	201,372,6
2022	207,372,3
2023	211,764,6
2024	217,771,2
2025	222,970,7
2026	228,179,2

Fuente: Elaboración propia

## **Proyección de kilovatios hora (kWh) generados con el beneficio de la cascarilla**

Para determinar el hallazgo del valor pronosticado de los kilovatios obtenidos por medio del aprovechamiento de la cascara arroz esto se obtuvo por medio de la proyección de la cascarilla generada por el proceso de productivo por lo que se añadió por multiplicación de la tasa de conversión de 1 kWh por 1.8 Kg de la cascarilla referenciada.

### **4.3. Diseñar y determinar la operatividad de la comercialización de la energía eléctrica en la red (Net Billing y Net Metering).**

#### **Net Metering:**

La medición neta implica generar electricidad con paneles solares, utilizando la cantidad de electricidad que necesite y luego alimentar el resto a la red. Si no genera lo suficiente para sus propias necesidades, que ciertamente no lo hará en la noche, entonces toma electricidad de la red.

Los siguientes diagramas ilustran las diversas posibilidades. Preste atención a las condiciones del sol y cuando la electricidad fluye a través del medidor hacia y desde la red.

#### **Luz solar completa:**

Sus paneles solares generan suficiente electricidad para satisfacer sus necesidades y las sobras pasan por el medidor a la red. Esto supone que tiene suficientes paneles solares para satisfacer sus necesidades bajo la luz solar ideal.

#### **Sol con neblina:**

Bajo la luz solar ligeramente atenuada debido a la neblina, es posible que genere suficiente electricidad para satisfacer sus necesidades, pero no tenga exceso para poner en la red. En ese caso, nada fluye a través del medidor. Parcialmente nublado: si está parcialmente nublado, entonces es posible que no genere lo suficiente para sus necesidades y tenga que tomar algo de la red. Observe que en este caso parte de la electricidad fluye a través del medidor desde la red.

## **Noche:**

Por la noche, no generarás electricidad. En ese caso, la grilla satisfará todas sus necesidades. Observe nuevamente que la electricidad fluye a través del medidor desde la red.

No te pagan por lo que pones en la red. Así es como funciona, utilizando el programa de medición neta en Ontario, Canadá como ejemplo. Más detalles sobre el programa de Ontario están aquí. Otros lugares pueden variar:

- Cualquier electricidad que tome de la red se agrega a su factura.
- Cualquier electricidad que ponga en la red se resta de su factura.

Si el monto neto muestra que tomó más de lo que puso, entonces se le cobrará por ese monto neto.

Si el monto neto muestra que usted inyectó más de lo que tomó, se recordará como un crédito para el próximo período de facturación. Si tiene 12 períodos de facturación seguidos en los que no pagó nada, sino que agregó más crédito al total cada vez, luego del período de facturación 12 se borra el crédito total y comienza de nuevo.

Todo lo anterior se mide en función de lo que pasa por el medidor, como se muestra en los diagramas. En algunos lugares, el medidor es un medidor bidireccional para que funcione en ambas direcciones (por ejemplo, Ontario, Canadá). En otros lugares puede haber dos metros.

Observe que paga por la red de lo que pasa por el medidor cuando coloca en la cuadrícula y cuando saca de la cuadrícula. Por eso se llama "medición neta". Sin embargo, dependiendo de su ubicación, la red puede calcularse en función de los valores monetarios de lo que coloca en la cuadrícula y lo que toma de la cuadrícula. Esto se debe a que algunos programas pagarán una cantidad diferente por lo que pones en la grilla y lo que tomas de la grilla. El programa de Ontario, Canadá, se calcula de esa manera, aunque generalmente el dólar por kilovatio funciona de la misma manera para cada dirección. Ver en el Anexo 5 y 6.



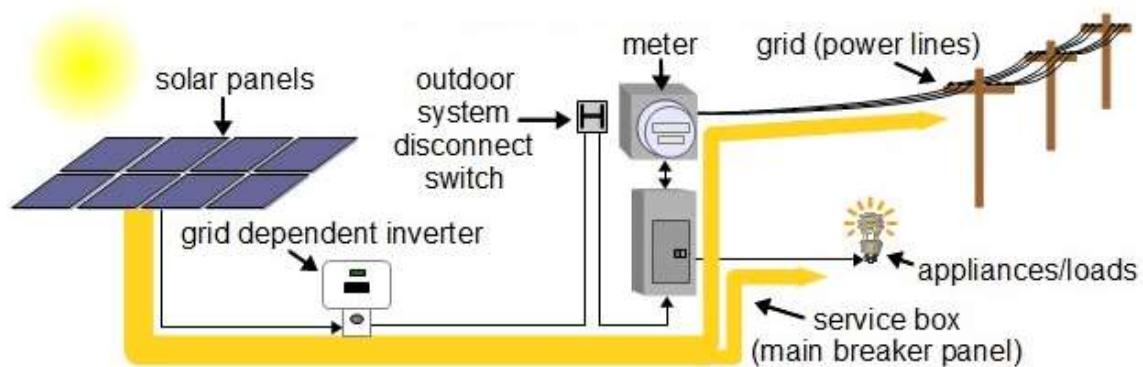


Figura 14. Luz solar completa

Fuente: (RIMSTAR, 2020)

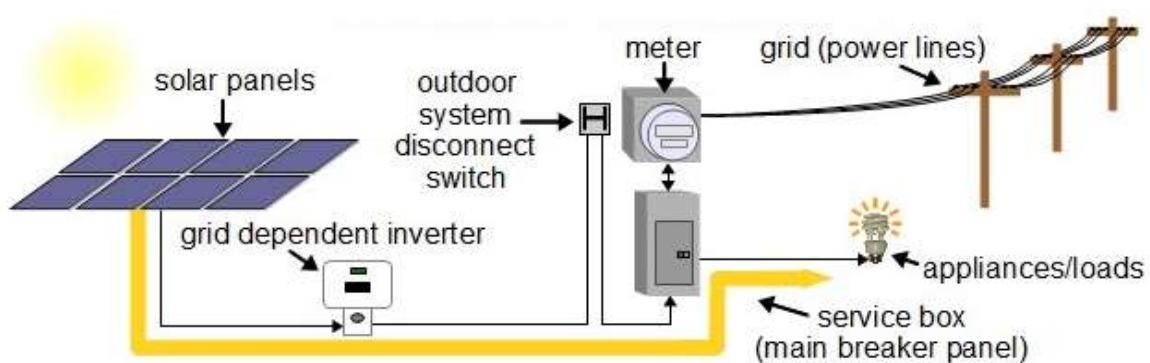


Figura 15. Sol con neblina

Fuente: (RIMSTAR, 2020)

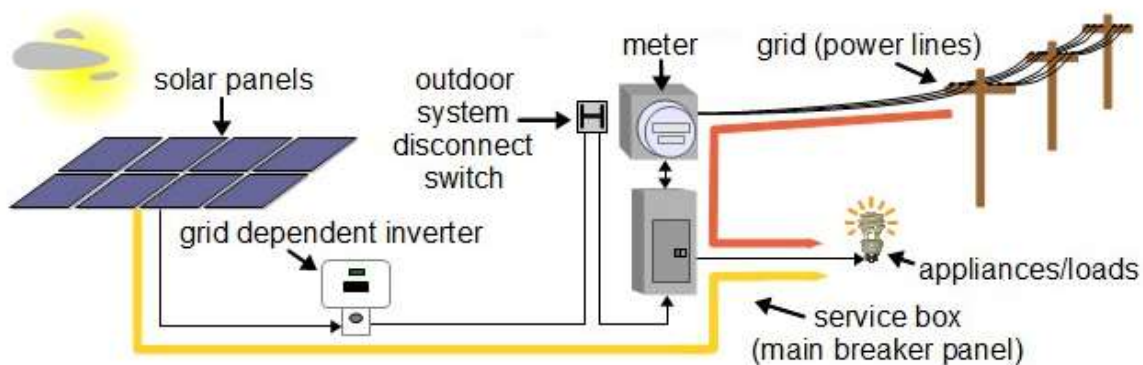


Figura 16. Parcialmente nublado

Fuente: (RIMSTAR, 2020)

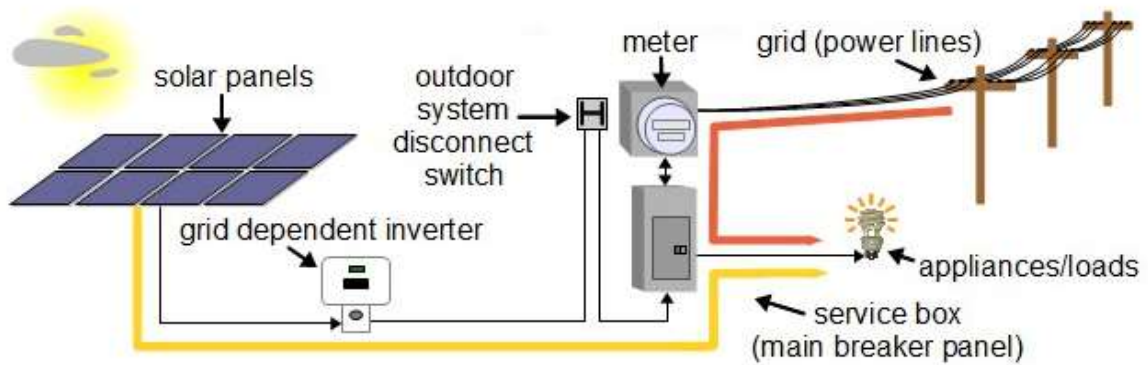


Figura 17. De noche

Fuente: (RIMSTAR, 2020)

Flexibilidad de sistemas eléctricos: Así mismo tenemos que la energía eólica y la energía Solar determinan una mayor flexibilidad en los sistemas interconectados, al respecto (Milliganm, 2015). Según la figura 18.

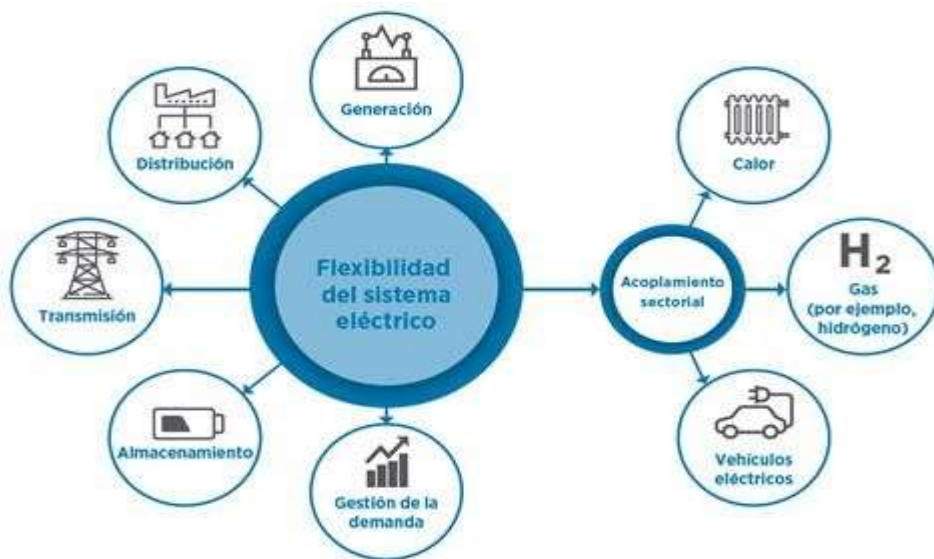


Figura 18. Facilitadores de flexibilidad del sistema eléctrico en el sector energético

Fuente: (IRENA, 2018)

Las energías de avanzada, atrae los cambios en las interrogantes de la tecnología, así de acuerdo a «La electrónica de potencia moderna que la hallamos en los generadores de energía solar fotovoltaica y eólica, así mismo en los sistemas eléctricos basados en baterías y algunos sistemas de transmisión de CC.» Anexo 7.

Los sistemas interconectados eléctricos varían en dirección a crecer en penetración de energías renovables, y capacidad de toma de decisiones y estos supuestos, se define flexibilidad para cada parte del sistema, según (CochranJ, 2017) «Generación Flexible: La unidad cualquiera es más flexible cuando su capacidad de rampa de bajada y subida tiene una respuesta rápida y puede operar a niveles». Ejemplo en la figura 19.



Figura 19. Comparación económica de fuentes de flexibilidad

Fuente: (ACERA AG, 2019)

Tendríamos los siguientes datos de costos:

- Inversión en Sistema de Gasificación US \$ 1,570,000
- Costos Evitados Anuales: US \$ 350,000 al Año
- Gastos de operación y Mantenimiento; US \$ 20,000

En cuanto a las condiciones de elaboración de flujo de caja, tenemos que este se configura de la siguiente Manera:

Lo que se busca definir la vida útil del proyecto por lo que se estima una duración de vida útil del negocio o proyecto, por lo que es indefinida la necesidad de la energía eléctrica en un mediano plazo y de los equipos solares el mantenimiento recibido de vigencia tecnológica de un periodo mínimo de diez años cronológico en el tiempo.

El costo ponderado de la capital se trabajará mediante un modelo de valor total de la tasa de interés por lo que cuenta con tres criterios de la base del valor formado de la interacción de la oferta y demanda del dinero es decir macroeconómico de las curvas IS (Mercado real de bienes y servicios) y para el Mercado de cantidad disponible de dinero en el tiempo; con ellos se podrá encontrar el valor medio del

ponderado de la capital con la ayuda de los criterios de la OECD, de la naturaleza contable financiera de nivel mundial.

Al riesgo de país lo que se debe tener en cuenta la política de atracción de la inversión privada en la repartición de las capitales que se expresa en valores determinados en clasificaciones de riesgo. Donde trabajaremos con el siguiente criterio del financiamiento de Proyecto:

### **Costo de capital**

Con el uso del Modelo de Valoración de Activos de Capital (CAPM). se deduce el costo de oportunidad de capital (COK) mediante la siguiente ecuación:

$$COK = \beta \times (Rm - Rf)Rf + R_{pais} \quad (8)$$

Dónde:

Beta no apalancada = 0.83 (según datos del Prof. A. Damodaran para el sector hotelero).

$R_m$ : Prima por riesgo de mercado = 8.63% (datos del Prof. A. Damodaran)

$R_f$ : Tasa libre riesgo = 3.22% (bonos del tesoro americano de 30 años)

$R_{pais}$ : Riesgo de país = 2.88% (según datos del Prof. A. Damodaran)

No obstante, se debe hacer un ajuste de la beta debido al monto a financiar con terceros.

$$Beta\ apalanca = Beta\ no\ apalanca \times (1 + (1 - T)(D/C)) \quad (9)$$

Dónde:

T: Tasa electiva de impuesto = 30%

D/C: Ratio deuda capital del proyecto = 1.5

Lo que nos permite realizar el flujo de caja económica y financiero; que nos permiten determinar el valor de los siguientes conceptos.

El Valor Neto Actual nos muestra el descuento del valor que se presenta en todos los ingresos y egreso que se dan en el proyecto, el descuento que se aplica en el costo promedio del cálculo de la capital es de acuerdo a su estructura del balance financiero económico del proyecto:

Para Calculo manual se tiene la siguientes formulas:

$$CF_1 \neq CF_2 \neq CF_3 \neq \dots \neq CF_i \neq \dots \neq CF_0 \quad (10)$$

$$VAN = -D_0 + \frac{CF_1}{(1+k)^1} + \frac{CF_2}{(1+k)^2} + \frac{CF_3}{(1+k)^3} + \dots + \frac{CF_i}{(1+k)^i} + \dots + \frac{CF_0}{(1+k)^n} \quad (11)$$

$> 0$

Dónde:

CFx: Flujo de caja del periodo i

D<sub>0</sub>: Desembolso inicial

k: Tasa de actualización

n: Duración de la inversión

Así mismo se utiliza el ratio financiero de TIR (tasa interna de retorno); cabe señalar la definición que se le brinda es de la tasa de ser descontada en el fujo de fondos para la determinación de un VAN igual a cero.

Para cálculo de hoja electrónica Excel se utiliza la ecuación 4 y se determinó el VAN.

Se desarrolla el flujo de caja que nos permitirá determinar los siguientes resultados:

- Valor actual neto: 416.097,40
- Tasa interna de retorno: 16%

**Tabla 19. Flujo de caja**

Año	0	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
<b>Ingresos</b>	0,00	350.000,00	350.000,00	350.000,00	350.000,00	350.000,00	350.000,00	350.000,00	350.000,00	350.000,00	350.000,00
<b>Egresos</b>	1.570,00	20.000,00	20.000,00	20.000,00	20.000,00	20.000,00	20.000,00	20.000,00	20.000,00	20.000,00	20.000,00
<b>Utilidad</b>	-1.570,00	330.000,00	330.000,00	330.000,00	330.000,00	330.000,00	330.000,00	330.000,00	330.000,00	330.000,00	330.000,00

Fuente: Elaboración propia

## V. DISCUSIÓN

Se comenzó analizando la investigación realizada por Gómez López y Mayorga Arias (2020), quienes tuvieron como objetivo general dimensionar un sistema de generación fotovoltaico para su implementación en un molino ubicado en Guanenta. Para esto, los investigadores emplearon una metodología de tipo práctica no experimental, dado que utilizaron la simulación mediante PVsyst para obtener el rendimiento del sistema fotovoltaico en un escenario de generación on grid. Los resultados obtenidos indicaron que, de los escenarios estudiados se optó por una pequeña central fotovoltaica para autoconsumo con inyección cero, de este modo se evitan costos adicionales como el cambio de transformador. Se obtuvo como indicadores económicos una tasa de retorno de 5.19 años y TIR de 21.23%, concluyendo que la instalación es rentable dado que el sistema fotovoltaico tiene una vida útil de 20 años.

Mientras, Osorio Aguirre (2019) tuvo como objetivo analizar el residuo agrícola industrial del molino de arroz Pacande para la generación de electricidad por medio del proceso de gasificación (biogas). El investigador hizo uso de una metodología aplicada de tipo experimental, analizando el potencial energético de la cascarilla de arroz empleando el equipo Power Pallet para los ensayos, y evaluando la rentabilidad de la investigación mediante los indicadores económico VPN y TIR. Los resultados obtenidos indicaron que, el potencial teórico de la planta de gasificación de cascarilla de arroz es de 12 539.58 MJ/h, siendo el verdadero potencial (técnico) de 9 404.69 MJ/h, con un VPN de 1431 838.62 USD y TIR de 46%; la vida del proyecto es de 15 años. Se concluyó que, la implementación de una central de biogás por medio de los residuos industriales del molino redujo el gasto energético de la planta de 346.79 USD/kWh a 182 USD/kWh.

Por otro lado, Pascual Hernández (2020) hizo lo mismo pero aplicado a una carga industrial. Los pasos que siguió fue analizar la demanda eléctrica, el recurso solar de la zona y los costos de instalación para poder realizar el análisis de viabilidad. Realizó dos diseños empleando el software PVGIS, obteniendo un sistema PV de 300 kW capaz de producir 220 MWh/año. Del análisis de factibilidad se obtuvo, un presupuesto óptimo de 108.022,48 EUR, una reducción de emisión de dióxido de

carbono de 1020 tCO<sub>2</sub>/MWh, LCOE de 0.77 EUR/WP y un ROI de 6 años. A diferencia del anterior, él empleó un algoritmo para el dimensionamiento y comparó presupuestos para seleccionar el diseño óptimo.

Por otro lado, la investigación realizada por Sanchez Sanchez y Muñoz Pérez (2017) guarda mucha relación con los antes mencionados, ya que también realizó un diseño solar fotovoltaico para suministrar parcialmente la demanda de energía eléctrica de la empresa BATNICSA. La principal diferencia es que, en esta tesis, el investigador analiza a profundidad los equipos conectados a esta industria realizando un censo de carga para saber cuántos equipos estaban conectados a la red y un monitoreo de las horas de funcionamiento de cada máquina. De este modo los valores que obtiene son más acercados a los reales, dimensionando así un sistema más eficiente. Emplearon el software PVsyst para el dimensionamiento fotovoltaico. Gracias al análisis económico que realizó determinó que, el tiempo de amortización del proyecto sería de 5 años aproximadamente, con un VAN de 4 42926.47 cUSD. Lo destacable de esta investigación es la metodología que usa para determinar con exactitud la parte de la demanda que va a suministrar en la empresa.

En el caso de Querebalú Santisteban (2020), dimensionó una mini central eólica para suministrar de energía a un molino de yeso que se encuentra ubicado en el distrito de Mórrope del departamento de Lambayeque, Perú. Se utilizaron los datos recopilados de SENAHMI-Lambayeque para determinar el potencial eólico de la zona de estudio, esto sirvió para dimensionar el sistema eólico y seleccionar sus componentes. De los resultados obtenidos, se indicó un potencial eólico de 279.6 kWh/día, siendo la máxima demanda obtenida del análisis de cargas del molino de 37 kW. Los componentes del sistema eólico fueron un aerogenerador de la marca VESTAS de 55 kW, siendo el sistema de almacenamiento 34 baterías de plomo ácido OPZs de la marca HOPPECKE de 1500 Ah. Además, como sistema de regulación se tuvo el inversor SUNTREE de 30 kW y el regulador FLEXMAX FM80. Se concluyó que, el sistema de generación empleado tuvo un CAPEX de 264 106.9 Soles con un VAN de 149 075 soles, un TIR del 19% y un ROI de 6.64 años.



Otra tesis que se basó en la generación mediante la gasificación de cascarilla de arroz fue la desarrollada por Fernández García (2019), quienes centraron su estudio en un molino ubicado en Lambayeque. Emplearon una metodología aplicada con diseño experimental, donde obtuvieron que el potencial biomásico de la cascarilla de arroz fue de 6 307.2 Toneladas/año capaz, la cual es capaz de producir 607 kW. De los resultados obtenidos de la investigación se determinó que el flujo de masa para tener la potencia establecida fue de 0.28 kg/s con una humedad relativa del 10%, de este modo la potencia varía en el rango de 500-750 kW. Se concluyó que, el valor actual neto del proyecto propuesto fue de 113 293 USD y un TIR de 11.53%.

## VI. CONCLUSIONES

1. Se procedió a realizar un metrado detallado, de los equipos eléctricos del molino de arroz donde se desarrolla el presente trabajo de investigación, se detallado los equipos y maquinarias con sus curvas de potencia mínima y máxima, así como sus torques, su voltaje y amperaje dentro de los grados de funcionamiento, las horas día, semana, año que trabajan, la energía activa y reactiva que consumen su factor de potencia, factor de carga y factor de simultaneidad, para poder construir los diagramas de gestión de demanda, para un día normal de semana, un día de fin de semana, en temporada de pilado, fuera de temporada de pilado, para luego compararlo con el diagrama de oferta del sistema interconectado nacional, y determinar la existencia de demandas insatisfechas, se analizara luego las posibilidades de utilizar energía solar fotovoltaica, con paneles solares de 300 Wp, con material tipo Peroskita, convertidores y set de baterías de litio correspondiente, también se analizó la posibilidad de utilizar, la cascarilla de arroz, mediante un moderno proceso de utilización de gasificación, Pirolisis y Catalizacion Hidro térmica, con lo cual se podrá obtener energía eléctrica para accionar todos los motores del molino sujeto del presente trabajo de investigación.
2. Se complementa con el análisis si se vende y compra para fuera del sistema o para dentro del sistema, de acuerdo a los requerimientos del Net Billing y Net Metering, con las condiciones técnicas, comerciales, operacionales y ambientales para su compra y venta de energía y potencia eléctrica y se efectúa un análisis de la optimización económica según fuente de variabilidad, y en función a costos y egresos económicos que originan un flujo de caja en función a una vida útil económica, una tasa de descuento determinado por el costo promedio ponderado de capital, determinando un valor VAN y TIR óptimos.

## **VII. RECOMENDACIONES**

- 1.** Los valores esperados de kW obtenidos mediante al aprovechamiento de la cascara de arroz, en la proyección de la cascarilla generada durante el desarrollo productivo y después se multiplique la tasa de conversión de 1 kWh por 1.8 kg de cascarilla de arroz que es referida.
- 2.** Se trabajará con el costo ponderado del capital estimado bajo el modelo de la tasa de interés por lo que cabe señalar en este caso será formado por tres criterios del valor formado por interacción de la oferta y la demanda del dinero; es decir en terminamos macroeconómico.
- 3.** Reutilizar la cascarilla de arroz como sustituto de combustibles derivado del petróleo crudo. Para la generación de energía eléctrica utilizando biomasa disponible como la cascarilla de arroz, los aspectos favorables para la empresa de generar energía limpia sin causar impacto ambiental a nuestro ecosistema.

## REFERENCIAS

Alcántara Gómez, E. J. (2020). Diseño de una central termoeléctrica utilizando cascarilla de arroz para reducir costos de consumo de energía eléctrica en los molinos de arroz de la provincia de Jaén. Pimentel: Universidad Señor de Sipán. Recuperado el 20 de septiembre de 2021, de <https://repositorio.uss.edu.pe/handle/20.500.12802/6893>

Amenero, Q. (2017). Caorimetria del Arroz en Cascara. BOGOTA: LIMUSA.

Asian Development Bank. (2020). Handbook on Microgrids for Power Quality and Connectivity. Manila, Philippines: Asian Development Bank. doi:10.22617/TIM200182-2

AUTOSOLAR. (2020). Perú tiene la radiación solar más alta del mundo. Recuperado el 20 de septiembre de 2021, de AUTOSOLAR: <https://autosolar.pe/blog/actualidad-de-energia-solar/peru-radiacion-solar-mas-alta-de-todo-el-planeta>

Beltran, J. (2017). Procesos de Gasificación MODernos. BOGOTA: McGrawHill.

Benalcazar, P., Suski, A., & Kaminski, J. (enero de 2020). Optimal Sizing and Scheduling of Hybrid Energy Systems: The Cases of Morona Santiago and the Galapagos Islands. *Energies*, 13(15), 3933. doi:10.3390/en13153933

Bordons, C., Garcia-Torres, F., & Ridao, M. (2020). Model Predictive Control of Microgrids. (1 ed.). Cham: Springer International Publishing. doi: [https://doi.org/10.1007/978-3-030-24570-2\\_4](https://doi.org/10.1007/978-3-030-24570-2_4)

Borlase, S. (2017). Smart Grids: Advanced Technologies and Solutions (2 ed.). CRC Press. Recuperado el 20 de septiembre de 2021

Cabrera, A. (2018). Gasificadores de corriente descendente, tipos y aplicaciones. BUENOS AIRES: RIVER.

Canziani, F., Vargas, R., & Gastelo-Roque, J. A. (18 de febrero de 2021). Hybrid Photovoltaic-Wind Microgrid With Battery Storage for Rural Electrification: A Case Study in Perú. *Frontiers in Energy Research*, 8. doi:10.3389/fenrg.2020.528571

Cochran J. (2017). *Flexibility in 21 st Century Power Systems* . New York: Mc Graw Hill.

Couto, N. (2017). Influence of the biomass gasification processes on the final composition of syngas. SAO PABLO: CAMPINAS.

Deli, K., & Noel, D. (2019). On-Field Operation and Maintenance of Photovoltaic Systems in Cameroon. *IntechOpen*. Recuperado el 20 de septiembre de 2021, de <https://www.intechopen.com/books/maintenance-management/on-field-operation-and-maintenance-of-photovoltaic-systems-in-cameroon>

Dragičević, T., Wheeler, P., & Blaabjerg, F. (2018). *DC Distribution Systems and Microgrids*. Stevenage, Herts. Recuperado el 20 de septiembre de 2021

El-huari, H., Allouhi, A., Rehnem, S., Buker, M. S., Kousksou, T., Jamil, A., & El Amrani, B. (20 de diciembre de 2020). Feasibility evaluation of a hybrid renewable power generation system for sustainable electricity supply in a Moroccan remote site. *Journal of Cleaner Production*, 277, 123534. doi: 10.1016/j.jclepro.2020.123534

Farfán Neyra, J. (2020). Evaluación del modelo empírico de Bristow-Campbell en el registro de la irradiancia solar diaria en las estaciones meteorológicas del Senamhi de la Provincia de Lambayeque. Lambayeque: Universidad Nacional Pedro Ruiz Gallo. Recuperado el 14 de enero de 2021, de [http://repositorio.unprg.edu.pe/bitstream/handle/UNPRG/8701/Farfán\\_Neyra\\_José\\_Luis.pdf?sequence=1&isAllowed=y](http://repositorio.unprg.edu.pe/bitstream/handle/UNPRG/8701/Farfán_Neyra_José_Luis.pdf?sequence=1&isAllowed=y)

Fernández García, E. A. (2019). Generación de energía eléctrica mediante gasificación de la cascarilla de arroz para un molino en Lambayeque. Lambayeque: Universidad Nacional Pedro Ruiz Gallo. Recuperado el 20 de septiembre de 2021, de <https://repositorio.unprg.edu.pe/handle/20.500.12893/4356>

García Altamirano, L. E. (2019). Optimización con el software Homer de un sistema eléctrico con energía renovable en el centro poblado Santa Mercedes de Pillingue en el Distrito de Balsa Puerto - Loreto. Lambayeque: Universidad Nacional Pedro Ruiz Gallo. Recuperado el 20 de septiembre de 2021, de <https://repositorio.unprg.edu.pe/handle/20.500.12893/5492>

Gastelo-Roque, J. A., Vargas Portocarrero, R., Valqui Ramirez, R., Alsop, A., & Merello Cabezas, L. (2020). An assessment of DC/AC renewable energy microgrids for electrification of the Peruvian Amazonia using cluster analysis and GIS. IEEE, 813-818. doi:10.1109/SGES51519.2020.00150

Gobierno del Perú. (23 de abril de 2021). FISE. Recuperado el 20 de noviembre de 2021, de Frontera Energética: <http://www.fise.gob.pe/frontera-energetica.html>

Gómez López, J. L., & Mayorga Arias, D. C. (2020). Estudio para la implementación de un sistema de autogeneración a partir de energía solar fotovoltaica en las instalaciones del molino Guanentá, ubicado en el municipio de Curití, Santander. Bucaramanga: Universidad Autónoma de Bucaramanga. Recuperado el 21 de septiembre de 2021, de <https://repository.unab.edu.co/handle/20.500.12749/7267>

Gonzales, F. (2018). Turbinas de Gas, de Cascarrilla de Arroz. LIMA: UNFV.

Graciosa, E. (2017). Pyrolysis gases burnes, sustainability for integrated production of charcoal. BOSTON: MIT.

Hilares, K., Vargas, R., & Gastelo-Roque, J. A. (2020). Impact of COVID-19 on the GHG emissions of the Peruvian Interconnected Electrical System. 2020 IEEE XXVII International Conference on Electronics, Electrical Engineering and Computing (INTERCON) (págs. 1-4). Lima: IEEE. doi:10.1109/INTERCON50315.2020.9220258

Hupa, M. (2017). Biomass combustion technology development. VANCUVER: ELSIVER.

ICARUS. (2020). Proyectos ON-GRID. Recuperado el 20 de septiembre de 2021, de <https://icarusdesarrollosolar.com>: <https://icarusdesarrollosolar.com/proyectos-on-grid/>

Instituto para la diversificación y ahorro de energía. (2017). Agentes Gasificantes. ASUNCION: IPIME.

Kottayil, S. K. (2020). Smart Microgrids (1 ed.). CRC Press. Recuperado el 20 de septiembre de 2021, de <https://www.routledge.com/Smart-Microgrids/Kottayil/p/book/9780367343620>

Leonardo, C. (2017). Uso energetico de la Cascarrilla del Arroz. Guayaquil: ESPOL.

Letcher, T., & Fthenakis, V. (2018). A Comprehensive Guide to Solar Energy Systems - 1st Edition (1 ed.). ELSEVIER. Recuperado el 2020 de septiembre de 2021, de <https://www.elsevier.com/books/a-comprehensive-guide-to-solar-energy-systems/letcher/978-0-12-811479-7>

Lucero de la Cruz, Y. A. (2019). Proyección de la capacidad de electricidad generada mediante el aprovechamiento energético de la cascarilla de arroz en la provincia de Lambayeque. Lambayeque: Universidad Nacional Pedro Ruiz Gallo. Recuperado el 20 de septiembre de 2021, de <https://repositorio.unprg.edu.pe/handle/20.500.12893/4944>

Mendoza Huamán, G. F. (2020). Diseño de un sistema fotovoltaico on grid de autoconsumo e inyección 0 conectado a la red eléctrica del centro de salud Haquira. Apurimac: Universidad Tecnológica del Perú. Recuperado el 20 de septiembre de 2021, de <http://repositorio.utp.edu.pe/handle/20.500.12867/3797>

Milliganm. (2015). Advancing System Flexibility for High Penetration Renewable Integration. Denver: EEUU.

MINEM. (2020). Anuario Ejecutivo de Electricidad 2019. Ministerio de Energía y Minas, Lima. Lima: Ministerio de energía y Minas. Recuperado el 20 de septiembre de 2021, de <http://www.minem.gob.pe/minem/archivos/AnuarioEjecutivoFinal-Rev-Final2.pdf>

MINEM. (2021). Minem electrificará a 100 mil viviendas de sectores rurales con el uso de paneles solares. Recuperado el 20 de septiembre de 2021, de <https://www.gob.pe/institucion/minem>:

<https://www.gob.pe/institucion/minem/noticias/340331-minem-electrificara-a-100-mil-viviendas-de-sectores-rurales-con-el-uso-de-paneles-solares>

MINEM. (30 de abril de 2021). Programa Masivo Fotovoltaico permitió llevar energía eléctrica a más de 208 mil pobladores de diversas regiones del país. Recuperado el 20 de septiembre de 2021, de Gobierno del Perú:

<https://www.gob.pe/institucion/minem/noticias/325084-programa-masivo-fotovoltaico-permitio-llevar-energia-electrica-a-mas-de-208-mil-pobladores-de-diversas-regiones-del-pais>

NASA. (10 de enero de 2021). POWER Data Access Viewer. Recuperado el 15 de enero de 2021, de POWER NASA: <https://power.larc.nasa.gov/data-access-viewer/>

Nicollini, T. (2016). Produccion de Gas de Sintesis en España. MADRID: POLITECNIA.

Osorio Aguirre, L. (2019). Análisis técnico económico para el uso de la cascarilla de arroz en la generación de energía eléctrica a partir del proceso de gasificación. Caso de estudio: molino de arroz Pacande de la ciudad de Villavicencio – Meta. Bogota: Universidad Libre. Recuperado el 20 de septiembre de 2021, de <https://repository.unilibre.edu.co/handle/10901/18602>

Ozsin, G. (2017). Kinetics and evolved gas analysis for pyrolysis of food processing. BOSTON: MIT.

Pascual Hernández, R. (2020). Diseño de un sistema fotovoltaico conectado a la red eléctrica en régimen de autoconsumo para cubrir la demanda de una pequeña industria. Cartagena: Universidad Politécnica de Cartagena. Recuperado el 20 de septiembre de 2021, de <https://repositorio.upct.es/handle/10317/8894>

Prada, A. (2018). La descomposicion termica de la cascarilla de arroz. Orinoquia, 155 - 170.



Querebalú Santisteban, F. M. (2020). Dimensionamiento de una mini central eólica para abastecer de energía eléctrica el molino de yeso Fernando Tuñoque del distrito de Morrópe. Lambayeque: Universidad Nacional Pedro Ruiz Gallo. Recuperado el 20 de septiembre de 2021, de <https://repositorio.unprg.edu.pe/handle/20.500.12893/8197>

Ray, P., & Biswal, M. (2020). Microgrid: Operation, Control, Monitoring and Protection. Springer Singapore. doi:10.1007/978-981-15-1781-5

Rojas Sánchez, C. A. (2018). Generación de Biogás a partir de la cascarilla de arroz para reducir costos energéticos de la pilador La Merced S.R.L. Chiclayo: Universidad Católica Santo Toribio de Mogrovejo. Recuperado el 20 de septiembre de 2021, de [https://tesis.usat.edu.pe/bitstream/20.500.12423/1437/1/TL\\_RojasSanchezCristian.pdf](https://tesis.usat.edu.pe/bitstream/20.500.12423/1437/1/TL_RojasSanchezCristian.pdf)

Salazar Sanchez, E. (2019). Propuesta de aprovechamiento de la cascarilla de arroz para incrementar la rentabilidad del molino y Cía. Semper S.A.C. utilizando el sistema de gasificación. Chiclayo: Universidad Católica Santo Toribio de Mogrovejo. Recuperado el 20 de septiembre de 2021, de [https://tesis.usat.edu.pe/bitstream/20.500.12423/2269/1/TL\\_SalazarSanchezEver.pdf](https://tesis.usat.edu.pe/bitstream/20.500.12423/2269/1/TL_SalazarSanchezEver.pdf)

Sallam, A., & Malik, O. P. (2019). Microgrids and Smart Grids. IEEE. doi:10.1002/9781119509332.ch20

Sanchez Sanchez, O. A., & Muñoz Pérez, M. A. (2017). Diseño de un sistema fotovoltaico conectado a red para la empresa BATNCSA en el periodo 2016-2017. Managua: Universidad Autónoma de Nicaragua. Recuperado el 20 de septiembre de 2021, de <https://repositorio.unan.edu.ni/7147/>

SOLARTIK. (2020). ¿Qué es un sistema solar OFF GRID? Recuperado el 20 de septiembre de 2021, de <https://solartik.com.ar/que-es-un-sistema-solar-off-grid/>

Speight, G. (2017). *Calculo y Diseño de Gasificadores de flujo descendente*. VALLALODID: RETIS.

Tomar, A., & Kandari, R. (2020). *Advances in Smart Grid Power System* (1 ed.). ELSEVIER. Recuperado el 20 de septiembre de 2021, de <https://www.elsevier.com/books/advances-in-smart-grid-power-system/tomar/978-0-12-824337-4>

WEATHER SPARK. (12 de noviembre de 2020). El clima promedio en Lambayeque - Perú. Recuperado el 11 de enero de 2021, de WEATHER SPARK: <https://es.weatherspark.com/y/19287/Clima-promedio-en-Lambayeque-Perú-durante-todo-el-año>

Xu, F. (2017). *Biomass Digestion*. PEKIN: SUFUN.

## ANEXOS

### Anexo 1. Matriz de operacionalización de variables

	Variables De Estudio	Definición Conceptual	Definición Operacional	Dimensión	Indicadores	Escala De Medición
Variable Dependiente	Sistema Eléctrico	Se define como el conjunto de cargas que funcionan con electricidad dentro de una vivienda, comercio o industria (Fernández García, 2019, pág. 56)	Determinar la energía promedio diaria y la máxima demanda de del molino.	Sistema Eléctrico	Energía promedio diaria Potencia Instalada Tensión de Suministro	Ordinal
Variable Independiente	Energías Renovables no convencionales	Se dice de las energías que se obtienen de fuentes naturales virtualmente inagotables como el sol, el viento, la biomasa, las mareas (García Altamirano, 2019, pág. 57)	Optimización de un sistema de generación eléctrica con ERNC.	Sistema de Generación ERNC	Potencial Solar Potencial Eólico Potencial energético de la cascarilla de arroz	Razón
				Indicadores Económicos	LCOE VAN ROI	Razón

Fuente: Elaboración propia

## Anexo 2. Técnicas e instrumentos de recolección de datos

Técnicas	Instrumentos
Análisis documental	Informes de la empresa
Simulación	SAM
Análisis Económico	Indicadores Económicos
Estadística descriptiva	Software Microsoft Excel

Fuente: Elaboración propia

## Anexo 3. Características de los tipos de Gasificadores

Tipo de gasificador	Ventajas	Desventajas
De corriente ascendente (updraft)	Diseño simple	Gran cantidad de alquitrán y productos de pirólisis
	Alta combustión de carbón	Se requiere una limpieza extensa de gas si se usa para aplicaciones de potencia
	Alta eficiencia de conversión de combustible a gas	
	Acepta combustibles con mayor contenido de humedad	
	Acepta combustibles de diferentes tamaños.	
De corriente descendente (downdraft)	Bajo contenido de alquitrán	Limitada escala de ampliación
	Mejor opción para el uso en motores de gas	A bajas temperaturas se produce más alquitrán
	A cargas menores, menos partículas en el gas	Elevadas cantidades de ceniza y polvo
		Los requerimientos de combustible son estrictos
De corriente cruzada (cross-draft)	Aplicable para operaciones a pequeña escala	Gran cantidad de alquitrán producido
	Debido a las altas temperaturas, los requerimientos de limpieza de gas son bajos	
De lecho fluidizado (fluidized bed)	Construcción compacta	La corriente de gas contiene partículas finas de polvo
	Perfil de temperatura uniforme	Sistema complejo debido a la baja biomasa retenida en el lecho de combustible
	Acepta la variación del tamaño de combustible	Se puede utilizar una variedad de biomasa, pero la flexibilidad del combustible es aplicable para la biomasa de 0,1 cm a 1 cm de tamaño
	El alto punto de fusión de la ceniza de la biomasa no conduce a la formación de escoria.	
De flujo arrastrado (Entrained flow)	Aplicable a sistemas grandes	Alta inversión
	Tiempo de residencia corta para la biomasa	Requerimientos estrictos de combustible

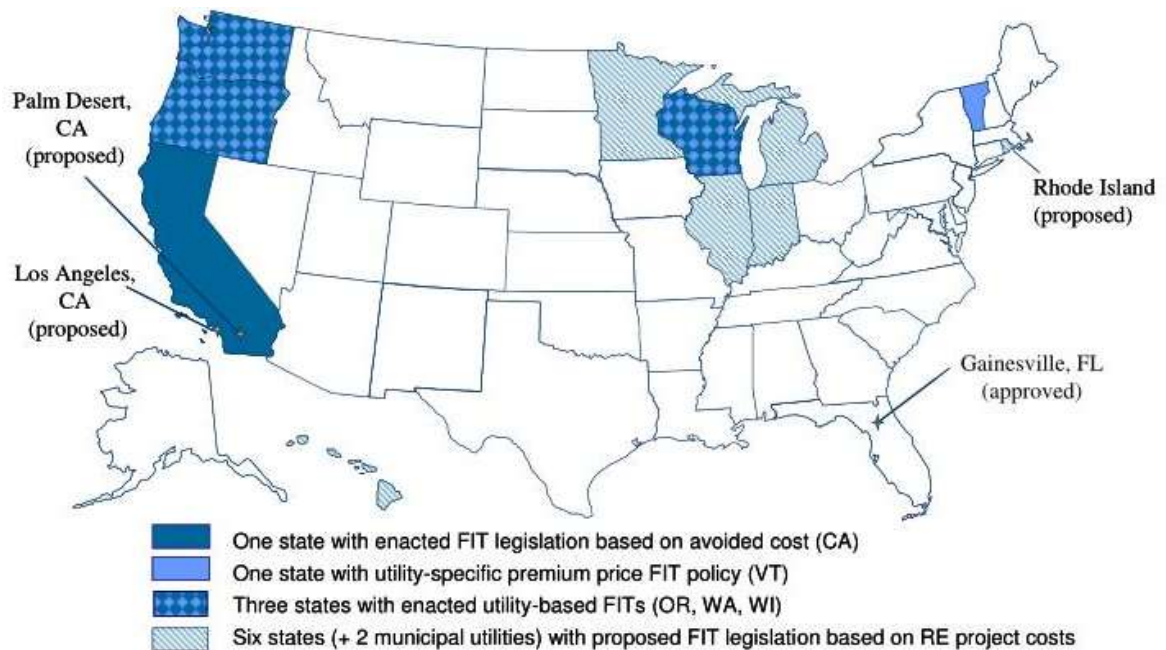
Fuente: Elaboración propia

#### Anexo 4. Data Histórica de la producción de arroz Pilado

Año	Producción de sacos (50kg) de arroz pilado	Producción de arroz pilado en kg
2013	218 437	10 921 850
2014	221 741	11 087 050
2015	225 102	11 255 100
2016	228 494	11 424 700
2017	235 082	11 754 100

Fuente: Elaboración propia

#### Anexo 5. Implementación de la política de tarifas de alimentación dentro de los Estados Unidos



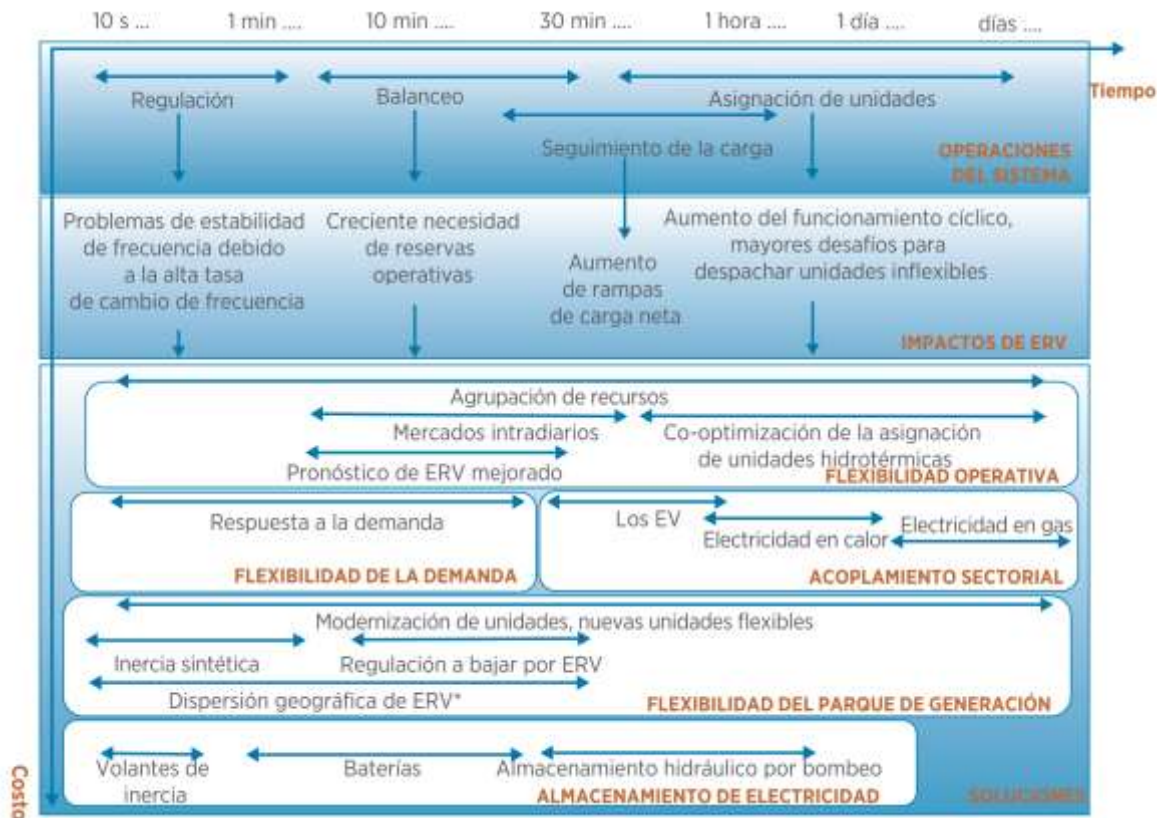
Fuente: (WIND-WORKS, 2018)

Anexo 6. Diseño de política de tarifas de alimentación de EE. UU.

State	Utility	FIT Type <sup>(i)</sup>	Tech Eligible	Price (c/kWh)	Contract Duration	Project Size Caps	Program Size Caps
CA	IOUs only	Avoided-cost Based	Most <sup>(ii)</sup>	6 to about 20	10, 15, or 20 years	1.5 MW	478 MW
FL	Gainesville Regional Utilities (GRU)	Based on the Cost of Generation (Solar)	Solar	32	20 years	None	4 MW per year
OR	Eugene Water & Electric Board	Fixed-price Incentive	Solar	12	10 years	Only projects >10 kW	None
VT	Central Vermont Public Service	Avoided-cost Based	Biogas	95% of LMP + 4-6	5 years	None	Tied to GPP
	Green Mountain Power	Fixed-price Incentive	Solar	6	Unspecified	250 kW	None
WA	Almost all (60+)	Fixed-price Incentive	Solar	15-54	Until 06/30/2014	N/A <sup>(iii)</sup>	N/A <sup>(iv)</sup>
			Wind	12-18	Until 06/30/2014	N/A <sup>(iii)</sup>	N/A <sup>(iv)</sup>
			Biogas	15	Until 06/30/2014	N/A <sup>(iii)</sup>	N/A <sup>(iv)</sup>
WI	Xcel Energy	Loosely Based on Cost of Generation	Wind	6.6	10 years	20 kW-1 MW	0.25% of retail sales
			Biomass/Biogas	7.3	10 years	20 kW-800 kW	
	WE Energies	Fixed-price Incentive	Solar	22.5	10 years	1.5 kW-100 kW	1 MW
			Avoided-cost Based	Biogas	4-15.5 (peak)	15 years	1 MW
Madison Gas & Electric	Fixed-price Incentive	Solar	25	10 years	1-10 kW	300 kW	

Fuente: (NREL, 2018)

## Anexo 7. Impactos de ERV en diversas escalas de tiempo y soluciones de flexibilidad relevantes



Fuente: (IRENA, 2018)