

UNIVERSIDAD CATÓLICA SANTO TORIBIO DE MOGROVEJO

FACULTAD DE INGENIERÍA

ESCUELA DE INGENIERÍA INDUSTRIAL



**PROPUESTA DE APROVECHAMIENTO ENERGÉTICO DE LA
CASCARILLA DE ARROZ PARA INCREMENTAR LA
RENTABILIDAD DEL MOLINO Y CÍA. SEMPER S. A. C.
UTILIZANDO EL SISTEMA DE GASIFICACIÓN**

TESIS PARA OPTAR EL TÍTULO DE INGENIERO INDUSTRIAL

AUTOR

EVER SALAZAR SANCHEZ

ASESORA

Ing. MARÍA LUISA ESPINOZA GARCÍA URRUTIA

Chiclayo, 2019

DEDICATORIA

Esta investigación está dedicada hacia mi familia, mi padre Ever, mi madre Ana y mi hermano Diego, quienes son aquellos que siempre están presentes en mi vida y me brindan su tiempo y apoyo.

AGRADECIMIENTOS

A Dios, a mi familia que está constantemente apoyándome y a la Ing. María Luisa Espinoza que me brindó la asesoría y me dio pautas necesarias para la realización de esta investigación.

RESUMEN

El Molino y Cía. Semper S. A. C. ha aumentado su producción conforme han pasado los años, debido al incremento progresivo de la demanda. Sin embargo, la empresa está teniendo problema con los altos costos energéticos, entre ellos el costo de energía hora punta que se encuentra en el horario de 18:00 a 23:00 horas y la tarifa de energía fuera de punta, la cual se encuentra entre las 23:00 a 18:00 horas. Debido a que el costo hora punta es mayor, el molino evita utilizar esta energía, lo que origina que, durante los meses de enero, febrero y marzo, la empresa no pila el periodo de 5 horas diarias, 24 días al mes, y en 3 meses aproximadamente de alta demanda, representando 360 horas de producción perdidas por año; si se pilan 63 sacos por hora y el costo de servicio de pilado es de S/. 6, se está perdiendo alrededor de S/. 136 080 como ingresos.

Esta investigación tiene como objetivo general proponer el aprovechamiento energético de la cascarilla de arroz para incrementar la rentabilidad del Molino y Cía. Semper S. A. C. utilizando el sistema de gasificación.

Para ello se diagnosticó que el molino consume en su máximo rendimiento 169 kW por hora y que la cascarilla de arroz puede atender plenamente la demanda energética. Luego se evaluó e identificó el gasificador de tipo downdraft como es el más idóneo para el aprovechamiento energético de la cascarilla de arroz.

Posteriormente se diseñó el sistema de gasificación y generación de electricidad, en la cual se obtuvo que 324 kg/h de cascarilla generan 245 kW por hora, y que se requiere un área de 633 m².

Finalmente se determinó que es conveniente realizar la inversión de la propuesta del aprovechamiento energético porque generó un VAN de S/ 2 172 489, mayor en S/ 404 000 comparado a la situación donde no se cuenta la propuesta. Además, se obtuvo un beneficio- costo de 1,53, un margen neto de utilidad de 0,38; un costo energético de S/ 1,45 por saco y un TIR de 32%, indicando que el proyecto es viable financieramente.

PALABRAS CLAVE: *Gasificación, energía eléctrica, cascarilla de arroz, costo energético, producción.*

ABSTRACT

The Mill and Company Semper S. A. C. has increased its production as the years have passed, due to the fact that the demand for piled rice has raised progressively. However, the company is having a problem with the high energy cost. Of which there are 2 types of electricity cost, you have the peak hour energy cost that is between the hours of 18:00 and 23:00 hours, and the not peak hour energy, which is between the 23:00 to 18:00 hours. Due to the peak hour cost is higher, the mill avoids using this energy. And during the months of high demand, which means January, February and March, the mill doesn't pill 5 hours a day, 24 days a month, and 3 months a year, which represents 360 hours less of production per year, if it produces 63 bags per hour and the cost of piled service is S /. 6, the mill is losing around S /. 136 080 of income per year.

This research has as general objective the rice husk energy use to increase the profitability of the Mill and Company Semper S. A. C. through the gasification system use. First at all, it was diagnosed the maximum energy consumption is 169 kW per hour. After, it was evaluated e identified the downdraft gasifier is the most suitable technology for energy use.

In the third objective, it was determined 324 kg/h of rice husk can generate 245 kW per hour and the area necessary for the gasification system is 633 m².

Finally, it was determined that it's convenient making the gasification system investment because it generated a VNA of S/. 2172 489, higher in S/ 404 000 compared to the situation where the proposal is not counted. In addition, a benefit cost of 1,53; a net profit margin of 0,38; an energy cost of S/ 1,45 per bag and a TIR of 32% were obtained, indicating that the project is financially viable.

KEYWORDS: *Gasification, electric energy, rice husk, energy cost, production.*

ÍNDICE

I.	INTRODUCCIÓN	14
II.	MARCO DE REFERENCIA DEL PROBLEMA.....	18
2.1.	ANTECEDENTES DEL PROBLEMA.....	18
2.2.	FUNDAMENTOS TEÓRICOS	21
2.2.1.	Agroindustria arrocerá.....	21
2.2.2.	Residuos agroindustriales orgánicos	22
2.2.3.	Sistema de aprovechamiento energético	27
2.2.5.	El proceso de gasificación.....	33
2.2.6.	Electricidad.....	47
2.2.7.	Cálculo de la rentabilidad.....	63
III.	RESULTADOS	69
3.1.	DIAGNÓSTICO DE SITUACIÓN ACTUAL DEL SISTEMA PRODUCTIVO DEL ARROZ Y EL CONSUMO ENERGÉTICO DEL MOLINO Y CÍA. SEMPER S. A. C... 69	
3.1.1.	La empresa	69
3.1.2.	Organigrama.....	69
3.1.3.	Descripción del sistema de producción	70
3.1.4.	Indicadores actuales de producción y rentabilidad	75
3.1.5.	Diagnóstico y consumo energético del sistema productivo	81
3.1.6.	Costo de kWh y costo energético por saco de arroz	86
3.1.7.	Pronóstico de la producción de arroz pilado, de cascarilla de arroz, del consumo y costo energético generado por el sistema productivo.....	88
3.2.	EVALUAR E IDENTIFICAR EL SISTEMA DE GASIFICACIÓN PARA EL APROVECHAMIENTO ENERGÉTICO DE LA CASCARILLA DE ARROZ	99
3.2.1.	Factores de evaluación	99
3.2.2.	Matriz de priorización	100
3.2.3.	Evaluación de las tecnologías de gasificación	111
3.2.4.	Elección de la tecnología de gasificación más idónea	119
3.3.	DISEÑO DEL SISTEMA DE GASIFICACIÓN QUE PERMITA EL APROVECHAMIENTO ENERGÉTICO DE LA CASCARILLA DE ARROZ	121
3.3.1.	Características fisicoquímicas de la cascarilla de arroz	122
3.3.2.	Proceso del sistema de gasificación y generación de electricidad	123

3.3.3.	Selección de equipos del sistema de gasificación y generación de electricidad	128
3.3.4.	Balance de masa y energía	131
3.3.5.	Conexión eléctrica para el funcionamiento del sistema productivo.....	158
3.3.6.	Operación y mantenimiento del sistema de gasificación y generación de electricidad	160
3.3.7.	Impacto ambiental generado por el sistema de gasificación y generación de electricidad	162
3.3.8.	Ubicación y distribución del área para el sistema de gasificación y generación de electricidad	165
3.4.	COSTO Y BENEFICIO DE LA PROPUESTA.....	173
3.4.1.	Costos del sistema de gasificación y generación de electricidad	173
3.4.2.	Determinación de costo y beneficio sin sistema de gasificación	176
3.4.3.	Determinación de costo y beneficio utilizando el sistema de gasificación	184
3.4.4.	Comparación de los indicadores de rentabilidad.....	200
IV.	CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES	202
4.1.	CONCLUSIONES	202
4.2.	RECOMENDACIONES	204
V.	REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS	205
VI.	ANEXOS.....	210

ÍNDICE DE TABLAS

Tabla 1. Comparación de poder calorífico entre	24
Tabla 2. Comparación de los sistemas de aprovechamiento energético aplicados al Molino de Arroz.....	30
Tabla 3. Características termoquímicas de los diferentes sistemas de aprovechamiento de energía	32
Tabla 4. Reacciones y fórmulas del proceso de gasificación de biomasa.....	37
Tabla 5. Características de los tipos de gasificadores	45
Tabla 6. Comparación de características básicas de distintos tipos de gasificadores	46
Tabla 7. Relación entre VAN y TIR	64
Tabla 8. Ficha técnica del arroz	71
Tabla 9. Parámetros de producción	75
Tabla 10. Ingresos del Molino y Cía. Semper S. A. C. del año 2017	76
Tabla 11. Costos de Mano de obra indirecta del año 2017	77
Tabla 12. Costos del sueldo administrativo del año 2017.....	77
Tabla 13. Gasto administrativo promedio mensual.....	77
Tabla 14. Gasto administrativo total del año 2017.....	78
Tabla 15. Gastos generales de fabricación del año 2017	78
Tabla 16. Costo total del año 2017.....	79
Tabla 17. Estado de ganancias y pérdidas del año 2017	79
Tabla 18. Flujo de caja del año 2017	80
Tabla 19. Diagnóstico energético del sistema productivo del Molino y Cía. Semper S. A. C.	82
Tabla 20. Consumo energético en kWh del año 2017.....	83
Tabla 21. Cantidad de sacos de pilado del año 2017	85
Tabla 22. Costos de la energía eléctrica utilizada en el año 2017.....	86
Tabla 23. Características del recibo de energía eléctrica	87
Tabla 24. Data histórica de la producción de arroz pilado.....	88
Tabla 25. Producción proyectada de arroz pilado	89
Tabla 26. Data histórica de la producción.....	90
Tabla 27. Producción proyectada de cascarilla de arroz	91
Tabla 28. Data histórica del consumo de energía eléctrica en kWh	92
Tabla 29. Demanda energética proyectada	93
Tabla 30. Data histórica del costo de consumo	93

Tabla 31. Costo energético proyectado	94
Tabla 32. Proyección de kWh generados con el aprovechamiento de cascarilla de arroz	95
Tabla 33. Ahorro proyectado de energía eléctrica en S/.	96
Tabla 34. Resumen de las variables pronosticadas	98
Tabla 35. Asignación de puntaje a los criterios	102
Tabla 36. Desarrollo de la matriz de ponderación	102
Tabla 37. Ponderación de los criterios	103
Tabla 38. Matriz para el criterio 1 “Disminución del costo energético”	104
Tabla 39. Matriz para el criterio 2 “Rapidez en la implementación”	106
Tabla 40. Matriz para el criterio 3 “Incremento de la producción”	108
Tabla 41. Asignación de puntaje a los criterios	109
Tabla 42. Multiplicación de los valores porcentuales de cada criterio por las puntuaciones de los factores.....	110
Tabla 43. Sumatoria de la puntuación de cada factor	111
Tabla 44. Matriz de valoración porcentual de los factores para la elección de la tecnología de gasificación más idónea	111
Tabla 45. Escala de puntuación.....	112
Tabla 46. Caracterización del gasificador de corriente ascendente	113
Tabla 47. Caracterización del gasificador de corriente descendente	114
Tabla 48. Caracterización del gasificador de corriente cruzada.....	115
Tabla 49. Caracterización del gasificador lecho fluidizado burbujeante	116
Tabla 50. Caracterización del gasificador lecho fluidizado circulante	117
Tabla 51. Calificación de los tipos de tecnología de gasificación	118
Tabla 52. Elección de la tecnología de gasificación más idónea	120
Tabla 53. Análisis elemental de la cascarilla de arroz en base seca.....	122
Tabla 54. Variables de proceso nominales.....	128
Tabla 55. Equipos principales	129
Tabla 56. Equipos secundarios.....	130
Tabla 57. Determinación del caudal y potencia de la cascarilla de arroz	133
Tabla 58. Determinación del flujo de aire y flujo de syngas obtenido.....	133
Tabla 59. Balance de energía en el gasificador	135
Tabla 60. Determinación del caudal y potencia de las cenizas	138
Tabla 61. Determinación del rendimiento de la gasificación.....	139
Tabla 62. Composición del gas de síntesis.....	139

Tabla 63. Balance de masa en el ciclón	142
Tabla 64. Potencia del aire en el intercambiador de energía.....	144
Tabla 65. Balance de energía de aire y gas en el intercambiador de energía.....	145
Tabla 66. Balance de masa en el lavador venturi de gases	148
Tabla 67. Potencia del agua en el lavador Venturi.....	149
Tabla 68. Balance de energía en el lavador de gases	150
Tabla 69. Balance de materia en el filtro de mangas	152
Tabla 70. Balance de energía en el filtro de mangas.....	153
Tabla 71. Flujo másico y potencia de aire en el motogenerador.....	154
Tabla 72. Balance de masa en el motogenerador	155
Tabla 73. Balance de energía en el motogenerador	156
Tabla 74. Características eléctricas principales del tablero de distribución eléctrica	160
Tabla 75. Plan de mantenimiento del sistema de gasificación	161
Tabla 76. Impactos ambientales causados por el sistema de gasificación y generación de electricidad	163
Tabla 77. Ecuaciones utilizadas para la distribución	166
Tabla 78. Determinación de la distribución de área para el sistema de gasificación y generación de electricidad	167
Tabla 79. Costos de Sistema de Gasificación y generación de electricidad	174
Tabla 80. Costo de infraestructura adicional.....	174
Tabla 81. Costo de recursos humanos requeridos por la propuesta	175
Tabla 82. Costo de recursos materiales	175
Tabla 83. Costo total de la propuesta	176
Tabla 84. Plan de ventas.....	176
Tabla 85. Costo de mano de obra indirecta.....	177
Tabla 86. Costo de sueldos administrativos	177
Tabla 87. Gastos administrativos promedio mensual.....	177
Tabla 88. Gastos administrativos	179
Tabla 89. Gastos generales de fabricación	179
Tabla 90. Costo total	180
Tabla 91. Estado de ganancias y pérdidas.....	180
Tabla 92. Determinación del TMAR.....	181
Tabla 93. Determinación del flujo de caja	183
Tabla 94. Determinación de la demanda adicional que	185

Tabla 95. Pronóstico de la producción de sacos de arroz pilado.....	185
Tabla 96. Plan de ventas.....	185
Tabla 97. Inversión requerida.....	186
Tabla 98. Depreciación de los bienes tangibles	187
Tabla 99. Sueldos administrativos	187
Tabla 100. Gastos administrativos	189
Tabla 101. Mano de obra indirecta.....	189
Tabla 102. Gastos financieros	190
Tabla 103. Gastos generales de fabricación	191
Tabla 104. Costo Total	191
Tabla 105. Determinación del punto de equilibrio.....	193
Tabla 106. Estado de ganancias y pérdidas.....	193
Tabla 107. Cuentas por cobrar	195
Tabla 108. Cuentas por pagar.....	195
Tabla 109. Tasa aceptada de rendimiento	196
Tabla 110. Capital de trabajo	197
Tabla 111. Capital de trabajo del Primer año.....	197
Tabla 112. Flujo de caja	199
Tabla 113. Comparación de indicadores de rentabilidad	200
Tabla 114. Comparación de beneficio costo	201

ÍNDICE DE FIGURAS

Figura 1. Rendimiento promedio de la molienda de arroz	22
Figura 2. Sistema de combustión directa para generar electricidad	25
Figura 3. Gasificador de corriente descendente	39
Figura 4. Gasificador de corriente ascendente	40
Figura 5. Gasificador de corriente cruzada	41
Figura 6. Gasificador de lecho fluidizado	43
Figura 7. Gasificador de flujo arrastrado	44
Figura 8. Capacidad de potencia de los gasificadores.....	47
Figura 9. Operación básica de un generador de corriente continua	55
Figura 10. Operación básica de un generador de corriente continua	56
Figura 11. Forma de onda de voltaje de corriente alterna.....	57
Figura 12. Forma de onda de voltaje de corriente alterna.....	57
Figura 13. Dos ciclos de voltaje alterno generado por la espira giratoria.....	58
Figura 14. Ciclo de corriente alterna.....	59
Figura 15. Ciclo de corriente alterna.....	60
Figura 16. Ciclo de corriente alterna.....	60
Figura 17. Tres ondas senoidales de voltaje.....	61
Figura 18. Los tres fasores y sus voltajes	62
Figura 19. Conexión en estrella (Y) y delta (Δ)	62
Figura 20. Organigrama de Molino y Cía. Semper S. A. C	69
Figura 21. Diagrama de bloques del proceso de pilado de arroz	74
Figura 22. Proyección de la producción de arroz pilado de 2018-2025.....	89
Figura 23. Proyección de la producción de cascarilla de arroz de 2018-2025.....	91
Figura 24. Proyección del consumo de electricidad de en kWh 2018-2025	92
Figura 25. Proyección del costo de energía eléctrica de 2018-2025	94
Figura 26. Brecha entre la proyección de kWh requeridos y la producción de kWh a partir de la cascarilla de arroz.....	96
Figura 27. Comparación de la producción de arroz pilado y cascarilla con el consumo de kWh y costo energético.....	97
Figura 28. Input y output del proceso de gasificación y generación de electricidad	121
Figura 29. Proceso del sistema de gasificación y generación de electricidad.....	123
Figura 30. Esquema del sistema de gasificación y de generación de electricidad	126

Figura 31. Balance de masa y energía del proceso de gasificación	140
Figura 32. Balance de masa y energía del proceso de separación de partículas	142
Figura 33. Balance de masa y energía del proceso de intercambio de calor	145
Figura 34. Balance de masa y energía del proceso de lavado	151
Figura 35. Balance de masa y energía del proceso de filtrado	153
Figura 36. Balance de masa y energía del proceso de transformación a energía eléctrica	156
Figura 37. Balance de masa del sistema de gasificación y generación de electricidad.....	157
Figura 38. Balance de energía del sistema de gasificación y generación de electricidad	158
Figura 39. Distribución inicial de las áreas del Molino Semper S. A. C.	169
Figura 40. Distribución de las áreas del Molino Semper S. A. C. con el sistema de gasificación y generación de electricidad	170
Figura 41. Distribución del sistema gasificación y generación de electricidad	171
Figura 42. Esquema del sistema gasificación y generación de electricidad.....	172

I. INTRODUCCIÓN

El crecimiento de la población peruana ha justificado el aumento de producción de arroz pilado debido a las siguientes cifras: en 2001 el consumo per cápita anual era de 45 kg, y en el año de 2017 aumentó a un promedio 54 kg [1]. Esto conlleva a la conclusión de que no solamente ha incrementado la población, sino que también el consumo de arroz.

En la Costa Norte están instalados el mayor número de molinos y en los últimos años se ha modernizado tanto la infraestructura como la maquinaria mejorando el proceso llegando hasta sistemas de selección electrónica. Según información de la Dirección de Políticas Agrarias del MINAGRI (2017), en Lambayeque existen 98 molinos constituyéndose como la segunda región con mayor cantidad de molinos, después de Piura con 108 molinos. Significa que Lambayeque contiene el 15,4 % del total de molinos del país, los cuales son 636.

Por lo tanto, la competitividad aumenta cada vez más, provocando a los molineros la obtención de nuevas líneas de producción más eficientes y así también la venta de subproductos y residuos. Pues los costos de producción deben ser cada vez menores para que la empresa pueda obtener utilidades y hacer frente a la competencia. Es así que el costo de energía es un costo clave al considerar la reducción de costos del proceso de producción. Sin energía nada podría funcionar en la empresa, la energía eléctrica es un costo indirecto de fabricación, fundamental para la producción y también a muy alto costo para las industrias. Detener el consumo de este tipo de energía solo podría darse cuando se tiene la materia prima correcta, el sistema de aprovechamiento de energía y el método adecuado para generarla. Es así que la retroalimentación energética en una industria es una ventaja competitiva, reduce costos de producción y energía, y brinda la capacidad de producir más a mejor costo, permitiendo ganar a la empresa una mayor posición del mercado. Además, genera incremento de eficiencia económica y rentabilidad, al igual que las utilidades.

Esta investigación se realizó en la empresa Molinos & Cía. Semper S. A. C., la cual está registrada con domicilio legal, carretera Lambayeque km 777, tiene la necesidad de reducir costos y aumentar su producción para incrementar sus utilidades y su rentabilidad con el fin de crecer continuamente. Como solución a este problema se propone el aprovechamiento energético de la cascarilla de arroz para incrementar la rentabilidad del molino utilizando el sistema de gasificación.

Como residuo del proceso de pilado de arroz se obtiene la cascarilla de arroz, la cual posee una característica importante para ser tratada como combustible, y es que su baja humedad la caracteriza como un combustible potencial. En la mayoría de casos el molino vende a un bajo costo la cascarilla de arroz para plantas avícolas y otros usos.

En 1995, Vargas [2] señala que la cascarilla de arroz tiene un porcentaje en peso de 22% del grano de arroz en cáscara, la cual afecta directamente el indicador de eficiencia del proceso de pilado. Por ello el aprovechamiento de la cascarilla significa una optimización del proceso de producción y un mejor beneficio económico para la empresa. Tomando en cuenta la referencia de Vargas se halló que para el año 2017, la producción de cascarilla de arroz fue de 3 694 146 kg.

En 2014. Nam y Ha-Doung [3] señalaron que la tasa de conversión de la cascarilla de arroz a electricidad es de 1,6- 1,8 kg de cascarilla por 1 kilovatio-hora (kW-h). Este indicador se determinó en una planta de producción de gas de síntesis usando el gasificador downdraft para la transformación de la cascarilla de arroz en Camboya.

Molino y Cía Semper S. A. C. quien enciende su maquinaria desde las 7:00 hasta las 18:00 horas, usualmente funciona por 11 horas y durante el año 2017 ha consumido la cantidad de 471 744 kWh. Aplicando el sistema de aprovechamiento de energía basado en la tasa de conversión de Nam y Ha-Doung [3], es decir, considerando el indicador de 1,8 kg de cascarilla por 1 kilovatio-hora (kWh) en relación con la cantidad de 3 694 146 kg de cascarilla que se produjo en el año 2017 se hubiera generado 2 052 303 kWh, lo cual hubiera significado un incremento de 335 % de kWh producidos respecto a la cantidad que demandó la empresa. Con esta ventaja identificada se puede atender la demanda energética del molino sin ningún problema, además de producir más a menor costo e incrementar la rentabilidad del molino.

El costo de energía eléctrica que pagó la empresa para el año 2017 fue de S/. 192 581, el cual es un alto costo que limita la capacidad de producción del molino, otro factor que limita la capacidad de procesar más sacos de arroz pilado es el horario de consumo. Existen dos tipos de costos: La energía activa hora punta (HP) que tiene un horario desde las 18:00 hasta las 23:00 y la energía activa fuera de punta (FP) que se trabaja desde las 23:01 hasta las 17:59 horas. El molino usualmente trabaja desde las 7:00 hasta las 18:00 horas para evitar consumir la energía activa hora punta, la cual es más costosa que la energía fuera de punta. Según la media de los

costos de energía eléctrica del molino en el año 2017 se determinó que la empresa paga S/. 0,495 por kWh.

El alto costo de la energía hora punta (HP) detiene la producción de arroz pilado durante 360 horas anuales. La empresa tiene una alta demanda de 3 meses durante el año, donde se requiere pilar las 24 horas por día, pero debido al alto costo que representa el horario de las 18:00 a 23:00 horas, el molino deja de funcionar en estas 5 horas por 24 días/mes y por el periodo de 3 meses, las cuales generan pérdidas en utilidad neta y 360 horas menos de producción. Además, si la capacidad de producción es de 63 sacos /hora, estas 360 horas perdidas representan 22 680 sacos de arroz pilado menos para el molino, cantidad que, multiplicada por el costo de servicio de pilado, el cual es de S/6/ saco, genera pérdidas por ingresos económicos de S/. 136 080 por año. Adicionalmente, esto crea demanda insatisfecha, lo cual brinda la oportunidad a la competencia de aumentar su posición del mercado, sin embargo, esta cuestión puede transformarse en una oportunidad para la empresa, la de hacerse una introspección y obtener la materia necesaria para pasar a través de este inconveniente. Y es que la cascarilla de arroz generada durante el proceso de pilado es el recurso que podría sostener la producción y atender más de las 360 horas de producción pérdidas. La cascarilla de arroz a través del proceso de gasificación, se transforma en un gas de síntesis o llamado también syngas, el cual será el combustible principal del generador eléctrico, que lo utilizará para la obtención de energía eléctrica y que energizará toda la línea de producción. La gasificación es el proceso termoquímico mediante el cual la cascarilla puede transformarse en syngas, con ayuda de un agente gasificante, y podría permitir el incremento tanto de la producción como de la rentabilidad.

Para el año 2017 el beneficio costo del molino fue de 2,1. Teóricamente esta investigación, permitirá incrementar este indicador y asimismo mejorar la producción.

Por lo tanto el problema radica en lo siguiente:¿ En qué medida el aprovechamiento energético de la cascarilla de arroz incrementará la rentabilidad del Molino y Cía. Semper S. A. C. utilizando el sistema de gasificación?; para responder esta pregunta se planteó como objetivo principal: Proponer el aprovechamiento energético de la cascarilla de arroz para incrementar la rentabilidad del Molino y Cía. Semper S. A. C. utilizando el sistema de gasificación, para llevar a cabo esta investigación se diagnosticó la situación actual del proceso productivo del arroz y el consumo energético de la empresa, se evaluó e identificó el sistema de gasificación para el aprovechamiento energético de la cascarilla, luego se diseñó el sistema de gasificación que

permita el aprovechamiento energético de la cascarilla de arroz y por último se realizó un análisis de costo- beneficio de la propuesta para conocer la nueva rentabilidad que se puede generar a través del aprovechamiento energético de la cascarilla utilizando el sistema de gasificación.

Con esta investigación se pretende demostrar la relevancia de la ciencia y tecnología en la valorización energética de residuos, los cuales, manejados correctamente pueden introducir cambios positivos y generar resultados que favorezcan el beneficio económico de una empresa. Para ello, se demuestra la importancia del sistema de gasificación, como el principal responsable de la conversión de cascarilla de arroz en gas de síntesis y que la utilización de este sistema implica el empleo adecuado de las variables de proceso y, la elección del agente gasificante más idóneo que permita la mayor producción de gas de síntesis y un alto rendimiento de este.

II. MARCO DE REFERENCIA DEL PROBLEMA

2.1. ANTECEDENTES DEL PROBLEMA

En 2017, Murugan y Sekhar [4] en su investigación "*Modelo de transporte CFD para la gasificación de la cascarilla de arroz usando gasificador de corriente descendente*". Sostienen que la biomasa como fuente de energía está creciendo a nivel mundial debido a la contaminación ambiental y la escasez de combustibles fósiles. El proceso de conversión de la biomasa en energía útil se conoce como gasificación, donde se han propuesto varios modelos para explicar los parámetros geométricos y la optimización de este proceso. Por lo tanto, se presenta la simulación numérica del gasificador utilizando el modelo de transporte CFD (Dinámica computacional de fluidos) e incorporando todas las zonas del gasificador, con el fin de obtener resultados más precisos. Estos estudios experimentales se realizan en un gasificador de corriente descendente (downdraft) de 40 kW con cascarilla de arroz proveniente del sur de la India. Los resultados obtenidos respecto al gas productor establecen que el poder calorífico superior y la composición son de 5,19 MJ /N.m³ con CO-22%; CH₄-1,7%; CO₂-8%; H₂-13% y N₂-40,1% respectivamente. Además, se predice que las temperaturas de la zona son máximas cuando ER (relación de moles de vapor de agua y moles de combustible) es 0,30. Estos datos son fundamentales y pueden ser referentes para realizar el balance de materia y energía del proceso de gasificación.

En 2019, Susastriawan, Saptoadi y Purnomo [5] en su investigación "*Comparación del rendimiento de gasificación en un gasificador de lecho fijo descendente alimentado por diferentes materias primas: cascarilla de arroz, aserrín y su mezcla*". Los autores sostienen que utilizando en la mezcla (1:1 en masa) y la ER (relación de moles de aire y moles de combustible) en la cascarilla de arroz, aserrín y su mezcla las siguientes proporciones, es decir, 0,15; 0,20 y 0,25. El gasificador downdraft es compatible con la cascarilla de arroz, aserrín y su mezcla teniendo como resultado que la ER óptima para la gasificación de estas materias primas han de ser 0,20; 0,20 y 0,15 respectivamente. Los valores de bajo poder calorífico son de 3,13; 2,69 y 0,35 MJ/Nm³ para la cascarilla de arroz, el aserrín y la mezcla. Mientras tanto, las eficiencias de gas frío son de 72,73 %, 69,27% y 82,08% correspondientemente. Estos indicadores servirán como referencia para comparar el balance de materia y energía, así como la ER que puede definir la cantidad de aire que será requerido para el sistema de gasificación.

En 2019, Makwana P. y Pandey J. [6] en su investigación “*Mejora de las propiedades del gas productor mediante la gasificación a alta temperatura de la cascarilla de arroz en un gasificador de lecho fluidizado a escala piloto*”. Señalan que la gasificación es una ruta de conversión termoquímica bien estudiada para la generación de gas productor, un portador de energía renovable, para aplicaciones térmicas y eléctricas como también, para la producción de biocombustible. La alta eficiencia energética y el combustible limpio con bajo contenido de alquitrán y partículas suspendidas son algunos de los principales desafíos de la gasificación de la biomasa. Por ello se realizó la gasificación no catalítica a alta temperatura (720-855 °C) de la cascarilla de arroz haciendo uso del gasificador de lecho fluidizado, dando como resultado, un gas productor que contiene principalmente CO y H₂ y un poder calorífico superior de 3,6 MJ/Nm³ y un poder calorífico inferior de 3,2 MJ/Nm³. La temperatura de 790 °C es la óptima para la gasificación de la cascarilla de arroz con alta eficiencia de conversión de carbono (91,6%), eficiencia térmica (75%) y alto rendimiento de gas de 2,7 m³/kg. Asimismo, la gasificación a esta temperatura disminuyó el contenido de alquitrán y partículas suspendidas (0,33 g/Nm³). Estos indicadores apoyan el aprovechamiento energético de la cascarilla de arroz usando el sistema de gasificación y serán útiles para identificar y elegir el tipo de tecnología de gasificación más idónea.

En 2014, Ramírez y Martínez [7] en su investigación “*Análisis del rendimiento de un gasificador piloto de lecho fluidizado de aire soplado para cascarilla de arroz*”. Con el fin de contribuir a la recuperación de residuos agrícolas de manera sostenible en Colombia, se evaluó un reactor de lecho fluidizado burbujeante atmosférico alimentado con cáscara de arroz (con una capacidad nominal de 150 kW) en condiciones de gasificación. El poder calorífico inferior, el rendimiento de gas volumétrico, la potencia de gas y la eficiencia de gasificación en frío fueron las variables de salida, donde se obtuvieron condiciones óptimas con respecto al poder calorífico inferior (3,78 MJ / Nm³) y la potencia de gas (73,82 kW) a ER (relación de moles de aire y moles de combustible) de 0,24. Sin embargo, la altura del lecho fijo inicial de inertes requiere que sea más alta para aumentar las condiciones de transferencia de masa y energía y, por lo tanto, la conversión de carbono. Los resultados se consideran como una base para el diseño de unidades de generación de energía descentralizada a pequeña escala utilizando cáscara de arroz como materia prima. Además, esta investigación permite conocer y comparar la energía producida con otros trabajos y permitirá la identificación y selección de la tecnología de gasificación más idónea para el aprovechamiento energético de la cascarilla de arroz.

En 2017, Toklu [8] en su investigación “*Potencial de la energía de la biomasa y su utilización in Turquía*”. Señala que la biomasa es la fuente de energía renovable más utilizada en el mundo de hoy, se utiliza sobre todo en forma sólida y, en menor medida, en forma de combustibles líquidos y gas. La utilización de biomasa para la producción de energía ha aumentado en sólo una modesta tasa en los tiempos modernos y ahora es la principal fuente de energía en la Turquía rural. La biomasa se utiliza para satisfacer una variedad de necesidades de energía, incluyendo la generación de electricidad, calefacción de casas, alimentación de vehículos y proporciona calor de proceso y energía eléctrica para instalaciones industriales. Los potenciales de la biomasa incluyen residuos de madera, animales y vegetales, entre las fuentes de energía de biomasa, la leña parece ser la más interesante, porque, su participación en la producción total de energía de Turquía es superior al 14%. El potencial energético de la biomasa total de Turquía es de unos 33 Mtoe (millones de toneladas equivalentes de petróleo), pero la cantidad de potencial de biomasa aprovechable de Turquía es de aproximadamente 17 Mtoe. El potencial de producción eléctrica a partir de fuentes de bioenergía aprovechable fue de 73 MW en 2010, buenos ingresos corporativos y representan más de 280 000 puestos de trabajo. Este estudio muestra que hay un importante potencial energético de biomasa para la mitigación del cambio climático y la sostenibilidad energética en Turquía. Este antecedente sostiene el presente trabajo de investigación a través de la manifestación de que la utilización de biomasa como fuente energética, permite la obtención de energía eléctrica en instalaciones industriales, generando puestos de trabajo, ingresos y mitigación del cambio climático, y podría desarrollar sostenibilidad energética.

2.2. FUNDAMENTOS TEÓRICOS

2.2.1. Agroindustria arrocerá

La agroindustria arrocerá tiene como propósito transformar el arroz paddy o arroz cáscara en el arroz blanco y otros subproductos que sean efectivos para el consumo y uso. El arroz paddy por lo general llega al molino en un porcentaje alto de humedad, ya que proviene de diversos lugares de la nación peruana y es afectada por varios factores, entre ellos las lluvias. La humedad del arroz al inicio del proceso tiene un promedio de 25 % [9]. Por lo que se necesita una operación de secado para obtener una humedad de 13% a fin de continuar con el resto de proceso de pilado y así obtener un arroz de calidad. Previo a esto se debe pesar para verificar el peso del arroz paddy que ingresará al proceso. Luego del secado el arroz paddy pasa a la operación de descascarado, del cual se obtiene como residuo la cascarilla de arroz o también conocida como pajilla, la cual representa el 22% en peso del grano de arroz en bruto.

Continuando con el proceso, siguen las etapas de pulido I y II, de las cuales se obtiene el polvillo y se comercializa como insumo para alimento balanceado de animales. Realizado el pulido, el arroz liso se clasifica dentro de una mesa rotatoria y se separa el arroz del arrocillo de $\frac{1}{2}$ y $\frac{3}{4}$, las cuales serán empacadas para su posterior venta. Después el arroz entero pasa a la etapa de selección, la cual se lleva a cabo en una máquina selectora que separa los granos de arroz con mayor cantidad de quebrado y tizado. Estos granos regresan a la etapa de clasificación para luego ser envasados junto con el arrocillo. Finalmente, el arroz seleccionado pasa por la etapa de abrillantado, el cual tiene como input a la mezcla del achote y el aceite, esto se hace con el fin de que el grano gane la tonalidad cremosa y amarillenta, la cual es preferida por los clientes. Y posterior a esto se envasa en sacos de 50 kg para su almacenamiento dentro de planta.

Como bien se sabe el arroz blanco y los subproductos se comercializan para generar ingresos económicos. Pero notablemente el residuo, la cascarilla de arroz se produce en abundancia, y frecuentemente se vende hacia otras industrias que la utilizan como insumo, pero se vende a un precio bajo. Y esto no es muy lucrativo para la empresa. Ya que aparte de venderse a bajo costo, reduce la eficiencia del proceso en un 22%. Por lo cual, se debería darle un mejor uso a este residuo. A continuación, se detalla factores que reducen la eficiencia según Vargas.



Figura 1. Rendimiento promedio de la molienda de arroz

Fuente: Vargas (1995)

2.2.2. Residuos agroindustriales orgánicos

2.2.2.1. Biomasa

El concepto de biomasa ha sido definido de diferentes formas. A continuación, se exponen algunas:

- La Real academia española define biomasa como materia orgánica originada en un proceso biológico, espontáneo o provocado, utilizable como fuente de energía.
- En 2005, Elías [10] definió biomasa residual a los subproductos derivados de las actividades agrícolas, ganaderas y forestales. También se incluyen en este grupo los materiales biodegradables como los afluentes ganaderos o los fangos de las depuradoras.
- En 2012, la Empresa provincial de energía de Córdoba, Argentina (EPEC) [11] definió biomasa como bioenergía o biocombustibles, la cual es la fracción biodegradable de los productos y residuos de la agricultura, la forestación y sus industrias asociadas. También se incluye la fracción orgánica de los desperdicios municipales e industriales. Biomasa tiene carácter de energía renovable ya que su contenido energético procede, en última instancia, de la energía solar fijada por los vegetales en el proceso fotosintético. Esta

materia orgánica es renovable cuando se produce a la misma velocidad de consumo, evitando la sobreexplotación de los recursos naturales.

Según lo mencionado, la biomasa es una fuente de energía renovable que puede sustituir el uso de combustibles fósiles, causantes de la producción de gases de efecto invernadero. Asimismo, los componentes que conforman la biomasa provienen de industrias relacionadas a la agricultura, ganadería, forestación y cualquier actividad que haga uso de materias biodegradables. La biomasa garantiza ser una energía renovable porque sus componentes que la constituyen han recibido energía solar en un determinado tiempo durante la fotosíntesis y porque se puede producir luego de haber sido utilizada.

2.2.2.2. Características energéticas de la cascarilla de arroz

La cascarilla de arroz, el mayor residuo de la industria del molino de arroz es uno de los más comunes materiales lignocelulósicos disponibles que puede ser transformado a diferentes tipos de combustibles y materias primas a través de una variedad de procesos de conversión térmica. Para tener una mejor noción de lo valioso y económico que puede resultar el uso de la cascarilla de arroz como fuente de energía, se hace una comparación en la siguiente tabla sobre el poder calorífico entre la cascarilla de arroz y otros combustibles convencionales.

El poder calorífico inferior (PCI) de la cascarilla de arroz permite obtener un promedio de 14 000 kJ/kg, el PCI del diesel es de 42 700 kJ/kg, el de gas natural es de 37 271 kJ/kg y de la gasolina es de 43 550 kJ/kg. Es decir, por cada tres kilogramos que no se aprovechan de biomasa, se desperdicia el equivalente de un kilogramo de gasolina.

El Instituto de Ciencia y Tecnología de los alimentos de la Universidad Austral de Chile [12] estableció la siguiente tabla en base a los combustibles y sus poderes caloríficos para demostrar la comparación entre el PCI del diesel y el de la cascarilla de arroz.

Tabla 1. Comparación de poder calorífico entre la cascarilla de arroz y los combustibles

Combustibles	Poder calorífico inferior (kJ/kg)
Diesel	42 700
Gas natural	37 271
Gasolina	43 550
Kerosene	43 340
Cascarilla de arroz (base seca)	14 330
Cascarilla de arroz (muestra simple)	13 320

Fuente: Universidad Austral de Chile

2.2.2.3. Aplicaciones energéticas de los residuos

Los residuos y subproductos pueden brindar una fuente de energía razonable para utilizarla en diferentes procesos y generarla de diferentes formas, entre ellas:

- **Generación de energía térmica:** son sistemas de combustión directa de la biomasa sólida. Se utilizan para dar calor, para producir vapor a la industria, sistemas de calefacción y para la generación de energía eléctrica. También se puede obtener mediante la cogeneración, la cual brinda energía térmica y eléctrica simultáneamente.
- **Generación de energía eléctrica:** la biomasa es usada para calefacción, generación de energía eléctrica y la combinación de calor y energía. La biomasa puede ser convertida en energía eléctrica a través de varios métodos. El más común es la combustión directa de la biomasa sólida, como un desperdicio agrícola o materiales leñosos. Otras opiniones incluyen gasificación y digestión anaeróbica. La gasificación produce un gas de síntesis con un contenido de energía utilizable calentando la biomasa con menos oxígeno de lo necesario para una combustión directa completa. La digestión anaeróbica produce un gas natural renovable cuando la materia orgánica es descompuesta por bacterias en ausencia de oxígeno. Diferentes métodos de trabajo apuestan por diferentes tipos de biomasa. Típicamente, la biomasa leñosa como astillas de madera, restos y aserrín son quemados o gasificados para generar electricidad.

La harina de maíz y residuos pajosos de trigo, así como del arroz cáscara son empacados para su combustión o convertidos en un gas usando digestores anaeróbicos. Desperdicios físicos producidos por los animales y humanos, son transformados en un gas de contenido de energía media en un digestor anaeróbico, la cual a través de un motor de combustión interna se transforma el gas a energía eléctrica. La mayoría de la planta de bio-energía usan sistemas de combustión directa. Queman biomasa directamente para producir vapor a alta presión que impulse un generador de turbina para hacer electricidad. En algunas industrias de biomasa, el vapor extraído o gastado de la planta de energía es también usada para procesos de manufactura o para calentar edificios. Este sistema combinado de calor y energía (CHP) incrementa considerablemente la eficiencia hasta aproximadamente 80%, de los sistemas únicos de electricidad de biomasa estándar con eficiencias alrededor de 20%. A continuación, se muestra un ejemplo de los diferentes sistemas sobre cómo generar energía eléctrica a partir de la biomasa.

La figura muestra un sistema de combustión directa, donde la biomasa es quemada en una caldera para generar gas caliente, la cual es alimentada para generar vapor, que es expandido a través de una turbina de vapor o máquina de vapor para producir energía mecánica o eléctrica.

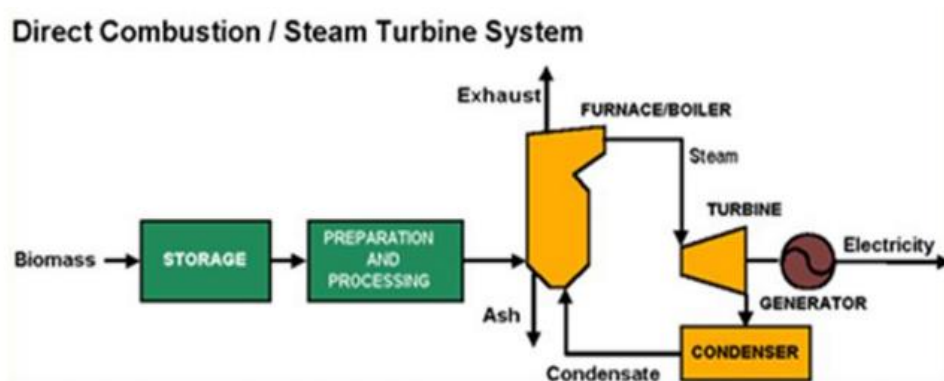


Figura 2. Sistema de combustión directa para generar electricidad

- Generación de energía mecánica: Biocombustibles como el bioetanol y aceites provenientes de la biomasa pueden generar energía cinética y potencial, utilizando estos en motores de autos, camiones, lanchas, o en motores industriales, lo cual ayuda a evitar el coste alto de los combustibles fósiles.

2.2.2.4. Ventajas del uso de los residuos orgánicos

La mayor parte de los residuos orgánicos tienen un enorme potencial energético que se debe aprovechar para reducir costos energéticos y hacer más rentable a una empresa.

En 2010, Abdeen [13] señaló que un mal aprovechamiento de biomasa puede generar ineficiencia en el proceso, pérdidas económicas y problemas de salud humana. Por ello Abdeen señala que “Briquetting” es una forma de aumentar la eficiencia a los procesos de aprovechamiento, tal como se hace en Sudán. Briquear significa convertir los residuos orgánicos sólidos a formas útiles, especialmente a briquetas sólidas y gas combustible. Briquetting es la formación de una fuente sólida de combustible de energía densa de los residuos forestales y agrícolas desperdiciados de otra forma. La formación de la briqueta permite un mayor combustible denso de energía a ser entregado, reduciendo así los costos de transporte y haciendo el recurso más competitivo.

En 2007, Bretaña [14] señala que la biomasa puede considerarse un biocombustible neutro frente a las emisiones de CO₂, pues su producción en la combustión se compensa con la fijación de este en el crecimiento vegetal.

También añade uniformidad, lo cual hace un combustible más compatible con sistemas que son sensibles a la entrada específica de combustibles. El uso de biomasa presenta las siguientes ventajas:

- Reduce las emisiones de gases de efecto invernadero.
- Mejora la eficiencia del uso de energía y procedimientos operativos.
- Simplifica la emisión óxidos de azufre y óxidos de nitrógeno y evita la emisión de metales pesados e hidrocarburos.
- Conserva y en algunos casos la recupera los recursos naturales.
- Reduce costos de energía de la compañía que lo disponga.
- Reduce la dependencia del uso de combustibles fósiles
- Contiene baja cantidad de cenizas, escorias y azufre.

2.2.3. Sistema de aprovechamiento energético

Los tipos de sistema de aprovechamiento energético son los siguientes:

2.2.3.1. Sistema basado en la combustión

En 2017, Hupa et al. [15] señalaron que los combustibles de biomasa difieren en muchas maneras respecto a los combustibles convencionales usados en procesos de combustión, como el carbón. Los combustibles de biomasa tienen alto contenido de humedad, menores valores caloríficos y una variedad de menos componentes, como el cloro, azufre, fósforo, nitrógeno y una variedad de metales que forman cenizas. Estas especiales propiedades de los combustibles de biomasa causan varios cambios, pero en muchos casos también proporciona ventajas para su uso en los procesos de combustión. Asimismo, las ventajas de la comprensión de los detalles químicos de la combustión de la biomasa han contribuido enormemente al desarrollo de tecnologías de calderas más confiables y eficientes.

2.2.3.2. Sistema basado en la gasificación

En 2013, Couto et al. [16] señalaron que el interés en la tecnología de la gasificación ha demostrado una serie de altibajos desde su primera aparición. El interés de la investigación de la gasificación se correlaciona estrechamente con el costo relativo y la disponibilidad de combustibles fósiles líquidos y gaseosos. La gasificación es un proceso de conversión termoquímica versátil que produce una mezcla de gases de H_2 , CO y CH_4 , siendo las proporciones determinadas por el uso de aire, oxígeno o vapor como oxidante, con una gama de valores de calor, poder calorífico inferior ($4-6 \text{ MJ} / \text{Nm}^3$), poder calorífico medio ($12-18 \text{ MJ} / \text{Nm}^3$) y poder calorífico alto ($40 \text{ MJ} / \text{Nm}^3$). Se ha desarrollado una variedad de gasificadores de biomasa. La diferenciación se basa en los medios de soportar la biomasa en el recipiente del reactor, la dirección de flujo tanto de la biomasa como del oxidante, y la forma en que se suministra calor al reactor. Los gases formados por gasificación están contaminados por algunos componentes tales como partículas, metales alcalinos, componentes de nitrógeno, alquitranes, sulfuros y cloruros. El nivel de contaminación varía, dependiendo del proceso de gasificación y de la materia prima. La limpieza del gas debe ser aplicada para prevenir la erosión, la corrosión y los problemas ambientales en el equipo aguas abajo. Este estudio muestra que existen discrepancias en los valores dados por varios autores. Esto pone de manifiesto la fuerte dependencia de la composición final de síntesis de las condiciones de biomasa, el tipo de

gasificador y la presión y temperatura del proceso. Así, para realizar estudios precisos sobre el uso del gas de síntesis, será necesario considerar que su composición será muy constante.

2.2.3.3. Sistema basado en digestión anaeróbica

En 2017, Xu [17] señaló que debido a la reducción de combustibles fósiles y producción de una gran cantidad de residuos orgánicos se han convertido en dos desafíos críticos de la moderna sociedad. La digestión anaeróbica es una biotecnología prometedora, la cual es usada para extraer la energía renovable de la biomasa y desperdicios orgánicos, generando biogás y un residuo rico en nitrógeno, fósforo y micronutrientes que pueden ser usados como una mejora del suelo o valorizada para producir otros productos de valor agregado.

2.2.3.4. Sistema basado en la pirolisis

En 2017, Ozsín et al. [18] señalaron que la pirolización de cáscaras de castañas, huesos de cerezos y semillas de uvas atribuyen reacciones complejas y paralelas que dan como resultado gases evolucionados de H₂O, CO₂ e hidrocarburos como metano y perfiles dependientes de la temperatura de las especies obtenidas. Se tiene como resultado un gas de síntesis que puede ser aprovechado para la generación de energía térmica y eléctrica.

2.2.3.5. Sistema basado en la incineración

En 2017, Graciosa et al. [19] señalaron que las emisiones de gases de efecto invernadero producidas por la producción de carbón vegetal, pueden ser mitigadas por la incineración, reduciéndolas a dióxido de carbono y agua. Es un proceso eficiente para esta operación, pero la aplicación de la incineración para el aprovechamiento de biomasa genera costos altos y produce emisiones significativas de partículas perjudiciales al medio ambiente a comparación de otros sistemas de aprovechamiento.

Incineración en el proceso por el que se someten los materiales sólidos y líquidos, sean residuales o no, a un régimen de temperaturas medias (850-1200°C), por efecto de las reacciones de oxidación exotérmica de los propios residuos y, si es preciso, de combustible aportado, en presencia de exceso de oxígeno suficiente para que casi toda (>99,99%) la fracción orgánica presente pase a la forma gaseosa, los compuestos oxidables a esa temperatura se hayan combinado con el oxígeno, y la fracción inorgánica se haya reducido a escorias (vidrios, piedras, metales) y cenizas. [10].

En 2017, Quispe et al. [20] brindaron los siguientes datos para realizar una comparación de los sistemas de aprovechamiento energético para la cascarilla de arroz y se presenta en la Tabla 2.

2.2.4. Comparación de los sistemas de aprovechamiento energético aplicados al Molino de arroz

En la tabla N° 02 se presenta las ventajas e inconvenientes respecto a los sistemas de aprovechamiento energético de la cascarilla de arroz para el Molino y Cía. S. A. C. El sistema de incineración y combustión presentan altos costos para su implementación y además tienen un impacto negativo en el medio ambiente más alto que el resto de los sistemas. Por lo tanto, no se puede diseñar estos sistemas para la compañía.

El sistema de pirólisis presenta como residuo un promedio de 30% de biocarbón que puede ser usado para cerámicos, en contraste, para producir gas de síntesis, también se produce biocombustible. El biocombustible se produce en mayor cantidad que el gas de síntesis. Es por esta razón que el rendimiento será bajo y no es muy conveniente para el molino.

Como opciones finales se tiene el sistema de gasificación y de digestión anaeróbica, para la digestión anaeróbica en rendimiento según el PCI del gas es medio, lo cual es muy beneficioso para el molino. El problema es que se debe estar en constante compra de excretas de animales para que se pueda llevar a cabo el subproceso de degradación. Y como bien se sabe, el transporte de excretas, tiene un costo de almacenamiento, el costo como insumo y costo de transporte, por ello el proceso de digestión anaeróbica no es conveniente. Si bien los autores lo recomiendan cuando es una producción a gran escala, para el molino se determinó que no sería el sistema adecuado.

Para el sistema de gasificación según los autores recomiendan usar de preferencia un reactor de lecho fluidizado y debe estar correctamente diseñado con mucha exactitud para que el rendimiento bajo pueda incrementarse, asimismo también es apropiado para los motores de combustión interna con el propósito de producir electricidad. Es viable técnicamente y su costo de implementación varía en relación a la producción que se requiere. Para el proceso termoquímico se necesitará aire oxígeno según lo demanda esta investigación y mejor se adecue. Por lo tanto, se escoge esta opción por el costo de implementación, la viabilidad ambiental que presenta y el proceso, el cual es más simple en comparación con los otros sistemas.

Tabla 2. Comparación de los sistemas de aprovechamiento energético aplicados al Molino de Arroz

Comparación de los Sistemas de Aprovechamiento Energético relativos al Molino de Arroz					
Tipos de sistemas	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	La 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 calor.
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 gasificador 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 combustion interna y producción de electricidad. Se utilizará oxígeno para la fabricación del gas.	Gas apropiado para motores de combustion 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: Quispe, Navia y Kahhat (2017)

En la tabla 3 se resume los principales datos que la FAO [21] y Shakorfow [22] aportaron, como las características termoquímicas, funcionamiento, temperatura de operación, poder calorífico inferior, poder calorífico superior, producto, subproductos, eficiencia y composición.

Tabla 3. Características termoquímicas de los diferentes sistemas de aprovechamiento de energía

Sistemas de Aprovechamiento Energético					
Tipos de sistemas	Combustión	Gasificación	Digestión anaeróbica	Pirólisis	Incineración
Funcionamiento	Durante la combustión, el combustible de biomasa se quema en exceso de aire para producir calor. La primera etapa de la combustión implica la evolución de los vapores combustibles de la biomasa, que arden como llamas. El material residual, en forma de carbón, se quema en un suministro de aire forzado para dar más calor. Los gases de combustión calientes se usan a veces directamente para el secado del producto, pero más generalmente se pasan a través de un intercambiador de calor para producir aire caliente, agua caliente o vapor.	El objetivo del proceso de gasificación termoquímica de biomasa es la mejor conversión posible de combustibles de biomasa sólida en un gas de alto valor calorífico. Por lo tanto, la biomasa reacciona con un agente (aire, oxígeno, vapor o CO ₂), que proporcionan oxígeno para el proceso. Debido al craqueo térmico y a la oxidación parcial se forma un gas producto. La composición del gas producto depende del combustible de biomasa, de las condiciones de reacción y del agente gasificante.	La digestión anaeróbica es una serie de procesos biológicos en la que los microorganismos descomponen el material biodegradable en ausencia de oxígeno. Uno de los productos finales es el biogás, que se quema para generar electricidad y calor, o puede ser transformado en gas natural renovable y combustibles de transporte.	La pirólisis es una degradación térmica ya sea en ausencia completa de un agente oxidante, o con un suministro tan limitado que la gasificación no se produce en una extensión apreciable o puede ser descrita como gasificación parcial. Se emplean temperaturas relativamente bajas de 500 a 800°C, en comparación con 800 a 1000°C en la gasificación.	Una tecnología que produce combustión de residuos para la recuperación de energía. Durante el proceso de incineración, el material de desecho que se trata se convierte en gases, partículas y calor. Estos productos se utilizan posteriormente para la generación de electricidad. Los gases de combustión se tratan primero para la erradicación de contaminantes antes de entrar a la atmósfera.
Temperatura de operación	850 - 1200 °C	Con aire: 550-900 °C Otros agentes: 1000-1600 °C	25 - 70 °C	500-800 °C	850 - 1200 °C
Productos	Gases de combustión y calor	Gas de síntesis	Biogás	Gas de síntesis	gases combustión y calor
Poder Calorífico Superior (PCS)	15 MJ/kg	40 MJ/Nm ³	19 – 32 MJ/Nm ³	15 – 22 MJ/Nm ³	----
Poder Calorífico Medio (PCM)	----	12 – 18 MJ/Nm ³	-----	-----	----
Poder Calorífico Inferior (PCI)	12 – 14 MJ/kg	4 – 6 MJ/Nm ³	12 – 16 MJ/Nm ³	4 – 8 MJ/Nm ³	----
Sub-productos	-----	-----	Fertilizante rico en nitrógeno, hidrógeno y azufre	Aceite de pirólisis y carbon vegetal	----
Eficiencia del sistema	15-60 %	> 80%	> 90%	> 90%	> 99%
Composición	Gases: CO ₂ , H ₂ O, N ₂	Gases: CO ₂ , H ₂ O, N ₂ , H ₂ , CO, CH ₄ ; alquitrán	Gases: CO ₂ , H ₂ , N ₂ , CH ₄ (50 - 70 %), O ₂ , H ₂ SO ₄	Gases: CO ₂ , H ₂ O, H ₂ , CH ₄ , CO; alquitrán	Gases: CO ₂ , H ₂ O, S ₂ , N ₂ , CO; alquitrán, escorias

Fuente: FAO y Shakorflow

2.2.5. El proceso de gasificación

2.2.5.1. La gasificación y agentes gasificantes

✓ Gasificación

En 2013, Beltran [23] estableció que la gasificación se destaca como superior en muchos aspectos a la combustión directa de biomasa que se ha convertido en una interpretación comúnmente aceptada del término. Un ejemplo excelente es la combustión contenida de biomasa leñosa astillada o granulada para proporcionar energía térmica y electricidad generada por vapor. Un ejemplo similar es la incineración en masa de residuos sólidos municipales para la generación eléctrica. Mientras que la gasificación convierte hasta el 85 por ciento del carbón transportado por combustible en gas de síntesis de combustión limpia y rica en energía, las instalaciones de combustión simples, incluso las que utilizan sistemas combinados, pierden gran parte de esa energía en los gases de combustión y pierden calor. La combustión directa de la biomasa cruda emite mayores volúmenes de contaminantes y de CO₂, mientras que el gas producido por la gasificación se purga de contaminantes e impurezas antes de la combustión ya volúmenes y temperaturas más bajas y más concentradas.

En 2011, Connaissance des Energies (CDE) [24] señaló que la gasificación es la conversión termoquímica que consiste en la descomposición de un sólido carbonoso (carbón, biomasa) en presencia de un gas reactivo gaseoso (dióxido de carbono, vapor de agua y oxígeno / aire) con el fin de obtener una mezcla de combustible gaseoso. La reacción de la gasificación ocurre en muy alta temperatura (más de 1000 ° C). El gas de síntesis obtenido al final, llamado "syngas" (por "gas sintético") es una mezcla de dos gases combustibles: monóxido de carbono (CO) e hidrógeno (H₂). El gas sintético es utilizado principalmente para lo siguiente:

- Como una fuente de producción de calor
- Como una fuente de producción de electricidad por la acción del gas sobre las turbinas
- Como una fuente de producción de hidrógeno, metanol, y metano por tratamiento químico.
- Como una fuente de producción de combustible de síntesis por el proceso de Fischer-Tropsch.

2.2.5.2. Agentes gasificantes

Según el agente gasificante que se emplee se producen efectos distintos en la gasificación, y el syngas (producto final) varía en su composición y poder calorífico.

- En 2007, el Instituto para la Diversificación y Ahorro de Energía (IDAE) [25] señaló que, si se gasifica con aire, parte de la biomasa procesada se quema con el oxígeno presente y el resto de la biomasa sufre la reducción. No obstante, el 50% del syngas es nitrógeno y, en términos de poder calorífico, el gas ronda los 5,5 MJ/Nm³. Este syngas es apropiado para motores de combustión interna convencionales, ya que como materia prima para la síntesis del metanol es un gas pobre.
- La gasificación con vapor de agua u oxígeno, mejoran el rendimiento global y aumenta la proporción de hidrógeno en el syngas. Es el sistema más adecuado de producir syngas si se desea emplearlo como materia prima para producir metanol o gasolina sintética. Si bien el aire es gratuito y el vapor de agua se produce a partir del calor contenido en el gas de síntesis, el oxígeno tiene un coste energético y económico a tener en cuenta.
- La utilización de hidrógeno como agente gasificante permite obtener un syngas que puede sustituir al gas natural, pues puede alcanzar un poder calorífico de 30 MJ/kg. No obstante, el hidrógeno es el mejor de los combustibles, susceptible de usarse en cualquier dispositivo termoquímico o electroquímico, por lo que no es muy recomendable como gasificante en el ámbito industrial, excepto en los casos de excedentes de baja pureza, no aptos para otra aplicación como una pila de combustible.

2.2.5.3. Etapas de la gasificación

Para lograr la producción de gas de síntesis, se necesitan varias reacciones preliminares. Todo este proceso se llama gasificación. Se requiere, de un material orgánico, obtener de antemano dentro del reactor el vapor de agua (H₂O), carbono (C) y producir calor suficiente para la reacción de gasificación final. Cuatro etapas sucesivas, fuertemente acopladas, son necesarias, la tercera etapa produciendo el calor requerido por los otros tres.

✓ **Primera etapa: Secado del material para producir calor**

Este paso se lleva a cabo a temperaturas entre 100 ° C y 160 ° C. Bajo el efecto del calor, el agua contenida en el material orgánico se evapora.

El combustible carbonoso resultante es seco y de diferentes tipos (carbón, biomasa, etc.). En el caso de productos no homogéneos, una etapa preliminar (clasificar, moler) se requiere antes de la introducción de esta entrada en el gasificador.

✓ **Segunda etapa: Pirolizar las entradas para obtener coque (residuos de carbono) y gas de pirólisis.**

Este paso sin oxígeno (anaeróbico) tiene lugar a temperaturas entre 120 ° C y 600 ° C. Se llama "autotérmico", ya que no producen o consumen energía. Aumentando gradualmente la temperatura en ausencia de oxígeno, el material seco se descompone y los átomos de carbono se asocian entre ellos. Esto forma:

- Reductor de carbono casi puro (de coque o residuos de carbono);
- Una mezcla de gases oxidantes no condensables compuestos principalmente de dióxido de carbono (CO₂) y de hidrocarburos (CH₄) llamados en conjunto gas de pirólisis; y
- Alquitranes y materia volátil condensables originadas de vapores de compuestos orgánicos (ácidos acéticos, aldehídos).

✓ **Tercera etapa: Oxidación del gas de pirólisis para generar calor suficiente a la gasificación**

Esta etapa se lleva a cabo en presencia de oxígeno a temperaturas entre 1200 °C y 1500 °C. Los materiales volátiles originan de la oxidación del pirólisis. Esta combustión emite el calor necesario para las dos etapas anteriores y la etapa de gasificación. Se requiere un suministro de oxígeno fuerte.

✓ **Cuarta etapa: Reducción o gasificación de carbono para producir gas de síntesis**

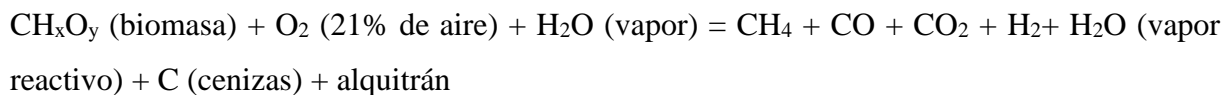
Esta etapa se lleva a cabo a temperaturas entre 800°C y 1200°C. En ausencia de oxígeno, el coque obtenido durante la fase de pirólisis reduce el vapor de agua y el gas carbónico obtenido

en la etapa anterior respectivamente en hidrógeno y en óxido de carbono para formar gas de síntesis, combustible mezclando en proporciones variables CO y H₂.

c) Fórmula Química del gas de síntesis

En 1993, Larson [26] afirmó que el gas de síntesis está conformado por monóxido de carbono, hidrógeno, dióxido de carbono y nitrógeno, y tiene un poder calorífico inferior entre 4-6 MJ/Nm³, entre el 10-15 % del poder calorífico del gas natural, por lo tanto, su nombre francés gas pobre.

En 2009, Kumar, Jones y Hanna [27] establecieron la siguiente ecuación química como la reacción general que se puede dar dentro del gasificador, el cual procede con múltiples reacciones.



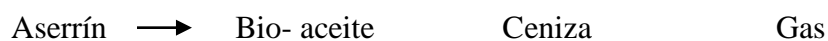
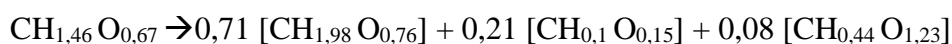
En 2015, Dai et al [28] señalaron que la gasificación está destinada a descomponer los hidrocarburos en gases de bajo peso molecular (principalmente CO, H₂, CO₂, H₂O, y CH₄) mediante la primera despolimerización térmica de la biomasa, y reacciones de combustión parcial. El proceso de gasificación requiere calor y un oxidante, tal como oxígeno (O₂) o vapor. La adición de calor puede ocurrir directamente por oxidación parcial del combustible o indirectamente por transferencia de calor. Los principales pasos heterogéneos y homogéneos, incluyendo secado, pirólisis, gasificación de biomasa, reformado y oxidación parcial y completa, se resumen en la Tabla 4.

Tabla 4. Reacciones y fórmulas del proceso de gasificación de biomasa

Nombre de Reacción	Fórmula de la Reacción	ΔH 298k, 1 atm (kJ/mol)
Reacciones heterogéneas		
Agua a gas primario	$C(s) + H_2O <---> CO + H_2$	131,3
Agua a gas primario	$C(s) + 2H_2O <---> CO_2 + 2 H_2$	90,2
Boudouard	$C(s) + CO_2 <---> 2CO$	172,4
Oxidación	$C(s) + O_2 <---> CO_2$	-392.5
Oxidación Parcial	$C(s) + 1/2 O_2 <---> CO$	-110.5
Metanación	$C(s) + 2H_2 <---> CH_4$	-74.6
Reacción homogénea		
Cambio agua a gas	$CO + H_2O <---> CO_2 + H_2$	-41
Reformando H ₂ (Vapor)	$CO + 3H_2 <---> CH_4 + H_2O$	-205.9
Reacciones de oxidación	$CO + 1/2 O_2 <---> CO_2$	-283
	$H_2 + 1/2 O_2 <---> H_2O$	-242
Reformando vapor	$CH_4 + 2 H_2O <---> CO_2 + 4 H_2$	-164.7
	$C_6H_6O + 5 H_2O <---> 6CO + 8H_2$	642
Reformando CO ₂	$CH_4 + CO_2 <---> 2 CO + 2 H_2$	247

Fuente: Dai Jianjun, Grace John y Ellis Naoko

A temperaturas > 300 ° C, puede producirse un agrietamiento secundario de sustancias volátiles en carbón y gases no condensables. La siguiente ecuación ilustra una reacción de pirólisis neta típica que se genera en la segunda etapa de la gasificación.



2.2.5.4. Tipos de gasificadores

En 2015, el Ministerio de Energías Nuevas y Renovables de la India [29], caracterizó a los siguientes gasificadores para establecer comparaciones que permitan aclarar dudas sobre la aplicación de cada uno.

- **Gasificador de corriente descendente (downdraft)**

El gasificador de corriente descendente (también conocido como co-corriente) es el tipo más común de gasificador. En los gasificadores de corriente descendente, la zona de pirólisis está por encima de la zona de combustión y la zona de reducción está por debajo

de la zona de combustión. El combustible se alimenta desde la parte superior. El flujo de aire y gas es descendente (de ahí el nombre) a través de las zonas de combustión y reducción.

El término co-corriente se utiliza porque el aire se mueve en la misma dirección que el combustible, hacia abajo. Un gasificador de corriente descendente está diseñado de tal manera que el alquitrán, que se produce en la zona de pirólisis, viaja a través de la zona de combustión, donde es desechado o quemado. Como resultado, la mezcla de gases en la corriente de salida está relativamente limpia. La posición de la zona de combustión es, por lo tanto, un elemento crítico en el gasificador de corriente descendente, cuya principal ventaja es que produce gas con bajo contenido de alquitrán, que es adecuado para motores de gas.

En 2014, Speight [30] indicó que este tipo de gasificador es más fácil de controlar que el de corriente ascendente, pero es más sensible a la calidad de la materia prima; sus ventajas son: se consume hasta 99,9% p / p del alquitrán formado, requiere una eliminación mínima o de limpieza del alquitrán del gas productor, los minerales de la materia prima permanecen con el carbón / cenizas, reduciendo la necesidad de un ciclón, y es un proceso relativamente simple y de bajo costo. Sin embargo, las desventajas de la gasificación de corriente descendente son: la materia prima debe secarse a un bajo contenido de humedad (20% p / p de humedad), el gas de síntesis que sale del reactor está a alta temperatura, lo que requiere un sistema de recuperación de calor secundario, y aproximadamente 4 a 7% de peso del carbono puede permanecer sin transformarse.

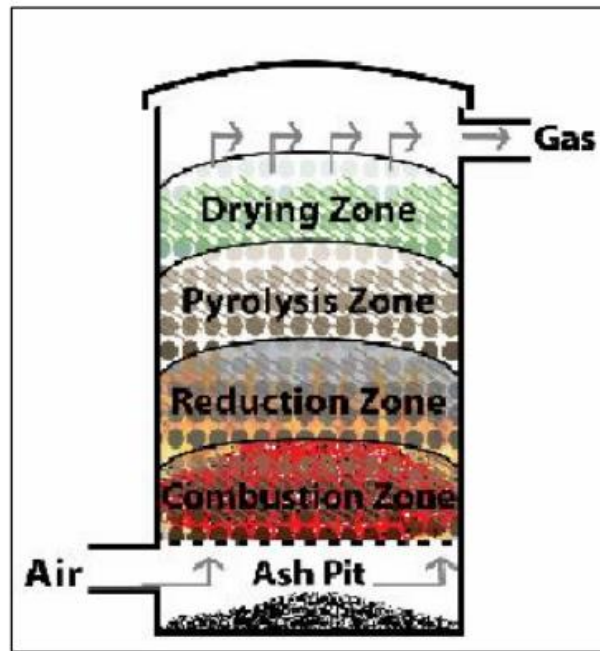


Figura 3. Gasificador de corriente descendente

Fuente: Ministerio de Energías Nuevas y Renovables de la India

✓ Gasificador de corriente ascendente (updraft)

En los gasificadores de corriente ascendente (también conocidos como contracorriente), el aire entra por debajo de la rejilla y fluye hacia arriba, mientras que el combustible fluye hacia abajo. Un gasificador de corriente ascendente tiene zonas claramente definidas para la combustión parcial, la reducción, la pirólisis y el secado. El gas producido en la zona de reducción sale del reactor de gasificación junto con los productos de pirólisis de la zona de pirólisis y vapor de la zona de secado.

El gas productor combustible resultante es rico en hidrocarburos (alquitranes) y, por tanto, tiene un poder calorífico más alto, lo que hace que los gasificadores de corriente ascendente sean más adecuados cuando se necesita calor, por ejemplo, en hornos industriales. El gas productor necesita ser limpiado a fondo si se va a utilizar para generar electricidad.

En [30], se indicó que los gasificadores de corriente ascendente tienen las siguientes ventajas: un proceso relativamente simple y de bajo costo, está equipado para procesar materias primas (como la biomasa) con una alta humedad y alto contenido inorgánico (como los residuos sólidos municipales) y esta es una tecnología probada.

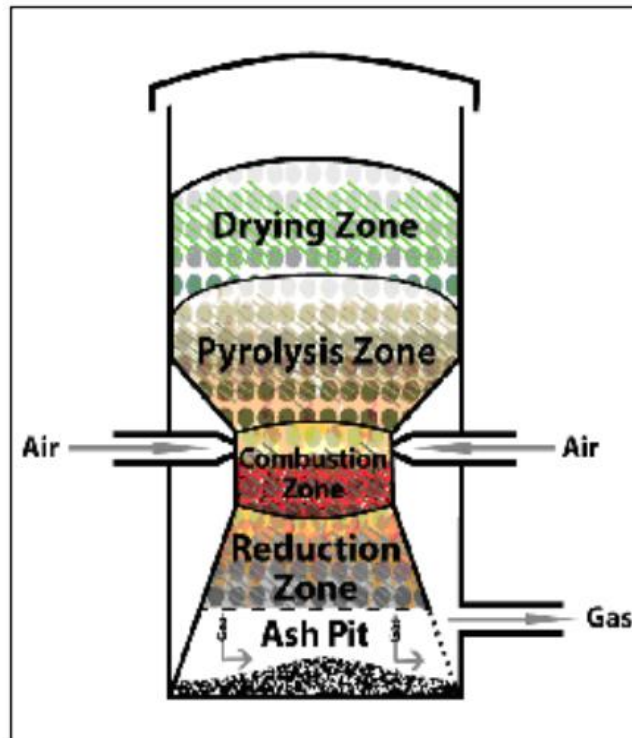


Figura 4. Gasificador de corriente ascendente

Fuente: Ministerio de Energías Nuevas y Renovables de la India

✓ Gasificador de corriente cruzada (cross-draft)

En un gasificador de corriente cruzada, el aire entra por un lado del reactor del gasificador y sale del otro. Los gasificadores de corriente cruzada tienen algunas ventajas claras, tales como construcción compacta y bajos requerimientos de limpieza. Además, los gasificadores de corriente cruzada no necesitan una rejilla; La ceniza cae al fondo y no entra en el camino de la operación normal.

La alimentación de los residuos se realiza por la parte superior del gasificador y el agente gasificante se inyecta por un lado del equipo directo a la zona de oxidación. El proceso de gasificación en este equipo se genera de forma concéntrica, haciendo que el gas de síntesis salga por la parte opuesta por donde se inyecta el agente gasificante.

La diferencia entre estos tres gasificadores se basa en la calidad del producto obtenido, pues en el Downdraft se obtiene un producto con un bajo contenido de alquitranes, mientras que el Updraft presenta un gas con un alto contenido de este, debido a que no alcanzan a pasar por la zona de pirólisis para ser descompuestos, para el gasificador Crossdraft se presenta una alta

temperatura de salida del gas lo que puede ser una desventaja para su manejo y además contiene una alta cantidad de cenizas en los gases de combustión.

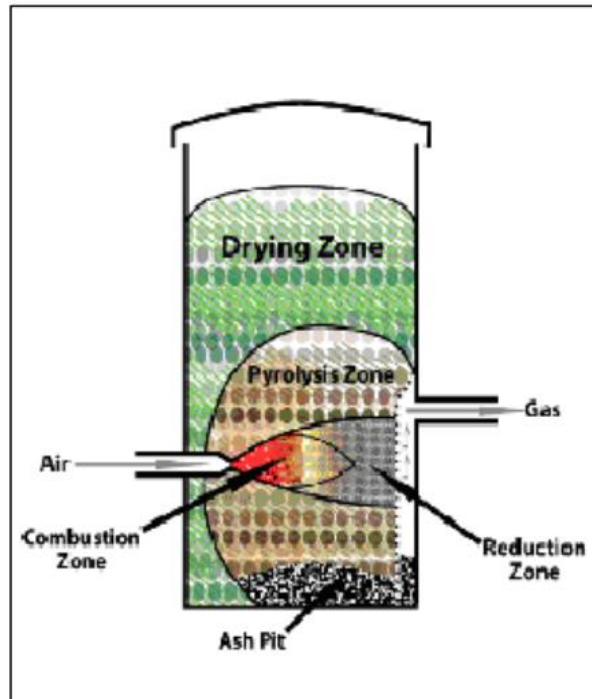


Figura 5. Gasificador de corriente cruzada

Fuente: Ministerio de Energías Nuevas y Renovables de la India

✓ Gasificador de lecho fluidizado

En 2016, Kook et al. [31] señalaron que la tecnología para convertir la biomasa como la cáscara de arroz en una fuente de energía utilizable es clave para abordar los problemas de consumo de energía. Se investigaron los efectos de la temperatura (600-900 ° C), la relación de equivalencia (ER, 0,15-0,3) y la adición de catalizador sobre las características de gasificación de la cáscara de arroz en un reactor de lecho fluidizado burbujeante con un diámetro interior de 0,067 m y una altura de 1,55 m. A medida que aumentaba la temperatura de reacción y ER, las concentraciones de CO y CO₂ en el gas producto disminuyeron. También se observaron ligeros incrementos en las concentraciones de CH₄ y H₂ con el aumento de la temperatura. Un aumento en la temperatura de reacción y ER disminuyó el contenido de alquitrán. La adición de dolomita calcinada y olivina en el material de lecho redujo la cantidad de alquitrán durante la gasificación

de la cáscara de arroz en un reactor de lecho fluidizado burbujeante. Estos resultados tienen el potencial de ser aplicados a la conversión de biomasa en una fuente de energía utilizable.

En los gasificadores de lecho fluidizado, la biomasa se lleva a un lecho inerte de material fluidizado (Por ejemplo, arena, carbón, etc.). El combustible se alimenta al sistema fluidizado ya sea por encima del lecho o directamente en el lecho, dependiendo del tamaño y densidad del combustible y cómo se ve afectado por las velocidades del lecho. Durante el funcionamiento normal, mitad del lecho se mantiene a una temperatura entre 550°C y 1000°C. Cuando el combustible es introducido bajo tales condiciones de temperatura, sus reacciones de secado y pirólisis continúan rápidamente, expulsando todas las porciones gaseosas del combustible a temperaturas relativamente bajas. El carbón restante se oxida dentro del lecho para proporcionar la fuente de calor para que las reacciones de secado y desvolatilización continúen.

Los gasificadores de lecho fluidizado son mejores que los reactores de fase densa, ya que producen más calor en poco tiempo debido al fenómeno de abrasión entre material de lecho inerte y biomasa, lo que da una temperatura de lecho uniformemente alta (800-1000 °C). Un gasificador de lecho fluidizado funciona como un lecho caliente de partículas de arena agitada constantemente por aire. El aire se distribuye a través de boquillas situadas en la parte inferior de la cama.

En 2013, Karmakar et al. [32], nos indican que la tecnología de lecho fluidizado ofrece grandes ventajas cuando se usa para gasificar residuos de biomasa de baja densidad para generar gas combustible de bajo poder calorífico. Los tipos de gasificadores convencionales no son adecuados para la conversión de cascarilla de arroz por su alto contenido de cenizas, baja densidad aparente, pobres características de flujo y bajo punto de fusión de la ceniza. El gasificador de lecho fluidizado parece ser la opción adecuada para dicha conversión con un mejor control de temperatura de la cama en condiciones isotérmicas.

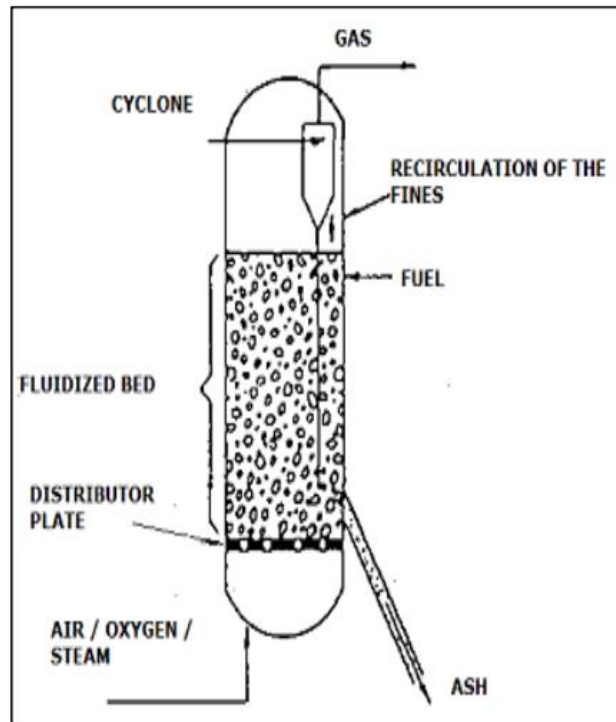


Figura 6. Gasificador de lecho fluidizado

Fuente: Ministerio de Energías Nuevas y Renovables de la India

✓ Gasificador de flujo arrastrado

En gasificadores de flujo arrastrado, el combustible y el aire se introducen desde la parte superior del reactor, y el combustible es transportado por el aire en el reactor. Las temperaturas de funcionamiento están entre 1200- 1600 ° C y la presión va desde 20- 80 bar. Los gasificadores de flujo arrastrado pueden usarse para cualquier tipo de combustible, siempre que esté seco (baja humedad) y tenga bajo contenido de cenizas. Debido al corto tiempo de residencia (0,5- 4,0 segundos), se requieren altas temperaturas para tales gasificadores. La ventaja de los gasificadores de flujo arrastrado es que el gas contiene muy poco alquitrán.

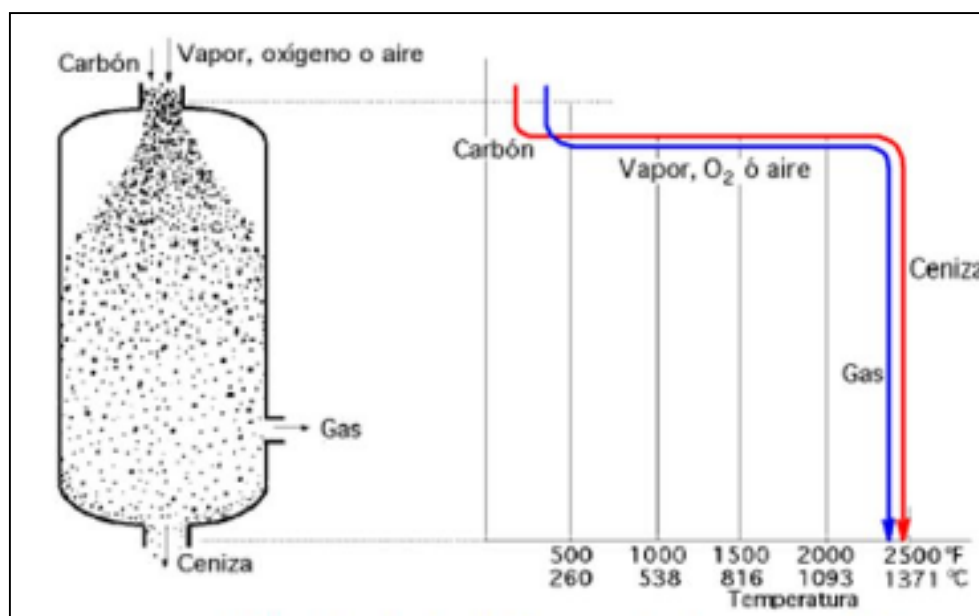


Figura 7. Gasificador de flujo arrastrado

Fuente: Ministerio de Energías Nuevas y Renovables de la India

En 2010, González y Javier [33], indican que los gasificadores de corriente ascendente tienen como desventajas, el alto contenido de alquitrán del gas producido, la variabilidad de temperatura, y por ende la imposibilidad de generar un gas continuo que redundaría en dificultades para la utilización en motores de combustión interna. A diferencia de estos, los de corriente descendente pueden mantener un flujo de gas continuo. En los gasificadores de corriente cruzada las distintas etapas de gasificación ocurren concéntricas a la zona de inyección del agente oxidante, característica que permite operar con reactores a pequeñas escalas. La principal desventaja es el alto contenido en alquitrán obtenido. En los gasificadores de lecho fluidizado, existe la ventaja de la uniformidad conseguida en la distribución de temperatura en el lecho, puesto que el movimiento de las partículas favorece a un mejor contacto gas-sólido, propiciando un mejor mezclado. Estos pueden ser dimensionados para instalaciones de mediana y gran escala y son los más adecuados para situaciones donde hay una relativa demanda constante del gas resultante. La diferencia que suponen los gasificadores de lecho fluidizado es que según el tipo la clasificación se puede utilizar de lecho fluidizado circulante o burbujeante. En los de lecho circulante, existe una tubería de retorno al reactor, como consecuencia de la recirculación, se obtienen gases de síntesis con un poder calorífico 3 veces superior al de los gasificadores convencionales (4-6 MJ/ Nm³).

Para un mejor análisis de los tipos de gasificadores, se muestra la tabla 5, la cual fue obtenida de la referencia [29] que señala lo siguiente:

Tabla 5. 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: Ministerio de Energías Nuevas y Renovables de la India

Respecto a mantenimiento, en [34] se hace referencia a los gasificadores de corriente descendente como reactores con ventajas tecnológicas respecto a la simplicidad de operación y mantenimiento. La configuración de corrientes paralelas permite obtener un gas de bajo contenido de alquitranes; de calentamiento indirecto porque permite obtener un gas con mayor poder calorífico al no tener una zona de combustión al interior del mismo y vapor de agua como agente de reacción por su disponibilidad e incremento en el poder calorífico del gas obtenido debido a su alta reactividad.

En [35] Prabir basu indica la comparación entre las características básicas de los distintos tipos de gasificadores en la siguiente tabla. Esta tabla aporta bastante bien las diferencias entre cada tecnología disponible en puntos clave del proyecto.

Tabla 6. Comparación de características básicas de distintos tipos de gasificadores

	Lecho fijo			Lecho fluidizado	
	Contraflujo	Flujo directo	Flujo cruzado	Burbujeante	Circulante
Sensible a:					
Tipo de combustible	Moderado	Específico	Moderado	Flexible	Flexible
Tamaño del 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 del gas	250 °C	800 °C	900 °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
Relación entre los flujos máximo y mínimo	Bueno	Medio	Bueno	Muy bueno	Bueno
Potencial para escalar	Bueno	Pobre	Pobre	Bueno	Muy 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: Prabir Basu

En [36] indica la siguiente figura donde se muestra una comparación de los tipos de gasificadores de acuerdo con la potencia que pueden producir, con esto se tendrá un mejor análisis para la elección del tipo de gasificador.

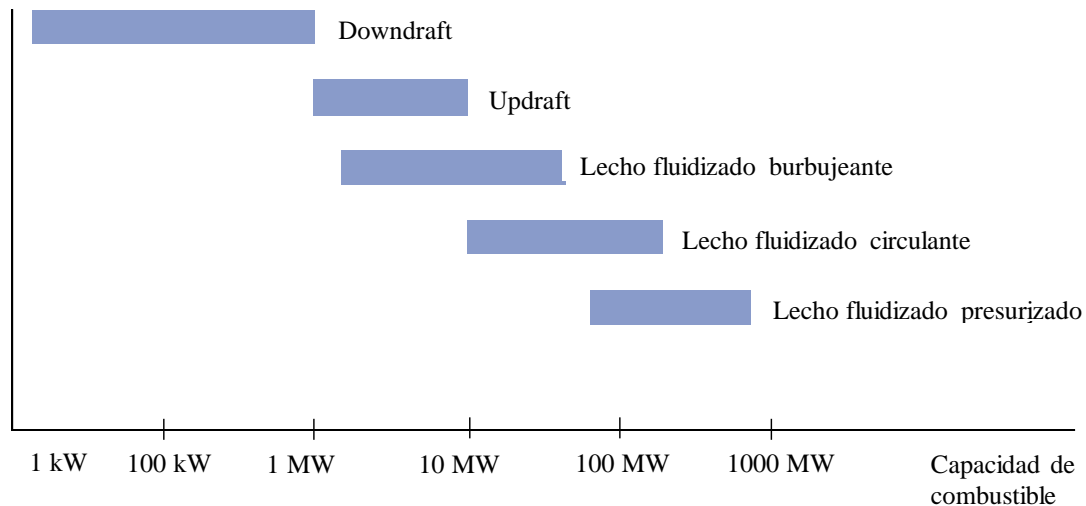


Figura 8. Capacidad de potencia de los gasificadores

Fuente: Larson

De acuerdo con la potencia que utiliza la empresa, la cual aproximadamente es de 169 kW, el gasificador más apropiado es el de lecho fijo tipo downdraft (de corriente descendente).

2.2.6. Electricidad

2.2.6.1. Energía eléctrica

En [37] se señala que la electricidad es el alma de la civilización tecnológica y la sociedad moderna y que, gracias a este aprovechamiento de los campos y las fuerzas eléctricas, se puede sondear el funcionamiento interno de las células y enviar naves espaciales más allá de los límites del sistema solar. Pues la electricidad constituye una forma de energía que está presente en casi todas las actividades del hombre en una sociedad desarrollada, ya que en gran parte de los aparatos y máquinas que se usan, funcionan con ella.

La energía eléctrica se produce en las centrales eléctricas a partir de la transformación de una energía primaria (hidráulica, térmica, solar, nuclear, eólica, entre otras). De ahí es transportada a través de las redes eléctricas hasta los núcleos de población e industrias siendo entonces

transformada en otras formas de energía (energía secundaria: luz, calor, sonido, movimiento, etc.).

Cabe resaltar la ventaja de que la electricidad se transforma en otras formas de energía, así como la relativa sencillez con la que se genera y se transporta hasta los centros de consumo. Sin embargo, no está exenta de inconvenientes: las centrales térmicas producen gran cantidad de humos y emisiones contaminantes; en las nucleares, a los riesgos de accidentes, potencialmente graves, hay que sumar la generación de un importante volumen de residuos de difícil eliminación; las instalaciones hidráulicas alteran de forma significativa los ríos, etc. También el transporte y distribución de la energía eléctrica produce un impacto ecológico y paisajístico (rompen el paisaje y producen deforestación), existe riesgo de incendio provocado por la caída de cables sobre la vegetación, etc.

En [38] se señala que la energía y trabajo son esencialmente lo mismo y se expresan en unidades idénticas. Sin embargo, la potencia es diferente puesto que es la velocidad con la que se realiza el trabajo. Si se emplea el watt como unidad de potencia, un watt usado durante un segundo es igual al trabajo de un joule, o equivalentemente un watt es un joule por segundo. El joule (J) es una unidad básica práctica del trabajo o la energía. El kilowatt-hora (kWh) es una unidad que se usa comúnmente para medir cantidades grandes energía o trabajo eléctrico. La cantidad en kilowatt-horas se obtiene del producto de la potencia en kilowatts (kW) y el tiempo en horas (h) durante el cual se usa la potencia.

Por ejemplo: ¿Cuánta energía suministra en 2 h un generador que produce 10 kW?

$$\text{Energía entregada} = \text{kW} \times \text{h} = 10(2) = 20 \text{ kWh}$$

A) Fuentes de energía eléctrica

Asimismo, en [38] se indica que existen las siguientes fuentes de energía eléctrica:

✓ Batería química

Una celda química voltaica es una combinación de materiales que se utilizan para transformar energía química en energía eléctrica. Se forma una batería al conectar 2 o más celdas. Mediante una reacción química se producen cargas opuestas en metales diferentes, que sirven como terminales positiva y negativa. Los metales están en contacto con un electrolito.

✓ **Generador**

El generador es una máquina que hace uso de la inducción electromagnética para producir un voltaje por medio de bobinas de alambre que giran en un campo magnético estacionario o de un campo magnético giratorio que pasa por un devanado estacionario. En la actualidad más del 95 % de la energía eléctrica del mundo es producida por generadores.

✓ **Energía térmica**

La producción de la mayor parte de la energía eléctrica se obtiene de energía térmica. La combustión de carbón, petróleo o gas natural proporciona grandes cantidades de calor. Una vez que se dispone de energía térmica, el siguiente paso es convertirla en energía mecánica. Se calienta agua para producir vapor, el cual se usa para mover las turbinas que impulsan a los generadores eléctricos. La conversión directa de energía térmica en energía eléctrica aumentaría la eficiencia y reduciría la contaminación térmica de los recursos hidrológicos y de la atmósfera.

✓ **Conversión magnetohidrodinámica (MHD)**

En un convertidor MHD se ionizan gases a temperaturas muy altas, aproximadamente a 3000 grados Fahrenheit (3000 °F) O 1650 grados celsius (1650 °C). Los gases calientes pasan por un campo magnético intenso produciéndose una corriente, luego los gases de escape regresan a la fuente de calor para completar el ciclo. Los convertidores MHD carecen de partes mecánicas móviles.

✓ **Emisión termoiónica**

El convertidor de energía termoiónica es un aparato de 2 electrodos en vacío. El electrodo emisor se calienta y produce electrones libres. El electrodo colector se mantiene a una temperatura mucho más baja y recibe los electrones liberados por el emisor.

✓ **Celdas solares**

Las celdas solares convierten energía luminosa directamente en energía eléctrica. Consisten de un material semiconductor, como el silicio, y se usan mucho en las naves espaciales y satélites artificiales para recargar las baterías. También se utilizan en la calefacción de casas habitación.

✓ **Efecto piezoeléctrico**

Algunos cristales, como el cuarzo y las sales de Rochelle, generan un voltaje cuando se les hace vibrar mecánicamente. Esto se conoce con el nombre de efecto piezoeléctrico, un ejemplo es el

cartucho de cristal de un fonógrafo o tocadiscos, que contiene un cristal de sal de Rochelle al cual está fijada una aguja. Al moverse la aguja en los surcos del disco, oscila de lado a lado. Este movimiento mecánico se aplica al cristal y se genera así un voltaje.

✓ **Efecto fotoeléctrico**

Algunos materiales, como el zinc; potasio y el óxido de cesio, emiten electrones al incidir la luz sobre sus superficies. Este fenómeno se conoce como efecto fotoeléctrico. Algunas aplicaciones comunes de la fotoelectricidad son los tubos de cámaras de televisión y las celdas fotoeléctricas.

✓ **Termopares**

Si se sueldan 2 alambres de metales diferentes, como el fierro y el cobre y se calienta la juntura o unión, la diferencia en la actividad electrónica de los 2 metales produce una fuerza electromotriz (fem) entre ambas partes de la unión. Un termopar puede usarse para medir la cantidad de corriente porque la corriente calienta a la unión.

2.2.6.2. Corriente electrica

En [39] se señala de un modo general que la corriente eléctrica es la circulación o traslado de cargas eléctricas de un punto a otro. También podría decirse que es el desplazamiento de electrones que se produce entre 2 cuerpos cargados a diferentes potenciales eléctricos, cuando se unen mediante un hilo de material conductor. La unidad de corriente es el amperio que equivale a 1 culombio por segundo.

En [38] se indica que las diferencias entre corriente continua y corriente alterna:

A) Corriente continua

Es la circulación de electrones constante o de manera continuada, en el mismo sentido. También es llamada corriente directa, la razón de que esta corriente sea unidireccional es que las fuentes de voltaje tales como celdas y las baterías mantienen la misma polaridad en su voltaje de salida. El voltaje que proporcionan estas fuentes se llama voltaje de corriente continua (o directa). Una fuente de voltaje de corriente continua puede cambiar la magnitud de su voltaje de salida; pero si se mantiene la misma polaridad, la corriente fluirá solamente en una dirección.

B) Corriente alterna

Es la circulación de electrones que marchan alternativamente en un sentido y en el opuesto. Una fuente de voltaje de corriente alterna invierte o alterna periódicamente su polaridad. Por consiguiente, la corriente alterna resultante también invierte periódicamente su dirección. Con base en el flujo convencional, la corriente parte de la terminal positiva de la fuente de voltaje, recorre el circuito y regresa a la terminal negativa; pero cuando el generador invierte su polaridad, la corriente debe invertir su dirección. El suministro de energía eléctrica de corriente alterna que se usa en las casas es un ejemplo común. En estos sistemas, el voltaje y la dirección de la corriente tienen un gran número de inversiones cada segundo.

2.2.6.3. Diferencia de potencial

En [38] se señala que, debido a la fuerza de su campo eléctrico, una carga eléctrica tiene la capacidad de efectuar un trabajo al mover a otra carga por atracción o por repulsión. La capacidad de una carga para realizar trabajo se llama potencial. Cuando dos cargas no son iguales, debe haber entre ellas una diferencia de potencial. La suma de las diferencias de potencial entre todas las cargas del campo electrostático recibe el nombre de fuerza electromotriz (fem).

La unidad básica de la diferencia de potencial es el voltaje (V). El símbolo de la diferencia de potencial es V e indica la capacidad de efectuar un trabajo para que los electrones se muevan. Como se usa el voltaje como unidad, la diferencia de potencial también es llamada voltaje. Por ejemplo: ¿Qué significa que un voltaje de salida de una batería sea de 6 V? Significa que la diferencia de potencial entre las 2 terminales de la batería es de 6V. Por tanto, el voltaje es esencialmente la diferencia de potencial entre 2 puntos.

2.2.6.4. Resistencia

En [38] se señala que la resistencia es la oposición al flujo de corriente. Para aumentar la resistencia en un circuito, se usan componentes eléctricos llamados resistores (resistencias). Un resistor es un objeto cuya resistencia al paso de la corriente tiene un valor específico conocido. La resistencia se mide en ohmios y en las ecuaciones se representa con el símbolo R. Un ohmio (ohm) se define como la cantidad de resistencia que limita la corriente en un conductor a un amperio cuando el voltaje aplicado al conductor es de 1 voltio.

Los resistores son componentes familiares en muchos aparatos eléctricos y electrónicos. Algunos de los usos frecuentes de los resistores son establecer el valor adecuado de voltaje en un circuito, limitar la corriente y proporcionar una carga.

A) Ley de Ohm

En [38] se indica que la ley de Ohm establece la relación entre la corriente, el voltaje y la resistencia. La ley se expresa matemáticamente de 3 maneras:

1. La corriente en un circuito es igual al voltaje aplicado al circuito dividido entre la resistencia del circuito:

$$I = V/R$$

2. La resistencia de un circuito es igual al voltaje aplicado al circuito dividido entre la corriente en el circuito:

$$R = V/I$$

3. El voltaje aplicado a un circuito es igual al producto de la corriente y la resistencia del circuito:

$$V = I \times R = IR$$

En las que:

I= Corriente en A

R= resistencia en ohm

V= voltaje en V

B) Potencia eléctrica

En [38] se indica que la potencia eléctrica P usada en cualquier parte de un circuito es igual a la corriente I en esa parte multiplicada por el voltaje V dividida entre los extremos de esa parte del circuito, su fórmula es:

$$P = VI$$

En las que:

P = potencia en W

V= voltaje en V

I= corriente en A

Si se conoce la corriente I y la resistencia R, pero no el voltaje V, se puede encontrar la potencia usando la ley de ohm para el voltaje; así que al sustituir

$$V=IR$$

$$P= IR \times I = I^2R$$

De la misma manera, si se conoce el voltaje V y la resistencia R, pero no la corriente I, se puede encontrar la potencia P usando la ley de ohm para la corriente; así que al sustituir

$$P= V \times V/R = V^2/R$$

Si se conoce estas 2 cantidades, se puede calcular la tercera.

2.2.6.5. Circuito eléctrico

En [38] se señala que un circuito eléctrico práctico consta por lo menos de 4 partes: (1) una fuente de fuerza electromotriz, (2) conductores, (3) una carga y (4) un medio de control. La fem es la batería, los conductores son alambres que conectan los diferentes partes del circuito y conducen la corriente eléctrica, el resistor es la carga y el interruptor es el controlador. Las fuentes de fem más comunes son las baterías y generadores. Los conductores son alambres que ofrecen pequeña resistencia a la corriente. El resistor de carga representa un elemento que consume energía eléctrica, como una lámpara, timbre, tostador, radio o motor. Los controladores pueden ser interruptores, resistencias variables, fusibles, interruptores de circuito y relevadores.

Un circuito completo o cerrado es una trayectoria carente de interrupciones para la corriente que proviene de una fuerza electromotriz (fem), llega a la carga y regresa a la fuente. Un circuito se le llama incompleto o abierto si hay una interrupción en el circuito que impide que el recorrido sea completo.

2.2.6.6. Generadores y motores de corriente continua

En [38] se indica que un motor es una máquina que convierte la energía eléctrica en energía mecánica giratoria. Los motores mueven máquinas lavadoras, secadoras, ventiladores y gran parte de la maquinaria que se encuentra en la industria. Por otro lado, un generador es una máquina que convierte la energía mecánica giratoria en energía eléctrica. La energía mecánica

puede ser proporcionada por una caída de agua, vapor, viento o por un motor de gasolina, diesel o eléctrico.

A) Componentes

Las partes principales de los motores y los generadores de corriente directa son esencialmente las mismas:

✓ Armadura

En un motor, la armadura recibe corriente de una fuente eléctrica externa, lo cual hace que la armadura gire. En un generador, la armadura gira por una fuerza mecánica externa. El voltaje que se genera en la armadura se conecta a un circuito externo. En síntesis, la armadura del motor recibe corriente de un circuito externo (la fuente de alimentación eléctrica) y la armadura del generador suministra corriente a un circuito externo (la carga). Como la armadura gira, se le llama también rotor.

✓ Conmutador

Una máquina de corriente continua tiene un conmutador para convertir corriente alterna que fluye en su armadura en corriente continua en sus terminales (en el caso del generador). El conmutador consiste de segmentos de cobre, de los cuales hay un par por cada bobina de la armadura. Cada segmento del conmutador está aislado de los demás con mica. Los segmentos están montados sobre el eje de la armadura y aislados de este y del hierro de la armadura. En el bastidor de la máquina, se montan escobillas estacionarias de manera que hagan contacto con segmentos opuestos de conmutador.

✓ Escobillas

Son conectores de grafito estacionarios que se montan con un resorte para que resbalen o rocen el conmutador en el eje o flecha de la armadura. De esta manera, las escobillas proporcionan la conexión entre las bobinas de la armadura y la carga externa.

✓ Devanado del campo

Este electroimán produce el flujo que corta la armadura. En un motor, la corriente para el campo es proporcionada por la misma fuente que alimenta a la armadura. En un generador, la corriente que produce el campo puede provenir de una fuente externa llamada excitatriz o de la salida de su propia armadura.

B) Generador simplificado de corriente continua

En [38] se indica que un generador simplificado de corriente continua consiste de una bobina de armadura con una espira de alambre. La bobina corta al campo magnético para producir voltaje. Si se tiene una trayectoria completa (circuito cerrado), la corriente circulará por el circuito en la dirección indicadas por las flechas (figura 9). En esta posición de la bobina, el segmento 1 del conmutador hace contacto con la escobilla 1, mientras que el segmento 2 del conmutador está en contacto con la escobilla 2. Cuando la armadura gira media vuelta en el sentido de las manecillas del reloj, se invierten los contactos entre los segmentos del conmutador y las escobillas. (figura 10) En ese momento el segmento 1 hace contacto con la escobilla 2 y el segmento 2 hace contacto con la escobilla 1. Debido a la acción del conmutador, el lado de la bobina de la armadura que está en contacto con cualquiera de las 2 escobillas siempre corta al campo magnético en la misma dirección. Por consiguiente, las escobillas 1 y 2 siempre tienen la misma polaridad y al circuito externa de carga se le entrega una corriente continua pulsante.

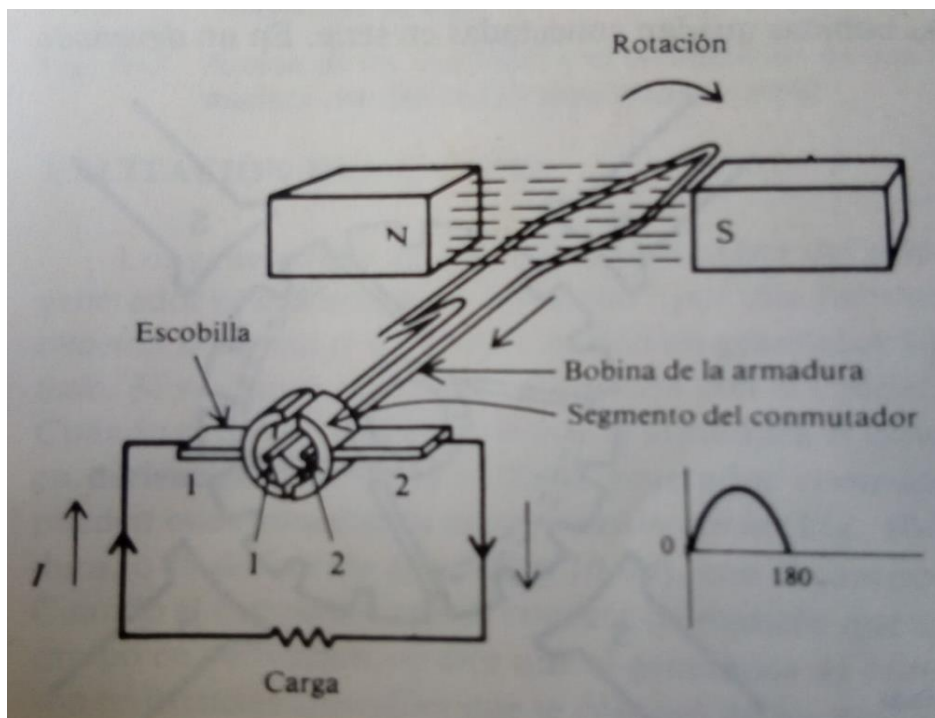


Figura 9. Operación básica de un generador de corriente continua

Fuente: Milton Gussow

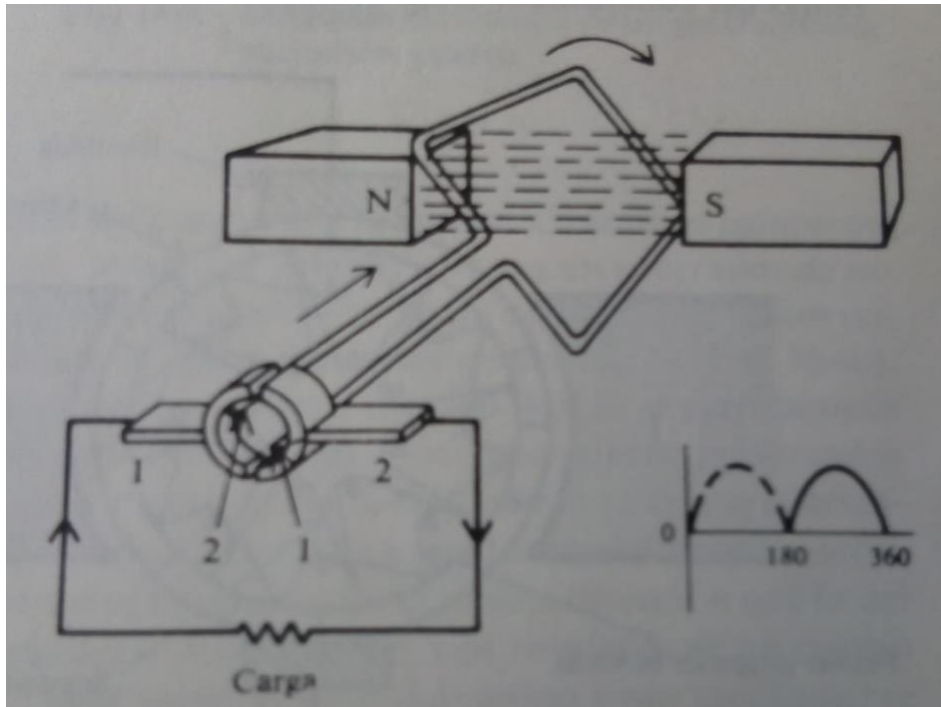


Figura 10. Operación básica de un generador de corriente continua

Fuente: Milton Gussow

2.2.6.7. Principio de la corriente alterna

A) Generación de un voltaje alterno

En [38] se indica que un voltaje de corriente alterna continuamente en magnitud y periódicamente invierte su polaridad (figura 11). El eje del cero es una línea horizontal que pasa por el centro. Las variaciones verticales de la onda de voltaje muestran los cambios en su magnitud. Los voltajes por arriba del eje horizontal tienen polaridad positiva (+), mientras que los voltajes por abajo del eje tienen polaridad negativa (-).

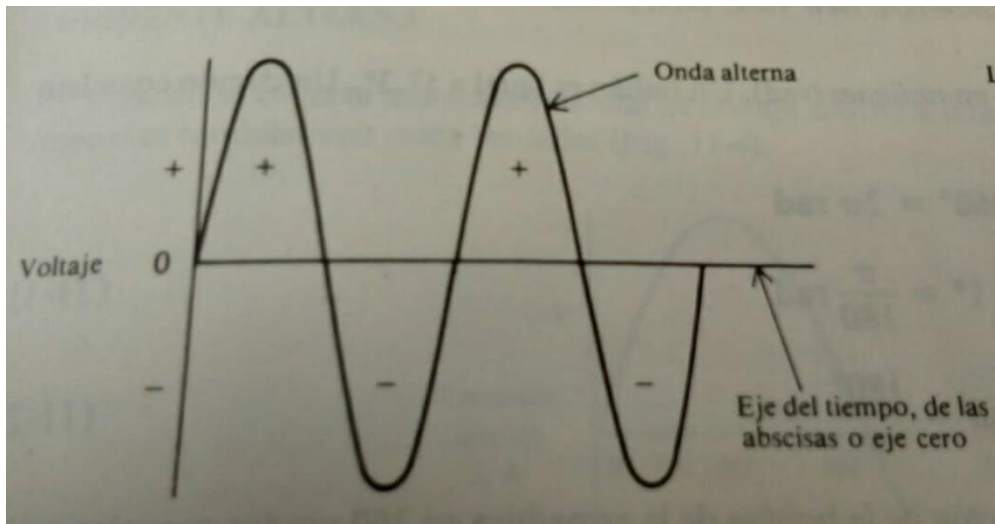


Figura 11. Forma de onda de voltaje de corriente alterna

Fuente: Milton Gussow

Un voltaje de corriente alterna puede ser producido por un generador llamado alternador (figura 12). En el generador simplificado que se muestra, la espira conductora gira en el campo magnético y corta las líneas de fuerza para generar un voltaje inducido de ca entre sus terminales.

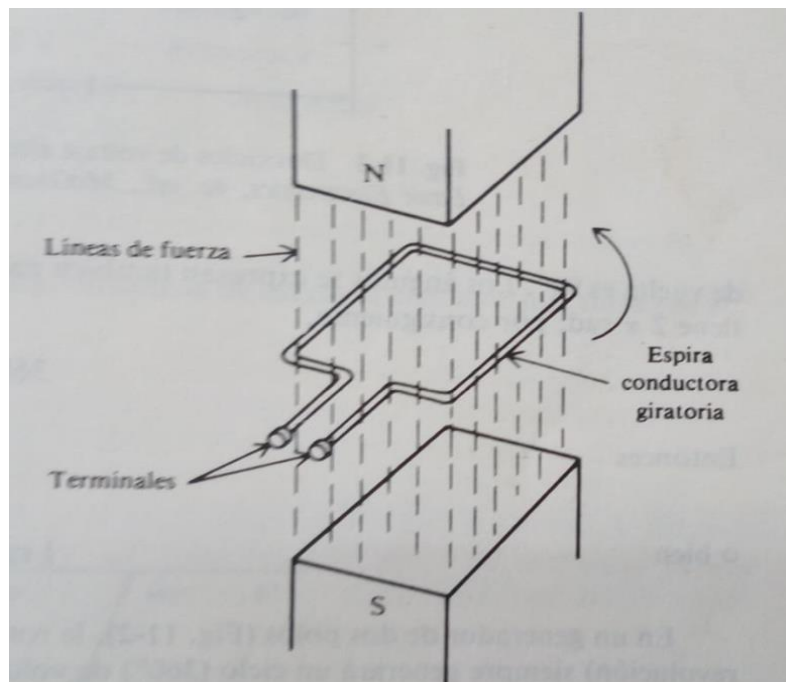


Figura 12. Forma de onda de voltaje de corriente alterna

Fuente: Milton Gussow

Una revolución completa de la espira es un ciclo. La posición de la espira a cada cuarto de vuelta durante un ciclo (figura 13), en la posición A, la espira se mueve paralela al flujo magnético y por consiguiente no corta líneas de fuerza; el voltaje inducido es cero. En la posición B de la parte superior del círculo, la espira corta el campo a 90° para producir un voltaje máximo. Cuando llega a C, el conductor se mueve otra vez paralelo al campo y no corta al flujo. La onda de ca desde A hasta C es medio ciclo de la revolución y se llama alternación. En D la espira corta otra vez al flujo para producir voltaje máximo, pero ahora el flujo se corta en la dirección opuesta (de izquierda a derecha) que en B (de derecha a izquierda); por consiguiente, la polaridad en D es negativa. La espira completa la última cuarta parte de la vuelta en el ciclo al regresar a la posición A, el punto de partida. El ciclo de los valores del voltaje se repite en las posiciones A'B'C'D'A' al continuar girando la espira (figura 13). Un ciclo incluye las variaciones entre 2 puntos sucesivos que tienen el mismo valor y que varían en la misma dirección. Por ejemplo, se puede considerar también un ciclo entre B y B' (figura 13).

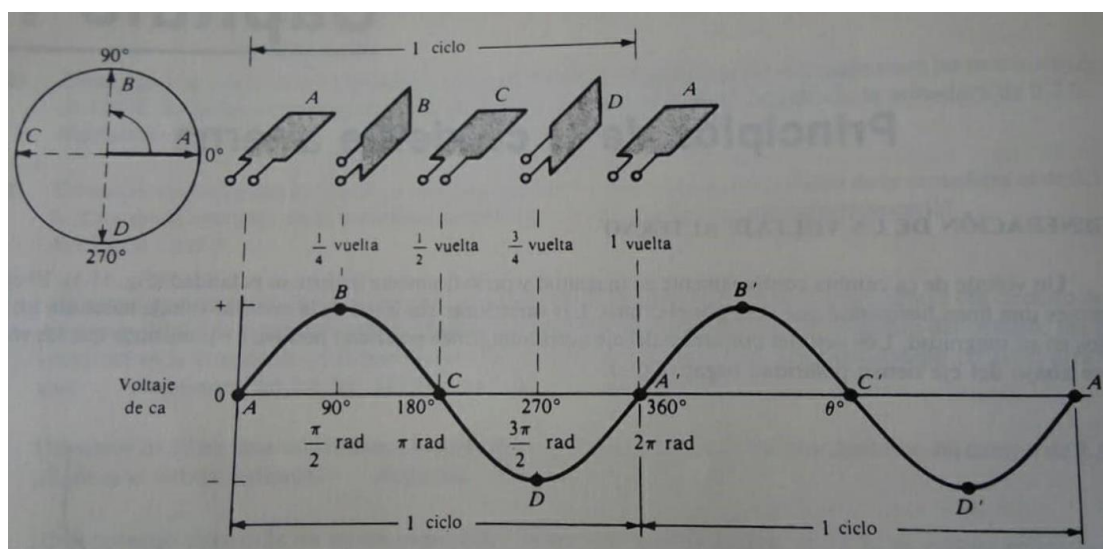


Figura 13. Dos ciclos de voltaje alterno generado por la espira giratoria

Fuente: Milton Gussow

2.2.6.8. Medidas angulares

En [38] se indica que como los ciclos del voltaje corresponden a una rotación de la espira describiendo un círculo, las partes del círculo se expresan como ángulos. El círculo completo

es de 360° . Medio ciclo, o una alternación, es de 180° . Un cuarto de vuelta es de 90° . Los ángulos se expresan también en radianes (rad). Un radián es igual a $57,3^\circ$. Un círculo completo tiene 2π ; por consiguiente,

$$360^\circ = 2\pi \text{ rad}$$

$$1^\circ = \pi / 180 \text{ rad}$$

$$1 \text{ rad} = 180^\circ / \pi$$

A) Onda senoidal

En [38] se señala que la forma de onda del voltaje (figura 13) se llama onda senoidal, el valor instantáneo del voltaje en cualquier punto de la onda senoidal se expresa por la ecuación:

$$v = V_M \text{ sen } \theta$$

en donde:

v = valor instantáneo del voltaje en V

V_M = Valor máximo del voltaje en V

θ = ángulo de rotación en grados

B) Corriente alterna

En [38] se indica que cuando se conecta una onda senoidal de voltaje alterno a una resistencia de carga, la corriente que fluye por el circuito es también una onda senoidal. Se puede ver en la figura 14.

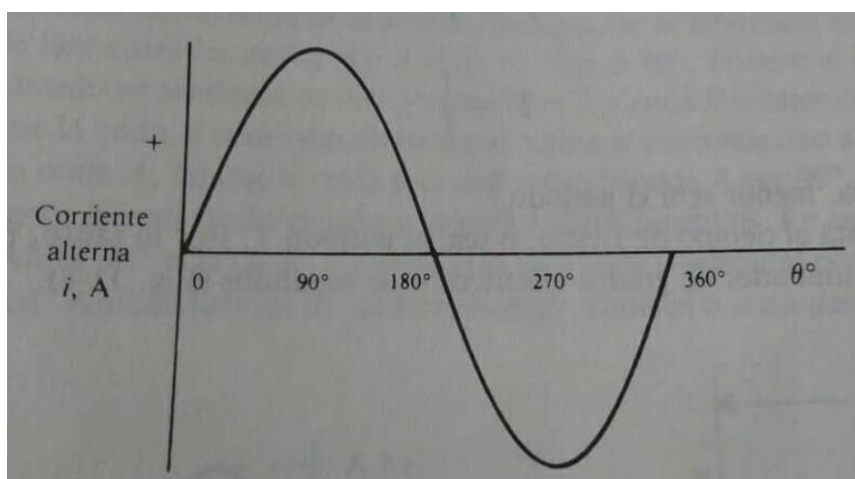


Figura 14. Ciclo de corriente alterna

Fuente: Milton Gussow

C) Frecuencia y periodo

En [38] se indica que el número de ciclos por segundo se llama frecuencia, se indica con el símbolo f y se expresa en Hertz (Hz). Un ciclo por segundo es igual a un Hertz. Por tanto, 60 ciclos por segundo es igual a 60 Hz. Una frecuencia de 2 Hz (figura 15) es el doble de la frecuencia de 1 Hz (figura 16).

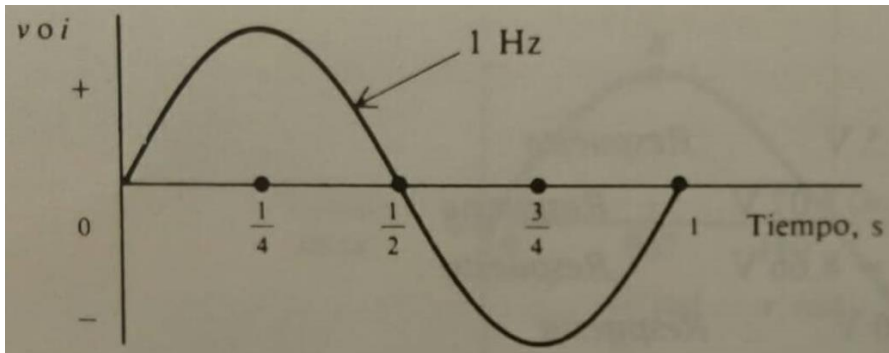


Figura 15. Ciclo de corriente alterna

Fuente: Milton Gussow

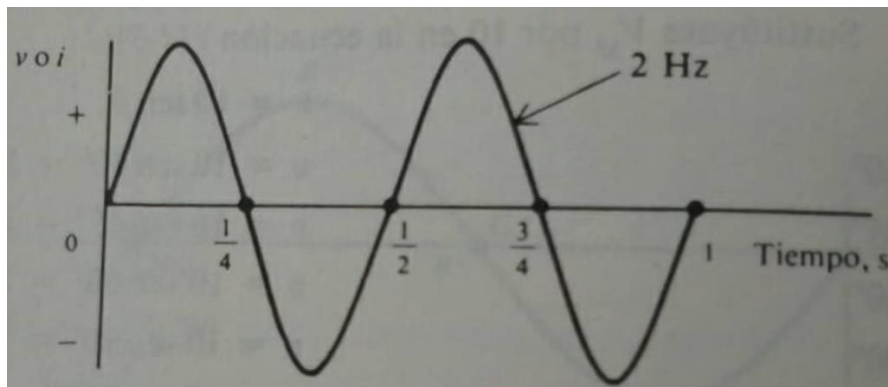


Figura 16. Ciclo de corriente alterna

Fuente: Milton Gussow

El tiempo que se requiere para completar un ciclo se llama periodo. Se indica por el símbolo T (por tiempo) y se expresa en segundos (s). La frecuencia y el periodo son recíprocos.

$$f = 1/T$$

$$T = 1/f$$

Cuanto mayor sea la frecuencia, menor será el periodo.

2.2.6.9. Sistema monofásico

En [38] se señala que un sistema monofásico es un sistema de producción, distribución y consumo de energía eléctrica formado por una única corriente alterna o fase y por lo tanto todo el voltaje varía de la misma forma. La distribución monofásica de la electricidad se suele usar cuando las cargas son principalmente de iluminación y de calefacción, y para pequeños motores eléctricos. Un suministro monofásico conectado a un motor eléctrico de corriente alterna no producirá un campo magnético giratorio, por lo que los motores monofásicos necesitan circuitos adicionales para su arranque, y son poco usuales para potencias por encima de los 10 kW. El voltaje y la frecuencia de esta corriente dependen del país o región, siendo 115 y 230 los valores más extendidos para el voltaje (siendo dominante el de 230, debido a la recarga de vehículos eléctricos) y 50 o 60 Hercios para la frecuencia.

2.2.6.10. Sistema trifásico

En [38] se indica que un sistema trifásico (3Φ) es una combinación de 3 sistemas de una fase o monofásicos (1Φ). En un sistema 3Φ balanceado, la potencia proviene de un generador de corriente alterna que produce 3 voltajes distintos pero iguales, cada uno de los cuales está 120° fuera de fase con los otros 2 (figura 17 y 18). Aunque en los sistemas eléctricos suelen emplearse circuitos monofásicos la mayor parte de la generación y distribución de corriente alterna es trifásica. Los circuitos trifásicos requieren menor sección de los conductores que para los circuitos monofásicos con las mismas características de potencia y voltaje nominal; permiten una flexibilidad en la elección de voltajes y pueden utilizarse con cargas monofásicas. Además, los equipos trifásicos son de menor tamaño, más ligeros y más eficientes que la maquinaria monofásica con la misma capacidad nominal.

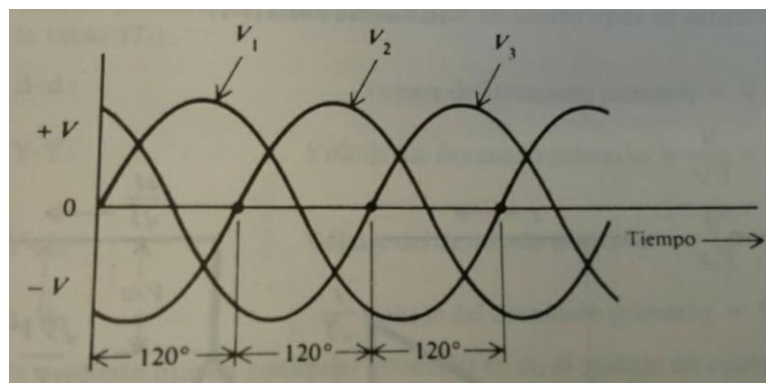


Figura 17. Tres ondas senoidales de voltaje

Fuente: Milton Gussow

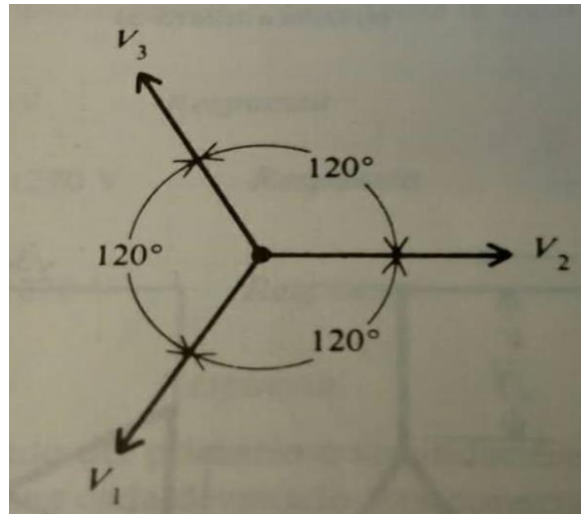


Figura 18. Los tres fasores y sus voltajes
Fuente: Milton Gussow

Las 3 fases de un sistema 3Φ pueden conectarse de 2 maneras. Si los 3 terminales comunes de cada fase se conectan entre sí a una sola terminal marcada N por neutro, y las otras 3 terminales se conectan a la línea de 3Φ , el sistema está conectado en Y o estrella (figura 19). Si las 3 fases se conectan en serie para formar un circuito cerrado, el sistema está conectado en delta (figura 19).

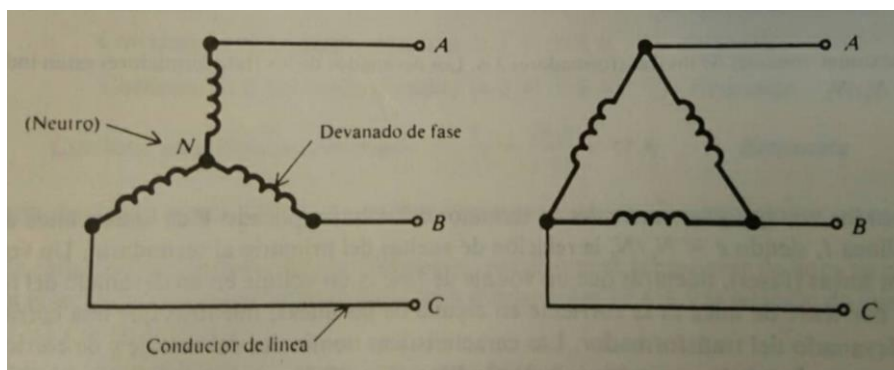


Figura 19. Conexión en estrella (Y) y delta (Δ)
Fuente: Milton Gussow

2.2.7. Cálculo de la rentabilidad

En [40] se indica que la evaluación del proyecto compara, mediante distintos instrumentos, si el flujo de caja proyectado permite al inversionista obtener la rentabilidad deseada, además de recuperar la inversión. Los métodos más comunes corresponden al valor actual neto, la tasa interna de retorno, el periodo de recuperación de la inversión, la relación beneficio-costo y la relación costo-efectividad.

2.2.7.1. Valor actual neto (VAN)

En [40] se señala que el valor actual neto (VAN), es el método más conocido, mejor y más generalmente aceptado por los evaluadores de proyectos. Mide el excedente resultante después de obtener la rentabilidad deseada o exigida y después de recuperar toda la inversión. Para ello, calcula el valor actual de todos los flujos futuros de caja, proyectados a partir del primer periodo de operación, y le resta la inversión total expresada en el momento 0.

Si el resultado es mayor que 0, mostrará cuánto se gana con el proyecto, después de recuperar la inversión, por sobre la tasa de retorno que se exigía al proyecto; si el resultado es igual a 0, indica que el proyecto reporta exactamente la tasa que se quería obtener después de recuperar el capital invertido; y si el resultado es negativo, muestra el monto que falta para ganar la tasa que se deseaba obtener después de recuperada la inversión. Cuando el VAN es negativo, el proyecto puede tener una alta rentabilidad, pero será inferior a la exigida. En algunos casos, como se explicará más adelante, el VAN negativo puede incluso indicar que, además de que no se obtiene rentabilidad, parte o toda la inversión no se recupera.

2.2.7.2. Tasa interna de retorno (TIR)

En [40] se indica que un segundo criterio de evaluación lo constituye la tasa interna de retorno (TIR), que mide la rentabilidad como porcentaje. Por ejemplo, si se exige 10 % de retorno a la inversión, y el VAN muestra que el proyecto rinde eso y \$ 2000 más. Significa que el inversionista obtiene una rentabilidad superior al 10% exigido. Esto indica que se puede exigir al proyecto una ganancia superior a esa tasa. La máxima tasa exigible será aquella que haga que el VAN sea 0.

Si con una tasa de 10%, el VAN fue de \$543 significa que el proyecto renta este valor por sobre 10% que se exige de retorno a la inversión, después de ser recuperada. Pero si se entrega un retorno a la inversión de 11,95 %, lo que resulta solo permite recuperar la inversión. Por eso, la

TIR se define a veces como la sensibilización de la tasa de descuento del proyecto, ya que mide el máximo costo de que se podría pagar por el capital.

La TIR puede ser muy atractiva pero no generar un flujo que permita, entre otras cosas, enfrentar el pago de una deuda. En un flujo de inversión (egreso inicial y flujos positivos a futuro), pueden darse varias situaciones en la relación del VAN con la TIR:

Tabla 7. Relación entre VAN y TIR

VAN>0 y TIR>0	La rentabilidad es superior a la exigida después de recuperar toda la inversión
VAN=0 y TIR>0	La rentabilidad es igual a la exigida después de recuperar toda la inversión
VAN<0 y TIR>0	La rentabilidad es inferior a la exigida después de recuperar toda la inversión
VAN<0 y TIR=0	La rentabilidad es 0, pero se recupera toda la inversión
VAN<0 y TIR<0	La rentabilidad es cero y no se recupera toda o parte de la inversión

Fuente: Sapag Chaín, Nassir

En [41] se señala que cuando el TIR es mayor que la TMAR (Costo de capital o tasa mínima aceptable de rendimiento), acepte la inversión; es decir, si el rendimiento de la empresa es mayor que el mínimo fijado como aceptable, la inversión es económicamente rentable.

2.2.7.3. Periodo de recuperación de la inversión (PRI)

En [40] se recalca que el periodo de recuperación de la inversión (PRI) es el tercer criterio más usado para evaluar un proyecto y tiene por objeto medir en cuánto tiempo se recupera la inversión, incluyendo el costo de capital involucrado.

En [41] se indica que la fórmula de reembolso presenta algunos defectos bastante evidentes, entre ellos, no toma en consideración el valor del dinero a través del tiempo, sólo se concentra en la recaudación dentro del periodo de reembolso, la recaudación de los años posteriores es ignorada. A pesar de estas desventajas, este método se sigue utilizando en algunos casos, por ejemplo, si una empresa tiene poco efectivo, el administrador financiero podrá recurrir al método de periodo de recuperación para dar énfasis a aquellas inversiones que devuelvan los fondos más rápido. Se tienen dos modalidades ampliamente utilizadas para el periodo de reembolso, el método exhaustivo y el del promedio.

✓ Método exhaustivo

El cálculo de reembolso que se obtiene por este método es un proceso reiterativo, el cual requiere la acumulación de los beneficios y que sean restados de la inversión, hasta que el

resultado sea cero. El momento en el cual el resultado se hace cero representa el periodo requerido para que se recupere la inversión total.

✓ Método promedio

Este método sólo es útil si los beneficios anuales no varían sustancialmente del promedio. Si la variación de los beneficios es sustancial (alta varianza), los resultados que proporcione este método serán erróneos.

La forma correcta de utilizar el método consiste en tomar en cuenta el cambio del valor del dinero a través del tiempo. Por ejemplo, si se obtuviera una TIR = 20,76%, esto indica que tomará aproximadamente cinco años recuperar la inversión inicial. Si la TIR fuera de 50%, tomaría solo dos años recuperar la inversión inicial. Como se observa, el periodo de recuperación es sólo otra forma de expresar los resultados obtenidos por la TIR.

2.2.7.4. Relación beneficio-costos (B/C)

En [40] se señala que la relación beneficio-costos compara el valor actual de los beneficios proyectados con el valor actual de los costos, incluida la inversión. El método lleva a la misma regla de decisión del VAN, ya que cuando este es 0, la relación beneficio-costos es igual a 1. Si el VAN es mayor que 0, la relación es mayor que 1, y si el VAN es negativo, esta es menor que 1.

En [41] se indica que Una forma alternativa de evaluar económicamente un proyecto, es mediante el método costo-beneficio, el cual consiste en dividir todos los costos del proyecto sobre todos los beneficios económicos que se van a obtener. Si se quiere que el método tenga una base sólida, tanto costos como beneficios deberán estar expresados en valor presente. No se trata entonces de sumar algebraicamente todos los costos, por un lado, y beneficios del proyecto por otro lado, sin considerar el cambio del valor del dinero a través del tiempo.

En términos formales, si la inflación fuera de 5% anual, tanto los costos como los beneficios económicos obtenidos a lo largo del tiempo, debería descontarse a 5% al traerlos a valor presente, y entonces sólo aceptar proyectos de inversión con una relación costo-beneficio menores a uno, o expresado de otra forma, que la relación beneficio-costos fuera mayor o igual a uno, lo que implicaría que los beneficios siempre fueran mayores a los costos. Para proyectos de inversión privada, definitivamente la determinación del VPN y de la TIR, son los indicadores clásicos de rentabilidad económica.

2.2.7.5. Relación costo-efectividad (CE)

En [40] se indica que existen muchos proyectos donde los beneficios son difíciles de estimar (cuando no hay ingresos) o no son relevantes para el análisis (cuando debe necesariamente solucionarse un problema). En estos casos, es conveniente comparar los costos con la efectividad, es decir, con el cambio que se espera lograr con el proyecto. Para determinar la mejor de las opciones posibles, la relación costo-efectividad calcula:

$$CE = VAC / IE$$

Donde CE es el coeficiente costo-efectividad; VAC. El valor actual de los costos del proyecto, e IE, el indicador de efectividad.

Por ejemplo: Para reducir la tasa de delincuencia, la autoridad municipal evalúa dos opciones conducentes a lograr una misma meta: disminuir los actos delictivos. Una primera alternativa es instalar cámaras de vigilancia en las calles con una central de monitoreo y equipos móviles policiales que acudan ante cualquier alerta. En un horizonte de 10 años, la central y las cámaras deberán ser sustituidas en distintos momentos. Incluso es posible obtener un pequeño ingreso por su venta al final de su vida útil. Considerando la inversión, las reposiciones de los equipos, los costos de operación y los ingresos por venta de equipos, se observa un VAC de -\$2.800. Con esta opción, se estima posible reducir los actos delictivos en 700 casos anuales. La segunda opción consiste en contratar guardias de seguridad durante las 24 horas del día, con lo que se estima que podrían reducirse los casos en 400 al año. El VAC de esta alternativa es de -\$2.400. De acuerdo con la ecuación, el coeficiente costo-efectividad sería:

$$CEA = 2800/700 = \$4 \quad CEB = 2400/400 = \$6$$

Aunque el costo total de la opción A es más alto que el de la opción B, por su mayor impacto en el logro del objetivo buscado muestra un índice costo-efectividad de solo \$4, frente a los \$6 de B, por cada acto delictivo disminuido.

2.2.7.6. Tasas de Rentabilidad

En [41] se indica que la rentabilidad es el resultado neto de un gran número de políticas y decisiones. En realidad, las tasas de este tipo revelan cuán efectivamente se administra la empresa.

A) Tasa de margen de beneficio sobre ventas

En [41] se señala que se calcula dividiendo el ingreso neto después de impuestos entre las ventas. En realidad, tanto el ingreso neto como las ventas son una corriente de flujos de efectivo a lo largo de un periodo de un año y aquí está implícita la suposición de que ambas se dan en un mismo momento. Como la división se efectúa en ese instante y no hay traslación de flujos a otros periodos, no es necesario considerar tasas de interés. Un valor promedio aceptado en la industria es de entre 5 y 10%. Su fórmula es:

Tasa de margen de beneficio= utilidad neta después de pagar impuestos/ ventas anuales totales

B) Rendimiento sobre activos totales

En [41] se indica que se obtiene dividiendo la utilidad neta libre de impuestos entre los activos totales. Este cálculo es uno de los más controvertidos. Se pregunta qué valor se dará a los activos para validar la división con una cantidad de dinero que se da en el futuro, como en la utilidad. Todos los textos existentes sobre el tema no mencionan ni señalan que deba considerarse una tasa de interés para obtener la cantidad equivalente de cualquiera de las cantidades y dividir las en forma válida. Ya se vio en la sección “Métodos de evaluación que toman en cuenta el valor del dinero a través del tiempo” en la página 207, que no vale lo mismo una unidad monetaria el día de hoy que el valor que tendría esa unidad monetaria dentro de un año, y que no se pueden dividir las cantidades sin que intervenga una tasa de interés que las haga equivalentes. La tasa de rendimiento sobre activos totales viola este principio y por eso da lugar a controversias. Se sugiere no obtener esta tasa ni tratar de interpretarla, ya que puede ocasionar decisiones inadecuadas.

C) Tasa de rendimiento sobre el valor neto de la empresa

En [41] se señala que es la tasa que mide el rendimiento sobre la inversión de los accionistas, llamada valor neto o capital. Tiene exactamente la misma desventaja que la tasa anterior, porque el único valor que se le puede dar al capital es el que tiene en términos corrientes o valor de uso de la moneda; sin embargo, este valor se suma algebraicamente al de los años anteriores y se pierde el valor real de la inversión de los accionistas. También se sugiere no calcular esta tasa para no dar lugar a malas interpretaciones en los resultados.

Como conclusión acerca del uso de las razones financieras, se deduce que mientras no deba tomarse en cuenta una tasa de interés es útil y válido usar las razones financieras. Para medir el rendimiento sobre la inversión se sugiere no utilizar este tipo de métodos y, en cambio, recurrir a los que toman en cuenta el valor del dinero a través del tiempo.

III. RESULTADOS

3.1. DIAGNÓSTICO DE SITUACIÓN ACTUAL DEL SISTEMA PRODUCTIVO DEL ARROZ Y EL CONSUMO ENERGÉTICO DEL MOLINO Y CÍA. SEMPER S. A. C.

3.1.1. La empresa

La empresa Molinos & Cía. Semper S. A. C. está registrada con domicilio legal, carretera Lambayeque km 777 (próximo a grifos Mori). La empresa viene funcionando desde el 01 de diciembre del 2007 hasta la actualidad con número de RUC 20480285787. La empresa Molinos & Cía. Semper S. A. C. se dedica al sector de servicios Agrícolas y ganaderos, fundada por el Sr. Nestor Sempertegui, con el fin de abastecer nuevos mercados y debido al gran éxito que tuvo la incursión en el mercado de las industrias y comercialización de arroz pilado fundó la presente empresa. Su principal actividad es el procesamiento de arroz de calidad estandarizada, con la más avanzada tecnología y el mejor servicio al mercado, su principal objetivo es satisfacer las principales necesidades de sus clientes. Cuenta con la tecnología necesaria para obtener un arroz que cumple con las características de alta calidad, a fin de satisfacer al consumidor más exigente.

3.1.2. Organigrama

La empresa utiliza la siguiente estructura organizacional con cargos que tienen funciones específicas según la actividad que desempeñan con el fin de cumplir con los objetivos trazados.

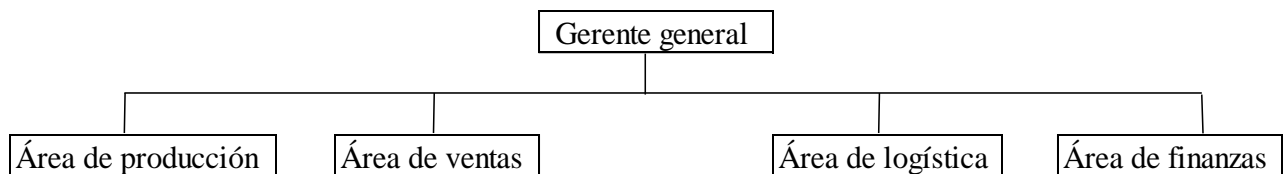


Figura 20. Organigrama de Molino y Cía. Semper S. A. C.

Fuente: Molino y Cía. Semper S. A. C.

Las áreas que se manejan en Molino y Cía. Semper S. A. C. son:

- Gerente General: La gerente se encarga de tomar las decisiones finales de la empresa, la cual involucra el futuro de esta.
- Producción: Se encarga de la ejecución de las obras asignadas por la gerente general.
- Logística: Provee los recursos necesarios para el área de producción y prepara informe para el área financiera.
- Financiera: analiza los resultados para determinar la realidad financiera de la empresa.

3.1.3. Descripción del sistema de producción

3.1.3.1. Productos y subproductos

- **Descripción del producto:**

- ✓ **Arroz pilado:** El producto final obtenido del procesamiento en el molino es el arroz pilado, que corresponde al endospermo, es de color blanco perlado o cristalino. Se le han retirado las envolturas (cáscara y cutícula) y se han desprendido los embriones (ñelén).

El procesamiento en el molino ha producido un cierto porcentaje de granos rotos y quebrados, porcentajes que son el principal indicador para la clasificación por calidad, el arroz pilado representa aproximadamente de 68 al 71% del peso original del arroz en cáscara. El arroz pilado se define sobre la base de arroz seco, limpio y libre de materias extrañas, es decir, con 14% de humedad y 0,4% de contenido de impurezas, y que corresponde al molinero cumplir con estas condiciones.

En la figura 8 se especifica las características del arroz que se procesa en el Molino y Cía. Semper S. A. C. y que debe de cumplirse de acuerdo a la Norma Técnica Peruana.

Tabla 8. Ficha técnica del arroz

FICHA TÉCNICA DEL ARROZ		
Características Generales		
Denominación	Arroz Pilado	
Denominación técnica	Arroz Pilado	
Unidad de Medida	Kilogramo (kg)	
Descripción General	Llamado también arroz blanco o procesado, es el grano entero o quebrado procedente de cualquier variedad de la especie <i>Oryza Sativa</i> L, al cual se le ha removido la cáscara, en un procesamiento normal del arroz en cáscara.	
Características Técnicas		
Factores de calidad generales	El arroz deberá ser inocuo y adecuado para el consumo humano. El arroz deberá estar exento de sabores y olores anormales.	
Factores de calidad específicos	Contenido de humedad	15% máximo
	Suciedad	0,1% máximo
	Sanidad y aspecto	Cumplir con lo indicado en el numeral 4,2 de la NTP. Según el grado de calidad del arroz pilado a adquirir

- **Subproductos:**

- ✓ Arrocillo $\frac{3}{4}$: Es un subproducto que se obtiene del proceso. Este debe ser reprocesado para el consumo alimenticio de poblaciones con bajos recursos económicos. Pero en la mayoría de las veces es utilizado para alimento de animales.
- ✓ Arrocillo $\frac{1}{2}$: Es un subproducto que se utiliza como materia prima para la fabricación de alimentos para animales.

- **Residuos**

- ✓ Cascarilla de arroz: Se vende para las granjas de pollos o para empresas dedicadas a la fabricación de cerámicos. Y representa aproximadamente un 22% del peso de arroz en cáscara.

3.1.3.2. Sistema de producción

Respecto a la demanda y a las horas de producción, las cuales son de 11 horas, el sistema de producción utilizado por el Molino y Cía. Semper S. A. C. es lineal, ya que produce ininterrumpidamente y es un solo producto, arroz pilado.

3.1.3.3. Proceso de producción

El pilado de arroz cáscara consiste en remover del grano cosechado y seco, las glumas (descascarado), los tegumentos y el embrión que corresponden a la estructura de la cariósida y constituye el salvado o polvillo; para producir arroz pulido o blanco con un mínimo de grano quebrado y de impureza final. A continuación, se describe el proceso productivo:

- **Recepción:** El arroz cáscara llega del campo en sacos de yute de diferentes pesos, mayores a 50kg. El molino recibe entre 3 a 5 lotes diarios provenientes de diferentes lugares, entre ellas, San Martín, Lambayeque y Piura. El arroz recibido luego es llevado al área de secado artesanal, para que el arroz cáscara obtenga la humedad adecuada.
- **Pesado:** Se pesa en la balanza de pesaje donde se ubica un precio bruto (carga más vehículo) para luego realizar una tara (peso del vehículo) y obtener el peso específico del arroz en cáscara.
- **Secado:** El secado se da en una forma artesanal por medio de la mano de obra, para reducir el nivel de humedad en el arroz cáscara. El arroz debe tener una humedad de 14%. La duración de secado es de 48 horas con la finalidad de que se enfríen los almidones y pueda cristalizar. Por tal motivo va a disminuir el quebrado a la hora de procesar. Luego del secado se transporta.
- **Limpieza:** Este proceso se realiza por la exposición de los granos a corrientes de aire y mallas cernidoras. Generalmente se realiza con un módulo compuesto por un ventilador-aspirador y zarandas cribas. Para asegurar que el grano ingrese limpio al proceso de descascarado, las impurezas son retiradas por medio de un juego de dos mallas: en la primera quedan retenidas las impurezas mayores y pasa el arroz; en la segunda elimina los vanos y el arroz queda retenido en la malla. Los rechazos de las dos mallas son continuamente llenados en sacos de polipropileno que luego se disponen para su eliminación fuera del molino.

- **Descascarado:** Se realiza mediante fricción por medio de rodillos de hule que giran en forma contraria, obteniéndose arroz descascarado y pajilla de arroz como residuo. En esta etapa el equipo de descascarado expulsa la pajilla a través de un tubo por transporte neumático a un área fuera del proceso.
- **Separación:** Llamada también “Seleccionadora” por la sencilla razón de seleccionar el arroz con cáscara (Paddy), del arroz sin cáscara. Esta separación se realiza a través de movimientos vibratorios. El arroz paddy regresa a la descascaradora y el arroz sin cáscara pasa a la siguiente etapa de pulido.
- **Pulido I:** El arroz llega en cáscara hasta aquí por medio de un elevador. En esta etapa se pule el arroz hasta un nivel de 60%. Interiormente la pulidora contiene una piedra “POME” que con la fricción tiende a pulir el arroz. Y aquí se obtiene como subproducto el polvillo, que es transferido al área de envasado donde se envasa en sacos de 30 kg.
- **Pulido II:** Mediante un caudal de agua se vuelve a pulir el grano de arroz hasta un nivel de 100%, dándole el tono lustre, brillante y liso.
- **Clasificación:** El arroz llega a través de un elevador a las mesas rotativas, donde mediante movimientos vibratorios y circulares se separa el arroz de $\frac{1}{2}$, $\frac{3}{4}$ y ñelén del arroz entero. Este último es transferido a la etapa de selección.
- **Selección:** El arroz entero y arroz $\frac{3}{4}$ proveniente del Clasificador II se somete a una selección electrónica para separar granos tizosos, manchados y con otros defectos. Los granos seleccionados van a la etapa de envasado. El arroz rechazado y arroz $\frac{3}{4}$ también son envasados en sacos de 50 kg para su venta.
- **Envasado:** Mediante una ensacadora se logra envasar el arroz pilado en sacos de 50 kg de peso listo para comercializarse.
- **Almacenamiento:** Después de ser pesado y cosido el saco de arroz es trasladado hacia el almacén donde se arrumará en camas de 5 x 20 sacos de alto. Aquí el arroz puede permanecer un tiempo mínimo de 2 a 3 meses siempre y cuando el ambiente esté limpio.

En la figura 21 se resume el proceso de pilado de arroz junto a las entradas y salidas que se generan durante la transformación del arroz paddy.

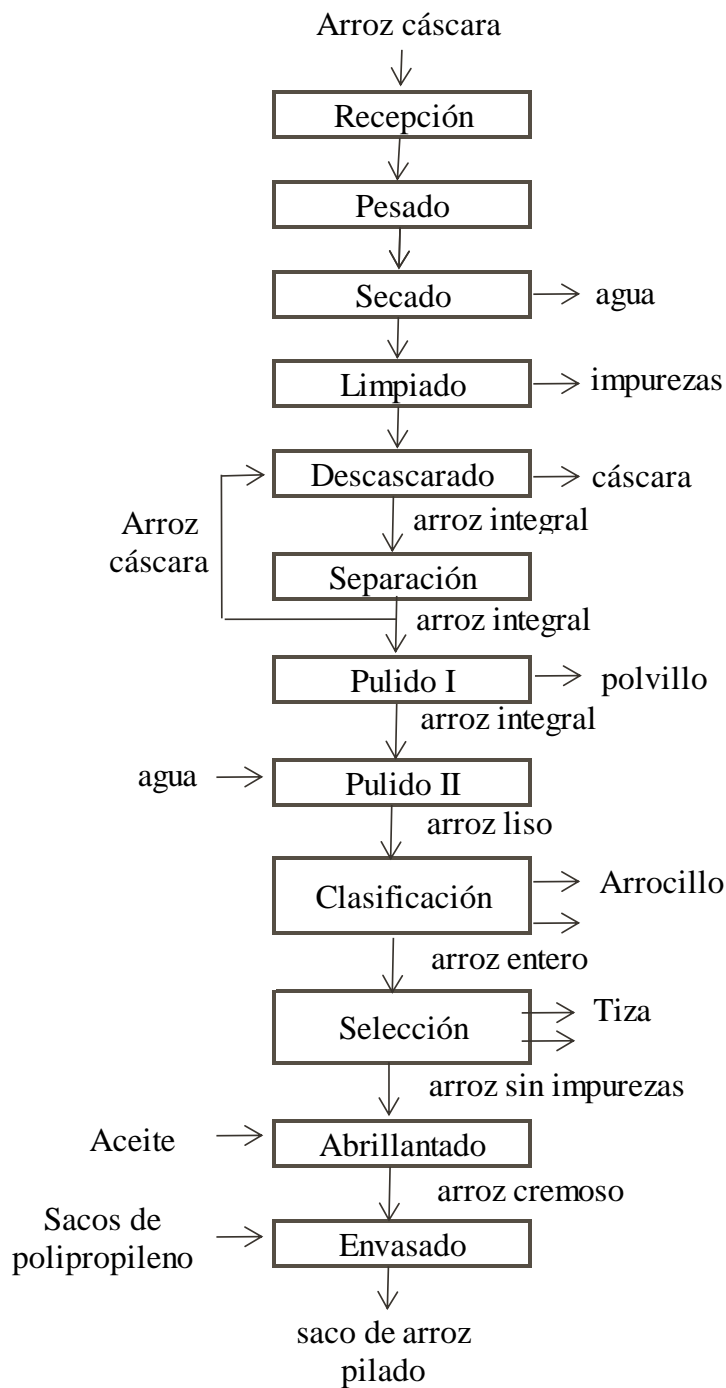


Figura 21. Diagrama de bloques del proceso de pilado de arroz

Fuente: Molino y Cía. Semper S. A. C.

3.1.4. Indicadores actuales de producción y rentabilidad

3.1.4.1. Indicadores de Producción

- **Producción de arroz pilado**

De acuerdo a Molino y Cía. Semper S. A. C. ingresan alrededor de 44870 kg de arroz cáscara/día y como resultado a esta operación se obtienen aproximadamente 35000 kg de arroz pilado/día. Esto equivale la producción de 700 sacos de arroz pilado/día. En la figura 9 se indica los parámetros que se utilizaron para hallar la producción de arroz pilado por hora.

Tabla 9. Parámetros de producción

Parámetros	
Horas que se producen por día	11 horas
kilogramos de arroz pilado por saco	50 kg

$$\text{Producción/día} = 35000 \frac{\text{kg arroz pilado}}{\text{día}} * 1 \frac{\text{saco de arroz}}{50 \text{ kg}} = 700 \frac{\text{sacos de pilado}}{\text{día}}$$

$$\text{Producción/ hora} = 700 \frac{\text{sacos pilado}}{\text{día}} * 1 \frac{\text{día}}{11 \text{ h}} = 63,6 \frac{\text{sacos de pilado}}{\text{hora}}$$

- **Producción de cascarilla de arroz**

Como el Molino y Cía. Semper S. A. C. no considera el pesaje ni el registro de la cascarilla de arroz, se utilizó el criterio de Vargas [2], quien estableció, que el 22 % en peso del grano de arroz representa la cantidad de cascarilla. Por lo tanto, 9871 kg de cascarilla de arroz se generan por día, es decir, 897 kg de cascarilla por hora.

$$\text{Producción diaria} = 44871 \frac{\text{kg arroz cáscara}}{\text{día}} * 22\% = 9871,6 \frac{\text{kg cascarilla}}{\text{día}}$$

$$\text{Producción/ hora} = 9871,6 \frac{\text{kg cascarilla}}{\text{día}} * 1 \frac{\text{día}}{11 \text{ h}} = 897 \frac{\text{kg cascarilla}}{\text{hora}}$$

3.1.4.2. Indicadores de Rentabilidad

Para determinar los indicadores de rentabilidad, primero se calculó los ingresos, costos de producción, gastos administrativos, estado de pérdidas y ganancias y el flujo de caja del año 2017; de acuerdo a la información brindada por la empresa Molinos y Cía. Semper S. A. C.

En la tabla 10 se muestra los ingresos que la empresa tuvo en el año 2017, para ello se consideró el costo de S/.6 por saco de arroz pilado y la cantidad de sacos pilados varía de acuerdo a la temporada de cosecha de arroz. Por lo tanto, en el 2017 se obtuvo un ingreso de S/. 1 412 292.

Tabla 10. Ingresos del Molino y Cía. Semper S. A. C. del año 2017

Ingresos por servicio de pilado de 2017			
Mes	Sacos Pilado	Precio de maquila	Ingresos
Enero	21582	S/. 6,00	S/. 129 492
Febrero	21586	S/. 6,00	S/. 129 516
Marzo	20854	S/. 6,00	S/. 125 124
Abril	18745	S/. 6,00	S/. 112 470
Mayo	18769	S/. 6,00	S/. 112 614
Junio	18182	S/. 6,00	S/. 109 092
Julio	18542	S/. 6,00	S/. 111 252
Agosto	19528	S/. 6,00	S/. 117 168
Septiembre	19562	S/. 6,00	S/. 117 372
Octubre	18199	S/. 6,00	S/. 109 194
Noviembre	18958	S/. 6,00	S/. 113 748
Diciembre	20875	S/. 6,00	S/. 125 250
Total	235382		S/. 1 412 292

Fuente: Molino y Cía. Semper S. A. C.

En la tabla 11 se muestra los costos de mano de obra indirecta del año 2017, en el cual, se consideró los sueldos del jefe de planta, el supervisor, los asistentes logísticos, personal de almacén y del personal de seguridad. Sin embargo, solamente el jefe de planta y el supervisor se encuentran en planilla; todo esto ascendió el costo de S/. 234 816.

Tabla 11. Costos de Mano de obra indirecta del año 2017

Mano de obra indirecta					
	Cantidad	Sueldo (s/.)	Beneficios 49%	Sub total mensual	Total anual
Jefe de planta	1	1600,00	784,00	2384,00	S/. 28 608,00
Supervisor	1	1600	784,00	2384,00	S/. 28 608,00
Asistentes de logística	2	1300	-	-	S/. 31 200,00
Personal de almacén	5	1600	-	-	S/. 96 000,00
Personal de seguridad	3	1400	-	-	S/. 50 400,00
Total					S/. 234 816,00

Fuente: Molino y Cía. Semper S. A. C.

En la tabla 12 se muestran los costos del sueldo administrativo del año 2017, en el cual se consideró 1 gerente general y 3 asistentes administrativos, generando el costo de S/. 139 464. Este costo será utilizado para calcular los gastos administrativos del año 2017.

Tabla 12. Costos del sueldo administrativo del año 2017

Sueldos administrativos					
	Cantidad	Sueldo (s/.)	Beneficios 49%	Sub total mensual	Total anual
Gerente general	1	3000,00	1470,00	4470,00	S/. 53 640,00
Asistentes administrativas	3	1600,00	784,00	2384,00	S/. 85 824,00
Total					S/. 139 464,00

Fuente: Molino y Cía. Semper S. A. C.

En la tabla 13 se indican los gastos administrativos promedios que se generan por mes, entre ellos los materiales de oficina, el consumo de electricidad, gastos de línea de teléfono e internet. Se calculó que en el año 2017 se gastó un promedio mensual de S/. 840 en recursos de oficina.

Tabla 13. Gasto administrativo promedio mensual

Gasto administrativo mensual	
Materiales de oficina	S/. 300
Consumo de electricidad	S/. 200
Teléfono	S/. 140
Internet	S/. 200

Fuente: Molino y Cía. Semper S. A. C.

Tomando en cuenta los costos del sueldo administrativo del año 2017 y los gastos de oficina, resumidos en las tablas 12 y 13, se halló el gasto administrativo total del año 2017. En la tabla 14 se muestra que el gasto administrativo total fue de S/. 149 544.

Tabla 14. Gasto administrativo total del año 2017

Gastos administrativos		
Sueldos administrativos	S/.	139 464,00
Materiales y útiles de oficina	S/.	3 600,00
Consumo de energía eléctrica	S/.	2 400,00
Teléfono	S/.	1 680,00
Internet	S/.	2 400,00
Total	S/.	149 544,00

Fuente: Molino y Cía. Semper S. A. C.

En la tabla 15 se señala los Gastos generales del año 2017, el cual debe contener los costos directos e indirectos, pero debido a que el proceso de pilado de arroz es automatizado, no se requiere mano de obra directa. Entonces solo se tomó en cuenta los costos indirectos, los cuales son: el costo de energía eléctrica, el costo de mantenimiento de la instalación y maquinaria y los costos de los rodillos que se usan para el pulido de arroz. No se consideró el costo de agua debido a que se obtiene mediante un pozo tubular. Por lo tanto, el total de los gastos generales de fabricación del año 2017 es de S/. 257 381.

Tabla 15. Gastos generales de fabricación del año 2017

Gastos generales		
Gastos indirectos		
Energía eléctrica	S/.	192 581,00
Mantenimiento de instalaciones	S/.	24 000,00
Rodillos para el pulido	S/.	40 800,00
Total	S/.	257 381,00

Fuente: Molino y Cía. Semper S. A. C.

En la tabla 16 se resumen los costos del año 2017 para determinar el costo total, por lo tanto, se sumaron los costos de mano de obra indirecta, los gastos generales de fabricación, y los gastos administrativos. Dando como costo total de producción S/. 641 741 y un punto de equilibrio económico de S/. 229 541

Tabla 16. Costo total del año 2017

Costo total		
<u>Costos de producción</u>		
Mano de obra indirecta	S/.	234 816,00
Gastos generales de fabricacion	S/.	257 381,00
Costo Variable total	S/.	492 197,00
<u>Gastos de operación</u>		
Gastos administrativos	S/.	149 544,00
Costo fijo total	S/.	149 544,00
Costo total de producción	S/.	641 741,00
Punto de equilibrio económico	S/.	229 541,29
Punto de equilibrio en unidades		38 256,88

Fuente: Molino y Cía. Semper S. A. C.

En la tabla 17 se muestra el estado de ganancias y pérdidas del año 2017, que fue elaborado de acuerdo a los datos proporcionados por la empresa, con el fin de obtener la utilidad neta. Esta se halló restando a los ingresos los costos de producción, luego los gastos administrativos y se halló la utilidad operativa, después, se restó el impuesto a la renta, el cual es el 30% de la utilidad operativa, dando como resultado la utilidad neta, la cual ascendió a S/. 539 385.

Tabla 17. Estado de ganancias y pérdidas del año 2017

Estado de ganancias y pérdidas		
Ingresos totales	S/.	1 412 292,00
(-) Costos de producción	S/.	492 197,00
Utilidad Bruta	S/.	920 095,00
(-) Gastos Administrativos	S/.	149 544,00
Utilidad Operativa	S/.	770 551,00
Utilidad antes de impuesto	S/.	770 551,00
(-) Impuesto a la renta (30%)	S/.	231 165,30
Utilidades Netas	S/.	539 385,70

Fuente: Molino y Cía. Semper S. A. C.

En la tabla 18 se muestra el flujo de caja del año 2017, donde se consideró a los ingresos que 50 % es al contado y la otra mitad se realizó a crédito de 30 días. A diferencia, los egresos se pagan en su totalidad al contado, es esta la diferencia del flujo de caja respecto al estado de ganancias y pérdidas. Luego al restarse ingresos menos egresos se obtiene el saldo bruto. El cual, es restado con el impuesto a la renta para obtener el saldo de flujo de caja de S/. 498 193.

Tabla 18. Flujo de caja del año 2017

Flujo de caja		
<u>Ingresos</u>		
Cuentas por cobrar(crédito a 30 días) 50 %	S/.	647 300,50
Cobranzas ventas año actual (contado) 50%	S/.	706 146,00
Total de ingresos	S/.	1 353 446,50
<u>Egresos</u>		
Costos de produccion	S/.	492 197,00
Gastos administrativos	S/.	149 544,00
Total de egresos	S/.	641 741,00
Saldo bruto (antes de impuestos)	S/.	711 705,50
(-) Impuesto a la renta 30%	S/.	213 511,65
Saldo (déficit /superávit)	S/.	498 193,85

Fuente: Molino y Cía. Semper S. A. C.

Después de realizar los cálculos necesarios se obtuvo las siguientes ratios de rentabilidad:

- **Utilidad Neta**

De acuerdo a la tabla 18, la utilidad neta del año 2017 fue de S/. 498 193

- **Beneficio Costo (B/C)**

Para hallar el beneficio costo se dividió el total de ingresos entre el total de egresos, el cual dio como resultado 2,1; que significa que por cada S/. 1 invertido se obtuvo un beneficio de S/.1,1

$$B/C = \frac{\text{Total de ingresos}}{\text{Total de egresos}}$$

$$B/C = \frac{S/.1\ 353\ 446}{S/.641\ 741}$$

$$B/C = 2,1$$

- **Margen Neto de Utilidad**

El margen neto de utilidad se realizó dividiendo la utilidad neta entre las ventas, y se obtuvo que el margen neto de utilidad fue de 0,37; esto interpreta que por cada S/. 1 que ingresa por el servicio de pilado de arroz se obtiene una utilidad de S/. 0,37.

$$\text{Margen Neto de utilidad} = \frac{\text{Utilidad neta}}{\text{Ventas}}$$

$$\text{Margen Neto de utilidad} = \frac{S/498\,193}{S/1\,353\,446}$$

$$\text{Margen Neto de utilidad} = 0,37$$

3.1.5. Diagnóstico y consumo energético del sistema productivo

- **Diagnóstico energético del sistema productivo**

En la tabla 19 se muestra el diagnóstico energético del Molino y Cía. Semper S. A. C., entre ellos el consumo de kilowatts, de Amperios, la tensión empleada y el tipo de sistema eléctrico utilizado. Para llevar a cabo ello, se realizó la identificación de las maquinarias utilizadas de cada proceso del sistema productivo, se anotó la cantidad de cada tipo de máquina empleada y se revisó las fichas técnicas de cada máquina. Se obtuvo que el uso completo del sistema productivo del molino consume 168,5 kW por hora, una corriente de 278,7 A y emplea una tensión de 220 V con sistema trifásico.

Tabla 19. Diagnóstico energético del sistema productivo del Molino y Cía. Semper S. A. C.

Diagnóstico energético del sistema productivo del Molino y Cía. Semper S.A.C.											
Etapa	Máquinas	Consumo de kilowatts kW	Cantidad	Consumo total de kW	Subtotal de kW	Consumo de Amperio (A)	Cantidad	Consumo total de A	Subtotal de A	Tension utilizada en Voltios (V)	Tipo de sistema
Limpado	Despedradora	0,75	2	1,5	5,7	1,5	2	3	10,5	220	Trifásica
	Pre-limpia	2,2	1	2,2		3,5	1	3,5		220	Trifásica
	Elevador	1	2	2		2	2	4		220	Trifásica
Descascarado	Descascaradora	7	2	14	42,2	11	2	22	72,6	220	Trifásica
	Circuito	4	2	8		6,8	2	13,6		220	Trifásica
	Elevador	1	1	1		2	1	2		220	Trifásica
	Compresora	2	1	2		3,5	1	3,5		220	Trifásica
	Sinfín de pajilla	2,2	1	2,2		3,5	1	3,5		220	Trifásica
	Llenador de pajilla	15	1	15		28	1	28		220	Trifásica
	Mesa separadora paddy	2,2	1	2,2		18,2	4	1		4	29,5
Succionador de polvo	3	1	3	5	1		5	220	Trifásica		
Succionador de polvo	11	1	11	16,5	1		16,5	220	Trifásica		
Elevador	1	2	2	2	2		4	220	Trifásica		
Pulido I	Pulidora vertical	13	2	26	62,7	16	2	32	92,5	220	Trifásica
	Succionador de polvillo	12	1	12		17	1	17		220	Trifásica
	Succionador de polvillo	11	1	11		17	1	17		220	Trifásica
	Ventilador de pajilla	8	1	8		15,5	1	15,5		220	Trifásica
	Succionador de polvillo	1,5	1	1,5		2,8	1	2,8		220	Trifásica
	sinfín para transportar polvillo	2,2	1	2,2		4,2	1	4,2		220	Trifásica
	Elevador	1	2	2		2	2	4		220	Trifásica
Pulido II	Pulidora de agua	8	2	16	27,8	15,5	2	31	50,6	220	Trifásica
	bomba de agua	4,9	2	9,8		7,8	2	15,6		220	Trifásica
	Elevador	1	2	2		2	2	4		220	Trifásica
Clasificación	Mesa rotativa	2,2	1	2,2	6,4	4	1	4	12,1	220	Trifásica
	Clasificador	2,2	1	2,2		4,1	1	4,1		220	Trifásica
	Elevador	1	2	2		2	2	4		220	Trifásica
Selección	Selectora	1	1	1	3	1,8	1	1,8	5,8	220	Trifásica
	Elevador	1	2	2		2	2	4		220	Trifásica
Abrillantado	Sinfín para transportar arroz	1	1	1	1	2	1	2	2	220	Trifásica
Envasado	Faja transportadora	1	1	1	1,5	2	1	2	3,1	220	Trifásica
	Cosedora	0,5	1	0,5		1,1	1	1,1		220	Trifásica
Consumo total de Kilowatts (kW)					168,5						
Consumo total de Amperios (A)									278,7		
Tensión utilizada en voltios (V)										220	Trifásica

Fuente: Molino y Cía. Semper S. A. C.

- **Consumo energético del sistema productivo**

Para determinar el consumo energético real del sistema productivo se contabilizó los kilovatios utilizados por el molino registrados en los recibos de energía eléctrica del año 2017. En la tabla 20 se puede ver que el total de kWh utilizados fueron de 471 744 kWh durante ese año.

Tabla 20. Consumo energético en kWh del año 2017

Mes	Consumo de kWh por mes
Enero	40 854,65
Febrero	40 963,31
Marzo	39 445,14
Abril	38 446,17
Mayo	38 986,45
Junio	39 169,36
Julio	38 738,86
Agosto	39 968,68
Septiembre	39 156,81
Octubre	38 432,76
Noviembre	38 563,68
Diciembre	39 018,28
Total	471 744,15

Para obtener el consumo de kWh promedio por mes se dividió la cantidad total de kWh utilizados durante el año 2017 entre la cantidad de 12 meses por año. Se obtuvo que el molino consume un promedio de 39 312 kWh/mes.

$$\text{Consumo energético real} = \frac{\text{Consumo de kWh}}{\text{año}} \times \frac{1 \text{ año}}{12 \text{ meses}}$$

$$\text{Consumo energético real} = \frac{471\,744 \text{ kWh}}{\text{año}} \times \frac{1 \text{ año}}{12 \text{ meses}}$$

$$\text{Consumo energético real} = 39\,312 \frac{\text{kWh}}{\text{mes}}$$

Sin embargo, el consumo energético también se pudo hallar de otra forma, utilizando la potencia energética del sistema productivo del molino, la cual, de 168,5 kW, se multiplicó por la cantidad de 11 horas por día y 24 días laborales por mes para obtener el consumo mensual. A este consumo energético se le llama teórico ya que se emplea el diagnóstico energético de la tabla 19, y se hace la suposición de que el molino hace uso simultáneo de toda la maquinaria del

proceso productivo durante todo el mes. Se obtuvo que el consumo energético teórico es de 44 484 kWh por mes.

$$\text{Consumo energético teórico} = \text{Potencia del sistema productivo} \times \frac{\text{horas}}{\text{día}} \times \frac{\text{días}}{\text{mes}}$$

$$\text{Consumo energético teórico} = 168,5 \text{ kW} \times \frac{11 \text{ h}}{\text{día}} \times \frac{24 \text{ días}}{\text{mes}}$$

$$\text{Consumo energético teórico} = 44\,484 \frac{\text{kWh}}{\text{mes}}$$

Luego de realizar los cálculos del consumo real y el consumo teórico, se comparó estos dos y se obtuvo que existe un incremento de 13,2 % en el consumo teórico respecto al consumo real. Este incremento se generó debido a que, durante la producción de arroz pilado, el molino no hace uso simultáneo de toda la maquinaria del sistema productivo, en lugar de ello, para reducir el consumo energético y las facturas de energía eléctrica, el molino mantiene encendidas las máquinas que sean demandadas durante el proceso.

$$\text{Incremento porcentual} = \frac{\text{Consumo teórico} - \text{Consumo real}}{\text{Consumo real}}$$

$$\text{Incremento porcentual} = \frac{44\,484 \text{ kWh} - 39\,312 \text{ kWh}}{39\,312 \text{ kWh}} * 100\%$$

$$\text{Incremento porcentual} = 13,2 \%$$

- **Consumo de kWh por 1 saco de arroz pilado**

Para hallar la relación de la cantidad de kWh que se usan por la cantidad de pilado se tuvo que calcular la cantidad de arroz pilado que se produjo en el año 2017. Para ello, el molino proporcionó la siguiente información, en la tabla 21 se muestra la cantidad de sacos de arroz pilado producido durante dicho año. Se obtuvo que se piló 235 082 sacos durante dicho año.

Tabla 21. Cantidad de sacos de pilado del año 2017

Mes	Sacos de arroz pilado
Enero	21582
Febrero	21286
Marzo	20854
Abril	18745
Mayo	18769
Junio	18182
Julio	18542
Agosto	19528
Septiembre	19562
Octubre	18199
Noviembre	18958
Diciembre	20875
Total	235 082

Por lo tanto, se obtuvo que por cada saco de arroz pilado se hizo consumo de 2 kWh durante el año 2017.

$$\frac{\text{Consumo de kWh}}{\text{saco de arroz pilado}} = \frac{471\,744 \text{ kWh}}{1 \text{ año}} * \frac{1 \text{ año}}{235\,082 \text{ sacos}}$$

$$\frac{\text{Consumo de kWh}}{\text{saco de arroz pilado}} = 2 \frac{\text{kWh}}{\text{saco}}$$

- **Consumo de kWh por 1 kg de arroz pilado**

Para hallar el consumo de kWh por 1 kg de arroz pilado se realizó la misma ecuación anterior con la diferencia de que ahora se transformó la cantidad de sacos en kilogramos de arroz pilado. Esto significa que para procesar 1 kg de arroz pilado se hizo consumo de 0,04 kWh durante el año 2017.

$$\frac{\text{Consumo de kWh}}{\text{kilogramo de arroz pilado}} = \frac{471\,744 \text{ kWh}}{1 \text{ año}} * \frac{1 \text{ año}}{235\,082 \text{ sacos}} * \frac{1 \text{ saco}}{50 \text{ kg}}$$

$$\frac{\text{Consumo de kWh}}{\text{kilogramo de arroz pilado}} = 0,04 \frac{\text{kWh}}{\text{kg}}$$

3.1.6. Costo de kWh y costo energético por saco de arroz

- Costo de kWh

Para determinar el costo por kWh se sumó los montos de los recibos de energía eléctrica del año 2017 y se dividió entre la cantidad total consumida de kWh de dicho año. En la tabla 22 se muestra la cantidad de energía eléctrica utilizada en kWh y los costos mensuales que se pagaron en el año estudiado.

Tabla 22. Costos de la energía eléctrica utilizada en el año 2017

Mes	Consumo de energía eléctrica en kWh	Costo de energía eléctrica en S/.
Enero	40 854,65	17 657,90
Febrero	40 963,31	15 657,00
Marzo	39 445,14	14 275,00
Abril	38 446,17	15 114,30
Mayo	38 986,45	15 966,60
Junio	39 169,36	16 255,20
Julio	38 738,86	15 977,80
Agosto	39 968,68	15 855,10
Septiembre	39 156,81	15 278,30
Octubre	38 432,76	17 297,50
Noviembre	38 563,68	17 483,40
Diciembre	39 018,28	15 762,90
Total	471 744,15	192 581,00

Por lo tanto, se procedió a dividir el costo de S/. 192 581 entre la cantidad de 471 744 kWh y se obtuvo que el costo aproximado de energía eléctrica por kWh es de S/. 0,41.

$$\text{Costo de kWh} = \frac{\text{Costo anual de energía eléctrica}}{\text{kWh consumidos anuales}}$$

$$\text{Costo de kWh} = \frac{S/192\ 581}{471\ 744\ \text{kWh}}$$

$$\text{Costo de kWh} = \frac{S/0,41}{\text{kWh}}$$

Sin embargo, en el recibo de energía eléctrica que se muestra en la tabla 23, hay varios costos que pertenecen a distintos tipos de energía que se utilizan para el funcionamiento del molino, los cuales varían de acuerdo a su consumo, por ejemplo, la energía activa hora punta tiene un costo de S/ 0,2284 por kWh y el costo de la energía activa fuera de punta tiene el costo de S/

0,1858. Asimismo, se tienen los costos de energía reactiva, de potencia de uso de redes de distribución entre otros. Estos distintos costos que se muestran en la tabla 23 no permiten conocer el costo promedio por consumo de 1 kWh, por esta razón, se consideró como manera más idónea dividir el costo total de la energía eléctrica entre la cantidad total consumida de kWh del año 2017, como se mostró en la ecuación anterior.

La tabla 23 permite analizar los costos que se cobraron en el recibo de energía eléctrica del año 2017 de la empresa Molino y Cía. Semper S. A. C., en el cual se puede señalar que los costos de hora punta son los más altos, el costo de alumbrado público anual fue de S/. 7 691; el molino consumió un promedio de 91,7 % de energía fuera de punta y solamente un promedio de 1,3 % de energía hora punta por el costo alto que representa este tipo de energía.

Tabla 23. Características del recibo de energía eléctrica

Tipos de energía que se aplican al recibo de consumo eléctrico		Costo Unitario / kW-h		% de consumo de kW -h según el tipo	
Hora Punta (HP)	Energía activa HP	S/.	0,2284	1,3213%	
	Pot. Uso Redes Distribucion HP	S/.	11,8600	0,0279%	
	Pot. Activa generacion HP	S/.	54,3900	0,0172%	
Fuera Punta (FP)	Energía activa FP	S/.	0,1858	91,7593%	
	Exc. Pot. Uso redes dist. FP	S/.	12,0900	0,6328%	
REACTIVA	Energía reactiva	S/.	0,0428	6,2416%	
				100%	
Otros costos que se aplican al recibo de consumo eléctrico		Costo mensual		Costo Anual	
Costo Fijo		S/.	6,51	S/.	78,12
Cargo por Reposición y Mantenimiento		S/.	15,33	S/.	183,96
Alumbrado Público		S/.	640,95	S/.	7 691,40
Interés compensatorio		S/.	119,37	S/.	1 432,42
SUB TOTAL					
Impuesto General a las Ventas (18%)		18% del SUB TOTAL			
Aporte Ley Nro. 28749		Costo Unitario / kW-h		% de consumo de kW -h	
(Energía activa HP + Energía activa FP) Kw-h		S/.	0,0083	93,0806%	
TOTAL					

Fuente: Molino y Cía. Semper S. A. C.

- **Costo energético por saco de arroz**

Para determinar el costo energético por saco de arroz se utilizó la relación de que se consume 2 kWh para obtener 1 saco de arroz pilado, hallado anteriormente. Esta relación se multiplicó por el indicador de costo de kWh también calculado anteriormente. Esto dio como resultado que el saco de arroz pilado tiene un costo energético de S/ 0,82.

$$\text{Costo energético por saco de arroz} = \frac{\text{consumo de kWh}}{\text{saco de arroz pilado}} * \frac{\text{costo}}{\text{kWh}}$$

$$\text{Costo energético por saco de arroz} = \frac{2 \text{ kWh}}{\text{saco de arroz pilado}} * \frac{S/0,41}{\text{kWh}}$$

$$\text{Costo energético por saco de arroz} = S/0,82$$

3.1.7. Pronóstico de la producción de arroz pilado, de cascarilla de arroz, del consumo y costo energético generado por el sistema productivo

Los pronósticos que se realizaron para determinar la proyección de la producción de arroz pilado, de cascarilla de arroz, del consumo y costo energético, fueron hallados con el método de regresión lineal, debido a que mantienen una tendencia de crecimiento anual.

Las variables fueron proyectadas desde el año 2018 hasta el año 2025, de las cuales han sido consideradas los valores comprendidos entre el año 2019 y el año 2025, para la evaluación económica de la propuesta. Debido a que se tomó el periodo de 7 años como el adecuado para ser evaluado.

A) Proyección de arroz pilado

Para determinar la proyección de arroz pilado primero se recopiló data histórica sobre la producción de arroz pilado de los últimos 5 años. El molino proporcionó los datos históricos resumidos en la tabla 24 donde se muestra las cantidades en sacos y en kilogramos, desde el año 2013 hasta el año 2017.

Tabla 24. 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: Molino y Cía. Semper S. A. C.

En la figura 22 se presenta la proyección de arroz pilado en kg basada en la data histórica, donde se muestra que el coeficiente de correlación (R^2) es igual a 0,97, lo que significa, que el método de regresión lineal es el más idóneo para el pronóstico y que por estar cerca al 1 presenta un alto grado de fiabilidad.

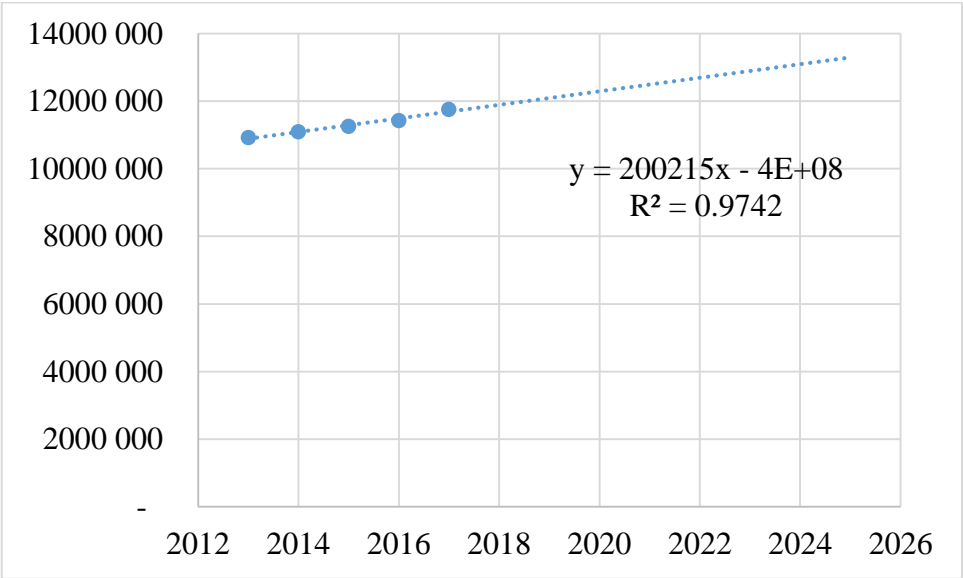


Figura 22. Proyección de la producción de arroz pilado de 2018-2025

De la proyección de arroz pilado, se muestran en la tabla 25 los valores comprendidos entre el año 2018 y 2025 de la producción de arroz pilado.

Tabla 25. Producción proyectada de arroz pilado

Año	Producción de arroz pilado en kg
2018	11 889 205
2019	12 113 024
2020	12 341 332
2021	12 562 128
2022	12 752 413
2023	12 984 276
2024	13 196 710
2025	13 407 244

B) Proyección de la cascarilla de arroz

De la misma forma que se halló la proyección de arroz pilado, para la proyección de la cascarilla de arroz, primero se obtuvo la data histórica desde el año 2013 hasta el 2015. Pero el molino no registró las cantidades de cascarilla, entonces se calculó utilizando la data histórica de arroz pilado, dividiendo esta entre el 70 %, el cual es la eficiencia promedio del proceso de pilado de arroz, para así obtener la cantidad de arroz cáscara. Luego se multiplicó la cantidad de arroz cáscara por 22 %, el cual es el porcentaje en peso de cascarilla en el grano de arroz según [2].

La tabla 26 muestra la data histórica de cascarilla de arroz hallada a partir de la data histórica de arroz pilado.

Tabla 26. Data histórica de la producción de cascarilla de arroz

Año	Cascarilla de arroz en kg
2013	3 432 581
2014	3 484 501
2015	3 537 317
2016	3 590 620
2017	3 694 146

Luego de haber hallado la data histórica se realizó la proyección de la cascarilla de arroz en kg, la figura 23 muestra el coeficiente de correlación de 0,97, el cual se interpreta que tiene alto grado de fiabilidad y que el método de regresión lineal es el adecuado.

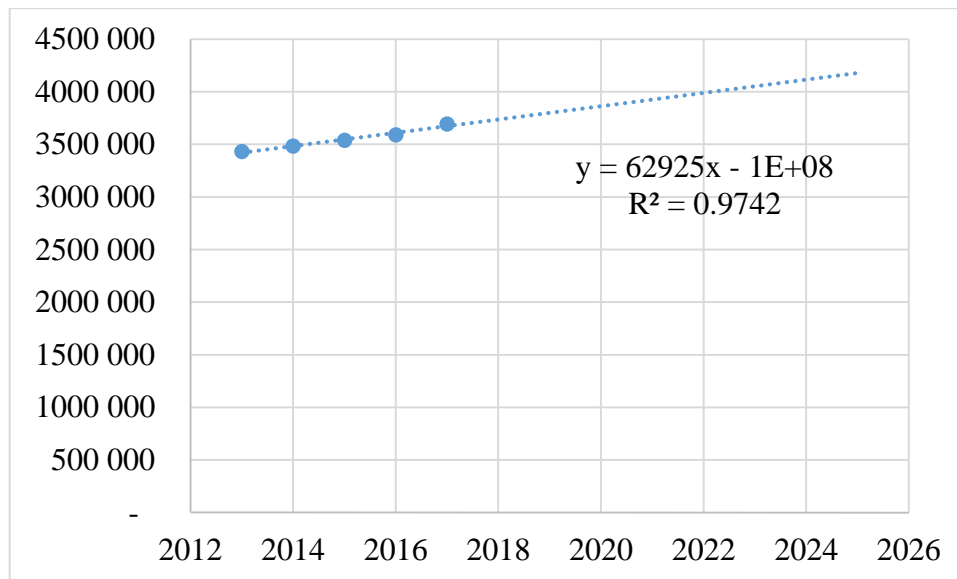


Figura 23. Proyección de la producción de cascarilla de arroz de 2018-2025

En la tabla 27 se muestra la proyección de cascarilla de arroz que se realizó desde el año 2018 hasta el 2025 hallada a partir de la data histórica.

Tabla 27. Producción proyectada de cascarilla de arroz

Año	Cascarilla de arroz en kg
2018	3 736 607
2019	3 806 950
2020	3 878 704
2021	3 948 097
2022	4 007 901
2023	4 080 773
2024	4 147 538
2025	4 213 705

C) Proyección del consumo energético en kWh

Para calcular la proyección del consumo energético en kWh se recopiló los recibos de energía eléctrica del molino desde el año 2013 hasta el 2017. En la tabla 28 se presenta la data histórica del consumo de energía eléctrica durante el periodo de 5 años.

Tabla 28. Data histórica del consumo de energía eléctrica en kWh

Año	Consumo de energía eléctrica en kWh
2013	437 367,7
2014	444 201,6
2015	451 035,5
2016	457 869,3
2017	471 744,2

Fuente: Molino y Cía. Semper S. A. C.

En la figura 24 se muestra la proyección del consumo de energía eléctrica en kWh a través del uso del método de regresión lineal, donde se obtuvo un $R^2 = 0,97$; lo que significa que los valores pronosticados tienen alto grado de fiabilidad.

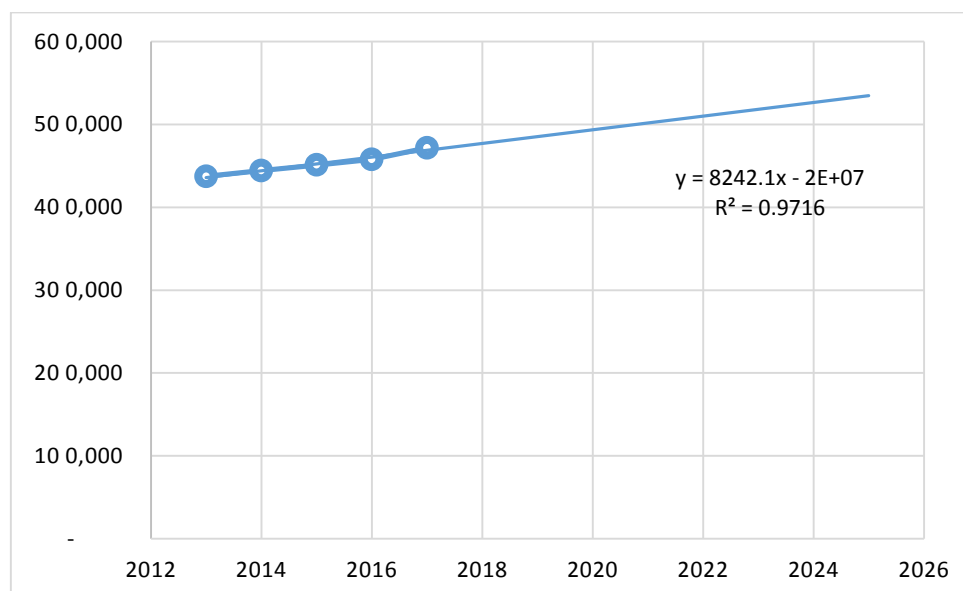


Figura 24. Proyección del consumo de electricidad de en kWh 2018-2025

En la tabla 29 se muestran los valores pronosticados desde el año 2018 hasta el 2025, estos indican las cantidades de kWh mínimas que se deben de producir para cumplir con la proyección de la producción de arroz pilado.

Tabla 29. Demanda energética proyectada

Año	Consumo de energía eléctrica en kWh
2018	478 578,0
2019	488 932,4
2020	499 286,7
2021	507 880,8
2022	518 235,2
2023	527 709,4
2024	537 183,6
2025	547 097,9

D) Proyección del costo de consumo energético en S/.

Al igual que las anteriores proyecciones, primero se obtuvo la data histórica del costo de consumo de energía eléctrica, la cual fue recopilada de los registros del molino desde el año 2013 hasta el 2017. En la tabla 30 se muestra los costos de energía eléctrica durante este periodo y también se puede ver que se han incrementado los costos año tras año.

Tabla 30. Data histórica del costo de consumo de energía eléctrica en S/.

Año	Costo de energía eléctrica en S/.
2013	175 054,5
2014	177 789,7
2015	180 567,7
2016	183 345,7
2017	192 581,0

Fuente: Molino y Cía. Semper S. A. C

En la figura 25 se muestra la proyección del costo de energía eléctrica en soles, donde se aplicó el método de regresión lineal y se obtuvo un $R^2= 0,91$; que significa que existe un alto grado de fiabilidad respecto al método aplicado.

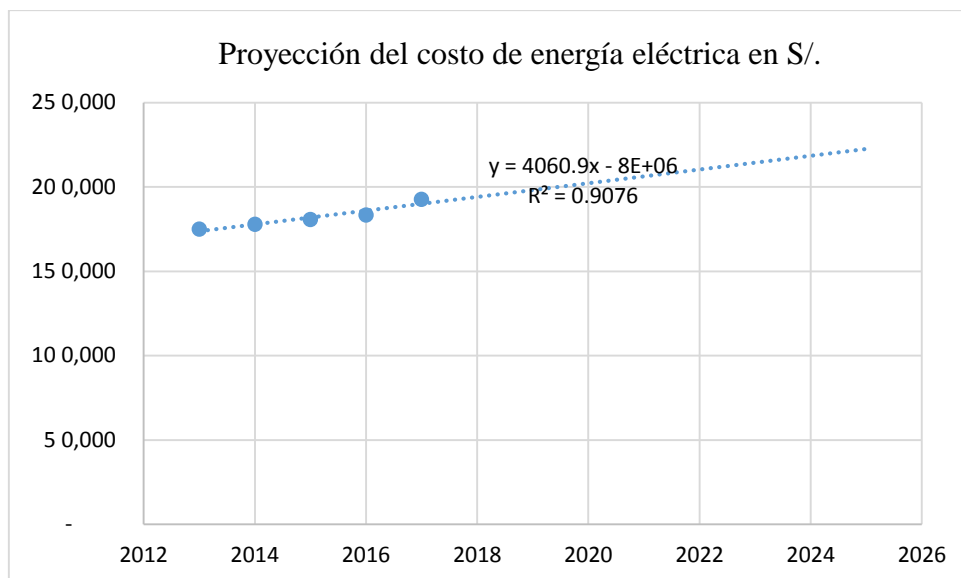


Figura 25. Proyección del costo de energía eléctrica de 2018-2025

La tabla 31 muestra los valores pronosticados desde el año 2018 hasta el año 2025, estos son los costos de energía eléctrica que se van a generar por la producción de arroz pilado proyectada. El costo energético se incrementó debido al incremento de la producción y podría considerarse también debido al incremento mismo del costo de energía eléctrica.

Tabla 31. Costo energético proyectado

Año	Costo de energía eléctrica en S/.
2018	195 359,0
2019	201 365,6
2020	207 372,3
2021	211 764,6
2022	217 771,2
2023	222 970,7
2024	228 170,2
2025	233 773,3

E) Proyección de kilovatios hora (kWh) generados con el aprovechamiento de la cascarilla

Para hallar los valores proyectados de kilovatios generados con el aprovechamiento de la cascarilla, primero se obtuvo la proyección de la cascarilla generada por el proceso productivo y luego se multiplicó por la tasa de conversión de 1 kWh por 1,8 kg de cascarilla referenciada

en [3]. En la siguiente ecuación se muestra como se llevó a cabo la conversión de cascarilla a kWh para el año 2018. Asimismo, en la tabla 32 se indica la proyección de kWh producidos con el aprovechamiento de cascarilla desde el año 2018 hasta el 2025.

$$kWh \text{ producidos} = \text{Cascarilla en kg} * \text{tasa de conversión} \left(\frac{1 \text{ kWh}}{1,8 \text{ kg cascarilla}} \right)$$

$$kWh \text{ producidos} = 3\,736\,607 \text{ kg de cascarilla} * \frac{1 \text{ kWh}}{1,8 \text{ kg de cascarilla}}$$

$$kWh \text{ producidos} = 2\,075\,893 \text{ kWh}$$

Tabla 32. Proyección de kWh generados con el aprovechamiento de cascarilla de arroz

Año	Cascarilla de arroz en kg	Tasa de conversión según [3]	Producción de kWh con el aprovechamiento de cascarilla
2018	3 736 607	1 kWh/ 1,8 kg de cascarilla	2 075 893
2019	3 806 950		2 114 972
2020	3 878 704		2 154 836
2021	3 948 097		2 193 387
2022	4 007 901		2 226 612
2023	4 080 773		2 267 096
2024	4 147 538		2 304 188
2025	4 213 705		2 340 947

F) Brecha entre la proyección de kWh requeridos y la producción de kWh a partir de la cascarilla de arroz

En la figura 26 se muestra la brecha entre la proyección de kWh requeridos y la producción de kWh a partir de la cascarilla de arroz, donde se puede apreciar claramente que la producción de kWh a partir de la cascarilla de arroz puede atender eficazmente los kWh demandados por el sistema productivo de la empresa.

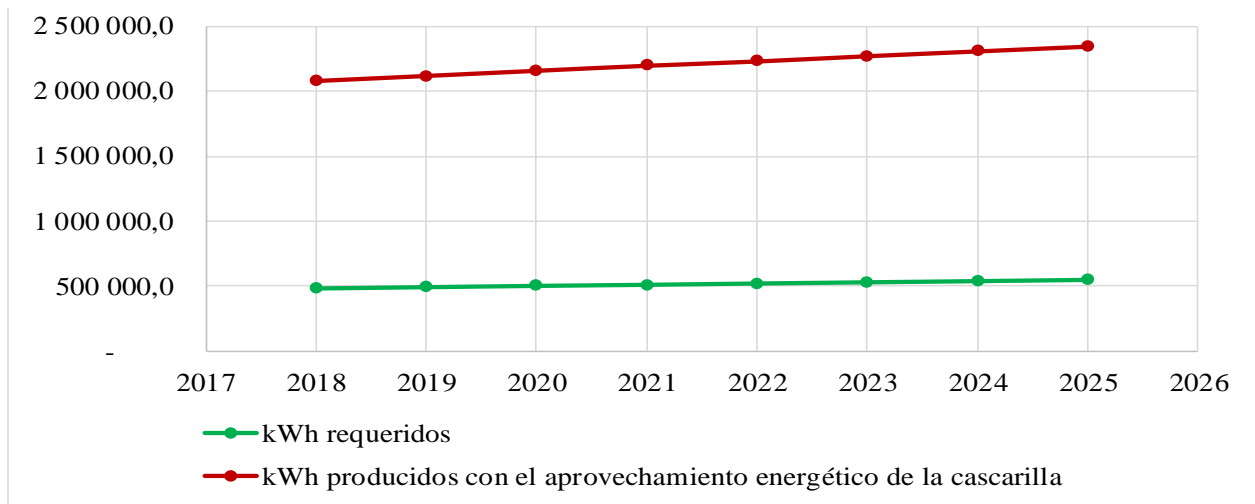


Figura 26. Brecha entre la proyección de kWh requeridos y la producción de kWh a partir de la cascarilla de arroz

G) Ahorro proyectado con el aprovechamiento energético de la cascarilla de arroz

Tomando en cuenta la figura 26 se identificó que la empresa puede ahorrar todos los costos de energía eléctrica, debido a que el aprovechamiento de la cascarilla permite producir más kWh de los que el sistema productivo demanda. En la tabla 33 se muestra el ahorro proyectado con el aprovechamiento energético de la cascarilla de arroz, el cual, sería el mismo que el costo de energía eléctrica proyectado.

Tabla 33. Ahorro proyectado de energía eléctrica en S/.

Año	Ahorro de energía eléctrica en S/.
2018	195 359,0
2019	201 365,6
2020	207 372,3
2021	211 764,6
2022	217 771,2
2023	222 970,7
2024	228 170,2
2025	233 773,3

H) Comparación de las variables pronosticadas

En la figura 27 se muestra la comparación de la producción de arroz pilado y cascarilla con el consumo de kWh y costo energético, donde se observa que la tendencia es creciente para cada variable. Significa que el incremento de la producción de arroz pilado incrementa la de cascarilla de arroz. Asimismo, si se incrementan la producción de arroz pilado se aumenta el consumo de kWh y esto simultáneamente incrementa los costos de energía eléctrica.

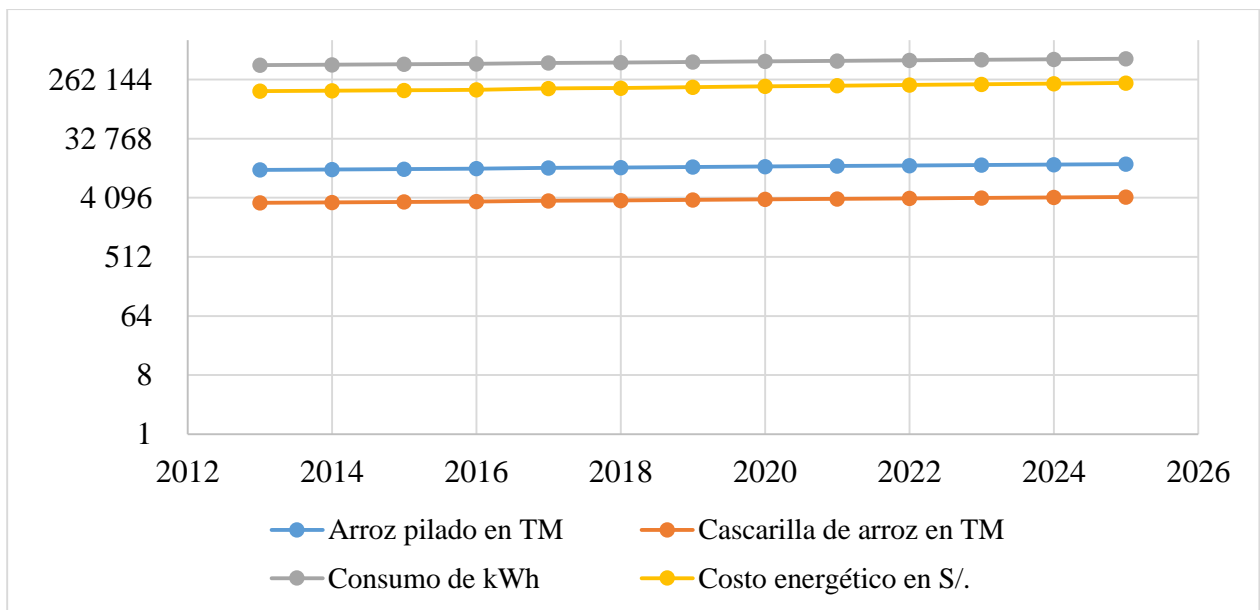


Figura 27. Comparación de la producción de arroz pilado y cascarilla con el consumo de kWh y costo energético

En la tabla 34 se resume de forma cuantitativa las variables pronosticadas desde el año 2018 hasta el 2025, donde claramente se evidencia que cada una ha aumentado anualmente y además se puede reiterar que el pronóstico de kWh producidos por la cascarilla atiende eficazmente la demanda energética del sistema productivo y, por lo tanto, el ahorro proyectado generado por el aprovechamiento de la cascarilla de arroz es el mismo que el costo de energía eléctrica pronosticado.

Tabla 34. Resumen de las variables pronosticadas

Año	Pronóstico de arroz pilado en kg	Pronóstico de la cascarilla en kg	Pronóstico del consumo eléctrico en kWh	Pronóstico de kWh producidos por la cascarilla	Pronóstico del costo de energía eléctrica	Ahorro proyectado con el uso de cascarilla de arroz
2018	11 889 205	3 736 607	478 578	2 075 893	S/. 195 359,0	S/. 195 359,0
2019	12 113 024	3 806 950	488 932	2 114 972	S/. 201 365,6	S/. 201 365,6
2020	12 341 332	3 878 704	499 287	2 154 836	S/. 207 372,3	S/. 207 372,3
2021	12 562 128	3 948 097	507 881	2 193 387	S/. 211 764,6	S/. 211 764,6
2022	12 752 413	4 007 901	518 235	2 226 612	S/. 217 771,2	S/. 217 771,2
2023	12 984 276	4 080 773	527 709	2 267 096	S/. 222 970,7	S/. 222 970,7
2024	13 196 710	4 147 538	537 184	2 304 188	S/. 228 170,2	S/. 228 170,2
2025	13 407 244	4 213 705	547 098	2 340 947	S/. 233 773,3	S/. 233 773,3

3.2. EVALUAR E IDENTIFICAR EL SISTEMA DE GASIFICACIÓN PARA EL APROVECHAMIENTO ENERGÉTICO DE LA CASCARILLA DE ARROZ

Para elegir el sistema de gasificación más idóneo se evaluó las tecnologías de gasificación a través del método de factores ponderados, para ello primero se aplicó la matriz de priorización, en la cual se determinó los valores porcentuales de cada factor. Luego haciendo uso de bibliografía se evaluó las características de cada tecnología de gasificación a través de una escala de puntaje. Posteriormente se multiplicó los valores porcentuales de los factores de evaluación por los puntajes asignados a cada característica de las tecnologías de gasificación. Finalmente se sumó los resultados obtenidos para cada tecnología de gasificación y se comparó, donde la que obtuvo mayor puntaje fue considerada como la tecnología de gasificación más idónea para el aprovechamiento energético de la cascarilla de arroz.

3.2.1. Factores de evaluación

Los siguientes factores fueron considerados como los más apropiados para la evaluación e identificación del sistema de gasificación.

- **Costos de implementación**

Se consideró este factor porque cada tipo de gasificador tiene un costo distinto de implementación que podría ser determinante para la elección de este.

- **Tecnología disponible**

Este factor es de suma relevancia ya que existen tipos de gasificadores que son hechos a escala de laboratorio y que no se podrían ubicar en el mercado comercial.

- **Cantidad de contaminantes**

Este factor hace referencia a la contaminación que puede causar los residuos como los restos de alquitrán, ceniza y otros de notable peligro para el medio ambiente, y al grado de polución que puede ser diferente para cada tipo de tecnología de gasificación.

- **Poder calorífico inferior (PCI) del gas**

Brinda una clara ventaja comparar el rendimiento del gas producido por cada tipo de gasificador, ya que, a mayor rendimiento de este, mayor producción de energía eléctrica.

- Tipo de sistema

Este factor se refiere a que el sistema de gasificación podría ser continuo o semicontinuo, y que debería ser igual al tipo de sistema que el sistema productivo de la empresa utiliza. En este caso, para la empresa sería más conveniente obtener un gasificador con sistema continuo ya que pila continuamente 11 horas por día durante el año.

- Facilidad de mantenimiento

El mantenimiento de un gasificador es un factor importante en lo que respecta a tiempo, porque la facilidad con que se realiza está relacionada con la cantidad de tiempo que se utiliza, lo cual debe ser el menor posible y no perjudique la producción de energía eléctrica y, por lo tanto, la producción de arroz pilado.

- Capacidad de potencia en kW

Este factor se refiere al tipo de escala de producción en la cual la tecnología de gasificación puede funcionar a óptimas condiciones. Esto significa que cada tipo de gasificador es eficiente, pero a escalas distintas. Para la empresa se requiere que el gasificador trabaje impecable a pequeña escala, es decir, en el rango de 1 kW a 1 MW, debido a que en el diagnóstico energético del sistema productivo se determinó que se requiere una potencia de 169 kW aproximadamente como mínimo.

3.2.2. Matriz de priorización

Según Camisón, Cruz y Gonzáles [42] las matrices de priorización son herramientas para priorizar actividades, temas, características de productos o servicios, etc., a partir de criterios de ponderación conocidos. Se utilizan para la toma de decisiones. Asimismo, se señala que hay 2 métodos válidos para la construcción de las matrices de priorización: el método del criterio analítico completo y el método del consenso de criterios. Para la presente investigación se escogió el método de criterio analítico completo, porque la decisión a tomar es crítica para la organización y porque todos los criterios son relevantes y significativos.

Los pasos que siguieron para la construcción de la matriz de priorización fueron los siguientes:

1. Definir el objetivo a alcanzar

En este objetivo lo que se pretende conseguir es la identificación de la tecnología de gasificación más idónea que permita el aprovechamiento energético de la cascarilla para incrementar la rentabilidad del Molino y Cía. Semper S. A. C.

2. Crear un listado de criterios a aplicar a los factores generados

Luego de una discusión con la gerente del molino se estableció la siguiente serie de criterios para poder llevar a cabo el proceso de priorización entre los factores, estos criterios reflejan el resultado deseado. Los criterios son los siguientes:

- Criterio 1: Disminuir el costo energético
- Criterio 2: Rapidez en la implementación
- Criterio 3: Incrementar la producción

3. Juzgar la importancia relativa de cada criterio en comparación con los otros criterios

A partir del listado de criterios generados, el siguiente paso que se realizó fue determinar la importancia de cada uno de ellos, es decir, se valoró cada criterio asignándole una puntuación. Para llevar a cabo la valoración se utilizó la siguiente escala de puntuación:

- 1= Igualdad en importancia
- 2= Más importante
- 5= Significativamente más importante

En la tabla 35 se comparó la importancia relativa de cada criterio respecto al resto de criterios utilizando una escala predefinida. En la matriz se lee por filas y la interpretación de la misma es la siguiente: el criterio 1 “Disminuir el costo energético” es significativamente más importante que el criterio 2 “Rapidez en la implementación”, y también se le consideró más importante que el criterio 3 “Incrementar la producción”. En la segunda fila se observa que el criterio 2 es menos importante que el criterio 1 y 3, por lo que las 2 celdas quedaron en blanco. En la tercera fila, el criterio 3 se considera menos importante que el que el criterio 1, pero se considera significativamente más importante que el criterio 2 (celda con un 5).

Tabla 35. Asignación de puntaje a los criterios

	Disminuir el costo energético	Rapidez en la implementación	Incrementar la producción	Total Fila (% Valoración)
Disminuir el costo energético		5	2	
Rapidez en la implementación				
Incrementar la producción		5		
Total columna				

En la tabla 36 se muestra que para completar la matriz se registró en las celdas de blanco los valores inversos a sus simétricos. A continuación, se sumaron las puntuaciones de cada columna y se anotó el total obtenido. Después se sumaron los totales de todas las columnas y se registró en el total global. Posteriormente se sumaron los valores de cada fila de la matriz y se dividió el valor total obtenido de cada fila entre el total global para convertirlo en un porcentaje. Este porcentaje es la puntuación ponderada que se utilizará como multiplicador en la matriz final de comparación de todos los factores.

Tabla 36. Desarrollo de la matriz de ponderación

	Disminuir el costo energético	Rapidez en la implementación	Incrementar la producción	Total Fila (% Valoración)
Disminuir el costo energético		5	2	7 (0.54)
Rapidez en la implementación	1/5		1/5	0,4(0.03)
Incrementar la producción	1/2	5		5,5 (0.43)
Total columna	0,7	10	2,2	12,9

Los resultados de la ponderación de los criterios se muestran en la tabla 37, donde se identificó el criterio 1 “Disminuir el costo energético” como el más importante de todos.

Tabla 37. Ponderación de los criterios

Criterios	Ponderación
Disminuir el costo energético	54 %
Incrementar la producción	43 %
Rapidez en la implementación	3 %

4. Comparar todos los factores considerados con los criterios ponderados

Luego de haber hallado la ponderación de los criterios, se analizó como cada uno de los factores contribuye a satisfacer cada uno de los criterios. Se desarrollaron 3 matrices, lo cual es igual al número de criterios generados y se procedió a completarlas conforme a los explicado en el paso anterior. Para completar se utilizó la misma escala numérica:

- 1= Igualdad en importancia
- 2= Más importante
- 5= Significativamente más importante

En la tabla 38 se muestra la matriz para el criterio 1 “Disminuir el costo energético”. La interpretación de esta matriz indica que los factores que más impacto tienen sobre la disminución de costo energético son, en orden de importancia: tecnología disponible; al mismo nivel poder calorífico inferior, tipo de sistema y capacidad de potencia en kW; seguido por costos de implementación, facilidad de mantenimiento; y, por último, cantidad de contaminantes.

Tabla 38. Matriz para el criterio 1 “Disminución del costo energético”

CRITERIO 1	Costos de implementación	Tecnología disponible	Cantidad de contaminantes	Poder calorífico inferior del gas	Tipo de sistema	Facilidad de mantenimiento	Capacidad de potencia en kW o escala	Totales de fila (% total)
Costos de implementación		1/5	5	1	1	2	1	10,2 (0,12)
Tecnología disponible	5		5	5	5	5	5	30 (0,34)
Cantidad de contaminantes	1/5	1/5		1/5	1/5	1/5	1/5	1,2 (0,01)
Poder calorífico inferior del gas	1	1/5	5		1	5	1	13,2 (0,15)
Tipo de sistema	1	1/5	5	1		5	1	13,2 (0,15)
Facilidad de mantenimiento	1/2	1/5	5	1/5	1/5		1/5	6,3 (0,08)
Cap. de potencia en kW	1	1/5	5	1	1	5		13,2 (0,15)
Totales de columna	8,7	1,2	30	8,4	8,4	22,2	8,4	87,3

En la tabla 39 se muestra la matriz para el criterio 2 “Rapidez en la implementación”. La interpretación de esta matriz indica que los factores más rápidos de implementar son, por orden de rapidez: tecnología disponible, costos de implementación, capacidad de potencia en kW, tipo de sistema; y, por último, también al mismo nivel, cantidad de contaminantes, poder calorífico inferior del gas y facilidad de mantenimiento.

Tabla 39. Matriz para el criterio 2 “Rapidez en la implementación”

CRITERIO 2	Costos de implementación	Tecnología disponible	Cantidad de contaminantes	Poder calorífico inferior del gas	Tipo de sistema	Facilidad de mantenimiento	Capacidad de potencia en kW o escala	Totales de fila (% total)
Costos de implementación		1/5	5	5	5	5	5	25,2 (0,25)
Tecnología disponible	5		5	5	5	5	5	30 (0,30)
Cantidad de contaminantes	1/5	1/5		1	1/5	1	1/5	2,8 (0,03)
Poder calorífico inferior del gas	1/5	1/5	1		1/5	1	1/5	2,8 (0,03)
Tipo de sistema	1/5	1/5	5	5		5	1/5	15,6 (0,16)
Facilidad de mantenimiento	1/5	1/5	1	1	1/5		1/5	2,8 (0,03)
Cap. de potencia en kW	1/5	1/5	5	5	5	5		20,4 (0,20)
Totales de columna	6	1,2	22	22	15,6	22	10,8	99,6

En la tabla 40 se muestra la matriz para el criterio 3 “Incremento de la producción”. La interpretación de esta matriz indica que los factores que más impacto tienen sobre el incremento de la producción son, en orden de importancia: tecnología disponible; al mismo nivel, poder calorífico inferior del gas, tipo de sistema y capacidad de potencia en kW, seguido por facilidad de mantenimiento; y, por último, también al mismo nivel, costos de implementación y cantidad de contaminantes.

Tabla 40. Matriz para el criterio 3 “Incremento de la producción”

CRITERIO 3	Costos de implementación	Tecnología disponible	Cantidad de contaminantes	Poder calorífico inferior del gas	Tipo de sistema	Facilidad de mantenimiento	Capacidad de potencia en kW o escala	Totales de fila (% total)
Costos de implementación		1/5	1	1/5	1/5	1/2	1/5	2,3 (0,02)
Tecnología disponible	5		5	5	5	5	5	30 (0,35)
Cantidad de contaminantes	1	1/5		1/5	1/5	1/5	1/5	2 (0,02)
Poder calorífico inferior del gas	5	1/5	5		1	2	1	14,2 (0,17)
Tipo de sistema	5	1/5	5	1		2	1	14,2 (0,17)
Facilidad de mantenimiento	2	1/5	5	1/2	1/2		1/2	8,7 (0,10)
Capacidad de potencia en kW	5	1/5	5	1	1	2		14,2 (0,17)
Totales de columna	23	1,2	26	7,9	7,9	11,7	7,9	85,6

5. Comparar cada factor a partir de la combinación de todos los criterios

En este paso, se construyó una matriz en L donde se registraron los diferentes factores en las filas y todos los criterios en las columnas. A continuación, se transfirieron las puntuaciones (porcentajes) de la matriz obtenida en el paso 3 (tabla 37) colocándolas bajo las columnas correspondientes a cada criterio. Posteriormente se registró las puntuaciones obtenidas en el paso 4 para cada criterio. En la tabla 41 se muestra el desarrollo de la matriz descrita.

Tabla 41. Asignación de puntaje a los criterios

	Disminuir el costo energético	Rapidez en la implementación	Incrementar la producción	Totales de fila (%Total)
Costos de implementación	0,12	0,25	0,02	
Tecnología disponible	0,34	0,30	0,35	
Cantidad de contaminantes	0,01	0,03	0,02	
Poder calorífico inferior del gas	0,15	0,03	0,17	
Tipo de sistema	0,15	0,16	0,17	
Facilidad de mantenimiento	0,08	0,03	0,10	
Capacidad de potencia en kW	0,15	0,20	0,17	
% Total global	0,54	0,03	0,43	1,00

En un siguiente paso, se multiplicó cada porcentaje (de cada criterio) por la puntuación anotada en el paso anterior en la tabla 41. Como resultado se obtuvo la tabla 42.

Tabla 42. Multiplicación de los valores porcentuales de cada criterio por las puntuaciones de los factores

	Disminuir el costo energético	Rapidez en la implementación	Incrementar la producción	Totales de fila (%Total)
Costos de implementación	0,12 x 0,54 0,06	0,25 x 0,03 0,01	0,02 x 0,43 0,01	
Tecnología disponible	0,34 x 0,54 0,18	0,30 x 0,03 0,01	0,35 x 0,43 0,15	
Cantidad de contaminantes	0,01 x 0,54 0,01	0,03 x 0,03 0,001	0,02 x 0,43 0,01	
Poder calorífico inferior del gas	0,15 x 0,54 0,08	0,03 x 0,03 0,001	0,17 x 0,43 0,07	
Tipo de sistema	0,15 x 0,54 0,08	0,16 x 0,03 0,01	0,17 x 0,43 0,07	
Facilidad de mantenimiento	0,08 x 0,54 0,04	0,03 x 0,03 0,001	0,10 x 0,43 0,04	
Capacidad de potencia en kW	0,15 x 0,54 0,08	0,20 x 0,03 0,01	0,17 x 0,43 0,07	
% Total global	0,54	0,03	0,43	1,00

Por último, se sumó la puntuación de cada factor y se registró el resultado en la última columna (Totales de fila). En la tabla 43 se muestra los datos convertidos a porcentajes dividiendo la puntuación entre el total global.

Tabla 43. Sumatoria de la puntuación de cada factor

	Disminuir el costo energético	Rapidez en la implementación	Incrementar la producción	Totales de fila (%Total)
Costos de implementación	0,06	0.01	0,01	0,08
Tecnología disponible	0,18	0,01	0,15	0,35
Cantidad de contaminantes	0,01	0,001	0,01	0,02
Poder calorífico inferior del gas	0,08	0,001	0,07	0,15
Tipo de sistema	0,08	0,01	0,07	0,16
Facilidad de mantenimiento	0,04	0,001	0,04	0,08
Capacidad de potencia en kW	0,08	0,01	0,07	0,16
% Total global	0,54	0,03	0,43	1,00

En la tabla 44 se muestra la matriz donde se define la valoración porcentual de los factores. Estos valores son el resultado del proceso de priorización, a través del cual, se cumplió con los 3 criterios establecidos para la identificación de la tecnología de gasificación más idónea.

Tabla 44. Matriz de valoración porcentual de los factores para la elección de la tecnología de gasificación más idónea

Factores	Valoración porcentual
Tecnología disponible	35 %
Tipo de sistema	16 %
Capacidad de potencia en kW	16 %
Poder calorífico inferior del gas	15 %
Costos de implementación	8 %
Facilidad de mantenimiento	8 %
Cantidad de contaminantes	2 %
Total	100 %

3.2.3. Evaluación de las tecnologías de gasificación

Para evaluar las tecnologías de gasificación, se utilizó el apoyo de referencias bibliográficas para describir objetivamente los factores de evaluación para cada tipo de tecnología, y luego se

les calificó con una escala de puntuación de 2 a 10. La tabla 45 muestra la escala de puntuación con la cual se evaluó las tecnologías de gasificación.

Tabla 45. Escala de puntuación

Calificación	Valor
Deficiente	2
Regular	4
Bueno	6
Muy bueno	8
Excelente	10

A continuación, las tablas 46, 47, 48, 49 y 50 muestran la caracterización para cada tipo de tecnología de gasificación relativa a los factores de evaluación, y respaldada por información fidedigna.

Tabla 46. Caracterización del gasificador de corriente ascendente

Factores	Gasificador de corriente ascendente
Costos de implementación	En [30] se indica que las ventajas del gasificador de corriente ascendente incluyen: (1) relativamente proceso simple y de bajo costo, (2) equipado para procesar materias primas (como la biomasa) con una alta humedad y alto contenido inorgánico (como los residuos sólidos municipales) y (3) tecnología probada.
Tecnología disponible	En [10] hace referencia a este tipo de gasificador como la técnica más antigua y la que cuenta con mayor número de instalaciones industriales, por lo tanto, se puede concluir, que hay tecnología disponible.
Facilidad de mantenimiento	En [29] se señala que el gas productor combustible resultante es rico en hidrocarburos (alquitranes) y, por tanto, tiene un poder calorífico más alto. Sin embargo, requerirá un mantenimiento más exhaustivo que los de corriente descendente.
Cantidad de contaminantes	En [29] hace referencia que estos gasificadores, producen un gas rico en hidrocarburos, por lo tanto, tiene un alto contenido de alquitrán. En [8] indica que debido a la desgasificación y devolatilización del sólido se realiza en una zona de baja temperatura de gases (200 - 500 °C) no se produce la descomposición de los aceites, alquitranes y gases formados (fenoles, amoniaco y H ₂ S) obteniéndose un gas bastante contaminado. Debido a esto, los fabricantes han incluido dos etapas, los cuales disponen de una toma de gas en la zona de gasificación obteniendo un gas de elevada pureza, siendo únicamente una pequeña porción del gas formado en esa zona el que se emplea para calentar el sólido entrante, obteniéndose una menor cantidad de gases contaminados lo que simplifica el sistema de depuración.
PCI de gas	En [27] se señala que el gas productor combustible resultante es rico en hidrocarburos (alquitranes) y, por lo tanto, tiene un poder calorífico más alto, lo cual hace que los gasificadores de corriente ascendente sean más adecuados cuando se necesita calor, como en hornos. Pero si se quiere generar electricidad, será necesario ser limpiado a fondo. En [31] se indica que la mayoría de los gasificadores de lecho fijo son soplados por aire y producen gases de bajo poder calorífico, aunque los diseños soplados por oxígeno han sido probados como más eficientes. En [33] se califica al gas producto de este tipo de gasificador como syngas pobre.
Tipo de sistema	En [33] se señala que los gasificadores de lecho fijo, son lo más adecuados para aplicaciones a pequeña y mediana escala con requerimientos térmicos de hasta pocos MW. A grandes escalas, estos gasificadores pueden encontrar problemas con la alimentación de biomasa, esto conlleva a un flujo irregular de gas, por lo que conseguir temperaturas uniformes a lo largo del gasificador puede ser difícil debido a la ausencia de mezclado en la zona de reacción.
Capacidad de potencia en kW	En [34] se indica que este tipo de gasificadores son más convenientes para la generación entre 1 MW y 10 MW.

Tabla 47. Caracterización del gasificador de corriente descendente

Factores	Gasificador de corriente descendente
Costos de implementación	En [30] se indica que las ventajas del gasificador de corriente descendente son: (1) se consume hasta 99.9% p / p del alquitrán formado, que requiere una eliminación mínima o de limpieza del alquitrán del producto gases, (2) los minerales de materia prima permanecen con el carbón / cenizas, reduciendo la necesidad de un ciclón, y (3) proceso relativamente simple y de bajo costo.
Tecnología disponible	En [10] hace referencia a este tipo de gasificador como la técnica más antigua y la que cuenta con mayor número de instalaciones industriales, por lo tanto, se puede concluir, que cumple con el criterio de tecnología disponible.
Facilidad de mantenimiento	En [34] se hace referencia a los gasificadores de corriente descendente como reactores con ventajas tecnológicas respecto a la simplicidad de operación y mantenimiento. La configuración de corrientes paralelas permite obtener un gas de bajo contenido de alquitranes; de calentamiento indirecto porque permite obtener un gas con mayor poder calorífico al no tener una zona de combustión al interior del mismo y vapor de agua como agente de reacción por su disponibilidad e incremento en el poder calorífico del gas obtenido debido a su alta reactividad.
Cantidad de contaminantes	En [29] se indica que este tipo de gasificador genera un gas con bajo contenido de alquitrán y cenizas, y es adecuado para motores a gas. En [8] se indica que su principal ventaja es la obtención de un gas con un bajo contenido en alquitranes y otros condensables.
PCI de gas	En [4] se indica que el poder calorífico superior (PCS) haciendo uso de cascarilla de arroz es de 5,19 MJ/ Nm ³ . En [33] se indica que la mayoría de los gasificadores de lecho fijo son soplados por aire y producen gases de bajo poder calorífico, aunque los diseños soplados por oxígeno han sido probados como más eficientes. En [35] se califica al gas producto de este tipo de gasificador como syngas pobre.
Tipo de sistema	En [33] se señala que los gasificadores de lecho fijo, son lo más adecuados para aplicaciones a pequeña y mediana escala con requerimientos térmicos de hasta pocos MW. A grandes escalas, estos gasificadores pueden encontrar problemas con la alimentación de biomasa, esto conlleva a un flujo irregular de gas, por lo que conseguir temperaturas uniformes a lo largo del gasificador puede ser difícil debido a la ausencia de mezclado en la zona de reacción.
Capacidad de potencia en kW	En [36] se indica que este tipo de gasificadores son más convenientes para la generación entre 1 kW y 1 MW.

Tabla 48. Caracterización del gasificador de corriente cruzada

Factores	Gasificador de corriente cruzada
Costos de implementación	En [10] se indica que los gasificadores de corriente cruzada tienen algunas ventajas sobre otros tipos de gasificadores, incluyendo su simplicidad y los costes de inversión relativamente bajos.
Tecnología disponible	En [10] hace referencia a este tipo de gasificador como la técnica más antigua y la que cuenta con mayor número de instalaciones industriales, por lo tanto se puede concluir, que cumple con el criterio de tecnología disponible.
Facilidad de mantenimiento	En [29] se señala que este gasificador tiene distintas ventajas como una construcción compacta y bajos requerimientos de limpieza.
Cantidad de contaminantes	En [29] se indica que este gasificador no requiere una rejilla, las cenizas caen al fondo y no interfieren en el funcionamiento normal. En [33] se indica que la principal desventaja es el alto contenido de alquitrán obtenido.
PCI de gas	En [10] se indica que los productos son gas de bajo poder calorífico y coque. En escala piloto se obtuvo utilizando combustible derivado de desperdicios densificado (RDF) un gas con un PCI de 2,8 kJ/ Nm ³ . En [33] se indica que la mayoría de los gasificadores de lecho fijo son soplados por aire y producen gases de bajo poder calorífico, aunque los diseños soplados por oxígeno han sido probados como más eficientes. En [35] se califica al gas producto de este tipo de gasificador como syngas pobre.
Tipo de sistema	En [33] se señala que los gasificadores de lecho fijo, son lo más adecuados para aplicaciones a pequeña y mediana escala con requerimientos térmicos de hasta pocos MW. A grandes escalas, estos gasificadores pueden encontrar problemas con la alimentación de biomasa, esto conlleva a un flujo irregular de gas, por lo que conseguir temperaturas uniformes a lo largo del gasificador puede ser difícil debido a la ausencia de mezclado en la zona de reacción.
Capacidad de potencia en kW	En [29] se indica que este tipo de gasificadores son más convenientes para operaciones a pequeña escala; por lo tanto, se le considera para la generación entre 1 kW y 1 MW.

Tabla 49. Caracterización del gasificador lecho fluidizado burbujeante

Factores	Gasificador de lecho fluidizado burbujeante
Costos de implementación	En [10] se indica que los gasificadores de lecho fluidizado tienen un bajo coste y gran flexibilidad.
Tecnología disponible	En [10] hace referencia que son gasificadores de construcción más sencilla que de los de lecho fijo y asimismo fueron uno de los primeros en desarrollarse y actualmente se cuenta con tecnología muy avanzada.
Facilidad de mantenimiento	En [30], se explica que los gasificadores de lecho fluidizado en comparación con los gasificadores de lecho fijo, la secuencia de procesos del reactor (secado, pirólisis, oxidación y reducción) no es evidente en cualquier punto específico del gasificador ya que estos procesos ocurren en el todo el reactor dando como resultado un tipo de reacción más homogéneo, llevando a temperaturas más constantes y más bajas dentro del reactor y, por lo tanto, no hay puntos calientes. Debido a las temperaturas de operación más bajas, la ceniza no se derrite y se elimina más fácilmente del reactor. En adición, constituyentes que contienen azufre y que contienen cloro de la materia prima puede ser absorbido en el material de lecho inerte eliminando así el peligro de ensuciamiento y reducción de los costos de mantenimiento.
Cantidad de contaminantes	En [31] se indica que en los gasificadores de lecho fluidizado burbujeante, se debe hacer uso de la mezcla de dolomita calcinada y olivino, para reducir significativamente el contenido de alquitrán, aunque también afecte a su poder calorífico, reduciéndolo ligeramente. En [30], el autor indica que las ventajas del gasificador de lecho fluidizado burbujeante son: (1) produce un gas producto uniforme, (2) exhibe una temperatura casi uniforme distribución en todo el reactor, (3) puede aceptar una amplia gama de tamaños de partículas de combustible, incluidas las multas, (4) proporciona altas tasas de transferencia de calor entre material inerte, combustible y gas, y (5) alta conversión es posible con bajo contenido de alquitrán y carbono no convertido.
PCI de gas	En [35] se califica al gas producto de este tipo de gasificador como syngas pobre.
Tipo de sistema	En [33] se señala que los gasificadores de lecho fluidizado pueden ser dimensionados para instalaciones de mediana y gran escala y son los más adecuados para situaciones donde hay una relativa demanda constante del gas resultante.
Capacidad de potencia en kW	En [36] se indica que este tipo de gasificadores son más convenientes para la generación entre un poco más de 1 MW y menos de 100 MW.

Tabla 50. Caracterización del gasificador lecho fluidizado circulante

Factores	Gasificador de lecho fluidizado circulante
Costos de implementación	En [10] se indica que los gasificadores de lecho fluidizado tienen un bajo coste y gran flexibilidad, sin embargo, su producción no ha sido mayor que el gasificador de lecho fijo, por lo que su costo puede ser un poco más alto que de los de tipo lecho fijo.
Tecnología disponible	En [10] hace referencia que son gasificadores de construcción más sencilla que de los de lecho fijo y asimismo fueron uno de los primeros en desarrollarse y actualmente se cuenta con tecnología muy avanzada.
Facilidad de mantenimiento	En [30], se explica que los gasificadores de lecho fluidizado en comparación con los gasificadores de lecho fijo, la secuencia de procesos del reactor (secado, pirólisis, oxidación y reducción) no es evidente en cualquier punto específico del gasificador ya que estos procesos ocurren en el todo el reactor dando como resultado un tipo de reacción más homogéneo, llevando a temperaturas más constantes y más bajas dentro del reactor y, por lo tanto, no hay puntos calientes. Debido a las temperaturas de operación más bajas, la ceniza no se derrite y se elimina más fácilmente del reactor. En adición, constituyentes que contienen azufre y que contienen cloro de la materia prima puede ser absorbido en el material de lecho inerte eliminando así el peligro de ensuciamiento y reducción de los costos de mantenimiento.
Cantidad de contaminantes	En [30] se explica que las ventajas del gasificador de lecho fluidizado circulante son: (1) es adecuado para reacciones rápidas, (2) las altas tasas de transporte de calor son posibles debido a la alta capacidad de calor del material de la cama, y (3) altas tasas de conversión son posible con bajo contenido de alquitrán y carbono no convertido.
PCI del gas	En [33] se indica que en este tipo de gasificador, existe una tubería de retorno al reactor, como consecuencia de la recirculación, se obtienen gases de síntesis con un poder calorífico 3 veces superior al de los gasificadores convencionales, en el promedio de 4-6 MJ/Nm ³ . En [33] se califica al gas producto de este tipo de gasificador como syngas medio.
Tipo de sistema	En [33] se señala que los gasificadores de lecho fluidizado pueden ser dimensionados para instalaciones de mediana y gran escala y son los más adecuados para situaciones donde hay una relativa demanda constante del gas resultante.
Capacidad de potencia en kW	En [36] se indica que este tipo de gasificadores son más convenientes para la generación entre 10 MW y un poco más de 100 MW.

En la tabla 51 se muestra el resultado de la calificación para cada tipo de gasificador llevado a cabo según la bibliografía consultada y con la escala de puntuación mostrada en la tabla 45.

Tabla 51. Calificación de los tipos de tecnología de gasificación

Factores de evaluación	Gasificador de corriente ascendente	Gasificador de corriente descendente	Gasificador de corriente cruzado	Gasificador de lecho fluidizado burbujeante	Gasificador de lecho fluidizado circulante
Costos de implementación	Muy Bueno (8)	Muy Bueno (8)	Muy Bueno (8)	Muy Bueno (8)	Muy Bueno (8)
Tecnología disponible	Muy Bueno (8)	Muy Bueno (8)	Muy Bueno (8)	Muy Bueno (8)	Muy Bueno (8)
Facilidad de mantenimiento	Regular (4)	Muy Bueno (8)	Bueno (6)	Muy Bueno (8)	Muy Bueno (8)
Cantidad de contaminantes	Regular (4)	Muy Bueno (8)	Deficiente (2)	Bueno (6)	Muy Bueno (8)
Poder calorífico inferior del gas	Bueno (6)	Bueno (6)	Bueno (6)	Bueno (6)	Bueno (6)
Tipo de sistema	Muy Bueno (8)	Muy Bueno (8)	Deficiente (2)	Bueno (8)	Bueno (8)
Capacidad de potencia en kW	Deficiente (2)	Muy Bueno (8)	Muy Bueno (8)	Deficiente (2)	Deficiente (2)

3.2.4. Elección de la tecnología de gasificación más idónea

Luego de haber calificado cada tipo de gasificador según los factores de evaluación, se eligió la tecnología de gasificación más idónea, para ello, se utilizó los porcentajes correspondientes de los factores de evaluación establecidos en la tabla 44. Estos valores porcentuales se multiplicaron por las calificaciones de cada tipo tecnología de gasificación. Posteriormente se sumó las cantidades obtenidas de cada tipo de gasificador y se escogió la que tuvo mayor puntaje.

En la tabla 52 se muestran las operaciones realizadas y se indica que el gasificador de corriente descendente, que obtuvo el mayor puntaje, es la tecnología de gasificación más idónea para el aprovechamiento energético de la cascarilla de arroz.

Tabla 52. Elección de la tecnología de gasificación más idónea

Factores de evaluación	% Valoración	Gasificador de corriente ascendente	Gasificador de corriente descendente	Gasificador de corriente cruzado	Gasificador de lecho fluidizado burbujeante	Gasificador de lecho fluidizado circulante
Costos de implementación	8 %	0,08 x 8 0,64	0,08 x 8 0,64	0,08 x 8 0,64	0,08 x 8 0,64	0,08 x 8 0,64
Tecnología disponible	35 %	0,35 x 8 2,8	0,35 x 8 2,8	0,35 x 8 2,8	0,35 x 8 2,8	0,35 x 8 2,8
Facilidad de mantenimiento	8 %	0,08 x 4 0,32	0,08 x 8 0,64	0,08 x 6 0,48	0,08 x 8 0,64	0,08 x 8 0,64
Cantidad de contaminantes	2 %	0,02 x 4 0,08	0,02 x 8 0,16	0,02 x 2 0,04	0,02 x 6 0,12	0,02 x 8 0,16
Poder calorífico inferior del gas	15 %	0,15 x 6 0,9	0,15 x 6 0,9	0,15 x 6 0,9	0,15 x 6 0,9	0,15 x 6 0,9
Tipo de sistema	16 %	0,16 x 8 1,28	0,16 x 8 1,28	0,16 x 2 0,32	0,16 x 8 1,28	0,16 x 8 1,28
Capacidad de potencia en kW	16 %	0,16 x 2 0,32	0,16 x 8 1,28	0,16 x 8 1,28	0,16 x 2 0,32	0,16 x 2 0,32
TOTAL	100%	6,34	7,70	6,46	6,70	6,74

3.3. DISEÑO DEL SISTEMA DE GASIFICACIÓN QUE PERMITA EL APROVECHAMIENTO ENERGÉTICO DE LA CASCARILLA DE ARROZ

Para realizar el diseño del sistema de gasificación y generación de electricidad, primero se definieron las entradas y salidas del proceso global; como entrada (input) se tiene el flujo de cascarilla más el aire y como salida (output) la potencia. Para calcular el flujo de cascarilla más aire, primero se determinó la potencia deseada, y en base a ella, se halló el input necesario.

En la figura 28 se muestra que la potencia deseada es de 180 kW por hora y que para alcanzarla se requieren procesar 324 kg/h de cascarilla de arroz y 277,3 kg/h de aire.

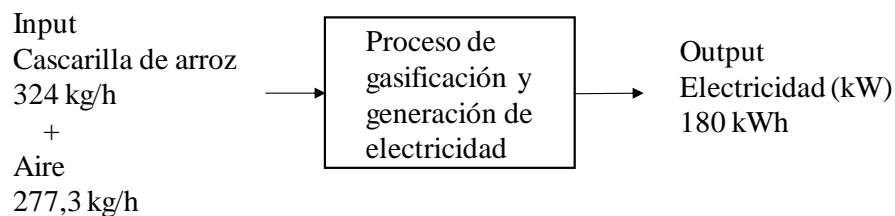


Figura 28. Input y output del proceso de gasificación y generación de electricidad

El molino consume 168,5 kW por hora en su máxima capacidad, es decir, haciendo uso total de la línea de producción. Pero por algún cambio de maquinaria en el futuro que pueda variar la potencia de uso total, se consideró 180 kW la potencia deseada. Por lo tanto, la cascarilla necesaria se calculó empleando la referencia [3], la cual estableció que para generar 1 kWh se requiere 1,8 kg de cascarilla de arroz en un gasificador de corriente descendente (downdraft). Se obtuvo que se demanda procesar 324 kg/h de cascarilla de arroz.

$$\text{Cascarilla de arroz} = 180 \text{ kW} * \frac{1,8 \text{ kg}}{1 \text{ kWh}}$$

$$\text{Cascarilla de arroz} = 324 \frac{\text{kg}}{\text{h}}$$

Para determinar la cantidad de aire de ingreso se utilizó la referencia [4] donde indica que para transformar 23,86 kg/h de cascarilla de arroz en syngas en un gasificador downdraft se requieren 20,42 kg/h de aire. Por lo tanto, se obtuvo que para 324 kg/h se requiere 277,3 kg/h de aire para la producción del syngas.

$$\text{Flujo de aire} = \frac{324 \text{ kg/h} \times 20,42 \text{ kg/h}}{23,86 \text{ kg/h}}$$

$$\text{Flujo de aire} = 277,3 \text{ kg/h}$$

Luego de haber hallado las cantidades de input y output que se generan en el proceso de gasificación y generación de electricidad se pudo iniciar el diseño del sistema de aprovechamiento energético de la cascarilla de arroz.

3.3.1. Características fisicoquímicas de la cascarilla de arroz

En [43] se indica que el poder calorífico de la cascarilla es de 13,7 MJ/kg, además que, debido a la estructura cerrada, la combustión se dificulta, y, por el alto contenido de sílice (el 20 %), es de muy baja biodegradabilidad en condiciones de ambiente natural. La temperatura máxima que se obtiene al ser quemada varía de acuerdo con su condición: 970°C (seca), 650°C (con algún grado de humedad) y hasta los 1000°C (mezclada con combustible). También se señala que la cascarilla de arroz es de consistencia quebradiza, abrasiva y su color varía del pardo rojizo a púrpura oscura; su densidad es baja, por lo cual al apilarse ocupa grandes espacios. El peso específico es de 125 kg/ m³, es decir, 1 tonelada a granel ocupa un espacio de 8 m³.

En [44] se llevó a cabo el análisis elemental de la cascarilla de arroz, proveniente de la región norte del Perú, y del cual se pudo obtener la tabla 53, la cual muestra los porcentajes de los diferentes elementos químicos, principalmente, carbono, oxígeno e hidrógeno y el poder calorífico inferior de la cascarilla. En el anexo 2 se puede ver el informe del análisis elemental.

Tabla 53. Análisis elemental de la cascarilla de arroz en base seca

Parámetro	Unidad de medida	Valor típico
Ceniza	%	15
Poder calorífico superior (PCS)	MJ/kg	19
Poder calorífico inferior (PCI)	MJ/kg	17
Carbono	%	49
Hidrógeno	%	6
Oxígeno	%	44
Nitrógeno	%	0,7
Azufre	%	0,17
Cloro	%	0,12

Fuente: Comitato Termotecnico italiano

3.3.2. Proceso del sistema de gasificación y generación de electricidad

Para definir el proceso del sistema de gasificación y generación de electricidad, se tomó en cuenta la referencia [45], la cual señala que para transformar la cascarilla de arroz en kWh se debe aplicar 6 procesos: gasificación de la cascarilla, separación de partículas, intercambio de calor, lavado de gas, filtración de partículas y transformación a energía eléctrica. En la figura 29 se muestra el proceso con las entradas y salidas que se consideró para el aprovechamiento energético de la cascarilla de arroz.

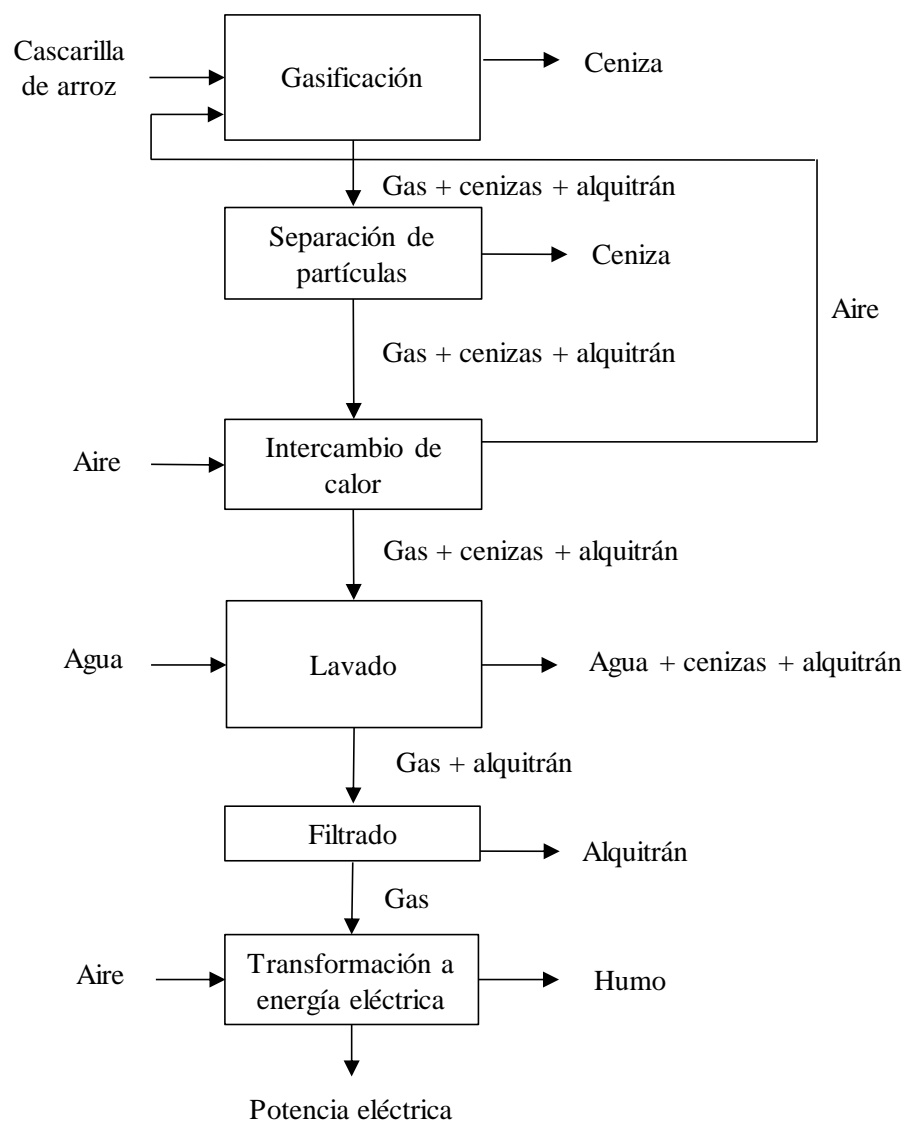


Figura 29. Proceso del sistema de gasificación y generación de electricidad

El proceso se inicia con la cascarilla de arroz transportada desde un silo de almacenamiento a la tolva de alimentación del gasificador mediante un elevador de cangilones, en esta operación la cascarilla deberá conservar sus características físicas (contenido de humedad, granulometría, etc.), así como sus características químicas, durante el tiempo que tome en ingresar al gasificador, ya que una variación como el incremento de humedad en la cascarilla, reduciría la calidad del gas de síntesis, el rendimiento del gasificador y aumentaría el contenido de alquitrán [46]. El contenido de humedad de la cascarilla que se permitirá ingresar será menor a 20 %, ya que el gasificador downdraft es muy sensible a la calidad de materia prima [30]. Posteriormente el gasificador comienza a quemar la cascarilla de arroz para convertirla en gas de síntesis (syngas), la cual sale del proceso con alto contenido de ceniza y alquitrán; sin embargo, parte de las cenizas se extraen del fondo del gasificador y se conducen a una tolva de almacenamiento mediante un soplador de aire.

Debido al contenido de ceniza y alquitrán que contiene el syngas, es fundamental realizar un acondicionamiento hasta obtener un gas de síntesis limpio y pueda ser usado en un motogenerador para la obtención de potencia eléctrica, por lo tanto, el segundo proceso es la separación de partículas, la cual se genera en un ciclón de acero inoxidable, que permite retener solamente la mayor parte de ceniza contenida en el gas, ya que es un sistema que permite eliminar partículas con diámetro mayor a 5 micras [45], obteniendo un gas con baja cantidad de ceniza, pero con la misma de alquitrán. Luego el flujo de gas y sus contenidos pasan por el proceso de intercambio de calor debido a la alta temperatura que presentan, donde el gas es ligeramente enfriado por un flujo de aire, el mismo que será utilizado como agente gasificante dentro del reactor, de esta forma, el gas reduce su temperatura y el aire absorbe parte de ella para concretar el proceso de gasificación. A continuación, el gas que sale del intercambiador con temperatura menor, aún con residuos de alquitrán y cenizas, pasa por el proceso de lavado de gases para retirar las cenizas del gas y parte del alquitrán. Este proceso se da en un lavador de tipo venturi, el cual trabaja con agua, tiene alta eficacia en la limpieza del gas, recolectando partículas entre 0,5 y 10 micras y permitiendo el enfriamiento del gas simultáneamente [45]. El gas resultante que se obtiene solamente presenta un bajo contenido de alquitrán que deberá ser removido en un siguiente proceso de limpieza.

Luego del proceso de lavado, el gas con bajo contenido de alquitrán es transportado a un filtro de mangas donde se genera el proceso de filtrado de partículas, para separar el alquitrán restante del flujo de gas. Cabe recalcar que el filtro de mangas tiene la capacidad de mantener las

eficiencias de recolección por encima del 99%, incluyendo material particulado menor o igual a 2,5 micras [45]. El alquitrán retenido en el filtro es enviado mediante un soplador de aire hacia una tolva de almacenamiento.

Finalmente, el gas de síntesis limpio y enfriado, ingresa a un motogenerador para la transformación de este en energía eléctrica, que energizará el área productiva del molino. Es menester, aclarar que la temperatura del gas de síntesis a la entrada del motor no debe superar los 80 °C, porque a temperaturas mayores a este valor el motor funcionará por debajo de su rendimiento [45].

En la figura 30 se puede ver el esquema del sistema de gasificación y generación de electricidad explicado anteriormente.

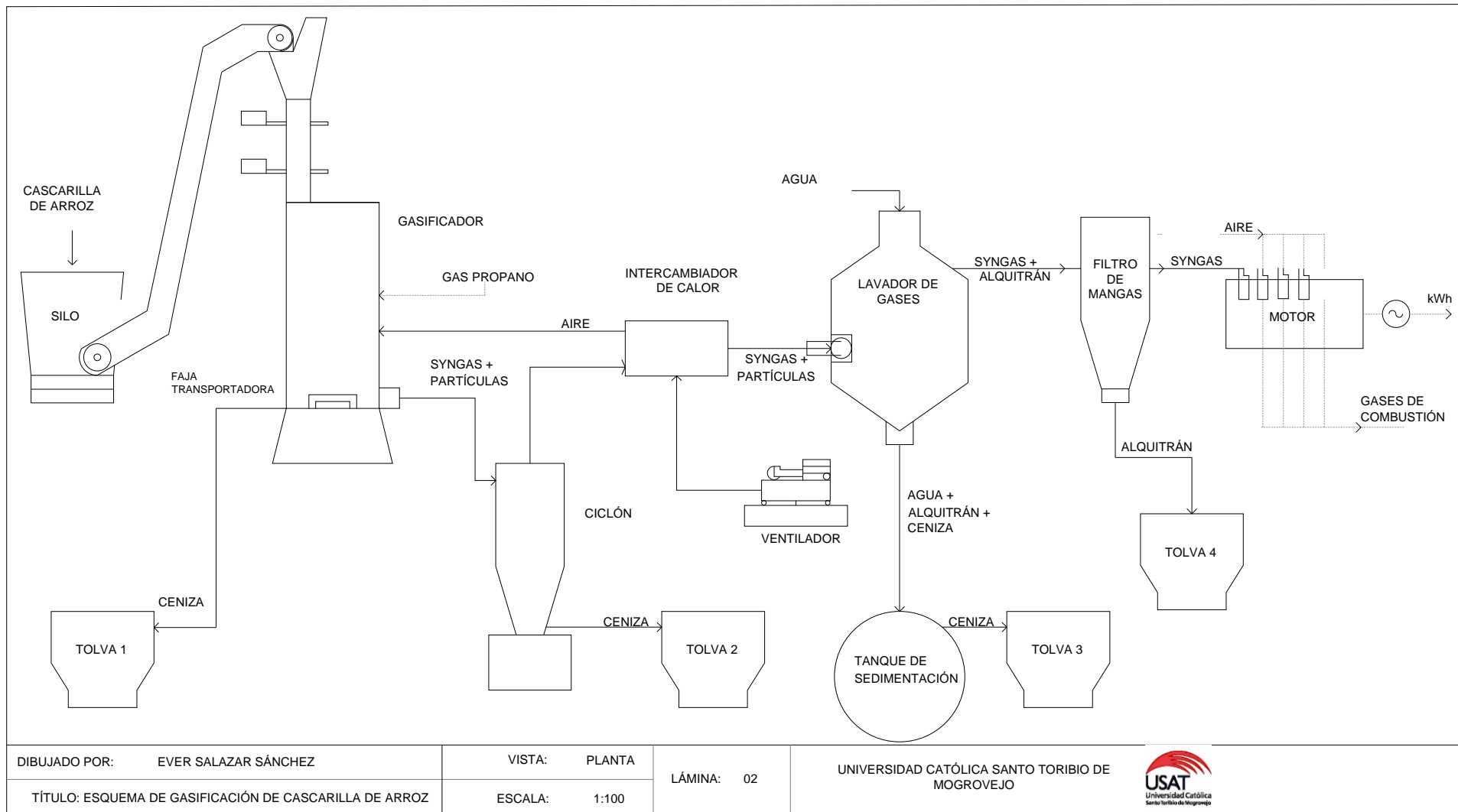


Figura 30. Esquema del sistema de gasificación y de generación de electricidad

3.3.2.1. Variables de proceso nominales

a) Presión de trabajo

Es una de las variables más importantes porque influye en la composición del gas obtenido, de acuerdo con [46], para los gasificadores downdraft operado con biomasa es más favorable la gasificación con presión atmosférica (101,325 kPa).

b) Flujo de cascarilla de arroz

El flujo másico de entrada de cascarilla de arroz será de 324 kg/h.

c) Temperatura

En [46] se indica que la temperatura dentro del gasificador downdraft operado con biomasa está dentro del intervalo de 700- 1000 °C. Sin embargo, en [45] se señala que la temperatura de gasificación de 850 °C es la más idónea para obtener un poder calorífico inferior alto y una baja concentración de alquitrán; por lo tanto, se consideró 850 °C como temperatura de gasificación y 80 °C la temperatura que el gas de síntesis debe tener como máximo para ingresar al motogenerador.

d) Ratio equivalente (ER)

En [45] se indica que el oxígeno que se usa en el proceso determina los productos y la temperatura de las zonas de reacción. El ratio equivalente es el oxígeno utilizado en relación a la requerida para la combustión completa, la siguiente ecuación lo define:

$$ER = \frac{\left(\frac{\text{caudal de aire}}{\text{caudal de biomasa consumida}} \right)}{\left(\frac{\text{caudal de aire}}{\text{caudal de biomasa consumida}} \right) \text{estequiométrico}}$$

Además, en [45] se señala que en el caso de la gasificación el cociente puede variar aproximadamente dentro del intervalo 0,2 al 0,4, pero cuando es menor de 0,2 disminuye la fracción molar del N₂ y CO por el contrario aumenta la fracción molar de H₂, CO₂ y CH₄. Asimismo, con un ER mayor de 0,4 se aumenta la fracción molar de CO₂, H₂O y N₂ por el contrario disminuye la fracción molar de CO y H₂.

Sin embargo, en [4] se recomienda que para la gasificación de cascarilla de arroz en un reactor downdraft el ER óptimo es de 0,3; la cual está dentro del rango señalado anteriormente, por tanto, se escogió este valor como el más idóneo para el sistema de gasificación y generación de electricidad.

3.3.2.2. Agente gasificante

Los agentes gasificantes podrían ser aire, oxígeno o una mezcla de estos, el hecho de introducir aire como agente gasificante, aporta ventajas como el aumento de la temperatura, provoca el craqueo de parte de los alquitranes formados, y así una disminución de estos en el gas obtenido; el principal inconveniente es que el aumento de la temperatura, puede provocar, la disminución de las propiedades del gas obtenido [45].

Mientras que, en [4] sostiene que la formación de un gas de síntesis óptimo es generada por un ratio equivalente de 0,3 y con aire como agente gasificante. Por tanto, se consideró al aire como el agente gasificante más idóneo.

A continuación, se muestra la tabla 54, donde se resumen las variables de proceso nominales que tomarán en cuenta para el sistema de gasificación y generación de electricidad.

Tabla 54. Variables de proceso nominales

Variables de proceso nominales	Valores
Presión del sistema (kPa)	101,3
Flujo de biomasa (kg/h)	324
Temperatura de la gasificación (°C)	850
Ratio equivalente (ER)	0,3
Agente gasificante	Aire
Temperatura del gas de síntesis a la entrada del motor (°C)	< 80

3.3.3. Selección de equipos del sistema de gasificación y generación de electricidad

En [46] se indica que para la transformación de biomasa en energía eléctrica se requieren los siguientes equipos principales: 1 gasificador downdraft, 1 ciclón, 1 intercambiador de calor, 1 filtro y 1 motogenerador.

Sin embargo, en [45] se considera la adición de 1 equipo más: el lavador venturi, con el fin de obtener un gas de síntesis más limpio y permita el funcionamiento del motogenerador en óptimas condiciones. Se escogió esta referencia para la selección de los equipos, debido a la relevancia que se da a la protección del motogenerador, que se encarga, en efecto de la conversión del gas a energía eléctrica. Por tanto, los equipos principales se muestran en la tabla 55.

Tabla 55. Equipos principales

Equipos principales
Gasificador de lecho fijo downdraft
Ciclón
Intercambiador de calor
Lavador Venturi
Filtro de mangas
Motogenerador

- **Gasificador downdraft**

En [36] se indica que este tipo de gasificador es el más idóneo para la producción de potencia eléctrica a pequeña escala, es decir, entre 1 kW a 1 MW. En [45], también se mencionan otras ventajas:

- Obtención de un gas con un bajo contenido de alquitrán
- Construcción simple y robusta
- Aptos para bajos flujos de biomasa

- **Ciclón**

El ciclón es el encargado de eliminar las partículas sólidas en suspensión, entre ellas, char y cenizas, con diámetro mayor a 5 micras [45]. Además, constituye uno de los sistemas de recolección de partículas menos costoso y está diseñado para soportar temperaturas que incluso ascienden a 1000 °C.

- **Intercambiador de calor**

El intercambiador de calor se encarga reducir la temperatura del gas de síntesis, este gradiente de temperatura que se obtiene de enfriar el gas se aprovecha para calentar el aire, agente gasificante, que es útil para el funcionamiento óptimo del reactor. En este tipo de intercambiador, los fluidos están separados por una pared y la energía se transmite mediante una combinación de convección hacia y desde la pared y conducción a través de ella [45].

- **Lavador venturi**

El lavador de tipo Venturi trabaja con agua y su función es eliminar los alquitranes y otras partículas contaminantes en el gas de síntesis y reducir su temperatura para el proceso siguiente.

Tiene una alta eficacia de recolección de partículas entre 0,5 y 10 micras, así como también puede absorber algunos de los gases emitidos. [45].

- **Filtro de mangas**

El filtro de mangas es empleado para asegurar que el gas llegue completamente limpio de partículas y alquitranes al motogenerador, asimismo, para reducir su temperatura hasta las condiciones de operación del motor. La cual debe estar igual o menor que 80 °C.

También, tiene la capacidad de mantener las eficiencias de recolección por encima del 99 %, incluyendo material particulado de diámetro aerodinámico menor o igual a 10 micras y su mantenimiento es simple [45].

- **Motogenerador**

En [45] se indica que la temperatura del gas de síntesis a la entrada del motor no debe superar los 80 °C, debido a que temperaturas mayores a este valor el motor funcionará por debajo de su rendimiento; asimismo, se señala que tiene un rendimiento entre 15 % y 25 %. Sin embargo, se consideró 15 % de rendimiento, debido a que es un valor más preciso de generar.

Además, de equipos principales, también se requiere otros equipos para llevar a cabo el proceso de gasificación y generación de electricidad. En la tabla 56 se presentan los equipos secundarios que permiten el aprovechamiento energético de la cascarilla de arroz.

Tabla 56. Equipos secundarios

Equipos secundarios
Elevador de cangilones
Tolvas de almacenamiento
Sopladores de aire
Tanque de sedimentación
Tuberías para transporte neumático

- **Elevador de cangilones**

El elevador de cangilones permite transportar la cascarilla de la tolva de almacenamiento hacia la parte superior del reactor y así dar marcha a la alimentación del reactor.

- **Tolvas de almacenamiento**

Las tolvas de almacenamiento permiten depositar los residuos de los procesos de gasificación, separación de partículas, filtrado y lavado para una posterior disposición. Además, permite acumular la cascarilla para luego alimentar al reactor mediante cangilones.

- **Sopladores de aire**

Estos equipos permiten transportar los residuos que salen de los procesos de gasificación, separación de partículas, filtrado y lavado hacia las tolvas de almacenamiento.

- **Tanque de sedimentación**

En este depósito se acumula los residuos líquidos que provienen del lavador venturi, con el fin de separar las cenizas del agua. Ya que las cenizas y otras partículas son enviadas a una tolva de almacenamiento y el agua de lavado es tratado con algún alcalino para su posterior disposición.

3.3.4. Balance de masa y energía

Los balances de energía y masa se llevaron a cabo haciendo uso de bibliografía sobre la gasificación de biomasa en un reactor downdraft [45], donde se señala las ecuaciones que son requeridas para el balance de materia y energía. Asimismo, se utilizó la referencia [4] para determinar la cantidad de aire requerida durante el proceso de gasificación con cascarilla de arroz.

3.3.4.1. Proceso de Gasificación

El proceso se inicia cuando la cascarilla de arroz ingresa por la parte superior del gasificador downdraft en condiciones normales ($T= 25\text{ }^{\circ}\text{C}$, $P= 101,3\text{ KPa}$) para la obtención de gas de síntesis. Sin embargo, es menester calcular la cantidad de cascarilla de arroz que debe ingresar y para hallar este dato, se requiere conocer la cantidad de kWh requeridos por el molino. Por lo tanto, lo primero que se realizó fue determinar la cantidad de kWh requeridos.

Para determinar la cantidad de kWh se identificó el uso total de potencia del molino es de 169 kW, como se muestra en la tabla 19; es decir, esta es la cantidad mínima que el sistema de gasificación debe generar para poder alimentar energéticamente al molino de arroz. Sin embargo, debido a algún inconveniente, se consideró el valor de 180 kW. Luego de haber

definido la cantidad de potencia requerida se procedió a determinar la cantidad kWh considerando que el molino trabaja 11 horas por día y 24 días al mes.

$$\text{kWh requeridos por mes} = 11 \text{ h} * 24 \text{ d/mes} * 180 \text{ kW}$$

$$\text{kWh requeridos por mes} = 47\ 520 \text{ kWh}$$

Se obtuvo que el molino requiere de 47 520 kWh por mes haciendo uso de la potencia total de trabajo, es decir, utilizando toda la maquinaria durante 11 horas diarias continuas. En temporada de campaña de arroz se incrementa las horas de producción trabajando hasta 19 horas por día, sin embargo, no se realizó el balance de masa y energía en base a las máximas horas de producción, debido a que se consideró como potencia máxima el valor de 180 kW, esto significa que por cada hora se debe producir esta cantidad de potencia para mantener trabajando el sistema productivo, y en el caso de que se incremente las horas de producción de pilado de arroz, se debe incrementar las horas de gasificación.

Luego de calcular la cantidad de kWh requeridos, se halló la cantidad de cascarilla que se requiere para producir los 47 520 kWh. Para ello, se utilizó la referencia [3] la cual indica que por 1,8 kg de cascarilla de arroz se obtiene 1 kWh como resultado de un proceso de gasificación en un reactor downdraft o de corriente descendente.

$$\text{Cascarilla requerida por mes} = 47\ 520 \text{ kWh} * 1,8 \text{ kg/ kWh}$$

$$\text{Cascarilla requerida por mes} = 85\ 536 \text{ kg}$$

De esta forma se obtuvo que se requieren 85 536 kg de cascarilla de arroz por mes, considerando 24 días por mes y 11 horas de trabajo por día.

Luego de hallar la cantidad de cascarilla requerida por el reactor se determinó la cantidad de energía en kW que representa la demanda de cascarilla. Para ello se utilizó la referencia [44] donde se indica que el poder calorífico inferior (PCI) de la cascarilla es de 17 MJ/kg, la cual se multiplicó por el flujo másico (kg/h) de cascarilla de arroz.

$$\text{Cascarilla de arroz requerida por hora} = 85\ 536 \text{ kg/mes} * 1 \text{ mes}/24 \text{ días} * 1 \text{ día}/11 \text{ h}$$

$$\text{Cascarilla de arroz requerida por hora} = 324 \text{ kg/h}$$

$$\text{Potencia de la cascarilla} = 324 \text{ kg/h} * 17 \text{ MJ/kg} * 1000 \text{ kJ/MJ} * 1 \text{ h}/3600 \text{ s}$$

Potencia de la cascarilla= 1530 kW

La potencia disponible en la cascarilla de arroz es de 1530 kW y es la que ingresa al proceso de gasificación. En la tabla 57 se resume los indicadores de los cálculos realizados.

Tabla 57. Determinación del caudal y potencia de la cascarilla de arroz

Energía necesaria	47 520	kWh/mes
Tasa de conversión [3]	1,8	kg/ kWh
Cascarilla de arroz necesaria	85 536	kg/mes
Flujo másico de cascarilla de arroz	3 564	kg/ día
Flujo másico de cascarilla de arroz	324	kg/h
PCI de la cascarilla de arroz [44]	17	MJ/kg
Potencia disponible en la cascarilla	1530	kW

Además del ingreso de cascarilla de arroz al proceso de gasificación, también ingresa una determinada cantidad de aire, para lo cual se utilizó la referencia [4], donde se señala la cantidad de aire necesario y el flujo de gas resultante del proceso de gasificación en un reactor downdraft alimentado con cascarilla de arroz. De esta forma se utilizó los datos referentes para aplicar una ecuación de regla de 3 simple y calcular el flujo másico de aire requerido y el flujo de gas de síntesis resultante. Cabe recalcar que el cálculo del aire está basado en un ratio equivalente de 0,3; donde [4] señala que es el valor óptimo para la obtención de un syngas con alto poder calorífico inferior y bajo contenido de alquitranes. En la tabla 58 se muestra los valores referentes utilizados para el cálculo de los inputs y outputs.

Tabla 58. Determinación del flujo de aire y flujo de syngas obtenido

Por referencia bibliográfica [4]				
ER	Flujo de aire (m ³ /h)	Entrada		Salida
		Flujo de aire (kg/h)	Consumo de cascarilla de arroz (kg/h)	Flujo de gas producto (kg/h)
0,3	17,45	20,42	23,86	33,73
Para proceso de gasificación				
0,3	236,96	A =277	324	B= 458

El flujo de aire se determinó de la siguiente forma:

$$\text{Flujo de aire requerido} = (324 \text{ kg/h} * 20,42 \text{ kg/h}) / 23,86 \text{ kg/h}$$

$$\text{Flujo de aire requerido} = 277 \text{ kg/h}$$

Asimismo, el flujo de gas resultante se determinó de igual forma:

$$\text{Flujo de gas resultante} = (324 \text{ kg/h} * 33,73 \text{ kg/h}) / 23,86 \text{ kg/h}$$

$$\text{Flujo de gas resultante} = 458 \text{ kg/h}$$

Luego de haber hallado el flujo másico del aire y del syngas que sale del gasificador, se determinó la potencia del gas producto. Para determinar la potencia del gas producto se utilizó la referencia [45], donde se señala que haciendo uso de biomasa en un gasificador downdraft se obtuvo un gas de síntesis con una potencia que representa el 95,9 % de la cantidad total de potencia de entrada.

La potencia total de entrada está conformada por las potencias de la cascarilla y el aire, sin embargo, el aire proviene del proceso de intercambio de calor, por esta razón en ese mismo proceso se realizó el cálculo de la potencia de aire que ingresa al gasificador. En la tabla 65 se muestra que la potencia de aire que proviene del intercambiador de calor es de 67,6 kW.

$$\text{Potencia total que ingresó al reactor} = P \text{ cascarilla} + P \text{ aire}$$

$$\text{Potencia total que ingresó al reactor} = 1530 \text{ kW} + 67,6 \text{ kW}$$

$$\text{Potencia total que ingresó al reactor} = 1597,6 \text{ kW}$$

La potencia total que ingresó al reactor es de 1597,6 kW, de la cual, de acuerdo con [45] se consideró que el 95,9 % del total es la potencia de salida que el gas de síntesis obtiene a la salida.

$$\text{Potencia del gas de síntesis} = 95,9 \% * 1597,6 \text{ kW}$$

$$\text{Potencia del gas de síntesis} = 1532,1 \text{ kW}$$

Los resultados de las ecuaciones realizadas se resumen en la tabla 59.

Tabla 59. Balance de energía en el gasificador

Potencia de entrada de gasificador = P cascarilla + P aire		
Potencia disponible en la cascarilla	1530	kW
Potencia disponible en el aire que ingresa al reactor	67,6	kW
Potencia total que ingresa al gasificador	1597,6	kW
Porcentaje de potencia en el gas de salida	95,9%	
Potencia disponible en el gas de salida	1532,1	kW

Luego de haber calculado los valores del flujo de aire requerido y del flujo de gas producto se procedió a determinar la cantidad de cenizas y alquitrán que salen del proceso. Para ello se utilizó la referencia [47], donde se indica que las cenizas volantes, son aquellas que son arrastradas por el gas de síntesis y salen junta a esta del gasificador, por lo que deberán ser retiradas en etapas posteriores.

Sin embargo, en [45] se señala que aproximadamente 10% de cenizas son arrastradas por el syngas y salen del proceso de gasificación para posteriormente ser separadas en las posteriores etapas, el 90% restante son separadas por el gasificador y almacenadas en una tolva para su posterior disposición, la cual podría ser la venta hacia la industria cementera o de construcción, debido a sus características adecuadas para estos sectores. Por lo tanto, se consideró estos valores porcentuales para calcular la cantidad de ceniza que sale junto al syngas y aquella que es retenida por el gasificador, pero antes se determinó la cantidad de ceniza que se produce durante la gasificación, y para ello, se utilizó la referencia [44], la cual indica que la cascarilla de arroz contiene 15 % de ceniza.

$$\text{Ceniza producida} = 324 \text{ kg/h cascarilla} * 15 \%$$

$$\text{Ceniza producida} = 48,6 \text{ kg/h}$$

Se determinó que se produce 48,6 kg/h de ceniza durante la gasificación, luego se pudo calcular la ceniza arrastrada por el syngas y aquella que es separada por el gasificador.

$$\text{Ceniza arrastrada por el syngas} = 48,6 \text{ kg/h de ceniza} * 10 \%$$

$$\text{Ceniza arrastrada por el syngas} = 4,9 \text{ kg/h}$$

Se calculó que el syngas arrastra 4,9 kg/h de ceniza, que deberá ser separada del gas de síntesis en los procesos posteriores.

Ceniza separada por el gasificador= 48,6 kg/h de ceniza * 90 %

Ceniza separada por el gasificador= 43,7 kg/h

Se obtuvo que el gasificador separa 43,7 kg/h de ceniza que será acumulada en una tolva de almacenamiento para su posterior venta a alguna empresa del sector de construcción o del cemento.

Luego de determinar la cantidad de ceniza que se genera en kg/h se procedió a calcular la cantidad de kW de potencia que contiene la ceniza y char. Para ello se usó la referencia [48], la cual indica que la entalpía de la ceniza y el char se puede hallar a través de la ecuación de su calor específico, el cual está en función de la temperatura del gas de salida. La temperatura del gas de salida fue tomada de la referencia [45], la cual indica que el gas sale a 850 °C del reactor downdraft, y tuvo que ser convertida a °F para reemplazar en la fórmula de calor específico. De esta forma se determinó la potencia para las cenizas y char que son arrastradas por el syngas, y para aquellas que son separadas por el gasificador.

Calor específico de la ceniza = $[0,18 + (7,78 \cdot 10^{-5}) * 1562 \text{ °F}] * 4,184 \text{ kJ/g. °F}$

Calor específico de la ceniza= 1,26 kJ/g

El calor específico de la ceniza resultó 1,26 kJ/g, este valor fue multiplicado por las cantidades calculadas anteriormente para obtener la potencia de la ceniza arrastrada por el syngas y la potencia de la ceniza separada en el reactor.

Potencia de la ceniza arrastrada por el syngas= $1,26 \text{ kJ/g} * 1000 \text{ g/kg} * 4,9 \text{ kg/h} * 1\text{h} / 3600 \text{ s}$

Potencia de la ceniza arrastrada por el syngas= 1,7 kW

La potencia de la ceniza que es arrastrada por el syngas es de 1,7 kW y deberá ser separada durante las etapas posteriores de limpieza del gas.

Potencia de la ceniza separada por el gasificador= $1,26 \text{ kJ/g} * 1000 \text{ g/kg} * 43,7 \text{ kg/h} * 1\text{h} / 3600 \text{ s}$

Potencia de la ceniza separada por el gasificador = 15,3 kW

La potencia de la ceniza separada por el gasificador es de 15,3 kW, la cual, el syngas pierde por la formación de cenizas durante la gasificación.

Luego de haber hallado la cantidad de ceniza y de syngas, se calculó la cantidad de alquitrán, la cual también es generada durante la formación del gas y es arrastrada por este a la siguiente etapa. La cantidad de alquitrán se calculó igualando las entradas con las salidas y se presenta de la siguiente forma:

$$\text{Entradas} = \text{Salidas}$$

$$(\text{Cascarilla} + \text{aire}) \text{ kg/h} = (\text{gas} + \text{ceniza} + \text{alquitrán}) \text{ kg/h}$$

$$\text{Alquitrán (kg/h)} = (\text{cascarilla} + \text{aire} - \text{ceniza} - \text{gas}) \text{ kg/h}$$

$$\text{Alquitrán} = (324 + 277 - 48,6 - 458) \text{ kg/h}$$

$$\text{Alquitrán} = 94,4 \text{ kg/h}$$

De la ecuación se obtuvo que 94,4 kg/h de alquitrán son arrastrados junto al gas producto, esta cantidad de alquitrán es perjudicial para el medio ambiente y para el funcionamiento del motor de combustión interna, por lo que deberá ser separado en las etapas posteriores.

Una vez hallada la cantidad de alquitrán en kg/h, también será necesario calcular la cantidad de kW generados y que deberán ser separados en las etapas posteriores. Para ello, se utilizó la misma ecuación de calor específico que se empleó para calcular la potencia de las cenizas, ya que en [48], se señala que es la misma.

$$\text{Potencia de alquitrán arrastrado por el syngas} = 1,26 \text{ kJ/g} * 1000 \text{ g/kg} * 94,4 \text{ kg/h} * 1\text{h} / 3600 \text{ s}$$

$$\text{Potencia de alquitrán arrastrado por el syngas} = 33 \text{ kW}$$

Se obtuvo que 33 kW de potencia de alquitrán son arrastrados por el syngas, la cual, deberá ser separada en posteriores etapas de acondicionamiento del gas.

Luego de haber calculado las potencias de los inputs y outputs de la gasificación (cascarilla, aire, gas, ceniza y alquitrán), se determinó la potencia perdida en el gasificador, para lo cual se igualaron las entradas y salidas.

$$\text{Entradas} = \text{Salidas}$$

$$P (\text{cascarilla} + \text{aire}) = P (\text{ceniza} + \text{gas} + \text{alquitrán}) + \text{Pérdidas}$$

$$\text{Pérdidas} = P (\text{cascarilla} + \text{aire} - \text{ceniza} - \text{gas} - \text{alquitrán})$$

$$\text{Pérdidas} = [1530 + 67,6 - (15,3+1,7) - 1532,1 - 33] \text{ kW}$$

$$\text{Pérdidas} = 15,5 \text{ kW}$$

De la ecuación se obtuvo que hay pérdidas de potencia de 15,5 kW durante la gasificación. A continuación, en la tabla 60 se muestra el resumen de los valores de ceniza y alquitrán hallados.

Tabla 60. Determinación del caudal y potencia de las cenizas

Composición porcentual de ceniza en la cascarilla de arroz [37]	15	%
Flujo másico de cascarilla de arroz que ingresa	324	kg/h
Flujo másico cenizas y char generados	48,6	kg/h
Flujo de cenizas que se salen junto al syngas al siguiente proceso (10%)	4,9	kg/h
Flujo de cenizas y char separado por el gasificador	43,7	kg/h
Flujo de alquitrán que sale junto al syngas al siguiente proceso	94,4	kg/h
Entalpía para cenizas y char y alquitrán [47]		
$cp = (0,180+7,78*10^{-5} *t) *4,184 \text{ kJ/}^{\circ}\text{F. g}$ $T^{\circ} = 850 \text{ }^{\circ}\text{C} = 1562 \text{ }^{\circ}\text{F}$	= 1,26 kJ/ g	
Potencia de las cenizas y char separadas por el gasificador	15,3	kW
Potencia de las cenizas que salen junto al syngas al siguiente proceso	1,7	kW
Potencia del alquitrán que van junto al syngas al siguiente proceso	33	kW
Potencia perdida durante la gasificación	15,5	kW

Posteriormente, se determinó el rendimiento de la gasificación. En [45] se señala que para ello se debe utilizar el volumen de gas de gasificación y el poder calorífico inferior (PCI) del gas y del combustible. En [4] se indica que el volumen del syngas resultante de un reactor downdraft es de 2,14 Nm³/ kg de cascarilla, y además que el gas tiene un PCI de 5,19 MJ/ Nm³. Los cuales fueron multiplicados para obtener la energía del gas.

$$\text{Energía del gas} = \text{volumen de gas de gasificación} * \text{PCI por volumen de gas}$$

$$\text{Energía del gas} = 2,14 \text{ Nm}^3/\text{kg cascarilla} * 5,19 \text{ MJ/ Nm}^3 \text{ gas}$$

$$\text{Energía del gas} = 11,1 \text{ MJ/ kg cascarilla}$$

Luego se dividió la energía del gas entre el PCI de la cascarilla de arroz para obtener el rendimiento de la gasificación.

$$\text{Rendimiento de gasificación} = \text{Energía del gas} / \text{Energía del combustible}$$

$$\text{Rendimiento de gasificación} = 11,1 \text{ MJ/ kg cascarilla} / 17 \text{ MJ/ kg cascarilla}$$

$$\text{Rendimiento de la gasificación} = 65,3 \%$$

Esto se interpreta que el gas pudo obtener el 65,3 % de energía de la cascarilla de arroz, los valores se resumen en la tabla 61.

Tabla 61. Determinación del rendimiento de la gasificación

Rendimiento de la gasificación			
Energía del combustible [44]	PCI	17	MJ/ kg cascarilla
Energía del gas			
	Volumen de gas [3]	2,14	Nm ³ / kg cascarilla
	PCI [3]	5,19	MJ/ Nm ³ gas
	Energía	11,11	MJ/ kg cascarilla
	Rendimiento	65,3%	

Finalmente, del proceso de gasificación se obtuvo el gas de síntesis y su composición se definió de acuerdo a la referencia [4], la misma que se utilizó para hallar el rendimiento de la gasificación y se consideró para calcular el aire requerido basado en la relación de equivalencia de 0,3. También señala que la cascarilla de arroz debe mantenerse entre el 10 y 15 % de humedad para obtener un syngas de alto rendimiento. En la tabla 62 se muestra la composición del syngas, basada en la referencia explicada:

Tabla 62. Composición del gas de síntesis de cascarilla de arroz

ER = 0,30	Gas de síntesis [4]
Composición %	
CO	22%
CH ₄	1,70%
CO ₂	8%
H ₂	13%
N ₂	40,10%

En la figura 31 se muestra el balance de masa y energía del proceso de gasificación, donde se resumen los valores hallados.

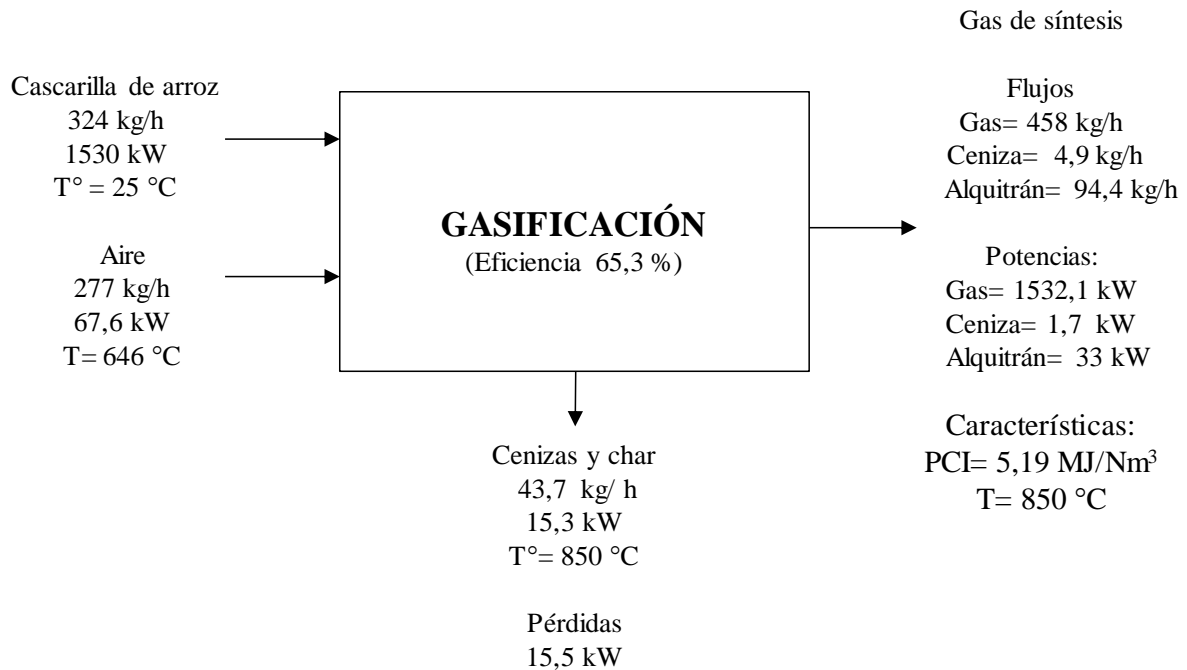


Figura 31. Balance de masa y energía del proceso de gasificación

3.3.4.2. Proceso de separación de partículas

En [49] se señala que los ciclones de alta eficacia pueden separar partículas de hasta de $5\text{ }\mu\text{m}$ con una eficacia del 90%, además se señala que el rango de eficiencia de separación de partículas puede variar de 80 a 90%. Tomando un enfoque pesimista se utilizó el valor de 80%, el cual modificó el contenido de cenizas y char a la salida del ciclón.

$$\text{Ceniza separada por el ciclón} = \text{Ceniza que ingresa al ciclón} * 80\%$$

$$\text{Ceniza separada por el ciclón} = 4,9\text{ kg/h} * 80\%$$

$$\text{Ceniza separada por el ciclón} = 3,9\text{ kg/h}$$

Con la eficiencia de 80 % de este proceso se determinó que la ceniza separada por el ciclón es de 3,9 kg/h. Luego se procedió a calcular la ceniza que sale del ciclón:

Ceniza que sale del ciclón= Ceniza que ingresa – ceniza separada por el ciclón

$$\text{Ceniza que sale del ciclón} = 4,9 \text{ kg/h} - 3,9 \text{ kg/h}$$

$$\text{Ceniza que sale del ciclón} = 1 \text{ kg/h}$$

Por lo tanto, la cantidad de ceniza que pasa al proceso de intercambio de calor es de 1 kg/h. Luego de determinar los cálculos requeridos en kg/h, se realizó los cálculos para determinar la potencia que la ceniza tuvo en el proceso de separación de partículas, para ello se utilizó la misma ecuación de calor específico que se empleó en el proceso de gasificación, determinado con [48], debido a que durante este proceso no se afectó la temperatura de salida del gas, por lo que se consideró como 850 °C o 1562 °F.

$$\text{Potencia ceniza separada} = 1,26 \text{ kJ/g} * 1000\text{g/kg} * 3,9 \text{ kg/h} * 1\text{h}/3600 \text{ s}$$

$$\text{Potencia ceniza separada} = 1,4 \text{ kW}$$

Entonces la potencia de la ceniza que sale del ciclón es la diferencia de la potencia que ingresa menos la potencia separada.

$$\text{Potencia ceniza que sale del ciclón} = 1,7 \text{ kW} - 1,4 \text{ kW}$$

$$\text{Potencia ceniza que sale del ciclón} = 0,3 \text{ kW}$$

La potencia de la ceniza que sale del ciclón es de 0,3 kW, la cual será separada en los siguientes procesos.

Respecto a la cantidad de alquitrán, su flujo másico se mantuvo en 94,4 kg/h, debido a que el ciclón solamente separa las partículas de cenizas por sus características físicas según [45]. En la tabla 63 se muestra el resumen de los datos calculados en forma ordenada.

Tabla 63. Balance de masa en el ciclón

Rendimiento del ciclón (a plena potencia)	80	%
A la entrada del ciclón		
Flujo másico del gas de síntesis	458	kg/h
Flujo másico de cenizas y char	4,9	kg/h
Flujo másico de alquitranes	94,4	kg/h
A la salida del ciclón		
Flujo másico del gas de síntesis	458	kg/h
Flujo másico de cenizas y char	1	kg/h
Flujo másico de alquitranes	94,4	kg/h
Flujo másico de cenizas separadas por el ciclón	3,9	kg/h
Entalpía cenizas y char [38]		
$cp = (0,180 + 7,78 \cdot 10^{-5} \cdot t) \cdot 4,184 \text{ kJ/}^\circ\text{F} \cdot g$ $T^\circ = 850 \text{ }^\circ\text{C} = 1562 \text{ }^\circ\text{F}$	=1,26 kJ/ g	
Potencia disponible en la ceniza y char separado	1,4	kW
Potencia de la ceniza y char que ingresa al intercambiador de calor	0,3	kW

En la figura 32 se muestra el balance de masa y energía del proceso de separación de partículas llevado a cabo.

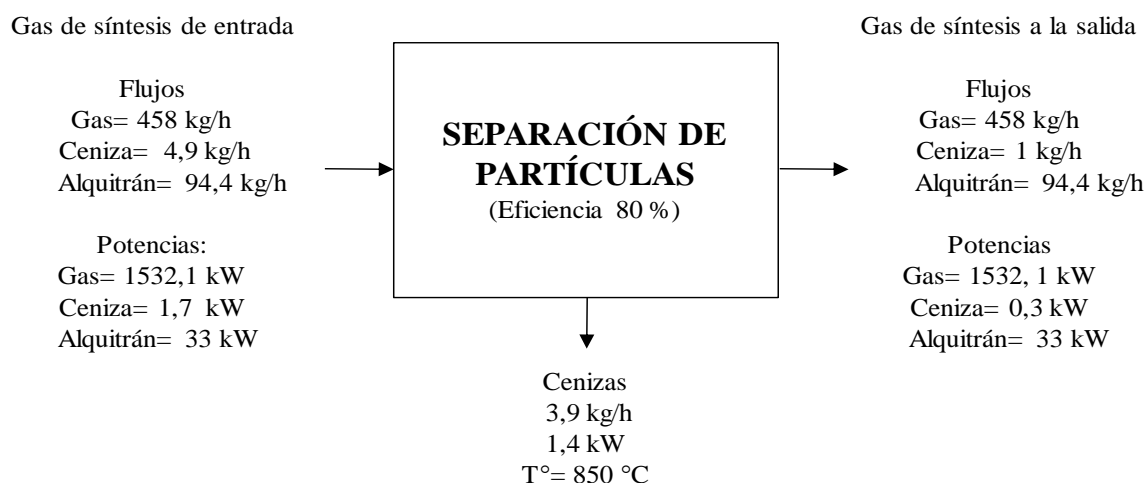


Figura 32. Balance de masa y energía del proceso de separación de partículas

2.2.6.1. Proceso de intercambio de calor

En este proceso los flujos másicos de gas, ceniza y alquitrán se mantuvieron estables, debido a que solamente se realiza transferencia de energía, y la variación ocurre en la potencia del aire y del gas de síntesis.

Para hallar la potencia del aire se usó la siguiente referencia bibliográfica. En [45] se señala que, en un reactor de corriente descendente, el aire que ingresa al intercambiador de calor entra a condiciones normales (25 °C y 1 atm) y sale a temperatura de 646 °C y con una presión de 1,09 atm. Teniendo en cuenta estos datos se realizó las ecuaciones de calor específico para cada temperatura y se determinó la potencia del aire de entrada y de salida del intercambiador. El flujo másico que se usó para hallar la potencia de aire es de 277 kg/h, el cual, fue hallado en el proceso de gasificación y se puede ver en la tabla 58. Las ecuaciones para determinar la potencia de entrada y de salida del aire fueron obtenidas de [45], donde se señala que la potencia de aire puede ser calculada con la ecuación de $1,007 \text{ kJ/ kg} \cdot T^\circ (\text{K}) \cdot \text{flujo másico}$.

$$\text{Potencia de aire que ingresa al intercambiador} = 1,007 \text{ kJ/ kg} \cdot (273,15+25) \text{ K} \cdot 277 \text{ kg/h} \cdot \frac{1\text{h}}{3600 \text{ s}}$$

$$\text{Potencia de aire de entrada al intercambiador} = 23,1 \text{ kW}$$

$$\text{Potencia de aire que sale del intercambiador} = 1,007 \text{ kJ/ kg} \cdot (273,15+646) \text{ K} \cdot 277 \text{ kg/h} \cdot \frac{1\text{h}}{3600 \text{ s}}$$

$$\text{Potencia de aire de salida del intercambiador} = 71,2 \text{ kW}$$

Luego de haber hallado la potencia del aire cuando entra y sale del proceso, se pudo determinar el incremento de potencia que sufrió el aire durante el proceso de intercambio de calor, la cual fue la potencia cedida por el gas. Para determinar la potencia cedida del gas al aire se restó la potencia de salida menos la de entrada.

$$\text{Potencia cedida del gas al aire} = \text{Pot. Salida del aire} - \text{Pot. Entrada del aire}$$

$$\text{Potencia cedida del gas al aire} = 71,2 \text{ kW} - 23,1 \text{ kW}$$

$$\text{Potencia cedida del gas al aire} = 48,1 \text{ kW}$$

La potencia cedida del gas al aire durante el proceso de intercambio de energía fue de 48,1 kW.

Una vez obtenido la potencia del aire de salida del intercambiador de calor, es importante calcular la potencia de aire que ingresa al gasificador, debido a que no es la misma, a pesar de que el aire de salida del intercambiador es direccionado al proceso de gasificación, existen pérdidas en el intercambiador, para calcular las pérdidas se usó la referencia [45], la cual demuestra que hay una pérdida de 5 % durante este proceso de intercambio de calor.

$$\text{Pérdida de potencia en el intercambiador} = 5\% \cdot \text{Pot. aire que sale del intercambiador}$$

$$\text{Pérdida de potencia en el intercambiador} = 5\% * 71,2 \text{ kW}$$

$$\text{Pérdida de potencia en el intercambiador} = 3,6 \text{ kW}$$

Para determinar la potencia que ingresó al gasificador se restó la potencia del aire de salida del intercambiador menos la pérdida de potencia generada durante el proceso.

$$\text{Potencia que ingresa al gasificador} = \text{Pot. Salida del aire} - \text{Pot. Perdida en el intercambiador}$$

$$\text{Potencia que ingresa al gasificador} = 71,2 \text{ kW} - 3,6 \text{ kW}$$

$$\text{Potencia que ingresa al gasificador} = 67,6 \text{ kW}$$

Se determinó que 67,6 kW de aire ingresan al proceso de gasificación que son utilizados para la formación del gas de síntesis. En la tabla 64 se resume los cálculos realizados durante el proceso de intercambio de energía.

Tabla 64. Potencia del aire en el intercambiador de energía

Condiciones de entrada al intercambiador	25 °C y 1 atm	Cp = 1,007 kJ/ kg* K
Condiciones de salida del intercambiador	646 °C y 1,09 atm	Cp= 1,124 kJ/ kg*K
Aire de ingreso al intercambiador	277 kg/h	
Aire de salida del intercambiador	277 kg/h	
$P_{\text{aire}} = c_p * T \text{ (}^\circ\text{k)} * m \text{ (kg/h)}$		
Potencia en el aire de ingreso al intercambiador	23,1	kW
Potencia en el aire de salida del intercambiador	71,2	kW
Potencia perdida durante el proceso de intercambio de calor (5% de la potencia de aire que sale)	3,6	kW
Potencia que ingresa al proceso de gasificación	67,6	kW
Potencia cedida del gas al aire durante el proceso	48,1	kW

Luego de haber hallado la potencia respecto al aire, se halló la potencia del gas, para lo cual se usó la referencia [45], donde se demuestra que en el proceso de intercambio de calor en un reactor downdraft, el gas ingresa a 850 °C y sale a 518 °C aproximadamente. Esto significa que el gas pierde calor durante este proceso. Por tanto, la potencia del gas de salida del intercambiador se halló restando la potencia a la que ingresó menos la potencia que el gas perdió en el intercambiador.

$$\text{Pot. Gas de salida} = \text{Pot. Gas de entrada} - \text{Pot. Cedida del gas al aire}$$

$$\text{Pot. Gas de salida} = 1532,1 \text{ kW} - 48,1 \text{ kW}$$

$$\text{Pot. Gas de salida} = 1484 \text{ kW}$$

En la tabla 65 se muestra un resumen de las potencias que se generaron y se mantuvieron durante el proceso de intercambio de calor.

Tabla 65. Balance de energía de aire y gas en el intercambiador de energía

Potencia que ingresan al intercambiador de calor			
Potencia del aire		23,1	kW
Potencia del gas		1532,1	kW
Potencia de la ceniza		0,3	kW
Potencia del alquitrán		33	kW
Potencia que salen del intercambiador de calor			
Potencia del aire	Potencia que va al gasificador	67,6	kW
	Potencia perdida	3,6	kW
Potencia del gas		1484	kW
Potencia de la ceniza		0,3	kW
Potencia del alquitrán		33	kW

En la figura 33 se muestra el balance de masa y energía del proceso de intercambio de calor, donde se resumen los valores hallados anteriormente.

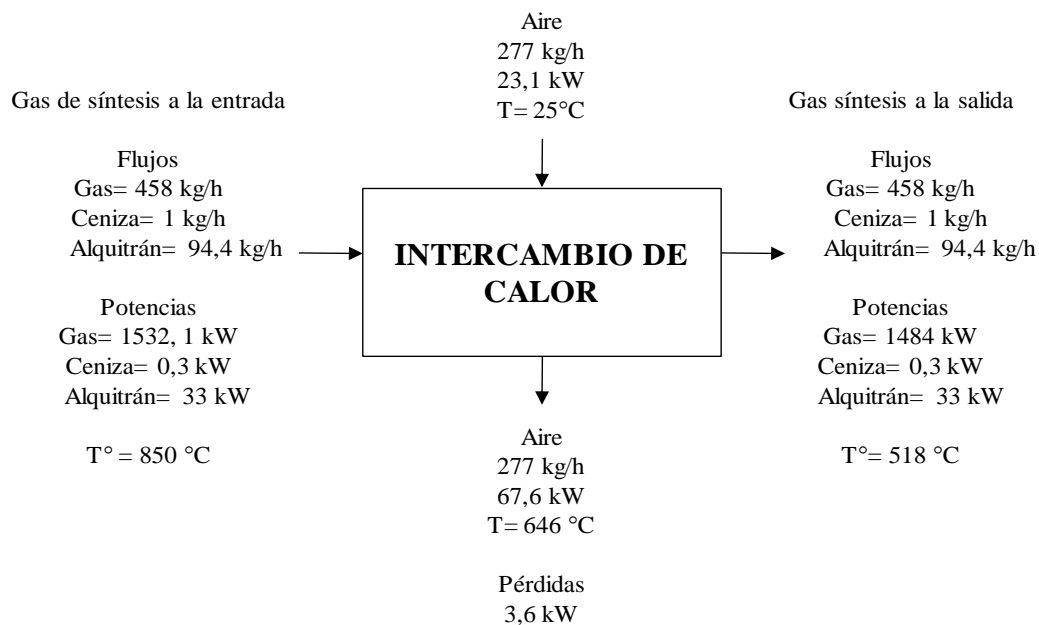


Figura 33. Balance de masa y energía del proceso de intercambio de calor

3.3.4.3. Proceso de lavado

Para realizar el balance de masa y energía de la etapa de lavado se consultó referencia bibliográfica, en [45] se hizo un análisis de sensibilidad con el software Aspen plus a través de una simulación y se determinó que el flujo másico óptimo de agua a introducir es de 160 kg/h para la cantidad de 39,32 kg/h de gas húmedo proveniente intercambiador de calor. Se consideró esta referencia debido a que el uso del software da confiabilidad en los valores y porque se realizó basado en un reactor downdraft que funciona con biomasa de las mismas características que la cascarilla de arroz. De esta forma se aplicó la regla de tres simple y se pudo obtener los valores requeridos para el agua de entrada y de salida del lavador venturi.

X = Flujo másico de agua que entra al lavador

U= Flujo másico de gas que ingresa al lavador

K= Flujo másico de agua que entra al lavador según referencia bibliográfica

L= Flujo másico de gas que ingresa al lavador según referencia bibliográfica

$$X = (U * K) / L$$

$$X = (458 * 160) \text{ kg/h} / 39,32 \text{ kg/h}$$

$$X = 1863,7 \text{ kg/h}$$

Posteriormente se determinó el flujo másico con el que sale el agua del proceso de lavado, según la referencia [45], el lavado de 39,32 kg/h de gas húmedo generó la salida de 161,7 kg/h de agua.

Y = Flujo másico de agua que sale del lavador

U= Flujo másico de gas que ingresa al lavador

F= Flujo másico de agua que sale del lavador según referencia bibliográfica

L= Flujo másico de gas que ingresa al lavador según referencia bibliográfica

$$Y = (U * F) / L$$

$$Y = (458 * 161,7) \text{ kg/h} / 39,32 \text{ kg/h}$$

$$Y = 1883,4 \text{ kg/h}$$

Luego de ello, se determinó la cantidad de gas que sale del proceso, para ello, primero se halló el incremento de agua en el proceso de lavado, ya que en [45] se indica que parte del agua en forma de vapor contenida en el gas se condensa. Por tanto, el incremento de agua en el proceso

de lavado es la diferencia de la cantidad de agua de salida menos la de entrada, las cuales fueron halladas anteriormente.

$$\text{Incremento de agua en el lavado} = \text{Agua que sale} - \text{Agua que ingresa}$$

$$\text{Incremento de agua en el lavado} = 1883,4 \text{ kg/h} - 1863,7 \text{ kg/h}$$

$$\text{Incremento de agua en el lavado} = 19,7 \text{ kg/h}$$

Este incremento de 19,7 kg/h es la parte de agua contenida en el gas que se condensa en el lavador venturi por la variación de temperaturas. De manera que, para determinar la cantidad de gas que sale del lavador venturi, se restó el incremento de agua al gas de entrada.

$$\text{Gas que sale del lavador} = \text{Gas que ingresa al lavador} - \text{Incremento de agua de lavado}$$

$$\text{Gas que sale del lavador} = 458 \text{ kg/h} - 19,7 \text{ kg/h}$$

$$\text{Gas que sale del lavador} = 438,3 \text{ kg/h}$$

Cabe recalcar que se consideró los valores de temperatura y presión de la referencia [45], donde se indica que el gas ingresa aproximadamente a 518 °C y sale a 33 °C y la presión se mantuvo constante a 98,3 kPa. Asimismo, esta referencia señala que el lavador venturi separa el contenido total de cenizas y char, hidróxido de amonio (NH₃), ácido cianhídrico (HCN) y haluros del gas de síntesis. Sin embargo, indica también que los alquitranes solo son separados en un 50%.

$$\text{Ceniza separada por el lavador venturi} = \text{Ceniza total que ingresa al lavador}$$

$$\text{Ceniza separada por el lavador venturi} = 1 \text{ kg/h}$$

$$\text{Alquitrán separado por el lavador venturi} = 50 \% * \text{Alquitrán que ingresa al lavador}$$

$$\text{Alquitrán separado por el lavador venturi} = 50 \% * 94,4 \text{ kg/h}$$

$$\text{Alquitrán separado por el lavador venturi} = 47,2 \text{ kg/h}$$

Con soporte en la referencia [45], se determinó que durante el proceso de lavado se separó 1 kg/h de ceniza y 47,2 kg/h de alquitrán. Además, se halló que el 50 % restante de alquitrán deberá ser separado en la etapa de filtración, es decir, que 47,2 kg/h de alquitrán salen del proceso de lavado junto al gas de síntesis.

Alquitrán que sale del lavador venturi = 47,2 kg/ h

Los residuos sólidos que saldrán del proceso lavado de gas, entre ellos la ceniza y el alquitrán mezclados con agua, serán enviados a un tanque de sedimentación donde se agregará hidróxido de calcio Ca(OH)_2 en forma sólida y se mantendrá hasta que el agua contenga un PH apto de acuerdo a la normativa vigente, para poder verterlo al alcantarillado o reutilizarlo. Además, el tanque de sedimentación cuenta con una purga para separar los sólidos generados formados por la mezcla de hidróxido de calcio con el agua de salida, los cuales, serán enviados hacia una tolva de almacenamiento para su posterior secado y acumulado, con el fin de ser vendidos hacia alguna empresa constructora o cualquiera que los demande.

Residuos sólidos del lavado= (ceniza + alquitrán) kg/h * 11 h/ día * 24días/ mes

Residuos sólidos del lavado= (1+ 47,2) kg/h * 11h/día* 24 días/ mes

Residuos sólidos del lavado= 12 725 kg/mes

En la tabla 66 se muestran los cálculos realizados para el balance de masa del proceso de lavado.

Tabla 66. Balance de masa en el lavador venturi de gases

Flujos que ingresan al lavador venturi		
Flujo másico del gas de síntesis	458	kg/h
Flujo másico de cenizas	1	kg/h
Flujo másico de alquitranes	94,4	kg/h
Flujos que salen del lavador venturi		
Flujo másico del gas de síntesis	438,3	kg/h
Flujo másico de cenizas	0	kg/h
Flujo másico de alquitranes	47,2	kg/h
Residuos del lavado que deberán ser tratados		
Residuos sólidos (char + alquitrán)	12 725	Kg/mes

Luego de hallar las cantidades de masa que se generan, se procedió a determinar las potencias que se generan en el lavador venturi. Para ello, se calculó primero la potencia de agua que ingresa y sale del proceso de lavado, para lo cual, se utilizó las temperaturas de la referencia [45], la cual, señala que el agua ingresa a temperatura de 25 °C y sale a 70 °C aproximadamente. Con estas temperaturas referentes se halló la potencia para el agua de entrada y de salida del lavador venturi. Para ello, primero se identificó la ecuación del calor específico de agua para cada temperatura, [47] se señala que para 25 °C la ecuación es: 4,180 kJ/kg* °C * flujo másico

(kg/h) * T (°C); y para 70 °C la ecuación es: 4,190 kJ/kg*°C* flujo másico (kg/h) * T (°C). Luego de ser reemplazadas con las temperaturas y los flujos másicos, se dividieron entre 3600 segundos para obtener el resultado de las potencias en kW.

$$\text{Pot. Agua que ingresa al lavado} = [4,180 \text{ kJ/ kg } ^\circ\text{C} * 1863,7 \text{ kg/h} * 25 \text{ } ^\circ\text{C}] / 3600 \text{ s}$$

$$\text{Pot. Agua que ingresa al lavado} = 54,2 \text{ kW}$$

$$\text{Pot. Agua que sale del lavado} = [4,190 \text{ kJ/ kg } ^\circ\text{C} * 1883,4 \text{ kg/h} * 70 \text{ } ^\circ\text{C}] / 3600 \text{ s}$$

$$\text{Pot. Agua que ingresa al lavado} = 153,4 \text{ kW}$$

En la tabla 67 se muestran los valores y las ecuaciones utilizadas de forma sintetizada:

Tabla 67. Potencia del agua en el lavador Venturi

Potencia de agua que ingresa al lavador		
P agua= cp*T (°C)* m (kg/h) donde cp= 4,180 KJ/ kg °C	T° agua=25 °C; 2746,7 kg/h	
Potencia disponible en el agua de entra al lavador	54,2	kW
Potencia de agua que sale del lavador		
P agua= cp*T (°C)* m (kg/h) donde cp= 4,190 KJ/ kg °C	T° agua=70 °C; 2776 kg/h	
Potencia disponible en el agua que sale del lavador	153,4	kW

Para determinar la potencia del gas que sale del lavador venturi, se utilizó la referencia [45] la cual indica, luego de realizar un análisis de sensibilidad con el software aspen plus, que la cantidad de gas de sale del lavador venturi es el 82,3 % de la que ingresó. Con este valor se determinó la potencia del gas de salida.

$$\text{Pot. Gas que sale de lavado} = 82,3\% * \text{Pot. Gas que ingresa al lavado}$$

$$\text{Pot. Gas que sale de lavado} = 82,3 \% * 1484 \text{ kW}$$

$$\text{Pot. Gas que sale de lavado} = 1221,3 \text{ kW}$$

Como bien se señaló anteriormente durante este proceso, la ceniza fue separada totalmente del gas y el alquitrán pudo ser separado en un 50 %. Por lo tanto, la potencia de la ceniza que sale del proceso de lavado es de 0 kW y la potencia de alquitrán que sale es de 16,5 kW, la misma, que el lavador venturi separa.

$$\text{Pot. Alquitrán que sale de lavado} = 50\% * \text{Pot. Alquitrán que ingresa al lavado}$$

$$\text{Pot. Alquitrán que sale de lavado} = 50\% * 33 \text{ kW}$$

Pot. Alquitrán que sale de lavado= 16,5 kW

Pot. Alquitrán que es separada = 16,5 kW

Posteriormente se halló la cantidad de potencia que perdió el gas de síntesis en el lavador venturi, para ello, se igualaron las entradas y salidas de la siguiente manera:

Entradas = Salidas

$P(\text{Agua} + \text{gas} + \text{ceniza} + \text{alquitrán}) = P(\text{agua} + \text{ceniza} + \text{alquitrán} + \text{gas}) + \text{Pérdidas}$

$\text{Pérdidas} = (54,2 + 1484 + 0,3 + 33) \text{ kW} - (153,4 + 0,3 + 16,5 + 16,5 + 1221,3) \text{ kW}$

$\text{Pérdidas} = 163,5 \text{ kW}$

En la tabla 68 se muestra el resumen de las potencias que ingresan y salen del balance de energía del proceso de lavado.

Tabla 68. Balance de energía en el lavador de gases

Potencia que ingresa al lavador		
Potencia de agua	54,2	kW
Potencia de gas	1484	kW
Potencia de ceniza	0,3	kW
Potencia de alquitrán	33	kW
Potencia separada durante el proceso de lavado		
Potencia de agua	153,4	kW
Potencia en pérdidas	163,5	kW
Potencia de ceniza	0,3	kW
Potencia de alquitrán	16,5	kW
Potencia que sale del lavador		
Potencia de gas	1221,3	kW
Potencia de alquitrán	16,5	kW

En la figura 34 se muestra el balance de masa y energía del proceso de lavado, donde se indica los valores hallados y variables de proceso consideradas.

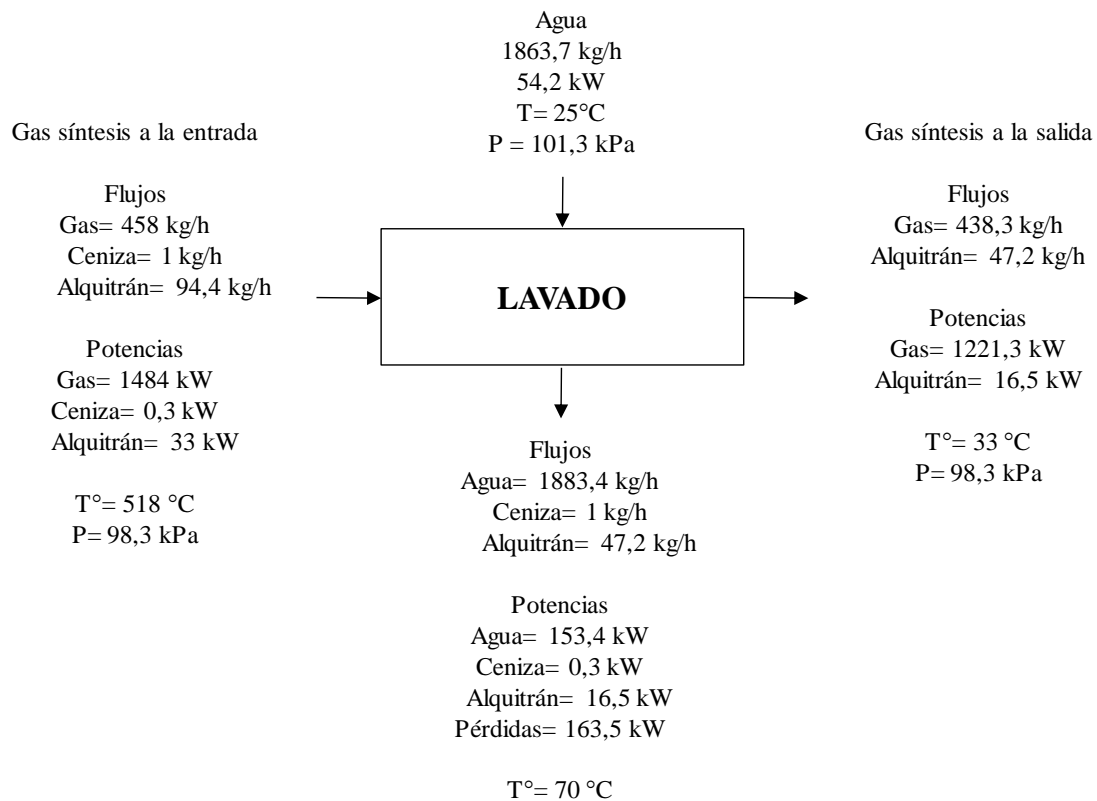


Figura 34. Balance de masa y energía del proceso de lavado

3.3.4.4. Proceso de filtrado

En [45] se indica que el proceso de filtrado del syngas realizado en un filtro de mangas, separa el alquitrán restante, proveniente del proceso de lavado, y que no afecta a los resultados del sistema. Igualmente, se señala que el ingreso de esta sustancia al motogenerador produciría humos de combustión altamente contaminantes y afectaría la capacidad del motor para producir energía eléctrica. Tomando en cuenta esta cita, se obtuvo que los 47,2 kg/h de alquitrán que resultan del proceso de lavado, son separados del syngas, lo que genera un gas de síntesis limpio y libre de alquitranes. Asimismo, el gas que ingresa al filtro de mangas no se ve afectado y se mantiene igual a su salida.

Alquitrán que se separa = Alquitrán que ingresa al filtro de mangas

Alquitrán que se separa = 47,2 kg/h

Gas de salida del filtro = Gas de entrada del filtro

Gas de salida del filtro= 438,3 kg/h

En la tabla 69 se muestra el balance de masa que se realizó en el filtro de mangas.

Tabla 69. Balance de materia en el filtro de mangas

A la entrada del filtro de mangas		
Flujo másico de gas de síntesis	438,3	kg/h
Flujo másico de alquitrán	47,2	kg/h
Componentes separados a través del proceso de filtrado		
Flujo másico de alquitrán	47,2	kg/h
A la salida del filtro de mangas		
Flujo másico de gas de síntesis	438,3	kg/h

El alquitrán que es retirado a través de este proceso será enviado mediante transporte neumático hacia una tolva de almacenamiento donde será acumulado hasta su posterior disposición, la cual podría ser su venta hacia una empresa de fabricación de ladrillos, de construcción de carreteras, de producción de jabones, de pinturas impermeabilizantes, de plásticos o hacia otro tipo de industria que requiera este componente.

Para determinar la potencia de alquitrán que se separó, se consideró el balance de materia resumido en la tabla 69, la cual indica que la cantidad total de alquitrán que ingresó al filtro de mangas fue separada, por lo tanto, si el flujo másico es separado la potencia también lo es. Asimismo, la potencia del gas de salida del filtro se mantuvo igual que la de entrada.

Pot. Alquitrán que se separa = Pot. Alquitrán que ingresa al filtro de mangas

$$\text{Alquitrán que se separa} = 16,5 \text{ kW}$$

Gas de salida del filtro = Gas de entrada del filtro

$$\text{Gas de salida del filtro} = 1221,3 \text{ kW}$$

En la tabla 70 se muestra el balance de energía que se realizó en el proceso de filtrado.

Tabla 70. Balance de energía en el filtro de mangas

Potencia que ingresa al filtro de mangas		
Potencia de gas	1221,3	kW
Potencia de alquitrán	16,5	kW
Potencia separada a través del proceso de filtrado		
Potencia de alquitrán	16,5	kW
Potencia que sale del filtro de mangas		
Potencia de gas	1221,3	kW

En la figura 35 se muestra el balance de masa y energía del proceso de filtrado, donde se indican los inputs y outputs involucrados.

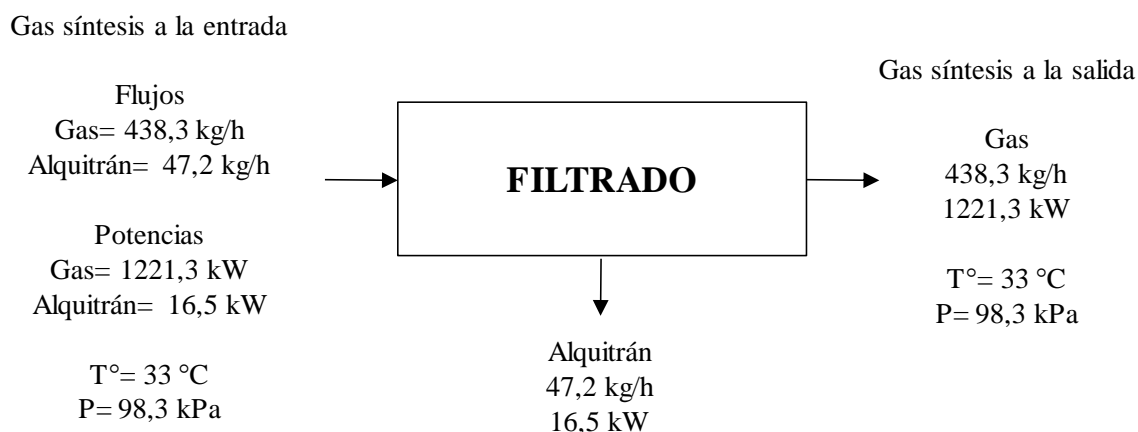


Figura 35. Balance de masa y energía del proceso de filtrado

3.3.4.5. Proceso de transformación a energía eléctrica

En este proceso, el syngas limpio ingresa a un motogenerador para que este convierta la energía térmica del gas en energía eléctrica.

Para determinar el flujo másico de aire requerido por el motogenerador, se utilizó la referencia bibliográfica [45] en la cual se indica que un flujo de 37,38 kg/h de requiere 46,8 kg/h de aire para la transformación a energía eléctrica en un motor de combustión interna. Con estos valores de referencia, se realizó una regla de 3 simple para determinar la cantidad de aire que el motogenerador requiere. Asimismo, se consideró la temperatura de 25 °C para el aire que ingresa al proceso.

X = Flujo másico de aire que requiere el motogenerador

U= Flujo másico de gas que ingresa al motogenerador

K= Flujo másico de aire que ingresa al motor según referencia bibliográfica

L= Flujo másico de gas que ingresa al motor según referencia bibliográfica

$$X = (U * K) / L$$

$$X = (438,3 * 46,8) \text{ kg/h} / 37,38 \text{ kg/h}$$

$$X = 548,8 \text{ kg/h}$$

Esto se interpreta que el motogenerador requiere 548,8 kg/h de aire. Para determinar la potencia del aire de entrada se utilizó la ecuación de calor específico a 25 °C [45]. El calor específico del aire a 25 °C es de 1,0032 kJ/kg °C.

$$P_{\text{aire}} = [(1,0032 \text{ kJ/ kg} * \text{°C}) * 25 \text{ °C} * 548,8 \text{ kg/h}] * 1 \text{ h} / 3600 \text{ s}$$

$$P_{\text{aire}} = 3,8 \text{ kW}$$

Se obtuvo que 3,8 kW es la potencia requerida de aire para que el motogenerador pueda tener un funcionamiento adecuado. En la tabla 71 se resumen los valores hallados sobre el aire.

Tabla 71. Flujo másico y potencia de aire en el motogenerador

Flujo másico de aire requerido por el motogenerador	548,8	kg/h
Flujo másico de gas de entrada al motogenerador	438,3	kg/h
$P_{\text{aire}} = c_p * T (\text{°C}) * m \text{ (kg/h)}$ donde $c_p = 1,0032 \text{ kJ/ kg °C}$	$T^{\circ} \text{ agua} = 25 \text{ °C}$	
Potencia disponible en el aire que ingresa al motogenerador	3,8	kW

Una vez obtenida la cantidad de aire que ingresa al motor se calculó el flujo másico de humo que emite el motogenerador, para ello se igualó las entradas con las salidas:

$$\text{Salidas} = \text{Entradas}$$

$$\text{Humos de combustión} = \text{Gas de síntesis} + \text{Aire}$$

$$\text{Humos de combustión} = 438,3 \text{ kg/h} + 548,8 \text{ kg/h}$$

$$\text{Humos de combustión} = 987,1 \text{ kg/h}$$

Se obtuvo que el motogenerador emite 987,1 kg/h de humos de combustión, producto de la transformación de energía térmica en energía eléctrica. En la tabla 72 se resume el balance de masa que se realizó en el motogenerador.

Tabla 72. Balance de masa en el motogenerador

A la entrada del Motogenerador		
Flujo másico de gas de síntesis	438,3	kg/h
Flujo másico de aire	548,8	kg/h
A la salida del motogenerador		
Flujo másico de humos	987,1	kg/h

Luego de realizar el balance de masa, se determinó las potencias para realizar el balance de energía, para lo cual se usó la referencia [45] la cual indica que los motores a gas tienen una eficiencia que varía entre un 15% y un 25% cuando el combustible que se usa es gas de síntesis. Debido a esta variación, se consideró el promedio de 20 % como el más evidente a generar. Por lo tanto, se obtuvo que la potencia eléctrica final es de 245 kW.

$$\text{Potencia Eléctrica} = 20\% * P (\text{Gas que ingresa} + \text{Aire que ingresa})$$

$$\text{Potencia Eléctrica} = 20\% * (1221,3 \text{ kW} + 3,8 \text{ kW})$$

$$\text{Potencia Eléctrica final} = 245 \text{ kW}$$

Finalmente se determinó la potencia que se pierde en el humo, para lo cual, se igualó las potencias de entrada con las de salida.

$$\text{Entradas} = \text{Salidas}$$

$$P (\text{Gas que ingresa} + \text{Aire que ingresa}) = P (\text{Energía eléctrica obtenida} + \text{humo})$$

$$P. \text{ humo} = P (\text{gas que ingresa} + \text{aire que ingresa} - \text{energía eléctrica obtenida})$$

$$P. \text{ humo} = 1221,3 \text{ kW} + 3,8 \text{ kW} - 245 \text{ kW}$$

$$P \text{ humo} = 980 \text{ kW}$$

También se obtuvo, que el humo contiene 980 kW de potencia que se pierden durante este proceso. En la tabla 73 se sintetizan los valores obtenidos respecto al balance de energía en el motogenerador.

Tabla 73. Balance de energía en el motogenerador

Potencia que ingresa al motogenerador		
Potencia de gas	1221,3	kW
Potencia de aire	3,8	kW
Potencia separada a través del proceso de transformación a energía eléctrica		
Potencia humo	980,1	kW
Potencia que sale del motogenerador		
Potencia eléctrica final	245	kW

Cabe recalcar que, en este proceso, el motogenerador eléctrico produce energía eléctrica alterna trifásica de 220 V que luego es enviada a un tablero eléctrico, para poder energizar todo el sistema productivo.

En la figura 36 se muestra el balance de masa y energía del proceso de transformación a energía eléctrica, en la cual, se señalan los inputs y outputs calculados anteriormente.

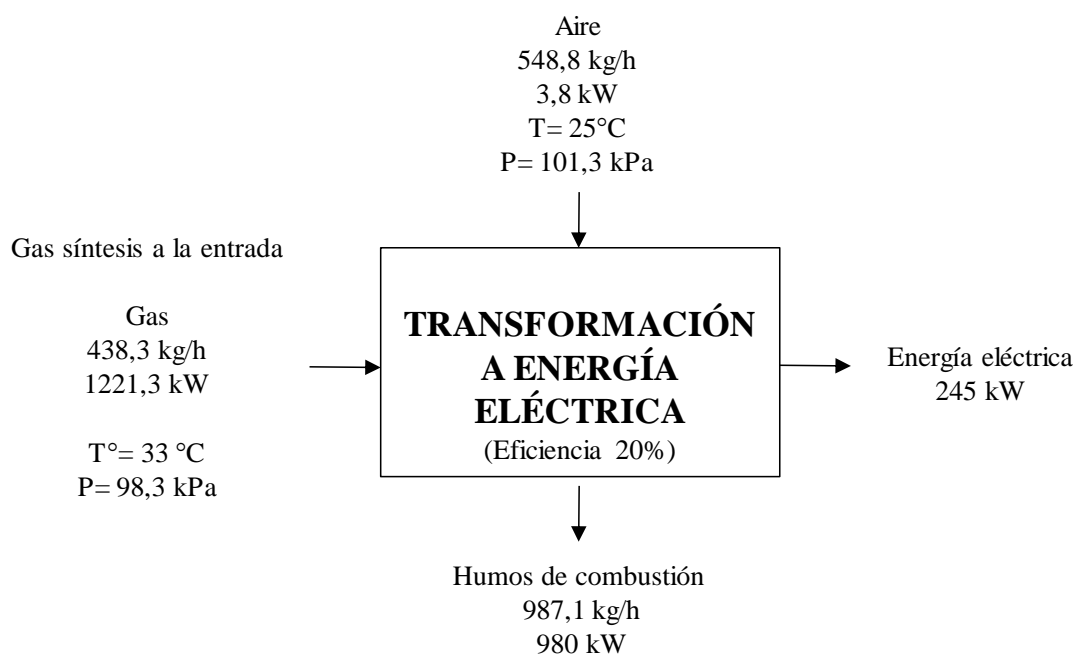


Figura 36. Balance de masa y energía del proceso de transformación a energía eléctrica

A continuación, se muestra en la figura 37, el balance de masa de todos los procesos del sistema de gasificación y generación de electricidad.

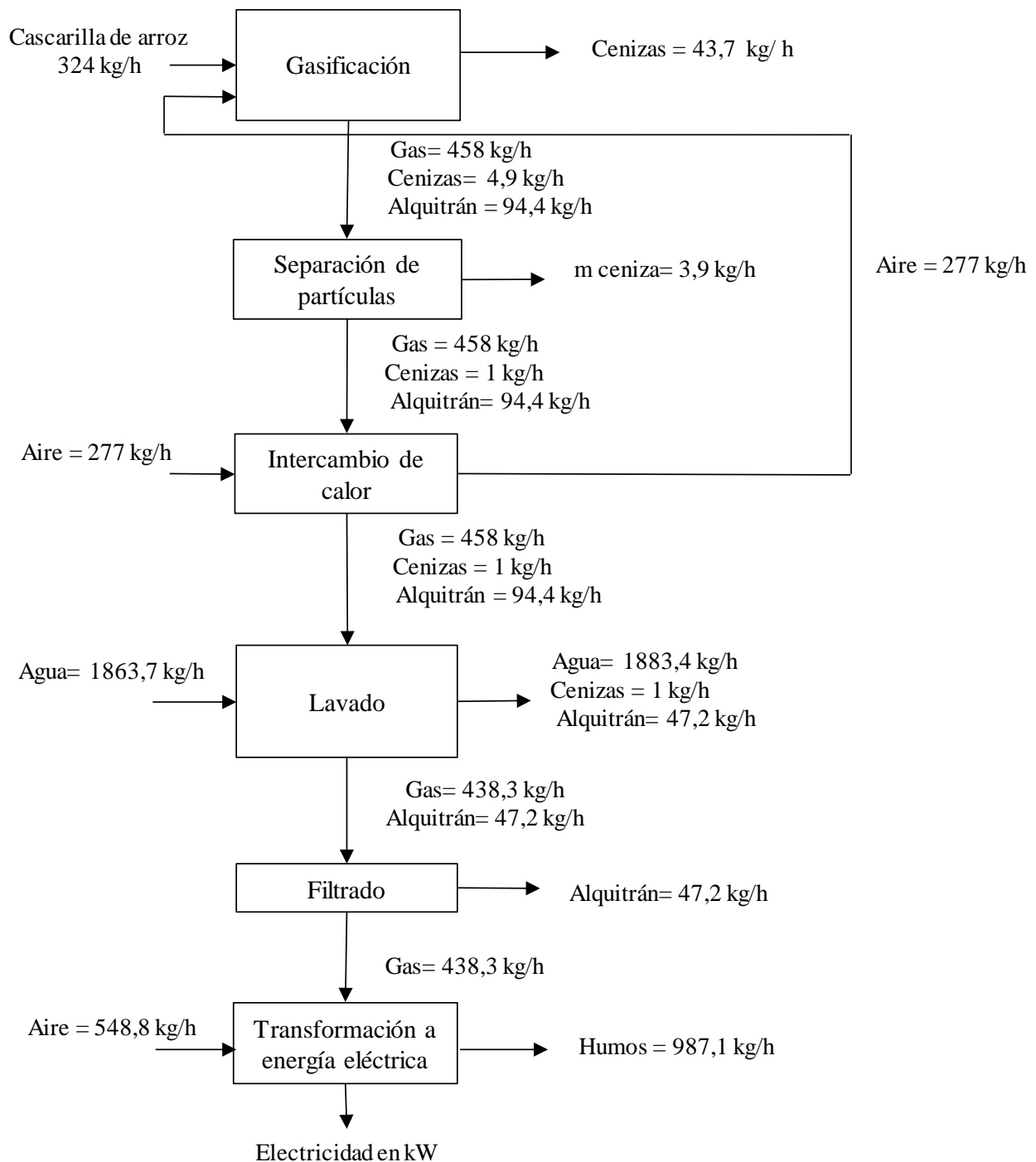


Figura 37. Balance de masa del sistema de gasificación y generación de electricidad

En la figura 38, se muestra el balance de energía de todos los procesos del sistema de gasificación y generación de electricidad.

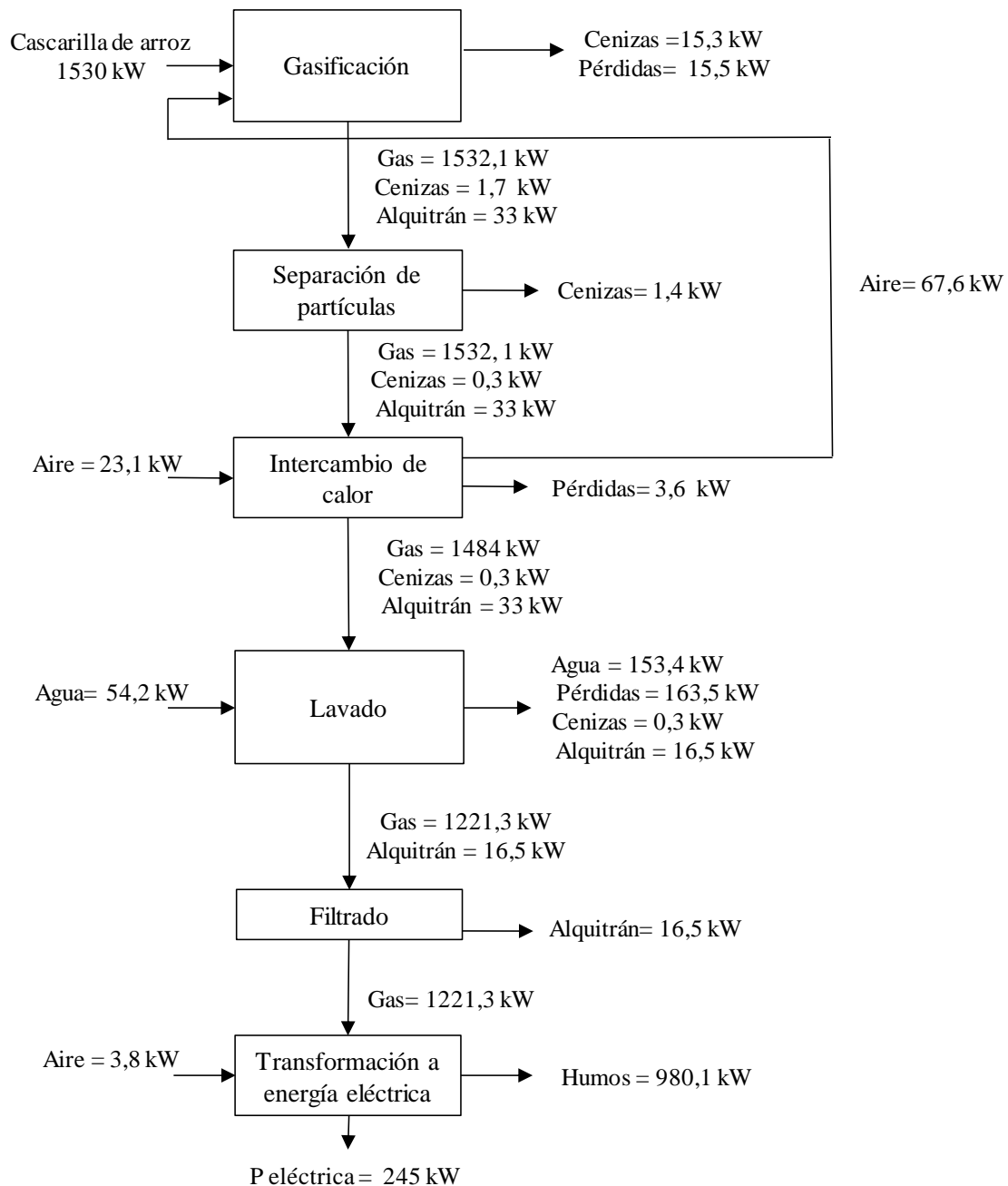


Figura 38. Balance de energía del sistema de gasificación y generación de electricidad

3.3.5. Conexión eléctrica para el funcionamiento del sistema productivo

Para especificar las conexiones eléctricas que se van realizar, es relevante definir que el proceso de transformación de energía eléctrica tiene como equipo de conversión un motogenerador, el cual, consiste en una máquina de tipo síncrona que transforma energía mecánica en energía eléctrica.

En [50] se indica que en un generador síncrono cuando la potencia de salida es mayor a 5 kVA (4 kW con factor de potencia 0,80), es más barato, más seguro y más práctico emplear un campo rotatorio de corriente continua. Un generador síncrono de campo rotatorio tiene una armadura estacionaria llamada estator. El devanado trifásico del estator está conectado directamente a la carga, donde el estator estacionario también facilita el aislamiento de los devanados porque no están sujetos a fuerzas centrífugas. Dicho generador es llamado en ocasiones alternador, el cual genera corriente alterna mediante la inducción electromagnética.

Por lo tanto, el generador síncrono transforma la energía mecánica en energía eléctrica trifásica de corriente alterna, la cual es enviada al tablero de distribución eléctrica, que se encarga de energizar la línea de producción. La corriente que produce el generador no requiere ninguna conversión, ya que la maquinaria del molino funciona con corriente alterna trifásica, lo que permite que la energía eléctrica sea transportada en la misma forma que sale del generador.

Es menester, señalar que el generador eléctrico, de acuerdo al balance energético, produce una cantidad aproximada de 245 kW por hora y que el molino funciona con 180 kW por hora en su capacidad máxima. Sin embargo, en [51], se señala que se debe considerar un incremento del 15 % extra del consumo productivo, debido a que el sistema de gasificación y generación de electricidad también consume potencia eléctrica. En efecto, se obtuvo que la demanda total energética es de 207 kW por hora y que el sistema de gasificación puede satisfacer la demanda en su totalidad.

Consumo energético total por hora= Consumo del sistema productivo + Consumo del sistema de gasificación y generación de electricidad

Consumo energético total por hora= 180 kW + 15% (180 kW)

Consumo energético total por hora= 207 kW

Además, es relevante indicar que el generador produce energía eléctrica con una frecuencia de 60 hertz y una tensión de 220 V trifásica, ya que los motores utilizados por el molino son del tipo asíncronos de corriente alterna. También, cabe recalcar que la cantidad de amperios que se produce es de 280 A por hora, lo cual, es la equivalencia de corriente alterna de todo el sistema productivo.

En la tabla 74 se muestra las características eléctricas principales que debe cumplir el tablero de distribución eléctrica para el adecuado funcionamiento del sistema de gasificación y generación de electricidad.

Tabla 74. Características eléctricas principales del tablero de distribución eléctrica

Características eléctricas del tablero de distribución eléctrica	
Amperios	280 A – 300 A
Tensión	220 V alterna trifásica
Frecuencia	60 Hz
Potencia eléctrica	207 - 245 kW
Barras principales	Cobre

3.3.6. Operación y mantenimiento del sistema de gasificación y generación de electricidad

En [52] se indica que el costo de mantenimiento de los gasificadores es muy bajo. así como su operación. También se señala que, del total de un año de trabajo, es decir, trabajando 24 horas por día, el gasificador trabaja un 80% y la cantidad restante es requerida para su mantenimiento. Además, señala que la frecuencia de mantenimiento depende del tamaño y aplicación del gasificador.

Sin embargo, en el molino la producción de arroz pilado se realiza por 11 horas al día, de lunes a sábado, por lo tanto, se consideró que los días domingo serán utilizados para realizar el mantenimiento del sistema de gasificación, dado a que no afecta el horario de producción. Esto significa que los chequeos de cada 100 horas se realizarán cada 6 días laborables y los chequeos de cada 400 horas se harán cada 36 días de producción.

A continuación, en la tabla 75 se señala el plan de mantenimiento para el sistema de gasificación, el cual está basado en el mantenimiento de un gasificador de 1 MW [52].

Tabla 75. Plan de mantenimiento del sistema de gasificación

Plan de mantenimiento del sistema de gasificación	
Chequeo diario	<ul style="list-style-type: none"> - Chequear niveles de agua - Drenar cenizas - Chequear humedad en biomasa
Chequeo de cada 100 horas (se detiene el funcionamiento del gasificador de 2 a 4 horas)	<ul style="list-style-type: none"> - Chequear tolva de vaciado - Chequear puntas de entrada de aire - Chequear válvula de succión de aire - Chequear separador de agua
Chequeo de cada 400 horas (se detiene el funcionamiento del gasificador aproximadamente 24 horas)	<ul style="list-style-type: none"> - Chequear cámara de carbón, para evitar acumulaciones - Chequear puntas de entrada de aire - Limpiar soplador - Chequear tubería de gas - Chequear sellos - Examinar el filtro de seguridad
Chequeo de cada 1000 horas (se detiene el funcionamiento del gasificador de 2 a 4 horas). Estos chequeos, se pueden hacer con el chequeo de 400 horas, y así evitar detener el gasificador durante 2 a 4 horas.	<ul style="list-style-type: none"> - Chequear niveles de aceite en cajas reductoras - Chequear cojinetes y sellos de aceite - Chequear eléctrica en el panel de control

Respecto al costo de operación y mantenimiento, en [53] se indica que el costo de operación y mantenimiento de un sistema de generación de electricidad a partir de la gasificación está compuesto por la suma de un costo fijo más un costo variable; el costo fijo está representado por el rango de 3% a 6% del costo total de inversión anual o gastos de capital, incluye los costos de laburo, mantenimiento programado, reemplazo de componentes de los equipos del sistema, seguro, etc. El costo variable depende de la salida del sistema y está expresado como un valor por unidad de salida (USD/kWh), incluye costos de combustible, pero no de biomasa, disposición de cenizas, mantenimiento no programado, reemplazo de elementos de los equipos e incrementos de costos de servicios. Los cuales generan un costo variable de \$ 3,7 por 1 MWh producido.

Para determinar el costo de operación y mantenimiento (OP) del sistema se consideró lo siguiente: para el costo fijo se utilizó el promedio de los porcentajes señalados, es decir, se representa como el 4,5 % del costo total de inversión o gastos de capital y para el costo variable se utilizó la conversión de \$1 igual a 3,30 soles, significa, que por cada 1 MWh producido se tiene un costo de operación y mantenimiento de S/. 12,21. Con estos datos, se obtuvo que el

costo de operación y mantenimiento anual del sistema de gasificación y generación de electricidad es de S/. 101 539,7.

$$\text{Costo de OP} = \text{Costo fijo} + \text{Costo variable}$$

$$\text{Costo de OP} = \left[4,5 \% * \frac{\text{costo total de inversión}}{\text{año}} \right] + \left[\frac{\text{costo}}{1 \text{ kWh}} * \frac{\text{kWh requeridos}}{\text{año}} \right]$$

$$\text{Costo de OP} = \left[4,5 \% * \frac{S/ 2 078 504}{\text{año}} \right] + \left[\frac{0,01221}{1 \text{ kWh}} * 655 776 \frac{\text{kWh}}{\text{año}} \right]$$

$$\text{Costo de OP} = \frac{S/ 101 539,7}{\text{año}}$$

3.3.7. Impacto ambiental generado por el sistema de gasificación y generación de electricidad

3.3.7.1. Impacto ambiental

En [54] se señala que el impacto ambiental de la producción de electricidad a través de la gasificación de biomasa, es mucho más alto cuando los alquitranes son vertidos en el agua en comparación con su descarga en el suelo, siendo los elementos más peligrosos, la piridina, el fulfural y el antraceno. Estos resultados se obtuvieron con el enfoque de evaluación del ciclo de vida.

Otras emisiones que pueden causar impacto ambiental negativo son las emisiones gaseosas, las cuales son generadas principalmente por el motogenerador, contienen partículas en suspensión que pueden contaminar el aire. Asimismo, los ruidos ocasionados por el sistema de gasificación y generación de electricidad contaminan y pueden ser perjudiciales para los colaboradores que trabajen cerca de esta área.

En la tabla 76 se indican los impactos ambientales y sus causas, que se pueden producir durante el funcionamiento del sistema de gasificación y generación de electricidad.

Tabla 76. Impactos ambientales causados por el sistema de gasificación y generación de electricidad

Impacto ambiental	Causas
Alteración de la calidad del suelo	- Residuos sólidos mal manejados durante el transporte y acumulación en las tolvas de almacenamiento.
Alteración de la calidad del agua	- En caso de un mal funcionamiento del tanque de sedimentación. - Debido a la falta de control de los de los componentes del agua residual respecto a los límites permisibles de la legislación vigente.
Alteración de la calidad del aire	- Materia particulado por mal manejo de los residuos sólidos. - Mal funcionamiento de los equipos del sistema de gasificación y generación de electricidad - Emisiones gaseosas generados por el motogenerador y el gasificador.
Alteración de la calidad acústica del medio por generación de ruido	- Contaminación sonora causada por el funcionamiento del sistema de gasificación y generación de electricidad

3.3.7.2. Medidas de prevención y corrección

Para mitigar los impactos ambientales negativos originados por el sistema de gasificación y generación de electricidad se propuso las siguientes medidas preventivas y correctoras:

- ✓ Control de los vertidos mediante un análisis elemental para determinar que cumplan con los límites permisibles establecidos por la legislación vigente.
- ✓ Control de los residuos sólidos, los cuales deberán cumplir con la legislación vigente para ser depositados sin ningún riesgo en un vertedero a través de un gestor de residuos autorizado, en caso no logren ser vendidos.
- ✓ Control del correcto funcionamiento del tanque de sedimentación, de su preciso mantenimiento y limpieza.
- ✓ Señalización de los contenidos de las tolvas de almacenamiento, del tanque de sedimentación y etiquetado de las sustancias peligrosas.
- ✓ Control de las emisiones gaseosas emitidas por el sistema de gasificación y generación de electricidad.

- ✓ Control de las tolvas de almacenamiento de cenizas, char, alquitrán y del depósito de agua. Mediante la supervisión del correcto uso, mantenimiento y prevención de fugas y derrames.
- ✓ Insonorización de los equipos del sistema de gasificación y generación de electricidad que no cumplan con el límite sonoro permitido por la legislación vigente.
- ✓ Control del funcionamiento óptimo y del mantenimiento correctivo y preventivo de los equipos del sistema de gasificación y generación de electricidad.
- ✓ Elaboración de informes de la operación y mantenimiento del sistema y de la disposición de los residuos.

3.3.7.3. Disposición de los residuos sólidos y líquidos

En el balance de masa y energía se indicó que el proceso de lavado es aquel donde se hace uso de agua, para mitigar su contaminación se consideró la cita [45], la cual señala que el gas de síntesis que ingresa al lavador venturi, desprende componentes en el agua, que en su mayoría son ácidos, generando que el agua de lavado disminuya su pH y sea no apta para verterla directamente al alcantarillado público, de modo que, al depósito de agua que proviene del lavador se le agrega hidróxido de calcio con el fin de que después de un periodo de tiempo, el agua contenga un pH apto para verterlo al alcantarillado o para que se pueda reutilizar en el proceso a través de una bomba de recirculación.

Respecto a los residuos sólidos como las cenizas, char y alquitrán que provienen de los procesos de gasificación, separación de partículas, lavado y filtrado serán acumulados en tolvas de almacenamiento para su posterior disposición, que podría ser la venta a la industria cementera, de construcción o será puesta a disposición por un gestor de residuos autorizado. Además, podría considerarse la venta a la industria tecnológica, ya que en [55] se señala que la ceniza, producto de la gasificación de cascarilla de arroz, tiene alto contenido de sílice amorfa, la cual puede ser usada para la producción de gel de silicio, chips de silicio, producción de materiales de construcción de bajo peso, ingredientes para las baterías de litio, captura de carbono, etc.

Los costos de la disposición de residuos han sido considerados en el costeo realizado del inciso anterior, operación y mantenimiento del sistema de gasificación y generación de electricidad. Sin embargo, los ingresos por venta de los residuos sólidos no han sido considerados, ya que es una solución hipotética y no es el objetivo de la presente investigación.

3.3.8. Ubicación y distribución del área para el sistema de gasificación y generación de electricidad

3.3.8.1. Ubicación del sistema de gasificación y generación de electricidad

El sistema de gasificación y generación de electricidad se ubicó detrás de la línea de pilado de arroz, porque detrás de esta, hay una gran tolva de almacenamiento de cascarilla de arroz, la cual facilitaría el transporte de la cascarilla hacia el gasificador, y por ende, evitaría costos adicionales de transporte.

3.3.8.2. Distribución del área para el sistema de gasificación y generación de electricidad

Para la distribución de las áreas del sistema de gasificación y generación de electricidad se utilizó la metodología Guerchet, la cual fue aplicada a las medidas de la maquinaria empleada y la cantidad de operarios requeridos para el funcionamiento del sistema. Las medidas de los equipos y maquinarias fueron obtenidas de [56], la cual señala dimensiones aproximadas de referencia.

En la tabla 77 se muestra las abreviaturas de los términos y las ecuaciones que se usaron para calcular la superficie total que demandará el sistema de gasificación y generación de electricidad.

Tabla 77. Ecuaciones utilizadas para la distribución del área del sistema de gasificación

Abreviatura	Términos Guerchet
n	Cantidad de elementos requeridos
N	Número de lados utilizados
SS	Superficie estática= largo x ancho
SG	Superficie gravitacional= SS x N
K	Coefficiente de superficie evolutiva= $0,5 \times (hm/hf)$ $K= 0,35$
hm	Altura promedio de elementos móviles
hf	Altura de promedio de elementos fijos
SE	Superficie evolutiva= $K \times (SS+SG)$
ST	Superficie total = $n \times (SS+SG+SE)$

En la tabla 78 se muestra los cálculos que se llevaron a cabo, mediante el uso de la tabla 77, para determinar la superficie total. Como resultado se obtuvo que se requiere aproximadamente 633 m² para la locación del sistema de gasificación y generación de electricidad. Asimismo, se tomó en cuenta, para esta operación, la labor de un operario para todo el sistema, que se encargará de supervisar el correcto funcionamiento de los equipos.

Tabla 78. Determinación de la distribución de área para el sistema de gasificación y generación de electricidad

Proceso	Elemento	n	N	Largo (L)	Ancho (A)	SS	SG	Altura (h)	SE	S	ST
Elementos móviles											
Todo	Operarios	1	1	0,5	1	0,50	0,5	1,65	0,35	1,35	1,35
Elementos fijos											
GASIFICACIÓN	Tolva de cascarilla de arroz	1	1	4,00	4,00	16,00	16,00	4,00	11,21	43,21	43,21
	Gasificador downdraft	1	1	4,00	3,50	14,00	14,00	6,00	9,81	37,81	37,81
	Motor para transporte neumático	1	1	0,50	0,50	0,25	0,25	0,50	0,18	0,68	0,68
	Tubería de transporte neumático	1	1	25,00	0,30	7,50	7,50	0,30	5,26	20,26	20,26
	Tolva de almacenamiento de cenizas	1	1	4,00	4,00	16,00	16,00	4,00	11,21	43,21	43,21
SEPARACIÓN DE PARTÍCULAS	Ciclón	1	1	3,00	2,50	7,50	7,50	3,50	5,26	20,26	20,26
	Tolva de almacenamiento de cenizas	1	1	4,00	4,00	16,00	16,00	4,00	11,21	43,21	43,21
	Tubería de transporte neumático	1	1	25,00	0,30	7,50	7,50	0,30	5,26	20,26	20,26
INTERCAMBIO DE CALOR	Intercambiador de calor	1	1	2,50	2,50	6,25	6,25	4,00	4,38	16,88	16,88
	Ventilador	1	1	2,00	2,00	4,00	4,00	1,50	2,80	10,80	10,80
	Tubería hasta gasificación	1	1	25,00	0,30	7,50	7,50	0,30	5,26	20,26	20,26
LAVADO DE GASES	Lavador venturi de gas	1	1	2,50	2,50	6,25	6,25	3,50	4,38	16,88	16,88
	Tubería hasta tanque de sedimentación	1	1	25,00	0,30	7,50	7,50	0,30	5,26	20,26	20,26
	Tanque de sedimentación	1	1	15,00	4,00	60,00	60,00	4,00	42,05	162,05	162,05
	Tolva de almacenamiento	1	1	4,00	4,00	16,00	16,00	4,00	11,21	43,21	43,21
	Motor para transporte	1	1	0,50	0,50	0,25	0,25	0,50	0,18	0,68	0,68
	Tubería hasta alcantarillado	1	1	25,00	0,30	7,50	7,50	0,30	5,26	20,26	20,26
FILTRACIÓN DE PARTÍCULAS	Filtro de mangas	1	1	2,50	2,50	6,25	6,25	4,00	4,38	16,88	16,88
	Tolva de almacenamiento	1	1	4,00	4,00	16,00	16,00	4,00	11,21	43,21	43,21
	Motor para transporte neumático	1	1	0,50	0,50	0,25	0,25	0,50	0,18	0,68	0,68
	Tubería hasta tolva de almacenamiento	1	1	25,00	0,30	7,50	7,50	0,30	5,26	20,26	20,26
TRANSFORMACIÓN A ENERGÍA ELÉCTRICA	Motogenerador a gas	1	1	2,50	1,50	3,75	3,75	2,00	2,63	10,13	10,13
									Superficie Total m²	632,66	

En las figuras 39 y 40 se muestran la distribución inicial del molino de arroz y la distribución con la aplicación del sistema de gasificación y generación de electricidad. Donde se puede apreciar que el área de sacos de materia prima queda reducida en la figura 40, ya que se utiliza parte de ella para la ubicación del sistema.

En la figura 41 se muestra la distribución del sistema de gasificación y generación de electricidad de manera más detallada, ya que se puede observar las medidas de los equipos y la ubicación de 4 tolvas de almacenamiento de sólidos y 1 tanque de sedimentación para el tratamiento de las aguas residuales.

Con el fin de obtener un panorama del sistema de gasificación y generación de electricidad, en la figura 42 se muestra uno de la marca Ankur con capacidad de 100 kW, que tiene procesos similares para el aprovechamiento energético de la cascarilla de arroz.

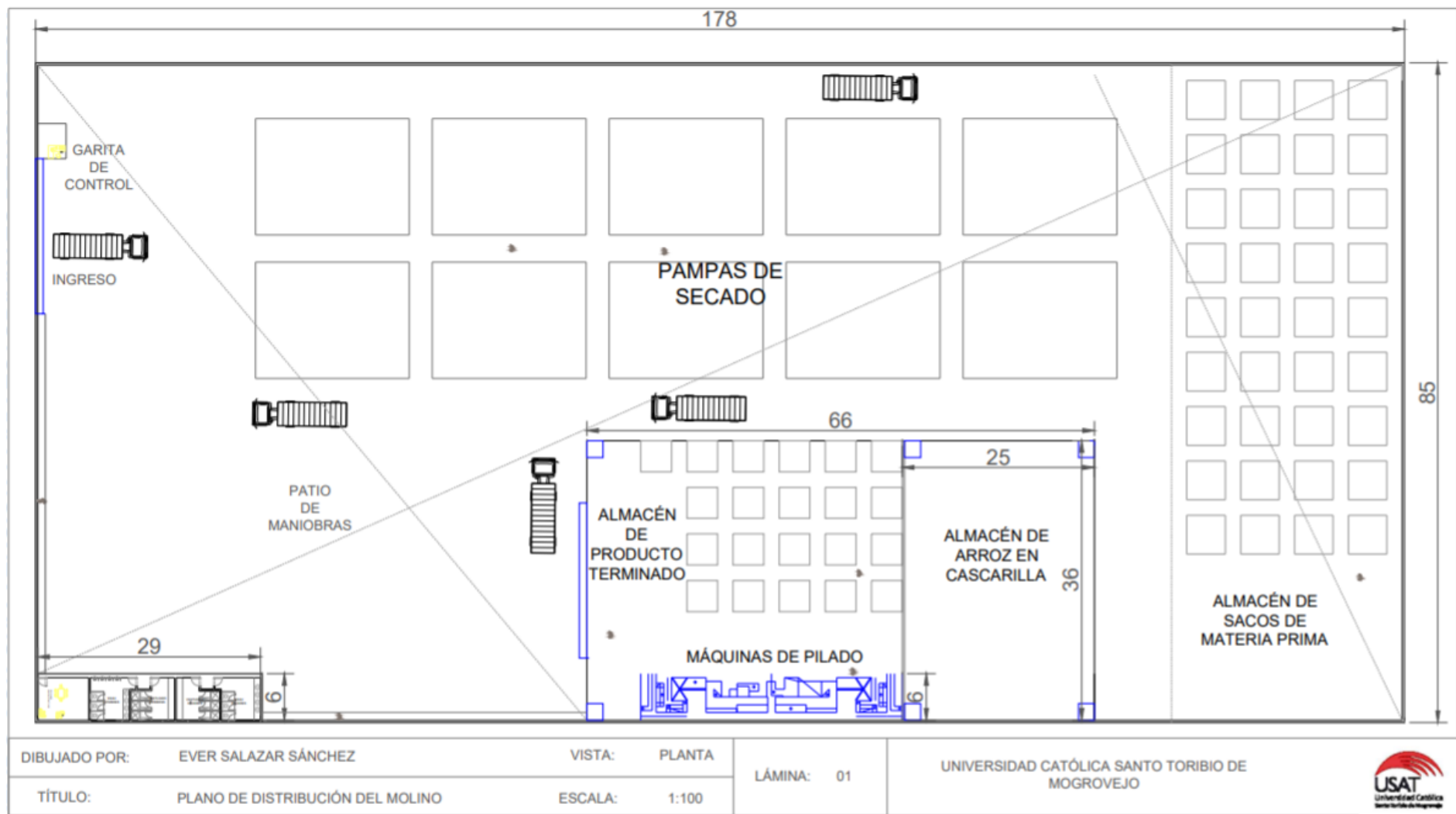


Figura 39. Distribución inicial de las áreas del Molino Semper S. A. C.

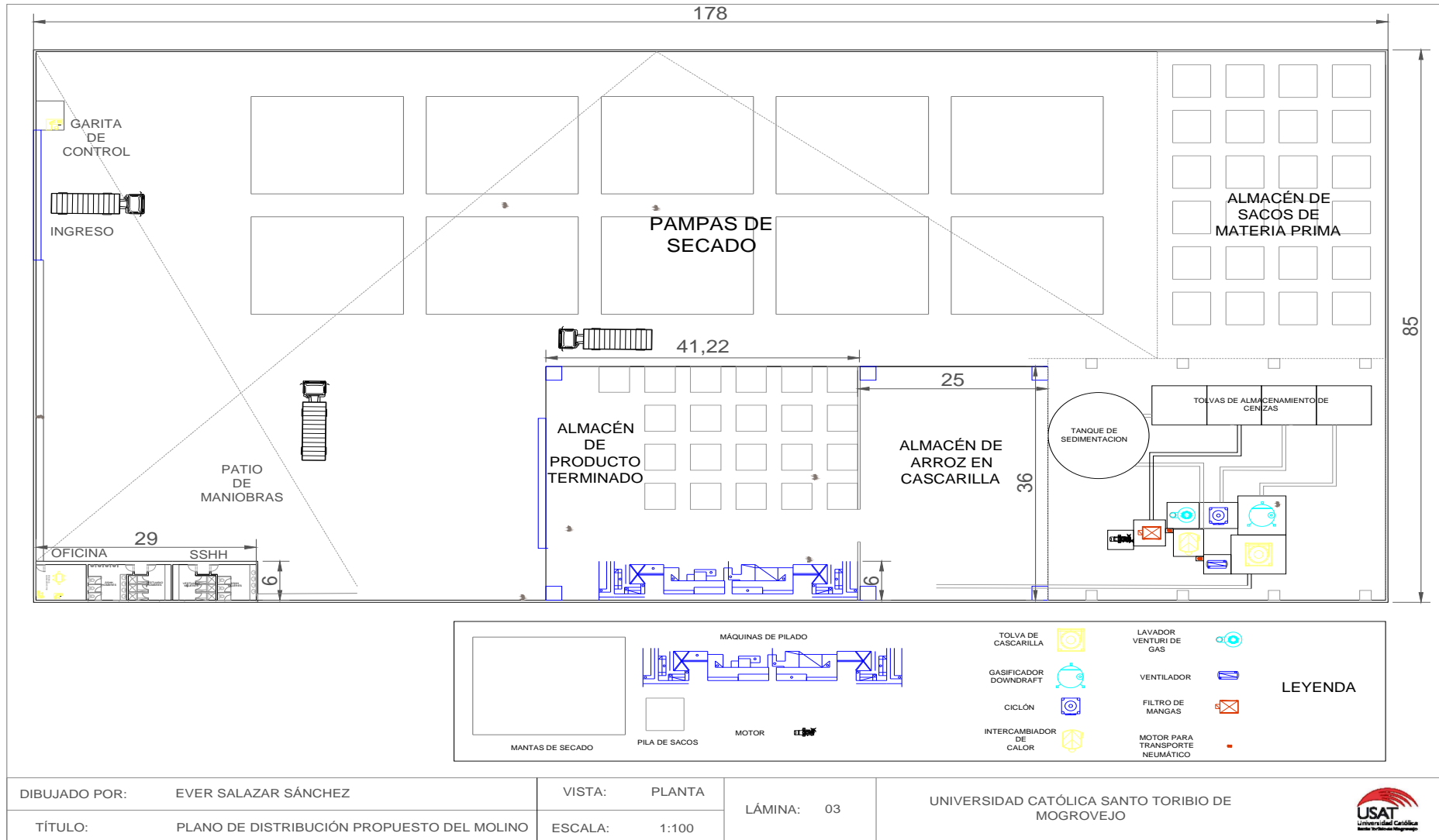
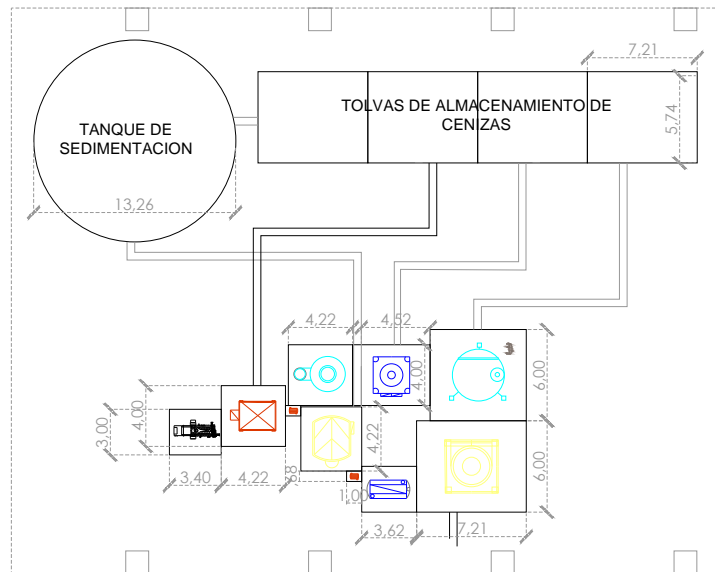


Figura 40. Distribución de las áreas del Molino Semper S. A. C. con el sistema de gasificación y generación de electricidad



DIBUJADO POR: EVER SALAZAR SÁNCHEZ	VISTA: PLANTA	LÁMINA: 04	UNIVERSIDAD CATÓLICA SANTO TORIBIO DE MOGROVEJO
TÍTULO: DISTRIBUCIÓN SISTEMA DE GASIFICACIÓN	ESCALA: 1:100		

Figura 41. Distribución del sistema gasificación y generación de electricidad



Figura 42. Esquema del sistema gasificación y generación de electricidad

3.4. COSTO Y BENEFICIO DE LA PROPUESTA

Para determinar el costo y beneficio de la propuesta, primero se calculó el costo del sistema de gasificación y generación de electricidad, la cual se obtuvo a través de una solicitud de cotización a la empresa Ankur Technologies [51], que es uno de los principales proveedores de tecnologías de energía limpia en el mundo.

Para determinar si se incrementó la rentabilidad de la empresa, se halló los resultados para 2 escenarios diferentes, primero se calculó los indicadores en un escenario en el que el molino no había adquirido con el sistema de gasificación, es decir, que se mantendría en la misma situación actual. El segundo escenario se determinó con la suposición de que el molino realizó la inversión para adquirir la tecnología de gasificación y, por lo tanto, se consideró un financiamiento del proyecto y el incremento de 1440 horas de producción, lo que conllevó a nuevos indicadores de rentabilidad. Finalmente se estableció una comparación entre los indicadores de cada escenario, para definir si es conveniente o no, la propuesta de aprovechamiento energético de la cascarilla de arroz utilizando el sistema de gasificación.

3.4.1. Costos del sistema de gasificación y generación de electricidad

Los siguientes costos fueron enviados por la empresa Ankur Energy Technologies [51], a través de una cotización, la empresa tiene sede en la India, por lo que se consideró costos adicionales. En el anexo 3 se muestra los costos con mayor especificación, cabe recalcar que los costos fueron enviados en la moneda dólar y el tipo de cambio a sol se consideró la relación de S/. 3,30 por \$1. En la tabla 79 se resume los costos del sistema de gasificación.

Tabla 79. Costos de Sistema de Gasificación y generación de electricidad

Maquinaria	Proveedor	Unidad	Precio/Unidad	Importe
Gasificador incluido ciclón y PLC	Ankur Energy Techonologies	1	S/ 730 455,00	S/ 730 455,00
Intercambiador de calor	Ankur Energy Techonologies	1	S/ 30 360,00	S/ 30 360,00
Lavador de gases Venturi	Ankur Energy Techonologies	1	S/ 39 600,00	S/ 39 600,00
Filtro de mangas	Ankur Energy Techonologies	1	S/ 52 800,00	S/ 52 800,00
Motor a gas	Ankur Energy Techonologies	1	S/ 495 676,50	S/ 495 676,50
Subtotal				S/ 1 348 891,50
Supervisión, instalación y entranamiento al personal por 30 días	Ankur Energy Techonologies			S/ 33 264,00
Cargos por empaque del sistema de gasificación	Ankur Energy Techonologies			S/ 44 434,50
Cargos FOB adicionales a la venta	Ankur Energy Techonologies			S/ 33 000,00
Total				S/ 1 459 590,00

Fuente: Ankur Energy Techonologies

Para llevar a cabo el sistema de gasificación y generación de electricidad se requiere de infraestructura adicional que puede ser proveído por la industria local. Sin embargo, los siguientes costos presentados fueron obtenidos de la página web Alibaba [56] y se presentan en la tabla 80.

Tabla 80. Costo de infraestructura adicional

Infraestructura adicional	Unidad	Precio/Unidad	Importe
Tolva de almacenamiento	5	S/ 54 000,00	S/ 270 000,00
Sopladores de aire	5	S/ 7 800,00	S/ 39 000,00
Tanque de sedimentación	1	S/ 75 000,00	S/ 75 000,00
Tubería para transporte neumático	5	S/ 4 500,00	S/ 22 500,00
Techo metálico	1	S/ 92 000,00	S/ 92 000,00
Total			S/ 498 500,00

Fuente: Alibaba

Además de infraestructura y maquinaria, también se requiere de recurso humano para el ensamblado y manipulación del sistema de gasificación, por lo cual, se requiere 1 asesor técnico, 1 jefe de implementación del sistema gasificador, 1 supervisor del proyecto, 2 técnicos para la instalación eléctrica y 5 operarios para el ensamblado del sistema de gasificación y

generación de electricidad. Los costos de recursos humanos fueron calculados para 2 meses, que es el periodo que tomaría la instalación del sistema según la empresa Ankur. En la tabla 81 se muestra que el costo de recursos humanos requeridos para la implementación asciende a S/ 115 214.

Tabla 81. Costo de recursos humanos requeridos por la propuesta

Recursos humanos					
	Cantidad	Sueldo mensual (S/.)	Beneficios (49 %)	Sub total	Total
Asesor técnico enviado por la empresa Ankur	1	S/ 33 264,00	-	S/ 33 264,00	S/ 33 264,00
Jefe de implementación del sistema	1	S/. 4 800,00	S/. 2 352,00	S/. 7 152,00	S/. 14 304,00
Supervisor del proyecto	1	S/. 4 200,00	S/. 2 058,00	S/. 6 258,00	S/. 12 516,00
Técnicos de instalación eléctrica	2	S/. 4 000,00	S/. 1 960,00	S/. 5 960,00	S/. 23 840,00
Operarios	5	S/. 2 100,00	S/. 1 029,00	S/. 3 129,00	S/. 31 290,00
Total					S/. 115 214,00

Además de ello, se consideró el costo de una computadora y artículos de oficina que serán útiles para el manejo del sistema gasificador. En la tabla 82 se muestra que los costos de estos recursos suman S/. 5 200.

Tabla 82. Costo de recursos materiales

Recursos materiales		
	Cantidad	Costo (S/.)
Computadora	1	S/. 5 000,00
Materia de oficina	1	S/. 200,00
Total		S/. 5 200,00

Finalmente, en la tabla 83 se presenta el costo total de la propuesta de implementación, la cual asciende a S/. 2 078 504.

Tabla 83. Costo total de la propuesta

Costo Total de la Propuesta	
	Costo (S/.)
Maquinaria y trámites por importación	S/ 1 426 326,00
Infraestructura adicional	S/ 498 500,00
Recursos humanos	S/. 148 478,00
Recursos materiales	S/. 5 200,00
Total	S/ 2 078 504,00

3.4.2. Determinación de costo y beneficio sin sistema de gasificación

En este primer escenario se calculó el costo y beneficio por un periodo de 7 años manteniendo las condicionales actuales, es decir, sin invertir en la propuesta del sistema de gasificación. Estos cálculos se hallaron basados en el pronóstico de la producción de sacos de arroz pilado, el pronóstico del costo de energía eléctrica y se utilizaron los mismos costos administrativos del año 2017, ya que en este tipo de costo no hubo variación.

En la tabla 84 se muestra el plan de ventas, donde se consideró que, para determinar los ingresos, el costo de servicio de pilado aumentará 5 % anualmente por saco de arroz.

Tabla 84. Plan de ventas

Producto: Sacos de arroz pilado			
Unidad: Sacos de 50 kg			
Periodo	Sacos pilados	Precio por servicio de pilado por saco	Ingresos
2019	242 260,48	S/. 6,00	S/. 1 453 562,88
2020	246 826,63	S/. 6,30	S/. 1 555 007,79
2021	251 242,57	S/. 6,60	S/. 1 658 200,94
2022	255 048,26	S/. 6,90	S/. 1 759 832,97
2023	259 685,53	S/. 7,20	S/. 1 869 735,80
2024	263 934,21	S/. 7,60	S/. 2 005 899,99
2025	268 144,87	S/. 8,00	S/. 2 145 158,97

En la tabla 85 se señala los costos de mano de obra indirecta, el cual ascendió a S/ 321 840 por año, el mismo del año 2017, ya que no hubo variación. Es menester señalar que este costo será utilizado para hallar los indicadores de rentabilidad.

Tabla 85. Costo de mano de obra indirecta

Suedos de mano de obra indirecta					
	Cantidad	Sueldo (S/)	Beneficios (49 %)	Sub total	Total anual
Jefe de planta	1	S/. 1 600	S/. 784,00	2384,00	S/. 28 608,00
Supervisor	1	S/. 1 600	S/. 784,00	2384,00	S/. 28 608,00
Asistentes de logística	2	S/. 1 300	S/. 637,00	1937,00	S/. 46 488,00
Personal de almacén	5	S/. 1 600	S/. 784,00	2384,00	S/. 143 040,00
Personal de seguridad	3	S/. 1 400	S/. 686,00	2086,00	S/. 75 096,00
TOTAL					S/. 321 840,00

En la tabla 86 se muestra los costos de los sueldos administrativos, los cuales son parte de los gastos administrativos. La empresa cuenta con un gerente general y 3 asistentes administrativos.

Tabla 86. Costo de sueldos administrativos

Sueldos administrativos					
	Cantidad	Sueldo (S/)	Beneficios 49%	Sub total	Total anual
Gerente general	1	6000,00	2940,00	8940,00	S/. 107 280,00
Asistentes administrativas	3	1600,00	784,00	2384,00	S/. 85 824,00
TOTAL					S/. 193 104,00

En la tabla 87 se muestra los gastos administrativos promedio por mes que se tomó en cuenta, para luego calcularlos por un año, y que además serán proyectados por un periodo de 7 años, el tiempo de análisis del proyecto.

Tabla 87. Gastos administrativos promedio mensual

Gasto administrativo mensual	
Materiales de oficina	S/. 300,00
Consumo de electricidad	S/. 200,00
Teléfono	S/. 140,00
Internet	S/. 200,00
Total	S/. 840,00

En la tabla 88 se resume los gastos administrativos por año, los cuales ascendieron a S/ 203 184, este gasto anual fue considerado por un periodo de 7 años, el tiempo de análisis del proyecto y mediante el cual se obtendrán los indicadores de rentabilidad.

En la tabla 89 se muestra los gastos generales de fabricación, dentro de los cuales, se consideró el mantenimiento del molino, el cual tiene un costo de S/ 24 000 anuales, los rodillos para el proceso de pulido que se cambian cada 3 días, teniendo un costo semanal de S/ 850 y la energía eléctrica fue determinada por el pronóstico realizado en el diagnóstico de la situación actual. No se consideró costo de agua, debido a que es obtenida mediante un pozo tubular y la mano de obra directa, la estiba, es pagada por los comerciantes y agricultores.

En la tabla 90 se resume todos los costos involucrados en el servicio de pilado de arroz, considerando la mano de obra indirecta, gastos generales de fabricación y gastos administrativos. El aumento del costo total por año se surge a partir del incremento anual del costo de energía eléctrica.

Tabla 88. Gastos administrativos

Gastos Administrativos (S/)							
	1 año	2 año	3 año	4 año	5 año	6 año	7 año
Sueldos administrativos	S/. 193 104,00	S/. 193 104,00	S/. 193 104,00	S/. 193 104,00	S/. 193 104,00	S/. 193 104,00	S/. 193 104,00
Materiales y utiles de oficina	S/. 3 600,00	S/. 3 600,00	S/. 3 600,00	S/. 3 600,00	S/. 3 600,00	S/. 3 600,00	S/. 3 600,00
Consumo de energia electrica	S/. 2 400,00	S/. 2 400,00	S/. 2 400,00	S/. 2 400,00	S/. 2 400,00	S/. 2 400,00	S/. 2 400,00
Teléfono	S/. 1 680,00	S/. 1 680,00	S/. 1 680,00	S/. 1 680,00	S/. 1 680,00	S/. 1 680,00	S/. 1 680,00
Internet	S/. 2 400,00	S/. 2 400,00	S/. 2 400,00	S/. 2 400,00	S/. 2 400,00	S/. 2 400,00	S/. 2 400,00
Gasto total	S/. 203 184,00	S/. 203 184,00	S/. 203 184,00	S/. 203 184,00	S/. 203 184,00	S/. 203 184,00	S/. 203 184,00

Tabla 89. Gastos generales de fabricación

Gastos generales							
	1 año	2 año	3 año	4 año	5 año	6 año	7 año
<i>Gastos indirectos</i>							
Mantenimiento del molino	S/. 24 000,00	S/. 24 000,00	S/. 24 000,00	S/. 24 000,00	S/. 24 000,00	S/. 24 000,00	S/. 24 000,00
Rodillos para pulido	S/. 40 800,00	S/. 40 800,00	S/. 40 800,00	S/. 40 800,00	S/. 40 800,00	S/. 40 800,00	S/. 40 800,00
Energía eléctrica	S/. 201 365,62	S/. 207 372,27	S/. 211 764,58	S/. 217 771,23	S/. 222 970,71	S/. 228 170,19	S/. 233 773,26
Total	S/. 266 165,62	S/. 272 172,27	S/. 276 564,58	S/. 282 571,23	S/. 287 770,71	S/. 292 970,19	S/. 298 573,26

Tabla 90. Costo total

Costo total								
	1 año	2 año	3 año	4 año	5 año	6 año	7 año	
<i>Costos de producción</i>								
Mano de obra indirecta	S/. 321 840,00	S/. 321 840,00	S/. 321 840,00	S/. 321 840,00	S/. 321 840,00	S/. 321 840,00	S/. 321 840,00	S/. 321 840,00
Gastos generales de fabricación	S/. 266 165,62	S/. 272 172,27	S/. 276 564,58	S/. 282 571,23	S/. 287 770,71	S/. 292 970,19	S/. 298 573,26	S/. 298 573,26
Costo variable total	S/. 588 005,62	S/. 594 012,27	S/. 598 404,58	S/. 604 411,23	S/. 609 610,71	S/. 614 810,19	S/. 620 413,26	S/. 620 413,26
<i>Gastos de operación</i>								
Gastos administrativos	S/. 203 184,00	S/. 203 184,00	S/. 203 184,00	S/. 203 184,00	S/. 203 184,00	S/. 203 184,00	S/. 203 184,00	S/. 203 184,00
Costo fijo total	S/. 203 184,00	S/. 203 184,00	S/. 203 184,00	S/. 203 184,00	S/. 203 184,00	S/. 203 184,00	S/. 203 184,00	S/. 203 184,00
Costo total	S/. 791 189,62	S/. 797 196,27	S/. 801 588,58	S/. 807 595,23	S/. 812 794,71	S/. 817 994,19	S/. 823 597,26	S/. 823 597,26

Tabla 91. Estado de ganancias y pérdidas

Estados de ganancias y pérdidas							
	1 Año	2 Año	3 Año	4 Año	5 Año	6 Año	7 Año
Ingresos totales	S/. 1 453 562,88	S/. 1 555 007,79	S/. 1 658 200,94	S/. 1 759 832,97	S/. 1 869 735,80	S/. 2 005 899,99	S/. 2 145 158,97
Costos de producción	S/. 588 005,62	S/. 594 012,27	S/. 598 404,58	S/. 604 411,23	S/. 609 610,71	S/. 614 810,19	S/. 620 413,26
Utilidad Bruta	S/. 865 557,26	S/. 960 995,53	S/. 1 059 796,37	S/. 1 155 421,74	S/. 1 260 125,09	S/. 1 391 089,80	S/. 1 524 745,72
Gastos Administrativos	S/. 203 184,00	S/. 203 184,00	S/. 203 184,00	S/. 203 184,00	S/. 203 184,00	S/. 203 184,00	S/. 203 184,00
Utilidad operativa	S/. 662 373,26	S/. 757 811,53	S/. 856 612,37	S/. 952 237,74	S/. 1 056 941,09	S/. 1 187 905,80	S/. 1 321 561,72
Utilidad antes de impuesto	S/. 662 373,26	S/. 757 811,53	S/. 856 612,37	S/. 952 237,74	S/. 1 056 941,09	S/. 1 187 905,80	S/. 1 321 561,72
Impuesto a la renta (30%)	S/. 198 711,98	S/. 227 343,46	S/. 256 983,71	S/. 285 671,32	S/. 317 082,33	S/. 356 371,74	S/. 396 468,52
Utilidades Netas	S/. 463 661,28	S/. 530 468,07	S/. 599 628,66	S/. 666 566,42	S/. 739 858,76	S/. 831 534,06	S/. 925 093,20

En la tabla 91 se presenta el estado de ganancias y pérdidas por el periodo de 7 años, y se obtuvo que las utilidades netas aumentaron desde S/ 463 661 en el primer año hasta S/ 925 093 en el séptimo año.

En la tabla 92 se muestra la tasa aceptada de rendimiento (TMAR), es la tasa de costo de capital la cual es calculada con la tasa inflatoria sumada con la tasa de riesgo y multiplicada por los porcentajes de las fuentes de inversión, de forma que se obtenga un costo de capital propio. Esto significa que esta es la tasa mínima de ganancia sobre la inversión propuesta, por lo tanto, para considerar que una inversión pueda llevarse a cabo, la tasa interna de retorno (TIR) debe exceder a la TMAR. El TMAR determinado fue de 29,2 %, es una tasa alta debido a que la inversión realizada es de S/ 21 000, y es aportada por la misma empresa, además, de que se consideró 25 % de riesgo para la inversión.

Tabla 92. Determinación del TMAR

Tasa aceptada de rendimiento (TMAR)			
Inversión TMAR = % Tasa inflatoria + % de lo que se piensa ganar			
Inversión propia	4,18%	25%	29%
Socio estrategico	0%	0%	0%
Inversión financiada	0%	0%	0%
	% aporte	TMAR	Ponderado
Inversión propia	1,0000	0,29	0,29
Socio estrategico	0,00	0,00	0,00
Inversión financiada	0,0000	0,00	0,00
		TMAR GLOBAL	29,2%

En la tabla 93 se muestra el flujo de caja durante el periodo de 7 años, del cual, se puede indicar que sin invertir en el sistema de gasificación se obtuvo un valor actual neto (VAN) de S/ 1 672 579. Debido a que la inversión inicial que se consideró fue de S/ 21 000 de capital de trabajo se obtuvo una tasa interna de retorno (TIR) muy elevada de 2030 %, la causa fue que no se realizó ninguna compra de equipo, y se tomó en cuenta que la empresa ya tiene toda la maquinaria requerida para la producción de arroz pilado. Además, se puede señalar que el beneficio costo incrementó desde 2,04 en el primer año hasta 2,60 en el séptimo año.

El beneficio- costo (B/C) fue de 2,04 y se halló a través de la división del Van de los ingresos entre el Van de los egresos sumado el capital de trabajo, es decir, los S/ 21 000.

$$B/C = S/ 4 710 619 / (S/ 2 291 220 + S/ 21 000)$$

$$B/C = 2,04$$

Esto significa que por cada S/ 1 invertido se obtiene S/ 1,04 de beneficio. Además, se halló el margen neto de utilidad, el cual se realizó a través de la división del Van de la liquidez neta entre el Van de los ingresos.

$$\text{Margen neto de utilidad} = \text{utilidades netas} / \text{ventas}$$

$$\text{Margen neto de utilidad} = \text{Van de las utilidades netas} / \text{Van de los ingresos por pilado}$$

$$\text{Margen neto de utilidad} = S/ 1 672 579 / S/ 4 710 619$$

$$\text{Margen neto de utilidad} = 0,36$$

Esto se interpreta que por cada S/ 1 que ingresa por servicio de pilado de arroz, se obtiene una utilidad de S/ 0,36.

Respecto al costo energético, se obtuvo S/ 0,85 por cada saco, para conseguirlo primero se halló el costo energético total, para lo cual se sumó los costos energéticos proyectados durante 7 años que se mostró en la tabla 31. Luego a este costo energético total se le dividió entre la producción de sacos de arroz pilado que se proyectó para 7 años, tal como se muestra en la tabla 84.

$$\text{Costo energético por saco} = \text{Costo energético total} / \text{Producción proyectada de sacos de arroz}$$

$$\text{Costo energético por saco} = S/ 1 523 187,9 / 1 787 142$$

$$\text{Costo energético por saco} = S/ 0,85$$

Tabla 93. Determinación del flujo de caja

Flujo de Caja								
	0 Año	1 Año	2 Año	3 Año	4 Año	5 Año	6 Año	7 Año
<i>Ingresos</i>								
Cuentas por cobrar(ventas a credito)		S/. 666 216,32	S/. 773 277,03	S/. 824 800,76	S/. 875 681,82	S/. 930 288,62	S/. 997 276,49	S/. 1 066 777,03
Cobranzas ventas año actual (contado)		S/. 726 781,44	S/. 777 503,90	S/. 829 100,47	S/. 879 916,49	S/. 934 867,90	S/. 1 002 949,99	S/. 1 072 579,49
Total de ingresos	S/. -	S/. 1 392 997,76	S/. 1 550 780,92	S/. 1 653 901,23	S/. 1 755 598,30	S/. 1 865 156,52	S/. 2 000 226,48	S/. 2 139 356,52
<i>Egresos</i>								
Costos de produccion (sin depreciación)		S/. 588 005,62	S/. 594 012,27	S/. 598 404,58	S/. 604 411,23	S/. 609 610,71	S/. 614 810,19	S/. 620 413,26
Gastos administrativos		S/. 203 184,00	S/. 203 184,00	S/. 203 184,00	S/. 203 184,00	S/. 203 184,00	S/. 203 184,00	S/. 203 184,00
Inversion	S/. 21 000,00							
Total de egresos	S/. 21 000,00	S/. 791 189,62	S/. 797 196,27	S/. 801 588,58	S/. 807 595,23	S/. 812 794,71	S/. 817 994,19	S/. 823 597,26
Saldo bruto (antes de impuestos)	S/. -21 000,00	S/. 601 808,14	S/. 753 584,65	S/. 852 312,65	S/. 948 003,07	S/. 1 052 361,81	S/. 1 182 232,29	S/. 1 315 759,26
Impuesto a ala renta 30%		S/. 180 542,44	S/. 226 075,40	S/. 255 693,80	S/. 284 400,92	S/. 315 708,54	S/. 354 669,69	S/. 394 727,78
Saldo (déficit/ superávit)	S/. -21 000,00	S/. 421 265,70	S/. 527 509,26	S/. 596 618,86	S/. 663 602,15	S/. 736 653,26	S/. 827 562,60	S/. 921 031,48

Corriente de liquidez neta	S/. -21 000,00	S/. 421 265,70	S/. 527 509,26	S/. 596 618,86	S/. 663 602,15	S/. 736 653,26	S/. 827 562,60	S/. 921 031,48
----------------------------	----------------	----------------	----------------	----------------	----------------	----------------	----------------	----------------

Valor actualizado neto (VAN)	S/. 1 672 579,27							
Tasa interna de retorno (TIR)	2031%							
Beneficio- Costo (B/C)	2,04	1,76	1,95	2,06	2,17	2,29	2,45	2,60
Tmar	29,18%							

Valor actualizado neto de los ingresos	S/. 4 710 619,64
Valor actualizado neto de los egresos	S/. 2 291 220,68
Valor actualizado neto de los egresos incluida la inversión	S/. 2 312 220,68
Margen Neto de Utilidad	0,36

Costo Total de energía eléctrica	S/. 1 523 187,85
(/) Producción de sacos de arroz pilado	1 787 142,55
Costo energético por saco	S/. 0,85

3.4.3. Determinación de costo y beneficio utilizando el sistema de gasificación

En este segundo escenario se calculó el costo y beneficio por un periodo de 7 años al igual que en el primer escenario, y se consideró la inversión de la propuesta. El costo y beneficio se calculó usando el pronóstico de la producción de sacos de arroz pilado, al cual se le aumentó la cantidad 90 720 sacos en cada año, es decir, 1440 horas más de producción, la cual es la sumatoria de 5 horas adicionales de producción durante un año. Debido a que al utilizar el sistema de gasificación se podrá satisfacer la demanda no atendida y ganar participación de mercado, que antes por costos energéticos no se podía. También se utilizó los mismos costos administrativos del año 2017 ya que en este costo no hubo variación, se consideró la financiación del sistema gasificador por un periodo de 4 años y el costo de mantenimiento y disposición de residuos de este mismo, el cual fue hallado anteriormente.

Para determinar el plan de ventas, se consideró que el costo de servicio de pilado por saco de arroz aumentará anualmente en un 5%.

Para obtener la cantidad de sacos que se pilarán adicionalmente se hace una retrospectiva a la problemática del molino, en el cual se describió que, durante los meses de enero, febrero y marzo, el molino recibe una gran cantidad de arroz cáscara para pilar, debido a la temporada de campaña de arroz, pero debido al costo energético elevado que comprende entre las 18:00 hasta las 23:00 horas, o también llamado, hora punta, no es conveniente pilar durante estas 5 horas ya que los recibos de energía eléctrica incrementarían y se reduciría la utilidad neta. Por este motivo, se planteó la propuesta del sistema de gasificación, con el cual, se cumpliría con estas 5 horas diarias de producción durante los 3 meses de alta demanda. Sin embargo, se consideró que los 9 meses restantes también se pilará durante 5 horas diarias adicionales para obtener mayor participación en el mercado y traer de vuelta a los clientes que se habían ido.

En la tabla 94 se presenta los valores y la cantidad de sacos de pilado adicionales que se producirán con la propuesta de aprovechamiento energético.

Tabla 94. Determinación de la demanda adicional que se abarcará con el sistema de gasificación

Sacos adicionales que serán pilados		
Producción hora	63	sacos/ hora
Horas extras de producción por día	5	horas
1 mes	24	días
1 año	12	meses
Producción extra anual	90720	sacos/año

En la tabla 95 se muestra la cantidad de sacos pilados por año, que se producirá con la propuesta del sistema de gasificación y generación de electricidad.

Tabla 95. Pronóstico de la producción de sacos de arroz pilado

Año	Producción de arroz pilado en sacos	Sacos extra pilados con el sistema de gasificación	Producción total de sacos de pilado
2019	242 260	90 720	332 980
2020	246 827	90 720	337 547
2021	251 243	90 720	341 963
2022	255 048	90 720	345 768
2023	259 686	90 720	350 406
2024	263 934	90 720	354 654
2025	268 145	90 720	358 865

En la tabla 96 se presenta el plan de ventas, considerando un incremento de 5 % anual sobre el precio de saco de arroz pilado.

Tabla 96. Plan de ventas

Producto: Sacos de arroz pilado				
Unidad: Sacos de 50 kg				
Periodo	Sacos pilados	Precio por servicio de pilado por saco		Ingresos
2019	332 980	S/.	6,00	S/. 1 997 882,88
2020	337 547	S/.	6,30	S/. 2 126 543,79
2021	341 963	S/.	6,60	S/. 2 256 952,94
2022	345 768	S/.	6,90	S/. 2 385 800,97
2023	350 406	S/.	7,20	S/. 2 522 919,80
2024	354 654	S/.	7,60	S/. 2 695 371,99
2025	358 865	S/.	8,00	S/. 2 870 918,97

En la tabla 97 se muestra la inversión requerida, en la cual, se consideró que el capital de trabajo es aportado por el dueño de la empresa, y la inversión de la propuesta se realiza por financiamiento, lo que determinó que el 97,5 % de la inversión total será generado mediante un préstamo bancario. Además de ello, se consideró 5 % de imprevistos respecto al total de inversión, en caso, se presente algún inconveniente.

Tabla 97. Inversión requerida

Inversión			
	Inversión total	Promotor del proyecto	Financiamiento
Capital de trabajo	S/. 55 000,00	S/. 55 000,00	S/. -
<i>Inversión tangible</i>			
Maquina del sistema gasificador	S/. 1 348 891,50		S/. 1 348 891,50
Infraestructura adicional	S/. 498 500,00	S/. -	S/. 498 500,00
Recursos humanos	S/. 115 214,00	S/. -	S/. 115 214,00
Recursos materiales	S/. 5 200,00		S/. 5 200,00
<i>Inversión intangible</i>			
Cargos FOB y empaque	S/. 77 434,50		S/. 77 434,50
Total inversión	S/. 2 045 240,00	S/. -	S/. 2 045 240,00
Imprevistos 5%	S/. 105 012,00	S/. -	S/. 105 012,00
Inversión Total	S/. 2 205 252,00	S/. 55 000,00	S/. 2 150 252,00
Porcentaje	100%	2,49%	97,51%

En la tabla 98 se muestra la depreciación que se realizó a la maquinaria del sistema de gasificación, la infraestructura adicional, las construcciones y equipos de oficina, los cuales en conjunto ascendieron a S/ 203 200 por año y serán utilizados para el calcular el flujo de caja.

En la tabla 99 se muestra los costos de los sueldos administrativos que servirán para determinar los gastos administrativos, y los cuales no varían respecto al año 2017.

Tabla 98. Depreciación de los bienes tangibles

Depreciación												
Activo fijo												
Descripción	Inversión total \$	Valor de recuperacion	valor a depreciar	años a depreciar	depreciacion anual	Depreciacion						
						año1	año2	año3	año4	año5	año6	año7
Construcciones	S/. 92 000,00	S/. 27 600,00	S/. 92 000,00	10	S/. 9 200,00	S/. 9 200,00	S/. 9 200,00	S/. 9 200,00	S/. 9 200,00	S/. 9 200,00	S/. 9 200,00	S/. 9 200,00
Maquinaria	S/. 1 348 891,50	S/. 404 667,45	S/. 1 348 891,50	10	S/. 134 889,15	S/. 134 889,15	S/. 134 889,15	S/. 134 889,15	S/. 134 889,15	S/. 134 889,15	S/. 134 889,15	S/. 134 889,15
Infraestructura adicional	S/. 406 500,00	S/. -	S/. 406 500,00	7	S/. 58 071,43	S/. 58 071,43	S/. 58 071,43	S/. 58 071,43	S/. 58 071,43	S/. 58 071,43	S/. 58 071,43	S/. 58 071,43
Equipos de oficina	S/. 5 200,00	S/. -	S/. 5 200,00	5	S/. 1 040,00	S/. 1 040,00	S/. 1 040,00	S/. 1 040,00	S/. 1 040,00	S/. 1 040,00		
Total	S/. 1 852 591,50				S/. 203 200,58	S/. 203 200,58	S/. 203 200,58	S/. 203 200,58	S/. 203 200,58	S/. 203 200,58	S/. 202 160,58	S/. 202 160,58

Tabla 99. Sueldos administrativos

Sueldos administrativos					
	Cantidad	Sueldo (S/)	Beneficios 49%	Sub total	Total anual
Gerente general	1	6000,00	2940,00	8940,00	S/. 107 280,00
Asistentes administrativas	3	1600,00	784,00	2384,00	S/. 85 824,00
TOTAL					S/. 193 104,00

En la tabla 100 se resume los gastos administrativos por año, los cuales ascendieron a S/ 203 184, este gasto anual fue considerado para la proyección de 7 años, periodo que se evaluó el segundo escenario. Asimismo, estos gastos son los mismos que se consideraron para el primer escenario.

En la tabla 101 se muestra el costo de mano de obra indirecta anual que se tendrá durante el periodo 7 años, el cual ascendió a S/ 321 840. Cabe recalcar que este costo fue hallado tomando en cuenta beneficios de 49 %.

Tabla 100. Gastos administrativos

Gastos Administrativos (S/)							
	1 año	2 año	3 año	4 año	5 año	6 año	7 año
Sueldos administrativos	S/. 193 104,00	S/. 193 104,00	S/. 193 104,00	S/. 193 104,00	S/. 193 104,00	S/. 193 104,00	S/. 193 104,00
Materiales y utiles de oficina	S/. 3 600,00	S/. 3 600,00	S/. 3 600,00	S/. 3 600,00	S/. 3 600,00	S/. 3 600,00	S/. 3 600,00
Consumo de energia electrica	S/. 2 400,00	S/. 2 400,00	S/. 2 400,00	S/. 2 400,00	S/. 2 400,00	S/. 2 400,00	S/. 2 400,00
Teléfono	S/. 1 680,00	S/. 1 680,00	S/. 1 680,00	S/. 1 680,00	S/. 1 680,00	S/. 1 680,00	S/. 1 680,00
Internet	S/. 2 400,00	S/. 2 400,00	S/. 2 400,00	S/. 2 400,00	S/. 2 400,00	S/. 2 400,00	S/. 2 400,00
Gasto total	S/. 203 184,00	S/. 203 184,00	S/. 203 184,00	S/. 203 184,00	S/. 203 184,00	S/. 203 184,00	S/. 203 184,00

Tabla 101. Mano de obra indirecta

Sueldos de mano de obra indirecta					
	Cantidad	Sueldo (S/)	Beneficios (49 %)	Sub total	Total anual
Jefe de planta	1	S/. 1 600	S/. 784,00	2384,00	S/. 28 608,00
Supervisor	1	S/. 1 600	S/. 784,00	2384,00	S/. 28 608,00
Asistentes de logística	2	S/. 1 300	S/. 637,00	1937,00	S/. 46 488,00
Personal de almacén	5	S/. 1 600	S/. 784,00	2384,00	S/. 143 040,00
Personal de seguridad	3	S/. 1 400	S/. 686,00	2086,00	S/. 75 096,00
TOTAL					S/. 321 840,00

En la tabla 102 se muestra los gastos financieros que se generaron a causa del financiamiento de la propuesta de aprovechamiento energético. El préstamo bancario de S/ 2 150 252 se calculó por un periodo de 4 años y a una tasa de interés de 12 %.

Tabla 102. Gastos financieros

Gastos financieros					
	pre operativo	1 año	2 año	3 año	4 año
Préstamo a largo plazo	S/. 2 150 252,00	S/. 1 612 689,00	S/. 1 075 126,00	S/. 537 563,00	S/. -
Préstamo a corto plazo					
Intereses		S/. 258 030,24	S/. 193 522,68	S/. 129 015,12	S/. 64 507,56
Por prestamos a largo plazo		S/. 258 030,24	S/. 193 522,68	S/. 129 015,12	S/. 64 507,56
Por prestamos a corto plazo					
Reembolsos (amortizacion)		S/. 537 563,00	S/. 537 563,00	S/. 537 563,00	S/. 537 563,00
Por prestamos a largo plazo		S/. 537 563,00	S/. 537 563,00	S/. 537 563,00	S/. 537 563,00
Por prestamos a corto plazo					
Total gastos financieros (cuota)		S/. 795 593,24	S/. 731 085,68	S/. 666 578,12	S/. 602 070,56
Tasa de interés	12%				
Periodo	4 años				

En la tabla 103 se muestra los gastos generales de fabricación, dentro de los cuales, se consideró el mantenimiento del molino, el cual tiene un costo de S/ 24 000 anuales, los rodillos para el proceso de pulido que se cambian cada 3 días, teniendo un costo mensual de S/ 3 400, la energía eléctrica tuvo un costo de S/ 0, por motivo de que ya no se utilizará la red pública y el costo de operación y mantenimiento del sistema de gasificación es de S/ 101 539 anuales, el cual fue hallado anteriormente. No se consideró costo de agua, debido a que es obtenido mediante un pozo tubular y la mano de obra directa, la estiba, es pagada por los comerciantes y agricultores que realizan el servicio de pilado.

En la tabla 104 se presenta el costo total del segundo escenario, donde se resume todos los costos involucrados en el proceso de pilado de arroz y la propuesta de aprovechamiento energético, considerando la mano de obra indirecta, gastos generales de fabricación, gastos administrativos y gastos financieros. Además, se puede observar que, durante los 4 primeros años, los costos por año son mucho más alto que los 3 años restantes, a razón de que la financiación de la propuesta se realizó por el periodo de 4 años.

Tabla 103. Gastos generales de fabricación

Gastos generales de fabricación							
	1 año	2 año	3 año	4 año	5 año	6 año	7 año
<i>Gastos indirectos</i>							
Energía eléctrica	S/. -	S/. -	S/. -	S/. -	S/. -	S/. -	S/. -
Mantenimiento del molino	S/. 24 000,00	S/. 24 000,00	S/. 24 000,00	S/. 24 000,00	S/. 24 000,00	S/. 24 000,00	S/. 24 000,00
Operación y Mantenimiento del sistema gasificador	S/. 101 539,70	S/. 101 539,70	S/. 101 539,70	S/. 101 539,70	S/. 101 539,70	S/. 101 539,70	S/. 101 539,70
Rodillos para pulido	S/. 40 800,00	S/. 40 800,00	S/. 40 800,00	S/. 40 800,00	S/. 40 800,00	S/. 40 800,00	S/. 40 800,00
Total	S/. 166 339,70	S/. 166 339,70	S/. 166 339,70	S/. 166 339,70	S/. 166 339,70	S/. 166 339,70	S/. 166 339,70

Tabla 104. Costo Total

Costo total							
	1 año	2 año	3 año	4 año	5 año	6 año	7 año
<i>Costos de producción</i>							
Mano de obra indirecta	S/. 321 840,00	S/. 321 840,00	S/. 321 840,00	S/. 321 840,00	S/. 321 840,00	S/. 321 840,00	S/. 321 840,00
Gastos generales de fabricación	S/. 166 339,70	S/. 166 339,70	S/. 166 339,70	S/. 166 339,70	S/. 166 339,70	S/. 166 339,70	S/. 166 339,70
Costo variable total	S/. 488 179,70	S/. 488 179,70	S/. 488 179,70	S/. 488 179,70	S/. 488 179,70	S/. 488 179,70	S/. 488 179,70
<i>Gastos de operación</i>							
Gastos administrativos	S/. 203 184,00	S/. 203 184,00	S/. 203 184,00	S/. 203 184,00	S/. 203 184,00	S/. 203 184,00	S/. 203 184,00
Gastos financieros	S/. 795 593,24	S/. 731 085,68	S/. 666 578,12	S/. 602 070,56	S/. -	S/. -	S/. -
Costo fijo total	S/. 998 777,24	S/. 934 269,68	S/. 869 762,12	S/. 805 254,56	S/. 203 184,00	S/. 203 184,00	S/. 203 184,00
Costo total	S/. 1 486 956,94	S/. 1 422 449,38	S/. 1 357 941,82	S/. 1 293 434,26	S/. 691 363,70	S/. 691 363,70	S/. 691 363,70

En la tabla 105 se muestra la determinación de punto de equilibrio, en el cual se calculó que en el primer año se requiere pillar 220 291 sacos de arroz, mientras que en el séptimo año se redujo a 30 219 sacos. Esta brecha del punto de equilibrio se genera a causa de que durante los primeros 4 años se consideró gastos financieros, lo cual generó que se aumenten los costos fijos, demandando la producción de altas cantidades de arroz pilado.

En la tabla 106 se presenta el estado de ganancias y pérdidas, el cual permite observar que las utilidades netas se incrementaron desde S/ 215 407 en el primer año hasta S/ 1 384 176 en el séptimo año. Las utilidades netas aumentan anualmente, teniendo mayor incremento a partir del quinto año, porque a partir de este, los gastos financieros desaparecen.

Tabla 105. Determinación del punto de equilibrio

Costo total							
	1 año	2 año	3 año	4 año	5 año	6 año	7 año
<i>Costos de producción</i>							
Mano de obra indirecta	S/. 321 840,00	S/. 321 840,00	S/. 321 840,00	S/. 321 840,00	S/. 321 840,00	S/. 321 840,00	S/. 321 840,00
Gastos generales de fabricación	S/. 166 339,70	S/. 166 339,70	S/. 166 339,70	S/. 166 339,70	S/. 166 339,70	S/. 166 339,70	S/. 166 339,70
Costo variable total	S/. 488 179,70	S/. 488 179,70	S/. 488 179,70	S/. 488 179,70	S/. 488 179,70	S/. 488 179,70	S/. 488 179,70
<i>Gastos de operación</i>							
Gastos administrativos	S/. 203 184,00	S/. 203 184,00	S/. 203 184,00	S/. 203 184,00	S/. 203 184,00	S/. 203 184,00	S/. 203 184,00
Gastos financieros	S/. 795 593,24	S/. 731 085,68	S/. 666 578,12	S/. 602 070,56	S/. -	S/. -	S/. -
Costo fijo total	S/. 998 777,24	S/. 934 269,68	S/. 869 762,12	S/. 805 254,56	S/. 203 184,00	S/. 203 184,00	S/. 203 184,00
Costo total	S/. 1 486 956,94	S/. 1 422 449,38	S/. 1 357 941,82	S/. 1 293 434,26	S/. 691 363,70	S/. 691 363,70	S/. 691 363,70
Punto de equilibrio económico	S/. 1 321 743,22	S/. 1 212 651,94	S/. 1 109 815,62	S/. 1 012 413,35	S/. 251 932,39	S/. 248 123,58	S/. 244 812,69
Punto de equilibrio en unidades	220 291	192 484	168 154	146 727	34 991	32 648	30 602

Tabla 106. Estado de ganancias y pérdidas

Estados de Ganancias y Pérdidas							
	1 Año	2 Año	3 Año	4 Año	5 Año	6 Año	7 Año
Ingresos totales	S/. 1 997 882,88	S/. 2 126 543,79	S/. 2 256 952,94	S/. 2 385 800,97	S/. 2 522 919,80	S/. 2 695 371,99	S/. 2 870 918,97
Costos de producción	S/. 488 179,70	S/. 488 179,70	S/. 488 179,70	S/. 488 179,70	S/. 488 179,70	S/. 488 179,70	S/. 488 179,70
Utilidad Bruta	S/. 1 509 703,18	S/. 1 638 364,09	S/. 1 768 773,24	S/. 1 897 621,27	S/. 2 034 740,10	S/. 2 207 192,29	S/. 2 382 739,27
Gastos Administrativos	S/. 203 184,00	S/. 203 184,00	S/. 203 184,00	S/. 203 184,00	S/. 203 184,00	S/. 203 184,00	S/. 203 184,00
Depreciación	S/. 203 200,58	S/. 203 200,58	S/. 203 200,58	S/. 203 200,58	S/. 203 200,58	S/. 202 160,58	S/. 202 160,58
Utilidad operativa	S/. 1 103 318,60	S/. 1 231 979,52	S/. 1 362 388,66	S/. 1 491 236,69	S/. 1 628 355,52	S/. 1 801 847,71	S/. 1 977 394,70
Gastos de Financiamiento	S/. 795 593,24	S/. 731 085,68	S/. 666 578,12	S/. 602 070,56	S/. -	S/. -	S/. -
Utilidad antes de impuesto	S/. 307 725,36	S/. 500 893,84	S/. 695 810,54	S/. 889 166,13	S/. 1 628 355,52	S/. 1 801 847,71	S/. 1 977 394,70
Impuesto a la renta (30%)	S/. 92 317,61	S/. 150 268,15	S/. 208 743,16	S/. 266 749,84	S/. 488 506,66	S/. 540 554,31	S/. 593 218,41
Utilidades Netas	S/. 215 407,75	S/. 350 625,68	S/. 487 067,38	S/. 622 416,29	S/. 1 139 848,87	S/. 1 261 293,40	S/. 1 384 176,29

En la tabla 107 se muestra las cuentas por cobrar, en la cual se consideró que el 50 % de los ingresos por servicio de pilado serán al contado y el 50 % restante será cobrado a 30 días. Asimismo, durante el primer año, se tendrán ingresos al contado de S/ 83 245 por mes, y el mismo monto a un plazo 30 días.

En la tabla 108 se presenta las cuentas por pagar, donde se estimó que el 100 % de las facturas serán canceladas a contado. Generando un egreso mensual de S/ 123 913 durante el primer año. Los cálculos de ambas tablas han sido necesarias para realizar el flujo de caja, y poder determinar los indicadores de rentabilidad.

Tabla 107. Cuentas por cobrar

Cuentas por cobrar														
Descripción	Pre. Op.	mes 1	mes 2	mes 3	mes 4	mes 5	mes 6	mes 7	mes 8	mes 9	mes 10	mes 11	mes 12	1 año
Ingreso de efectivo		S/. 83 245	S/. 166 490	S/. 166 490	S/. 166 490	S/. 166 490	S/. 166 490	S/. 166 490	S/. 166 490	S/. 166 490	S/. 166 490	S/. 166 490	S/. 166 490	S/. 1 914 638
Contado		S/. 83 245	S/. 83 245	S/. 83 245	S/. 83 245	S/. 83 245	S/. 83 245	S/. 83 245	S/. 83 245	S/. 83 245	S/. 83 245	S/. 83 245	S/. 83 245	S/. 998 941
a 30 días			S/. 83 245	S/. 83 245	S/. 83 245	S/. 83 245	S/. 83 245	S/. 83 245	S/. 83 245	S/. 83 245	S/. 83 245	S/. 83 245	S/. 83 245	S/. 915 696

Tabla 108. Cuentas por pagar

Cuentas por pagar														
Descripción	Pre. Op.	mes 1	mes 2	mes 3	mes 4	mes 5	mes 6	mes 7	mes 8	mes 9	mes 10	mes 11	mes 12	1 año
Salida de efectivo		S/. 123 913	S/. 123 913	S/. 123 913	S/. 123 913	S/. 123 913	S/. 123 913	S/. 123 913	S/. 123 913	S/. 123 913	S/. 123 913	S/. 123 913	S/. 123 913	S/. 1 486 957
Costos fijos		S/. 83 231	S/. 83 231	S/. 83 231	S/. 83 231	S/. 83 231	S/. 83 231	S/. 83 231	S/. 83 231	S/. 83 231	S/. 83 231	S/. 83 231	S/. 83 231	S/. 998 777
contado		S/. 83 231	S/. 83 231	S/. 83 231	S/. 83 231	S/. 83 231	S/. 83 231	S/. 83 231	S/. 83 231	S/. 83 231	S/. 83 231	S/. 83 231	S/. 83 231	S/. 998 777
a 90 días		S/. -	S/. -	S/. -	S/. -	S/. -	S/. -	S/. -	S/. -	S/. -	S/. -	S/. -	S/. -	S/. -
Costos variables		S/. 40 682	S/. 40 682	S/. 40 682	S/. 40 682	S/. 40 682	S/. 40 682	S/. 40 682	S/. 40 682	S/. 40 682	S/. 40 682	S/. 40 682	S/. 40 682	S/. 488 180
contado		S/. 40 682	S/. 40 682	S/. 40 682	S/. 40 682	S/. 40 682	S/. 40 682	S/. 40 682	S/. 40 682	S/. 40 682	S/. 40 682	S/. 40 682	S/. 40 682	S/. 488 180
a 90 días		S/. -	S/. -	S/. -	S/. -	S/. -	S/. -	S/. -	S/. -	S/. -	S/. -	S/. -	S/. -	S/. -

En la tabla 109 se muestra la tasa aceptada de rendimiento (TMAR), que es la tasa de costo de capital, la cual es calculada con la tasa inflatoria sumada con la tasa de riesgo y multiplicada por los porcentajes de las fuentes de inversión, de forma que se obtenga un costo de capital propio. Esto significa que esta es la tasa mínima de ganancia sobre la inversión propuesta, por lo tanto, para considerar que una inversión pueda llevarse a cabo, la tasa interna de retorno (TIR) debe exceder a la TMAR.

El TMAR determinado fue de 12,4 %, porque se consideró un 25 % de riesgo para la inversión, una tasa inflatoria de 4,18 % y un interés de 12 % por préstamo bancario. Además, se estimó que la inversión sería con 97,5 % de financiamiento y 2,5 % de capital propio.

Tabla 109. Tasa aceptada de rendimiento

Tasa aceptada de rendimiento (TMAR)			
Inversión TMAR = % Tasa inflatoria + % de lo que se piensa ganar			
Inversión propia	4,18%	25%	29%
Socio estrategico	0%	0%	0%
Inversión financiada	0%	12%	12%
	% aporte	TMAR	Ponderado
Inversión propia	0,0249	0,29	0,01
Socio estrategico	0,00	0,00	0,00
Inversión financiada	0,9751	0,12	0,12
		TMAR GLOBAL	12,4%

En la tabla 110 se muestra el capital de trabajo, que fue realizado con los datos de la tabla 107, cuentas por cobrar, el cual fue ubicado como ingresos por ventas, y con los datos de la tabla 108 como total de egresos. La tabla de capital de trabajo sirve para calcular la cantidad de dinero que la empresa requiere para producir normalmente sin ser afectada por los egresos o hasta que obtenga utilidades netas positivas. Debido a que, la fila de utilidad acumulada se muestra positiva desde el primer año, será necesario desglosar el primer año en meses para determinar el capital de trabajo necesario.

En la tabla 111 se muestra el capital de trabajo del primer año desglosado en meses, donde se determinó que se requiere S/ 40 668 de capital de trabajo. Es decir, para que la empresa pueda producir normalmente sin verse afectada por los gastos del primer mes.

Tabla 110. Capital de trabajo

Capital de trabajo							
	1 Año	2 Año	3 Año	4 Año	5 Año	6 Año	7 Año
<u>Ingresos</u>							
Ingreso por ventas	S/. 1 914 637,76	S/. 2 121 182,92	S/. 2 256 952,94	S/. 2 385 800,97	S/. 2 522 919,80	S/. 2 695 371,99	S/. 2 870 918,97
Total de ingresos	S/. 1 914 637,76	S/. 2 121 182,92	S/. 2 256 952,94	S/. 2 385 800,97	S/. 2 522 919,80	S/. 2 695 371,99	S/. 2 870 918,97
<u>Egresos</u>							
Costos de Producción(sin depreciación)	S/. 488 179,70	S/. 488 179,70	S/. 488 179,70	S/. 488 179,70	S/. 488 179,70	S/. 488 179,70	S/. 488 179,70
Gastos administrativos	S/. 203 184,00	S/. 203 184,00	S/. 203 184,00	S/. 203 184,00	S/. 203 184,00	S/. 203 184,00	S/. 203 184,00
Intereses del préstamo	S/. 258 030,24	S/. 193 522,68	S/. 129 015,12	S/. 64 507,56	S/. -	S/. -	S/. -
Amortización de préstamos	S/. 537 563,00	S/. 537 563,00	S/. 537 563,00	S/. 537 563,00	S/. -	S/. -	S/. -
Total de egresos	S/. 1 486 956,94	S/. 1 422 449,38	S/. 1 357 941,82	S/. 1 293 434,26	S/. 691 363,70	S/. 691 363,70	S/. 691 363,70
Saldo (déficit/ superavit)	S/. 427 680,82	S/. 698 733,54	S/. 899 011,12	S/. 1 092 366,71	S/. 1 831 556,10	S/. 2 004 008,29	S/. 2 179 555,27
Utilidad acumulada	S/. 427 680,82	S/. 1 126 414,36	S/. 2 025 425,49	S/. 3 117 792,20	S/. 4 949 348,30	S/. 6 953 356,58	S/. 9 132 911,86

Tabla 111. Capital de trabajo del Primer año

Capital de trabajo del primer año												
	1 mes	2 mes	3 mes	4 mes	5 mes	6 mes	7 mes	8 mes	9 mes	10 mes	11 mes	12 mes
<u>Ingresos</u>												
Ingreso por ventas	S/. 83 245	S/. 166 490	S/. 166 490	S/. 166 490	S/. 166 490	S/. 166 490	S/. 166 490	S/. 166 490	S/. 166 490	S/. 166 490	S/. 166 490	S/. 166 490
Total de ingresos	S/. 83 245	S/. 166 490	S/. 166 490	S/. 166 490	S/. 166 490	S/. 166 490	S/. 166 490	S/. 166 490	S/. 166 490	S/. 166 490	S/. 166 490	S/. 166 490
<u>Egresos</u>												
Costos de Producción(sin depreciación)	S/. 40 682	S/. 40 682	S/. 40 682	S/. 40 682	S/. 40 682	S/. 40 682	S/. 40 682	S/. 40 682	S/. 40 682	S/. 40 682	S/. 40 682	S/. 40 682
Gastos administrativos	S/. 16 932	S/. 16 932	S/. 16 932	S/. 16 932	S/. 16 932	S/. 16 932	S/. 16 932	S/. 16 932	S/. 16 932	S/. 16 932	S/. 16 932	S/. 16 932
Intereses del préstamo	S/. 21 503	S/. 21 503	S/. 21 503	S/. 21 503	S/. 21 503	S/. 21 503	S/. 21 503	S/. 21 503	S/. 21 503	S/. 21 503	S/. 21 503	S/. 21 503
Amortización de préstamos	S/. 44 797	S/. 44 797	S/. 44 797	S/. 44 797	S/. 44 797	S/. 44 797	S/. 44 797	S/. 44 797	S/. 44 797	S/. 44 797	S/. 44 797	S/. 44 797
Total de egresos	S/. 123 913	S/. 123 913	S/. 123 913	S/. 123 913	S/. 123 913	S/. 123 913	S/. 123 913	S/. 123 913	S/. 123 913	S/. 123 913	S/. 123 913	S/. 123 913
Saldo (Déficit/ Superávit)	S/. -40 668	S/. 42 577	S/. 42 577	S/. 42 577	S/. 42 577	S/. 42 577	S/. 42 577	S/. 42 577	S/. 42 577	S/. 42 577	S/. 42 577	S/. 42 577
Utilidad acumulada	S/. -40 668	S/. 1 909	S/. 44 486	S/. 87 064	S/. 129 641	S/. 172 218	S/. 214 795	S/. 257 372	S/. 299 949	S/. 342 526	S/. 385 104	S/. 427 681

En la tabla 112 se muestra el flujo de caja, del cual, se puede indicar que invirtiendo en el sistema de gasificación se obtuvo un valor actual neto (VAN) de S/ 2 077 423 y una tasa interna de retorno (TIR) de 32 %, la cual siendo superior al TMAR de 12,4 %, se interpreta que la inversión es rentable.

El beneficio- costo (B/C) fue de 1,53 y se halló a través de la división del Van de los ingresos entre el Van de los egresos sumado la inversión inicial, es decir, los S/ 2 205 252.

$$B/C = S/ 11 362 819 / (S/ 5 244 712 + S/ 2 205 252)$$

$$B/C = 1,53$$

Esto significa que por cada S/ 1 invertido se obtiene S/ 0,53 de beneficio. Luego, se halló el margen neto de utilidad, el cual se realizó a través de la división del Van de liquidez neta entre el Van de los ingresos.

$$\text{Margen neto de utilidad} = \text{utilidades netas} / \text{ventas}$$

$$\text{Margen neto de utilidad} = \text{Van de las utilidades netas} / \text{Van de los ingresos por pilado}$$

$$\text{Margen neto de utilidad} = S/ 4 282 675 / S/ 11 362 819$$

$$\text{Margen neto de utilidad} = 0,38$$

Esto se interpreta que por cada S/ 1 que ingresa por servicio de pilado de arroz, se obtiene una utilidad de S/ 0,38.

Respecto al costo energético, se obtuvo S/ 1,45 por cada saco, para conseguirlo primero se halló el costo energético total, para lo cual se sumó los gastos financieros, generados por el financiamiento de la propuesta, más los gastos de operación y mantenimiento del sistema de gasificación durante 7 años. Luego a este costo energético total se le dividió entre la producción de sacos de arroz pilado que se proyectó para 7 años, tal como se muestra en la tabla 96.

$$\text{Costo energético total} = \text{Gastos financieros} + \text{Gastos de operación y mantenimiento}$$

$$\text{Costo energético total} = S/ 2 795 327,60 + S/ 710 777,9$$

$$\text{Costo energético total} = S/ 3 506 105,5$$

$$\text{Costo energético por saco} = \text{Costo energético total} / \text{Producción proyectada de sacos de arroz}$$

$$\text{Costo energético por saco} = S/ 3 506 105,5 / 2 422 182$$

$$\text{Costo energético por saco} = S/ 1,45$$

Tabla 112. Flujo de caja

Flujo de Caja								
	0 Año	1 Año	2 Año	3 Año	4 Año	5 Año	6 Año	7 Año
<i>Ingresos</i>								
Cuentas por cobrar(ventas a credito)		S/. 915 696,32	S/. 1 057 911,03	S/. 1 123 042,76	S/. 1 187 531,82	S/. 1 255 746,62	S/. 1 340 500,49	S/. 1 428 145,03
Cobranzas ventas año actual (contado)		S/. 998 941,44	S/. 1 063 271,90	S/. 1 128 476,47	S/. 1 192 900,49	S/. 1 261 459,90	S/. 1 347 685,99	S/. 1 435 459,49
Depreciacion		S/. 203 200,58	S/. 203 200,58	S/. 203 200,58	S/. 203 200,58	S/. 203 200,58	S/. 202 160,58	S/. 202 160,58
Total de ingresos	S/. -	S/. 2 117 838,34	S/. 2 324 383,50	S/. 2 454 719,81	S/. 2 583 632,88	S/. 2 720 407,09	S/. 2 890 347,06	S/. 3 065 765,10
<i>Egresos</i>								
Costos de produccion (sin depreciación)		S/. 488 179,70	S/. 488 179,70	S/. 488 179,70	S/. 488 179,70	S/. 488 179,70	S/. 488 179,70	S/. 488 179,70
Gastos administrativos		S/. 203 184,00	S/. 203 184,00	S/. 203 184,00	S/. 203 184,00	S/. 203 184,00	S/. 203 184,00	S/. 203 184,00
Gastos financieros		S/. 795 593,24	S/. 731 085,68	S/. 666 578,12	S/. 602 070,56	S/. -	S/. -	S/. -
Inversion	S/. 2 205 252,00							
Total de egresos	S/. 2 205 252,00	S/. 1 486 956,94	S/. 1 422 449,38	S/. 1 357 941,82	S/. 1 293 434,26	S/. 691 363,70	S/. 691 363,70	S/. 691 363,70
Saldo bruto (antes de impuestos)	S/. -2 205 252,00	S/. 630 881,40	S/. 901 934,12	S/. 1 096 777,99	S/. 1 290 198,62	S/. 2 029 043,39	S/. 2 198 983,36	S/. 2 374 401,40
Impuesto a ala renta 30%		S/. 189 264,42	S/. 270 580,24	S/. 329 033,40	S/. 387 059,59	S/. 608 713,02	S/. 659 695,01	S/. 712 320,42
Saldo (déficit/ superávit)	S/. -2 205 252,00	S/. 441 616,98	S/. 631 353,88	S/. 767 744,59	S/. 903 139,04	S/. 1 420 330,38	S/. 1 539 288,35	S/. 1 662 080,98

Corriente de liquidez neta	S/. -2 205 252,00	S/. 441 616,98	S/. 631 353,88	S/. 767 744,59	S/. 903 139,04	S/. 1 420 330,38	S/. 1 539 288,35	S/. 1 662 080,98
----------------------------	-------------------	----------------	----------------	----------------	----------------	------------------	------------------	------------------

valor actualizado neto (VAN)	S/. 2 077 423,24	S/. 4 282 675,24						
tasa interna de retorno (TIR)	32%							
Beneficio costo (B/C)	1,53	1,42	1,63	1,81	2,00	3,93	4,18	4,43
Tmar	12,43%							

Valor actualizado neto de los ingresos	S/. 11 362 819,52
Valor actualizado neto de los egresos	S/. 5 244 712,03
Valor actualizado neto de los egresos incluida la inversión	S/. 7 449 964,03
Margen Neto de utilidad	0,38

Gastos financieros	S/. 2 795 327,60
(+) Gastos de operación y mantenimiento	S/. 710 777,90
Total de costo energético	S/. 3 506 105,50
(/)Producción de sacos de arroz pilado	2 422 182,55
Costo energético por sacco	S/. 1,45

3.4.4. Comparación de los indicadores de rentabilidad

Luego de haber calculado los indicadores de rentabilidad para ambos escenarios, se procedió a establecer una comparación, con el fin de determinar si es conveniente la propuesta de aprovechamiento energético de la cascarilla de arroz.

Como bien se puede observar en la tabla 113, invirtiendo en el sistema de gasificación generó un mayor VAN, superior en S/. 404 844 al primer escenario donde no se consideró invertir en la propuesta, en un periodo de 7 años. Respecto al beneficio costo, con el sistema de gasificación y generación de electricidad se obtuvo 1,53; y sin el sistema de gasificación fue de 2,04. Asimismo, en relación a la TIR, usando el sistema de gasificación se obtuvo 32 % y sin realizar la inversión se consiguió 2031%, este último valor es exorbitante debido a que se consideró el capital de trabajo de S/ 21 000 como inversión requerida, mientras que para la primera TIR se tomó en cuenta la financiación de S/ 2 205 252 a causa de la compra de la maquinaria que se propone. También se resolvió para el primer escenario, donde no se consideró la propuesta, un margen de utilidad neta de S/ 0,36 y para el segundo escenario se calculó S/ 0,38. Finalmente, se obtuvo que el costo energético por saco es más costoso cuando se aplica la propuesta, con una diferencia de S/ 1,45 a S/ 0,85 cuando no se la considera.

A pesar de que el beneficio costo sea menor y el costo energético por saco sea mayor, la propuesta de aprovechamiento energético es viable financieramente, porque como muestra el VAN, se obtiene una utilidad neta de S/ 404 844 más, la cual daría una favorable posición económica a la empresa para que pueda mejorar sus procesos y productos.

Tabla 113. Comparación de indicadores de rentabilidad

Indicadores de rentabilidad	1° Escenario	2° Escenario
	Sin sistema de gasificación	Usando sistema de gasificación
TMAR	29,18%	12,43 %
Valor actualizado neto (VAN)	S/. 1 672 579	S/. 2 077 423
Tasa interna de retorno (TIR)	2031%	32 %
Beneficio- costo (B/C)	2,04	1,53
Margen de Utilidad Neta	0,36	0,38
Costo energético por saco	S/ 0,85	S/ 1,45

En la tabla 114 se muestra la comparación de ambos escenarios, respecto a los indicadores de beneficio costo, durante los 7 años que se tomó en cuenta para la evaluación de la propuesta; y se halló que los indicadores de beneficio costo del 2° escenario se incrementaron notablemente a partir del año 5, a causa de que desde este año se dejó de pagar los gastos financieros, es decir, que el sistema de gasificación fue pagado hasta el año 4. Por lo tanto, se pudo concluir que una vez los gastos financieros sean cubiertos, los indicadores de beneficio costo para la propuesta serán favorables. Considerando que el periodo de vida útil del sistema tiene un mínimo de 15 años, hay 8 años posteriores donde se puede obtener altos beneficios económicos y altas tasas de producción.

Tabla 114. Comparación de beneficio costo

Año		1° Escenario	2° Escenario
		Sin sistema de gasificación	Usando sistema de gasificación
1	2019	1,76	1,42
2	2020	1,95	1,63
3	2021	2,06	1,81
4	2022	2,17	2,00
5	2023	2,29	3,93
6	2024	2,45	4,18
7	2025	2,60	4,43

IV. CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES

4.1. CONCLUSIONES

1. Se diagnosticó que el molino tiene un consumo de potencia total de 169 kW por hora, 279 amperios por hora y trabaja con una tensión de 220 voltios trifásico. El costo de energía eléctrica por saco de arroz pilado es de S/ 0,82 y el costo de kWh es de S/ 0,41. Asimismo, la producción de kWh a partir de la cascarilla de arroz puede atender eficazmente los kWh demandados por el sistema productivo de la empresa. También se determinó que el molino produce alrededor de 700 sacos de pilado por día, tiene un beneficio costo de 2,1 y un margen neto de utilidad de S/ 0,37.
2. El gasificador downdraft o de lecho fijo con corriente descendente es la tecnología más idónea para el aprovechamiento energético de la cascarilla de arroz que permita el incremento de la rentabilidad del Molino y Cía. Semper S. A. C.
3. El sistema de gasificación requiere una alimentación de 324 kg/h para producir 245 kW de potencia por hora, la cual satisface plenamente los 169 kW de potencia por hora que el molino consume en su más alto rendimiento. De igual manera, el sistema de gasificación y generación de electricidad requiere alrededor de 633 m², tiene un costo de operación y mantenimiento de S/ 101 540 anuales, trabaja a una tensión de 220 V trifásica, una frecuencia de 60 Hz, y produce entre 280 a 300 A.
4. El valor actualizado neto, durante un periodo de 7 años, precisó que es conveniente utilizar e invertir en el sistema de gasificación, porque genera S/. 404 844 más que en un escenario donde no se tomó en cuenta la propuesta. Este incremento de utilidad se debe a que con el sistema gasificador se pudo atender la demanda insatisfecha y ganar una mayor participación del mercado. Asimismo, se obtuvo que la propuesta genera un beneficio costo de S/ 1,53, un margen de utilidad neta de S/ 0,38 y un costo energético de S/ 1,45 por saco de arroz pilado. También se halló una TIR de 32 %, la cual siendo mayor a la tasa de costo de capital TMAR de 12,4 %, indica que la propuesta es viable financieramente.

5. La propuesta de aprovechamiento energético de la cascarilla de arroz permite incrementar la rentabilidad del Molino y Cía. Semper S. A. C., dando oportunidad de obtener mayores utilidades netas que favorezcan el crecimiento de la empresa y la mejora de sus procesos y productos.

4.2. RECOMENDACIONES

Para mejorar esta investigación, se recomienda a los interesados en el proyecto, que indaguen más sobre los costos de operación y mantenimiento del sistema, a causa de que los presentados en este trabajo, fueron determinados a través de referencia bibliográfica. Pero para mayor precisión, sería preferente consultar a una empresa que esté utilizando esta tecnología, porque podría revalidar si la propuesta es categóricamente idónea.

También se recomienda averiguar sobre empresas que compren la ceniza y alquitrán, residuos sólidos generados por el sistema de gasificación que permitiría obtener un ingreso más para el molino.

V. REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- [1] Ministerio de Agricultura y Riego. MINAGRI. [En línea]. Disponible en: <http://www.minagri.gob.pe/portal/especial-iv-cenagro/26-sector-agrario/arroz/220-mercado> [Accedido: 26- may- 2017]
- [2] Vargas, Emilio. “El valor nutritivo de los subproductos del arroz en Costa Rica, composición química, disponibilidad y uso”. Portal de revista académicas de la Universidad de Costa Rica Vol 2, pp. 36-40, 1995.
- [3] Nam Hong and Ha-Doung Minh. “Rice husk gasification for electricity generation in Cambodia in December 2014”. Field trip report. Université de Sciences et Technologies de Hanoi. 2013.
- [4] Murugan P. and Sekhar Joseph. “Species- Transport CFD model for the gasification of rice husk (*Oryza Sativa*) using downdraft gasifier”. Elsevier Vol. 139, pp 33-40, 2017.
- [5] Susastriawan A., Saptoadi H. and Purnomo. “Comparison of the gasification performance in the downdraft fixed bed gasifier fed by different feedstocks: rice husk, sawdust, and their mixture”. Elsevier Vol 34, pp. 27-34,2019.
- [6] P. Makwana and Pandey J. “Improving the properties of producer gas using high temperature gasification of rice husk in a pilot scale fluidized bed gasifier (FBG)”. Elsevier Vol 130, pp. 943- 951, 2019.
- [7] Ramírez John, Martínez Juan Daniel. “Performance analysis of an air-blown pilot fluidized bed gasifier for rice husk”. Elsevier Vol 18, pp. 75-82, 2014.
- [8] Toklu, E. “Biomass Energy potential and utilization in Turkey”. General studies Vol 107, pp. 235-244, 2017.
- [9] R. Hidalgo y O. Pozzolo. “Más grano entero y mayor capacidad de secado de las plantas de acopio”. Instituto de Ingeniería Rural (IIR) Castelar INTA, Argentina.
- [10] Elías, Xavier. “Tratamiento y Valorización Energética de Residuos”. España: Díaz de santos, 2005.
- [11] Empresa provincial de energía de Córdoba. Empresa provincial de energía de Córdoba. EPEC ¿Qué es la Biomasa? Energía Renovable: Biomasa. [En línea]. Disponible en:

<https://www.epec.com.ar/docs/educativo/institucional/biomasa.pdf> [Accedido: 26- may- 2017]

[12] ICYTAL. Ver Instituto de Ciencia y Tecnología de los alimentos. Universidad Austral de Chile. ¿Qué características promedio de algunos combustibles gaseosos existen? [En línea]. Disponible en: https://www.sistemamid.com/panel/uploads/biblioteca/2016-10-16_12-43-23136959.pdf [Accedido: 28-may- 2017].

[13] Abdeen, Omer. “Las ventajas económicas y ambientales de los residuos agrícolas para el desarrollo sostenible en Sudán”. Vol 1, pp. 1-10 , 2010.

[14] Bretaña, E. Estudio Técnico – Económico de la instalación de una planta de Biomasa para Generación Eléctrica. Proyecto de fin de carrera. Universidad Pontificia Comillas, 2007.

[15] Hupa Mikko, Karlstrom Oskar. “Biomass combustion technology development”. Vol 36, pp. 113- 134, 2017.

[16] Couto Nuno, Rouboa Abel, Silva Valter, Monteiro Eliseu and Bouziane Khalid. “Influence of the biomass gasification processes on the final composition of syngas”. Energy Procedia Vol 36, pp. 596-606, 2013.

[17] Xu F y Li Y. “Biomass Digestion”. 2017.

[18] Ozsin Gamzenur, Putun Ayse. “Kinetics and evolved gas analysis for pyrolysis of food processing wastes using TGA/MS/FT-IR”. Vol 64, pp. 315-326, 2017.

[19] Graciosa Emanuele, Aredes Marcio, Pecenka Ralf, De Cássia Angélica. “Pyrolysis gases burners: Sustainability for integrated production of charcoal, heat and electricity”. Vol 75, pp. 592-600, 2017.

[20] Quispe Isabel, Navia Rodrigo and Kahhat Ramzy. “Energy potential from rice husk through direct combustion and fast pyrolysis: A review”. Elsevier Vol 59, pp. 200-210, 2017.

[21] FAO. Food and Agriculture Organization of the United Nations. Integrated energy systems in China- The cold Northeastern region experience. <http://www.fao.org/3/a-t4470e/t4470e0a.htm> (Accedido: 06- jun- 2017).

[22] Shakorfov, Abdelmalik. “Biomass. Incineration, Pyrolysis, Combustion and Gasification”. International Journal of Science and Research Vol 5, pp. 13-24, 2013.

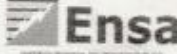
- [23] Beltran, Michael. "Gas Cleaning: An Integral Step in Biomass Gasification". Pollution Engineering, 2013.
- [24] CDE. Ver Connaissance des Energies. Gazéficación et ses etapes. Disponible en: <http://www.connaissancedesenergies.org/fiche-pedagogique/gazeification> [Accedido: 02- jun- 2017].
- [25] Instituto para la Diversificación y Ahorro de Energía (IDAE). "Biomasa: Gasificación". Octubre. 2007
- [26] Larson, Eric. "Technology for electricity and fuels from biomass". Annual Reviews Vol 18, pp.567-630, 1993.
- [27] Kumar Ajay, Jones David and Hanna Milford. "Thermochemical Biomass Gasification: A Review of the Current Status of the Technology". Energies Vol 2, pp. 556-581, 2009.
- [28] Dai Jianjun, Saayman Jean, Grace John and Ellis Naoko. "Gasification of Woody Biomass". The annual Review of Chemical and Biomolecular Engineering Vol 6, pp. 77-99, 2015.
- [29] Ministry of New and Renewable Energy. Biomass Knowledge Portal. Biomass Gasification. Types of gasifier. Disponible en: <http://biomasspower.gov.in/contact.php> [Accedido: 06- jun- 2017].
- [30] Speight, James. "Gasifier Types". Gasification of Unconventional Feedstocks, pp. 54-90, 2014
- [31] Kook Jin, Choi Hee, Kim Bo, Ra Ho, Yoon Sang, Mun Tae, Kim Jae, Kim Yong, Lee Jae and Seo Myung. "Gasification and tar removal characteristics of rice husk in a bubbling fluidized bed reactor". Fuel Vol 181, pp. 942-950, 2016.
- [32] Karmakar M.k, Mandal J., Haldar S., Chatterjee P.K. "Investigation of fuel gas generation in a pilot scale fluidized bed autothermal gasifier using rice husk". Fuel Vol. 111, pp. 584-591, 2013.
- [33] González Moreno, Javier Francisco. "Simulación de gasificación de biomasa en lecho fluidizado burbujeante", pp. 27-34, 2010.
- [34] J. Barco Burgos, "Gasificación de Cuesco de Palma para la obtención de gas combustible en un reactor de lecho fijo", Tesis de fin de máster, Universidad Nacional de Colombia, Bogotá, Colombia, 2015.

- [35] P. Basu, "Combustion and Gasification in fluidized beds". Boca Raton, Florida, USA: CRC Press, 2006.
- [36] E. D. Larson, "Small- Scale Gasification Based Biomass Power Generation", Ponencia presentada en Biomass Workshop, Changchun, China, 1998, pp. 16.
- [37] R. A. Serway y Chris Vuille. "Fundamentos de Física". Ciudad de México, México: Cengage Learning Editores, 2018.
- [38] M. Gussow. "Fundamentos de electricidad". McGraw- Hill.
- [39] L. Valdes y A. Piris. "Electricidad básica". Madrid, España: Publicaciones del Centro Estudios Televisión, 1974.
- [40] Sapag Chaín, Nassir. Proyectos de Inversión: Formulación y Evaluación. 2ª Edición. Santiago de Chile: Pearson Educación, 2011.
- [41] Urbina, Gabriel Baca. Evaluación de Proyectos. México DF: Mc Graw Hill, 2010.
- [42] Camisón C., Cruz Sonia, Gonzáles Tomás. Gestión de la Calidad: Conceptos, Enfoques, Modelos y Sistemas. Madrid, España: Pearson Educación S.A., 2006.
- [43] A. Prada y C. Cortés. "La descomposición térmica de la cascarilla de arroz: una alternativa de aprovechamiento integral". Revista Orinoquia, Vol. 14, pp. 155-170, 2010.
- [44] "Valor informativo de la cascarilla de arroz". Comitato Termotecnico italiano, Milán, Italia, Análisis elemental de la cascarilla de arroz. 2010.
- [45] C. Cuba Arroyo, "Piloto de gasificador downdraft operado con biomasa", Tesis de fin de máster, Universidad Politécnica de Cataluña, Barcelona, España, 2011.
- [46] Solar Energy Research Institute, SERI. "Handbook of biomass downdraft gasifier engine systems". 1988.
- [47] Reklaitis, G.V. et al. Balances de Materia y Energía. 1986.
- [48] C. Li, K. Suzuki. "Tar property, analisis, reforming mechanism and model for biomass gasification- An overview". Renewable and Sustainable Energy Reviews Vol 13, pp 594-604, 2009.
- [49] Echeverry, L. C. A. Cyclones Optimal Design. Medellín, 2006.
- [50] T. Wildi. "Máquinas eléctricas y Sistemas de potencia". 6ta. Edición. México: Pearson Educación, 2007.
- [51] Ankur Scientific Energy Technologies. [En línea]. Disponible en: <https://www.ankurscientific.com/contact.html> [Accedido: 10-nov-2018].

- [52] Grupo Gertek. Mantenimiento de gasificadores. Disponible en: <http://www.grupogertek.com/mantenimiento.html> [Accedido: 10-nov-2018]
- [53] IRENA. International Renewable Energy Agency. “Renewable Power Generation Costs in 2012: An overview”. 2013.
- [54] G. Chidikofan, A. Benoist, M. Sawadogo, G. Volle, J. Valette, Y. Coulibaly, J. Pailhes, F. Pinta. “Assessment of environmental impacts of tar releases from a biomass gasifier power plant for decentralized electricity”. Energy Procedia, Vol 118, pp. 158-163, 2017.
- [55] R. Pode. “Potential applications of rice husk ash waste from rice husk biomass power plant”. Renewable and sustainable energy reviews, Vol 53, pp. 1468-1485, 2016.
- [56] Alibaba. [En línea]. Disponible en: https://www.alibaba.com/trade/search?fsb=y&IndexArea=product_en&CatId=&SearchText=biomass+gasifier

VI. ANEXOS

Anexo 1. Recibo de energía eléctrica



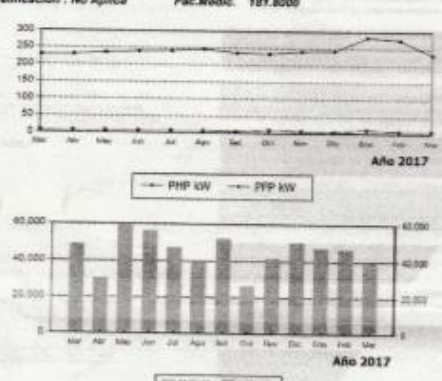
MOLINOS & CIA SEMPER SAC
20480285787
 Carr. PANAMERICANA NORTE Km. 00777 CPM. LAMBAYEQUE
 C.P.M LAMBAYEQUE Cr PANAM
 1324-10222-810

Marzo-2017
CÓDIGO 27512509

Medición	MT2	Serie Medidor	00000003573032 - Electrón.
Tensión	Media Tension	Nº Hilos Medidor	4
SED	E-200671	Modalidad	Potencia Variable
Tipo Suministro	Trifásica-Aérea(C5.1)	Inicio Contrato	25/02/2008
		Termino Contrato	25/02/2018

Promedio Máxima Demanda		Potencia Contratada	
Fuera Punta	Punta	Fuera Punta	Punta
279.9720	11.8170	95.0000	12.0000

Magnitud Leída	Lectura Anterior	Lectura Actual	Diferencia	Demanda	Concepto	Consumo	Precio Unitario	Total
Energía Activa Total (kWh)	28.942.8700	29.159.6400	216.7700	59.445.1480	Cargo Fijo		6.5100	5.51
Energía Activa Hora Punta (kWh)	1.329.8600	1.332.9600	3.0800	559.9440	Cargo por Reposición y Mantenimiento			15.33
Energía Activa Fuera Punta (kWh)	27.612.7900	27.826.6800	213.8900	38.885.2020	Energía Activa HP	559.9440	0.2309	123.69
Energía Reactiva (kVArh)	17.047.4700	17.127.1100	79.6400	14.478.5520	Energía Activa FP	3885.2020	0.1833	713.77
Potencia Hora Punta (kW)	0.0400	0.0400	0.0000	7.2720	Energía Reactiva	2645.0082	0.0421	111.35
Potencia Fuera Punta (kW)	1.5200	1.2800	1.2800	232.7040	Pot. Uso Redes Distrib. HP	11.8170	11.4800	135.66
Factor Corrección : No Aplica	Fac. Medid.	181.8000			Pot. Activa Generación HP	7.2720	54.9800	399.81
					Exc. Pot. Uso Redes Dist. FP	268.1550	11.7100	3140.10
					Alumbrado Público (Alcance : \$/ 0.4273)			640.95
					Interés Compensatorio	1.0000	119.3682	119.37
					SUB TOTAL			11816.54
					Imp. Graf. a las Ventas			2120.96
					Interés Moratorio	1.0000	12.4627	12.46
					Saldo por redondeo	1.0000	-0.0300	-0.03
					Diferencia de redondeo			0.0400
					Aporte Ley Nro. 28749 - 0.0061	35445.1480	0.0061	319.01
					TOTAL RECIBO DE MARZO 2017			14275.50
					Duda Anterior (1 Mes.)			15657.60
					Total a Pagar incluye Aporte FOSE(Ley N°27510)/S/ 291.11			



Importe 2 Últimos Meses Facturados:

Ene - 2017 S/ 16217.13 Feb - 2017 S/ 15657.60

HISTORICO DE CONSUMOS Y DEMANDAS

Mes	Ene	Feb	Mar	Abr	May	Jun	Jul	Ago	Sep	Oct	Nov	Dic	Ene	Feb	Mar
Consumo kWh	4670	5701	3620	5544	4557	3710	5180	3555	4054	4990	4482	4334	4344	4344	3895
Demanda kW	30	30	34	31	25	34	37	37	37	34	34	34	34	34	34
Consumo kWh	29140	31189	28240	38416	31750	37248	39340	24100	34745	34120	30335	26184	33746	33746	33746
Demanda kW	123	123	123	123	123	123	123	123	123	123	123	123	123	123	123

Emisión	05/04/2017	Vencimiento	21/04/2017	TOTAL	S/*****29,933.10
----------------	------------	--------------------	------------	--------------	------------------

Su AMT es : A2026 - LS101 de SE de Potencia : LAMBAYEQUE SUR

Son : CATORCE MIL DOSCIENTOS SETENTA Y CINCO Y 50/100 SOLES

(*) El importe en letras hace referencia al total del recibo del mes de Marzo-2017 Comprobante emitido según RS-007-99 SUNAT Cap. I, Art. 4, Inciso 6.1.d.

Si realiza el pago vía transferencia bancaria debe enviar un correo a: pagosensa@distriuz.com.pe Revise el estado de cuenta de su recibo en: <http://www.distriuz.com.pe/ConsultaRecibos/ConsultaRecibo.asp> x?empresa=2

Fecha Corte: 22/04/2017

Si paga hasta la fecha de vencimiento evitara el corte, gastos y molestias innecesarias.

Factura Marzo-2017

MOLINOS & CIA SEMPER SAC

Suministro 27512509

Dirección Carr. PANAMERICANA NORTE Km.

Ciudad 1324-10222-810


Emisión 05/04/2017

Vencimiento 21/04/2017

Recibo Nº 258-86257912

Lambayeque/Lambayeque

TOTAL A PAGAR S/ ***29,933.10**



Anexo 2. Análisis elemental de la cascarilla de arroz

Parametro	Unità di misura	Lolla di riso (2.1.2.1)	
		Valore tipico	Variazione tipica
Ceneri	% w/w db	15	5-23
Potere calorifico superiore $Q_{p,gr,daf}$	MJ/kg daf	19	16,6-20,1
Potere calorifico inferiore $Q_{p,net,daf}$	MJ/kg daf	17	15-18,7
Carbonio, C	% w/w daf	49	47-50
Idrogeno, H	% w/w daf	6	5,3-7,4
Ossigeno, O	% w/w daf	44	42,3-45,2
Azoto, N	% w/w daf	0,7	0,3-1,3
Zolfo, S	% w/w daf	0,17	0,02-0,44
Cloro, Cl	% w/w daf	0,12	0,04-0,15
Fluoro, F	% w/w daf		
Al	mg/kg d		
Ca	mg/kg d		
Fe	mg/kg d		
K	mg/kg d		
Mg	mg/kg d		
Na	mg/kg d		
P	mg/kg d		
Si	mg/kg d		
Ti	mg/kg d		
As	mg/kg d		
Cd	mg/kg d		
Cr	mg/kg d		
Cu	mg/kg d		
Hg	mg/kg d		
Ni	mg/kg d		
Pb	mg/kg d		
V	mg/kg d		
Zn	mg/kg d		

Anexo 3. Cotización del sistema de gasificación



Gunjan Patel
Business Development Group

OFF / 18-19 / 36 / 206
September 17, 2018

Price Offer – By Email

Kind Attention: Mr. Ever Salazar

Molino Semper S.A.C., Peru
Email: eversalazar@gmail.com

Subject:- Budgetary offer for Design, Supply and Supervision of Installation & Commissioning of Biomass Gasification Plant consisting of “Ankur” Biomass Gasifier Model 1 x FBG-500 with Dry Gas Cleaning System in Ultra Clean Gas Mode suitable for 260 kWe Gross Peak Power Generation.

Reference:- Your email dated September 16, 2018.

Dear Sir,

This has reference to your email dated September 16, 2018 and accordingly we are pleased to submit herewith our budgetary offer for Design, Supply and Supervision of Installation & Commissioning of Biomass Gasification Plant consisting of “Ankur” Biomass Gasifier Model 1 x FBG-500 with Dry Gas Cleaning System in Ultra Clean Gas Mode suitable for 260 kWe Gross Peak Power Generation.

Please note that for this project, we are offering our WBG series Gasifier which can use woody biomass as per the defined specifications as below:

Biomass Type	: Rice husk
Net Calorific Value	: Above 3,200 kCals/kg
Bulk Density	: Above 120 kg/M ³
Ash Deformation Temperature	: $\geq 1200^{\circ}\text{C}$
Moisture Content	: < 10% on wet basis
Ash Content	: < 5% on dry basis
Biomass Size	: Min: 2 mm on any dimensions Max: Diameter (\varnothing) – 3 mm; Length (L) – 20 mm

Notes:-

- * Fines below 2 mm should be sieved and removed from Feedstocks.
- * There should be no foreign matter like dust, dirt, fines, fibers, stones, debris, soil, oil, metal, plastic, glass etc. in the biomass to be fed into the Gasifiers.
- * The quality of Biomass used is absolutely essential for the success of the project. Bad Biomass will not only lead to process issues but may also lead to damage to equipment.
- * Samples of all biomasses intended to be used would be sent to us before the finalization so as to be sure of its usability and our recommendations. Post the analysis, there might be some changes in our recommendation.

In the event the customer intends to use any other biomass other than the ones specified above, the

Ankur Scientific Energy Technologies Pvt. Ltd.

Office: Ankur, Near Navarotana School, Sama, Vadodra-390 008 Ph: (2667) 279009 / 279421 Fax: (2667) 2794242
Email: asc@ankurscientific.com, ankur@ankurscientific.com, Website: www.ankurscientific.com
Factory: Vadodra-Sevil Road, Near Village Gathda - 391 773 Ph: (2667) 222342 / 223343 Fax: (2667) 223342



same along with its properties may please be informed to us and we shall then check and confirm if it could be used. In general the biomass to be used should be as per 'Ankur's' standard specifications which should be checked prior to using.

It may please be noted that we have a DSIR, India accredited laboratory and given the specific nature of some of the tests on biomass properties, we will generally go by the reports from our laboratory.

We hope you will find our offer in line with your requirement and we look forward to receiving your kind feedback for the same.

In the mean time, if you need any other information, please do let us know.

Assuring our best attention at all times.

Best regards,

For, **Ankur Scientific Energy Technologies Pvt. Ltd**

Gunjan Patel

Ankur Scientific Energy Technologies Pvt. Ltd.

Office: Ankur, Near Navachara School, Bana, Vadodra - 390 005 Ph: (0222) 2793288 / 2794021 Fax: (0222) 2794042
Email: sales@ankurscientific.com, ankur@ankurscientific.com; Website: www.ankurscientific.com
Factory: Vadodra-Gand Road, Near Village Barcha - 391 773 Ph: 0222571223342 / 223343 Fax: 0222571223342



1. Price Schedule

Customer: Kind Attention: Mr. Ever Salazar Molino Semper S.A.C., Peru Email: eversalazzar@gmail.com		Offer No.: OFF / 18 – 19 / 36 / 206 Date. : September 17, 2018	
		Ref No. : Your email Date. : September 16, 2018	
Sr. No.	Item Description	Qty.	Basic Price In USD (\$)
<u>Biomass Preprocessing Equipments</u>			
1.	<u>Rice Husk Sieving & Feeding into Gasifier</u>	<u>Best done locally by the client</u>	
<u>Gasifier & Its Related Accessories</u>			
2.	<u>'Ankur' Biomass Gasifier Model 1 x FBG-500 along with basic accessories and auxiliaries with Dry Gas Cleaning System in Ultra Clean Gas Mode & State of The Art Flare System</u>	1 Set	<u>221,350</u>
3.	<u>Dry Ash Char Removal System with Water Cooled Screw Conveyor - Actual handling of ash/char from Gasifier area to final disposal point to be done by client locally</u>		
4.	<u>PLC Based Control Panel</u>	Lump sum	
5.	<u>Platform and ladder for the Gasifier</u>	Lump sum	
6.	<u>Cooling tower – for clean water (alternatively, this can also be done by client locally)</u>	Lump sum	<u>8,000</u>
7.	<u>16 TR Chiller Unit (alternatively, this can also be done by client locally)</u>	Lump sum	<u>28,800</u>
8.	<u>Condensate Evaporation System - we will supply Producer gas based Evaporator system for which the feedstock consumption would be marginally higher.</u>	Lump sum	<u>11,000</u>
9.	<u>100% Producer Gas Engine Generator Set form China for 260 kW gross peak output on peak rating (on FOB Qingdao Port, China basis)</u>	1 No.	<u>150,205</u>
<u>Service Charges</u>			
10.	<u>Detail Design and Engineering Charges</u>	Lump sum	<u>10,760</u>
11.	<u>Supervision charges for installation, commissioning and training of customer's personal</u> Note: our charges are only for supervision of installation and commissioning of the Gasifier and other respective items and train the operating personal at site. However other engineers, skilled and unskilled manpower apart from material handling equipments etc. to be provided by the client	30 man days	<u>10,080</u>
<u>Packing & Transportation</u>			

Ankur Scientific Energy Technologies Pvt. Ltd.

Office: Ankur, Near Navrachana School, Sema, Vadodra- 390 008 Ph: (0295) 2793098 / 2794021 Fax: (0295) 2794042
 Email: accounts@ankurscientific.com, ankur@ankurscientific.com; Website: www.ankurscientific.com
 Factory: Vadodra-Sevil Road, Near Village Gethda - 391 773 Ph: (02957) 222342 / 223343 Fax: (02957) 223342

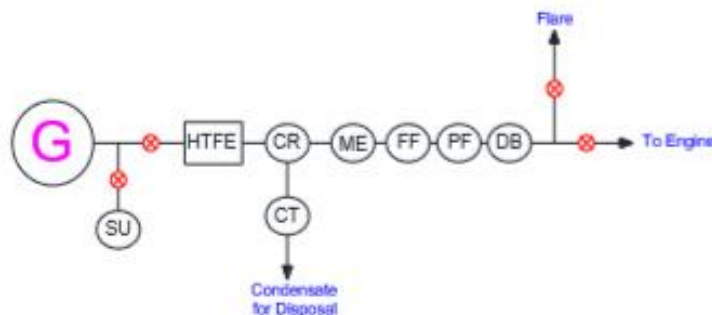


12.	Packing Charges for Gasifier Portion from India	Lump sum	<u>13,465</u>
13.	Indicative FOB Charges for Gasifier portion up to Mumbai, India (Containers for stuffing needs to be provide at ICD Dashrath, Vadodara at client's cost)	Lump sum	<u>10,000</u>
TOTAL FOB PRICE UPTO MUMBAI, INDIA			USD 463,660

Notes:

1. CIF, clearance & safe transportation of machinery and equipments from the Mumbai Port, India to the final project site / destination including transit insurance, taxes, duties, etc. And loading / unloading at site to be done by BUYER
2. Start up and auxiliary power for the system to be provided by the BUYER at all times.
3. Please refer scope of work to define total project cost.

2. Indicative System Schematic Line Diagram (DGCS Mode)



Legend:-

1. Gasifier (G)
2. Start Up Sub-system (SU)
3. High Temperature Filtering Equipment (HTFE)
4. Condensate Removal Sub-System (CR)
5. Condensate Neutralization/Evaporation Sub-System (CT)
6. Mist Eliminator (ME)
7. Fine Filter (FF)
8. Pleated Filter (PF)
9. Dry Blower (DB)

Indicative Drawing – Subject To Change Due To Constant Design Improvements

Ankur Scientific Energy Technologies Pvt. Ltd.

Office: Ankur, Near Navrachana School, Sama, Vadodra-390 008 Ph: (02205) 2793288 / 2794021 Fax: (02205) 2794040
 Email: anur@ankurscientific.com, ankur@ankurscientific.com, Website: www.ankurscientific.com
 Factory: Vadodra-Sevil Road, Near Village Gachha - 391 773 Ph: (022057) 222342 / 223343 Fax: (022057) 223343



3. Scope of Work

Sr. No.	WHAT	Scope by	
		ANKUR	BUYER
1.	Land for the Power Plant including storage of ready to use Biomass for few days. Approach road & internal road, fencing as per agreed to plot plan.		√
2.	All statutory approvals as required in connection with execution of this contract, plant setup, its operation, our drawing, documents in your country.		√
3.	Indicative Drawings and Technical Specifications to be provided:	√	
	<ul style="list-style-type: none"> • Civil (mainly Foundation & Plan Layout drawings) • Gas Piping • Cabling • Compressed Air Lines • Schematic Drawings • P&ID • PFD 		
4.	All Civil Works including foundation, shed etc. as per approved drawings & bill of material including the Storage area within the Plant, earthing, earthing pit also including civil structures/shed and lighting arrangements etc. RCC and grouting of all equipment and Foundation Bolts, EOT Crane for entire plant		√
5.	<u>Rice Husk Sieving & Feeding</u> into Gasifier		√
6.	As per Price Schedule, the Supply, Supervision of Installation and Commissioning of Gasifier system along with its gas cooling and cleaning systems including Producer Gas Engine Generator Set & Producer Gas Piping within Gasifier up to Header Box	√	
7.	For the Evaporator, Evaporation chamber, combustion air blower, producer gas blower, sludge tank and condensate recirculating pump	√	
8.	Suitable rated Cooling tower – for clean water	√	
9.	16 TR Chiller unit	√	
10.	Evaporator Stack, condensate tank and piping for gas, air and for conveying condensate to condensate tank		√
11.	Producer gas ducting from Gasifier header box to the engine genset.		√
12.	All site specific piping (gas, air, water), plumbing and Insulation (gas, air) as needed with required valves, fittings, pumps etc. as per approved drawings.		√
13.	Gasifier pipeline up to the Gasifier header box will be in ANKUR'S scope and all other pipeline required after the header box will be in client scope.		√
14.	All Hot and Cold insulation as per requirement for items and relative accessories and auxiliaries, other equipment's and the pipelines. This will be indicated after the detailed engineering of		√

Ankur Scientific Energy Technologies Pvt. Ltd.

Office: Ankur, Near Navachana School, Baria, Vadodra-390 005 Ph: (0225) 2793098 / 2794021 Fax: (0225) 2794043
 Email: ankur@ankurscientific.com, ankur@ankurscientific.co.uk, Website: www.ankurscientific.com
 Factory: Vadodra-Gevli Road, Near Village Gachda -391 773 Ph: 022557122342 / 223343 Fax: 022557122342



	the project.		
15.	All equipment/hardware needed for power generated from Engine Gensets including necessary field cabling etc.		√
16.	Flare Piping as per drawings.		√
17.	Supply and installation of Electrical Wiring / Cabling / field Cabling for all equipments within/out of plant including All cable trays, LT Power, Bus duct, Control and Signal cables and accessories, termination kits, lugs & glands beyond Battery Limits, earthing and earthing pits etc.		√
18.	Firefighting equipments.		√
19.	Air Compressor and compressed air lines as per approved drawings.		√
20.	LPG / Diesel rag for Start-up sub system		√
21.	Platform and ladder for Gasifier	√	
22.	Apart from Gasifier, Supporting Structure, Railing, Platform and Ladder arrangement required for equipments of entire plant		√
23.	Any batteries, battery chargers cum DCDB, UPS etc., Inverter and plant communication systems needed for the system as per 'Ankur' Specs.		√
24.	Manual Labors, Technicians, Material handling equipment's for Installation and Commissioning of plant		√
25.	Utilities like free potable water & power connection at one point (within the proposed plant area) defined as per final agreed to Plot plan.		√
26.	Charcoal, Biomass, filter media, lubricating oil etc. for trials, commissioning and regular operations.		√
27.	Handling / Disposal of discharge/ash/char, sludge, oil etc. and emission related matters as per the local laws/ norms.		√
28.	Cranes/Material handling system, Welding, Gas cutting, grinding, machining facilities including consumables like welding electrodes etc. along with skilled and unskilled operator and labours for modification of the parts required, other site-specific works/facilities etc. during installation and commissioning and thereafter during regular operation and maintenance of the plant as needed.		√
29.	Feedstock Supply Chain Management.		√
30.	All material handling equipment's required for unloading & Loading of equipment's will be arranged by you. This includes Hydra, Overhead crane for lifting and shifting and also truck driven trolleys, fork lift etc. for movement of the material, Installation & Commissioning and also for regular Operation and Maintenance of the plant.		√
31.	PLC Control Panel Room with office space for Supervisors including work stations, computers, network, etc. as needed.		√
32.	Start-up & Auxiliary power for the system at all times		√
33.	Power connection to Control Panel, Grid interconnection/distribution of power from Generator terminal to		√

Ankur Scientific Energy Technologies Pvt. Ltd.

Office: Ankur, Near Ramnathans School, Sams. Vaidara- 392 005. Ph: (0265) 2793298 / 2794021 Fax: (0265) 2794042
 Email: ankur@ankurcorp.com, ankur@ankurcorp.co.in, Website: www.ankurcorp.com
 Factory: Vaidara-Sard Road, Near Village Gachha - 391 773 Ph: 022657122342 / 223343 Fax: 022657122342



	desired place and Synchronizing, Distribution Panel will be in client's scope.		
34.	CIF, clearance & safe transportation of machinery and equipments from the Mumbai Port, India to the final project site / destination including transit insurance, taxes, duties, etc. And loading / unloading at site to be done by BUYER		√
35.	All other equipment's as necessary which is out of battery limit.		√
36.	Providing spares as that would be needed from time to time.		√
37.	Local Conveyance, Communication Facilities, Boarding and Lodging for all our people.		√

4. Terms & Conditions of Sale

1. Patents and Copyright

Ankur Scientific has patented its technology and replication of its technology without its written permission is punishable under law. Ankur Scientific being a technology company treats any infringement of its rights very seriously and reserves the right to take all action as necessary.

2. Prices

The above prices quoted are in USD (\$) and on FOB Mumbai port, India basis and price quoted for engine from China is on FOB Qingdao Port, China basis. Containers will need to be made available at ICD Dashrath, Vadodara for stuffing at client cost. Please note that the prices are valid for 1 Month only and then after if the rate INR Vs USD (\$) is below 1 USD (\$) to 60 INR, then there will be revision in the above prices.

3. Transport, Insurance, Taxes and Duties

These shall be charged extra, at actuals, as applicable at the time of dispatch.

4. Payment Terms

100% payment before dispatch value including total order value + taxes

- o 50% interest free & Non-refundable advance along with purchase order. Delivery period will be counted only from the date of receiving advance.
- o 30% within 1 Month of order placement.
- o 20% against Proforma invoice before delivery.

In case of any delayed payment or short payment against the payment terms defined above, we will charge interest at the rate of 18% per annum, for the respective amount.

5. Installation & Commissioning, Training of Customers' Personnel:

Our scope for this activity will be limited to the following:

- Ankur Scientific technical personnel to oversee erection and commissioning of all items in our scope.

The following will be to Customer's scope:

- Biomass, Charcoal, Lubricating Oil etc. needed initially for commissioning of the systems, trials and thereafter for regular operations.

Ankur Scientific Energy Technologies Pvt. Ltd.



- Filter Media as required for the system commissioning.
- Requisite material handling system including crane as well as manual labor for lifting and shifting of the equipment into position.
- Manual labor for all activities during installation and commissioning.
- To and fro air fare for our people.
- Local Conveyance, Communication Facilities, Boarding and Lodging for all our people.

Installation, Commissioning and Training of Operating Personnel:

For installation, commissioning and training of operating personnel our charges will be as mentioned in the price schedule as per following terms & conditions:

- Our Charges are only for supervision of installation and commissioning of the gasifier and other respective items and train the operating personnel at site. However, other engineers, skilled and unskilled manpower apart from material handling equipments etc. to be provided by the client.
- The to-and-fro air fare between Vadodara (India) to the country of installation, inland traveling expenditure, road transport charges, boarding, and lodging will be to the client's account.
- In addition, we will charge a per day charge of USD 280 per man-day for our engineers from the date of their departure from Vadodara (India) till the date of their return and this charges shall be applicable if our supervisors need to stay beyond 30 man days in total.

Note: - Charges as stated above are subject to change depending upon site condition and scope of work.

6. Inspection

Our equipment shall be available for inspection at our works before dispatch. We would require one week advance intimation of possible date of arrival of customer's representative for inspection at our works.

7. Warranty

We will demonstrate the performance of the system before it is dispatched from our works. The customer can depute his representatives to witness such testing. The visit by customer's representatives can also be used for complete physical inspection and approvals of the system.

Additionally if necessary, we will provide a technician to be deputed for a maximum of four working days to solve any technical problem arising with the purchased installation, for one time and for this particular deputation, man-day charges will be waived. Direct costs of travel and stay at the customers place will need to be met by the purchaser. After the scheduled four working days, for any additional days, we would charge our normal man-day charges. Such a visit, if undertaken, could also be used to revalidate the system performance.

'Ankur' Gasifiers will have Warranty for a period of 12 months from the date of commissioning or for a period of 15 months from the date of dispatch whichever is earlier. During this Warranty period, we undertake to rectify or replace, at our option, as soon as possible, all parts that are proved to be defective or unusable due to faulty material, design or workmanship, all the to and fro charges of sending the parts to India and back to site are born by the customer. Any damage due to bad maintenance, non-observance of operating instructions, incorrect application etc., is excluded from the purview of this Warranty.

Ankur Scientific Energy Technologies Pvt. Ltd.

Office: Ankur, Near Navrachana School, Sema, Vadodra- 390 008. Ph : (0295) 2793088 / 2794021 Fax : (0295) 2794042
Email: aseo@ankurscientific.com, ankur@ankurscientific.com, Website: www.ankurscientific.com
Factory: Vadodra-Saxil Road, Near Village Gathda-391 773 Ph: (02957) 222342 / 223343 Fax (02957) 223342

)



This Warranty does not cover all electrical, instrumentation and control items including motors, panel components, PLCs, VFDs etc. once their operation is demonstrated to be satisfactory during monitoring of the system. The Warranty also does not cover glass components.

Our responsibility for replacement of parts does not extend to the parts that are subject to natural wear and tear. This Warranty will become void if the purchaser or a third party, on behalf of the purchaser, carries out any repairs/alterations without our prior written approval or fails to put up the relevant plant at our disposal for sufficient time, should repairs or alterations be required at site. Warranty for major bought out items will be as per the OEM's (suppliers) terms and conditions. 'Ankur' Gasifiers generally have an annual availability factor of 80% (or more), if operated and maintained as per the manual / instructions.

The above Warranty will be valid if and only if all payments due to us (as per the payment terms) are promptly received.

8. Delivery Period of Ordered Equipment

Equipments shall be ready for dispatch at our works within 16-20 weeks from the date of receipt of confirmed clear order with advance payment.

9. Validity

Our offer shall be valid before for a period for 30 days from the above date. It is subject to our written confirmation thereafter.

10. Force Majeure

'Ankur' or its affiliates shall not be liable for failure of its performance Warranty or penalty, if and to the extent that, it's delay performance or other failure to perform its obligations under the contract in the event of Force Majeure condition. 'Force Majeure' means an unforeseeable event beyond the control of company like fire, drought, flood, epidemics, quarantine restrictions, earthquake, strikes, riots, state emergency etc. and not involving 'ANKUR's' or its affiliates fault or negligence.

11. Jurisdiction

In respect of any matter, dispute or difference, only the Courts in Baroda (Vadodara), Gujarat, India shall have jurisdiction to the exclusion of all courts.
