



ESCUELA SUPERIOR POLITÉCNICA DE CHIMBORAZO
FACULTAD DE MECÁNICA
CARRERA MANTENIMIENTO INDUSTRIAL

**“CARACTERIZACIÓN DEL SYNGAS OBTENIDO A PARTIR DE
LA BIOMASA FORESTAL Y CASCARILLA DE ARROZ EN EL
GASIFICADOR TIPO DOWDRAFT DE LA FACULTAD DE
MECÁNICA”**

Trabajo de Integración Curricular

Tipo: Proyecto de Investigación

Presentado para optar al grado académico de:

INGENIERO/A EN MANTENIMIENTO INDUSTRIAL

AUTORES:

WILMER JOFRE ALVARADO CHIMBO

MARTHA JESUS GUASCO LOJA

Riobamba–Ecuador

2023



ESCUELA SUPERIOR POLITÉCNICA DE CHIMBORAZO
FACULTAD DE MECÁNICA
CARRERA MANTENIMIENTO INDUSTRIAL

**“CARACTERIZACIÓN DEL SYNGAS OBTENIDO A PARTIR DE
LA BIOMASA FORESTAL Y CASCARILLA DE ARROZ EN EL
GASIFICADOR TIPO DOWDRAFT DE LA FACULTAD DE
MECÁNICA”**

Trabajo de Integración Curricular

Tipo: Proyecto de Investigación

Presentado para optar al grado académico de:

INGENIERO/A EN MANTENIMIENTO INDUSTRIAL

AUTORES: WILMER JOFRE ALVARADO CHIMBO

MARTHA JESUS GUASCO LOJA

DIRECTOR: ING. EDWIN ÁNGEL JÁCOME DOMÍNGUEZ

Riobamba–Ecuador

2023

© 2023, Wilmer Jofre Alvarado Chimbo & Martha Jesus Guasco Loja

Se autoriza la reproducción total o parcial, con fines académicos, por cualquier medio o procedimiento, incluyendo cita bibliográfica del documento, siempre y cuando se reconozca los Derechos de Autores.

Nosotros, Wilmer Jofre Alvarado Chimbo & Martha Jesus Guasco Loja, declaramos que el presente Trabajo de Integración Curricular es de nuestra autoría y los resultados del mismo son auténticos. Los textos en el documento que provienen de otras fuentes están debidamente citados y referenciados.

Como autores asumimos la responsabilidad legal y académica de los contenidos de este Trabajo de Integración Curricular; el patrimonio intelectual pertenece a la Escuela Superior Politécnica de Chimborazo.

Riobamba, 06 de junio del 2023



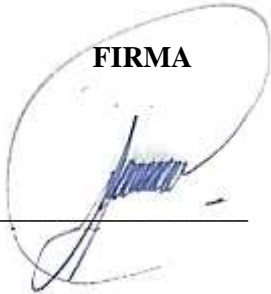

Wilmer Jofre Alvarado Chimbo
150090020-2



Martha Jesus Guasco Loja
030272159-2

ESCUELA SUPERIOR POLITÉCNICA DE CHIMBORAZO
FACULTAD DE MECÁNICA
CARRERA MANTENIMIENTO INDUSTRIAL

El Tribunal del Trabajo de Integración Curricular certifica que: El Trabajo de Integración Curricular; Tipo: Proyecto de Investigación, “**CARACTERIZACIÓN DEL SYNGAS OBTENIDO A PARTIR DE LA BIOMASA FORESTAL Y CASCARILLA DE ARROZ EN EL GASIFICADOR TIPO DOWDRAFT DE LA FACULTAD DE MECÁNICA**” realizado por el señor: **WILMER JOFRE ALVARADO CHIMBO** y la señorita: **MARTHA JESUS GUASCO LOJA**, ha sido minuciosamente revisado por los Miembros del Tribunal del Trabajo de Integración Curricular, el mismo que cumple con los requisitos científicos, técnicos, legales, en tal virtud el Tribunal Autoriza su presentación.

	FIRMA	FECHA
Ing. Marco Antonio Ordoñez Viñan PRESIDENTE DEL TRIBUNAL		2023-06-06
Ing. Edwin Ángel Jácome Domínguez DIRECTOR DEL TRABAJO DE INTEGRACIÓN CURRICULAR		2023-06-06
Ing. Félix Antonio García Mora ASESOR DEL TRABAJO DE INTEGRACIÓN CURRICULAR		2023-06-06

DEDICATORIA

Dedico principalmente este trabajo a Dios y a mis Familiares Laura Chimbo, Lucio Alvarado, Edith Chimbo, Nelson Huera, Rita Alvarado, Banessa Alvarado, Henry Alvarado, Franklin Alvarado, y no puedo dejar de lado a mi novia Jesica Lucero que ha estado en los últimos años de mi carrera apoyándome, por todos esos momentos que ellos han palpado mi lucha constante en el transcurso de mi carrera.

Wilmer Alvarado

Dedico principalmente este trabajo a Dios, mi Salvador y mi Creador; quien me ha dado la vida, bendecido, cuidado y guiado en mi camino. Y a mi amado padre quien a pesar de la distancia me ha apoyado moral y económicamente para poder llevar a cabo este trabajo, a mis hermanas y hermanos que siempre han sido el mejor refugio en tiempos de dificultades, a mis amigos quienes siempre han sido mi apoyo en tiempos de debilidad.

Martha Guasco

AGRADECIMIENTO

Agradezco a los Docente y Amigos quienes estuvieron en el viaje de una aventura de estudio en la cual se tardaba horas haciendo deberes y recibiendo clases en la Escuela de Mantenimiento Industrial, y por haber guiado con profesionalismo y compartido sus conocimientos. De manera especial a los Ingenieros Edwin Ángel Jácome Domínguez y Félix Antonio García Mora por su colaboración y el tiempo brindado en la revisión del presente trabajo.

Wilmer Alvarado

Agradezco a cada Docente de la Escuela de Mantenimiento Industrial por haber guiado con profesionalismo y compartido sus conocimientos a lo largo de mis estudios. De manera especial a los ingenieros Edwin Ángel Jácome Domínguez y Félix Antonio García Mora por su colaboración y el tiempo brindado en la revisión del presente trabajo.

Martha Guasco

ÍNDICE DE CONTENIDO

ÍNDICE DE TABLAS.....	xi
ÍNDICE DE ILUSTRACIONES.....	xiii
ÍNDICE DE ECUACIONES	xv
ÍNDICE DE ANEXOS	xvi
RESUMEN.....	xvii
SUMMARY	xviii
INTRODUCCIÓN	1

CAPÍTULO I

1.	PROBLEMA DE INVESTIGACIÓN.....	2
1.1.	Planteamiento del Problema.....	2
1.2.	Limitaciones y delimitaciones.....	2
1.2.1.	<i>Limitaciones</i>	2
1.2.2.	<i>Delimitaciones</i>	2
1.3.	Problema General de Investigación	3
1.4.	Problemas específicos de investigación.....	3
1.5.	Objetivos.....	4
1.5.1.	<i>Objetivo General</i>	4
1.5.2.	<i>Objetivos Específicos</i>	4
1.6.	Justificación.....	4
1.6.1.	<i>Justificación Teórica</i>	4
1.6.2.	<i>Justificación Metodológica</i>	5
1.6.3.	<i>Justificación Práctica</i>	5
1.7.	Hipótesis	5

CAPÍTULO II

2.	MARCO TEÓRICO.....	6
2.1.	Antecedentes de proyecto de investigación.....	6
2.2.	Biomasa	8
2.2.1.	<i>Concepto de la biomasa</i>	8
2.2.2.	<i>Componentes de la biomasa</i>	8

2.2.3.	<i>Clasificación de la biomasa</i>	9
2.2.4.	<i>Caracterización químico y físico de la biomasa</i>	10
2.2.5.	<i>Componentes físicas de biomasa</i>	10
2.2.6.	<i>Componentes químicas de biomasa</i>	11
2.2.7.	<i>Componentes termodinámicas de biomasa</i>	11
2.2.8.	<i>Análisis para la determinación de la biomasa</i>	12
2.2.8.1.	<i>La humedad</i>	12
2.2.8.2.	<i>Los componentes volátiles</i>	13
2.2.8.3.	<i>La ceniza</i>	13
2.2.8.4.	<i>El carbono fijo (CF)</i>	13
2.2.8.5.	<i>El análisis elemental</i>	13
2.2.9.	<i>Procesos para la obtención de biomasa</i>	14
2.2.10.	<i>Producción de energía mediante la biomasa seca</i>	15
2.2.11.	<i>Ventajas y desventajas de biomasa</i>	15
2.2.11.1.	<i>Ventajas</i>	15
2.2.11.2.	<i>Desventajas</i>	15
2.3.	Características energéticas de las biomosas a utilizar en la gasificación	16
2.4.	Aserrín	17
2.4.1.	<i>Composición química de Biomasa Forestal (Aserrín de eucalipto)</i>	17
2.5.	El arroz	17
2.5.1.	<i>La Cascarilla de Arroz</i>	18
2.5.2.	<i>La estructura de la cascarilla</i>	19
2.5.3.	<i>Propiedades de la Cascarilla de Arroz</i>	20
2.5.3.1.	<i>Propiedades físicas de la Cascarilla de Arroz</i>	20
2.5.3.2.	<i>Propiedad química de la Cascarilla de Arroz</i>	20
2.5.3.3.	<i>Propiedad termoquímica de la Cascarilla de Arroz</i>	21
2.5.3.4.	<i>Propiedad bioquímica de la Cascarilla de Arroz</i>	21
2.6.	Los procesos de conversiones	22
2.7.	poder calorífico de las biomosas a utilizar en la gasificación	22
2.7.1.	<i>Cálculo del poder calorífico</i>	22
2.7.1.1.	<i>Cálculo del poder calorífico mediante el análisis bromatológico</i>	23
2.7.1.2.	<i>El cálculo del PC por medio del análisis aproximado o inmediato</i>	24
2.7.1.3.	<i>Cálculo del PC mediante análisis elemental o último</i>	26
2.8.	Gasificación	27
2.8.1.	<i>Estudio previo de la gasificación</i>	29
2.8.2.	<i>Elementos de un gasificador</i>	29

2.8.2.1.	<i>Reactor</i>	30
2.8.2.2.	<i>Alimentación (tolva y tornillo sin-fín)</i>	30
2.8.2.3.	<i>Agente gasificante</i>	30
2.8.2.4.	<i>Enfriamiento</i>	31
2.8.2.5.	<i>Intercambiador de Calor</i>	31
2.8.2.6.	<i>Composición del gas</i>	31
2.8.3.	<i>Proceso de gasificación</i>	32
2.8.4.	<i>Tipos de gasificadores</i>	34
2.8.4.1.	<i>Gasificador de flujo ascendente (Updraft)</i>	34
2.8.4.2.	<i>Gasificador de flujo descendente (Downdraft)</i>	34
2.8.4.3.	<i>Gasificador de flujo transversal (Crossdraft)</i>	35
2.8.4.4.	<i>Gasificador de lecho fluidizado</i>	35
2.9.	Definición de la terminología ejecutada	36
2.9.1.	<i>Agente gasificante</i>	36
2.9.2.	<i>Alquitranes</i>	36
2.9.3.	<i>Ambiente</i>	36
2.10.	Syngas	37
2.10.1.	<i>Poder calorífico del Syngas</i>	38
2.10.1.1.	<i>Ecuación para el PCS Y PCI del Syngas</i>	39
2.10.2.	<i>Poder calorífico del Syngas de pendiendo su componente</i>	39
2.10.2.1.	<i>Bajo poder calorífico del Syngas</i>	39
2.10.2.2.	<i>Poder calorífico medio del Syngas</i>	40
2.10.2.3.	<i>Alto poder calorífico del Syngas</i>	40
2.10.3.	<i>Características y Propiedades del Syngas</i>	40
2.10.4.	<i>Uso o aplicación del Syngas</i>	41
2.10.4.1.	<i>Aplicaciones térmicas</i>	42
2.10.4.2.	<i>Aplicaciones energéticas</i>	42
2.10.5.	<i>Ventajas y desventajas del Syngas</i>	42
2.10.6.	<i>Composición del Syngas</i>	42

CAPITULO III

3.	MARCO METODOLÓGICO	44
3.1.	Enfoque de investigación	47
3.2.	Nivel de Investigación	58
3.3.	Diseño de investigación	58

3.3.1.	<i>Según la manipulación o no de la variable independiente</i>	58
3.3.2.	<i>Según las intervenciones en el trabajo de campo</i>	59
3.4.	Tipo de estudio	59
3.5.	Población y Planificación, selección y cálculo del tamaño de la muestra	59
3.5.1.	<i>Población</i>	59
3.5.2.	<i>Muestra</i>	60
3.5.3.	<i>Variables</i>	59
3.5.3.1.	<i>Variable Independiente</i>	59
3.5.3.2.	<i>Variable Dependiente</i>	59
3.6.	Métodos, técnicas e instrumentos de investigación	60
3.6.1.	<i>Fuentes primarias</i>	60
3.6.2.	<i>Fuentes secundarias</i>	60

CAPITULO IV

4.	MARCO DE ANÁLISIS E INTERPRETACIÓN DE RESULTADOS	61
4.1.	Cálculos del poder calorífico del Syngas de las 5 gasificaciones	62
4.1.1.	<i>Cálculo del poder calorífico del Syngas obtenido de la primera gasificación</i>	62
4.1.2.	<i>Cálculo del poder calorífico del Syngas obtenido de la segunda gasificación</i>	64
4.1.3.	<i>Cálculo del poder calorífico del Syngas obtenido de la tercera gasificación</i>	66
4.1.4.	<i>Cálculo del poder calorífico del Syngas obtenido de la cuarta gasificación</i>	67
4.1.5.	<i>Cálculo del poder calorífico del Syngas obtenido de la quinta gasificación</i>	69
4.2.	Análisis y discusión de los resultados de los componentes del Syngas	71

CAPITULO V

5.	MARCO PROPOSITIVO	80
5.1.	Propuesta	80
	CONCLUSIONES	80
	RECOMENDACIONES	81

GLOSARIO

BIBLIOGRAFÍA

ANEXOS

ÍNDICE DE TABLAS

Tabla 1-2: Propiedades termodinámicas	11
Tabla 2-2: Caracterización de cinco elementos comunes en las biomasas	14
Tabla 3-2: Condiciones y las características energéticas, de las biomasas	16
Tabla 4-2: Composición química del Aserrín	17
Tabla 5-2: Propiedades físicas de la Cascarilla de Arroz.....	20
Tabla 6-2: Propiedades químicas de la Cascarilla de Arroz	21
Tabla 7-2: Propiedad termoquímica.....	21
Tabla 8-2: Propiedades bioquímicas de la Cascarilla de Arroz	21
Tabla 9-2: Análisis bromatológico del Aserrín y de la Cascarilla de Arroz	23
Tabla 10-2: El análisis inmediato del Aserrín y de la Cascarilla de Arroz.	25
Tabla 11-2: Los parámetros que contiene el Aserrín y la Cascarilla de Arroz	26
Tabla 12-2: El poder calorífico mediante un análisis último de Aserrín y de la CA.	27
Tabla 13-2: El poder calorífico de los productos de las gasificaciones.	28
Tabla 14-2: Las composiciones de los productos de gasificaciones.	29
Tabla 15-2: Reacciones químicas que se producen durante la gasificación	33
Tabla 16-2: Composición química del Syngas	43
Tabla 1-3: Datos del arranque del encendido de la primera gasificación	48
Tabla 2-3: Recolección de datos del primer proceso de gasificación	49
Tabla 3-3: Datos del arranque del encendido de la segunda gasificación.....	50
Tabla 4-3: Recolección de datos del segundo proceso de gasificación.....	51
Tabla 5-3: Datos del arranque del encendido de la tercera gasificación.....	52
Tabla 6-3: Recolección de datos del tercer proceso de gasificación.....	53
Tabla 7-3: Datos del arranque del encendido de la cuarta gasificación.	54
Tabla 8-3: Recolección de datos del cuarto proceso de gasificación.....	55
Tabla 9-3: Datos del arranque del encendido de la quinta gasificación.....	56
Tabla 10-3: Recolección de datos del tercer proceso de gasificación.....	57
Tabla 1-4: Resultado de la primera gasificación del Syngas	61
Tabla 2-4: Resultado de la segunda gasificación del Syngas.....	63
Tabla 3-4: Resultado de la tercera gasificación del Syngas	65
Tabla 4-4: Resultado de la cuarta gasificación del Syngas	67
Tabla 5-4: Resultado de la quinta gasificación del Syngas.....	69
Tabla 6-4: Componente Hidrogeno.....	71
Tabla 7-4: Componente Oxigeno.....	72

Tabla 8-4: Componente Nitrógeno	73
Tabla 9-4: Componente Monóxido de Carbono.....	74
Tabla 10-4: Componente Metano	75
Tabla 11-4: Componente Dióxido de Carbono	76
Tabla 12-4: Componente Agua	77
Tabla 13-4: Datos del poder caloríficos superior	78
Tabla 14-4: Datos del poder caloríficos inferior	79

ÍNDICE DE ILUSTRACIONES

Ilustración 1-2:	Componentes de la biomasa.....	9
Ilustración 2-2:	Clasificación de la biomasa	9
Ilustración 3-2:	Transformaciones de la biomasa.....	14
Ilustración 4-2:	Aserrín	17
Ilustración 5-2:	Aspecto y forma de la Cascarilla de Arroz	18
Ilustración 6-2:	Densidades de la Cascarilla de Arroz	19
Ilustración 7-2:	Cálculo del poder calorífico según los análisis.....	22
Ilustración 8-2:	Etapas de la gasificación.....	32
Ilustración 9-2:	Rango de aplicabilidad para gasificadores de biomasa.....	36
Ilustración 10-2:	Composición del Syngas.....	37
Ilustración 11-2:	Derivados de Syngas.....	41
Ilustración 1-3:	Materia Prima (Aserrín y Cascarilla de Arroz).....	44
Ilustración 2-3:	Energizar los tableros.....	44
Ilustración 3-3:	Encendido con Biomasa Forestal.....	45
Ilustración 4-3:	Cerrado de las tapas de los lados del sub-reactor.....	45
Ilustración 5-3:	Proceso de alimentación	46
Ilustración 6-3:	Muestra 5g de Aserrín y 5g de Cascarilla de Arroz.....	46
Ilustración 7-3:	Datos del arranque del encendido de la primera gasificación.....	48
Ilustración 8-3:	Recolección de datos del primer proceso de gasificación.....	49
Ilustración 9-3:	Datos del arranque del encendido de la segunda gasificación	50
Ilustración 10-3:	Recolección de datos del segundo proceso de gasificación.....	51
Ilustración 11-3:	Datos del arranque del encendido de la tercera gasificación	52
Ilustración 12-3:	Recolección de datos del tercer proceso de gasificación	53
Ilustración 13-3:	Datos del arranque del encendido de la cuarta gasificación	54
Ilustración 14-3:	Recolección de datos del cuarto proceso de gasificación	55
Ilustración 15-3:	Datos del arranque del encendido de la quinta gasificación	56
Ilustración 16-3:	Recolección de datos del quinto proceso de gasificación	57
Ilustración 17-3:	Ceniza y Carbón.....	57
Ilustración 1-4:	Columna 13 X 45/60 (Cuantificación de nitrógeno y oxígeno).....	61
Ilustración 2-4:	Columna Porapak Q 80/100 (Cuantificación de hidrocarburos)	61
Ilustración 3-4:	Muestra del Syngas.....	61
Ilustración 4-4:	Columna 13 X 45/60 (Cuantificación de nitrógeno y oxígeno).....	63
Ilustración 5-4:	Columna Porapak Q 80/100 (Cuantificación de hidrocarburos)	63

Ilustración 6-4: Muestra del Syngas.....	63
Ilustración 7-4: Columna 13 X 45/60 (Cuantificación de nitrógeno y oxígeno).....	65
Ilustración 8-4: Columna Porapak Q 80/100 (Cuantificación de hidrocarburos).....	65
Ilustración 9-4: Muestra del Syngas.....	65
Ilustración 10-4: Columna 13 X 45/60 (Cuantificación de nitrógeno y oxígeno).....	67
Ilustración 11-4: Columna Porapak Q 80/100 (Cuantificación de hidrocarburos).....	67
Ilustración 12-4: Muestra del Syngas.....	67
Ilustración 13-4: Columna 13 X 45/60 (Cuantificación de nitrógeno y oxígeno).....	69
Ilustración 14-4: Columna Porapak Q 80/100 (Cuantificación de hidrocarburos).....	69
Ilustración 15-4: Muestra del Syngas.....	69
Ilustración 16-4: Componente Hidrogeno.....	71
Ilustración 17-4: Componente Oxigeno.....	72
Ilustración 18-4: Componente Nitrógeno.....	73
Ilustración 19-4: Componente Monóxido de Carbono.....	74
Ilustración 20-4: Componente Metano.....	75
Ilustración 21-4: Componente Dióxido de Carbono.....	76
Ilustración 22-4: Componente Agua.....	77
Ilustración 23-4: Poder caloríficos superior.....	78
Ilustración 24-4: Poder calorífico inferior.....	79

ÍNDICE DE ECUACIONES

Ecuación 1-2: Proceso global de gasificación.....	12
Ecuación 2-2: Cálculo del calor de reacción de la biomasa a una temperatura T_2	12
Ecuación 3-2: Carbono fijo	13
Ecuación 4-2: Calculo los carbohidratos totales	23
Ecuación 5-2: Cálculo del poder calorífico mediante el análisis bromatológico	23
Ecuación 6-2: Poder calorífico del Aserrín.....	24
Ecuación 7-2: Poder calorífico de la Cascarilla de Arroz	24
Ecuación 8-2: Cálculo del poder calorífico mediante el análisis inmediato o aproximado.	25
Ecuación 9-2: Conversión del análisis elemental e inmediato del combustible	25
Ecuación 10-2: Poder calorífico del Aserrín en base seca	25
Ecuación 11-2: Poder calorífico de la Cascarilla de Arroz en base seca	25
Ecuación 12-2: Poder calorífico superior de un combustible	26
Ecuación 13-2: Poder calorífico inferior de un combustible	26
Ecuación 14-2: PCI en base húmeda.....	26
Ecuación 15-2: Gases, líquidos y sólidos.....	33
Ecuación 16-2: Pirólisis	33
Ecuación 17-2: Gas combustible.....	34
Ecuación 18-2: Poder calorífico del Syngas	38
Ecuación 19-2: Poder calorífico inferior del Syngas	38
Ecuación 20-2: PCI del Syngas para Aserrín.....	39
Ecuación 21-2: PCI del Syngas para la Cascarilla de Arroz.....	39
Ecuación 22-2: El poder calorífico superior (PCS) Syngas	39
Ecuación 23-2: El poder calorífico inferior (PCS) Syngas	39

ÍNDICE DE ANEXOS

ANEXOS A: PROCESO DE GASIFICACIÓN

ANEXOS B: TAREAS DE MANTENIMIENTO DESPUÉS DE CADA GASIFICACIÓN

ANEXOS C: ANÁLISIS DE LA PRIMERA GASIFICACIÓN

ANEXOS D: ANÁLISIS DE LA SEGUNDA GASIFICACIÓN

ANEXOS E: ANÁLISIS DE LA TERCERA GASIFICACIÓN

ANEXOS F: ANÁLISIS DE LA CUARTA GASIFICACIÓN

ANEXOS G: ANÁLISIS DE LA QUINTA GASIFICACIÓN

RESUMEN

La siguiente investigación se enfoca a la propuesta de mejoramiento del Syngas aprovechando la Biomasa Forestal (Aserrín) y la Cascarilla de Arroz (CA), esto se obtiene con la utilización del gasificador tipo DOWNDRAFT de la Facultad de Mecánica. Además, es un impacto de sostenibilidad ambiental para la comunidad politécnica que contribuya al desarrollo económico, en el cual se analizó las mezclas de las biomásas para la obtención del Syngas de alta eficiencia, esto se logró con el apoyo del equipo de docentes y estudiantes de la carrera de Mantenimiento Industrial por medio de una observación directa y reuniones programadas con la estrategia de producir el Syngas de productividad. Durante la propuesta de la caracterización del Syngas el objetivo fue el estudio y análisis del estado del arte sobre la mezcla de (BF) y (CA). Se realizó combinaciones en diferentes porcentajes de dos biomásas distintas de las siguientes 75% (Aserrín)/25% (Cascarilla de Arroz), 50% (Aserrín)/50% (Cascarilla de Arroz) y 25% (Aserrín)/75% (Cascarilla de Arroz). Como resultado de las actividades planteadas se evidenció el desarrollo de la caracterización principalmente del Syngas. Uno de los intereses que hubo es el académico y el aprovechamiento de las biomásas como fuente de energía renovable. Con la producción del Syngas de las diferentes mezclas se logró visualizar la calidad del Syngas consiguiendo con esto una energía de forma eficiente y limpia para el medioambiente. Con los análisis adquiridos del laboratorio de la cromatografía de las muestras del Syngas, se consiguió determinar la calidad e interpretación del poder calorífico, el Syngas con las mejores características es la primera combinación. Ya que tuvo alto porcentaje de moles de Hidrogeno y su poder calorífico superior e inferior de 7,788MJ/m³ y 6,586MJ/m³ respectivamente.

Palabras clave: <SYNGAS> <BIOMASA FORESTAL> <CASCARILLA DE ARROZ> <GASIFICACIÓN> <SOSTENIBILIDAD AMBIENTAL> <CROMATOGRAFÍA>.

1068-DBRA-UPT-2023



SUMMARY

This research suggests the improvement of the Syngas by taking advantage of the Forest Biomass (Sawdust) and the Rice Husk (CA). It was obtained using the DOWDRAFT type gasifier of the Mechanics Faculty. In addition, it is an environmental sustainability impact for the Polytechnic community that contributes to economic development, in which the mixtures of biomass are analyzed to obtain high-efficiency Syngas. It was achieved with the support of the team of teachers and students of the Industrial Maintenance career through direct observation and scheduled meetings with the strategy of producing the Syngas of productivity. During the Syngas characterization proposal, the objective was to study and analyze the state of the art on a mixture of (BF) and (CA). Combinations in different percentages of two different biomasses of the following 75% (Sawdust)/25% (Rice Husk), 50% (Sawdust)/50% (Rice Husk), and 25% (Sawdust)/75% (rice husk). As a result of the activities proposed, the development of the characterization mainly of the Syngas was evidenced. One of the interests that existed is academic and the use of biomass as a renewable energy source. With the production of the Syngas of the different mixtures, it was possible to visualize the quality of the Syngas, thus achieving energy efficiently and cleanly for the environment. With the analyses acquired from the Syngas samples' chromatography laboratory, it was possible to determine the quality and interpretation of the calorific value; the Syngas with the best characteristics is the first combination since it had a high percentage of moles of Hydrogen and its upper and lower calorific value of 7,788MJ/m³ and 6,586MJ/m³ respectively.

Keywords: <SYNGAS> <FOREST BIOMASS> <RICE HUSK> <GASIFICATION>
<ENVIRONMENTAL SUSTAINABILITY> <CHROMATOGRAPHY>.



Lic. Sandra Leticia Guijarro Paguay

C.I.: 0603366113

INTRODUCCIÓN

La presente investigación se enfoca en la caracterización del Syngas obtenido a partir de la Biomasa Forestal (BF) y Cascarilla de Arroz (CA), en el gasificador tipo DOWDRAFT de la Facultad de Mecánica, la caracterización es el resultado obtenido de los análisis realizados mediante gasificación. Las características principales de la caracterización es la producción de Syngas de la mezcla de las diferentes biomásas (Aserrín y Cascarilla de Arroz) en diferentes porcentajes. Para identificar la calidad del Syngas es indispensable mencionar las condiciones en la que se encuentran los residuos al momento de depositarlos en el gasificador. La investigación se realizó con el propósito de conocer la calidad del Syngas al momento de gasificar mediante la combinación de BF y CA. Esto permitió identificar la factibilidad de la combinación de mezcla en diferentes porcentajes entre dos biomásas diferentes, también fue de interés académico por lo que es una línea de investigación de energías renovables y Protección Ambiental. Durante la investigación de campo uno de los obstáculos fue la obtención de la materia prima (Cascarilla de Arroz), para la ejecución de la gasificación. Se realizó la búsqueda bibliográfica sobre procesos de gasificación de biomasa del Aserrín y de la Cascarilla de Arroz (CA), de esta manera se estableció el porcentaje de la CA en el Aserrín para la obtención del Syngas. Para el proceso de gasificación se utilizó como agente gasificante al aire, porque esto es de fácil acceso, es ilimitado, no tiene costo y es amigable con el medio ambiente. Para la determinación de la calidad del Syngas depende de varios factores como; la materia prima a utilizar, el agente gasificante, el tipo de gasificador, el reactor y el sistema de acondicionamiento o la limpieza del Syngas obtenido en el proceso de gasificación. Los componentes que conforman el Syngas son los siguientes; el Hidrógeno, Oxígeno, Nitrógeno, Monóxido de Carbono, Metano, Dióxido de Carbono y Agua. El Syngas se produce mediante una combinación de reacciones exotérmica (libera el calor) y la endotérmica (consume el calor). Para obtener el Syngas con las mejores características al momento de realizar la gasificación la temperatura debe ser mayor a los 500 °C, a más alta es la temperatura mejor combustión abra en la gasificación. Con la búsqueda bibliográfica sobre los procesos de gasificación de la Biomasa Forestal y la Cascarilla de Arroz para que el Syngas producido sea utilizado debe tener un poder calorífico (superior e inferior) mayor a 4MJ/m³. La combinación de mezcla entre la Biomasa Forestal y la Cascarilla de Arroz fue de 75% (Aserrín)/25% (Cascarilla de Arroz), 50% (Aserrín)/50% (Cascarilla de Arroz) y 25% (Aserrín)/75% (Cascarilla de Arroz). La humedad de las biomásas utilizadas en la gasificación fue inferior al 10%.

CAPÍTULO I

1. PROBLEMA DE INVESTIGACIÓN

1.1. Planteamiento del Problema

El Syngas es muy importante en la actualidad, porque ayuda a reducir las emisiones de gases de efecto invernadero (calentamiento global). Con la producción del Syngas se consigue el ahorro en el uso de energía convencional, combustibles y entre otros.

En el área térmica de la Facultad de Mecánica de la ESPOCH existe un gasificador tipo DOWDRAFT que produce Syngas, mediante varias mezclas que se realizan utilizando Biomasa Forestal (Aserrín) y la Cascarilla de Arroz. El problema que se presenta es: ¿Cuáles son los porcentajes adecuados de mezcla entre Biomasa Forestal y la Cascarilla de Arroz para obtener Syngas con las mejores características?

1.2. Limitaciones y delimitaciones

1.2.1. *Limitaciones*

Los trabajos que se han realizado en la institución, los procesos son empíricos, para recabar la información para realizar la investigación se ha tenido que realizar las revisiones bibliográficas.

La obtención de la materia prima (Cascarilla de Arroz), no favorece ya que se debe transportar de otra provincia o cantón.

El envío de las muestras al laboratorio se demoran en la entrega de los resultados y esto dificulta el avance de la investigación de la caracterización del Syngas.

1.2.2. *Delimitaciones*

Se llevará a cabo el análisis de caracterización de Syngas mediante la combinación de la Biomasa Forestal (Aserrín) y la Cascarilla de Arroz (CA) en la Escuela Superior Politécnica de Chimborazo.

La investigación se desarrolla en el Cantón Riobamba.

Espacio geográfico:

Lugar: área térmica de la Facultad de mecánica

Institución: ESPOCH.

Periodo de tiempo en el que se realizó la investigación: El periodo para el desarrollo de la Investigación es de 6 meses, desde el estudio, la viabilidad técnica y la viabilidad económica financiera del estudio.



Ilustración 1-1: Ubicación Geográfica del gasificador

Fuente: Google Maps, 2023

1.3. Problema General de Investigación

La dificultad de adquirir la Cascarilla de Arroz en gran volumen en el cantón Riobamba.

1.4. Problemas específicos de investigación

Hallar investigaciones actuales sobre la caracterización para la obtención del Syngas.

Buscar el porcentaje de mezcla adecuado para generar Syngas.

Realizar los análisis en laboratorios de otras universidades fuera de la ciudad.

1.5. Objetivos

1.5.1. *Objetivo General*

Caracterizar el Syngas obtenido a partir de la Biomasa Forestal y la Cascarilla de Arroz, en el gasificador tipo DOWDRAFT de la Facultad de Mecánica.

1.5.2. *Objetivos Específicos*

Realizar la búsqueda bibliográfica sobre el estado del arte de los procesos de gasificación de Biomasa Forestal y la Cascarilla de Arroz.

Establecer el porcentaje de la Cascarilla de Arroz en la Biomasa Forestal para la obtención del Syngas del gasificador tipo DOWDRAFT de la Facultad de Mecánica.

Caracterizar el Syngas obtenido en el proceso de gasificación al mezclar la Biomasa Forestal con la Cascarilla de Arroz.

1.6. Justificación

1.6.1. *Justificación Teórica*

Este proyecto de investigación se desarrolló con el propósito de contribuir al conocimiento existente sobre el uso de la tecnología para producir Syngas mediante el proceso de gasificación con la mezcla del Aserrín y CA, estudio que propone un uso eficiente de la biomasa existente en el Ecuador.

Por lo que es desechado un alto porcentaje de Aserrín y la CA sin dar otro uso, proponiendo así nuevos métodos para la generación de Syngas, de esta manera crear Syngas para el uso de la institución, reduciendo el Impacto Ambiental y creando responsabilidad social, demostrado en la correlación del estudio propuesto mediante el método investigativo.

El proyecto de investigación tiene como objetivo determinar los porcentajes adecuados para obtener el Syngas a partir de la mezcla de la BF con la CA de esta manera conseguir la caracterización del Syngas.

1.6.2. *Justificación Metodológica*

Con la selección, la viabilidad financiera y la factibilidad del proyecto de investigación desarrollado, un sistema de gasificación que combina el Aserrín con la Cascarilla de Arroz para producir el Syngas para ESPOCH, proporciona al conocimiento existente una mayor base teórica para futuras investigaciones destinadas a contribuir a la Sostenibilidad Ambiental y producir una mejor calidad de vida. El estudio se basa en el coeficiente de determinación positivo demostrado por la bondad de ajuste favorable al mayor nivel de factibilidad de la propuesta presentada en este estudio y una vez demostrada la validez de la hipótesis.

La estrategia de la investigación metodológica es la verificación de la caracterización del Syngas a través de la combinación de la Biomasa Forestal (Aserrín) y la Cascarilla de Arroz, con diferentes porcentajes de BF y CA para la obtención del Syngas ya que nos lleva a una forma de ahorrar y cuidar el ambiente.

1.6.3. *Justificación Práctica*

La justificación práctica para el estudio es la factibilidad y viabilidad económica financiera del sistema de gasificación mediante la biomasa producto del Aserrín y la Cascarilla de Arroz en la Facultad de Mecánica de la ESPOCH.

La investigación se desarrolla con la necesidad de encontrar alternativas para la producción de gas de síntesis sin impacto y consecuencias sobre el medio ambiente. Además, a través de la propuesta sustentada en la presente investigación, el sistema de gasificación permitirá una rentabilidad favorable para la institución encargada del proceso y el bienestar del medio ambiente para el planeta, generando con ello la calidad de vida de los seres vivos.

Esta investigación se realiza porque existe la necesidad de conocer la calidad del Syngas que se produce al mezclar la Biomasa Forestal con la Cascarilla de Arroz, con el uso de búsqueda bibliográfica de procesos de gasificación de este.

1.7. Hipótesis

La mezcla de Biomasa Forestal con la Cascarilla de Arroz mejora la calidad del gas producido en el gasificador.

CAPÍTULO II

2. MARCO TEÓRICO

2.1. Antecedentes de proyecto de investigación

En el estudio de (Fernández, 2019, p.26) menciona que la Cascarilla de Arroz tiene las propiedades necesarias para su aprovechamiento en la producción de energía en el proceso de gasificación gracias al bajo contenido en N_2 (<0,6%), Cl (<0,1%) y S (<0,2%) y alto contenido en componentes volátiles; además en 2012 se ha generado 599800 toneladas de la Cascarilla de Arroz, equivalentes a unas 189400 toneladas equivalentes de petróleo (TEP) de energía disponible, y los costos del combustible son casi nulo.

En la investigación de Osorio se señala que existe mucho interés por parte de la comunidad científica en el uso de la Cascarilla de Arroz como combustible debido a la necesidad de un combustible alternativo para combustibles fósiles que permita diversificar la canasta energética y sea económicamente sostenible. Además, se dispone de informaciones importantes a partir de los experimentos de combustión con la Cascarilla de Arroz, que permite determinar las propiedades energéticas de esta biomasa y su capacidad para producir energía (Osorio, 2019, p.26).

Según los autores (Galindo et al., 2017, pp.2-3), el gas de síntesis producido contiene cantidades significativas de nitrógeno, monóxido de carbono, hidrógeno, dióxido de carbono, etc. Además, contienen otras impurezas que se encuentran comúnmente en el gas de síntesis sin procesar como; compuestos nitrogenados, sulfurados, halogenados, partículas, alquitranes, metales pesados, sales de metales alcalinos. También menciona que en el proceso de gasificación la Cascarilla de Arroz se consume 1600 kg/h y se produce 3200Nm³/h de gas de síntesis con un PC poder calorífico de 5,12 MJ/m³.

(Torres et al., 2018, pp.6-7) nos dice que la composición de diferentes compuestos en el gas de síntesis es importante al estudiar la eficiencia del combustible de biomasa en el proceso de gasificación el informe de valores de las composiciones se puede generar de dos maneras: sobre una base limpia y seca, sin la composición de alquitrán, O₂ o H₂O; o sobre una base limpio y húmedo sin la presencia de alquitrán y oxígeno, pero con agua. Ambos fueron reportaron en base libre de oxígeno, ya que la línea de muestreo de gas de síntesis instalada estaba sellada, pero la entrada de

aire era inevitable. Para los análisis los componentes más importantes es el hidrógeno y monóxido de carbono (o los compuestos que se mezclan se la conoce como gas de síntesis, Syngas, gas producto).

Muñoz describe que el agente oxidante para la producción de gas de síntesis puede ser aire, monóxido de carbono, vapor de agua, oxígeno puro y sus mezclas, este es el principal parámetro que afecta a la composición del Syngas producido. El Syngas se produce a partir de O_2 , aunque a partir de ahora, el gas que se obtiene del proceso de gasificación se llama gas de síntesis o Syngas, independientemente de que se produzca con vapor, oxígeno o aire (Muñoz, 2017, p.1).

(Carvajal et al., 2018, p.2) elaboraron una propuesta para determinar la caracterización de poder del calor del gas, a través de la gasificación tipo DOWNDRAFT. Esta investigación fue ejecutada con el fin de descubrir el mejor proceso para de esta manera poder aprovechar la biomasa que se logra obtener a través del proceso del cacao CCN51. En la presente actividad realizaron estudios de algunas variables, tales como; el porcentaje de humedad, el tiempo de retención en el proceso de gasificación, el kilogramo de biomasa en la tolva durante la gasificación termoquímica y la relación carbono-nitrógeno.

El trabajo de Sancho se enfoca en la determinación de las características del proceso de combustión del gas obtenido mediante la gasificación de diferentes biomásas, la misma que se realizó mediante la bomba de combustión cilíndrica. Con el fin de descubrir el comportamiento del gas, este investigador ha elaborado algunos ensayos en condiciones estequiométricas con la variación en las medidas del ingreso de temperatura y presión (Sancho, 2020, p.3).

La investigación realizada por Orozco está enfocada en la cuantificación y localización de la Biomasa Forestal que se puede obtener del sector maderero del cantón Riobamba, con el fin de establecer el valor energético que representa en el entorno local y que estas puedan ser convertidos en combustible gaseoso a través de la gasificación DOWNDRAFT. Esta actividad se llevó a cabo con el uso del equipo de gasificación de la ESPOCH y en este proceso describió los parámetros reales de gasificación y características del gas, y de esta manera logró establecer los valores técnicos y económicos generados para el uso eléctrico o térmico. Además, especificó la eficiencia en frío del equipo de gasificación con las mejoras efectuadas y su calidad del gas. Por lo cual, detalló que el precio de generación térmico en renovación al GLP es favorable si se relaciona con el costo internacional, tanto que para fines eléctricos el valor de kWh es aún más costoso que el precio de venta señalado por el CONELEC (Orozco, 2017, p.17).

Según el autor Morice menciona que cuando la biomasa es quemada con altas temperaturas lo que se libera es solamente el dióxido de carbono que absorbió la planta durante los últimos años de su vida; siendo esto el resultado muy importante, la biomasa está estructurada por una mezcla de materiales orgánicos, entre ellos el carbohidrato, grasas y proteínas, también contiene pequeñas cantidades de minerales como sodio, fósforo, calcio y hierro. La biomasa cuenta con principales componentes tales como; extractivos, fibra o componentes de la pared celular y ceniza (Morice, 2017, p.28).

2.2. Biomasa

2.2.1. *Concepto de la biomasa*

La biomasa es un material orgánico y biodegradable de cualquier procedencia, la cual puede ser utilizada como materia prima para producir energía. La Directiva del Parlamento Europeo define a la biomasa como “la fracción biodegradable de productos, desechos y residuos de origen biológico” (Morice, 2017, p.27).

También se puede decir que la biomasa es una sustancia de organismos muertos y vivos que se encuentran en la superficie terrestre. Los organismos no solo se circunscriben a las plantas, sino también a los animales, incluso en los microorganismos. Para hacer uso de la biomasa es de suma importancia saber de qué sustancias está conformada (van et al., 2020, p.13).

2.2.2. *Componentes de la biomasa*

La composición de la biomasa determina su potencial para su aprovechamiento energético, por lo que será muy importante caracterizar fisicoquímicamente para que pueda ser utilizada en los procesos de la forma más ventajosa. En la Ilustración 1-2 se puede ver los componentes de la biomasa (Morice, 2017, p.28).

Por lo tanto, la comprensión estructural de cada uno de estos componentes es esencial, ya que estas propiedades permiten un análisis de los principales efectos sobre el sistema de gasificación, abarcando desde la selección de la biomasa para la caracterización final del Syngas resultante (Morice, 2017, p.29).

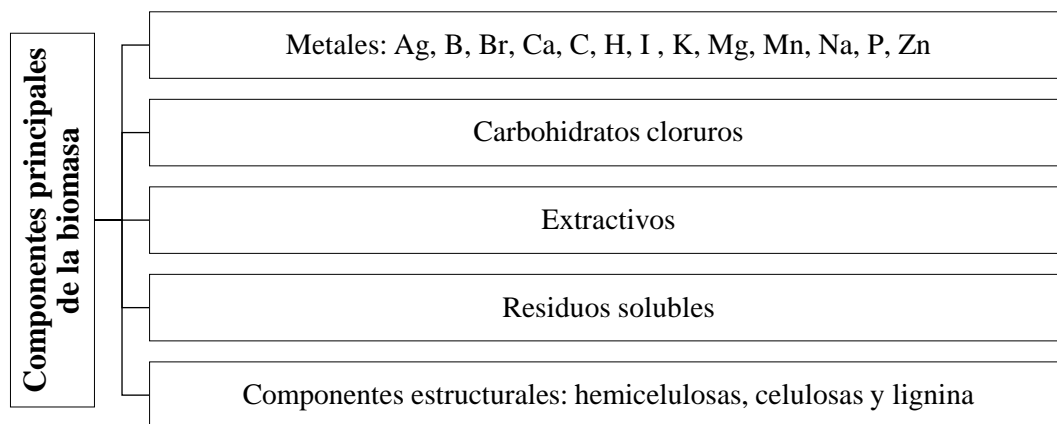


Ilustración 1-2: Componentes de la biomasa

Fuente: (Morice, 2017, p.29)

Realizado por: Guasco, M.; Alvarado, W. 2023

2.2.3. Clasificación de la biomasa

La biomasa se divide en energética, natural, residual y en cultivos. Esto se detalla en la Ilustración 2-2.

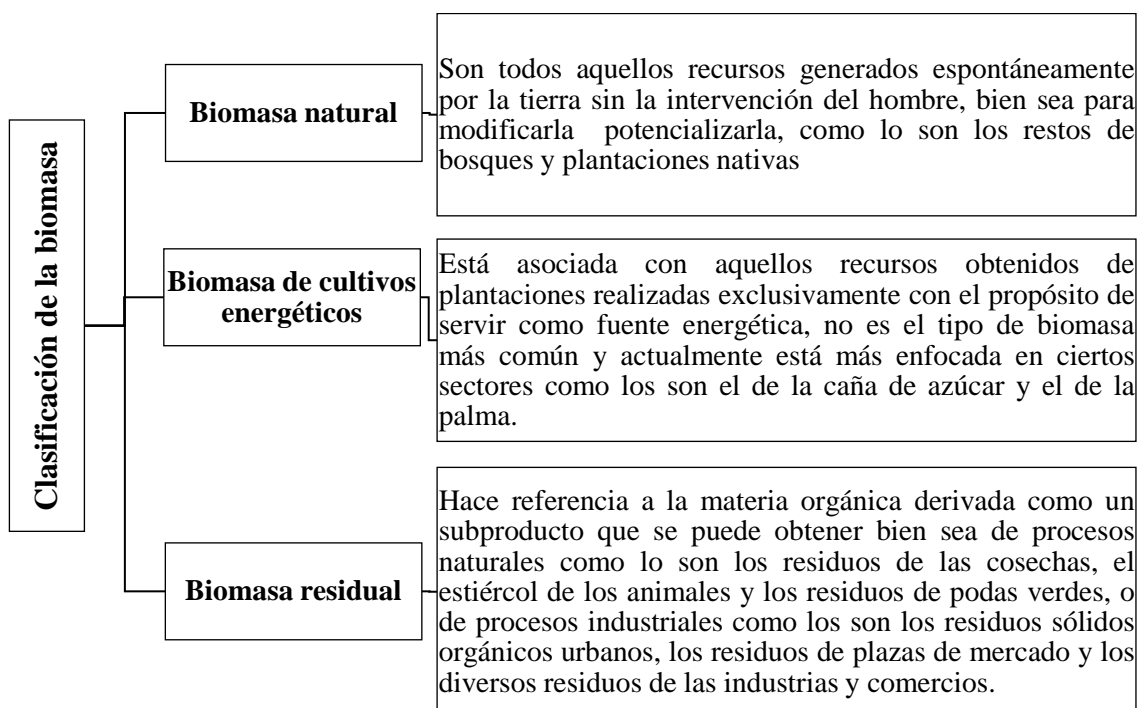


Ilustración 2-2: Clasificación de la biomasa

Fuente: (Ramírez y Barrera, 2017, pp.16-17)

Realizado por: Guasco, M.; Alvarado, W. 2023

La biomasa de tipo residual se divide en residuos forestales y residuos agrícolas, porque son de productos de sectores específicos e industrias.

Residuos forestales: son residuos que se generan en los bosques o el proceso primario de la madera, es decir, cortezas, ramas, raíces y Aserrín. En la antigüedad la principal fuente de energía de la civilización eran los residuos forestales; en la actualidad estos materiales no son aprovechados por la diferencia de costos con los derivados del petróleo (Aguilar, 2019, p.17).

Residuos agrícolas: son plantas o porción de esta que se obtiene en un cultivo, las mismas que son generados en el momento de podar dichos cultivos, en esta se genera un aproximado de 60% de residuos, las mismas que son dejados en el campo para que sirva como nutrientes para el suelo, estos no son recolectados por lo que desconocen el uso que se puede dar a estos residuos, por lo que es muy importante planificar sobre los residuos en el momento de podar los cultivos (Aguilar, 2019, p.17).

La energía proveniente de la biomasa de los residuos agrícolas es permisible, por lo que su disponibilidad concuerda con la necesidad alimentaria de la población mundial, también cabe recalcar que el uso de esta biomasa no solo aumentará la resiliencia de los sistemas del sector agrícola y forestal, sino que también reducirá la dependencia de la energía fósil y reducirá las emisiones de gases de efecto invernadero. Esta energía de biomasa luego se procesa en Syngas que se puede utilizar como combustible para vehículos de motor y centrales eléctricas (Dyah et al., 2020, p.1).

2.2.4. Caracterización químico y físico de la biomasa

Para determinar las propiedades físicas y químicas de las biomásas, se deben realizar varios estudios, para de esta manera poder establecer la capacidad para algunos tipos de procesos a realizar. Además, es muy importante conocer la composición de la biomasa con el fin de conseguir una optimización de beneficios (Sancho, 2020, p.29; Morice, 2017, p.39).

2.2.5. Componentes físicas de biomasa

La biomasa cuenta con importantes propiedades físicas, las más importantes son: la densidad real y la densidad aparente. Estas propiedades se rigen en la norma internacional GOST 2851-45 con el objetivo de plantear metodologías reproducibles. En caso de que la biomasa utilizada cuente

con los datos de porosidad, se deberá calcular de forma experimental (Pérez et al., 2022, p.9; Morice, 2017, p.40).

2.2.6. Componentes químicas de biomasa

Las propiedades químicas de la biomasa están conformadas por elementos tales como carbono, nitrógeno, hidrógeno, oxígeno y azufre; y por los siguientes componentes moleculares es la lignina, celulosa y hemicelulosa. El contenido de cenizas (elementos inorgánicos) y su comportamiento también suelen ser de interés. Por otra parte, el análisis más sencillo de la biomasa como combustible consiste en determinar su análisis inmediato (Nogués; et al., 2017, p.43).

2.2.7. Componentes termodinámicas de biomasa

Las propiedades termodinámicas de la biomasa son calor específico, conductividad térmica y calor de formación. En la Tabla 1-2 a continuación explica los efectos de cada uno de ellos (Morice, 2017, p.40-42)

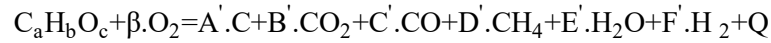
Tabla 1-2: Propiedades termodinámicas

Propiedades	Implicaciones	Unidades
Calor de formación	También se le conoce como entalpía de formación, y corresponde al cambio de entalpía cuando 1 mol del componente es formado bajo condiciones estándar (25°C, 1 atm) a partir de sus elementos constitutivos su estado estándar. Aquellas especies que son estables en su estado elemental, como por ejemplo el oxígeno o el nitrógeno, por definición se les asigna un calor de formación de cero.	kJ/mol
Calor de reacción	El calor de reacción está asociado con la cantidad de calor liberada o absorbida en una reacción química en la que no existe cambio de temperatura. Este cálculo se realiza a partir de los calores de formación de las especies involucradas en la reacción y sus relaciones molares de acuerdo con la estequiometría de la reacción. Por lo general se calcula en condiciones estándar de temperatura (25°C) debido a que los calores de formación suelen estar dados bajo estas condiciones.	kJ/mol
Conductividad térmica	Las partículas de la biomasa están sujetas a transferencia de calor por conducción a través de sus fibras, lo cual influye en su comportamiento en procesos como pirólisis o gasificación. Este parámetro depende de la densidad y la humedad. Es importante mencionar que la biomasa es un material anisotrópico, en el que la conductividad térmica será diferente a lo largo de sus fibras. Existen una serie de correlaciones, la mayoría para muestras de madera, que realizan una aproximación matemática al cálculo de este parámetro, tomando como punto de partida datos de humedad, dimensión de las fibras y constantes referidas a la contribución de la radiación en la conductividad.	W/mK
Calor específico	Es una indicación de la capacidad calorífica de una sustancia o material. Depende de parámetros como la humedad y la temperatura, sin embargo, cuando se trata de biomasa densas o maderables la dependencia es menor. Existen correlaciones matemáticas desarrolladas principalmente para biomasa de madera que aproximan este parámetro para: madera seca, madera húmeda y cenizas de madera.	J/kg°C

Fuente: (Morice, 2017, pp.40-42)

Realizado por: Guasco, M.; Alvarado, W. 2023

“Según Morice para un caso específico de un proceso de gasificación global, cuando en presencia de β moles de oxígeno se gasifica 1 mol de biomasa $C_aH_bO_c$, la siguiente Ecuación 1-2 estaría dada por” (Morice, 2017, p.42).



Ecuación 1-2: Proceso global de gasificación

Para el cálculo del calor de reacción de la biomasa a una temperatura T_2 , se debe utilizar la siguiente aproximación dada en la Ecuación 2-2:

$$\Delta H_{rxn, T_2} = \Delta H_{rxn, 298K} + \left[\left(\int_{298K}^{T_2} A' \cdot C_{pj} \, dT \right)_{\text{Productos}} - \left(\int_{298K}^{T_2} \beta \cdot C_{pj} \, dT \right)_{\text{Reactivos}} \right]$$

Ecuación 2-2: Cálculo del calor de reacción de la biomasa a una temperatura T_2

Donde:

A' = Hace referencia a cada uno de los coeficientes estequiométricos de los productos.

$\Delta H_{rxn, 298 K}$ = Se calcula a partir de los calores de formación de los reactivos y de los productos.

2.2.8. *Análisis para la determinación de la biomasa*

Para determinar los componentes y fracciones de la biomasa existen varios análisis sencillos las mismas que se puede aplicar a todo tipo de biomasa sólida, siendo la metodología más simple el análisis próximo, en esta se incluye la determinación de humedad, componentes volátiles, carbón fijo y contenido de cenizas; también una de las metodologías más utilizadas en la determinación de características de la biomasa es el análisis último o elemental; ambas siendo regulada por la norma internacional GOST 2851-45 que describen exhaustivamente las diferentes metodologías a seguir con el fin de que los resultados sean reproducibles (Morice, 2017, p.43; Pérez et al., 2022, p.9).

2.2.8.1. *La humedad*

Morice indica que la humedad generalmente se define exponiendo la muestra de biomasa a una atmósfera inerte a 378 K (alrededor de 105 °C) y un ambiente de presión controlada hasta que no haya más fluctuaciones en la masa de la muestra. La diferencia de peso entre la muestra fresca y seca determina el contenido de humedad del combustible (Morice, 2017, p.43).

2.2.8.2. *Los componentes volátiles*

La biomasa cuenta componentes volátiles que están formados por los gases condensables y no condensables que es liberada al ser calentada. La cantidad para obtener dependerá de la temperatura y de la tasa de calentamiento, generalmente se determina sometiendo la muestra a una atmósfera de 1300 K (1027 °C), hasta que no exista variación en la masa de la muestra (Morice, 2017, p.43).

2.2.8.3. *La ceniza*

Es el material residual orgánico que se genera una vez que el combustible está completamente quemado. De acuerdo con lo mencionado por Morice, los principales componentes son aluminio, hierro y calcio, también cuenta con cantidades pequeñas de magnesio, titanio, sodio y potasio. Morice Montoya también menciona que la ceniza no forma parte de los biomas utilizada inicialmente, por lo que esto son productos de oxidación de muchas de las reacciones ocurridas durante la combustión. Aunque el contenido de ceniza en la biomasa es pequeño, juega un rol determinante en su utilización como biomasa, sobre todo si cuenta con presencia de metales alcalinos o de cloro (Morice, 2017, p.44).

2.2.8.4. *El carbono fijo (CF)*

Esto representa al carbono sólido existente en la biomasa, la misma que permanece en la biomasa durante el proceso de pirólisis después de la volatilización de los componentes. Incluye el carbono elemental en el combustible original más cualquier residuo carbonoso que haya sido formado durante el calentamiento. El carbono fijo se determina por medio de la siguiente Ecuación 3-2 (Morice, 2017, p.44).

$$\% \text{ CF} = 1 - \% \text{ humedad} - \% \text{ componentes volátiles} - \% \text{ ceniza}$$

Ecuación 3-2: Carbono fijo

2.2.8.5. *El análisis elemental*

La estructura y composición molecular de la biomasa implica la presencia de una amplia variedad de sustancias inorgánicas y orgánicas. La mayoría de estas sustancias son de origen orgánico y estos se encuentran en forma de cadenas de carbohidratos (Morice, 2017, p.45).

Como indica Morice el análisis elemental consiste en caracterizar los cinco elementos en las biomásas, en algunos casos se incluye el cloro. Este proceso se realiza en base libre de cenizas debido a que puede generar tanto estés como la humedad en el contenido de otras especies químicas en la materia. El contenido de carbono, los altos contenidos de carbono son característicos de algunas cortezas de madera. El contenido de hidrógeno posiblemente está asociado a hidrocarburos y carbohidratos. En la Tabla 2-2 se puede observar la caracterización de cinco elementos comunes (Morice, 2017, p.44).

Tabla 2-2: Caracterización de cinco elementos comunes en las biomásas

Contenido	En porcentaje
Carbono	42 % y 71 %
Oxígeno	16 % y 49 %
Hidrógeno	3 % y 11 %.
Nitrógeno	0,1 % y 12 %

Fuente: (Morice, 2017, p.5)

Realizado por: Guasco, M.; Alvarado, W. 2023

2.2.9. *Procesos para la obtención de biomasa*

Para transformar la biomasa de diferentes tipos provenientes de residuo vegetal en energía renovable, es necesario el uso de distintos tipos de tecnología, ya que la biomasa debe ser sometido a diferentes procesos para que su potencial calorífico sea aprovechado al máximo, la energía de la biomasa está acumulada principalmente en forma de carbono e hidrógeno, obteniendo combustibles sólidos, líquidos, gaseosos o directamente en electricidad (García y León, 2018, p.30).

Existen diferentes formas de transformar la biomasa en energía, como se puede observar en la Ilustración 3-2.

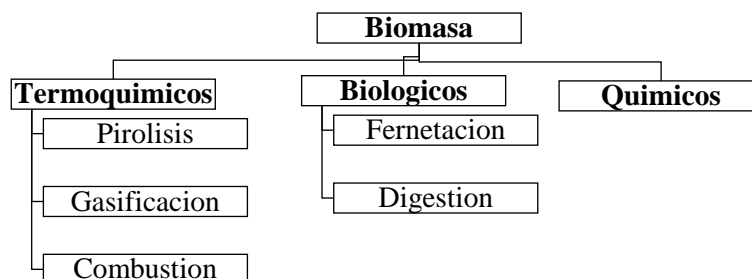


Ilustración 3-2: Transformaciones de la biomasa

Fuente: (García y León, 2018, p.31)

Realizado por: Guasco, M.; Alvarado, W. 2023

2.2.10. Producción de energía mediante la biomasa seca

“Con el uso de las tecnologías avanzadas, la biomasa se puede convertir en forma de sólido, líquido o gaseoso, y de esta manera transformar en un suministro de energía eficiente y limpio para producir combustible, calor o energía eléctrica” (Aguilar, 2019, p.21).

En este proceso, para determinar la capacidad y la eficiencia de la combustión es fundamental el contenido de ceniza, de la misma forma es fundamental calcular la humedad, ya que esto permite a indicar la condición óptima del tiempo que puede mantener el combustible en ambiente desfavorable. Con estas características podemos determinar la calidad del Syngas. Con alto porcentaje de humedad en la biomasa, el gasificador se puede apagar, mientras que una biomasa con bajo porcentaje de humedad permite una combustión acelerada (KZ et al., 2018, p.4).

La biomasa por contar con alta concentración de humedad presenta una densidad energética muy baja a comparación de los combustibles fósiles, es por ello por lo que es muy útil hacer uso como materia prima para producir el Syngas. También, una temperatura alta permite una combustión más completa (Aguilar, 2019, p.22).

2.2.11. Ventajas y desventajas de biomasa

2.2.11.1. Ventajas

- Balance para el dióxido de carbono resultante de la combustión es neutro.
- Energía renovable con disminución de la dependencia energética
- Permite valorizar residuos contaminantes
- Bajo o medio contenido de cenizas

2.2.11.2. Desventajas

- Baja densidad en superficie de terreno (alto coste de transporte)
- Alto contenido de humedad (bajo poder calorífico)
- Necesidad de pretratamiento para su adecuación
- Producción estacional y con variabilidad del precio
- Contenido en metales alcalinos corrosivos

La biomasa que compete a este proyecto de investigación es la biomasa de tipo lignocelulósica, que a grandes rasgos hace referencia al contenido fibroso de las plantas, como Aserrín y cáscaras de arroz.

2.3. Características energéticas de las biomásas a utilizar en la gasificación

Saber las condiciones y las características energéticas de las biomásas es un aspecto esencial por tomar en cuenta para su utilización en el capítulo 3 y 4. El Aserrín representa alrededor del 15 % del volumen de la madera procesada, mientras que la cáscara de arroz representa un promedio del 20 % del peso del grano entero. La ceniza del Aserrín tiene un alto contenido de sílice, al igual que la cáscara de arroz; Requieren valor alimenticio, ya que es un material muy fibroso. La Tabla 3-2 a continuación muestra un resumen de los principales parámetros de biomasa utilizados en la gasificación (Hernández et al. 2022, pp.6-9).

Tabla 3-2: Condiciones y las características energéticas, de las biomásas

Parámetro	Aserrín de eucalipto		Cascarilla de Arroz	
Forma	Son partículas más o menos gruesas de forma variada e irregular.		Tiende a ser ovalada ya que toma la forma del grano de arroz.	
Aspecto	La superficie es rugosa. Su color depende de la especie maderera de la cual procede, usualmente blanco crema, amarillo o rojizo.		La superficie exterior es rugosa con crestitas y la superficie interior es lisa. Su color es beige.	
Tamaño	Su tamaño es distinto, teniendo mayormente partículas menores a 3 mm.		Es variado por las numerosas especies de arroz, y su dimensión fluctúa, en longitud de 4 a 14 mm, en ancho 2 a 4 mm, y un espesor promedio de 50 µm.	
Densidad aparente	250 kg/m ³		130 kg/m ³	
Análisis inmediato (aproximado)bh	Humedad	23%	Humedad	9,95%
	Materias volátiles	56%	Materias volátiles	55,54%
	Carbono fijo	20,35%	Carbono fijo	14,99%
	Ceniza	0,65%	Ceniza	19,52%
Análisis último (elemental)bh	Carbono	29,59%	Carbono	34,61%
	Hidrógeno	4,14%	Hidrógeno	3,79%
	Oxígeno	42,50%	Oxígeno:	31,63%
	Nitrógeno	0,12%	Nitrógeno	0,44%
			Azufre	0,06%
Poder calorífico (en base al análisis último)	PCIBH	10,031 MJ/kg	PCIBH	12,798 MJ/kg
	PCIBS	11,248 MJ/kg	PCIBS	13,497 MJ/kg
	PCSBS	16,837 MJ/kg	PCSBS	14,796 MJ/kg

Fuente: (Hernández et al. 2022, pp.6-9)

Realizado por: Guasco, M.; Alvarado, W. 2023

2.4. Aserrín

En las carpinterías, aserraderos u otros lugares donde procesan la madera para obtener cierto producto proveniente de esta materia prima, quedan grandes cantidades de aserrines, virutas, la misma que genera riesgos de incendio, contaminación del aire, en la actualidad estos desechos no están siendo aprovechados. Estos residuos se podrán gasificar y generar una cantidad de Syngas que se puede usar para calefacción, cocción o fuerza motriz, y todo con una materia prima que de otra manera se tiraría (Aguilera, 2017, p.17; Mejía y Peralta, 2019, p.43).



Ilustración 4-2: Aserrín

Realizado por: Guasco, M.; Alvarado, W. 2023

2.4.1. Composición química de Biomasa Forestal (Aserrín de eucalipto)

Las composiciones químicas del Aserrín utilizadas como materia prima, expresada en gramo por gramo de materia prima seca en porcentaje, como se muestra en la Tabla 4-2.

Tabla 4-2: Composición química del Aserrín

Componente	Porcentaje (% p/p)
Glucano	42-44
Lignina	27-29
Xilano	10-16
Extractivos	5-8
Grupos acetilos	3-4
Cenizas	0.4-0.8

Fuente: (Cebreiros et al., 2017, p.4)

Realizado por: Guasco, M.; Alvarado, W. 2023

2.5. El arroz

En el Ecuador, el arroz es uno de los productos más cultivados en la región costa, especialmente en la provincia del Guayas con 237.17 ha, seguido de Los Ríos con 107.27 ha y Manabí con una aportación de 17.74 ha. Este siendo el principal producto de consumo de los ecuatorianos (Mendieta, 2020, p.21).

El arroz es un cereal de primordial importancia para la alimentación humana, a la que se dedica el 95 % de la producción, siendo básico en la dieta de más de la mitad de la población mundial, especialmente en países subdesarrollados o en vías de desarrollo. Se trata de una planta herbácea monocotiledónea de ciclo vegetativo anual, en la que destacan los tallos (cilíndricos y huecos, con nudos y entrenudos), las hojas de lámina plana y angosta, unidas al tallo mediante vainas. El grano de arroz, descascarillado, constituye el aprovechamiento principal de la planta (Sánchez, 2017, p.61).

El proceso industrial del arroz genera grandes cantidades de residuos que no poseen una ruta de disposición ambientalmente sostenible, sin embargo, podría ser una fuente importante de carbono para tecnologías energéticas. En la actualidad, algunas empresas afrontan déficits energéticos, a pesar de que poseen abundantes recursos biológicos, esta realidad genera nuevas alternativas para dar un valor agregado a la materia prima, produciendo esa energía faltante a partir de biomasa, ofreciendo así autonomía energética en las industrias (Rojas, 2018, p.11).

2.5.1. La Cascarilla de Arroz

Es una capa muy dura que cubre el grano de arroz, y compone aproximadamente el 25% del volumen del grano de arroz que es procesado, esta cascarilla es considerada como un residuo debido a que este no es comestible, de igual manera, su biodegradación no es sencilla porque presenta un alto contenido en sílice y materia volátil (Sánchez, 2017, p.62).



Ilustración 5-2: Aspecto y forma de la Cascarilla de Arroz

Realizado por: Guasco, M.; Alvarado, W. 2023

La Cascarilla de Arroz tiene un color amarillo pálido, es de forma de canoa con una superficie rugosa. Su tamaño depende de la variedad obtenida, pero las dimensiones típicas suelen ser de 8-10 mm de largo y 1-2 mm de ancho. Dependiendo de su tamaño, pesa entre 2,5-4,8 mg. En cuanto a la densidad, la Ilustración 6-2 distingue tres tipos según los residuos agrícolas (Sánchez, 2017, p.63).

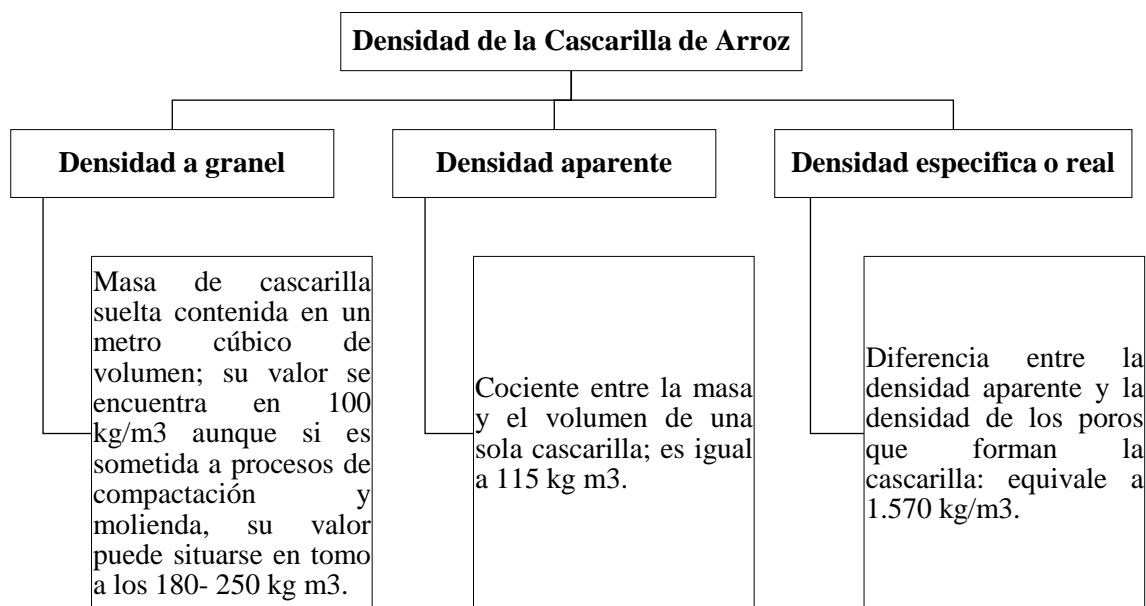


Ilustración 6-2: Densidades de la Cascarilla de Arroz

Fuente: (Sánchez, 2017, p.63)

Realizado por: Guasco, M.; Alvarado, W. 2023

La porosidad (es la relación entre el volumen de aire en la carcasa y el volumen de aire en los poros) es de alrededor del 92,7 % en volumen y la conductividad térmica es de 0,036 W/mK, que se puede utilizar en la fabricación de materiales aislantes (Sánchez, 2017, p.63).

La Cascarilla de Arroz es un desecho que no puede ser consumida, y a esto los agricultores no le dan otro uso, por lo que estas son quemadas o desechadas a la basura, la misma genera conflictos ambientales, este hecho surge por la descoordinación del uso que se puede dar a la Cascarilla de Arroz como biomasa para producir el Syngas. La biomasa es una fuente de energía renovable que es rica en contenido de carbono, por lo que es potencial para ser utilizada y procesada como combustible y otros materiales ecológicos, como los ladrillos. Los residuos agrícolas, especialmente la Cascarilla de Arroz, son un tipo de residuos producidos como resultado de las actividades humanas por lo que se pueden catalogar como una alternativa adecuada para la producción de bioenergía (Dyah et al., 2020, p.3).

2.5.2. *La estructura de la cascarilla*

La Cascarilla de Arroz está estructurada por un volumen poroso del 54%, cuenta con un coeficiente de conductividad térmica de 0.04 W/mK, además cuenta con comportamiento ignífugo, con alta estabilidad bioquímica y contiene alta concentración de silicio (90 al 97% SiO), es rica en componentes lignocelulosas (Mendieta, 2020, p.22).

Las propiedades generales de la Cascarilla de Arroz son una fuente de biomasa lignocelulosa, ya que se componen principalmente de celulosa, hemicelulosa y lignina. Estos tres compuestos producen biomasa lignocelulosa con bajos niveles de biodegradación debido a la estructura cristalina de lignina que rodea a la celulosa y la hemicelulosa. La estructura debe descomponerse para que el proceso de hidrólisis sea más rápido. (Dyah et al., 2020, p.3).

2.5.3. *Propiedades de la Cascarilla de Arroz*

2.5.3.1. *Propiedades físicas de la Cascarilla de Arroz*

La Cascarilla de Arroz es un residuo que se genera en el momento de obtener el arroz, los agricultores no dan el uso a este desecho. Tiene superficie rugosa, pesa entre 2.9 y 3.5 mg y es de forma de canoa. Sus dimensiones dependen de la variedad, generalmente son de 4 a 14 mm de largo, 50 μm de espesor y de 2 a 4 mm de ancho, posee un color pardo rojizo. Posee un peso específico bajo de 8.0 ton/m^3 que dificulta su transporte, densidad aparente sin compactar 0.11 g/cm^3 , densidad aparente compactada 0.14 g/cm^3 . En la Tabla 5-2 se detallan más propiedades físicas de la Cascarilla de Arroz (Mendieta, 2020, p.22).

Tabla 5-2: Propiedades físicas de la Cascarilla de Arroz

Parámetro	Valor	Unidad
Poder calórico	3281,6	kcal /kg
Capacidad de aireación	79,5	%
Porosidad	54,0	%
Humedad	10,0	%
Conductividad térmica	0,1	W/m. K

Fuente: (Demera y Romero 2018, p.29; Rojas 2018, p.28)

Realizado por. Guasco, M.; Alvarado, W. 2023

2.5.3.2. *Propiedad química de la Cascarilla de Arroz*

En la Tabla 6-2 se presentan las propiedades químicas de la Cascarilla de Arroz. La composición de silicio y oxígeno a temperaturas altas aumenta una capa difícil de romper. Para adquirir las propiedades químicas del combustible se debe realizar un análisis elemental. Esta técnica es basada en la completa y precisa oxidación de la muestra mediante una combustión con oxígeno puro a temperatura aproximada de 1000 °C, en el cual se obtiene diferentes tipos de productos de combustión como el H_2O , N_2 y CO_2 (Mendieta, 2020, p.23; Rojas, 2018, p.28).

Tabla 6-2: Propiedades químicas de la Cascarilla de Arroz

Propiedades de la Cascarilla de Arroz		
Componente	Valor	Unidad
Carbono	37,6-42,6	%
Hidrógeno	4,7-5,7	%
Azufre	≤ 0,2	%
Oxígeno	31,4-37,6	%
Nitrógeno	0,4-1,8	%

Fuente: (Rojas, 2018, p.29; Gutiérrez y Ochoa, 2019, p.28; Mendieta, 2020, p.23)

Realizado por. Guasco, M.; Alvarado, W. 2023

2.5.3.3. Propiedad termoquímica de la Cascarilla de Arroz

“Se compone la Cascarilla de Arroz por los siguientes: hidrógeno, nitrógeno, carbono, azufre, cloro y oxígeno. Los valores de cada una de ellas se describen en la Tabla 7-2” (Díaz, 2019, p.28).

Tabla 7-2: Propiedad termoquímica

Componente	Valor	Unidad
C	41,49	% Moles
O	38,51	% Moles
H	5,31	% Moles
N	0,84	% Moles
S	0,08	% Moles
Cl	0,11	% Moles

Fuente: (Díaz, 2019, p.28)

Realizado por: Guasco, M.; Alvarado, W. 2023

2.5.3.4. Propiedad bioquímica de la Cascarilla de Arroz

Tabla 8-2: Propiedades bioquímicas de la Cascarilla de Arroz

Componente	Valor	Unidad
Celulosa	25,9-35,5	%
Hemicelulosa	18,1-21,4	%
Lignina	18,2-24,6	%

Fuente: (Rojas, 2018, p.29)

Realizado por. Guasco, M.; Alvarado, W. 2023

“Se compone de tres polímeros la Cascarilla de Arroz: hemicelulosa, celulosa y lignina. El que se encuentra con mayor cantidad es uno de los componentes llamado celulosa; estos valores se describen en la siguiente Tabla 8-2” (Rojas, 2018, p.29).

2.6. Los procesos de conversiones

Existen tres procesos que permiten transformar estos tipos de biomasa en combustibles y son las siguientes:

- Sólidos
- líquidos
- gaseosos

Y estas tienen diferentes procesos como:

- Bioquímicos
- Fisicoquímicos
- Termoquímico

El de interés en este proyecto de investigación, es el proceso termoquímico.

2.7. poder calorífico de las biomásas a utilizar en la gasificación

Un poder calorífico es la cantidad de calor que se entrega en un kilogramo o a su vez un m³ de combustible al momento que se oxida de forma completa, en este caso puede ser superior o a su vez inferior. Hablando del superior, esto nos indica cuando el vapor que contiene los gases de combustión se ha condensado, en cambio en el inferior el vapor no se puede condensar (Hernández, 2018, p. 106).

2.7.1. Cálculo del poder calorífico

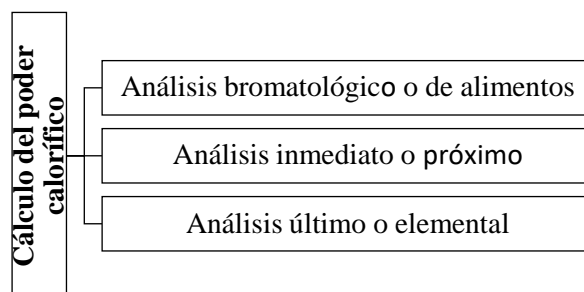


Ilustración 7-2: Cálculo del PC según los análisis

Fuente: (Hernández, 2018, p.106)

Realizado por: Guasco, M.; Alvarado, W. 2023

El poder calorífico cuando se cuenta con los equipos adecuados como la bomba calorimétrica se puede realizar el poder calorífico de una sustancia sólida, capaz de ser manejada como combustible y se logra calcular en base a los análisis que se observa en la siguiente Ilustración (Hernández, 2018, p.106).

2.7.1.1. Cálculo del poder calorífico mediante el análisis bromatológico

Para determinar este análisis se deben ver algunas características químicas de todas las muestras como es el porcentaje de las proteínas, la fibra, de grasas y de carbohidratos totales por la diferencia, a esto añade adicionalmente el porcentaje de la humedad y cenizas que se pueden determinar en el análisis aproximado. En la siguiente Tabla se visualizan los resultados de los análisis elaborados en el laboratorio (Hernández, 2018, p.107).

Tabla 9-2: Análisis bromatológico del Aserrín y de la Cascarilla de Arroz

PARÁMETRO	MUESTRA	
	Aserrín	Cascarilla
Carbohidratos totales (%)	89,08	68,93
Humedad (%)	9,10	7,8
Proteínas (%)	0,79	3,47
Ceniza (%)	0,51	19,22
Grasas (%)	0,52	0,58
Fibra (%)	61,66	29,64

Fuente: (Hernández, 2018, p.107)

Realizado por: Guasco, M.; Alvarado, W. 2023

“En base a lo que dice el DECAP (Departamento de Ciencias de los Alimentos y Biotecnología de la Escuela Politécnica Nacional), nos plantea que para calcular todos los carbohidratos totales se realiza la siguiente Ecuación 4-2” (Pullopaxi, 2019, p.107).

$$\text{Carbohidratos totales} = 100 - (\% \text{Humedad} + \% \text{Proteínas} + \% \text{Grasas} + \% \text{Cenizas})$$

Ecuación 4-2: Calculo los carbohidratos totales

Para el poder calorífico se calcula con la Ecuación 5-2.

$$\text{Poder calorífico} \left(\frac{\text{kcal}}{100\text{g}} \right) = A + B + C$$

Ecuación 5-2: Cálculo del poder calorífico mediante el análisis bromatológico

Donde:

A; (4 kcal) (% Carbohidratos totales)

B; (9 kcal) (% Grasas)

C;(4 kcal) (% Proteína)

Poder calorífico del Aserrín

$$\text{Poder calorífico} \left(\frac{\text{kcal}}{100\text{g}} \right) = (4)(89,08)(9)(0,52)(4)(0,79)$$

$$\text{Poder calorífico} = 364,16 \left(\frac{\text{kcal}}{100\text{g}} \right) \left(\frac{1000\text{g}}{1\text{kg}} \right)$$

$$\text{Poder calorífico} = 3641,6 \left(\frac{\text{kcal}}{\text{kg}} \right)$$

$$\text{PCS}_{\text{BS}} \approx 15,24 \frac{\text{MJ}}{\text{kg}}$$

Ecuación 6-2: Poder calorífico del Aserrín

Poder calorífico de la Cascarilla de Arroz

$$\text{Poder calorífico} \left(\frac{\text{kcal}}{100\text{g}} \right) = (4)(68,93)(9)(0,58)(4)(3,47)$$

$$\text{Poder calorífico} = 294,82 \left(\frac{\text{kcal}}{100\text{g}} \right) \left(\frac{1000\text{g}}{1\text{kg}} \right)$$

$$\text{Poder calorífico} = 2948,2 \left(\frac{\text{kcal}}{\text{kg}} \right)$$

$$\text{PCS}_{\text{BS}} \approx 12,34 \frac{\text{MJ}}{\text{kg}}$$

Ecuación 7-2: Poder calorífico de la Cascarilla de Arroz

2.7.1.2. El cálculo del PC por medio del análisis aproximado o inmediato

Para realizar este cálculo es necesario tener los datos de los análisis inmediatos de la biomasa. Se adquiere una ecuación que se correlaciona con el poder calorífico de varios materiales biomásicos con el contenido de los materiales que son carbono fijo y son volátiles, esto en base seca. La valoración del poder calorífico se realiza con la siguiente Ecuación 8-2 (Hernández, 2018, p.108).

$$PCS_{BS} \left(\frac{kJ}{kg} \right) = 356,3Cf + 75,5V$$

Ecuación 8-2: Cálculo del poder calorífico mediante el análisis inmediato o aproximado.

Donde:

Cf; porcentaje de Carbono fijo

V; porcentaje de Materia volátil

Para realizar la conversión del análisis elemental e inmediato del combustible en masa de trabajo a base de seca o húmeda, se empleó la Ecuación 9-2.

$$B_S = \left(\frac{100}{100 - W_{BH}} \right) B_H = K(B_H)$$

Ecuación 9-2: Conversión del análisis elemental e inmediato del combustible

Donde: BS; Elemento en base seca es en porcentaje

Tabla 10-2: El análisis inmediato del Aserrín y de la Cascarilla de Arroz.

Parámetro	Muestra	
	Aserrín	Cascarilla
Materia volátil (%)	99,04	71,36
Carbono fijo (%)	0,39	7,80

Fuente: (Hernández, 2018, p.108)

Realizado por: Guasco, M.; Alvarado, W. 2023

Poder calorífico del Aserrín

$$PCS_{BS} = 356,3(0,39) + 175,5(99,04) = 17520,48 \frac{kJ}{Kg}$$

Ecuación 10-2: Poder calorífico del Aserrín en base seca

Poder calorífico de la Cascarilla de Arroz

$$PCS_{BS} = 356,3(7,80) + 175,5(71,36) = 15302,82 \frac{kJ}{Kg}$$

Ecuación 11-2: Poder calorífico de la Cascarilla de Arroz en base seca

2.7.1.3. Cálculo del PC mediante análisis elemental o último

La valorización del poder calorífico de un combustible en cuanto al análisis elemental se puede desarrollar utilizando la Ecuación de Dulong. Con base en cálculos efectuados anteriormente, para la evaluación de poder calorífico (PCS), se utiliza la siguiente Ecuación 11-2, similar a lo que se ha obtenido mediante el análisis de retroceso y es exacta para agrícola y residuos forestales en base al manual técnico de gasificación de madera eucalipto en la siguiente Tabla se observan los parámetros de la Cascarilla de Arroz y Aserrín (Hernández, 2018, p.111).

Tabla 11-2: Los parámetros que contiene el Aserrín y la Cascarilla de Arroz

Parámetro	Muestra	
	Aserrín (%)	Cascarilla (%)
C-Carbono	58,99	39,07
O-Oxígeno	25,64	28,88
H-Hidrógeno	5,60	4,45
N-Nitrógeno	0,13	0,55
S-Azufre	<0,03	<0,03
W-Humedad	9,10	7,80
A-Ceniza	0,51	19,22

Fuente: (Hernández, 2018, p.111)

Realizado por: Guasco, M.; Alvarado, W. 2023

$$PCS_{BS} \left(\frac{kJ}{kg} \right) = 479,3 (C) 667,6 (H) 58,8 (O) 1207,7 (S) 8419,7$$

Ecuación 12-2: Poder calorífico superior de un combustible

Para realizar la evaluación del poder calorífico inferior de un combustible, en base seca se utiliza la Ecuación 13-2 de Dulong.

$$PCI_{BS} \left(\frac{kJ}{kg} \right) = 340,81 (C) 1214,17 \left(H \frac{O}{8} \right) + 92,95 (S)$$

Ecuación 13-2: Poder calorífico inferior de un combustible

Para realizar la evaluación del poder calorífico inferior de un combustible, en base húmeda se utiliza la Ecuación 14-2 de Mendeleyev.

$$PCI_{BS} \left(\frac{kJ}{kg} \right) = 339,13(C) 1256,04(H) 108,86(O) 25,12W$$

Ecuación 14-2: PCI en base húmeda

Tabla 12-2: El poder calorífico mediante un análisis último de Aserrín y de la CA.

Parámetro	Muestra	
	Aserrín (MJ/kg)	Cascarilla (MJ/kg)
PCI _{BH}	24,016	15,496
PCI _{BS}	25,623	15,850
PCS _{BS}	28,416	16,915

Fuente: (Hernández, 2018, p.111)

Realizado por: Guasco, M.; Alvarado, W. 2023

2.8. Gasificación

En el proceso de gasificación, esto se denomina también un proceso termoquímico con el cual la materia prima es la biomasa que es usado por una fase de transformación en un gas combustible y esto se conoce como Syngas. A este gas se lo conoce como gas pobre que tiene un bajo poder calorífico con los componentes de CH₄, CO₂, N₂, CO y H₂, además el vapor de agua y así entre otros componentes que se hallan en pequeñas cantidades (Márquez, 2017, p.32).



Ilustración 8-2: Gasificador

Realizado por: Guasco, M.; Alvarado, W. 2023

En la gasificación los combustibles no fósiles y fósiles se convierten en gas y los productos químicos para su uso que sea conveniente, para realizar esta reacción se requiere de un medio como el vapor de agua, oxígeno y aire o a su vez una mezcla de estos. El gas producto se designa generalmente gas de síntesis o Syngas. Para efectuar la gasificación del Syngas este oscila entre los 400 a 1200°C donde se forman las reacciones químicas mayores que una de combustión normal (Orozco, 2017, p.32).

Cuando se realiza una sustancia gasificante de aire, el bajo poder calorífico se lo conoce como gas pobre. El poder calorífico está asociada a la calidad de gas, la cuantía de alquitrán y material particulado presente en este; el gas puede ser aprovechado con fines energéticos para la producción de electricidad y calor con el empleo de motores de combustión interna y hornos, motores Stirling, microturbinas a gas, sistemas híbridos y células combustibles (Orozco, 2017, p.32).

Se encuentra diferentes etapas en la gasificación tanto en su proceso y en sus distintas condiciones de sus operaciones por ello, se describe cada uno de los procesos de etapas de gasificación de la biomasa, comienza desde el secado, pirólisis, oxidación hasta la reducción por la cual sale finalmente el gas producido con los componentes del gas pobre (Márquez, 2017, p.33).

En este proceso la combustión parcial se realiza a altas temperaturas y pequeñas cantidades de oxígeno o aire. Esto depende del entorno que se haga la gasificación, esto se produce un gas de síntesis esto se debe cuando se incluye un gas intermedio llamado Syngas, aire u oxígeno. El gas está compuesto por algunos elementos como hidrógeno, metano, y monóxido de carbono, y es utilizado en motores de combustión interna o procesos de combustión en la cual generan energía mecánica o eléctrica (Ramírez y Barrera, 2017, p.23).

En las siguientes Tablas 13-2 y 14-2 se observan algunos datos teóricos del Syngas producto de la gasificación. Al mirar los datos realizados en las Tablas, el que tiene mejores características es el Syngas que el de gas pobre, pero para fines energéticos es más conveniente utilizar este gas. La producción es factible pues la obtención del vapor de agua u oxígeno es costosa para que se pueda operar en una industria, también en el balance energético global la energía que se utiliza en la producción de gas de síntesis es más alto a lo que se aprovecha de este (Orozco, 2017, p.32).

Tabla 13-2: El poder calorífico de los productos de las gasificaciones.

Agente Gasificante	Nombre del Producto	Poder calorífico [MJ/m ³]
Aire	Gas pobre	4-7
Vapor de agua	Syngas	10-20
Oxígeno	Syngas	12-18

Fuente: (Orozco, 2017, p.33; Morice, 2017, p.63; Márquez, 2017, p.38)

Realizado por: Guasco, M.; Alvarado, W. 2023

Por esta razón se produce gas pobre, cuando se trata de aprovechar la energía renovable, donde el aire que se le agregue es de 25%-30% esto con respecto a lo necesario del estequiométrico para

la combustión de la biomasa, después puede ser diferenciado de este proceso de combustión simple y pueda pasar a hacer un resumen de una degradación térmica a través de la escasez de oxígeno (Orozco, 2017, p.33).

Tabla 14-2: Las composiciones de los productos de gasificaciones.

Compuesto	Gas pobre [%]	Syngas [%]
Monóxido de carbono CO	11-30	40-50
Dióxido de Carbono CO ₂	6-16	10-20
Hidrógeno H ₂	10-20	25-80
Metano CH ₄	1-3	4-8
Nitrógeno N ₂	50	--

Fuente: (Orozco, 2017, p.33)

Realizado por: Guasco, M.; Alvarado, W. 2023

2.8.1. *Estudio previo de la gasificación*

La gasificación de madera se ha utilizado para producir gas, desde la década de 1870, y en la década de 1930 los automóviles estaban equipados con gasificadores de madera. Después de la década de 1940, la tecnología se volvió oscura gradualmente. Cientos de pequeños gasificadores de madera se utilizan actualmente en Europa, por ejemplo, para hoteles y calefacción urbana. La potencia está limitada a decenas de kilovatios. Actualmente solo hay dos grandes gasificadores de madera en funcionamiento en los Países Bajos. En 1999, se construyó un gasificador de madera con una capacidad de procesamiento anual de 150.000 toneladas de leña 60 (madera) en una central eléctrica a carbón en Geertruidenberg, América Central. Estos gases se utilizan como combustible en las centrales eléctricas. Sin embargo, ha expirado. Anteriormente había una planta en Delfzijl que convertía el glicerol (una corriente de desecho de una planta de biodiesel) en gas y luego en metanol. Desde un punto de vista químico, el glicerol es una excelente materia prima que probablemente sea mejor para la conversión química o biológica que los productos químicos. Además, la empresa holandesa ha suministrado varios gasificadores de estiércol de pollo (capacidad aproximada de 1 MW) (van et al., 2019, pp.61-62).

2.8.2. *Elementos de un gasificador*

El gasificador tiene un sistema de elementos que son un conjunto de partes que forman el funcionamiento del sistema, que opera de una manera sistemática y ordena, se compone de un

grupo de elementos en la cual la función es producir Syngas, de un alto poder calorífico que se obtiene al finalizar los procesos por las cuales se describen a continuación (Yangari, 2022, pp.46-48).

2.8.2.1. *Reactor*

Uno de los elementos principales del sistema es el reactor, este es el encargado de realizar el proceso de pirólisis, este reactor trabaja a altas temperaturas que oscilan entre los 400°C y 500°C, esto va de acuerdo con las potencias que se requiera, se usa los diferentes tipos de gasificadores que se muestran a continuación, adicional también se encargan de la parte energética, se realiza la extracción térmica de la biomasa de una forma automática (Yangari, 2022, p.46).

2.8.2.2. *Alimentación (tolva y tornillo sin-fin)*

La alimentación puede ser directa o mediante la tolva y que es llevado mediante un tornillo sin fin para ser almacenado en la cámara del reactor para el proceso, al considerar cambiar el diseño de o la operación de este, se necesita considerar el tipo de biomasa, el volumen y el tamaño de partículas que requiere el sistema (Yangari, 2022, p.46).

2.8.2.3. *Agente gasificante*

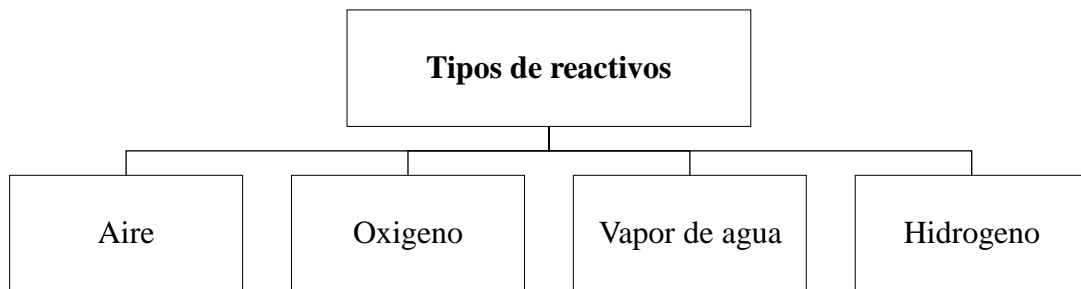


Ilustración 9-2: 4 tipos de reactivos

Fuente: (Yangari, 2022, p.47).

Realizado por: Guasco, M.; Alvarado, W. 2023

En esta etapa de la intervención de la combustión se necesita el agente oxidante, los 4 tipos de reactivos que tienen se detallan en la Ilustración 9-2. El más usado es el aire por ser ilimitado, fácil y práctico de usar, a veces presenta ciertos altercados en la utilización como es el alto contenido de nitrógeno que limita el poder calorífico del Syngas obtenido alrededor de 5,5 kJ/Nm³, lo que demuestra que hay deficiencia en los resultados (Yangari, 2022, p.47).

Después le sigue el oxígeno por lo que es un agente que mejora la cantidad de rendimiento del gasificador, y se puede triplicar el poder calorífico que se obtiene, los inconvenientes que se produce es la complejidad y el coste del sistema, además eleva la temperatura del gasificador por la cual provoca efectos negativos de la calidad de gas. Por ello, de esta manera no es conveniente el uso de los equipos. Debido a complejidad y coste (Yangari, 2022, p.46).

Hay dos ventajas en el vapor de agua que son: por este lado tiene dos átomos de hidrógenos en cada átomo de oxígeno y no introduce nitrógeno indeseado, el poder calorífico aumenta con estos dos componentes. Para la finalización de esta gasificación se utiliza hidrógeno en algunos procesos para obtener un alto poder calorífico, en determinadas ocasiones por ejemplo cuando excede de baja pureza de gas (Yangari, 2022, p.47).

2.8.2.4. *Enfriamiento*

Es el encargado de acoplar el gas que se obtiene para las aplicaciones de este, en el funcionamiento es el encargado de regular la temperatura a una condensación de productos que no se desea en el gas, como el caso del alquitrán y el agua en el caso de encontrar (Yangari, 2022, p.47).

2.8.2.5. *Intercambiador de Calor*

Está compuesto por flujo de gas que produce más flujo de gas con arrastre. Para este proceso se utiliza un intercambiador de calor que se enfría por aire. Este elemento tiene como función reducir la temperatura que se obtiene en el proceso de gasificación para obtener un gas seco (Yangari, 2022, p.47).

2.8.2.6. *Composición del gas*

Cuando se procede al proceso de gasificación de la biomasa u otro combustible sólido se obtiene un combustible gaseoso que se llama gas de síntesis (Syngas). La composición va a depender de la biomasa que se utiliza, también, el factor (presión, temperatura). El agente que elegido para gasificar y el tipo de reactor, con todo lo mencionado su eficiencia tiende a disminuir y se centra en un 70 – 80%. La composición contiene: CO_2 , N_2 , H_2O , CO , H_2 , CH_4 (Yangari, 2022, p.48).

2.8.3. *Proceso de gasificación*

La gasificación es una transformación termoquímica que transforma los materiales que contienen carbono, a manera que la biomasa en un combustible gaseoso. Durante la combustión, las sustancias carbonosas también se pueden convertir en gases, a diferencia de la gasificación, los gases no tienen poder calorífico de utilidad. La combustión los exime de la energía en enlaces químicos, mientras tanto que la gasificación los enajona (Orozco, 2017, p.33).

Según Gonzáles Castro en el proceso de la conversión de la biomasa hace referencia a las transformaciones que sobrevuela la biomasa por medio de reacciones químicas que son propiciadas por la aplicación de los agentes de reacción y calor. En este proceso se libera la energía que contiene la biomasa, o se convierte en combustible sólido, gaseoso o líquido. El proceso típico de gasificación tiene cuatro etapas, que se muestra en la siguiente Ilustración 10-2 (González, 2019, p.27).

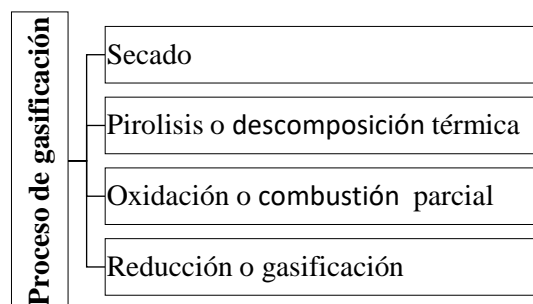


Ilustración 8-2: Etapas de la gasificación

Fuente: (Havilah et al., 2022, p.5)

Realizado por: Guasco, M.; Alvarado, W. 2023

La gasificación de la biomasa de las reacciones químicas se muestra en la Tabla 15-2. Las características del combustible y las variables del proceso son reacciones que están fuertemente influenciadas. Como la temperatura, la presión de gasificación, y el agente de gasificación, la materia prima de la biomasa y el material de lecho, todo esto es crítico para la selección, la operación y el diseño de un sistema de gasificación determinado, por otro lado, en la Ilustración 10-2 se observa el proceso de gasificación (Havilah et al., 2022, p.5).

En la Tabla 15-2 se muestra las reacciones químicas que se producen durante el proceso de la gasificación.

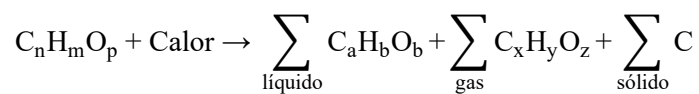
Tabla 15-2: Reacciones químicas que se producen durante la gasificación

Tipos de reacción	Reacción	Calor de reacción kJ/mol
Secado:	Materia prima Húmeda + calor → Materia prima seca + H ₂ O	
Pirólisis:	Carbono + calor → volátiles + carbón	
Reacciones solidas gas (Reacciones heterogéneas)		
Combustión	C + O ₂ → CO ₂ 394	-394
Agua-gas	C H ₂ O → CO H ₂ 131	131
Boudouard	C + CO ₂ → 2CO 173	173
Hidro gasificación	C + 2H ₂ → CH ₄ -75	-75
Reacciones gas-gas (Reacciones homogéneas)		
Reacciones de desplazamiento de gas de agua.	CO + H ₂ O → CO ₂ + H ₂ -41	-41
Reacciones de metalización.	CH ₄ + H ₂ O → CO + 3H ₂ 206	206

Fuente: (Havilah et al. 2022, p.5).

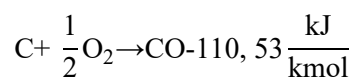
Realizado por: Guasco, M.; Alvarado, W. 2023

Las diferentes etapas del proceso de gasificación se pueden describir en términos generales, comenzando con la fase de secado, donde se extrae la humedad de la biomasa, y luego entrando en zona de pirólisis, donde tiene lugar las primeras reacciones termoquímicas, resultado en la formación de volátiles y de carbonización, es la etapa de descomposición térmica de la biomasa en estado gaseoso, líquido y sólido. Un compuesto tiene una concentración de carbono, pero también tiene hidrógeno y oxígeno unidos. Como se muestra en la siguiente Ecuación. 15-2 (Orozco, 2017, p.33).



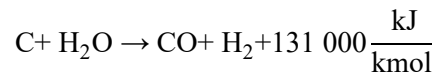
Ecuación 15-2: Gases, líquidos y sólidos

El producto de pirólisis y el agua evaporada durante el secado ahora ingresan a la zona de gasificación donde entra en contacto con el agente de gasificación (siempre bajo limitación de oxígeno) y reacciona en el ambiente creado por la temperatura como se muestra en la Ecuación 16-2 (Orozco, 2017, p.34).



Ecuación 16-2: Pirólisis

El carbono y el dióxido de carbono se convierten en monóxido de carbono (un gas inflamable). En base a aquello, tienden a reducir el alquitrán. Las mezclas de los gases producidos como producto se identifican como gas de síntesis, como se muestra en la Ecuación 17-2 (Orozco, 2017, p.34).



Ecuación 17-2: Gas combustible

La mayoría de las reacciones de gasificación son endotérmicas, por lo que durante la fase de combustión parte del gas que se quema y reacciona exotérmicamente con el oxígeno, liberando energía para continuar el ciclo. La materia prima se convierte del estado sólido por descomposición térmica y se divide en tres partes, el estado gaseoso es el producto de la gasificación en sí (gas pobre), el estado líquido es alquitrán y el estado sólido restante es ceniza (Orozco, 2017, p.34).

2.8.4. Tipos de gasificadores

“Los gasificadores se clasifican principalmente según el modo de contacto gas-sólido, es decir, el modo de contacto entre el medio de gasificación y el combustible, y existen cuatro tipos principales” (Orozco, 2017, p.35).

2.8.4.1. Gasificador de flujo ascendente (Updraft)

El gasificador de flujo ascendente es el más antiguo, y la biomasa de alimentación entra por la parte superior y el gasificador por la parte inferior. Las ventajas son su construcción simple, alta proporción de carbón quemado e intercambio de calor interno, lo que se traduce en una baja temperatura de salida de los gases, una alta eficiencia de la planta y la capacidad de trabajar con diferentes tipos de cargas (Aserrín, paja, etc). La principal desventaja es la eliminación de líquidos condensados que contienen alquitrán (Orozco, 2017, p.36).

2.8.4.2. Gasificador de flujo descendente (Downdraft)

Este diseño resuelve el inconveniente del exceso de alquitrán. El gas generado se descarga por la parte inferior de la planta y el camino es paralelo a la biomasa entrante. Para no reducir su

concentración en el equipo, se deben observar ciertas propiedades físicas. equipos, porque el aire que necesita entrar no puede circular correctamente; este último se considera una desventaja, además, en comparación con los carburadores anteriores, es un poco menos eficiente debido a la falta de intercambio de calor interno. La ventaja del bajo contenido de alquitrán lo hace adecuado para su uso como gas producto en motores de combustión interna (Orozco, 2017, p.36).

2.8.4.3. *Gasificador de flujo transversal (Crossdraft)*

Para el gasificador de flujo transversal, el proceso crea una alta temperatura (1500 °C) para que el mismo combustible pueda usarse como aislante para la instalación. Funcionan bien a pequeña escala y son adecuados para generadores de hasta 10 kW. Una de las desventajas es la necesidad de usar carbón de la más alta calidad de manera que no produzca mucho alquitrán. En comparación con la subida y la bajada, su corto tiempo de arranque es ventajoso para los cambios de carga, y también pueden funcionar en motores con sistemas de barrido de gas simples (Orozco, 2017, p.37).

2.8.4.4. *Gasificador de lecho fluidizado*

Los gasificadores descritos anteriormente tienen problemas con frecuencia y estos son los siguientes: la formación de la escoria, la caída excesiva de presión en el gasificador y por último la falta de tiro en el depósito. Debido a esto se afectan a las propiedades morfológicas, químicas y físicas del combustible. El lecho fluidizado es un gasificador que corrige los errores al soplar aire a través de un lecho de partículas que son sólidas a una velocidad que es suficiente para poder mantenerlas en un estado de equilibrio por otra parte las ventajas que son notables es la posibilidad de que puede realizar con una amplia variedad de biomásas, hasta puede ser de grano muy fino, el único inconveniente es lo que se puede generar alto contenido de alquitrán (el valor 10 g/Nm³ es el promedio) todo esto va a la mala respuesta de los cambios de carga que realiza, por ello una planta pequeña no tendrá un adecuado funcionamiento pero sin embargo, las potencias instaladas va por encima de los 500 kW esto ha demostrado un considerado comportamiento (Orozco, 2017, p.38).

Como recapitulación tenemos que para el funcionamiento de gasificadores existe un rango de potencia apropiadas. En consecuencia, se podrá decir que los de tipo updraft y downdraft son utilizadas para unidades pequeñas que va desde (10 kW – 10 MW), en cambio los de lecho fluidizado para unidades intermedias (5 MW – 100 MW), los de flujo arrastrado son utilizados

para unidades de gran capacidad que superan (>50 MW), esto se visualiza en la siguiente Ilustración. 11-2 (Orozco, 2017, p.39).

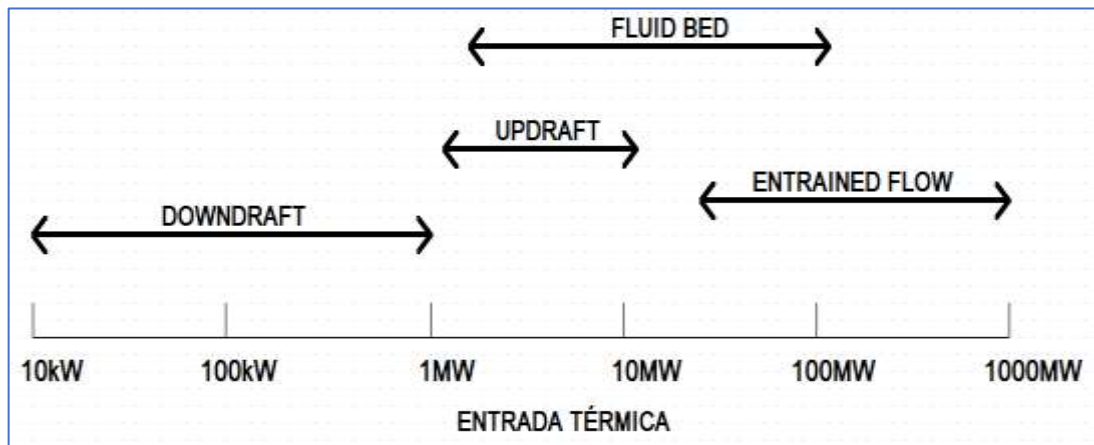


Ilustración 9-2: Rango de aplicabilidad para gasificadores de biomasa

Fuente: (Orozco, 2017, p.39)

Realizado por: Guasco, M.; Alvarado, W. 2023

2.9. Definición de la terminología ejecutada

2.9.1. *Agente gasificante*

Para esta etapa en la que se genera una combustión se requiere de la intervención del agente oxidante para que pueda llevarse a cabo. En la actualidad se están utilizando agentes de cuatro tipos para el propósito y se componen de: aire, oxígeno, e hidrógeno. El agente más práctico para la gasificación es el aire (Fernández, 2019, p.52).

2.9.2. *Alquitranes*

Son una mezcla compleja de compuestos orgánicos y es difícil decir cuál es la composición o composición exacta del alquitrán, ya que depende del tamaño de las cadenas de carbono, la temperatura, el proceso de destilación utilizado y su origen (Fernández, 2019, p.52).

2.9.3. *Ambiente*

La atmósfera o aire que respira o rodea a todos los seres vivos.

2.10. Syngas

El gas de síntesis, también conocido como gas de síntesis, se produce por gasificación. La gasificación es un proceso termoquímico en el que una materia prima (generalmente sólida) se convierte en un gas con un poder calorífico moderado mediante oxidación parcial a altas temperaturas. Este gas contiene principalmente monóxido de carbono (CO), dióxido de carbono (CO₂), hidrógeno (H₂), metano (CH₄), pequeñas cantidades de otros hidrocarburos más pesados, agua (H₂O) y nitrógeno (N₂) (utilizando aire). gasificador). Además, contiene varios compuestos indeseables como pequeñas partículas carbonosas, cenizas y alquitrán. CO, H₂, CH₄ son los componentes que determinan principalmente el poder calorífico del gas (Ares y Marini, 2020, p.8).

La composición del gas varía según como se detalla en la Ilustración 12-2.

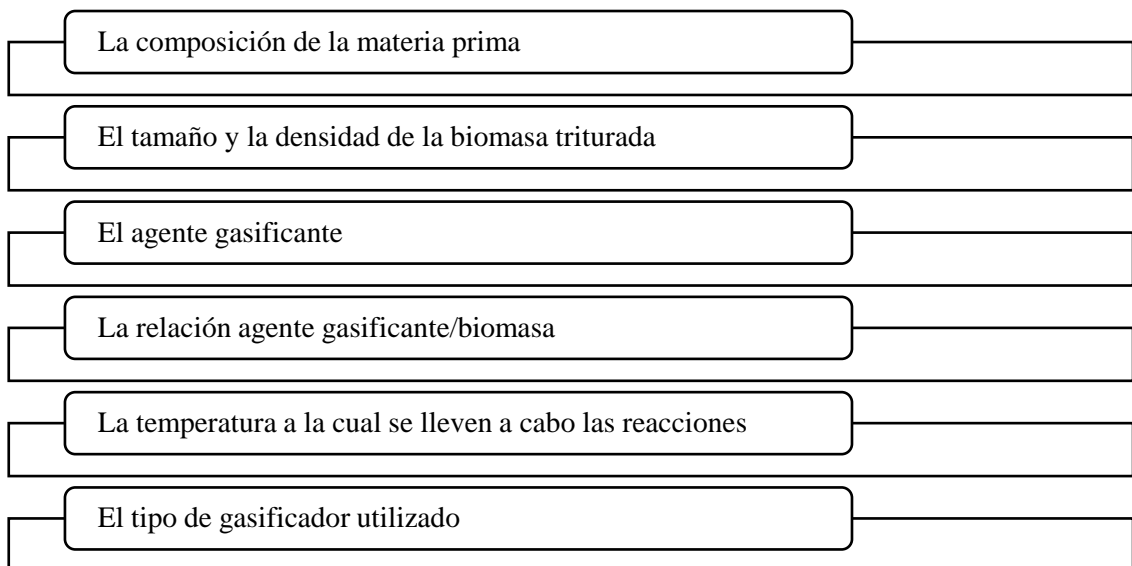


Ilustración 10-2: Composición del Syngas

Fuente: (Ares y Marini 2020, p.8)

Realizado por: Guasco, M.; Alvarado, W. 2023

Es una mezcla de gases que contienen hidrógeno (H₂), monóxido de carbono (CO), pequeñas cantidades de agua y vapor (H₂O), dióxido de carbono (CO₂) y otros compuestos (impurezas) como azufre, nitrógeno y cenizas o escorias, que se puede purificar usando procedimientos de gas, eliminación de gas de síntesis (Cruzado y García, 2017, pp.18–19).

“El gas se puede utilizar de una forma más flexible (la materia prima para procesos químicos o como combustible para las calderas, motores inducción, turbinas de gran tamaño y pilas de

combustible)” (Ares y Marini 2020, p.8).

2.10.1. Poder calorífico del Syngas

Cuando se utiliza aire como agente gasificante (oxidante), el poder calorífico del gas producido es de aprox. 4 a 7 MJ/m³ debido al alto contenido de nitrógeno, mientras que en el caso del oxígeno o vapor de agua darán valores caloríficos superiores de 10~ 18 MJ/m³ llamados de síntesis. El valor del poder calorífico del gas depende de las biomásas utilizadas, como madera, Cascarilla de Arroz o cáscara de coco. Existen varias tecnologías de gasificación y el uso depende de las materias primas y del tamaño del sistema (Quispe et al., 2021, pp.4-5).

Para la evaluación el PC del Syngas producido por el gasificador, se determina por la siguiente Ecuación 18-2.

$$PCI_{\text{Syngas}} = \sum_{i=1}^n C_i PCI_i$$

Ecuación 18-2: Poder calorífico del Syngas

Donde:

PCI_i ; Poder calorífico inferior de los componentes combustibles del Syngas, en MJ/Nm³.

C_i = Fracción volumétrica del componente en el Syngas (%).

Para determinar el cálculo del PCI del Syngas, se aplicó curvas con una previa linealización, para lograr una mejor precisión en los resultados, alcanzando la siguiente Ecuación 19-2.

$$PCI_{\text{Syngas}} = -0.0009W_{\text{BH}}^3 - 0.0001W_{\text{BH}}^2 - 7.539W_{\text{BH}} + 1339.3 \left(\frac{\text{kcal}}{\text{Nm}^3} \right)$$

Ecuación 19-2: Poder calorífico inferior del Syngas

Donde:

PCI_{gas} ; Poder calorífico del Syngas.

WBH ; Humedad del combustible sólido, en base húmeda.

Nm^3 ; Metros cúbicos a condiciones normales, esto es $p = 1 \text{ atm}$, $T = 20 \text{ }^\circ\text{C}$.

Sustituyendo los datos en la Ecuación 20-2 el PCI del Syngas para Aserrín.

$$\text{PCI}_{\text{gas pobre}} = 5.32 \left(\frac{\text{kcal}}{\text{Nm}^3} \right)$$

Ecuación 20-2: PCI del Syngas para Aserrín

El PCI del Syngas para la Cascarilla de Arroz.

$$\text{PCI}_{\text{Syngas}} = 5.36 \left(\frac{\text{kcal}}{\text{Nm}^3} \right)$$

Ecuación 21-2: PCI del Syngas para la Cascarilla de Arroz

2.10.1.1. Ecuación para el PCS Y PCI del Syngas

Finalmente, el poder calorífico superior (PCS) y poder calorífico inferior (PCI) del Syngas producido de la gasificación fue calculado con las siguientes ecuaciones (Tacuri, 2021, pp.53-54).

$$\begin{aligned} \text{PCS} \left(\frac{\text{kcal}}{\text{kg}} \right) &= (n_{\text{H}_2} \text{H}_2) (33900) + (n_{\text{CH}_4} \text{CH}_4) (13249) + (n_{\text{CO}} \text{CO}) (2412) \\ &+ (n_{\text{C}_2\text{H}_6} \text{C}_2\text{H}_6) (12384) + (n_{\text{N}_2} \text{N}_2) (12018) \\ &+ (n_{\text{CO}_2} \text{CO}_2) (11929) + (n_{\text{O}_2} \text{O}_2) (12009) \end{aligned}$$

Ecuación 22-2: El poder calorífico superior (PCS) Syngas

$$\begin{aligned} \text{PCI} \left(\frac{\text{kcal}}{\text{kg}} \right) &= (n_{\text{H}_2} \text{H}_2) (28642) + (n_{\text{CH}_4} \text{CH}_4) (11940) + (n_{\text{CO}} \text{CO}) (2412) \\ &+ (n_{\text{C}_2\text{H}_6} \text{C}_2\text{H}_6) (11336) + (n_{\text{N}_2} \text{N}_2) (11065) \\ &+ (n_{\text{CO}_2} \text{CO}_2) (11527) + (n_{\text{O}_2} \text{O}_2) (11260) \end{aligned}$$

Ecuación 23-2: El poder calorífico inferior (PCS) Syngas

2.10.2. Poder calorífico del Syngas de pendiendo su componente

El Syngas mediante su poder calorífico se clasifica de la siguiente manera:

2.10.2.1. Bajo poder calorífico del Syngas

Es una mezcla de monóxido de carbono, hidrógeno y algunos otros gases y tiene un poder calorífico inferior a 11180 kJ/m³. Por lo general, el aire se usa como oxidante, por lo que el gas

producto contiene componentes indeseables como el nitrógeno y, por lo tanto, tiene un poder calorífico más bajo (Cruzado y García, 2017, pp.19–20).

2.10.2.2. Poder calorífico medio del Syngas

Contiene principalmente monóxido de carbono e hidrógeno y dióxido de carbono. Su poder calorífico es de 11180 a 26.100 kJ/m³. En este caso, se utiliza oxígeno puro como comburente en lugar de aire, lo que da como resultado un mayor poder calorífico debido al mayor contenido de hidrógeno y una menor concentración de dióxido de carbono y nitrógeno como comburente (Cruzado y García, 2017, pp.19–20).

2.10.2.3. Alto poder calorífico del Syngas

Capacidad que tiene un poder calorífico de 33.500 a 37.260 kJ/m³. El oxígeno puro se utiliza como oxidante. Este es compatible con el gas natural y se puede utilizar como gas natural sintético o también alternativo (GNC). Al momento de realizar el poder calorífico se obtiene mediante la reacción catalítica de CO y H₂ (Cruzado y García, 2017, pp.19–20).

2.10.3. Características y Propiedades del Syngas

Syngas recibe su nombre "Syngas" por su uso como producto intermedio del gas natural sintético (SNG). Aunque tiene menos de la mitad de la densidad energética del gas natural, es un gas de alto valor comercial, y el interés en su producción es cada vez mayor debido a sus múltiples usos como combustible o como intermediario. producción de otros productos químicos (Córdoba y Levolle, 2019, p.11).

La calidad del gas está relacionada con su calor que es poder calorífico y la cantidad de alquitrán y partículas que contiene. Durante la producción de gas, la cantidad de alquitrán es mayor debido a la menor temperatura y tiempo de residencia.

En términos de poder calorífico, el gas de síntesis producido por gasificación de biomasa seca con aire como medio de gasificación tiene un poder calorífico de aprox. 1000-1300 kcal/m³. Cuando el gasificador opera con oxígeno puro, la masa energética del gas está entre 2390 y 4300 kcal/m³, que es más del doble de la masa del aire. Por otro lado, el uso de vapor aumenta la calidad energética del gas a través de ciertas reacciones cuyo equilibrio es muy favorable en

presencia de agua.

2.10.4. *Uso o aplicación del Syngas*

Los productos que se pueden obtener del gas de síntesis son diversos y se pueden utilizar como combustible. el hidrógeno es uno de ellos, que es utilizado en la industria de refinación petrolera (hidrogenación, hidrodesulfuración, hidrocraqueo de petróleos pesados) e inclusive se espera que se utilice para alimentar motores de combustión interna en vehículos de baterías en lugar de motores diésel. Otro producto que produce a través de la mecanización de gas de síntesis es el gas natural sustituto (SNG) o metano de una alta pureza para calefacción y generación de energía. Otro derivado es el metanol, también se puede utilizar como combustible alternativo. También, los hidrocarburos líquidos se pueden producir mediante la síntesis de Fischer-Tropsch (FT) utilizando catalizadores a base de hierro o cobalto (Cruzado y García, 2017, p.20).

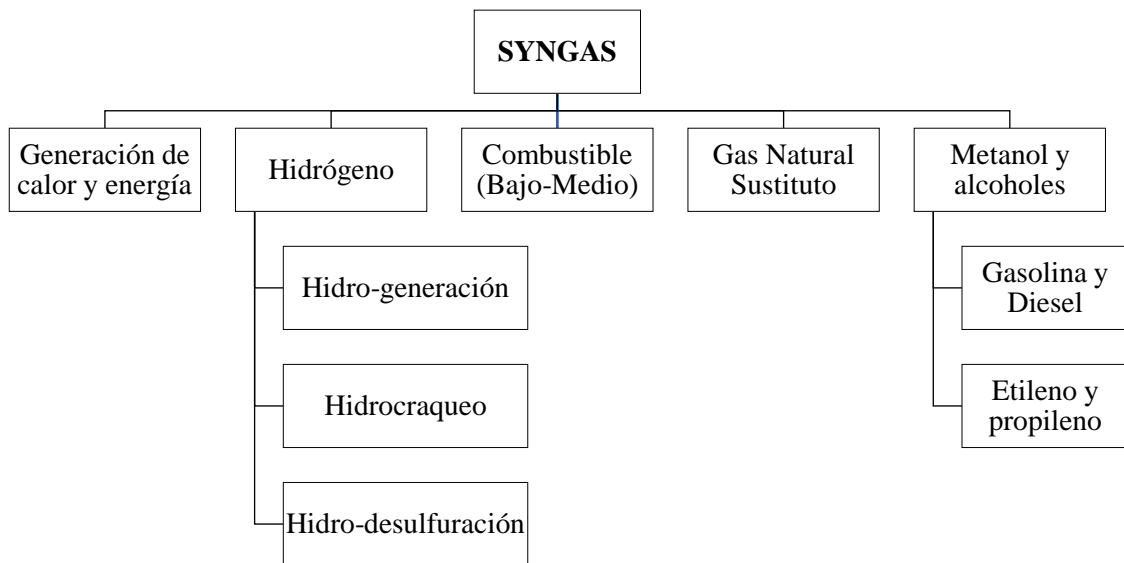


Ilustración 11-2: Derivados de Syngas

Fuente: (Cruzado y García, 2017, p.20)

Realizado por: Guasco, M.; Alvarado, W. 2023

El gas de síntesis se puede utilizar como combustible para producir electricidad y calor (energía térmica). Además, es un intermediario importante en la industria química, ya que se utiliza como materia prima para la síntesis de productos químicos tal como el amoníaco, el ácido acético y los fertilizantes (Córdoba y Levolle, 2019, p.11).

2.10.4.1. *Aplicaciones térmicas*

- El gas de síntesis se puede quemar directamente al aire libre, y de la misma manera como gas licuado de petróleo (GLP) para hervir agua, cocinar, secar alimentos, generar vapor, y otros materiales.
- Después de la combustión, se puede mezclar con la cantidad adecuada de aire para reducir su temperatura al nivel requerido para su uso en secadores industriales.
- Puede utilizarse como combustible para calderas que genera vapor o agua caliente.

2.10.4.2. *Aplicaciones energéticas*

El Syngas se puede utilizar para producir electricidad para hacer funcionar motores de combustible dual. En general, la eficiencia de la conversión de la gasificación es del 35 % al 45 %, por lo tanto, que la eficiencia de conversión de la combustión es solo del 10 % al 20 %. La electricidad producida se puede alimentar a la red o utilizar en operaciones como riegos, agrícola, refrigeración y entre otras aplicaciones industriales y comerciales (Córdoba y Levolle, 2019, p.12).

2.10.5. *Ventajas y desventajas del Syngas*

En cuanto a las ventajas de la producción de gas de síntesis a partir de la biomasa residual, destaca la utilización de una gran cantidad de residuos sólidos como materia prima, lo que reduce significativamente los problemas derivados de la compleja eliminación de dichos residuos. Por otro lado, donde, por ejemplo, se utilizan residuos agrícolas o forestales, se debe esperar una disminución en la acumulación de carbono en el suelo, ya que, si la cantidad de residuos es insuficiente, se puede formar una gran deuda de carbono en el suelo. Por otro lado, durante la gasificación se obtiene una temperatura del gas muy alta (unos 1400 °C), por lo que se debe tener en cuenta tanto la seguridad como la resistencia de los materiales que forman el reactor. También hay que señalar que el gas de síntesis refrigerante tiene muchas ventajas en cuanto a la energía calorífica (térmica) obtenida y su aprovechamiento (Córdoba y Levolle, 2019, p.12).

2.10.6. *Composición del Syngas*

El gas en general se compone especialmente de metano (CH₄) y dióxido de carbono (CO₂), y también se pueden encontrar otros gases de baja concentración como hidrógeno (H₂), nitrógeno (N₂), oxígeno (O₂), oxígeno y monóxido de carbono. La composición del gas de síntesis puede

variar según el tipo de material orgánico utilizado. El gas de síntesis debe tener la composición que se muestra en la Figura 16-2 (Mejía y Peralta, 2019, p.45; Criollo y Rodríguez, 2022, p.21).

Tabla 16-2: Composición química del Syngas

Componentes	Formula Química	Porcentaje
Metano	CH ₄	60-70
Dióxido de Carbono	CO ₂	30-40
Monóxido de Carbono	CO	0.1
Oxígeno	O ₂	0.1
Hidrogeno	H ₂	Hasta 1,0
Sulfuro de hidrogeno	H ₂ S	Hasta 1,0
Nitrógeno	N ₂	0,5-3

Fuentes: (Mejía y Peralta, 2019, p.45)

Realizado por: Guasco, M.; Alvarado, W. 2023

CAPITULO III

3. MARCO METODOLÓGICO

En el gasificador tipo DOWDRAFT de la Facultad de Mecánica se realizó el análisis de Syngas por lo consiguiente se ha modificado un baipás para la toma de muestra de este, en donde se ha puesto dos llaves de tipo globo una para el encendido de la llama y el otro para la toma de muestra en bolsas Tedlar y así poder enviar al laboratorio.

Se ha realizado la búsqueda de la materia prima como es el Aserrín y la Cascarilla de Arroz para una primera gasificación y para una exactitud de temperaturas se ha tomado directamente el tendido eléctrico desde las termocuplas hasta el panel de control con cable de termocuplas tipo K de 1200°C.



Ilustración 1-3: Materia Prima (Aserrín y Cascarilla de Arroz)

Realizado por: Guasco, M.; Alvarado, W. 2023

El procedimiento para la gasificación primero se debe encender el gasificador que consta de un equipo de control en óptimas condiciones en la cual están los sensores de temperatura estos son las termocuplas con los Termo pozos para la captación de la temperatura en las diferentes partes, de esta manera ayuda a medir el estado que se encuentre el gasificado.



Ilustración 2-3: Energizar los tableros

Realizado por: Guasco, M.; Alvarado, W. 2023

Como siguiente paso el encendido mediante la Biomasa Forestal (maderas) hasta obtener una temperatura que alcance los 500°C o más para la obtención del Syngas.



Ilustración 3-3: Encendido con Biomasa Forestal

Realizado por: Guasco, M.; Alvarado, W. 2023

El cerrado de las tapas de los lados del sub-reactor se realizan de manera secuencial con silicona y tornillos de 1 ½ pulgada, a una presión donde no haya fugas de gas, así hasta poder obtener un equilibrio de temperatura en la cámara de encendido de la biomasa



Ilustración 4-3: Cerrado de las tapas de los lados del sub-reactor

Realizado por: Guasco, M.; Alvarado, W. 2023

Se enciende el ventilador (blower) para poder generar aire, para que se mantenga encendido la biomasa.

Se debe alimenta poco apoco en un determinado tiempo la biomasa que contiene Aserrín y Cascarilla de Arroz.

El proceso de alimentación requiere por lo menos de dos horas después de ese momento se alimenta continuamente en proporciones adecuadas para que no se ahogue y produzca Syngas el tiempo máximo que se pueda utilizar para la muestra del mejoramiento de Syngas.



Ilustración 5-3: Proceso de alimentación

Realizado por: Guasco, M.; Alvarado, W. 2023

Así para la obtención y mejoramiento de la calidad de gas que se requiere obtener a través del gasificador DOWDRAFT.

Para comenzar con la ejecución de la gasificación se llevó al laboratorio una muestra de 5g de Aserrín y 5g de Cascarilla de Arroz, para saber la humedad de cada materia prima. El Aserrín con una humedad de 4.601% y la Cascarilla de Arroz con una humedad de 9.068 %. Esto nos quiere decir que, con este porcentaje de la humanidad, se obtendrá un excelente Syngas, a menor porcentaje de humedad es mucho mejor para obtener un buen gas.



Ilustración 6-3: Muestra 5g de Aserrín y 5g de Cascarilla de Arroz

Realizado por: Guasco, M.; Alvarado, W. 2023

3.1. Enfoque de investigación

La caracterización del Syngas tiene el siguiente procedimiento a seguir por lo que se sugiere buscar la materia prima con la que se va a gasificar, en este caso se gasifica Aserrín y Cascarilla de Arroz, después se analizó el peso por lo que depende la gasificación, el peso de la biomasa es de 30kg/h para el encendido y la distribución de constante de la llama, la humedad y el oxígeno son parámetros constantes para esta investigación.

Mediante un analizador de humedad Radwag PMC en el Laboratorio de la Facultad de Ciencias, se tomó la humedad con un porcentaje de 4,601% para Aserrín y 9,068%, y el oxígeno mediante un Blower de 4HP. Acogiendo a las recomendaciones de las búsquedas bibliográficas recopiladas se realiza el quemado de la leña por 80 minutos, se pesa 30 kilogramos de la leña para el arranque del encendido hasta que alcanza una temperatura superior a los 600°C, luego se procede al cerrado de las tapas posteriores las dos al mismo tiempo, y se enciende enseguida el blower para que genere aire y pueda permanecer encendido la llama se revisa el tablero eléctrico o de control para visualizar las temperaturas de la gasificación, si se observa que la temperatura está subiendo o a su vez esta constante es señal que esta encendida la llama, en ese momento se procede a la revisión del llenado del Aserrín y Cascarilla de Arroz una vez inspeccionado que este lleno se realiza el cerrar las tapas superiores tanto de la tolva y el reactor del gasificador para que no haya fugas de salida de gas por sus alrededores ya que puede perder fuerza a la salida de las cañerías y no se puede obtener una buena presión para la obtención del Syngas, por lo consiguiente se chequea el estado de temperatura para poder ir alimentando la mezcla de biomasa en un determinado tiempo, mientras el motor hace girar al tornillo sin fin a una velocidad de 1,5rpm para ser trasladado la biomasa al reactor donde se quema la biomasa, la mezcla de la biomasa debe ser en porciones pequeñas, la razón es para que no se pare el motor, y no se pueda ahogar la llama, esto depende mucho de la manipulación de la palanca de la tolva se toma tiempos de 10 a 15 minutos por hora, y así pueda seguir alimentando continuamente y se pueda generar hasta obtener una llamada, dependiendo del color de la llama se visualiza que es la mejor combustión del Syngas, que nos ayuda a generar una muestra.

En la siguiente Tabla 1-3 y 2-3 se puede observar los datos de la primera gasificación de 75/25 (Aserrín/ Cascarilla de Arroz). Los datos se van tomando cada 10 minutos del tablero de control, por lo tanto, se ha tomado las temperaturas desde nivel 4 hasta el nivel 8 en el orden descendente, se recolecta los datos de las temperaturas hasta que tenga una temperatura de 761°C donde es un buen momento para proceder al cerrado de las tapas del sub-reactor para la gasificación de la

mezcla de Aserrín y Cascarilla de Arroz. **Nota:** T4 representa la temperatura de las termocupas y el t1 es el tiempo.

Tabla 1-3: Datos del arranque del encendido de la primera gasificación

Tiempo (t) (min)		Temperatura (°C)				
		T4	T5	T6	T7	T8
t0	0	19,4	18,3	22	14	24
t1	10	19,7	18,4	21	15	59
t2	20	20,5	18,4	24	17	180
t3	30	21,5	18,6	31	27	353
t4	40	22,7	18,9	37	38	375
t5	50	23,5	19,3	45	53	359
t6	60	24,7	19,4	47	63	380
t7	70	26,1	19,2	50	69	655
t8	80	27,3	19,4	175	113	761

Realizados por: Guasco, M.; Alvarado, W. 2023

En la Ilustración 7-3 se observan las curvaturas del arranque de gasificación desde la temperatura ambiente que es de 24 en la que se encontraba en ese momento a nivel de la temperatura de Riobamba en grados centígrados.

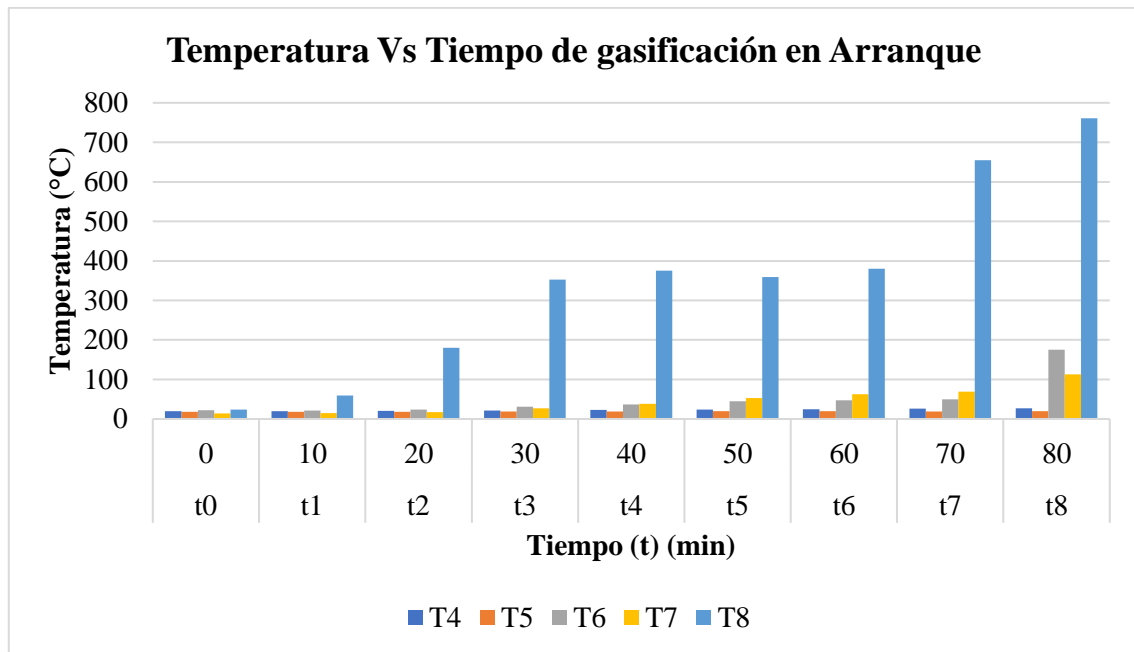


Ilustración 7-3: Datos del arranque del encendido de la primera gasificación

Realizado por: Guasco, M.; Alvarado, W. 2023

En la Tabla 2-3 se observa los datos de la gasificación obtenidos cada 15 minutos después del cerrado de las tapas de sub-reactor, de reactor, de la tolva, y arranque del blower, con una

temperatura de 761°C, por lo tanto debido a la alimentación dada cada media hora de la mezcla de Aserrín con Cascarilla de Arroz de 15kg secuencial desde la tolva y con movimiento del tornillo sin fin a una velocidad de 1,5 rpm la llama permanece constante y la temperatura sube y baja aun rango de variación que no se ahogue la llama su máximo alcance en esta gasificación es de 942°C, la muestra tomada es a una temperatura de 821°C en donde se mantuvo la llama azul y constante por 30 minutos.

Tabla 2-3: Recolección de datos del primer proceso de gasificación

Tiempo (t) (min)		Temperatura (°C)				
		T4	T5	T6	T7	T8
t0	0	27,3	19,4	175	113	761
t1	15	28,4	19,8	221	187	533
t2	30	29,4	19,8	183	203	520
t3	45	30,5	19,9	326	325	593
t4	60	33,2	20,7	395	390	727
t5	75	34,3	20,9	366	398	737
t6	90	36	22,5	367	408	788
t7	105	37,7	23,2	384	433	821

Fuente: (Propia, 2023)

Realizados por: Guasco, M.; Alvarado, W. 2023

En la Ilustración 8-3 se observa las curvaturas de gasificación después del cerrado.

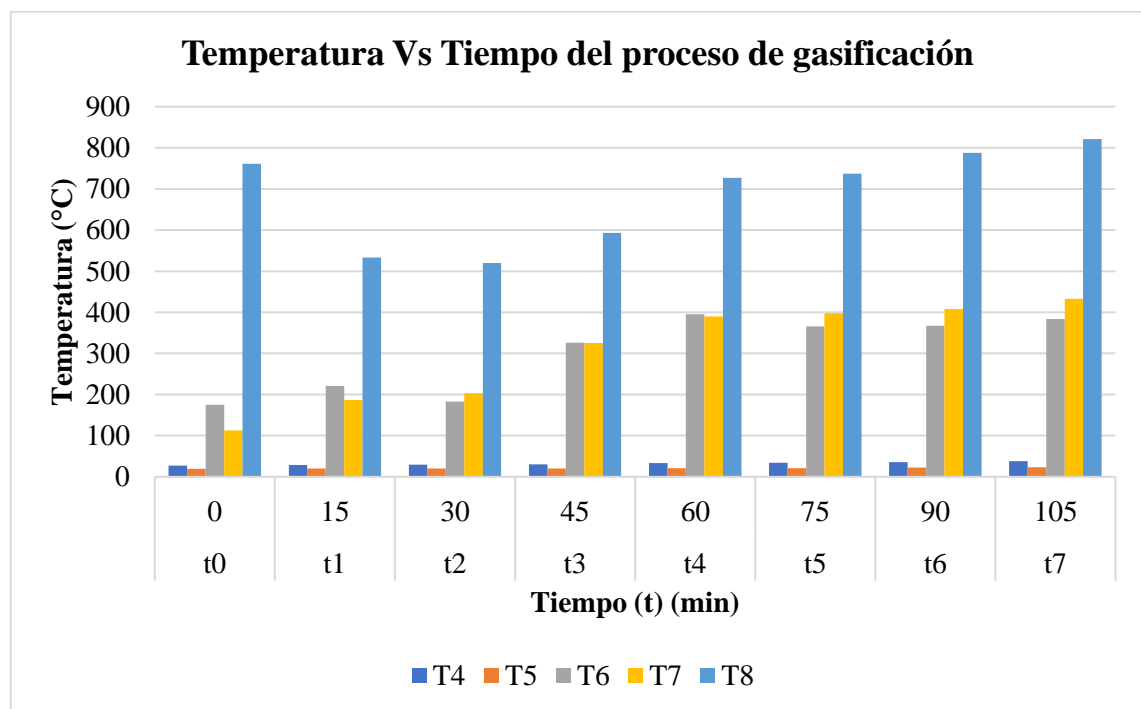


Ilustración 8-3: Recolección de datos del primer proceso de gasificación

Realizado por: Guasco, M.; Alvarado, W. 2023

Segunda gasificación

El proceso de la segunda gasificación se realiza con el 50% de Aserrín y el 50 % de Cascarilla de Arroz, se tomó en cuenta el procedimiento de la primera gasificación, por lo tanto, la llama se mantuvo constante durante 30 minutos con un color combinado entre amarillo y morado. En la Tabla 3-3 se puede observar los datos de la temperatura tomados cada 10 minutos. **Nota:** T4 representa la temperatura de las termocupas y el t1 es el tiempo.

Tabla 3-3: Datos del arranque del encendido de la segunda gasificación

Tiempo (t) (min)		Temperatura (°C)				
		T4	T5	T6	T7	T8
t0	0	23	19	36	17	25
t1	10	34,8	24,4	61	54	44
t2	20	34,9	24,9	84	58	333
t3	30	35,1	25,8	84	68	463
t4	40	35,4	26,5	86	79	361
t5	50	35,8	26,6	89	88	422
t6	60	36,1	26,6	90	99	557
t7	70	36,3	26	145	115	486
t8	80	36,8	25,1	195	156	399

Fuente: (Propia, 2023)

Realizados por: Guasco, M.; Alvarado, W. 2023

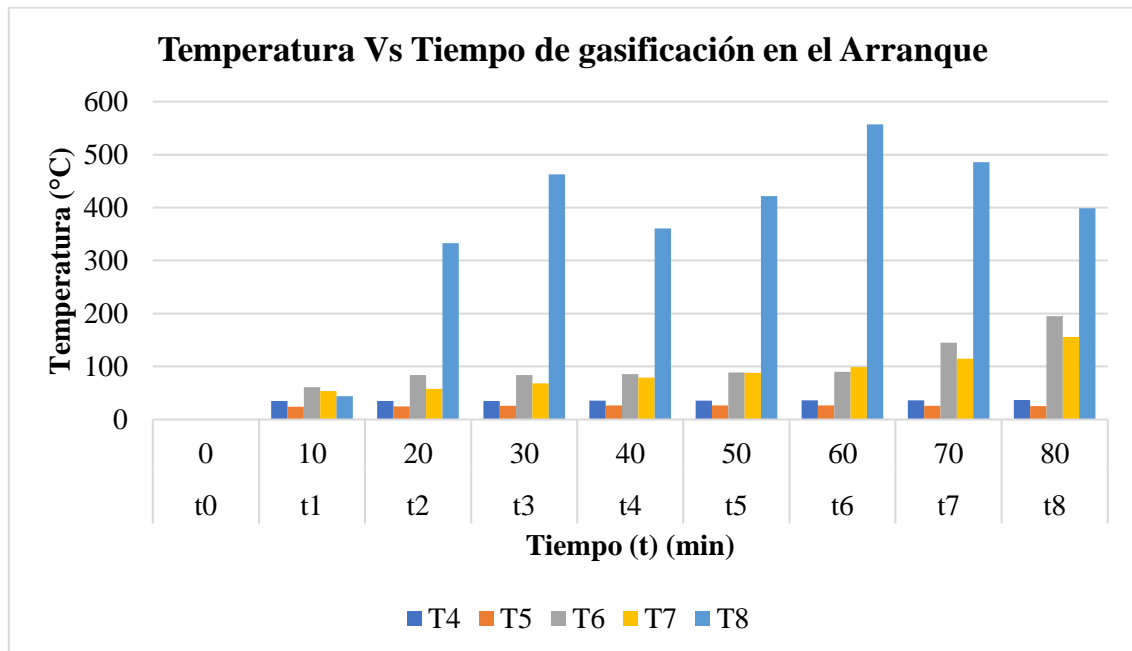


Ilustración 9-3: Datos del arranque del encendido de la segunda gasificación

Realizado por: Guasco, M.; Alvarado, W. 2023

En la Ilustración 9-3 se observan las curvaturas del arranque de gasificación desde la temperatura ambiente de 23°C en la que se encontraba en ese momento en Riobamba.

De igual manera en la Tabla 4-3 se puede observar los datos de la temperatura tomados cada 15 minutos y en la Ilustración.10-3 se observa la gráfica de las temperaturas obtenidas durante la gasificación.

Tabla 4-3: Recolección de datos del segundo proceso de gasificación

Tiempo (t) (min)		Temperatura (°C)				
		T4	T5	T6	T7	T8
t0	0	36,8	25,1	195	156	399
t1	15	35,9	22,6	213	189	396
t2	30	34,5	20,5	226	199	391
t3	45	33,6	20	267	212	562
t4	60	34,4	20,5	255	231	528
t5	75	39,6	21,8	247	261	533
t6	90	43,8	22,7	264	278	617
t7	105	44,9	22,6	259	289	621

Realizados por: Guasco, M.; Alvarado, W. 2023

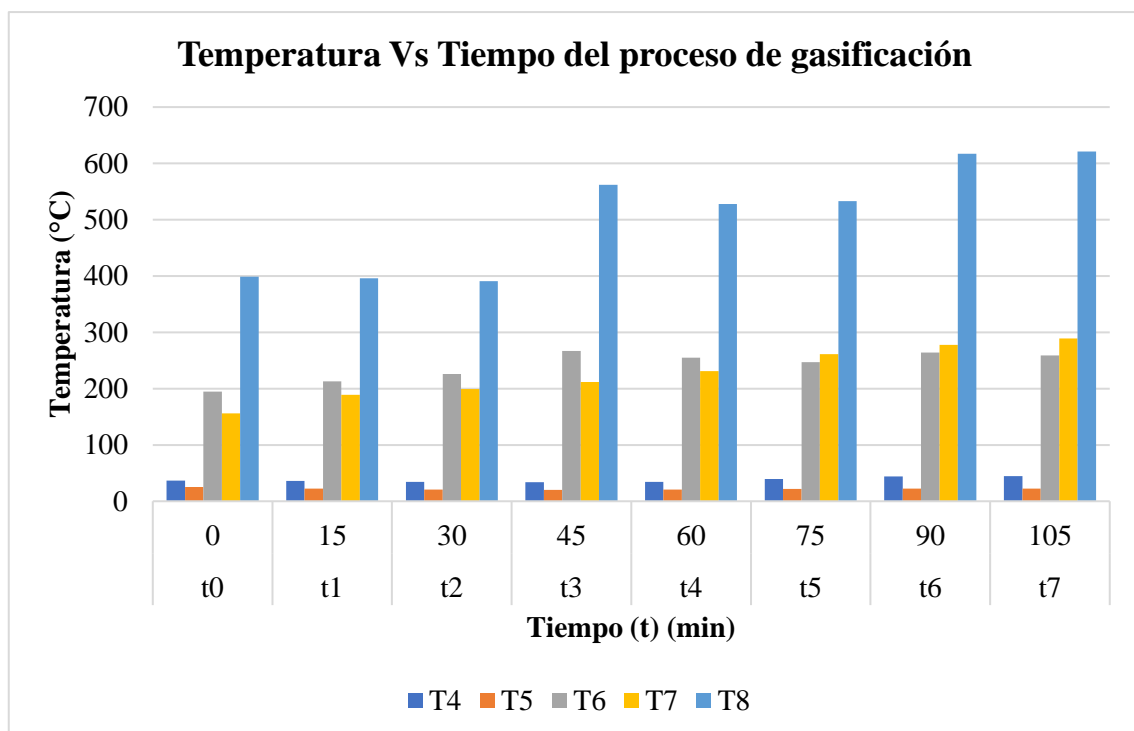


Ilustración 10-3: Recolección de datos del segundo proceso de gasificación

Realizado por: Guasco, M.; Alvarado, W. 2023

Tercera gasificación

El proceso de la tercera gasificación se realiza con el 25% de Aserrín y el 75 % de Cascarilla de Arroz, se tomó en cuenta el procedimiento de la primera y segunda gasificación, por lo tanto, la llama se mantuvo constante durante 30 minutos con un color amarillo. En la siguiente Tabla 5-3 se detalla los datos de las temperaturas tomadas durante la gasificación y en la Ilustración 11-3 se puede observar la gráfica de las temperaturas adquiridas cada 10 minutos.

Tabla 5-3: Datos del arranque del encendido de la tercera gasificación

Tiempo (t) (min)		Temperatura (°C)				
		T4	T5	T6	T7	T8
t0	0	25,5	22,4	44	35	23
t1	10	22,5	22,4	73	38	86
t2	20	22,6	22,7	86	47	456
t3	30	25,9	23,7	115	61	460
t4	40	26,7	24,5	277	101	586
t5	50	27,5	24,8	253	158	828
t6	60	28,2	24,6	290	186	901
t7	70	29,1	24,7	329	226	782
t8	80	24,8	24,8	286	265	734

Realizados por: Guasco, M.; Alvarado, W. 2023

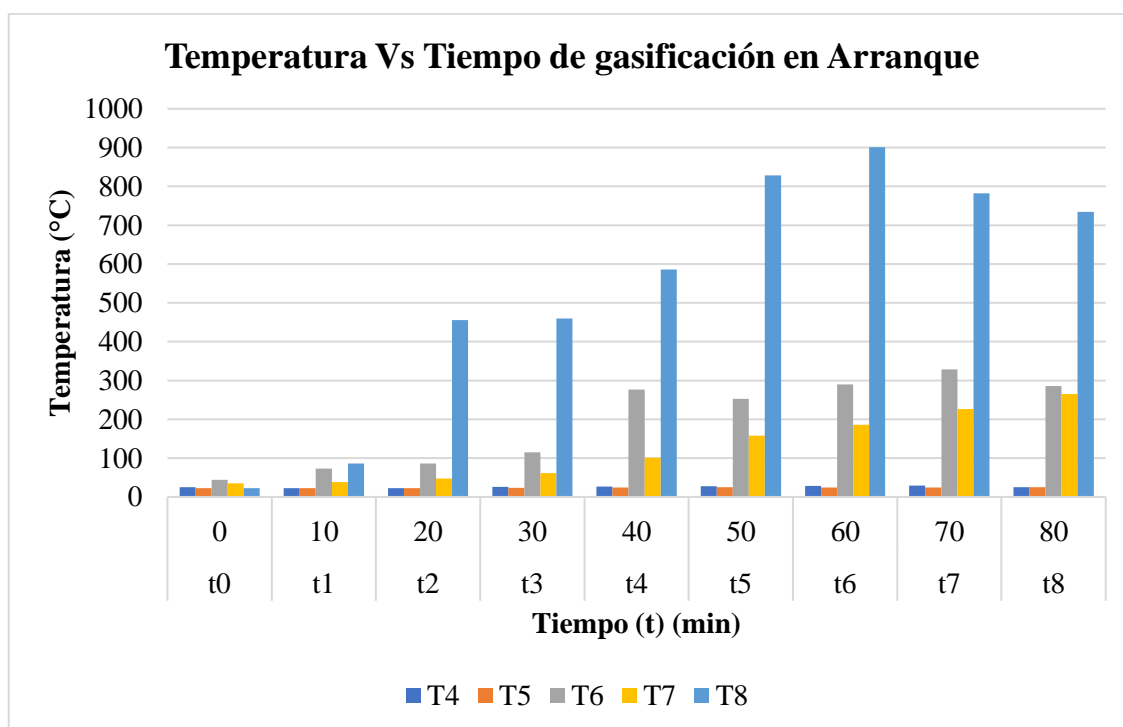


Ilustración 11-3: Datos del arranque del encendido de la tercera gasificación

Realizado por: Guasco, M.; Alvarado, W. 2023

Así mismo en la Tabla 6-3 se detalla los datos de las temperaturas tomadas durante la gasificación y en la Ilustración 12-3 se puede observar la gráfica de las temperaturas adquiridas cada 15 minutos durante el proceso de la gasificación.

Tabla 6-3: Recolección de datos del tercer proceso de gasificación

Tiempo (t) (min)		Temperatura (°C)				
		T4	T5	T6	T7	T8
t0	0	24,8	24,8	286	265	734
t1	15	31,1	24,7	285	302	585
t2	30	32,5	24,3	275	315	524
t3	45	34	23,9	287	325	898
t4	60	35,8	23,6	309	362	918
t5	75	37,5	23,9	306	378	876
t6	90	39,2	24	298	379	717
t7	105	40,8	24,3	293	372	612

Realizados por: Guasco, M.; Alvarado, W. 2023

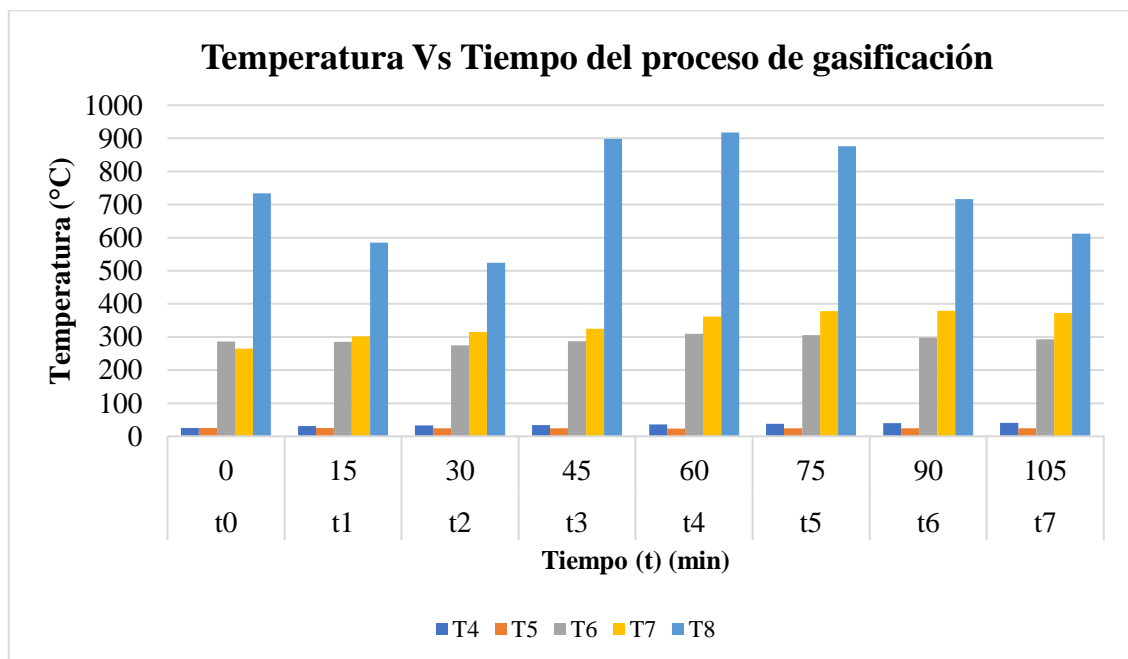


Ilustración 12-3: Recolección de datos del tercer proceso de gasificación

Realizado por: Guasco, M.; Alvarado, W. 2023

Cuarta gasificación

El proceso de la cuarta gasificación se realiza con el 100% de Cascarilla de Arroz, y se tomó en cuenta el mismo procedimiento de las gasificaciones realizadas anteriormente, por lo tanto, la llama se mantuvo constante durante 30 minutos con un color amarillo.

En la siguiente Tabla 7-3 se detalla los datos de las temperaturas tomadas durante la gasificación y en la Ilustración 13-3 se puede observar la gráfica de las temperaturas adquiridas cada 10 minutos antes de proceder a cerrar el sub-reactor, las tapas del reactor y de la tolva.

Tabla 7-3: Datos del arranque del encendido de la cuarta gasificación.

Tiempo (t) (min)		Temperatura (°C)				
		T4	T5	T6	T7	T8
t0	0	25,5	22,4	44	35	23
t1	10	25,4	22,5	73	38	86
t2	20	25,6	22,7	86	47	456
t3	30	25,9	23,6	115	61	460
t4	40	26,7	24,7	277	101	568
t5	50	27,5	24,9	253	158	828
t6	60	28,2	24,8	290	186	901
t7	70	29,1	24,7	329	226	728
t8	80	29,5	24,7	240	239	731

Realizados por: Guasco, M.; Alvarado, W. 2023

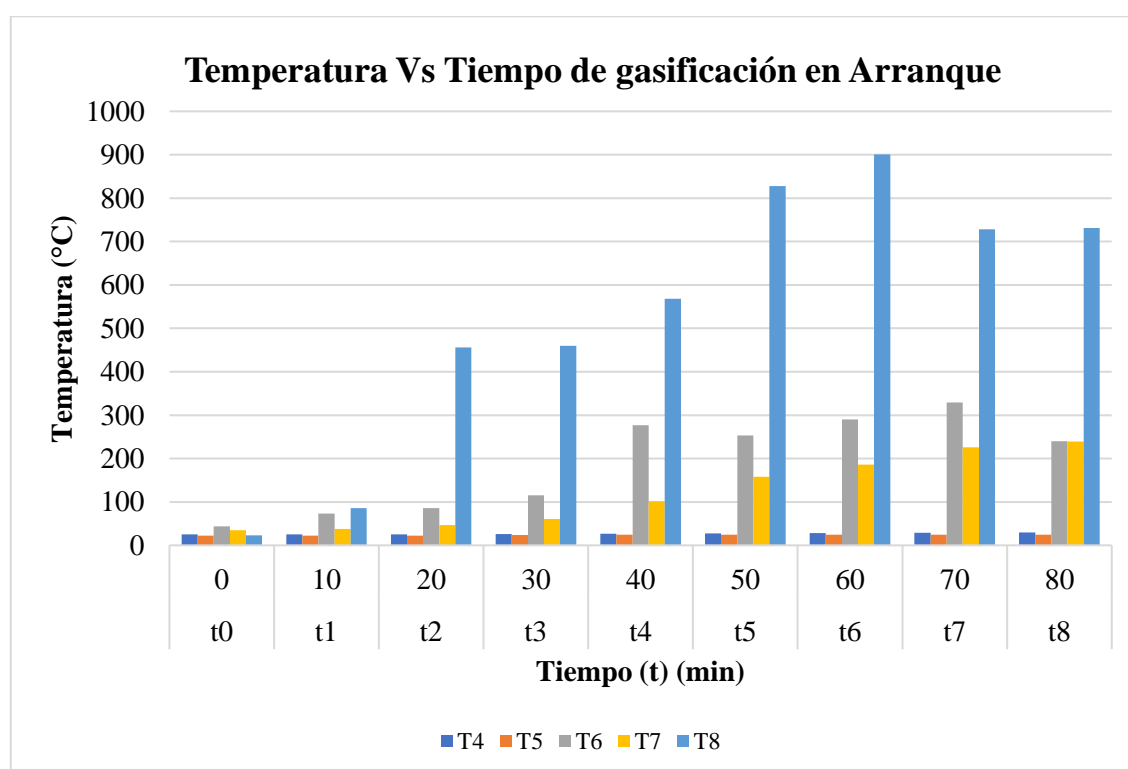


Ilustración 13-3: Datos del arranque del encendido de la cuarta gasificación

Realizados por: Guasco, M.; Alvarado, W. 2023

De igual manera en la Tabla 8-3 se detalla los datos de las temperaturas tomadas durante la gasificación. las temperaturas adquiridas cada 15 minutos durante el proceso de la gasificación.

Tabla 8-3: Recolección de datos del cuarto proceso de gasificación

Tiempo (t) (min)		Temperatura (°C)				
		T4	T5	T6	T7	T8
t0	0	29,5	24,7	240	239	731
t1	15	29,8	24,8	286	265	734
t2	30	31,2	24,7	285	302	584
t3	45	32,5	24,3	275	315	524
t4	60	33,6	23,9	287	325	898
t5	75	34	23,6	302	362	918
t6	90	35,8	23,6	315	378	876
t7	105	36	23,7	335	389	858

Realizados por: Guasco, M.; Alvarado, W. 2023

En la Ilustración 14-3 se puede observar la gráfica de las temperaturas adquiridas cada 15 minutos durante el proceso de la gasificación.

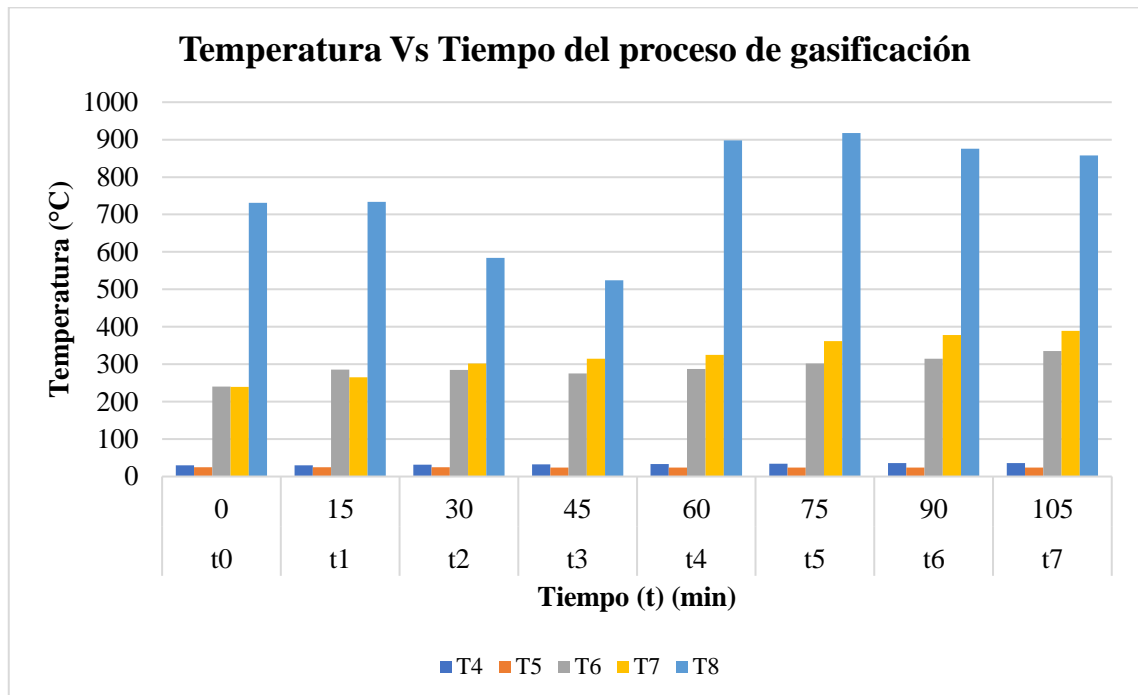


Ilustración 14-3: Recolección de datos del cuarto proceso de gasificación

Realizados por: Guasco, M.; Alvarado, W. 2023

Quinta gasificación

En el proceso de la quinta gasificación se realiza con el 100% de Aserrín de igual forma se tomó en cuenta el procedimiento de las gasificaciones anteriores, 2 horas, la llama se mantuvo constante durante 30 minutos con un color azul. En la Tabla 9-3 se observa los datos de las temperaturas tomadas durante antes de proceder al cerrado de las tapas del gasificador.

Tabla 9-3: Datos del arranque del encendido de la quinta gasificación.

Tiempo (t) (min)		Temperatura (°C)				
		T4	T5	T6	T7	T8
t0	0	18,8	19,5	21	24	26
t1	10	18,2	17,5	59	53	83
t2	20	18,4	17,6	83	60	442
t3	30	18,6	17,8	92	74	495
t4	40	19	17,8	105	77	544
t5	50	19,4	17,8	264	126	598
t6	60	20	18,2	233	155	413
t7	70	21,2	18,6	212	162	587
t8	80	21,6	18,9	205	165	601

Realizados por: Guasco, M.; Alvarado, W. 2023

En Ilustración 15-3 se puede observar la gráfica de las temperaturas de las termocupas adquiridas cada 10 minutos del tablero de control.

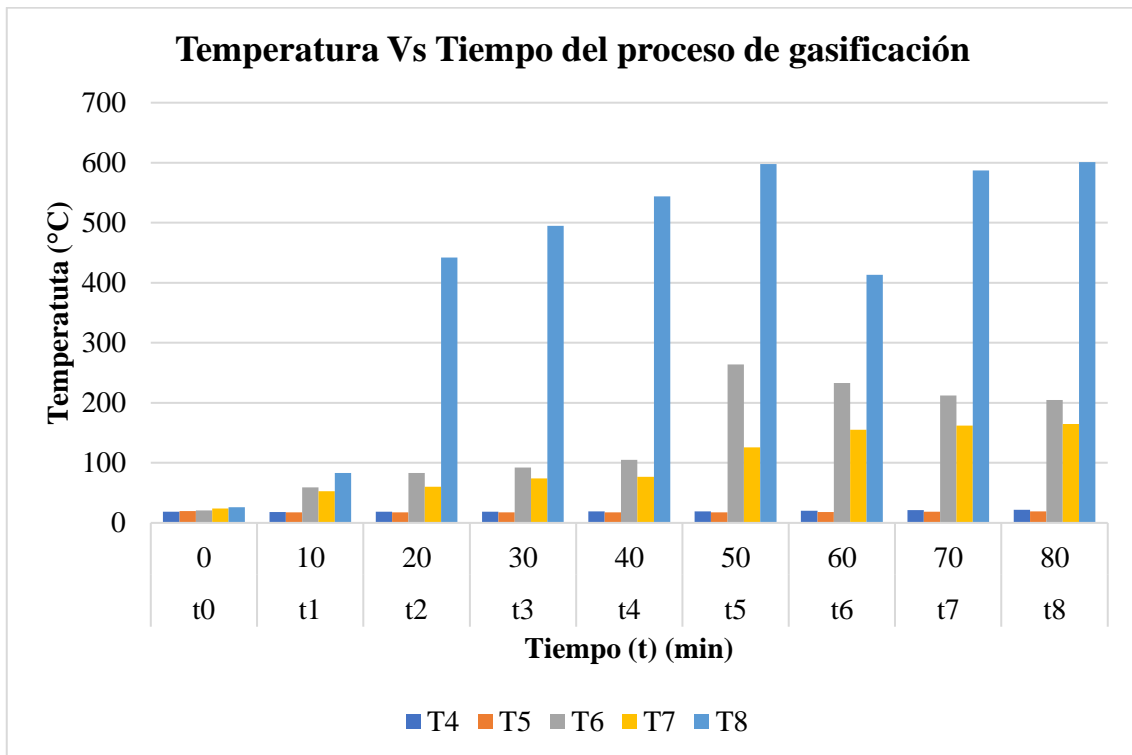


Ilustración 15-3: Datos del arranque del encendido de la quinta gasificación

Realizados por: Guasco, M.; Alvarado, W. 2023

De igual manera en la Tabla 10-3 se detalla los datos de las temperaturas tomadas durante la gasificación. Alimentando la mezcla de biomasa mediante la tolva, cada 10 minutos para que no se ahogue la llama y así no tener inconvenientes durante la gasificación.

Tabla 10-3: Recolección de datos del tercer proceso de gasificación

Tiempo (t) (min)		Temperatura (°C)				
		T4	T5	T6	T7	T8
t0	0	21,6	18,9	205	165	601
t1	15	22	19,6	198	168	650
t2	30	23,6	20,3	286	205	761
t3	45	25,3	21,2	260	245	827
t4	60	27	20,8	267	257	890
t5	75	28,5	20,4	323	275	761
t6	90	29,1	21,6	370	300	650
t7	105	29,2	21,8	385	325	637

Realizados por: Guasco, M.; Alvarado, W. 2023

En la Ilustración 16-3 se puede observar la gráfica de las temperaturas adquiridas cada 15 minutos durante el proceso de la gasificación.

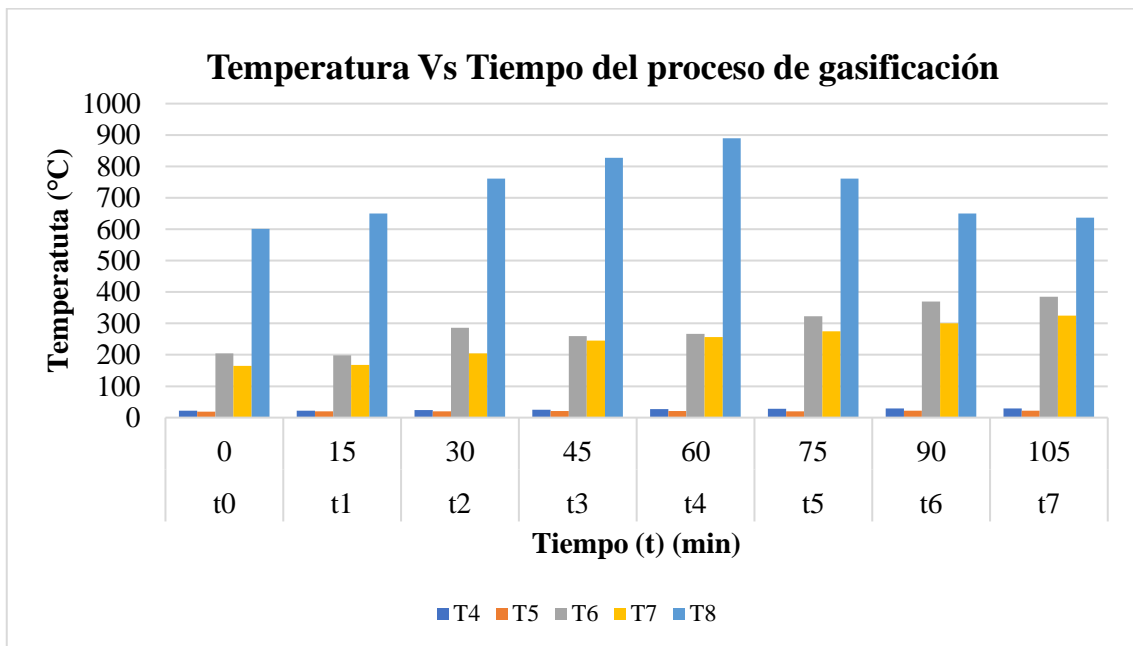


Ilustración 16-3: Recolección de datos del quinto proceso de gasificación

Realizados por: Guasco, M.; Alvarado, W. 2023



Ilustración 17-3: Ceniza y Carbón

Realizado por: Guasco, M.; Alvarado, W. 2023

Después de la gasificación se procede a separar la ceniza y el carbón para realizar su respectivo pesado, para saber cuánto de ceniza y de carbón se acumuló de todo el proceso de gasificación.

3.2. Nivel de Investigación

En este proyecto de investigación de acuerdo con los estudios realizados es explotaría por que se acoge las características de un estudio de campo y de investigación para la caracterización del Syngas que se obtiene a partir de la mezcla de Aserrín y Cascarilla de Arroz.

3.3. Diseño de investigación

La caracterización del Syngas tiene el siguiente procedimiento a seguir por lo que se sugiere buscar la materia prima con la que se va a gasificar, en este caso se gasifica Aserrín y Cascarilla de Arroz, para una buena obtención de Syngas se debe llevar el gas en fundas tedlar y estas deben ser lavadas por lo menos tres veces mediante el mismo gas, este proceso lleva al menos una duración de una hora por cada lavada que se realizará el análisis, después se analizó el peso por lo que depende la gasificación de este, la humedad y el oxígeno son parámetros constantes para esta investigación.

Mediante el termómetro higrómetro con punto de rocío ambiental y temperatura de bulbo húmedo en interiores y exteriores, se tomó la humedad con un porcentaje de 9,068% de la biomasa (Aserrín y Cascarilla de Arroz), y el oxígeno mediante un Blower de 4HP. Acogiendo a las recomendaciones de las búsquedas bibliográficas recopiladas se realiza el quemado de Aserrín durante un tiempo de dos horas hasta alcanzar una temperatura superior a los 550°C, a mayor temperatura mejor producción de Syngas, como siguiente paso es proceder al cerrado de las tapas laterales de la cámara de ceniza y alimentar desde la tolva en proporciones según lo requiera para que no produzca un ahogamiento con la finalidad que no se apague la llama, de esta forma se manipula la palanca de la tolva en un determinado tiempo hasta obtener una llamada de tipo azul en donde se visualiza que es la mejor combustión de Syngas.

3.3.1. *Según la manipulación o no de la variable independiente*

las biomazas en los análisis realizados en los diferentes porcentajes que se desarrollan son de 75/25%, 50/50% y 25/75% de Aserrín y Cascarilla de Arroz, ha demostrado el mejoramiento de Syngas que se ha obtenido mediante la gasificación de la combinación de mezclas entre las dos

materias primas recolectadas.

3.3.2. *Según las intervenciones en el trabajo de campo*

los porcentajes de Aserrín y Cascarilla de Arroz es de 75/25% en su primera gasificación, la segunda de Aserrín y Cascarilla de Arroz es de 50/50% y la tercera de Aserrín y Cascarilla de Arroz es de 25/75% mediante estos porcentajes se han desarrollado tres tipos de análisis de gasificación en un promedio de 20 días por lo que se da un mantenimiento preventivo al gasificador para que las muestras enviadas al laboratorio sean de calidad y eficiencia para el desarrollo del análisis que se desea obtener.

3.4. *Tipo de estudio*

Nuestro estudio se basa en el tipo exploratorio por lo que se ha planteado una hipótesis para el desarrollo de la caracterización del Syngas a través de Aserrín y Cascarilla de Arroz.

3.5. *Población y Planificación, selección y cálculo del tamaño de la muestra*

3.5.1. *Población*

En la ciudad de Riobamba existe varios aserraderos que desechan el Aserrín y no es aprovechada en su totalidad ya que es una de las fuentes de mayor ingreso, por esta razón se va a provechar el Aserrín en la gasificación para la obtención del Syngas ya que esto nos ayuda a disminuir la Contaminación Ambiental.

3.5.2. *Variables*

3.5.2.1. *Variable Independiente*

Porcentaje de mezcla entre Aserrín y Cascarilla de Arroz

3.5.2.2. *Variable Dependiente*

Calidad del Syngas

3.5.3. Muestra

En la presente investigación la muestra manipulada es del Aserrín y la Cascarilla de Arroz de aserraderos y distribuidoras de la ciudad de Riobamba, siendo así se tomó la muestra de un porcentaje requerido de 30 kg entre Aserrín y CA para cada gasificación, hablando esto en saquillos grandes es de seis de Aserrín y de CA es de dos saquillos pequeños

3.6. Métodos, técnicas e instrumentos de investigación

Métodos:

La actual investigación es de enfoque cualitativo y cuantitativo, para determinar la caracterización de la generación de Syngas mediante la gasificación de la mezcla de Aserrín y la Cascarilla de Arroz.

Técnicas:

Una de las principales técnicas realizadas en la investigación es obtener el Syngas mediante la gasificación, además para poder acumular se realizó el lavado de las bolsas tedlar, para que a su vez quede limpio de impurezas ambientales.

Instrumentos:

Captura de datos

Captura de flujo

Análisis de laboratorio

3.6.1. Fuentes primarias

Artículos científicos

Tesis de maestría

Tesis de doctorados

Libros indexados

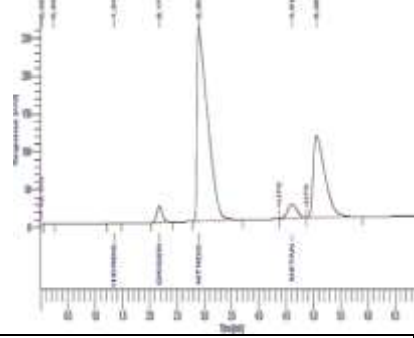
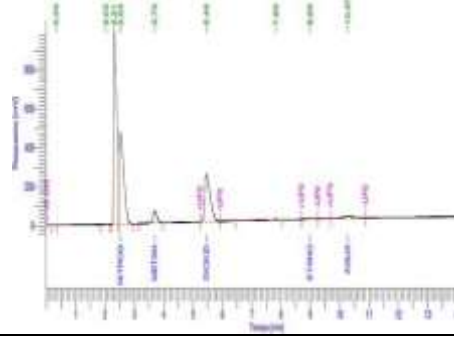

3.6.2. Fuentes secundarias

Información proporcionada por el director y asesor de integración curricular.

CAPITULO IV

4. MARCO DE ANÁLISIS E INTERPRETACIÓN DE RESULTADOS

Tabla 1-4: Resultado de la primera gasificación del Syngas

PARÁMETROS DE LA MUESTRA				
Identificación:	M.LAI-022-74-01	Fecha de muestreo	05/12/2022	
Tipo de muestra:	Gas de síntesis/ Syngas Muestra 1	Plan de muestreo		
Tipo de contenedor:	Bolsa tedlar	Fecha de inicio del ensayo:	08/12/2022	
Fecha de recepción:	6/12/2022	Fecha de entrega del informe:	14/12/2022	
CONDICIONES DE TRABAJO				
Temperatura y % HR ambiente:	19,5 °C	38,0 %	Norma de referencia	ASTM 1945: Cromatografía
Temperatura y presión de muestra:	66,0 °F	0,7 PSI	Procedimiento interno	PE-7,2-01
	18,9 °C	4895,3 Pa		PE-7,2-02
RESULTADOS				
COMPOSICIÓN	COMPONENTE		%Moles	Desv. Std
	Hidrogeno		23,51	0,1438
	Oxigeno		2,73	0,67
	Nitrógeno		26,96	0,73
	Monóxido de carbono		29,25	0,055
	Metano		4,43	0,04
	Dióxido de carbono		14,98	0,14
	Etano		0,26	0,00
Agua		1,26	0,05	
PROPIEDADES	Densidad relativa		0,85	
	Peso molecular promedio [g/mol]		24,45	
	Densidad de la muestra		1,03	
	Poder calorífico superior inferior [kJ/m3]		7788,05	
	Poder calorífico inferior [kJ/m3]		7186,50	
	Factor de compresibilidad (z)		1,0000	
CROMATOGRAMA				
				
Ilustración 1-4: Columna 13 X 45/60 (Cuantificación de nitrógeno y oxígeno)		Ilustración 2-4: Columna Porapak Q 80/100 (Cuantificación de hidrocarburos)		Ilustración 3-4: Muestra del Syngas

Realizado por: Guasco, M.; Alvarado, W. 2023

4.1. Cálculos del poder calorífico del Syngas de las 5 gasificaciones

4.1.1. Cálculo del poder calorífico del Syngas obtenido de la primera gasificación

Para encontrar el valor del poder calorífico superior (PCS) e inferior (PCI) del Syngas se utilizan las ecuaciones 22-2 y 23-2, que se describió en el capítulo 2.

Poder calorífico superior

$$\begin{aligned} \text{PCS} \left(\frac{\text{kcal}}{\text{kg}} \right) &= (n_{\text{H}_2} \text{H}_2) (33900) + (n_{\text{CH}_4} \text{CH}_4) (13249) + (n_{\text{CO}} \text{CO}) (2412) \\ &\quad + (n_{\text{C}_2\text{H}_6} \text{C}_2\text{H}_6) (12384) + (n_{\text{N}_2} \text{N}_2) (12018) \\ &\quad + (n_{\text{CO}_2} \text{CO}_2) (11929) + (n_{\text{O}_2} \text{O}_2) (12009) \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} \text{PCS} \left(\frac{\text{kcal}}{\text{kg}} \right) &= (23.51)(33900) + (4.43)(13249) + (29.25)(2412) \\ &\quad + (0.26)(12384) + (26.96)(12018) \\ &\quad + (14.98)(11929) + (2.73)(12009) \end{aligned}$$

$$\text{PCS} = 24559,962 \frac{\text{kcal}}{\text{kg}}$$

$$\text{PCS} = 24559,962 \frac{\text{kcal}}{\text{kg}} \times \frac{\text{MJ}}{\text{m}_3} \times \frac{\text{kg}}{238,8 \text{kcal}}$$

$$\text{PCS} = 5864918,9256 \left(\frac{\text{kJ}}{\text{m}_3} \right)$$

Poder calorífico inferior

$$\begin{aligned} \text{PCI} \left(\frac{\text{kcal}}{\text{kg}} \right) &= (n_{\text{H}_2} \text{H}_2) (28642) + (n_{\text{CH}_4} \text{CH}_4) (11940) + (n_{\text{CO}} \text{CO}) (2412) \\ &\quad + (n_{\text{C}_2\text{H}_6} \text{C}_2\text{H}_6) (11336) + (n_{\text{N}_2} \text{N}_2) (11065) \\ &\quad + (n_{\text{CO}_2} \text{CO}_2) (11527) + (n_{\text{O}_2} \text{O}_2) (11260) \end{aligned}$$

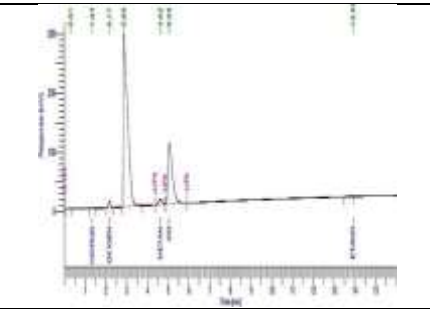
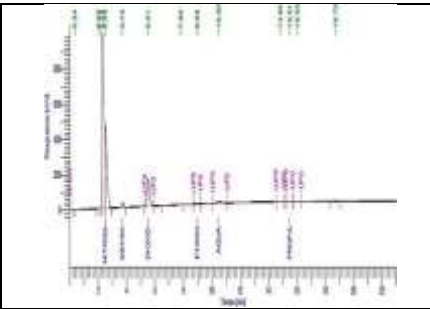

$$\begin{aligned} \text{PCI} \left(\frac{\text{kcal}}{\text{kg}} \right) &= (23.51)(28642) + (4.43)(11940) + (29.25)(2412) \\ &\quad + (0.26)(11336) + (26.96)(11065) \\ &\quad + (14.98)(11527) + (2.73)(11260) \end{aligned}$$

$$PCI=909274,43 \frac{\text{kcal}}{\text{kg}}$$

$$PCI=909274,43 \frac{\text{kcal}}{\text{kg}} \times \frac{\text{MJ}}{\text{m}_3} \times \frac{\text{kg}}{238,8\text{kcal}}$$

$$PCI=392207,0519 \left(\frac{\text{kJ}}{\text{m}_3} \right)$$

Tabla 2-4: Resultado de la segunda gasificación del Syngas

PARÁMETROS DE LA MUESTRA				
Identificación:	M.LAI-022-74-02	Fecha de muestreo	10/1/2023	
Tipo de muestra:	Gas de síntesis/ Syngas Muestra 2	Plan de muestreo		
Tipo de contenedor:	Bolsa tedlar	Fecha de inicio del ensayo:	12/1/2023	
Fecha de recepción:	11/1/2023	Fecha de entrega del informe:	20/1/2023	
CONDICIONES DE TRABAJO				
Temperatura y % HR ambiente:	17,5 °C	45,0 %	Norma de referencia	
			ASTM 1945: Cromatografía	
Temperatura y presión de muestra:	66,0 °F	0,7 PSI	Procedimiento interno	
	18,9 °C	4895,3 Pa		PE-7,2-01 PE-7,2-02
RESULTADOS				
COMPOSICIÓN	COMPONENTE		%Moles	Desv. Std
	Hidrogeno		21,20	0,67
	Oxigeno		1,10	0,0220
	Nitrógeno		34,71	0,4835
	Monóxido de carbono		28,328	0,2167
	Metano		1,04	0,0116
	Dióxido de carbono		9,10	0,1073
	Etano		0,09	0,0020
	Agua		1,09	0,0852
Propano		0,01	0,0005	
PROPIEDADES	Densidad relativa		0,81	
	Peso molecular promedio [g/mol]		23,26	
	Densidad de la muestra		0,98	
	Poder calorífico superior inferior [kJ/m3]		6826,66	
	Poder calorífico inferior [kJ/m3]		6320,61	
	Factor de compresibilidad (z)		1,0000	
CROMATOGRAMA				
				
Ilustración 4-4: Columna 13 X 45/60 (Cuantificación de nitrógeno y oxígeno)	Ilustración 5-4: Columna Porapak Q 80/100 (Cuantificación de hidrocarburos)	Ilustración 6-4: Muestra del Syngas		

Realizado por: Guasco, M.; Alvarado, W. 2023

4.1.2. Cálculo del poder calorífico del Syngas obtenido de la segunda gasificación

Para encontrar el valor del poder calorífico superior (PCS) e inferior (PCI) del Syngas se utilizan las Ecuaciones 22-2 y 23-2, que se describió en el capítulo 2.

Poder calorífico superior

$$\begin{aligned}
 \text{PCS} \left(\frac{\text{kcal}}{\text{kg}} \right) &= (n_{\text{H}_2} \text{H}_2) (33900) + (n_{\text{CH}_4} \text{CH}_4) (13249) + (n_{\text{CO}} \text{CO}) (2412) \\
 &\quad + (n_{\text{C}_2} \text{C}_2\text{H}_6) (12384) + (n_{\text{N}_2} \text{N}_2) (12018) \\
 &\quad + (n_{\text{CO}_2} \text{CO}_2) (11929) + (n_{\text{O}_2} \text{O}_2) (12009) \\
 \text{PCS} \left(\frac{\text{kcal}}{\text{kg}} \right) &= (21.20)(33900) + (1.04)(13249) + (28.32)(2412) \\
 &\quad + (0.09)(12384) + (34.71)(12018) \\
 &\quad + (9.10)(11929) + (1.10)(12009) \\
 \text{PCS} &= 22158,1584 \frac{\text{kcal}}{\text{kg}} \\
 \text{PCS} &= 22158,1584 \frac{\text{kcal}}{\text{kg}} \times \frac{\text{MJ}}{\text{m}_3} \times \frac{\text{kg}}{238,8 \text{kcal}} \\
 \text{PCS} &= 5291368,2259 \left(\frac{\text{kJ}}{\text{m}_3} \right)
 \end{aligned}$$

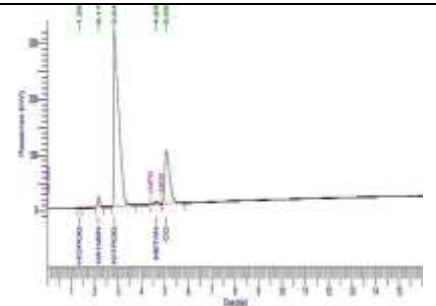
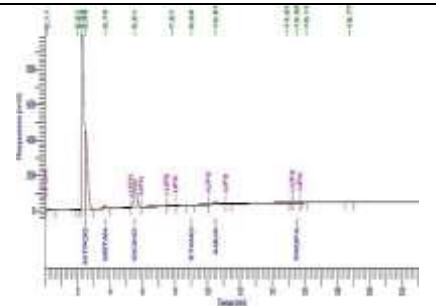

Poder calorífico inferior

$$\begin{aligned}
 \text{PCI} \left(\frac{\text{kcal}}{\text{kg}} \right) &= (n_{\text{H}_2} \text{H}_2) (28642) + (n_{\text{CH}_4} \text{CH}_4) (11940) + (n_{\text{CO}} \text{CO}) (2412) \\
 &\quad + (n_{\text{C}_2} \text{C}_2\text{H}_6) (11336) + (n_{\text{N}_2} \text{N}_2) (11065) \\
 &\quad + (n_{\text{CO}_2} \text{CO}_2) (11527) + (n_{\text{O}_2} \text{O}_2) (11260) \\
 \text{PCI} \left(\frac{\text{kcal}}{\text{kg}} \right) &= (21.20)(28642) + (1.04)(11940) + (28.32)(2412) \\
 &\quad + (0.09)(11336) + (34.71)(11065) \\
 &\quad + (9.10)(11527) + (1.10)(11260) \\
 \text{PCI} &= 665171,74 \frac{\text{kcal}}{\text{kg}}
 \end{aligned}$$

$$PCI=665171,74 \frac{\text{kcal}}{\text{kg}} \times \frac{\text{MJ}}{\text{m}_3} \times \frac{\text{kg}}{238,8\text{kcal}}$$

$$PCI=5918490608,9371 \left(\frac{\text{kJ}}{\text{m}_3} \right)$$

Tabla 3-4: Resultado de la tercera gasificación del Syngas

PARÁMETROS DE LA MUESTRA				
Identificación:	M.LAI-022-74-03	Fecha de muestreo	12/1/2023	
Tipo de muestra:	Gas de síntesis/ Syngas Muestra 3	Plan de muestreo		
Tipo de contenedor:	Bolsa tedlar	Fecha de inicio del ensayo:	16/1/2023	
Fecha de recepción:	13/1/2023	Fecha de entrega del informe:	20/1/2023	
CONDICIONES DE TRABAJO				
Temperatura y % HR ambiente:	17,0 °C	47,0 %	Norma de referencia	ASTM 1945: Cromatografía
Temperatura y presión de muestra:	66,0 °F	0,7 PSI	Procedimiento interno	PE-7,2-01 PE-7,2-02
	18,9 °C	4895,3 Pa		
RESULTADOS				
COMPOSICIÓN	COMPONENTE		%Moles	Desv. Std
	Hidrogeno		16,767	0,1981
	Oxigeno		1,948	0,0138
	Nitrógeno		40,649	0,3197
	Monóxido de carbono		28,18	1,02
	Metano		0,603	0,0112
	Dióxido de carbono		10,452	0,2277
	Etano		0,054	0,0108
	Agua		1,192	0,0799
Propano		0,005	0,0002	
PROPIEDADES	Densidad relativa		0,88	
	Peso molecular promedio [g/mol]		25,30	
	Densidad de la muestra		1,06	
	Poder calorífico superior inferior [kJ/m3]		5697,90	
	Poder calorífico inferior [kJ/m3]		5335,29	
	Factor de compresibilidad (z)		1,0000	
CROMATOGRAMA				
				
Ilustración 7-4: Columna 13 X 45/60 (Cuantificación de nitrógeno y oxígeno)	Ilustración 8-4: Columna Porapack Q 80/100 (Cuantificación de hidrocarburos)	Ilustración 9-4: Muestra del Syngas		

Realizado por: Guasco, M.; Alvarado, W. 2023

4.1.3. Cálculo del poder calorífico del Syngas obtenido de la tercera gasificación

Para encontrar el valor del poder calorífico superior (PCS) e inferior (PCI) del Syngas se utilizan las Ecuaciones 22-2 y 23-2, que se describió en el capítulo 2.

Poder calorífico superior

$$\begin{aligned}
 \text{PCS} \left(\frac{\text{kcal}}{\text{kg}} \right) &= (n_{\text{H}_2} \text{H}_2) (33900) + (n_{\text{CH}_4} \text{CH}_4) (13249) + (n_{\text{CO}} \text{CO}) (2412) \\
 &\quad + (n_{\text{C}_2} \text{C}_2\text{H}_6) (12384) + (n_{\text{N}_2} \text{N}_2) (12018) \\
 &\quad + (n_{\text{CO}_2} \text{CO}_2) (11929) + (n_{\text{O}_2} \text{O}_2) (12009) \\
 \text{PCS} \left(\frac{\text{kcal}}{\text{kg}} \right) &= (16.767)(33900) + (0.603)(13249) + (28.18)(2412) \\
 &\quad + (0.054)(12384) + (40.649)(12018) \\
 &\quad + (10.452)(11929) + (1.948)(12009) \\
 \text{PCS} &= 721475,336 \frac{\text{kcal}}{\text{kg}} \\
 \text{PCS} &= 721475,336 \frac{\text{kcal}}{\text{kg}} \times \frac{\text{MJ}}{\text{m}_3} \times \frac{\text{kg}}{238,8\text{kcal}} \\
 \text{PCS} &= 6419462,4394 \left(\frac{\text{kJ}}{\text{m}_3} \right)
 \end{aligned}$$

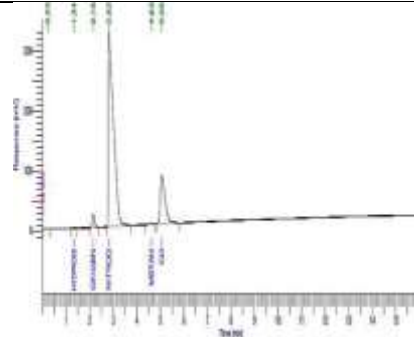
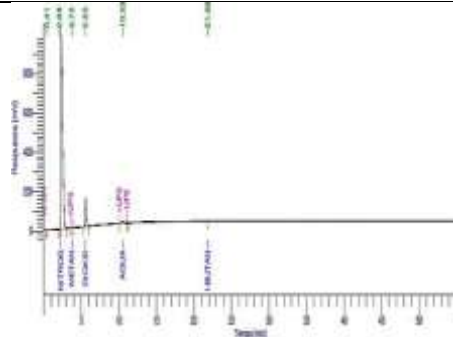

Poder calorífico inferior

$$\begin{aligned}
 \text{PCI} \left(\frac{\text{kcal}}{\text{kg}} \right) &= (n_{\text{H}_2} \text{H}_2) (28642) + (n_{\text{CH}_4} \text{CH}_4) (11940) + (n_{\text{CO}} \text{CO}) (2412) \\
 &\quad + (n_{\text{C}_2} \text{C}_2\text{H}_6) (11336) + (n_{\text{N}_2} \text{N}_2) (11065) \\
 &\quad + (n_{\text{CO}_2} \text{CO}_2) (11527) + (n_{\text{O}_2} \text{O}_2) (11260) \\
 \text{PCI} \left(\frac{\text{kcal}}{\text{kg}} \right) &= (16.767)(28642) + (0.603)(11940) + (28.18)(2412) \\
 &\quad + (0.054)(11336) + (40.649)(11065) \\
 &\quad + (10.452)(11527) + (1.948)(11260) \\
 \text{PCI} &= 22036,4794 \frac{\text{kcal}}{\text{kg}}
 \end{aligned}$$

$$PCI=22036,4794 \frac{\text{kcal}}{\text{kg}} \times \frac{\text{MJ}}{\text{m}_3} \times \frac{\text{kg}}{238,8\text{kcal}}$$

$$PCI=5262311,2712 \left(\frac{\text{kJ}}{\text{m}_3} \right)$$

Tabla 4-4: Resultado de la cuarta gasificación del Syngas

PARÁMETROS DE LA MUESTRA			
Identificación:	M-LAI-022-85-01	Fecha de muestreo	16/1/2023
Tipo de muestra:	Gas de síntesis/ Syngas Muestra 4	Plan de muestreo	
Tipo de contenedor:	Bolsa tedlar	Fecha de inicio del ensayo:	18/1/2023
Fecha de recepción:	17/1/2023	Fecha de entrega del informe:	22/1/2023
CONDICIONES DE TRABAJO			
Temperatura y % HR ambiente:	17,0 °C	47,0 %	Norma de referencia ASTM 1945: Cromatografía
Temperatura y presión de muestra:	66,0 °F	0,7 PSI	Procedimiento interno PE-7,2-01 PE-7,2-02
	18,9 °C	4895,3 Pa	
RESULTADOS			
	COMPONENTE	%Moles	Desv. Std
COMPOSICIÓN	Hidrogeno	12,22	0,06
	Oxigeno	2,72	0,07
	Nitrógeno	48,05	0,84
	Monóxido de carbono	25,84	0,44
	Metano	0,17	0,00
	Dióxido de carbono	9,96	0,20
	Agua	1,04	0,08
PROPIEDADES	Densidad relativa	0,92	
	Peso molecular promedio [g/mol]	26,50	
	Densidad de la muestra	1,12	
	Poder calorífico superior inferior [kJ/m3]	4644,99	
	Poder calorífico inferior [kJ/m3]	4390,17	
	Factor de compresibilidad (z)	1,0000	
CROMATOGRAMA			
			
Ilustración 10-4: Columna 13 X 45/60 (Cuantificación de nitrógeno y oxígeno)	Ilustración 11-4: Columna Porapak Q 80/100 (Cuantificación de hidrocarburos)	Ilustración 12-4: Muestra del Syngas	

Realizado por: Guasco, M.; Alvarado, W. 2023

4.1.4. Cálculo del poder calorífico del Syngas obtenido de la cuarta gasificación

Para encontrar el valor del poder calorífico superior (PCS) e inferior (PCI) del Syngas se utilizan

las Ecuaciones 22-2 y 23-2, que se describió en el capítulo 2.

Poder calorífico superior

$$\begin{aligned} \text{PCS} \left(\frac{\text{kcal}}{\text{kg}} \right) &= (n_{\text{H}_2} \text{H}_2) (33900) + (n_{\text{CH}_4} \text{CH}_4) (13249) + (n_{\text{CO}} \text{CO}) (2412) \\ &+ (n_{\text{C}_2} \text{C}_2 \text{H}_6) (12384) + (n_{\text{N}_2} \text{N}_2) (12018) \\ &+ (n_{\text{CO}_2} \text{CO}_2) (11929) + (n_{\text{O}_2} \text{O}_2) (12009) \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} \text{PCS} \left(\frac{\text{kcal}}{\text{kg}} \right) &= (12.22)(33900) + (0.17)(13249) + (25.84)(2412) \\ &+ (1.04)(12384) + (48.05)(12018) \\ &+ (9.96)(11929) + (2.72)(12009) \end{aligned}$$

$$\text{PCS} = 20307,756 \frac{\text{kcal}}{\text{kg}}$$

$$\text{PCS} = 20307,756 \frac{\text{kcal}}{\text{kg}} \times \frac{\text{MJ}}{\text{m}_3} \times \frac{\text{kg}}{238,8 \text{kcal}}$$

$$\text{PCS} = 4849492,1328 \left(\frac{\text{kJ}}{\text{m}_3} \right)$$

Poder calorífico inferior

$$\begin{aligned} \text{PCI} \left(\frac{\text{kcal}}{\text{kg}} \right) &= (n_{\text{H}_2} \text{H}_2) (28642) + (n_{\text{CH}_4} \text{CH}_4) (11940) + (n_{\text{CO}} \text{CO}) (2412) \\ &+ (n_{\text{C}_2} \text{C}_2 \text{H}_6) (11336) + (n_{\text{N}_2} \text{N}_2) (11065) \\ &+ (n_{\text{CO}_2} \text{CO}_2) (11527) + (n_{\text{O}_2} \text{O}_2) (11260) \end{aligned}$$

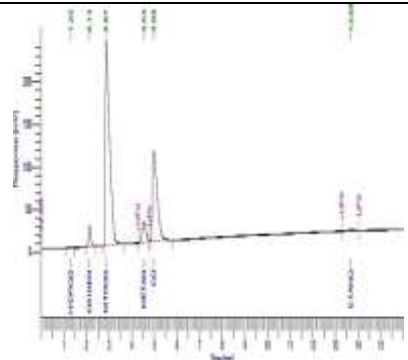
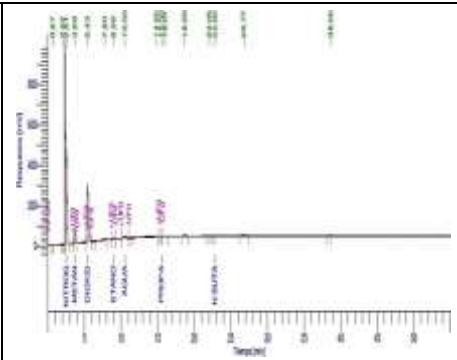

$$\begin{aligned} \text{PCI} \left(\frac{\text{kcal}}{\text{kg}} \right) &= (12.22)(28642) + (0.17)(11940) + (25.84)(2412) \\ &+ (1.04)(11336) + (48.05)(11065) \\ &+ (9.96)(11527) + (2.72)(11260) \end{aligned}$$

$$\text{PCI} = 775223,15 \frac{\text{kcal}}{\text{kg}}$$

$$\text{PCI} = 775223,15 \frac{\text{kcal}}{\text{kg}} \times \frac{\text{MJ}}{\text{m}_3} \times \frac{\text{kg}}{238,8 \text{kcal}}$$

$$\text{PCI} = 6897693,7191 \left(\frac{\text{kJ}}{\text{m}_3} \right)$$

Tabla 5-4: Resultado de la quinta gasificación del Syngas

PARÁMETROS DE LA MUESTRA				
Identificación:	M-LAI-022-85-02	Fecha de muestreo	26/1/2023	
Tipo de muestra:	Gas de síntesis/ Syngas Muestra 5	Plan de muestreo		
Tipo de contenedor:	Bolsa tedlar	Fecha de inicio del ensayo:	30/1/2023	
Fecha de recepción:	27/1/2023	Fecha de entrega del informe:	2/2/2023	
CONDICIONES DE TRABAJO				
Temperatura y % HR ambiente:	18,0 °C	45,0 %	ASTM 1945: Cromatografía	
Temperatura y presión de muestra:	65,5 °F	0,7 PSI	Procedimiento interno PE-7,2-01 PE-7,2-02	
	18,6 °C	4895,3 Pa		
RESULTADOS				
COMPOSICIÓN	COMPONENTE		%Moles	Desv. Std
	Hidrogeno		29,50	0,147
	Oxigeno		2,57	0,082
	Nitrógeno		25,17	0,189
	Monóxido de carbono		29,34	36,02
	Metano		2,70	0,023
	Dióxido de carbono		19,56	0,331
	Etano		0,27	0,020
	Agua		0,95	0,216
Propano		0,03	0,003	
PROPIEDADES	Densidad relativa		0,90	
	Peso molecular promedio [g/mol]		25,86	
	Densidad de la muestra		1,09	
	Poder calorífico superior inferior [kJ/m3]		7088,65	
	Poder calorífico inferior [kJ/m3]		6586,71	
	Factor de compresibilidad (z)		1,0000	
CROMATOGRAMA				
				
Ilustración 13-4: Columna 13 X 45/60 (Cuantificación de nitrógeno y oxígeno)	Ilustración 14-4: Columna Porapak Q 80/100 (Cuantificación de hidrocarburos)	Ilustración 15-4: Muestra del Syngas		

Realizado por: Guasco, M.; Alvarado, W. 2023

4.1.5. Cálculo del poder calorífico del Syngas obtenido de la quinta gasificación

Para encontrar el valor del poder calorífico superior (PCS) e inferior (PCI) del Syngas se utilizan las Ecuaciones 22-2 y 23-2, que se describió en el capítulo 2.

Poder calorífico superior

$$\begin{aligned} \text{PCS} \left(\frac{\text{kcal}}{\text{kg}} \right) &= (n_{\text{H}_2} \text{H}_2) (33900) + (n_{\text{CH}_4} \text{CH}_4) (13249) + (n_{\text{CO}} \text{CO}) (2412) \\ &+ (n_{\text{C}_2} \text{C}_2 \text{H}_6) (12384) + (n_{\text{N}_2} \text{N}_2) (12018) \\ &+ (n_{\text{CO}_2} \text{CO}_2) (11929) + (n_{\text{O}_2} \text{O}_2) (12009) \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} \text{PCS} \left(\frac{\text{kcal}}{\text{kg}} \right) &= (29,5)(33900) + (2,7)(13249) + (29,34)(2412) \\ &+ (0,27)(12384) + (25,17)(12018) \\ &+ (19,56)(11929) + (2,57)(12009) \end{aligned}$$

$$\text{PCS} = 29051,8116 \frac{\text{kcal}}{\text{kg}}$$

$$\text{PCS} = 29051,8116 \frac{\text{kcal}}{\text{kg}} \times \frac{\text{MJ}}{\text{m}_3} \times \frac{\text{kg}}{238,8 \text{kcal}}$$

$$\text{PCS} = 6937572,6101 \left(\frac{\text{kJ}}{\text{m}_3} \right)$$

Poder calorífico inferior

$$\begin{aligned} \text{PCI} \left(\frac{\text{kcal}}{\text{kg}} \right) &= (n_{\text{H}_2} \text{H}_2) (28642) + (n_{\text{CH}_4} \text{CH}_4) (11940) + (n_{\text{CO}} \text{CO}) (2412) \\ &+ (n_{\text{C}_2} \text{C}_2 \text{H}_6) (11336) + (n_{\text{N}_2} \text{N}_2) (11065) \\ &+ (n_{\text{CO}_2} \text{CO}_2) (11527) + (n_{\text{O}_2} \text{O}_2) (11260) \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} \text{PCI} \left(\frac{\text{kcal}}{\text{kg}} \right) &= (29,5)(28642) + (2,7)(11940) + (29,34)(2412) \\ &+ (0,27)(11336) + (25,17)(11065) \\ &+ (19,56)(11527) + (2,57)(11260) \end{aligned}$$

$$\text{PCI} = 723250,09 \frac{\text{kcal}}{\text{kg}}$$

$$\text{PCI} = 723250,09 \frac{\text{kcal}}{\text{kg}} \times \frac{\text{MJ}}{\text{m}_3} \times \frac{\text{kg}}{238,8 \text{kcal}}$$

$$\text{PCI} = 6435253,6468 \left(\frac{\text{kJ}}{\text{m}_3} \right)$$

4.2. Análisis y discusión de los resultados de los componentes del Syngas

En esta parte se analizaron los resultados de los componentes del Syngas obtenidos en los cinco procesos de gasificación.

Hidrogeno

Tabla 6-4: Componente Hidrogeno

COMPONENTE			
HIDROGENO (H ₂)			
Biomasa	% de mezclas	% Moles	Desv. Std
Aserrín/Cascarilla de Arroz	100/0	29,5	0,147
	75/25	23,51	0,1438
	50/50	21,2	0,67
	25/75	16,767	0,1981
	0/100	12,22	0,06

Realizado por: Guasco, M.; Alvarado, W. 2023

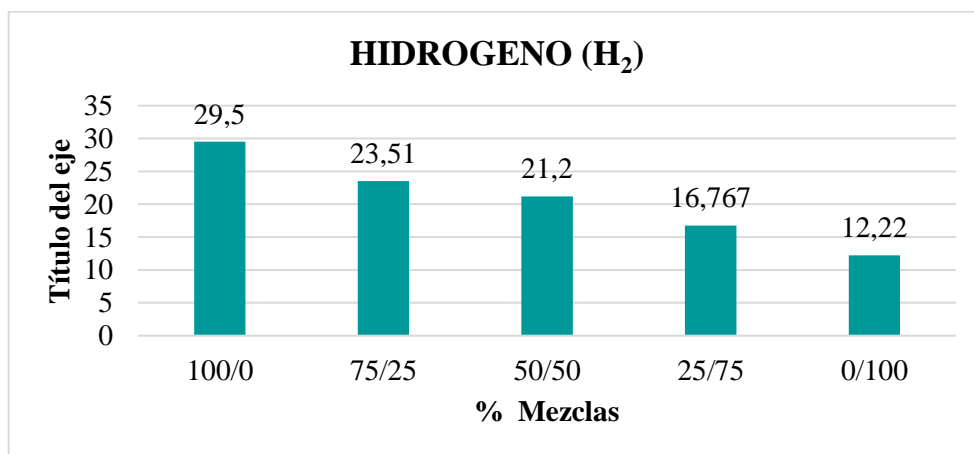


Ilustración 16-4: Componente Hidrogeno

Realizado por: Guasco, M.; Alvarado, W. 2023

En la siguiente Ilustración 16-4 se observa la calidad de Hidrogeno (H₂) en base a los porcentajes de biomasa y porcentaje de moles, por lo tanto, se demuestra que el 100 por ciento de Aserrín el hidrogeno tiene un valor de 29,5% por lo que demuestra tener un alto índice de mejor combustión de Syngas. Al contrario, la Cascarilla de Arroz tiene un bajo porcentaje de moles al ser gasificado al 100% de Cascarilla de Arroz y su valor que alcanza es de 12,22% de moles.

Oxígeno

Tabla 7-4: Componente Oxígeno

COMPONENTE			
OXIGENO (O ₂)			
Biomasa	% de mezclas	%Moles	Desv. Std
Aserrín/Cascarilla de Arroz	100/0	2,57	0,082
	75/25	2,73	0,69
	50/50	1,1	0,022
	25/75	1,948	0,0138
	0/100	2,72	0,07

Realizado por: Guasco, M.; Alvarado, W. 2023

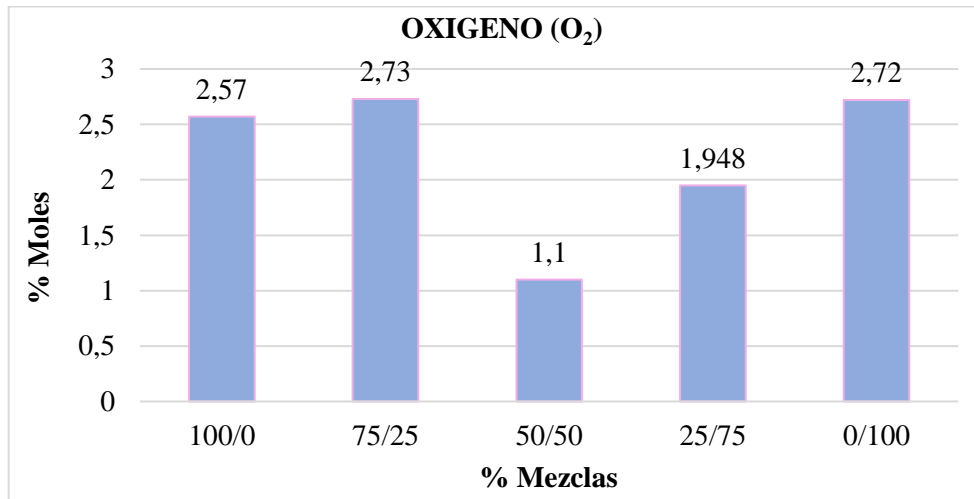


Ilustración 17-4: Componente Oxígeno

Realizado por: Guasco, M.; Alvarado, W. 2023

En la siguiente Ilustración 17-4 se observa la calidad de Oxígeno (O₂) en base a los porcentajes de biomasa y porcentaje de moles, por lo tanto, se demuestra que el 75/25% de mezcla el oxígeno tiene un valor de 2,73% siendo esta la más alta siendo esta la primera gasificación, al visualizar los datos del 50% y 50% hay un pico decreciente de 1,1% con relación a las siguientes gasificaciones realizadas es el más bajo en este tipo de toma de datos, esto ocurre por lo que la primera gasificación se trabajó con una entrada de oxígeno menor, su velocidad de aire es de 34 m³/h, en las siguientes gasificaciones se logró aumentar la velocidad de aire para tener un alto índice de mejor combustión de Syngas en este caso podemos deducir que a menor flujo de aire menor combustión y a mayor mejor combustión.

Nitrógeno

Tabla 8-4: Componente Nitrógeno

COMPONENTE			
NITRÓGENO (N ₂)			
Biomasa	% de mezclas	%Moles	Desv. Std
Aserrín/Cascarilla de Arroz	100/0	25,17	0,189
	75/25	26,96	0,73
	50/50	34,71	0,4835
	25/75	40,649	0,3197
	0/100	48,05	0,84

Realizado por: Guasco, M.; Alvarado, W. 2023

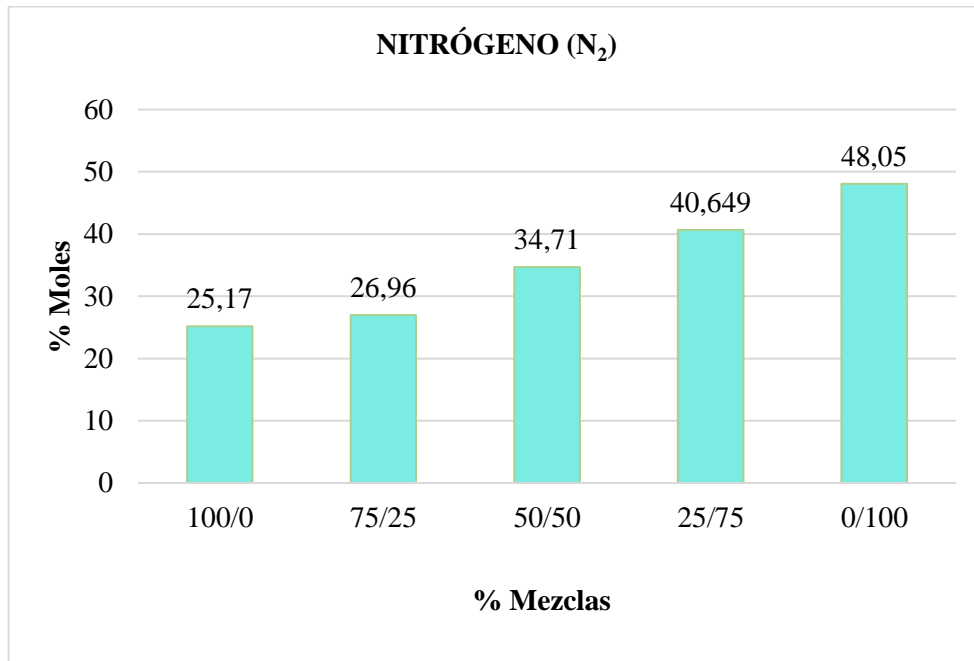


Ilustración 18-4: Componente Nitrógeno

Realizado por: Guasco, M.; Alvarado, W. 2023

En la siguiente Ilustración 18-4 se observa la calidad de Nitrógeno (N₂) en base a los porcentajes de biomasa y porcentaje de moles, por lo tanto, se demuestra que el a menor porcentaje de nitrógeno se tiene mejor combustión de Syngas, observando a detalle se tiene un 25,27% de Nitrógeno al 100% de Aserrín. Al contrario, la Cascarilla de Arroz tiene un alto porcentaje de moles al ser gasificado al 100% y su valor alcanzar es de 48,05% de moles.

Monóxido de Carbono

Tabla 9-4: Componente Monóxido de Carbono

COMPONENTE			
MONÓXIDO DE CARBONO (CO)			
Biomasa	% de mezclas	%Moles	Desv. Std
Aserrín/Cascarilla de Arroz	100/0	29,34	0,3602
	75/25	29,25	0,055
	50/50	28,328	0,2167
	25/75	28,18	1,02
	0/100	25,84	0,44

Realizado por: Guasco, M.; Alvarado, W. 2023

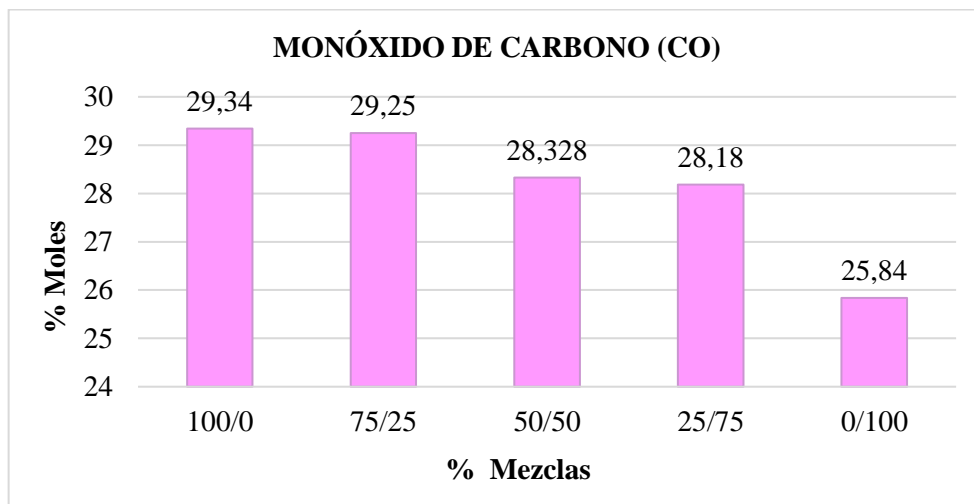


Ilustración 19-4: Componente Monóxido de Carbono

Realizado por: Guasco, M.; Alvarado, W. 2023

En la siguiente Ilustración 19-4 se observa la calidad de Monóxido de Carbono (CO) en decreciente de acuerdo con las gasificaciones realizadas a mayor porcentaje de Aserrín mejor combustión y a menor porcentaje de Cascarilla de Arroz mejor combustión, las gasificaciones realizadas en base a los porcentajes de biomasa y porcentaje de moles demuestra que al 100% de Aserrín el Monóxido de carbono tiene un valor de 29.34% de moles siendo este el más alto por lo que demuestra tener un bajo índice para su combustión de Syngas. la Cascarilla de Arroz tiene un bajo porcentaje de moles al ser gasificado al 100% con valor mínimo de 25,84% esto nos demuestra la que no hay una mejor combustión de gas natural.

Metano

Tabla 10-4: Componente Metano

COMPONENTE			
METANO (CH ₄)			
Biomasa	% de mezclas	%Moles	Desv. Std
Aserrín/Cascarilla de Arroz	100/0	2,7	0,023
	75/25	4,43	0,04
	50/50	1,04	0,0116
	25/75	0,603	0,0112
	0/100	0,17	0

Realizado por: Guasco, Martha, 2023

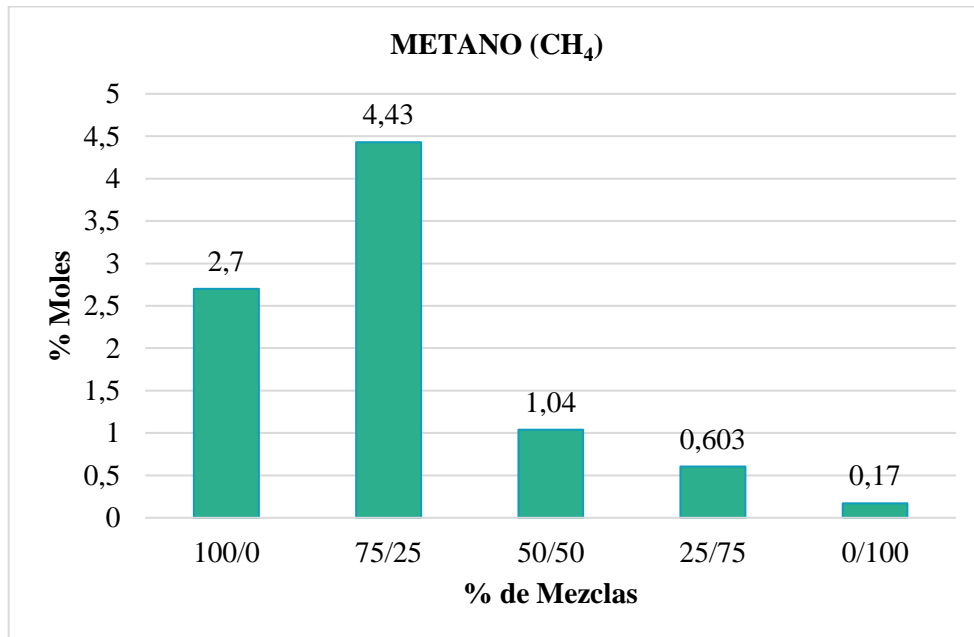


Ilustración 20-4: Componente Metano

Realizado por: Guasco, M.; Alvarado, W. 2023

En la siguiente Ilustración 20-4 se observa la calidad de Metano (CH₄) en base a los porcentajes de biomasa y porcentaje de moles, por lo tanto, se demuestra variación en la escala de 0 a 100 hablando de porcentajes, en la combinación de la mezcla de 75/25% el Metano tiene un valor de 4,43%. En la gasificación del 100% de la Cascarilla de Arroz tiene un bajo porcentaje de 0.17% moles.

Dióxido de Carbono

Tabla 11-4: Componente Dióxido de Carbono

COMPONENTE			
DIÓXIDO DE CARBONO (CO ₂)			
Biomasa	% de mezclas	%Moles	Desv. Std
Aserrín/Cascarilla de Arroz	100/0	19,56	0,331
	75/25	14,98	0,14
	50/50	9,1	0,1073
	25/75	10,452	0,2277
	0/100	9,96	0,2

Realizado por: Guasco, M.; Alvarado, W. 2023

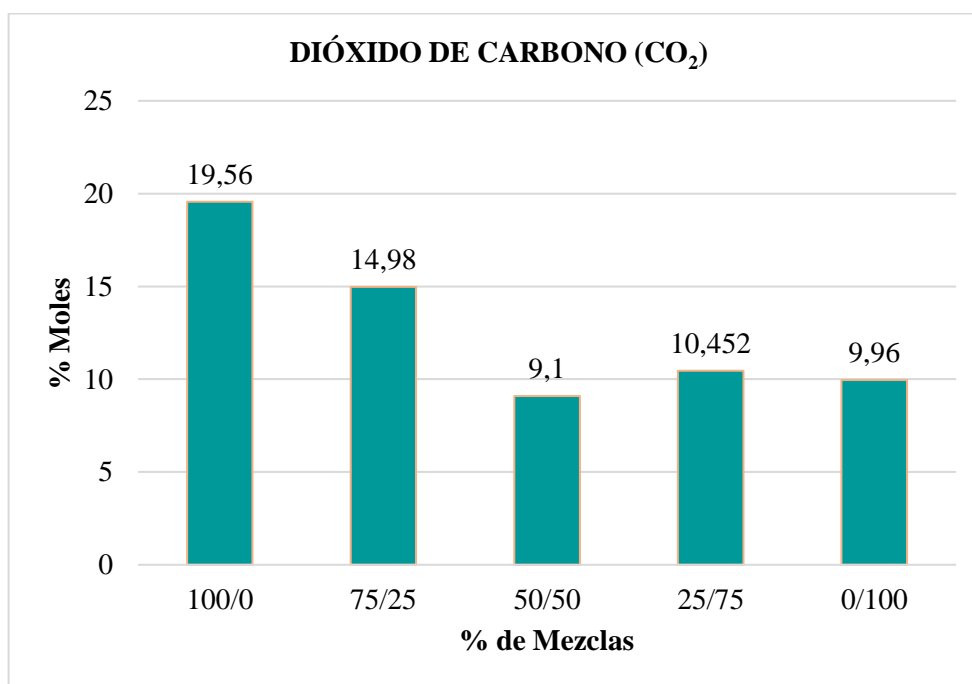


Ilustración 21-4: Componente Dióxido de Carbono

Realizado por: Guasco, M.; Alvarado, W. 2023

En la siguiente Ilustración 21-4 se observa la calidad de Dióxido de Carbono (CO₂) en base a los porcentajes de biomasa y porcentaje de moles, por lo tanto, se demuestra que el 100% de Aserrín el Dióxido de Carbono tiene un valor de 19,56% por lo que demuestra tener un alto índice de mejor combustión de Syngas. Al contrario, la Cascarilla de Arroz tiene un bajo porcentaje de moles al ser gasificado al 100% y su valor que alcanza es de 9,96% de moles.

Agua

Tabla 12-4: Componente Agua

COMPONENTE			
AGUA (H ₂ O)			
Biomasa	% de mezclas	%Moles	Desv. Std
Aserrín/Cascarilla de Arroz	100/0	0,95	0,216
	75/25	1,09	0,05
	50/50	1,26	0,0852
	25/75	1,192	0,0799
	0/100	1,04	0,08

Realizado por: Guasco, M.; Alvarado, W. 2023

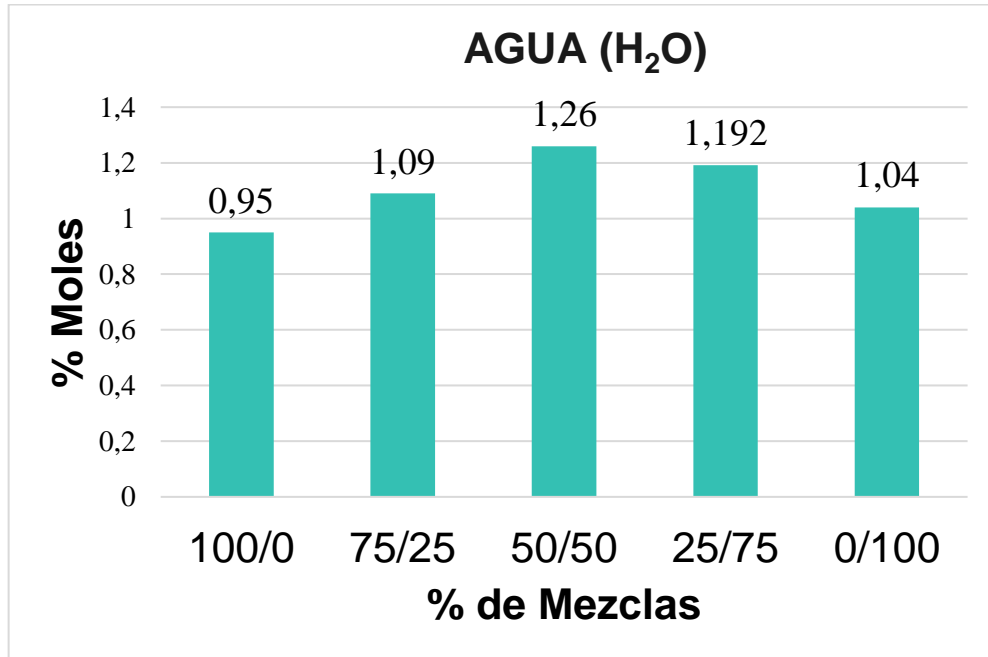


Ilustración 22-4: Componente Agua

Realizado por: Guasco, M.; Alvarado, W. 2023

En la siguiente Ilustración 22-4 se observa la calidad de Agua (H₂O) en base a los porcentajes de biomasa y porcentaje de moles, por lo tanto, se demuestra que el 100% de Aserrín el Agua tiene un valor de 0,95% por lo que demuestra que la materia adquirida para la gasificación está en balance para tener una buena combustión de Syngas. Por otra parte, al observar tenemos el mismo equilibrio al gasificar el 100% de Cascarilla de Arroz con valor de 1,04% de moles de agua.

Poder caloríficos superior

Tabla 13-4: Datos del poder caloríficos superior

PROPIEDADES	RESULTADOS	PORCENTAJES
Poder calorífico superior [kJ/m³]	7888,65	100/0
	7788,05	75/25
	6826,66	50/50
	5697,9	25/75
	4644,9	100/0

Realizado por: Guasco, M.; Alvarado, W. 2023

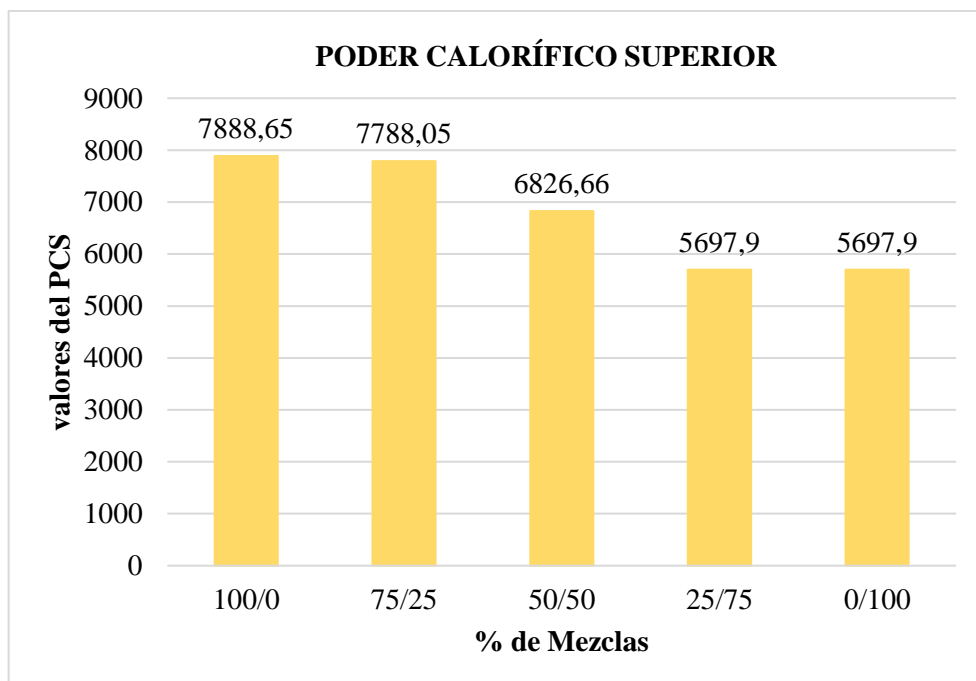


Ilustración 23-4: Poder caloríficos superior

Realizado por: Guasco, M.; Alvarado, W. 2023

En la siguiente Ilustración 23-4 se observa el poder calorífico superior en forma descendente, mientras mejor la combustión de Syngas el poder calorífico haciende, queda demostrado que a una temperatura de 7888,65 kJ/m³ en base a la biomasa del 100% de Aserrín, tiene una combustión excelente, por lo tanto, se demuestra que el 100% de Aserrín tiene un mejor poder calorífico en cambio al 100% de la biomasa de Cascarilla de Arroz es baja con un valor de 4644,9 kJ/m³.

Poder caloríficos inferior

Tabla 14-4: Datos del poder caloríficos inferior

PROPIEDADES	RESULTADOS	PORCENTAJES
Poder calorífico inferior [kJ/m ³]	7186,5	100/0
	6586,71	75/25
	6320,61	50/50
	5335,29	25/75
	3390,17	100/0

Realizado por: Guasco, M.; Alvarado, W. 2023

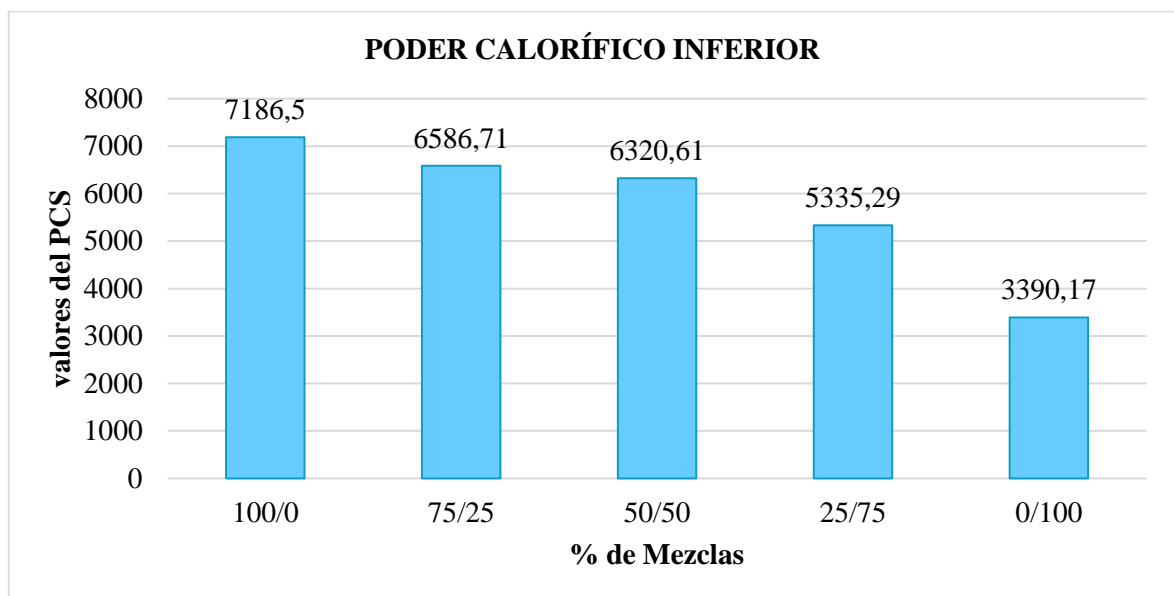


Ilustración 24-4: Poder calorífico inferior

Realizado por: Guasco, M.; Alvarado, W. 2023

En la siguiente Ilustración 24-4 se observa el poder calorífico inferior en forma descendente, mientras mejor la combustión de Syngas el poder calorífico se mantiene en temperaturas altas, queda demostrado que a una temperatura de 6586,71 kJ/m³ en base a la biomasa del 100% de Aserrín, tiene una combustión excelente, por lo tanto, se demuestra que el 100% de Aserrín tiene un mejor poder calorífico en cambio al 100% de la biomasa de Cascarilla de Arroz es baja con un valor de 3390,17 kJ/m³.

CAPITULO V

5. MARCO PROPOSITIVO

5.1. Propuesta

CONCLUSIONES

A partir de la búsqueda bibliográfica de los procesos de gasificación entre las Biomosas Forestales y la Cascarilla de Arroz utilizadas en la producción de Syngas se determinó que el aire es recomendable utilizarlo como agente gasificante, siendo este producto amigable con el medio ambiente y de bajo coste. Por otra parte, la humedad de la biomasa tiene que estar por debajo del 10% para obtener un gas con mayor porcentaje de hidrógeno, dicha característica determina la calidad del gas.

El porcentaje de humedad de las biomosas utilizadas fue menor al 10%, esto verificado con un analizador de humedad Radwag PMC en el Laboratorio de la Facultad de Ciencias. La humedad del Aserrín con 4.601% y de la Cascarilla de Arroz de 9.068%.

Se realizó los análisis de cromatografía a las siguientes combinaciones de biomosas (1) 75% de Aserrín y 25% de Cascarilla de Arroz; (2) 50% de Aserrín y 50% de Cascarilla de Arroz; (3) 25% de Aserrín y 75% de Cascarilla de Arroz resultando que la primera opción tiene un alto contenido de hidrógeno, siendo este el de mayor poder calorífico.

La mezcla del 75% de Aserrín y 25% de Cascarilla de Arroz tiene un poder calorífico superior e inferior de 7788,05 y 7186,50 [kJ/m³] respectivamente. Con los resultados obtenidos de la cromatografía se observa que no todas las curvas de poder calorífico y porcentaje de componentes se estabilizan, por la presencia de un alto contenido de alquitrán en la gasificación.

RECOMENDACIONES

Realizar un bypass entre la salida del cilindro de los filtros para la purificación del gas y el caudalímetro para evitar alguna anomalía en las posteriores gasificaciones que se pueda hacer en el gasificador tipo Downdraft. Además, en la parte inferior del ciclón se debe hacer una perforación para que el alquitrán no se acumule.

Antes de proceder a realizar la gasificación se debe revisar los paneles de control de funcionamiento en general del gasificador, así de esta manera evitar incidentes.

Para la limpieza del gasificador se debe utilizar agua hervida o alcohol, estos ayuda a quitar más fácil el alquitrán que se acumula en las tuberías y en el caudalímetro, además después de cada gasificación se debe realizar su respectivo mantenimiento en general del gasificador.

Al realizar la gasificación se debe hacer el uso de protección personal como; guantes, mascarilla, y gafas, por lo que el gas tiene monóxido de carbono

GLOSARIO

Alquitrán: es un líquido viscoso, de color muy oscuro y fuerte olor, que se obtiene de la destilación de maderas resinosas, carbones, petróleo, pizarras y otros materiales (RAE, 2022).

Análisis próximo: Es una partición de compuestos en una alimentación en seis categorías basadas en las propiedades químicas de los compuestos (Madhu, 2020).

Análisis último o elemental: se utiliza para determinar de forma cuantitativa la composición elemental (C, H, N, S y O) en muestras de naturaleza muy variada orgánicas e inorgánicas, sólidas, líquidas y viscosas, homogéneas o de fácil homogeneización (Universidad de Alicante, 2022).

BF: Biomasa Forestal

Biodegradación: cuando hablamos de biodegradabilidad nos referimos a la capacidad de descomposición de algo (Interempresas, 2020).

Bioenergía: es un tipo de energía renovable que se produce a partir del aprovechamiento de la materia orgánica e industrial formada en algún proceso biológico o mecánico, generalmente de las sustancias que constituyen los seres vivos o sus restos y residuos (RBA, 2022).

Bromatológico: La bromatología es la ciencia que estudia todos los aspectos relacionados con los alimentos para conocer su composición cualitativa y cuantitativa (Blog, 2022).

Bypass o baipás: Es un desvío que se realiza para evitar un obstáculo o interrupción en una vía de comunicación o circuito («Bypass» 2023).

CA: Cascarilla de Arroz

Catalítica: La catálisis es el proceso por el cual se aumenta la velocidad de una reacción química, debido a la participación de una sustancia llamada catalizador y las que desactivan la catálisis son denominados inhibidores (Educalingo, 2023).

Circunscriben: Reducir a ciertos límites o términos algo (RAE, 2022b).

Compuestos halogenados: Compuestos que en su composición participa algún elemento Halógeno, es decir, que en la composición del compuesto hay moléculas de cloro, bromo, flúor, yodo, etc (TECAM, 2020).

Compuestos sulfurados: son los que contienen átomos de azufre en su estructura y presentan analogías con las funciones oxigenadas (Shi y Wu, 2021, p. 3).

Conductividad térmica: La conductividad térmica es una propiedad de ciertos materiales capaces de transmitir el calor, es decir, permitir el paso de la energía cinética de sus moléculas a otras sustancias adyacentes. Se trata de una magnitud intensiva, inversa a la resistividad térmica (que es la resistencia de ciertos materiales a la transmisión del calor por sus moléculas) (Thermtest Latin America, 2020).

CONELEC: El Consejo Nacional de Electricidad (CONELEC, 2021).

Correlación: Se denomina correlación al vínculo recíproco o correspondiente que existe entre dos o más elementos (RAE, 2022c).

Cuantificación: el acto de convertir determinada información o datos en números o algún tipo de dato en forma de cantidad (RAE, 2022a).

DELFIJL: Es una ciudad portuaria de los Países Bajos, perteneciente al municipio de Eemshaven en la provincia de Groninga (Sygic, 2023).

Diversificar: Convertir en múltiple y diverso lo que era uniforme y único (RAE 2022b).

DQO: Demanda química de oxígeno (Labomera, 2021).

Emisiones: Son las diminutas partículas o gases que se liberan en el aire desde diferentes fuentes (Genero, 2022).

Endotérmicas: Las reacciones endotérmicas son reacciones químicas que necesitan el suministro de energía calórica para que ocurran. Para que los reactivos se transformen en productos, estas reacciones absorben calor, lo que hace que los productos obtenidos queden con mayores niveles de energía que los reactivos iniciales (Concepto.de, 2021).

Estequiometría: es la información de las cantidades de los reactantes y productos en una reacción química. Esta se basa en que la cantidad de reactantes es igual a la cantidad de los productos y que los compuestos tienen una composición fija (Fernández, 2023).

Exhaustivamente: Que agota o apura por completo; que agota lo que está tratando o que es muy completo o profundo en un tema determinado (palabras, 2023).

Exotérmicamente: Es aquella que cuando ocurre libera energía en forma de calor o luz al ambiente. Cuando este tipo de reacción ocurre, los productos obtenidos tienen menor energía que los reactivos iniciales (Concepto.de, 2021a).

Factibilidad: se refiere a la disponibilidad de los recursos necesarios para llevar a cabo los objetivos o metas señaladas (Diccionario Español, 2023).

Gasificación: Es una tecnología capaz de convertir los residuos en energía. Para conseguirlo, usa materias primas de desecho y aplica calor, oxígeno y presión hasta convertirlas en un gas de síntesis (Eligenio, 2023).

GEERTRUIDENBERG: Es un municipio de la provincia de Brabante Septentrional, al sur de los Países Bajos (lugaresquever, 2023).

Glicerol: El glicerol ($C_3H_8O_3$), mejor conocido como glicerina es un compuesto alcohólico con tres grupos hidroxilo. Es un compuesto orgánico, líquido, incoloro, inodoro, y de sabor dulce. Tiene la propiedad de ser altamente higroscópico, es decir, cede o absorbe agua fácilmente del ambiente (Grupo Pochteca, 2022).

Halogenados: son un grupo de elementos que se encuentran ubicados en grupo 17 de la tabla periódica. Entre sus principales características tenemos que son elementos muy reactivos, muy electronegativos y que, usualmente, forman sales cuando se unen con otros elementos (TECAM, 2020).

Hemicelulosa: La hemicelulosa es un heteropolisacárido (polisacárido compuesto por más de un tipo de monómero), formado, en este caso un tanto especial, por un conjunto heterogéneo de polisacáridos, a su vez formados por un solo tipo de monosacáridos unidos por enlaces β (1-4), que forman una cadena lineal ramificada (QUIMICA.ES, 2023).

Herbácea: Son aquellas que no desarrollan tallos ni estructuras leñosas, como sí lo hacen árboles y arbustos. Pertenecen a un grupo muy extenso en el planeta, siendo muy comunes tanto en el campo como en ambientes urbanos (Moreno, 2018).

Hidrólisis: La hidrólisis es una reacción química en la que moléculas de agua (H₂O) se dividen en sus átomos componentes (hidrógeno y oxígeno) (Concepto.de, 2021a).

Ley Dulong: El calor específico atómico de todos los elementos en estado sólido es función creciente de la temperatura, tendiendo a cero cuando esta se aproxima a los 0 K (Rodríguez y Cisneros, 2021).

Lignina: Es un polímero natural, amorfo y tridimensional, con una estructura compleja, que cambia según la fuente de la biomasa y los procesos de extracción utilizados (Hilal Ezgi Toraman, 2022).

Lignocelulósica: Es reconocida como materia prima renovable y abundante en el planeta y útil en plataformas de procesamiento para la producción de biocombustibles y/o biomoléculas de alto valor agregado (Suárez et al., 2022, p.1).

Material particulado (también llamado contaminación por partículas): el término para una mezcla de partículas sólidas y gotas líquidas que se encuentran en el aire. Algunas partículas, como el polvo, la suciedad, el hollín, o el humo, son lo suficientemente grandes y oscuras como para verlas a simple vista. Otras son tan pequeñas que solo pueden detectarse mediante el uso de un microscopio electrónico (EPA, 2022).

Materia volátil: Es un material inestable. La materia volátil tiende a no permanecer en un estado y pasará rápidamente a otro estado, o se vaporizará, cuando se cumplan las condiciones adecuadas. La volatilidad de la materia volátil no está determinada por la temperatura sino más aún por la presión de vapor requerida para iniciar un cambio de fase (Industriapedia, 2023).

MO: Materia orgánicos

Monocotiledónea: se definen por tener semillas que contienen una sola hoja (mono) embrionaria conocida como cotiledón. Este es un grupo monofilético que constituye la mayoría de nuestra

biomasa agrícola e incluye muchos cultivos básicos importantes que incluyen, entre otros, arroz, trigo, maíz, caña de azúcar, bambú, cebolla y ajo (Mira, 2021).

Morfológicas: como morfología se denomina la rama de una disciplina que se ocupa del estudio y la descripción de las formas externas de un objeto (Coelho, 2023).

Motores Stirling: Es un motor térmico muy distinto a los típicos motores de combustión interna que se alimentan de gasolina o Diesel y podemos encontrar en coches y motos (Admin, 2018).

Polímeros: es un compuesto químico cuyas moléculas están formadas por cadenas en las que se repite una unidad básica. Esta unidad que se repite se denomina monómero (CIENCIA, 2019).

Pirólisis: es una técnica mediante la cual es posible remediar parte del problema, ya que permite recuperar energía y productos en forma de combustible líquido y gaseoso (Amar et al., 2019, p.2).

Porosidad: Es la propiedad de un material vinculada a los espacios vacíos de los que dispone en su superficie o estructura (Pérez y Gardey, 2022).

Resiliencia: Capacidad de un material, mecanismo o sistema para recuperar su estado inicial cuando ha cesado la perturbación a la que había estado sometido (FIATC, 2021).

SV: Sólidos volátiles.

Termoquímica: Estudia los cambios o transferencias de energía que acompañan a los procesos físicos y químicos (CONICET, 2017).

Viabilidad: Es un análisis de investigación en el que se tienen en cuenta todos los factores relevantes que afectan al proyecto (Infinitia Industrial Consulting, 2021).

BIBLIOGRAFÍA

ADMIN. Motor stirling. *Ahorre Luz* [en línea]. 2018. [consulta: 14 febrero 2023]. Disponible en: <https://www.ahorreluz.es/blog/motor-stirling-ventajas/>

AGUILAR ROMERO, D.A. *Determinación del potencial energético de la biomasa residual de cultivos de banano en el Cantón Machala, El Oro, Ecuador* [en línea]. Cuenca: Universidad Politécnica Salesiana Sede Cuenca. 2019. pp. 17-22. [Consulta: 18 octubre 2022]. Disponible en: <https://dspace.ups.edu.ec/bitstream/123456789/18090/1/UPS-CT008600.pdf>.

AGUILERA REYES, E.A. Generación de biogás mediante el proceso de digestión anaerobia, a partir del aprovechamiento de sustratos orgánicos. *Revista Científica de FAREM - Estelí*. [en línea], no. 24. 2017, pp. 60-81. Disponible en: <https://www.camjol.info/index.php/FAREM/article/view/5552/5248>.

AMAR GIL, S, et al. Simulación y obtención de combustibles sintéticos a partir del pirólisis de residuos plásticos. *Universidad del Norte* [en línea], vol. 37, no. 2. 2019. [consulta: 14 febrero 2023]. Disponible en: <http://www.scielo.org.co/pdf/inde/v37n2/2145-9371-inde-37-02-306.pdf>.

ARES, M.V., & MARINI, M.L. *Producción de gas de síntesis a partir de residuos de la cosecha de caña de azúcar* [en línea]. S.l.: Universidad Nacional de Mar del Plata. 2020. p. 8 Disponible en: <http://rinfi.fi.mdp.edu.ar/xmlui/handle/123456789/449>.

BLOG UE. ¿Qué es la bromatología? [en línea]. 2022. [consulta: 14 febrero 2023]. Disponible en: <https://universidadeuropea.com/blog/que-es-bromatologia/>.

Bypass. [en línea], 2023. [consulta: 26 febrero 2023]. Disponible en: <https://www.significados.com/bypass/>.

CARVAJAL JARA, C.A; et al. Caracterización del poder calorífico de la biomasa residual de cacao CCN51 mediante procesos de gasificación anaeróbico y termoquímico. *Científica* [en línea], vol. 22, no. 2. 2018. pp. 2. [Consulta: 28 septiembre 2022]. ISSN 1665-0654. Disponible en: <https://www.redalyc.org/journal/614/61458109004/61458109004.pdf>.

CEBREIROS, F; et al. Producción de bioetanol combustible a partir de aserrín de eucalipto usando un concepto de biorrefinería. [en línea] 2017. p. 4. [Consulta: 15 enero 2023]. Disponible en:

http://www.aiqu.org.uy/encuentro2017/src/assets/presentacion/32_Trabajo%20completo_Eucalipto%20final.pdf.

CIENCIA. ¿Qué es un polímero? *Curiosoando* [en línea]. 2019. [consulta: 14 febrero 2023]. Disponible en: <https://curiosoando.com/que-es-un-polimero>.

COELHO, F. Morfología. *Significados* [en línea]. 2023. [consulta: 14 febrero 2023]. Disponible en: <https://www.significados.com/morfologia/>.

CONCEPTO. Hidrólisis. [en línea]. 2021a. [consulta: 14 febrero 2023]. Disponible en: <https://concepto.de/hidrolisis/#ixzz7ycmNSXN6>.

CONCEPTO. Reacción Exotérmica. *Editorial Etecé* [en línea]. 2021b. [consulta: 14 febrero 2023]. Disponible en: <https://concepto.de/reaccion-exotermica/#ixzz7ycnTKecd>.

CONCEPTO. Reacciones Endotérmicas. *Editorial Etecé* [en línea]. 2021c. [consulta: 14 febrero 2023]. Disponible en: <https://concepto.de/reacciones-endotermicas/#ixzz7ycnJI6gH>.

CONELEC. Plan de electrificación 2012-2021. *ARIAE* [en línea]. 2021. [consulta: 14 febrero 2023]. Disponible en: <https://www.ariae.org/servicio-documental/plan-de-electrificacion-2012-2021>.

CONICET. Termoquímica. [en línea]. 2017. [consulta: 14 febrero 2023]. Disponible en: https://ri.conicet.gov.ar/bitstream/handle/11336/130421/CONICET_Digital_Nro.6b292b2b-5be5-42e0-8900-512d9a035757_B.pdf?sequence=5&isAllowed=y

CÓRDOBA, L., & LEVOLLE, E. *Diseño de una planta de producción de gas de síntesis a partir de gasificación de residuos de la producción azucarera.* [en línea]. Perú: Universidad Nacional de Mar del Plata. 2019. pp. 11-12. [Consulta: 3 enero 2023]. Disponible en: <http://rinfi.fi.mdp.edu.ar/bitstream/handle/123456789/515/LC%c3%b3rdoba%2bELevolle-TFG-IQ-2019.pdf?sequence=1&isAllowed=y>.

CRIOLLO MARÍN, S., & RODRÍGUEZ CUERVO, E. *Diseño teórico de una planta de producción de biogás a partir de residuos de naranja en la ciudad de Bogotá.* [en línea]. Bogotá: Fundación Universidad De América. 2022. p. 21 [Consulta: 20 noviembre 2022]. Disponible en: <https://repository.uamerica.edu.co/bitstream/20.500.11839/8842/1/210140-2022-1-IQ.pdf>.

CRUZADO URBINA, T.R., & GARCIA RODRIGUEZ, L.M. *Diseño y simulación de un gasificador para el aprovechamiento de las reservas de carbón del Alto Chicama* [en línea]. Trujillo: Universidad Nacional de Trujillo. 2017. pp. 18-20. [Consulta: 3 enero 2023]. Disponible en: https://dspace.unitru.edu.pe/bitstream/handle/UNITRU/9856/CruzadoUrbina_T%20-%20GarciaRodriguez_L.pdf?sequence=1&isAllowed=y

DEMERA CENTENO, S.D., & ROMERO RODRÍGUEZ, B.J. *Evaluación del uso de los residuos de cascarilla de arroz (oryza sativa l.) como agregado en bloques para la construcción.* [en línea]. Calceta: Escuela Superior Politécnica Agropecuaria de Manabí Manuel Félix López. 2018. pp. 29-30. [Consulta: 19 noviembre 2022]. Disponible en: <http://190.15.136.145/bitstream/42000/807/1/TTMA5.pdf>.

DÍAZ TOVAR, D. *Usos potenciales de cascarilla de arroz en el Departamento de Casanare* [en línea]. Yopal: Universidad Nacional Abierta y a Distancia. 2019. p. 28 [Consulta: 24 enero 2023]. Disponible en: <https://repository.unad.edu.co/bitstream/handle/10596/30131/80811242.pdf?sequence=1&isAllowed=y>.

DICCIONARIO ESPAÑOL. Factibilidad. *Educalingo* [en línea]. 2023. [consulta: 14 febrero 2023]. Disponible en: <https://educalingo.com/es/dic-es/factibilidad>.

DYAH LANTASI; et al. Rice husk as renewable energy for biogas production from biomass: prospect and challenges. *Web de Conferencias* [en línea], vol. 202. 2020. pp. 1-3. [Consulta: 17 noviembre 2022]. DOI 10.1051/e3sconf/202020206024. Disponible en: https://www.e3s-conferences.org/articles/e3sconf/pdf/2020/62/e3sconf_icenis2020_06024.pdf.

EDUCALINGO. Catalítico. *Diccionario español* [en línea]. 2023. [consulta: 14 febrero 2023]. Disponible en: <https://educalingo.com/es/dic-es/catalitico>.

ELIGENIO. ¿Qué es gasificación? [en línea]. 2023, [consulta: 14 febrero 2023]. Disponible en: <https://eligenio.com/es/glosario/gasificacion/>.

EPA. Conceptos básicos sobre el material particulado. [en línea]. 2022. [consulta: 14 febrero 2023]. Disponible en: <https://espanol.epa.gov/espanol/conceptos-basicos-sobre-el-material-particulado-pm-por-sus-siglas-en-ingles>.

FERNÁNDEZ, Ana. Estequiometría: qué es, cálculo y relaciones. *Significados* [en línea]. 2023. [consulta: 14 febrero 2023]. Disponible en: <https://www.significados.com/estequiometria/>.

FERNÁNDEZ GARCÍA, E.A. *Generación de Energía Eléctrica mediante Gasificación de la Cascarilla de Arroz para un Molino en Lambayeque*. [en línea]. Lambayeque: Universidad Nacional “Pedro Ruiz Gallo”. 2019. pp. 21-52 [Consulta: 17 noviembre 2022]. Disponible en: <https://repositorio.unprg.edu.pe/bitstream/handle/20.500.12893/4356/BC-TES-TMP-3170.pdf?sequence=1&isAllowed=y>.

FIATC. Qué significa resiliencia: definición de persona resiliente. [en línea]. 2021. [consulta: 14 febrero 2023]. Disponible en: <https://www.fiatc.es/blog/post/que-significa-resiliencia>.

GALINDO, D; et al. *Energía de la Biomasa* [en línea]. Zaragoza. 2017. p. 43. [Consulta: 9 febrero 2023]. ISBN 9788492774913. Disponible en: <https://books.google.es/books?id=P58rcPu5O90C&printsec=frontcover&hl=es#v=onepage&q&f=false>.

GALINDO, M; et al. Generación distribuida con plantas de gasificación de cascarilla de arroz para el suministro de electricidad al distrito Bajo Biavo (San Martín, Perú). *II Jornada Peruana-Internacional de Investigación en Ingeniería JP3I* [en línea]. 2017. pp. 2-3. [Consulta: 3 enero 2023]. Disponible en: https://www.ccp-br.fee.unicamp.br/JP3I_website/antiores/02jp3i/papers/Paper014.pdf.

GARCÍA & LEÓN RAMÍREZ, L.A., SUÁREZ, L.D. *análisis energético de un sistema de gasificación de biomasa para la producción de gas de síntesis* [en línea]. Bogotá: Fundación Universidad de América. 2018. pp. 30-31. [Consulta: 21 octubre 2022]. Disponible en: <http://repository.uamerica.edu.co/bitstream/20.500.11839/6943/1/6132139-2018-1-IQ.pdf>.

GENERO, I. ¿Cuáles son las principales emisiones contaminantes? *Greenly* [en línea]. 2022. [consulta: 14 febrero 2023]. Disponible en: <https://greenly.earth/en-us/blog/ecology-news/what-are-the-main-pollution-emissions>.

GONZÁLEZ CASTRO, N.M. *Simulación de obtención de gas de síntesis a partir de la cascarilla (cuesco) de palma en aspen plus*. [en línea]. Bucaramanga: Universidad Autónoma de Bucaramanga. 2019. p. 27 [Consulta: 18 enero 2023]. Disponible en: https://repository.unab.edu.co/bitstream/handle/20.500.12749/7076/2019_Tesis_Nicoll_Mariana_Gonzalez_Castro.pdf?sequence=1&isAllowed=y.

GRUPO POCHTECA. Glicerol. [en línea]. 2022. [consulta: 14 febrero 2023]. Disponible en: <https://mexico.pochteca.net/glicerina-o-glicerol/>.

GUTIÉRREZ NIÑO, L.C., & OCHOA NOGUERA, L.D., *Determinación del potencial energético para la producción de biogás, a partir de la co-digestión anaerobia del co-sustrato cascarilla de arroz con excretas porcinas*. [en línea]. Villavicencio: Universidad de Santo Tomás. 2019. p. 28 [Consulta: 19 noviembre 2022]. Disponible en: <https://repository.usta.edu.co/bitstream/handle/11634/18402/2019catalinagutierrez?sequence=6&isAllowed=y>.

HAVILAH, P.R; et al. Biomass Gasification in Downdraft Gasifiers: A Technical Review on Production, Up-Gradation and Application of Synthesis Gas. *Energies*. 2022. p. 5 [en línea]. vol. 15, no. 11. [Consulta: 8 noviembre 2022]. ISSN 19961073. DOI 10.3390/en15113938. Disponible en: <https://www.mdpi.com/1996-1073/15/11/3938>

HERNÁNDEZ, N; et al. Valorisation of rice husks and bean straws through fuel pellets production: an experimental and modelling approach. *Mexicana de Ingeniería Química* [en línea], vol. 21, no. 2, pp. 6-9. [Consulta: 25 enero 2023]. ISSN 2395-8472. Disponible en: <http://www.rmiq.org/ojs311/index.php/rmiq/article/view/2679/1314>.

HERNÁNDEZ TAVICO, K.R. *Análisis de eficiencia energética a través de la determinación del poder calorífico de la biomasa forestal en forma de briqueta de la especie eucalyptus grandis, para la región del Municipio de Palencia en el Departamento de Guatemala* [en línea]. Guatemala: Universidad de San Carlos de Guatemala. 2018. pp. 106-111 [Consulta: 26 enero 2023]. Disponible en:

<http://www.repositorio.usac.edu.gt/10920/1/Kevin%20Roberto%20Hern%C3%A1ndez%20Tavico.pdf>.

HILAL EZGI TORAMAN. Lignina. *LibreTexts español* [en línea]. 2022. [consulta: 14 febrero 2023]. Disponible en: <http://www.laenergiadelcambio.com/estructura-funcion-lignina/>.

INDUSTRIAPEDIA. Qué es Materia volátil. [en línea]. 2023. [consulta: 14 febrero 2023]. Disponible en: <https://industriapedia.com/que-es-materia-volatil/>.

INFINITIA INDUSTRIAL CONSULTING. Estudio de viabilidad de un proyecto. [en línea]. 2021. [consulta: 14 febrero 2023]. Disponible en: <https://www.infinitiaresearch.com/noticias/estudio-de-viabilidad-de-un-proyecto-como-realizarlo/>.

INTEREMPRESAS. Qué es biodegradable. *Canales sectoriales* [en línea]. 2020. [consulta: 14 febrero 2023]. Disponible en: <https://www.interempresas.net/Envase/Articulos/263319-Que-es-biodegradable.html>.

JOHANNA MORENO. Plantas herbáceas. *Naturaleza y Ecología* [en línea]. 2018. [consulta: 14 febrero 2023]. Disponible en: <https://naturaleza.animalesbiologia.com/plantas/plantas-herbaceas#definicion-de-plantas-herbaceas>.

KZ KU, A., SAZALI, K., & KAMAROLZA, A.A. Characterization of fuel briquettes from banana tree waste. *ScienceDirect* [en línea], vol. 3, 2018. pp. 1-9. [Consulta: 18 octubre 2022]. Disponible en: <https://sci-hub.se/https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S2214785318318261?via%3Dihub>.

LABOMERSA. ¿Por qué es importante DQO (Demanda Química de Oxígeno) y DBO (Demanda Biológica de Oxígeno) en análisis de aguas? [en línea]. 2021. [consulta: 14 febrero 2023]. Disponible en: <https://labomersa.com/2021/09/14/por-que-es-importante-dqo-demanda-quimica-de-oxigeno-y-dbo-demanda-biologica-de-oxigeno-en-analisis-de-aguas/>.

LUGARESQUEVER. Lugares que ver Geertruidenberg. [en línea]. 2023. [consulta: 14 febrero 2023]. Disponible en: <https://lugaresquever.com/geertruidenberg>.

MADHU. Diferencia entre análisis próximo y último. *Differencebetween* [en línea]. 2020. [consulta: 14 febrero 2023]. Disponible en: <https://www.differencebetween.com/difference-between-proximate-and-ultimate-analysis/>.

MÁRQUEZ BERRIO, M.Á. *Estudio del desempeño de un sistema de gasificación de biomasa para alimentación de un sistema de generación de potencia en una zona no interconectada usando la herramienta Aspen Hysys* [en línea]. Bucaramanga: Universidad Autónoma de Bucaramanga. 2017. pp. 32-38. [Consulta: 18 enero 2023]. Disponible en: https://repository.unab.edu.co/bitstream/handle/20.500.12749/1472/2017_Tesis_Marquez_Berri_o_Miguel_Angel.pdf?sequence=1&isAllowed=y.

MEJÍA ROSADO, G.C., & PERALTA ZAMBRANO, J.R. *Producción de biogás mediante biodigestor a escala piloto con residuos semi-sólidos (excretas y rumen) del camal de Calceta, Bolívar.* [en línea]. Calceta: Escuela Superior Politécnica Agropecuaria de Manabí Manuel Félix López. 2019. pp. 43-45. [Consulta: 28 septiembre 2022]. Disponible en: <https://repositorio.espam.edu.ec/bitstream/42000/1000/1/TTMA46.pdf>.

MENDIETA ORELLANA, L.M. *Evaluación de la Producción de Biogás a partir de Cascarilla de Arroz Con alto Contenido de Zinc.* [en línea]. Quito: Escuela Politécnica Nacional. 2020. pp. 21-23. [Consulta: 17 noviembre 2022]. Disponible en: <https://bibdigital.epn.edu.ec/bitstream/15000/20908/1/CD%2010420.pdf>.

MIRA, P.J. Monocotiledónea. *El Gen Curioso* [en línea]. 2021. [consulta: 14 febrero 2023]. Disponible en: <https://www.elgencurioso.com/diccionario/monocotiledonea/>.

MORICE MONTOYA, J.G. *Evaluación de la eficiencia energética de un sistema de gasificación comercial para la producción de electricidad a partir de residuos de madera* [en línea]. Costa Rica: Universidad de Costa Rica. 2017. pp. 27-45. [Consulta: 15 enero 2023]. Disponible en: <http://repo.sibdi.ucr.ac.cr:8080/jspui/bitstream/123456789/8952/1/42928.pdf>.

MUÑOZ, M. Gasificación y torrefacción de residuos agrícolas de la cosecha de caña, tecnologías para diversificar los biocombustibles de la agroindustria azucarera. [en línea], 2017. pp. 1. [Consulta: 3 enero 2023]. Disponible en: <https://www.researchgate.net/publication/337445412>.

OROZCO CANTOS, L.S. *Levantamiento y análisis del potencial energético aprovechable de la biomasa forestal en el Cantón Riobamba y su viabilidad a través de gasificación tipo downdraft*. [en línea]. Quito: Escuela Politécnica Nacional. 2017. pp. 17-38. [Consulta: 25 septiembre 2022]. Disponible en: <https://bibdigital.epn.edu.ec/bitstream/15000/18894/1/CD-8286.pdf>.

OSORIO AGUIRRE, L. *Análisis Técnico Económico para el uso de la Cascarilla de Arroz en la Generación de Energía Eléctrica a partir del Proceso de Gasificación. Caso de Estudio: Molino de Arroz Pacande de la Ciudad de Villavicencio – Meta*. [en línea]. Bogotá: Universidad Libre. 2019. p. 26. [Consulta: 17 noviembre 2022]. Disponible en: <https://repository.unilibre.edu.co/bitstream/handle/10901/18602/AN%c3%81LISIS%20T%c3%89CNICO%20ECON%c3%93MICO%20PARA%20EL%20USO%20DE%20CASCARILLA%20DE%20ARROZ%20%2809-08-2019%29%20versi%c3%b3n%20final.pdf?sequence=1&isAllowed=y>.

PALABRAS HELP. Significado y uso correcto de exhaustivamente. [en línea]. 2023. [consulta: 14 febrero 2023]. Disponible en: <https://palabras.help/exhaustivamente>.

PÉREZ, J. & GARDEY, A. Porosidad. *Definicion.de* [en línea]. 2022. [consulta: 14 febrero 2023]. Disponible en: <https://definicion.de/porosidad/>.

PÉREZ VINENT, A.R; et al. Caracterización de la biomasa vegetal aserrín de pino. *Ecoligia Unica* [en línea], vol. 48, no. 3. 2022. p. 9 [Consulta: 19 enero 2023]. Disponible en: <http://scielo.sld.cu/pdf/rtq/v42n3/2224-6185-rtq-42-03-558.pdf>.

PULLOPAXI CIFUENTES, A.J. *Tratamiento de residuos orgánicos generados en el bioterio de la Facultad de Ciencias de la Escuela Superior Politécnica de Chimborazo mediante compostaje*. [en línea]. Riobamba: Escuela Superior Politécnica de Chimborazo. 2019. p. 107 [Consulta: 29 septiembre 2022]. Disponible en: <http://dspace.esPOCH.edu.ec/bitstream/123456789/13202/1/236T0461.PDF>.

QUIMICA.ES. Hemicelulosa. *Enciclopedia* [en línea]. 2023. [consulta: 14 febrero 2023]. Disponible en: <https://www.quimica.es/enciclopedia/Hemicelulosa.html>.

QUISPE ORTEGA; et al. Performance of ecological briquettes to reduce pollutant emissions applied to an artisanal brickyard in the Peruvian Andes. *LACCEI International Multi-Conference for Engineering* [en línea], vol. 19, no. 1, 2021. pp. 4-5. [Consulta: 26 enero 2023]. Disponible en: https://laccei.org/LACCEI2021-VirtualEdition/student_papers/SP651.pdf.

RAE. Cuantificación. *Diccionario de la lengua española* [en línea]. 2022a. [consulta: 14 febrero 2023]. Disponible en: <https://dle.rae.es/cuantificaci%C3%B3n?m=form>.

RAE. Diversificar. [en línea]. 2022b. [consulta: 14 febrero 2023]. Disponible en: <https://dle.rae.es/diversificar>.

RAE-ASALE. Alquitrán. *Diccionario de la lengua española* [en línea]. 2022a. [consulta: 14 febrero 2023]. Disponible en: <https://dle.rae.es/alquitrán>.

RAE-ASALE. circunscribir. *Diccionario de la lengua española* [en línea]. 2022b. [consulta: 14 febrero 2023]. Disponible en: <https://dle.rae.es/circunscribir>.

RAE-ASALE. Correlació. *Diccionario de la lengua española* [en línea]. 2022c. [consulta: 14 febrero 2023]. Disponible en: <https://dle.rae.es/correlaci%C3%B3n?m=form>.

RAMÍREZ BALAGUERA, L.F., & BARRERA OJEDA, D.F. *Potencial energético de la biomasa residual pecuaria del Departamento de Cundinamarca Colombia* [en línea]. Bogotá: Universidad Distrital Francisco José de Caldas. 2017. pp. 16-23. [Consulta: 18 octubre 2022]. Disponible en: <https://docplayer.es/210550615-Potencial-energetico-de-la-biomasa-residual-pecuaria-del-departamento-de-cundinamarca-colombia.html>.

RBA AMBIENTAL. ¿Qué es la bioenergía? [en línea]. 2022. [consulta: 14 febrero 2023]. Disponible en: <http://www.rba-ambiental.com.ar/bioenergia/que-es-la-bioenergia/>.

RODRÍGUEZ, A. & CISNEROS RUIZ, M. Ley de Dulong. *Studocu* [en línea]. 2021. [consulta: 14 febrero 2023]. Disponible en: <https://www.studocu.com/es-mx/document/instituto-tecnologico-y-de-estudios-superiores-de-occidente/fisicoquimica/reporte-1-ley-de-dulong-y-petit/32606945>.

ROJAS SANCHEZ, C.A. *Generación de biogás a partir de la cascarilla de arroz para reducir costos energéticos en la piladora la merced S.R.L.* [en línea]. Chiclayo: Universidad Católica Santo Toribio de Mogrovejo. 2018. pp. 11-29. [Consulta: 17 noviembre 2022]. Disponible en: https://tesis.usat.edu.pe/bitstream/20.500.12423/1437/1/TL_RojasSanchezCristian.pdf.

SÁNCHEZ LARIO, A. *Diseño de una planta de gasificación con cogeneración para el aprovechamiento energético de la cascarilla de arroz en un proceso Industrial.* [en línea]. Madrid: Universidad Politécnica de Madrid. 2017. pp. 61-63. [Consulta: 18 noviembre 2022]. Disponible en: https://oa.upm.es/47702/1/TFG_ALEJANDRO_SANCHEZ_LARIO.pdf.

SANCHO CAMBESES, L. *Caracterización del gas de gasificación de biomasa lignocelulósica en una bomba de combustión con acceso óptico para visualización usando Schlieren.* [en línea]. Valladolid: Universidad de Valladolid. 2020. pp. 3-29. [Consulta: 28 septiembre 2022]. Disponible en: <https://uvadoc.uva.es/bitstream/handle/10324/42422/TFM-I-1629.pdf;jsessionid=D5833350E242FE55C655CA62645EE2D9?sequence=1>.

SHI, Q. y WU, J., 2021. Review on Sulfur Compounds in Petroleum and Its Products: State-of-the-Art and Perspectives. *Energy and Fuels* [en línea], vol. 35, no. 18, [consulta: 14 febrero 2023]. ISSN 15205029. DOI 10.1021/ACS.ENERGYFUELS.1C02229/ASSET/IMAGES/MEDIUM/EF1C02229_0010.GIF. Disponible en: <https://pubs.acs.org/doi/pdf/10.1021/acs.energyfuels.1c02229>.

SUÁREZ MATALLANA, G.A.; et al. Conceptos de biocatálisis de la lignocelulosa desde un enfoque de ingeniería de procesos y sistemas: una revisión. *Número* [en línea], vol. 28, 2022. [consulta: 14 febrero 2023]. ISSN 2477-9105. DOI 10.47187/perf.v1i28.179. Disponible en: <http://ceaa.esPOCH.edu.ec:8080/revista.perfiles/faces/Articulos/Perfiles28Art5.pdf>.

SYGIC TRAVEL. Delfzijl. [en línea]. 2023. [consulta: 14 febrero 2023]. Disponible en: <https://travel.sygic.com/es/poi/delfzijl-city:130324>.

TACURI SARMIENTO, D.M. *Diseño y desarrollo de reactor lecho fijo catalítico para gasificación de biomasa de banano en la producción de hidrógeno.* [en línea]. Cuenca: Universidad de Cuenca. 2021. pp. 53-54. [Consulta: 31 enero 2023]. Disponible en: <https://dspace.ucuenca.edu.ec/bitstream/123456789/36136/1/Trabajo%20de%20Titulacion.pdf>.

TECAM. Compuestos halogenados. [en línea]. 2020. [consulta: 14 febrero 2023]. Disponible en: https://tecamgroup.com/es/tratamiento-de-emisiones/compuestos_halogenados/.

THERMTEST LATIN AMERICA. Conductividad térmica. [en línea]. 2020. [consulta: 26 febrero 2023]. Disponible en: <https://thermtest.com/latinamerica/que-es-la-conductividad-termica>.


TORRES, C; et al. Evaluación de la incidencia de pellets y astillas de madera en el desempeño de un gasificador tipo “downdraft”. *Revista forestal mesoAmericana* [en línea], pp. 6-7. [Consulta: 3 enero 2023]. Disponible en: <https://www.scielo.sa.cr/pdf/kuru/v15s1/2215-2504-kuru-15-s1-25.pdf>.

VAN GROENESTIJN, J; et al. Biomasa para la economía circular. [en línea]. 2020. pp. 61-62 [Consulta: 17 octubre 2022]. documentos. Disponible en: <https://library.wur.nl/WebQuery/wurpubs/fulltext/535237>.

YANGARI SALAZAR, I.J. *Estudio de factibilidad para la generación de energía limpia a partir de biomasa en la Parroquia Rural Sabanilla* [en línea]. Guayaquil: Universidad de Guayaquil. 2022. pp. 46-48. [Consulta: 18 enero 2023]. Disponible en: <http://repositorio.ug.edu.ec/bitstream/redug/59557/1/YANGARI%20SALAZAR%20ILIANA%20JANETH.pdf>.

ANEXOS

ANEXOS A: PROCESO DE GASIFICACIÓN

	Nombre Planta: ESPOCH	<h2 style="margin: 0;">MAINTENANCE TASK SHEET</h2> <small>(HOJA DE TAREAS DE MANTENIMIENTO)</small>													
Departamento/Area	Tiempo Disponible de Operación	Realizada por: Guasco, M.; Alvarado, W. 2023													
Mantenimiento Industrial	4329,0	Fecha: 18/1/2023													
Nombre de la Operación	Equipo	Pagina : 1 de 1													
PROCESO DE GASIFICACIÓN	GASIFICADOR														
<p>MTS Base de Conocimientos/Formacion(Entrenamiento) - _____</p> <div style="display: flex; justify-content: space-around;"> <div style="width: 45%;"> <p style="text-align: center; font-weight: bold; font-size: small;">BASE DE CONOCIMIENTOS</p> <table border="1" style="width: 100%; border-collapse: collapse;"> <tr><td style="font-size: x-small;">Mecánica</td></tr> <tr><td style="font-size: x-small;">Seguridad Industrial</td></tr> <tr><td style="font-size: x-small;">Mantenimiento Industrial</td></tr> <tr><td style="font-size: x-small;">Manejo de Herramientas</td></tr> <tr><td style="height: 15px;"> </td></tr> <tr><td style="height: 15px;"> </td></tr> <tr><td style="height: 15px;"> </td></tr> </table> </div> <div style="width: 45%;"> <p style="text-align: center; font-weight: bold; font-size: small;">CAPACITACION / ENTRENAMIENTO</p> <table border="1" style="width: 100%; border-collapse: collapse;"> <tr><td style="font-size: x-small;">Capacitación de lavado de las bolsas Tedlar</td></tr> <tr><td style="font-size: x-small;">Capacitación de toma de muestras para su análisis</td></tr> <tr><td style="height: 15px;"> </td></tr> <tr><td style="height: 15px;"> </td></tr> <tr><td style="height: 15px;"> </td></tr> <tr><td style="height: 15px;"> </td></tr> </table> </div> </div>			Mecánica	Seguridad Industrial	Mantenimiento Industrial	Manejo de Herramientas				Capacitación de lavado de las bolsas Tedlar	Capacitación de toma de muestras para su análisis				
Mecánica															
Seguridad Industrial															
Mantenimiento Industrial															
Manejo de Herramientas															
Capacitación de lavado de las bolsas Tedlar															
Capacitación de toma de muestras para su análisis															
<input checked="" type="checkbox"/>	#	TAREA	TIS	Otros	Tiempo de ciclo de la tarea (min)	Frecuencia(D=día, S= semana, M= mes, A= año, O=Otros)	Total de tiempo de ciclo(Diario)								
<input type="checkbox"/>	1	Adquisición de la biomasa	TIS-001	Según TIS	1,00	1,0	1,0								
<input type="checkbox"/>	2	Secado de la materia (Aserrín y cascarilla de arroz)	TIS-002	Según TIS	4320,00	1,0	4320,0								
<input type="checkbox"/>	3	Clasificación de la biomasa	TIS-003	Según TIS	1,00	1,0	1,0								
<input type="checkbox"/>	4	Peso de la biomasa	TIS-004	Según TIS	1,00	1,0	1,0								
<input type="checkbox"/>	5	Meclar la materia	TIS-005	Según TIS	1,00	1,0	1,0								
<input type="checkbox"/>	6	Encendido del sistema electrico	TIS-006	Según TIS	1,00	1,0	1,0								
<input type="checkbox"/>	7	Encendido de la bimas forestal (aserrín) mediante una hora	TIS-007	Según TIS	1,00	1,0	1,0								
<input type="checkbox"/>	8	Llenado de la mezcla en la tolva los 15kg de aserrín y cascarilla de arroz	TIS-008	Según TIS	1,00	1,0	1,0								
<input type="checkbox"/>	9	Cierre de compuertas del reactor, cierre de tapa de la tolva	TIS-009	Según TIS	1,00	1,0	1,0								
<input type="checkbox"/>	10	Regulación de valvulas de entrada y salida	TIS-010	Según TIS	1,00	1,0	1,0								
	11														
	12														
	13														
	14														
	15														
	16														
	17														
	18														
	19														
	20														
	21														
	22														
TOTAL TIEMPO							4329,0								

TIS-002

Task Instruction Sheet

(HOJA DE INSTRUCCIONES DE TAREA)

Departamento / Area

Mantenimiento Industrial

Tarea: **2**

Descripción de la tarea: SECADO DE LA BIOMASA

Fecha de Realización

18/1/2023

Realizada por:

Guasco, M.; Alvarado, W. 2023

Descripción del equipo/No.

Ubicación

Simbolo



Seguridad



Critico



Secuencia mandatoria en los pasos



Calidad



Secuencia mandatoria de pasos



Medio Ambiente

Tiempo estandar

1 min

✓

Sim.

No

Descripción de Pasos

Detalle del Paso (Que, Como, Puntos clave)

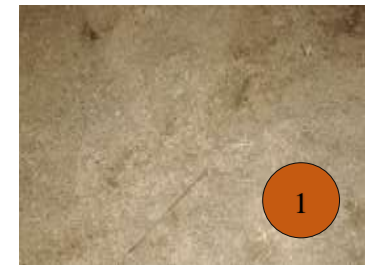
Diagramas: (Herramientas, Partes Especiales, EPP Especiales, Layouts, etc.)



1



Secado de biomasa (aserrín y cascarilla de arroz)



Se realiza el secado de biomasa al ambiente o por horno para producir un mejor gyngas





Bloque de Firmas

Turno	Firma	Fecha	Lider de Equipo	Lider de Grupo	Fecha	Nombre	Descripcion del cambio
1							
2							
3							



Página 3 de 10	TIS-3		Task Instruction Sheet (HOJA DE INSTRUCCIONES DE TAREA)			Departamento / Area		Mantenimiento Industrial			
	Tarea: 3		Descripción de la tarea: CLASIFICACIÓN DE LA MATERIA			Fecha de Realización		18/1/2023		Realizada por: Guasco, M.; Alvarado, W. 2023	
	Descripción del equipo/No. GASIFICADOR		Ubicación ESPOCH		Símbolo		<input checked="" type="checkbox"/> Seguridad <input type="checkbox"/> Crítico <input checked="" type="checkbox"/> Secuencia mandatoria en los pasos <input type="checkbox"/> Calidad <input type="checkbox"/> Secuencia mandatoria de pasos <input type="checkbox"/> Medio Ambiente		Tiempo estandar 1 min		
	✓ Sim.		No		Descripción de Pasos		Detalle del Paso (Que, Como, Puntos clave)		Diagramas: (Herramientas, Partes Especiales, EPP Especiales, Layouts, etc.)		
		1		Clasificación de la biomasa entre el aserrín y cascarilla de arroz		Se clasifica la biomasa para determinar que encuentre solo ya sea aserrín o cascarilla de arroz		 			
Bloque de Firmas											
Turno		Lider de Equipo		Lider de Grupo		Fecha	Nombre	Descripcion del cambio			
1		Firma									
2		Fecha									
3		Firma									
		Fecha									



Página 5 de 10	TIS-5		Task Instruction Sheet (HOJA DE INSTRUCCIONES DE TAREA)			Departamento / Area		Mantenimiento Industrial			
	Tarea: 5		Descripción de la tarea: MEZCLAR LA BIOMASA			Fecha de Realización		18/1/2023		Realizada por: Guasco, M.; Alvarado, W. 2023	
	Descripción del equipo/No.		Ubicación		Símbolo		<input checked="" type="checkbox"/> Seguridad <input type="checkbox"/> Crítico <input type="checkbox"/> Secuencia mandatoria en los pasos <input type="checkbox"/> Calidad <input type="checkbox"/> Secuencia mandatoria de pasos <input type="checkbox"/> Medio Ambiente		Tiempo estándar		
	GASIFICADOR		ESPOCH						1 min		
	✓	Sim.	No	Descripción de Pasos		Detalle del Paso (Que, Como, Puntos clave)		Diagramas: (Herramientas, Partes Especiales, EPP Especiales, Layouts, etc.)			
	<input type="checkbox"/>	1	La combinación de mezcla		La mezcla se realiza en varios porcentajes para el analisis de syngas por ende debe ser mezclado en proporciones que tenga equivalencia y se puedan gasificar las dos biomasa para un resultado de calidad		 				
Bloque de Firmas						Fecha	Nombre	Descripción del cambio			
Turno	Lider de Equipo		Lider de Grupo								
1	Firma										
	Fecha										
2	Firma										
	Fecha										
3	Firma										
	Fecha										

Página 6 de 10	TIS-006		Task Instruction Sheet (HOJA DE INSTRUCCIONES DE TAREA)			Departamento / Area		Mantenimiento Industrial			
	Tarea: 6		Descripción de la tarea: ENCENDIDO DEL SISTEMA ELÉCTRICO			Fecha de Realización		18/1/2023		Realizada por: Guasco, M.; Alvarado, W. 2023	
	Descripción del equipo/No.		Ubicación		Símbolo		<input checked="" type="checkbox"/> Seguridad <input type="checkbox"/> Crítico <input type="checkbox"/> Secuencia mandatoria en los pasos <input type="checkbox"/> Calidad <input type="checkbox"/> Secuencia mandatoria de pasos <input type="checkbox"/> Medio Ambiente		Tiempo estandar		
	GASIFICADOR		ESPOCH						1 min		
✓	Sim.	No	Descripción de Pasos		Detalle del Paso (Que, Como, Puntos clave)			Diagramas: (Herramientas, Partes Especiales, EPP Especiales, Layouts, etc.)			
	<input checked="" type="checkbox"/>	1	ENCENDIDO DEL SISTEMA ELÉCTRICO		Se relaiza el sistema electrico antes de prender la biomas en el reactor, para asi se pueda tpmar los datos de temperatura ambiente.			 			
Bloque de Firmas						Fecha	Nombre	Descripción del cambio			
Turno	Lider de Equipo		Lider de Grupo								
1	Firma										
	Fecha										
2	Firma										
	Fecha										
3	Firma										
	Fecha										

ANEXOS B: TAREAS DE MANTENIMIENTO DESPUÉS DE CADA GASIFICACIÓN

Nombre Planta: ESPOCH		MAINTENANCE TASK SHEET (HOJA DE TAREAS DE MANTENIMIENTO)																
Departamento/Area	Tiempo Disponible de Operación	Realizada por:	Guasco, M.; Alvarado, W. 2023															
Mantenimiento Industrial	15,0	Fecha:	5/1/2023															
Nombre de la Operación	Equipo	Página :	1 de 1															
Mantenimiento del Gasificador	GASIFICADOR																	
MTS Base de Conocimientos/Formacion(Entrenamiento) - _____																		
BASE DE CONOCIMIENTOS			CAPACITACION / ENTRENAMIENTO															
<table border="1" style="width: 100%; border-collapse: collapse;"> <tr><td>Mecánica</td></tr> <tr><td>Seguridad Industrial</td></tr> <tr><td>Mantenimiento Industrial</td></tr> <tr><td>Electricidad</td></tr> <tr><td>Manejo de herramientas</td></tr> <tr><td> </td></tr> <tr><td> </td></tr> </table>			Mecánica	Seguridad Industrial	Mantenimiento Industrial	Electricidad	Manejo de herramientas			<table border="1" style="width: 100%; border-collapse: collapse;"> <tr><td>Capacitación en riesgos eléctricos</td></tr> <tr><td>Capacitación en control industrial</td></tr> <tr><td>Capacitación en MTS Y TIS</td></tr> <tr><td> </td></tr> <tr><td> </td></tr> <tr><td> </td></tr> </table>			Capacitación en riesgos eléctricos	Capacitación en control industrial	Capacitación en MTS Y TIS			
Mecánica																		
Seguridad Industrial																		
Mantenimiento Industrial																		
Electricidad																		
Manejo de herramientas																		
Capacitación en riesgos eléctricos																		
Capacitación en control industrial																		
Capacitación en MTS Y TIS																		
<input checked="" type="checkbox"/>	#	TAREA	TIS	Otros	Tiempo de ciclo de la tarea (min)	Frecuencia(D=diaria, S=semana, M=mes, A=año, O=Otros)	Total de tiempo de ciclo(Diario)											
<input type="radio"/>	1	Inspección visual	TIS-001	Según TIS	1,00	1,0	1,0											
<input checked="" type="checkbox"/>	2	Revisión de averías o daños de todo el sistema	TIS-002	Según TIS	8,00	1,0	8,0											
<input type="radio"/>	3	Revisión de los tempozos	TIS-003	Según TIS	1,00	1,0	1,0											
<input type="radio"/>	4	Revisión de las tapas de sellado del reactor	TIS-004	Según TIS	1,00	1,0	1,0											
<input checked="" type="checkbox"/>	5	Revisión del gabinete de control de mando	TIS-005	Según TIS	1,00	1,0	1,0											
<input checked="" type="checkbox"/>	6	Revisión del caudalímetro	TIS-006	Según TIS	1,00	1,0	1,0											
<input checked="" type="checkbox"/>	7	Cambio de empaques del cilindro de filtrado	TIS-007	Según TIS	2,00	1,0	2,0											
	8																	
	9																	
	10																	
	11																	
	12																	
	13																	
	14																	
	15																	
	16																	
	17																	
	18																	
	19																	
	20																	
	21																	
	22																	
TOTAL TIEMPO							15,0											
Bloque de firmas				Historial de cambios en el trabajo														
Turno	Lider de Equipo	Lider de Grupo	Fecha	Nombre	Cambio													
1	Firma																	
	Fecha																	
2	Firma																	
	Fecha																	
3	Firma																	
	Fecha																	

Página 4 de 7	TIS-004		Task Instruction Sheet (HOJA DE INSTRUCCIONES DE TAREA)			Departamento / Area		Mantenimiento Industrial			
	Tarea: 4		Descripción de la tarea: SELLADO DE TAPAS DE LA CAMARA DEL REACTOR			Fecha de Realización		18/1/2023		Realizada por: Guasco, M.; Alvarado, W. 2023	
	Descripción del equipo/No.		Ubicación		Símbolo		<input checked="" type="checkbox"/> Seguridad <input type="checkbox"/> Crítico <input type="checkbox"/> Secuencia mandatoria en los pasos		<input type="checkbox"/> Calidad <input type="checkbox"/> Secuencia mandatoria de pasos <input type="checkbox"/> Medio Ambiente		Tiempo estandar
	GASIFICADOR		ESPOCH								1 min
✓	Sim.	No	Descripción de Pasos			Detalle del Paso (Que, Como, Puntos clave)			Diagramas: (Herramientas, Partes Especiales, EPP Especiales, Layouts, etc.)		
	<input checked="" type="checkbox"/>	1	Revisión de tapas y compuertas del reactor			Se procede a relizar la impieza de los pegamentos, alquiteran veroficación de los tornillos que no esten averiados o dañados			 		
Bloque de Firmas						Fecha	Nombre	Descripción del cambio			
Turno	Firma	Fecha	Lider de Equipo		Lider de Grupo						
1											
2											
3											

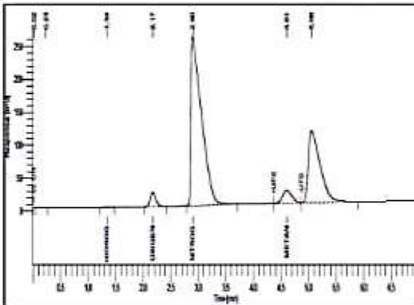
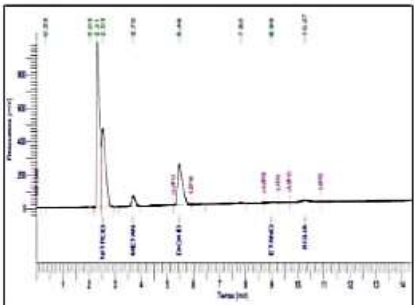


Página 7 de 7	TIS-007		Task Instruction Sheet (HOJA DE INSTRUCCIONES DE TAREA)			Departamento / Area		Mantenimiento Industrial			
	Tarea: 7		Descripción de la tarea: CAMBIO DE EMPAQUES			Fecha de Realización		18/1/2023	Realizada por:	Guasco, M.; Alvarado, W. 2023	
	Descripción del equipo/No.		Ubicación	Símbolo	<input checked="" type="checkbox"/> Seguridad <input type="checkbox"/> Crítico <input type="checkbox"/> Secuencia mandatoria en los pasos	<input type="checkbox"/> Calidad <input type="checkbox"/> Secuencia mandatoria de pasos	<input type="checkbox"/> Medio Ambiente	Tiempo estandar		1 min	
	GASIFICADOR		ESPOCH								
✓	Sim.	No	Descripción de Pasos		Detalle del Paso (Que, Como, Puntos clave)		Diagramas: (Herramientas, Partes Especiales, EPP Especiales, Layouts, etc.)				
	<input checked="" type="checkbox"/>	1	Cambió de empaques en el cilindro de filtrado		Se realiza despues de varias gasificaciones para que no haya fuga de salida de gas del reactor		 				
Bloque de Firmas							Fecha	Nombre	Descripción del cambio		
Turno	Firma	Fecha	Lider de Equipo		Lider de Grupo						
1			ING Felix García								
2											
3											

ANEXOS C: ANÁLISIS DE LA PRIMERA GASIFICACIÓN

	INFORME DE RESULTADOS	Página: 1 de 1 FPT-7.8-03-04	
---	------------------------------	--	---

INFORME No. I-LAI-022-74-01

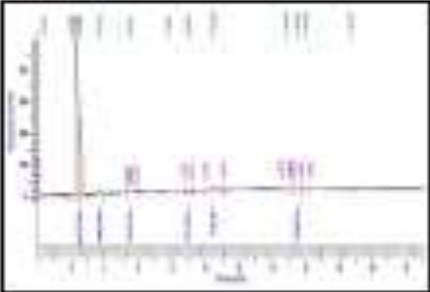
Orden de Trabajo No. DQ-OT0135-2022

INFORMACIÓN CLIENTE				
Cliente / Empresa:	Wilmer Alvarado		Persona de contacto: Wilmer Alvarado	
Dirección / Telf.:	Chimborazo-Riobamba (ESPOCH) / 0982780138		E-mail: wilmer.alvarado@esPOCH.edu.ec	
PARÁMETROS DE LA MUESTRA				
Identificación:	M-LAI-022-74-01	Fecha de muestreo:	* 05/12/2022	
Tipo de muestra:	Biogas/ Muestra 1	Plan de muestreo:	No especificado por el cliente	
Tipo de contenedor:	Bolsa tedral	Fecha inicio del ensayo:	8/12/2022	
Fecha de recepción:	6/12/2022	Fecha entrega informe:	14/12/2022	
CONDICIONES DE TRABAJO				
Temperatura y %HR ambiente:	19,5 °C	38,0 %	Norma de referencia: ASTM D 1945: Cromatografía	
Temperatura y Presión de muestra:	66,0 °F	0,7 psi	Procedimiento interno: PE-7.2-01	
	18,9 °C	4895,3 Pa	PE-7.2-02	
RESULTADOS				
COMPOSICIÓN	COMPONENTE		% Moles	Desv. Std
	Hidrógeno		21,20	0,67
	Oxígeno		2,73	0,69
	Nitrógeno		26,96	0,73
	Monóxido de carbono		28,18	1,02
	Metano		4,43	0,04
	Dióxido de carbono		14,98	0,14
	Etano		0,26	0,00
Agua		1,26	0,05	
PROPIEDADES	Densidad relativa		0,85	
	Peso molecular promedio [g/mol]		24,45	
	Densidad de la muestra [g/L]		1,03	
	Poder calorífico superior [kJ/m ³]		7788,05	
	Poder calorífico inferior [kJ/m ³]		7186,50	
	Factor de compresibilidad (z)		1,0000	
CROMATOGRAMA			MUESTRA	
				
Columna 13 X 45/60 (Cuantificación de nitrógeno y oxígeno)		Columna Porapak Q 80/100 (Cuantificación de hidrocarburos)		
DECLARATORIAS	* Dato proporcionado por el cliente. Los ensayos fueron realizados dentro de las instalaciones del laboratorio LAI. Los resultados reportados corresponden únicamente a los flujos ensayados. El laboratorio no se responsabiliza por la toma ni almacenamiento de la muestra antes de llegar a las instalaciones de la Institución. El muestreo es responsabilidad del cliente y los resultados aplican a la muestra como se recibió. El laboratorio no emite opiniones o interpretaciones sobre los resultados encontrados. Queda prohibida la reproducción parcial o total del presente informe sin previa autorización.			
OBSERVACIONES	No existieron desviaciones durante la ejecución del ensayo.			
Elaborado por:			Revisado y aprobado por:	
Ing. Gabriela Pérez ANALISTAS DE LABORATORIO			 ANDRES GABRIEL CHICO PROANO COORDINADOR DEL LABORATORIO	



Dirección: Quito | Ladrón de Guevara E11-253 | Edificio Nro. 17 | Sto. Piso
 Correo: a.instrumental@epn.edu.ec | Teléfonos: 022976300 ext. 4334 | 4332

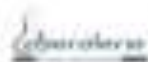
ANEXOS D: ANÁLISIS DE LA SEGUNDA GASIFICACIÓN

	INFORME DE RESULTADOS	Página	2 de 3		
		EPT-7.8-03-04			
INFORME No. 1-LA1-022-74-02					
Orden de Trabajo No. DO-0790251891					
INFORMACION CLIENTE					
Cliente / Empresa:	Wilson Alvarado		Persona de contacto:	Wilson Alvarado	
Dirección / Telf.:	Chimborazo-Riobamba (SPOCH): 0992790128		E-mail:	wilson.alvarado@spoch.edu.ec	
PARÁMETROS DE LA MUESTRA					
Identificación:	NL-LA1-022-74-02		Fecha de muestreo:	* 10/1/2023	
Tipo de muestra:	Sogas muestra 2		Plan de muestreo:	No especificado por el cliente	
Tipo de muestreo:	Bolsa nueva		Fecha inicio del ensayo:	12/1/2023	
Fecha de recepción:	11/1/2023		Fecha entrega informe:	08/1/2023	
CONDICIONES DE TRABAJO					
Temperatura y %HR ambiente:	17,5 °C	45,0 %	Norma de referencia:	ASTM D 1945: Cosmografía	
Temperatura y Presión de muestra:	56,0 °F	0,7 psi	Procedimiento interno:	PS-7.340	
	18,9 °C	4895,3 Pa		PS-7.340	
RESULTADOS					
COMPOSICIÓN	COMPONENTE		% Moles	Gmo. Ból.	
	Hidrógeno		27,90	0,1418	
	Oxígeno		1,32	0,0038	
	Nitrógeno		41,58	0,4814	
	Monóxido de carbono		2,96	0,0242	
	Metano		3,43	0,0118	
	Dióxido de carbono		11,51	0,1071	
	Etano		0,21	0,0020	
	Azufre		7,40	0,0014	
	Propano		0,09	0,0004	
		Demanda reactiva	0,87		
PROPIEDADES	Peso molecular promedio [g/mol]		28,38		
	Densidad de la muestra (g/L)		1,00		
	Poder calorífico superior (kWh ^{m³})		4299,29		
	Poder calorífico inferior (kWh ^{m³})		4129,42		
	Factor de conversibilidad (L)		1,0000		
CRONATOGRAMA				MUESTRA	
					
Columna 13 X 45M (Cuantificación de nitrógeno y oxígeno)		Columna Porapak Q 98/08 (Cuantificación de hidrocarburos)			
DECLARATORIAS:	* Dato proporcionado por el cliente. Los resultados fueron realizados dentro de las instalaciones del laboratorio LA1. Los resultados representan la composición instantánea de los gases en un punto. El laboratorio no se responsabiliza por la forma ni almacenamiento de la muestra antes de llegar a las instalaciones de la institución. El usuario es responsable de la muestra y los resultados aplican a la muestra como se recibió. El laboratorio no realiza copias ni integraciones sobre los resultados generados. Queda prohibida la reproducción parcial o total del presente informe sin previa autorización.				
INDICACIONES:	No realizar derivaciones durante la ejecución del ensayo. De darse cualquier cambio de otros laboratorios se avisará.				
Elaborado por:	 GABRIELA PÉREZ QUÍMICA		Revisado y aprobado por:	 WILSON ALVARADO QUÍMICO	
Ing. Gabriela Pérez ANALISTAS DE LABORATORIO			Ing. Wilson Alvarado, MSc. COORDINADOR DEL LABORATORIO		



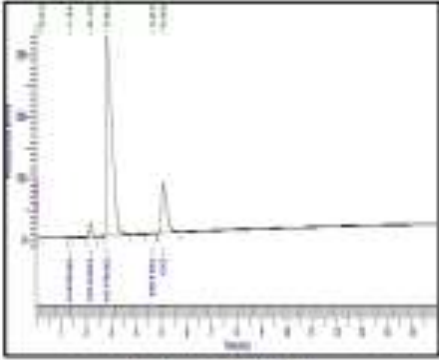
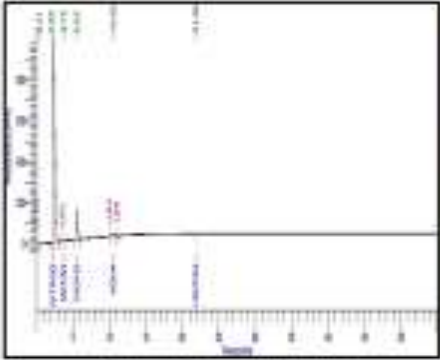



ANEXOS E: ANÁLISIS DE LA TERCERA GASIFICACIÓN

	INFORME DE RESULTADOS	Página	1 de 1		
		TPT-7.5-02-04			
INFORME No. I-LAI-022-74-02					
Orden de Trabajo No. DO-07935-2021					
INFORMACIÓN GENERAL					
Ciudad / Empresa:	Wisma Abasco		Persona de contacto:	Wisma Abasco	
Dirección / Telef.:	Chalchicomula-Ribamba (CISPOCH) / 0962780110		E-mail:	wisma.abasco@ispoch.edu.ec	
PARAMETROS DE LA MUESTRA					
Identificación:	M-LAI-022-74-02		Fecha de muestreo:	* 12/1/2021	
Tipo de muestra:	Briquet Muestra 1		Plan de muestreo:	No especificado por el cliente	
Tipo de acondicionamiento:	Briquet		Fecha inicio del ensayo:	30/1/2021	
Fecha de recepción:	12/1/2021		Fecha entrega informe:	30/1/2021	
CONDICIONES DE TRABAJO					
Temperatura y %HR ambiente:	17.0 °C	47.0 %	Norma de referencia:	ASTM D 1945. Cromatografía	
Temperatura y Presión de muestra:	65.0 °C	0.7 psi	Procedimientos internos:	PS-7-3-61 PS-7-3-60.	
RESULTADOS					
COMPOSICIÓN	COMPOSICIÓN			% Molar	Dens. g/ml
	Hidrógeno			10.267	0.1063
	Oxígeno			1.363	0.0142
	Nitrógeno			40.609	0.4197
	Monóxido de carbono			25.328	0.2647
	Metano			0.803	0.0084
	Dióxido de carbono			10.452	0.1077
	Etano			0.274	0.0028
	Sulfuro			1.221	0.0126
	Propano			0.385	0.0040
Inmersión relativa				0.88	
PROPIEDADES	Peso molecular promedio [g/mol]				25.30
	Densidad de la muestra (g/L)				1.06
	Poder calorífico superior [kJ/m ³]				5097.98
	Poder calorífico inferior [kJ/m ³]				1575.29
	Factor de conversibilidad (1)				1.000
CRONOGRAMA					
Columna 13 X-450R (Cuantificación de nitrógeno y oxígeno)			Columna Porapak Q 60/80 (Cuantificación de hidrocarburos)		
DECLARATORIAS:	<p>* Dato proporcionado por el cliente</p> <p>Los ensayos fueron realizados dentro de las instalaciones del laboratorio LAI</p> <p>Los resultados reportados corresponden únicamente los datos analizados</p> <p>El laboratorio no se responsabiliza por la forma ni el almacenamiento de la muestra antes de llegar a las instalaciones de la institución</p> <p>El ensayo es representativo del cliente y los resultados aplican a la muestra como se analizó.</p> <p>El laboratorio no realiza copias ni interpretaciones sobre los resultados reportados</p> <p>Queda prohibida la reproducción parcial o total del presente informe sin previa autorización.</p>				
CONSEJOS:	<p>No realizar modificaciones durante la ejecución del ensayo</p> <p>De alguna presencia alguna de otros hidrocarburos no identificados</p>				
Elaborado por:	 Ing. Gabriela Flores ANALISTAS DE LABORATORIO		Revisado y aprobado por:	 Ing. Andrés Chao, MSc. COORDINADOR DEL LABORATORIO	



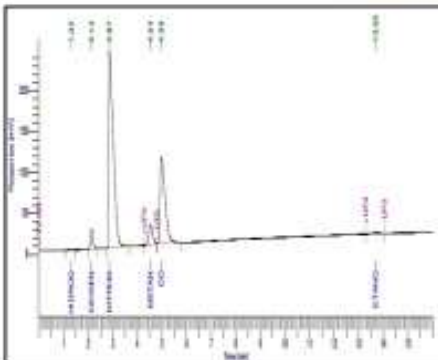
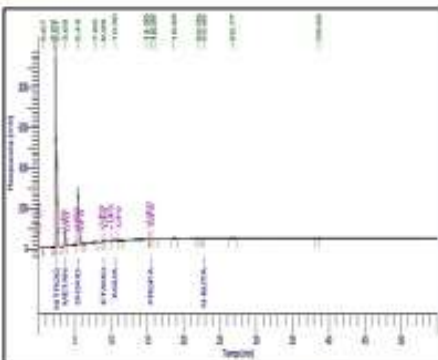

ANEXOS F: ANÁLISIS DE LA CUARTA GASIFICACIÓN

	INFORME DE RESULTADOS	Página:	1 de 1	
		FPT-7.8-03-04		
INFORME No. I-LAI-022-85-01				
INFORMACION CLIENTE				
Cliente / Empresa:	Graciela Casillas	Persona de contacto:	Ing. Paul Palmaray	
Dirección / Telf.:	Av. 11 de noviembre y José de Villamil - Richardson / 098 463 8498	E-mail:	gracielacasillos@esPOCH.edu.ec	
PARAMETROS DE LA MUESTRA				
Identificación:	M-LAI-022-85-01	Fecha de muestreo:	* 12/1/2023	
Tipo de muestra:	Gas de síntesis/ Biomasa de cascariña de arroz	Plan de muestreo:	No especificado por el cliente	
Tipo de contenedor:	Bolsa textil	Fecha inicio del ensayo:	13/1/2023	
Fecha de recepción:	13/1/2023	Fecha entrega informe:	20/1/2023	
CONDICIONES DE TRABAJO				
Temperatura y %HR ambiente:	17,0 °C	45,0 %	Norma de referencia:	ASTM D 1945: Cromatografía
Temperatura y Presión de muestra:	66,0 °F 18,9 °C	0,7 psi 4895,3 Pa	Procedimiento interno:	PE-7.2-01 PE-7.2-02
RESULTADOS				
COMPOSICIÓN	COMPONENTE		% Moles	Dev. Std
	Hidrógeno		13,22	0,06
	Oxígeno		2,72	0,07
	Nitrógeno		48,05	0,84
	Monóxido de carbono		25,84	0,44
	Metano		0,17	0,00
	Dióxido de carbono		9,96	0,20
Agua		1,04	0,08	
PROPIEDADES	Densidad relativa		0,92	
	Peso molecular promedio [g/mol]		26,50	
	Densidad de la muestra [g/L]		1,12	
	Poder calorífico superior [kJ/m ³]		4644,99	
	Poder calorífico inferior [kJ/m ³]		4390,17	
	Factor de compresibilidad (z)		1,0000	
CROMATOGRAMA				MUESTRA
				
Columna 13 X-45/60 (Cuantificación de nitrógeno y oxígeno)		Columna Porapak Q 80/100 (Cuantificación de hidrocarburos)		
DECLARATORIAS	* Datos proporcionado por el cliente. Los ensayos fueron realizados dentro de las instalaciones del laboratorio LAL. Los resultados reportados corresponden únicamente a los items ensayados. El laboratorio no es responsable por la toma ni almacenamiento de la muestra antes de llegar a las instalaciones de la institución. El ensayo es responsabilidad del cliente y los resultados aplica a la muestra como se recibió. El laboratorio no asume opiniones o interpretaciones sobre los resultados encontrados. Queda prohibida la reproducción parcial o total del presente informe sin previa autorización.			
OBSERVACIONES	No se observaron distracciones durante la ejecución del ensayo.			
Elaborado por:	GABRIELA PÉREZ YANISSE PEREZ GLENNACOMA		Revisado y aprobado por:	ANDRÉS CHIES GABRIEL CHICO FROJAN
Ing. Gabriela Pérez ANALISTAS DE LABORATORIO			Ing. Andrés Chies, MSc. COORDINADOR DEL LABORATORIO	

ANEXOS G: ANÁLISIS DE LA QUINTA GASIFICACIÓN

	INFORME DE RESULTADOS	Página: 1 de 1	
	FPT-7,8-03-04		

INFORME No. I-LAI-022-85-02

INFORMACIÓN CLIENTE				
Cliente / Empresa:	Graciela Casillas	Persona de contacto:	Ing. Paúl Palmay	
Dirección / Telf.:	Av. 11 de noviembre y José de Villamil - Riobamba / 098 463 8498	E-mail:	graciela.casillas@esPOCH.edu.ec	
PARÁMETROS DE LA MUESTRA				
Identificación:	M-LAI-022-85-02	Fecha de muestreo:	* 26/1/2023	
Tipo de muestra:	Gas de síntesis/ Residuos forestales	Plan de muestreo:	No especificado por el cliente	
Tipo de contenedor:	Bolsa sedlar	Fecha inicio del ensayo:	30/1/2023	
Fecha de recepción:	27/1/2023	Fecha entrega informe:	2/2/2023	
CONDICIONES DE TRABAJO				
Temperatura y %HR ambiente:	18,0 °C 45,0 %	Norma de referencia:	ASTM D 1945; Cromatografía	
Temperatura y Presión de muestra:	65,5 °F 0,7 psi 18,6 °C 4895,3 Pa	Procedimiento interno:	PE-7.2-01 PE-7.2-02	
RESULTADOS				
COMPOSICIÓN	COMPONENTE		% Moles	Desv. Std
	Hidrógeno		29,50	0,147
	Oxígeno		2,57	0,082
	Nitrógeno		25,17	0,189
	Monóxido de carbono		29,25	0,055
	Metano		2,70	0,023
	Dióxido de carbono		19,56	0,331
	Etano		0,27	0,020
	Agua		0,95	0,216
Propano		0,03	0,003	
PROPIEDADES	Densidad relativa		0,90	
	Peso molecular promedio [g/mol]		25,86	
	Densidad de la muestra (g/L)		1,09	
	Poder calorífico superior [kJ/m ³]		7088,65	
	Poder calorífico inferior [kJ/m ³]		6586,71	
Factor de compresibilidad (z)		1,0000		
CROMATOGRAMA			MUESTRA	
				
Columna 13 X 45/60 (Cuantificación de nitrógeno y oxígeno)		Columna Porapak Q 80/100 (Cuantificación de hidrocarburos)		
DECLARATORIAS	* Dato proporcionado por el cliente. Los ensayos fueron realizados dentro de las instalaciones del laboratorio LAI. Los resultados reportados corresponden únicamente a los ítems ensayados. El laboratorio no se responsabiliza por la forma ni el empaquetamiento de la muestra antes de llegar a las instalaciones de la Institución. El muestreo es responsabilidad del cliente y los resultados aplican a la muestra como se recibió. El laboratorio no emite opiniones o interpretaciones sobre los resultados encontrados. Queda prohibida la reproducción parcial o total del presente informe sin previa autorización.			
OBSERVACIONES	No existieron desviaciones durante la ejecución del ensayo.			
Elaborado por:	Revisado y aprobado por:			
GABRIELA VAREZOSA PÉREZ GURACOOHA	ANDRÉS GABRIEL CHICO PRADO			
Ing. Gabriela Pérez	Ing. Andrés Chico, MSc.			
ANALISTAS DE LABORATORIO	COORDINADOR DEL LABORATORIO			