

**UNIVERSIDAD AUTÓNOMA DE BAJA CALIFORNIA**

**INSTITUTO DE INGENIERÍA**

**MAESTRÍA Y DOCTORADO EN CIENCIAS E INGENIERÍA**



**“DESARROLLO DE UN INSTRUMENTO VIRTUAL PARA MONITOREAR LOS  
EFLUENTES DE GASIFICACIÓN DE BIOMASA AGRÍCOLA RESIDUAL”**

**TESIS QUE PARA OBTENER EL GRADO DE**

**DOCTOR EN INGENIERÍA**

**PRESENTA:**

**MARCO ANTONIO FLORES ZAMORA**

**DIRECTOR DE TESIS:**

**DR. CONRADO GARCÍA GONZÁLEZ**

**CO-DIRECTOR DE TESIS:**

**DR. ROGELIO ARTURO ABRAHAM JOSÉ MARÍA RAMOS IRIGOYEN**

Mexicali, Baja California, 30 de agosto 2019

## Agradecimientos

**A mis padres y a mis hermanos que siempre están  
para apoyarme.**

**A mi esposa que me inspira cada día a seguir  
superándome.**

# Agradecimientos

Al Consejo Nacional de Ciencia y Tecnología (CONACYT) por brindarme apoyo económico a lo largo de mis estudios.

A mi director de tesis Dr. Conrado García González por la confianza depositada y apoyo brindado durante la investigación y su amistad.

A mi co-director de tesis Dr. Rogelio Arturo Ramos Irigoyen por el apoyo invaluable que me ha brindado todos estos años.

A la Dra. Gisela Montero Alpírez por la confianza brindada en estos años.

A la Dra. Ana María Vázquez Espinoza por el apoyo brindado en cada momento.

A todos los catedráticos sínodos que aportan de su valioso tiempo.

## Contenido

Resumen .....	11
1 Introducción.....	12
1.1 Planteamiento del problema.....	16
1.2 Objetivo general .....	19
1.3 Objetivos específicos .....	19
2 Marco teórico .....	19
2.1 Conceptos generales de la biomasa .....	19
2.2 Tipos de biomasa .....	21
2.3 Biomasa residual.....	22
2.4 Cultivos energéticos .....	24
2.5 Conversión termoquímica .....	26
2.5.1 Combustión .....	26
2.5.2 Pirólisis .....	26
2.5.3 Gasificación .....	27
2.5.4 Licuefacción.....	28
2.6 Tecnologías de gasificación .....	29
2.7 Patentes relacionadas con tecnología de gasificación .....	30
2.7.1 3ra Búsqueda .....	35

2.8	Tipos de gasificadores .....	37
2.8.1	Gasificador updraft .....	37
2.8.2	Gasificador downdraft.....	38
2.8.3	Gasificador de lecho fluidizado .....	40
2.9	Diagrama ternario.....	41
2.10	Normativa mexicana.....	42
2.10.1	Plan Energético .....	44
2.11	Antecedentes históricos de la gasificación.....	45
3	Materiales y métodos .....	50
3.1	Preparación de la biomasa.....	50
3.2	Pruebas de alimentación de materia prima.....	50
3.3	Toma de muestra del gas de síntesis.....	53
3.4	Cromatografía de gases.....	54
3.5	Simulación en Aspen Plus.....	55
3.6	Gasificador PP20 Power Pallet .....	62
3.7	Procesos termoquímicos del PP20 .....	63
3.8	Automatización.....	66
3.9	Instrumento virtual.....	69
3.10	Representación virtual de parámetros de operación en tiempo real de equipo gasificador.....	71

3.11 Programación.....	73
3.11.1 Código de programación .....	73
3.12 Programa de cómputo para el análisis de los parámetros de operación del equipo gasificador.....	78
3.12.1 Código de programación .....	79
4 Resultados y discusiones.....	83
4.1 Resultado de la gasificación.....	83
4.2 Resultados de la simulación de Aspen Plus.....	86
4.3 Desarrollo del instrumento virtual .....	87
4.3.1 Representación virtual de parámetros de operación en tiempo real de equipo gasificador .....	88
4.3.2 Programa de cómputo para el análisis de los parámetros de operación del equipo gasificador .....	90
4.4 Control de parámetros importantes y críticos para protección de las partes que corresponden al equipo de gasificación.....	91
4.5 Gráficos obtenidos .....	92
Conclusiones.....	97
Referencias .....	99
Anexos .....	102

## Lista de Figuras

Figura 1 Biomasa para energía .....	16
Figura 2 Representación de la fotosíntesis .....	21
Figura 3 Biomasa para energía .....	25
Figura 4 Tipos de pirólisis.....	27
Figura 5 Tipos de gasificación.....	28
Figura 6 Esquema de un gasificador updraft.....	38
Figura 7 Esquema de un gasificador downdraft .....	39
Figura 8 Diagrama ternario [27].....	42
Figura 9 La historia de gasificación [31] .....	46
Figura 10 Gasificadores usados en camiones [31].....	48
Figura 11 Preparación de materia prima (fuente propia) .....	50
Figura 12 Pruebas de alimentación (fuente propia).....	51
Figura 13 Tamaño ideal de materia prima para la alimentación.....	52
Figura 14 Tamaño de paja de trigo para la alimentación .....	52
Figura 15 Adaptador para la toma de muestras (fuente propia) .....	53
Figura 16 Jeringa para CG (imagen de la web).....	53
Figura 17 CG Clarus 400 (imagen de la web) .....	54
Figura 18 Diagrama de Aspen Plus.....	59

Figura 19 Diagrama de Aspen Plus.....	61
Figura 20 Gasificador Power Pallet PP20 [35] .....	62
Figura 21 Zonas del gasificador (imagen de la web) .....	66
Figura 22 Unidad de Control de Procesos del PP20 [36] .....	68
Figura 23 Instrumento virtual REVIOGA .....	72
Figura 24 Representación de cómo se reciben los datos capturados por el IV.....	73
Figura 25 Código para inicio de programa .....	74
Figura 26 Código para inicio de arreglos.....	74
Figura 27 Código para la comunicación serial.....	75
Figura 28 Cantidad de valores en una cadena.....	76
Figura 29 Código para clasificación de valores .....	76
Figura 30 Bloques que permiten la impresión los valores precisos en pantalla ....	77
Figura 31 Matriz de dos arreglos en conjunto .....	78
Figura 32 Instrumento virtual ANAPAGA .....	79
Figura 33 Código para cargar archivo .csv.....	80
Figura 34 Código para convertir las tablas en arreglos de LabView .....	81
Figura 35 Graficando datos.....	82
Figura 36 Cromatograma del gas de síntesis a los 40 min .....	84
Figura 37 Cromatograma del gas de síntesis a los 60 min .....	85

Figura 38 Código de programación por bloques .....	87
Figura 39 Comunicación con el gasificador.....	88
Figura 40 Instrumento virtual REVIOGA .....	89
Figura 41 Control de parámetros del gasificador.....	91
Figura 42 Gráfica de temperatura de reducción.....	92
Figura 43 Gráfica de temperatura de restricción .....	93
Figura 44 Gráfica de presión de combustión.....	94
Figura 45 Gráfica de presión del reactor .....	94
Figura 46 Escoria (izquierda), producto de corrosión (derecha).....	95
Figura 47 Tornillo de alimentación sin poder girar (izquierda). Biomasa sin la tolva colocada (derecha).....	96

## Lista de tablas

Tabla 1 Principales biocombustibles [4] .....	14
Tabla 2 Comparativa de los principales procesos de conversión termoquímica de la biomasa.....	29
Tabla 3 Condiciones de operación del cromatógrafo .....	54
Tabla 4 Componentes convencionales .....	56
Tabla 5 Componentes no convencionales .....	57
Tabla 6 Sólidos.....	57
Tabla 7 Análisis próximo y último del eucalipto .....	57
Tabla 8 Descripción de bloques de reactores [34] .....	58
Tabla 9 Especificaciones técnicas del gasificador [35].....	63
Tabla 10 Composición del gas de síntesis .....	85
Tabla 11 Gasificación PP20 vs simulación.....	86

## Resumen

El gasificador de biomasa GEK PP20 Power Pallet ubicado en el INSTITUTO DE INGENIERIA de la UABC es utilizado para experimentar con diferentes materias primas mediante el proceso de gasificación con el fin de producir gas de síntesis, el cual se compone de aproximadamente 20% de H<sub>2</sub> y 20% de CO. Esta mezcla de gases es quemada en un motor de combustión interna acoplado a un generador para la producción de energía eléctrica. El sistema de gasificación también lo integra un sistema de automatización y control que mediante instrumentación muestran los datos y configuraciones en una LCD de 4 filas y 20 columnas todo implementado en una tarjeta de circuito impreso. Se desarrolló instrumentos virtuales con gráficas y los datos más relevantes provenientes de sensores de oxígeno, temperatura, y presión. Se muestran relaciones de estos datos que son recabados desde el sistema de automatización y control para posteriormente ser mostrados ya depurados y analizados en el instrumento virtual en una pantalla de una computadora.

- Se utilizó la herramienta de software de Nationals Instruments, LabView<sup>MR</sup> 2015.
- Se muestran alarmas y ubicaciones de los sensores desde el instrumento virtual.
- Muestran gráficas relacionadas al proceso de gasificación.

# 1 Introducción

La biomasa a lo largo de la historia ha sido el primer combustible empleado por el hombre, básicamente las ramas y troncos de los árboles que al quemarlos producían luz y calor se utilizaba para cocinar, para calentar el hogar, en hornos y cocinas artesanales e incluso en calderas que desde la revolución industrial se aprovechaba para la producción de vapor.

Fueron precisamente estos nuevos usos, que progresivamente requerían mayor cantidad de energía en un espacio cada vez más reducido, los que promocionaron el uso del carbón como combustible sustitutivo, a mediados del siglo XVIII.

Actualmente, los combustibles fósiles son la principal fuente de energía primaria a nivel mundial. La fuerte dependencia global de esta fuente de energía tiene efectos adversos en el ambiente y en los seres humanos, y disminuye la seguridad energética; genera altas emisiones de gases de efecto invernadero y otras emisiones contaminantes por la combustión de gas natural, carbón y derivados del petróleo.

Los problemas sociopolíticos y ambientales, en particular el problema del cambio climático global, han llegado a tal magnitud que los países están volteando a ver las energías renovables, estas son las producidas a partir de procesos que no involucran el uso de combustibles fósiles. Existe la creciente utilización de combustibles alternativos a partir de fuentes renovables, como la biomasa, la biomasa es un recurso neutro a carbono y es el material más abundante producido por fotosíntesis

a plantas en presencia de luz solar [1] gobiernos han propuesto como estrategia global la eliminación del uso de los combustibles fósiles a finales del siglo XXI. Esto implica una transición energética radical, donde una parte crucial corresponde a las fuentes renovables de energía y, dentro de ellas, a la bioenergía.

Hoy en día, las fuentes de energía renovable proveen alrededor del 10% de la demanda de energía final, de la cual, la bioenergía es la fuente principal con una oferta de 55.6 EJ/año o el 47% del total de energía renovable [2]. El 67% de la bioenergía se utiliza en el sector residencial y en usos tradicionales (cocción de alimentos en zonas rurales y periurbanas empleando leña, residuos agrícolas y estiércol). El 33% se usa con tecnologías modernas (incluyendo 23% para generación de calor) y el 10% remanente se divide entre biocombustibles líquidos y generación eléctrica [2].

Una de las fuentes de energía renovable considerada clave para transitar de un sistema energético basado en combustibles fósiles a uno basado en fuentes renovables es la bioenergía. Se estima que ésta puede jugar un papel importante en la transición energética mundial ya que a nivel global el potencial de la biomasa para 2050 sea de 1,135 EJ/año según la Agencia Internacional de Energía [3].

Los biocombustibles se obtienen a partir de la biomasa, con mayor o menor grado de procesamiento. Entre estos últimos se distingue a:

- Biocombustibles sólidos (leña, carbón vegetal, residuos agrícolas, residuos forestales, pellets, briquetas): pueden quemarse directamente o previa gasificación o pirólisis, para producir calor y electricidad.

- Biocombustibles líquidos (bioetanol, biodiésel y bioturbosina): obtenidos de cultivos energéticos como caña de azúcar y oleaginosas o de aceite vegetal usado, grasas animales y otras fuentes.
- Biocombustibles gaseosos (biogás, biometano): obtenidos de los residuos municipales y estiércol; pueden generar calor y electricidad, localmente y en sistemas interconectados.
- Los bioenergéticos (o biocombustibles) también pueden ser clasificados de acuerdo a las tecnologías empleadas en su obtención (Tabla 1).

Tabla 1 Principales biocombustibles [4]

Bioenergéticos	Sólidos	Líquidos	Gaseosos
1a generación	Leña, carbón vegetal, bagazo, pellets	Bioetanol, biodiesel, licor negro	Biogás, gas de síntesis
2a generación	Bio-char, torrefactos, tor-pellets	Etanol celulósico, syn-diésel, aceite de pirólisis.	Bio-metano
3a generación		Diésel de algas, etanol de algas	Bio-hidrógeno

Desde el punto de vista del aprovechamiento energético, la biomasa se caracteriza por tener un bajo contenido de carbono, un elevado contenido de oxígeno y compuestos volátiles. Estos compuestos volátiles (formados por cadenas largas del tipo  $C_nH_m$ , y presencia de  $CO_2$ ,  $CO$  e  $H_2$ ) son los que concentran una gran parte del poder calorífico de la biomasa. El poder calorífico de la biomasa depende mucho del tipo de biomasa considerada y el grado de humedad que esta contiene. Así normalmente estos valores de poder calorífico de la biomasa se pueden dar en base seca o en base húmeda.

En general se puede considerar que el poder calorífico de la biomasa puede oscilar entre los 3000 – 3500 kcal/kg para los residuos ligno - celulósicos, los 2000 – 2500 kcal/kg para los residuos urbanos y finalmente los 10000 kcal/kg para los combustibles líquidos provenientes de cultivos energéticos. Estas características, juntamente con el bajo contenido de azufre de la biomasa, la convierten en un producto especialmente atractivo para ser aprovechado energéticamente [5].

Cabe destacar que, desde el punto de vista ambiental, el aprovechamiento energético de la biomasa no contribuye al aumento de los gases de efecto invernadero, dado que el balance de emisiones de  $CO_2$  a la atmósfera es neutro. En efecto, el  $CO_2$  generado en la combustión de la biomasa es reabsorbido mediante la fotosíntesis en el crecimiento de las plantas necesarias para su producción y, por lo tanto, no aumenta la cantidad de  $CO_2$  presente en la atmósfera. Al contrario, en el caso de los combustibles fósiles, el carbono que se libera a la atmósfera es el que está fijo a la tierra desde hace millones de años [6].

Desde el punto de vista energético resulta conveniente dividir la biomasa en dos grandes grupos (Figura 1).

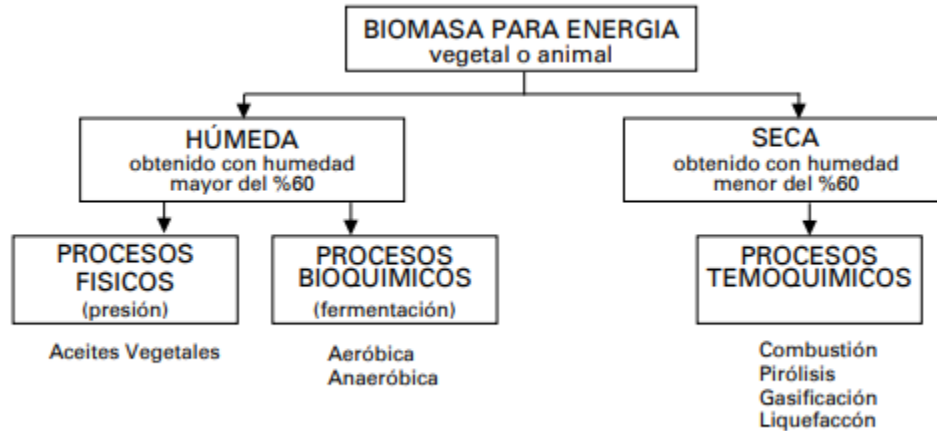


Figura 1 Biomasa para energía

## 1.1 Planteamiento del problema

Hoy en día gracias al crecimiento poblacional existente, se presenta una gran demanda energética, por lo que al pasar el tiempo la necesidad de buscar otras fuentes de energía se hace más presente en los investigadores.

Cuando se piensa en energía alternativas que sustituya los hidrocarburos sacados principalmente de los combustibles fósiles, siempre pasa por la mente la energía que recibimos del sol, a pesar que es una gran fuente de energía gratis que llega a nuestro planeta se están buscando otras fuentes debido al elevado coste de inversión inicial. Desde investigaciones pasadas se han buscado diferentes formas de energía que se presentan y la manera de cómo se almacenan, gracias a esto se miró hacia la vida vegetal y la forma natural con la que almacenan la energía.

Mexicali es la ciudad capital del estado de Baja California, colinda al norte con Estados Unidos de América; al este con el estado de Sonora y el Golfo de California; al sur con el municipio de Ensenada y al oeste con los municipios de Ensenada y Tecate. Entre sus principales actividades económicas destaca la agricultura con gran relevancia. La zona agrícola del Municipio de Mexicali se denomina Valle de Mexicali (VM), se encuentra ubicada en la región este y parcialmente dentro del delta del río Colorado. Esta zona agrícola, forma parte de una unidad geográfica compartida con el Valle Imperial del vecino estado de California, Estados Unidos de América, separados artificialmente por la división política entre ambos países. El trigo es el principal cultivo en el Valle de Mexicali de acuerdo con lo reportado en 2018, con una superficie cultivada de 54,255 ha [7]. El trigo en el VM es utilizado únicamente para la obtención de grano con diversas aplicaciones y de manera secundaria como forraje para el ganado, previo al espigamiento donde es aprovechado en su totalidad. El rendimiento promedio del trigo cosechado en el VM es de 6.3 ton/ha, destacándose su calidad reconocida nacionalmente como una de las más sanas del país, libre de enfermedades.

El cultivo de trigo se realiza en el periodo denominado otoño-invierno y la siembra se efectúa en diciembre y a principios de enero. La madurez fisiológica del trigo llega a los 125 días después de su siembra y la cosecha tiene una duración aproximada de 2 a 3 semanas [8]. El 85 % de la paja de trigo que se genera en cada cosecha, es quemado in situ a cielo abierto. La quema de los residuos del cultivo de trigo, es una práctica común que utilizan los agricultores del VM para disponer de

tales residuos, puesto que reduce los costos en la preparación de la tierra para el próximo ciclo agrícola y además evita la propagación de plagas y enfermedades en futuros cultivos. Además del desaprovechamiento energético que implican las quemas agrícolas, éstas tienen asociadas emisiones considerables que deterioran el ambiente. Por ello, el objetivo de este trabajo consistió en estimar la energía liberada por la combustión de la paja de trigo en el Valle de Mexicali.

Estos biocombustibles son recursos energéticos procesados por el ser humano a partir de materias producidas por seres vivos, que son parte también de la biomasa y en el caso de los residuos agrícolas y forestales están compuestos principalmente por celulosa. La fase en la que se encuentran puede ser líquida, sólida o gaseosa, y su finalidad última es liberar la energía contenida en sus componentes químicos mediante una reacción de combustión [9]. Desde el punto de vista técnico y dependiendo de sus características, es factible convertir los residuos agrícolas en biogás o bioetanol a través de procesos físicos, termoquímicos o bioquímicos; su porcentaje de humedad y su contenido de celulosa y lignina, en cada caso, determinan el proceso más conveniente [10]. Una alternativa a los biocombustibles es el aprovechamiento de la energía contenida en la paja de trigo que puede ser empleada, previo tratamiento físico como el peletizado.

La energía de biomasa que procede de la madera, residuos agrícolas y estiércol, continúa siendo la fuente principal de energía de las zonas en desarrollo. Es la masa total de la materia viva de una parte de un organismo, población o ecosistema y tiende a mantenerse más o menos constante. Por lo general, se da en términos de materia seca por unidad de área (por ejemplo kg/ha o g/m<sup>2</sup>).

## **1.2 Objetivo general**

Desarrollo de un instrumento virtual para monitorear los efluentes de gasificación de biomasa agrícola residual.

## **1.3 Objetivos específicos**

- (a) Determinar los parámetros de funcionamiento del equipo gasificador Power Pallet PP20 a monitorear.
- (b) Desarrollar un programa de control de procesos en LabView, para monitorear el desempeño del equipo gasificador Power Pallet PP20.
- (c) Evaluar el desempeño del equipo gasificador Power Pallet PP20, en términos de producción de gas de síntesis y la calidad del gas.

# **2 Marco teórico**

## **2.1 Conceptos generales de la biomasa**

La biomasa se designa a un conjunto heterogéneo de materias orgánicas, tanto por su origen como por su naturaleza y composición, que puede emplearse para obtener energía. Esta fuente energética se basa en la utilización de la materia orgánica formada por vía biológica en un pasado inmediato o en los productos derivados de esta. En consecuencia, también tiene consideración de biomasa la materia orgánica de las aguas residuales, los lodos de depuradora y la fracción orgánica biodegradable de los residuos sólidos urbanos, aunque dadas las características

específicas de estos residuos se suelen considerar como un grupo parte. La biomasa como materia orgánica originada en un proceso biológico, espontáneo o provocado, tiene carácter de energía renovable porque su contenido energético procede en última instancia de la energía solar fijada por los vegetales en el proceso fotosintético. Al romper los enlaces de los compuestos orgánicos, por combustión directa de biomasa o por combustión de productos obtenidos de ella mediante transformaciones físicas o químicas, para dar dióxido de carbono y agua como productos finales, se libera energía. [9]

Como un recurso de energía sostenible y renovable, la biomasa se está formando constantemente por la interacción de CO<sub>2</sub>, aire, agua, suelo y luz solar con plantas y animales. Después de que un organismo muere, los microorganismos descomponen la biomasa en partes constituyentes elementales como el H<sub>2</sub>O, el CO<sub>2</sub> y su energía potencial. Debido a que el dióxido de carbono, una biomasa que se libera a través de la acción de los microorganismos o la combustión fue absorbida por ella en el pasado reciente, la combustión de la biomasa no aumenta el inventario total de CO<sub>2</sub> de la Tierra. Por lo tanto, se llama gas de efecto invernadero neutro o neutro en GEI [11].

La biomasa se forma a través de la conversión del dióxido de carbono (CO<sub>2</sub>) en la atmósfera en carbohidratos por la energía del sol en presencia de clorofila y agua.

Las especies biológicas crecen consumiendo especies botánicas u otras especies biológicas. Las plantas absorben la energía solar en un proceso llamado fotosíntesis (Figura 2).

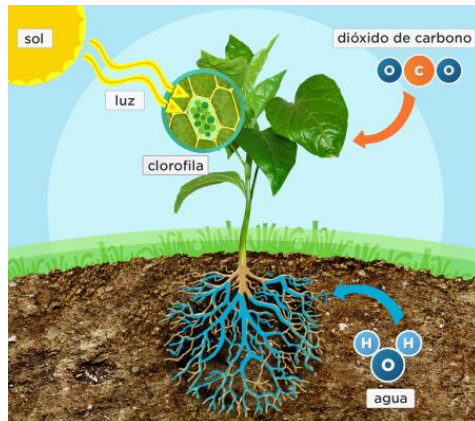
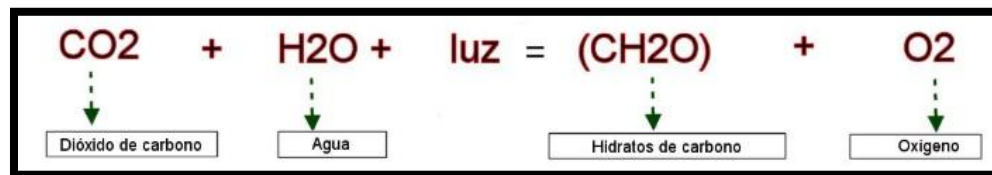


Figura 2 Representación de la fotosíntesis

En presencia de la luz solar de longitudes de onda particulares, las plantas verdes descomponen el agua para obtener electrones y protones y los utilizan para convertir el CO<sub>2</sub> en glucosa (representado por CH<sub>m</sub> O<sub>n</sub>), liberando O<sub>2</sub> como producto de desecho. El proceso puede ser representado por la ecuación 1 [12].



Ecuación 1 Ecuación fotosíntesis [12]

## 2.2 Tipos de biomasa

Desde el punto de vista del aprovechamiento energético, la biomasa puede clasificarse en:

- Biomasa de residuos
  - Residuos ganaderos
  - Residuos sólidos urbanos
  - Residuos agrícolas

- Residuos forestales
- Biomasa de cultivos energéticos

Las diferencias entre la biomasa y los combustibles fósiles son:

- Que los dos emiten CO<sub>2</sub> a la atmósfera, pero la biomasa equilibra estas emisiones con el CO<sub>2</sub> que absorbe en su periodo de fotosíntesis. Absorbe aproximadamente 1,3 t CO<sub>2</sub>/t biomasa [13] [14].
- Que la biomasa no tiene tantos sulfuros, por lo que sus efectos contaminantes serán inferiores en este respecto, y no serán necesarios tratamientos de limpieza de gases tan exigentes (según el tipo de biomasa)

### **2.3 Biomasa residual**

La biomasa residual es aquella derivada de determinadas actividades ganaderas, agrícolas, forestales, industriales, domésticas, entre otros.

Como residuos ganaderos más importantes podemos citar el estiércol, proveniente de deyecciones sólidas y los purines, provenientes de deyecciones líquidas y aguas de lavado. También estarían los residuos de origen cárnico, que pueden ser utilizados después de someterlos a ciertas transformaciones.

Por ejemplo, pueden ser utilizados para producir biogás, el cual es una mezcla de metano y otros gases, que se desprenden en la degradación anaerobia de la materia orgánica por la acción de microorganismos.

Las aguas residuales urbanas se enmarcarían dentro de la biomasa animal. Los residuos agrícolas se clasifican principalmente en herbáceos como tallos y cascarilla y leñosos como restos de podas, ramas, entre otros.

Los residuos forestales pueden clasificarse en dos grupos: los que provienen de la limpieza para mantenimiento de los bosques y los que derivan de la industria maderera.

Los residuos industriales se generan en diferentes sectores de actividad. Sin embargo, solo aquellas industrias que generan residuos orgánicos en cantidades importantes se pueden plantear alguna forma de valorización de los mismos.

Por ejemplo, algunas de las industrias que generan residuos en cuantía para que pueda ser considerado su aprovechamiento son:

- Industrias de conservas vegetales (huesos de frutas, de aceitunas...)
- Productoras de aceite de oliva (orujillos, huesos...)
- Aceites de semilla (cáscaras)
- Productores de vinos
- Elaboradoras de frutos secos (cáscaras de frutos secos, almendras...)
- Fábricas de cerveza (bagazo y lodos de depuración)

Los residuos sólidos urbanos (RSU), son los residuos que genera la población en su domicilio. Su aprovechamiento presenta particularidades por la diversidad de posibles residuos que contiene [15].

## 2.4 Cultivos energéticos

Desde el punto de vista del aprovechamiento energético, la biomasa se caracteriza por tener un bajo contenido de carbono, un elevado contenido de oxígeno y compuestos volátiles. Estos compuestos volátiles (formados por cadenas largas del tipo  $C_nH_m$ , y presencia de  $CO_2$ ,  $CO$  e  $H_2$ ) son los que concentran una gran parte del poder calorífico de la biomasa. El poder calorífico de la biomasa depende mucho del tipo de biomasa considerada y de su humedad. Así normalmente estos valores de poder calorífico de la biomasa se pueden dar en base seca o en base húmeda.

En general se puede considerar que el poder calorífico de la biomasa puede oscilar entre los 3000 – 3500 kcal/kg para los residuos ligno - celulósicos, los 2000 – 2500 kcal/kg para los residuos urbanos y finalmente los 10000 kcal/kg para los combustibles líquidos provenientes de cultivos energéticos. Estas características, juntamente con el bajo contenido de azufre de la biomasa, la convierten en un producto especialmente atractivo para ser aprovechado energéticamente.

Cabe destacar que, desde el punto de vista ambiental, el aprovechamiento energético de la biomasa no contribuye al aumento de los gases de efecto invernadero, dado que el balance de emisiones de  $CO_2$  a la atmósfera es neutro. En efecto, el  $CO_2$  generado en la combustión de la biomasa es reabsorbido mediante la fotosíntesis en el crecimiento de las plantas necesarias para su producción y, por lo tanto, no aumenta la cantidad de  $CO_2$  presente en la atmósfera. Al contrario, en el caso de los combustibles fósiles, el carbono que se libera a la atmósfera es el que está fijo a la tierra desde hace millones de años.

Desde el punto de vista energético resulta conveniente dividir la biomasa en dos grandes grupos como lo muestra el siguiente diagrama.

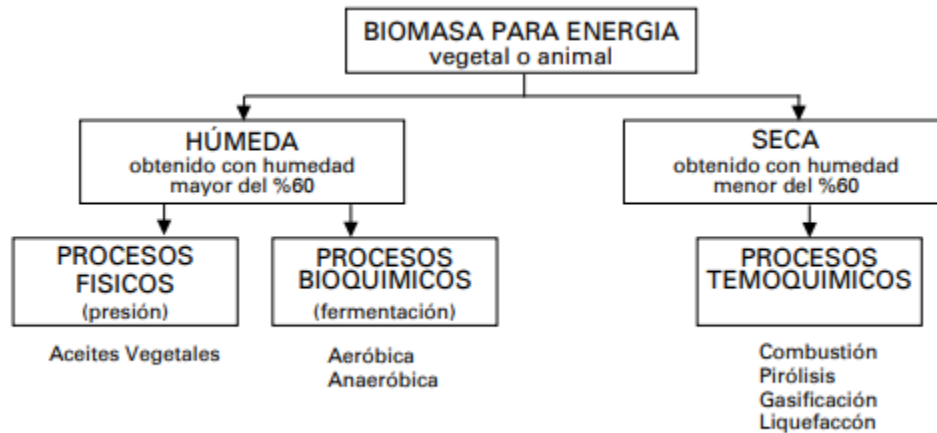


Figura 3 Biomasa para energía

### Biomasa seca

Aquella que puede obtenerse en forma natural con un tenor de humedad menor al 60%, como la leña, paja, etc. Este tipo se presta mejor a ser utilizada energéticamente mediante procesos termoquímicos o fisicoquímicos, que producen directamente energía térmica o productos secundarios en la forma de combustibles sólidos, líquidos o gaseosos.

### Biomasa húmeda

Se denomina así cuando el porcentaje de humedad supera el 60%, como por ejemplo en los restantes vegetales, residuos animales, vegetación acuática, etc. resulta especialmente adecuada para su tratamiento mediante procesos químicos,

o en algunos casos particulares, mediante simples procesos físicos, obteniéndose combustibles líquidos y gaseosos.

Hay que aclarar que esta clasificación es totalmente arbitraria, pero ayuda a visualizar mejor la siguiente caracterización de los procesos de conversión [16].

## **2.5 Conversión termoquímica**

Hay cuatro vías formas principales para la conversión termoquímica de la biomasa:

### **2.5.1 Combustión**

Es el más sencillo y más ampliamente utilizado, tanto en el pasado como en el presente. Permite obtener energía térmica, ya sea para usos domésticos tales como cocción y calefacción o en industriales como generación de calor de proceso, vapor mediante una caldera para la energía mecánica utilizando el vapor de una máquina. Las tecnologías utilizadas para la combustión directa de la biomasa abarcan un amplio espectro que va desde el sencillo fogón a fuego abierto, aún utilizado en vastas zonas para la cocción de alimentos, hasta calderas de alto rendimiento utilizadas en la industria [17].

### **2.5.2 Pirólisis**

Proceso similar a la gasificación por el cual se realiza una oxigenación parcial y controlada de la biomasa, para obtener como producto una combinación variable de combustibles sólidos como el carbón vegetal, líquidos por ejemplo efluentes piroleñosos y gaseosos como el gas de síntesis. Generalmente, el producto principal

de la pirólisis es el carbón vegetal, considerándose a los líquidos y gases como subproductos del proceso (Figura 4). La pirólisis con aprovechamiento pleno de subproductos tuvo su gran auge antes de la difusión masiva del petróleo, ya que constituía la única fuente de ciertas sustancias tales como el ácido acético, metanol, entre otros, que luego se produjeron por la vía petroquímica. Hoy en día, sólo la producción de carbón vegetal reviste importancia cuantitativa [18].

El carbón vegetal como combustible sólido presenta la ventaja frente a la biomasa que le dio origen, de tener un poder calórico mayor o, lo que es lo mismo, un peso menor para igual cantidad de energía, lo que permite un transporte más fácil. No obstante, debe hacerse notar que la carbonización representa una pérdida muy importante de la energía presente en la materia prima, ya que en el proceso consume gran cantidad de ella.

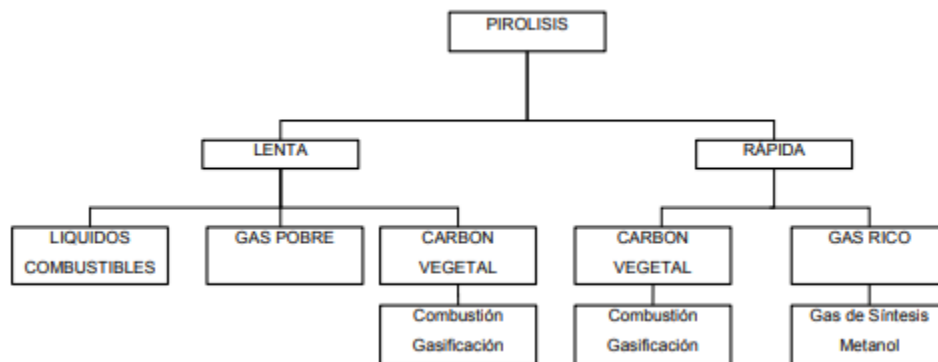


Figura 4 Tipos de pirólisis

### 2.5.3 Gasificación

Consiste en la quema de biomasa, fundamentalmente residuos foresto industriales, en presencia de oxígeno, en forma controlada, de manera de producir un gas combustible denominado “gas pobre” por su bajo contenido calórico en relación, por ejemplo, al gas natural, del orden de la cuarta parte.

La gasificación se realiza en un recipiente cerrado, conocido por gasógeno, en el cual se introduce el combustible y una cantidad de aire menor a la que se requeriría para su combustión completa (Figura 5). El gas pobre obtenido puede quemarse luego en un quemador para obtener energía térmica, en una caldera para producir vapor, o bien ser enfriado y acondicionado para su uso en un motor de combustión interna que produzca, a su vez, energía mecánica [18].

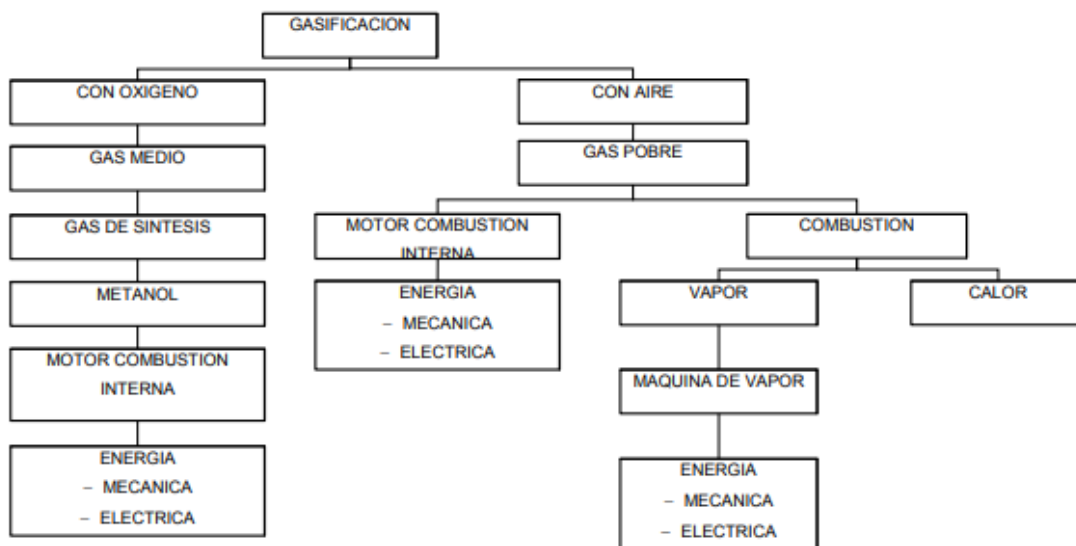


Figura 5 Tipos de gasificación

## 2.5.4 Licuefacción

En este proceso, las grandes moléculas biomásicas son descompuestas en moléculas líquidas más pequeñas. Esto ocurre a más bajas temperaturas y en presencia de algún tipo de catalizador. Puede llevarse a cabo por medio de la pirólisis, gasificación o por procesos hidrotérmicos. En un proceso hidrotérmico, la

biomasa es convertida en un combustible líquido, a través del contacto que mantiene la biomasa con el agua a altas temperaturas (300-350 °C) con altas presiones (12-20 MPa) durante un determinado periodo de tiempo [18].

En la Tabla 2, se pueden observar los principales parámetros de operación de estos procesos termoquímicos:

**Tabla 2 Comparativa de los principales procesos de conversión termoquímica de la biomasa**

Proceso	Temperatura (°C)	Presión (MPa)	Catalizador	Secado
Licuefacción	250-330	5-20	Esencial	No necesario
Pirólisis	380-530	0.1-0.5	No necesario	Necesario
Combustión	700-1400	>0.1	No necesario	No necesario, pero mejora el proceso
Gasificación	500-1300	>0.1	No necesario	Necesario

## 2.6 Tecnologías de gasificación

La gasificación es la conversión de materia prima sólida o líquida en combustible gaseoso o materia prima química útil y conveniente que puede quemarse para liberar energía o usarse para la producción de productos químicos de valor agregado. La gasificación y la combustión son dos procesos termoquímicos estrechamente relacionados, pero hay una diferencia importante entre ellos. La gasificación empaqueta la energía en enlaces químicos en el gas producto; La combustión rompe esos enlaces para liberar la energía. El proceso de gasificación

agrega hidrógeno y elimina el carbón de la materia prima para producir gases con una mayor proporción de tocón de hidrógeno (H/C), mientras que la combustión oxida el hidrógeno y el carbono en agua y dióxido de carbono, respectivamente.

## **2.7 Patentes relacionadas con tecnología de gasificación**

Se examinaron las patentes en el área de energía, particularmente enfocados al proceso de gasificación de biomasa, en el diseño de gasificadores e instrumentos necesarios para la gasificación

Metodología para la búsqueda de patentes.

Las búsquedas de patentes se realizaron en tres en páginas web de diferentes oficinas. Las cuales fueron:

- European patent office [19]
- Global Patent Search Network [20]
- WIPO [21]

Los criterios de búsqueda que se utilizaron se basaran en los resultados que se querían obtener. Se eliminan las opciones que no estuvieran dentro de tema que buscamos.

Palabras utilizadas para la búsqueda: Gasificador de biomasa, aparato de gasificación.

Búsqueda de patentes sobre gasificadores de biomasa.

1er búsqueda

European patent office.

Mensaje de la organización.

“Oficina de patentes para Europa, apoyamos la innovación, la competitividad y el crecimiento económico en toda Europa a través de nuestro compromiso con la alta calidad y servicios eficientes entregados en virtud del Convenio sobre la Patente Europea.”

Criterios de búsqueda.

Gasificador de biomasa, aparato de gasificación.

Se eligieron estas palabras por ser las que más involucran las patentes que deseamos encontrar.

Se encontraron aproximadamente 5,200 patentes, de las cuales se analizaron un total de 50 patentes obteniendo los siguientes resultados:

La mayoría de las patentes de acuerdo a la clasificación internacional de patentes están de acuerdo a las siguientes clasificaciones.

- C10J

Producción de gases que contienen monóxido de carbono e hidrógeno de materiales carbonosos sólidos por procesos de oxidación parcial que implican oxígeno o vapor; Carburación de aire u otros gases.

Entre las listas de patentes se encontraban también modelos de utilidad, ambos presentaban títulos donde destacaban los métodos innovados así como aparatos de gasificación.

Las bases predominantes presentadas se basaban en los siguientes puntos:

- Descarga continua.
- Sistema de ciclo combinado.
- Modificación de temperaturas.
- Estufas y hornos.
- Materiales distintos para gasificar.

Porcentajes aproximados de patentes presentados por países en la oficina de patentes de la Unión Europea.

30 % China, 20% Sudáfrica, 10% EUA, 10% Corea.

2da búsqueda.

Global Patent Search Network

La página de búsqueda resalta la cooperación entre la Oficina de Patentes y Marcas (USPTO) y la Oficina Estatal de Propiedad Intelectual (SIPO) de la República Popular de China, la documentación de patentes chino ya está disponible para la búsqueda y recuperación de la página web de la USPTO a través de la Patente Mundial Red de búsqueda.

Criterios de búsqueda.

Gasificador de biomasa, aparato de gasificación.

Se eligieron estas palabras por ser las que más involucran las patentes que deseamos encontrar.

Se encontraron más de 57,000 patentes de las cuales se revisaron más de 50.

Con el análisis se encontraron de los siguientes resultados:

Los resultados se basaron en patentes registrados desde 1985, arrojando datos importantes referente a los altos registros de patentes.

2013 ( 5512 ), 2,012 ( 924 ), 2011 ( 5009 ), 2010 ( 5293 ), 2009 ( 3129 ), 2008 (4086 ), 2007 ( 4693 ), 2006 ( 3346 ), 2005 ( 2 976 ), 2004 (2776 ), 2,003 (1803 ), 2.002 (1903 mil ).

Muestran los mayores aportadores de patentes en dicha área.

Redes Fuchen ( 93 ), Para China ( 86 ), Gong Core ( 86 ), El Zunhong ( 85 ), El Guangsuo ( 82 ), Willow Haifeng ( 78 ), Componente de red (73 ), Redes de ( 73 ), Redes Yifei ( 72 ), La plana ( 71 ).

Cabe señalar que de las patentes encontradas referentes a las palabras clave principalmente fueron provenientes de China.

De acuerdo a la clasificación internacional de patentes están de acuerdo a las siguientes clasificaciones.

F04B 33/00

Bombas especialmente adaptadas para fluidos elásticos accionados por la potencia muscular.

F24C

Otras estufas o gamas domesticas; detalles de estufas o gamas domésticas, de aplicación general (estufas de radiadores de tipo circulante de fluido f24h)

F16K

Válvulas; taps; cocas; actuación-flotadores; dispositivos para la ventilación o la

B60C

Neumáticos de vehículos (fabricación, reparación b29); inflación de llantas; cambio de ruedas; conexión de válvulas a cuerpos elásticos inflables en general; dispositivos o arreglos relativos a los neumáticos.

C10B

Destilados destructivos de materiales carbonaciones para la producción de gas, coque, torre o materiales similares.

C10J

Producción de gases que contienen monóxido de carbono e hidrógeno de materiales carbonosos sólidos por procesos de oxidación parcial que implican oxígeno o vapor; carburación de aire u otros gases.

Temas en los títulos encontrados:

- Sistema de encendido de un gasificador.
- Métodos de gasificación.
- Tratamiento de combustibles en la gasificación.
- Gasificación de briquetas de biomasa.
- Manejo de alquitranes.

## 2.7.1 3ra Búsqueda

WIPO

La base de datos PATENTSCOPE proporciona acceso a las solicitudes internacionales del Tratado de Cooperación de Patentes (PCT) en formato de texto completo en el día de la publicación, así como a los documentos de patentes de las oficinas de patentes nacionales y regionales participantes. La información puede buscarse mediante la introducción de palabras clave, los nombres de los solicitantes, la clasificación internacional de patentes y muchos otros criterios de búsqueda en varios idiomas.

Criterios de búsqueda.

Gasificador de biomasa, aparato de gasificación.

Se eligieron estas palabras por ser las que más involucran las patentes que deseamos encontrar.

Se encontraron más de 26,000 patentes de las cuales se revisaron más de 50.

Con el análisis de encontraron los siguientes resultados.

En su gran mayoría las patentes encontradas bajo los criterios de búsqueda antes encontrados fueron rusas, patentes europeas (pro su clasificación), y patentes por el tratado de cooperación en materia de patentes localizado en España.

En su 90% fueron patentes presentadas por empresas.

De acuerdo a la clasificación internacional de patentes están de acuerdo a las siguientes clasificaciones.

B04

Aparatos o máquinas centrífugas para realizar procesos físicos o químicos.

C10J

Producción de gases que contienen monóxido de carbono e hidrógeno de materiales carbonosos sólidos por procesos de oxidación parcial que implican oxígeno o vapor; carburación de aire u otros gases.

Temas en los títulos encontrados:

- Métodos de reducción de agua en gasificación.
- Dispositivos para mejoras en reacciones.
- Reactores para gasificador.
- Gasificación de materias diversas.
- Gasificador con analizadores de gas adaptados.

Gracias a la búsqueda de patentes en las diferentes tecnologías y su innovación se pueden apreciar el desarrollo que se tiene.

En tecnologías de gasificación, a pesar que empezó hace casi 3 siglos, todavía es un área que se puede mejorar. Los repuntes en los últimos años de registros de patentes nos hablan que se sigue buscando la innovación y métodos que ayudan a mejorar funcionalidad y eficiencia en los procesos involucrados. Países como China, Estados Unidos son los países que más han aportado en los últimos años, eso se demuestra en los registros desde 2002 hasta 2013 en la Oficina de Patentes y

Marcas (USPTO) de Estados Unidos ya que fueron más de 20 mil registros entre estos dos países [22] [23] [24].

## **2.8 Tipos de gasificadores**

Existe una amplia variedad de reactores que se utilizan para los procesos de gasificación de biomasa. Su elección depende de varios factores, como pueden ser la granulometría de la biomasa residual, la humedad, la limpieza del gas de síntesis requerida o según el manejo del combustible [25].

### **2.8.1 Gasificador updraft**

Los gasificadores en contracorriente también conocidos como updraft (**Figura 6**), presentan una eficiencia térmica más elevada, al ser la temperatura de salida baja, pero con el inconveniente de la elevada carga de alquitranes en el gas producto, lo que obligaría a una exhaustiva limpieza del gas para su uso en determinadas aplicaciones. Aunque sustancialmente mayores que en el caso de los gasificadores en isocorriente, el potencial de escalado y la capacidad específica siguen siendo bajos. En el gasificador updraft, sólido y gas se mueven en sentidos contrarios, donde el sólido normalmente va en sentido descendente y el gas ascendente.

Este gasificador es de fácil construcción y operación, y su eficacia térmica es alta. La baja temperatura de salida del gas, adecuada para combustión directa, es otra ventaja. El principal inconveniente es que el gas producido contiene los alquitranes y condensables producidos en el proceso de pirólisis inicial de las partículas, por lo que el proceso de limpieza del gas puede volverse tecnológicamente complejo y económicamente costoso. Esta clase de gasificador ha sido probado principalmente en plantas de poca potencia.

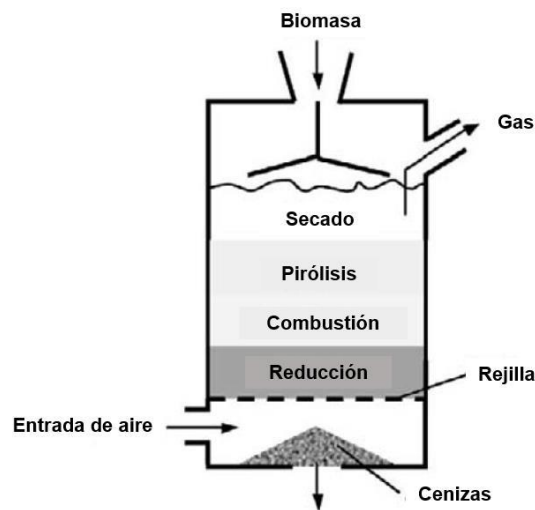


Figura 6 Esquema de un gasificador updraft

## 2.8.2 Gasificador downdraft

Los gasificadores en isocorriente también conocido como downdraft (Figura 7), se caracterizan por generar un gas relativamente limpio de alquitranes y con una conversión de carbono elevada. La temperatura de salida es alta, debido a que el gas atraviesa la zona de oxidación antes de salir del reactor. Sin embargo, su

capacidad específica es baja y su potencial de escalado, muy limitado. En estos gasificadores, sólido y gas se mueven en el mismo sentido, normalmente descendente.

Este gasificador es de fácil construcción y operación. La tendencia actual es a unir las zonas de pirólisis y oxidación en una sola, de forma que los productos de pirólisis se forman y se queman simultáneamente, por lo que en una zona inferior se produce la reducción de forma análoga al Downdraft tradicional. La principal ventaja de este tipo de gasificador es la de producir un gas relativamente limpio de alquitranes, aunque a una temperatura más alta que mediante el Updraft. Sin embargo, no es muy apto para trabajar con sólidos de humedad elevada, y la experiencia que se tiene de estos tipos de gasificadores acoplados a plantas de cierta potencia es escasa [25].

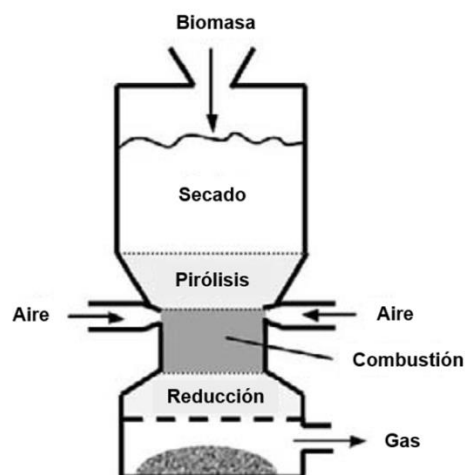


Figura 7 Esquema de un gasificador downdraft

### **2.8.3 Gasificador de lecho fluidizado**

Son aquellos en los que el agente gasificante circula por el interior de los mismos a una velocidad ascensional tal que un lecho de sólido inerte, que se añade a su interior, se encuentra en estado de fluidización, existiendo en el interior del gasificador una retromezcla que favorece la transferencia de materia y energía entre el combustible y el gas. Por tanto, el sólido pulverizado es mantenido en suspensión mediante el gas. En estas condiciones, el contacto sólido-gas, la uniformidad en temperatura y conversión son mayores que en los reactores de lecho fijo. Se reduce a sí mismo la tendencia de las partículas a aglomerarse pudiendo adicionarse agentes gasificantes a diferentes niveles.

Sin embargo, la complejidad de los equipos aumenta, produciéndose mayor desgaste debido a las mayores velocidades de los sólidos. En este tipo de gasificador, el carburante es fluidizado en una mezcla de vapor de agua y oxígeno o en el aire. Las partículas minerales se recuperan como cenizas. Tiene una alta capacidad específica frente a otros tipos de reactores, aunque el material usado como materia prima debe tener un tamaño de partícula muy reducido.

Debido a la mejor transferencia de calor, los lechos fluidos permiten el procesamiento de una mayor cantidad de materia combustible y una mayor producción de gases de reacción. Al ser la temperatura uniforme en todo el lecho, la reacción de gasificación tiene lugar, igualmente, de forma uniforme, lo que favorece la calidad de los gases generados [17].

## 2.9 Diagrama ternario

El diagrama ternario, el cual se muestra en la Figura 8, no es una herramienta para la clasificación de la biomasa, pero es muy útil en la representación de los procesos de conversión de la biomasa.

Los tres vértices del triángulo representan carbono puro, oxígeno e hidrógeno, en una concentración del 100%. Los puntos dentro del triángulo representan mezclas ternarias de los tres componentes. El lado opuesto a un vértice representa concentración cero de ese componente. Por ejemplo, la línea horizontal representa concentración cero de hidrógeno, con mezclas binarias de carbono y oxígeno.

Un combustible biomásico está cerca del hidrógeno y del oxígeno mientras que el carbón está muy cerca del carbono puro [26].

En relación a los procesos que aparecen en el diagrama ternario podemos decir:

- Pirólisis lenta (P). La flecha indica hacia donde se da la formación de char o carbón vegetal.
- Pirólisis rápida (F). La flecha se dirige hacia mayor contenido en hidrógeno y menos en oxígeno, lo cual es reflejo de la formación de combustibles líquidos.
- Gasificación con oxígeno (O). La flecha indica movimiento hacia el vértice del oxígeno.
- Gasificación con vapor (S). La flecha marca hacia lado contrario al vértice del carbono.
- Hidrogenación (H). La flecha se dirige hacia el vértice de hidrógeno.

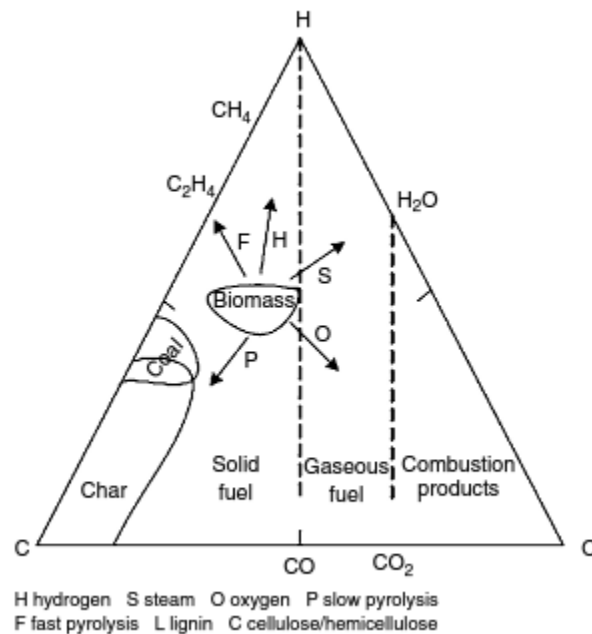


Figura 8 Diagrama ternario [26]

## 2.10 Normativa mexicana

Antes de 2008 México no tenía un marco jurídico aplicable a los bioenergéticos, ni en general a las energías renovables. En ese año se emitió la Ley de Promoción y Desarrollo de los Bioenergéticos-LPDB [27], para promover la producción de insumos y materias primas, así como la producción, transporte y comercialización de bioenergéticos. El gobierno busca reactivar el sector rural, generar empleo y mejorar la calidad de vida de la población rural con esta ley.

La LPDB define bioenergéticos como “combustibles obtenidos de la biomasa provenientes de materia orgánica de las actividades agrícola, pecuaria, silvícola, acuicultura, algacultura, residuos de la pesca, domésticas, comerciales, industriales, de microorganismos, y de enzimas, así como sus derivados, producidos por procesos tecnológicos sustentables que cumplan con las especificaciones y normas de calidad establecidas por la autoridad competente”.

Cabe notar que la Ley para el Aprovechamiento de Energías Renovables y el Financiamiento de la Transición Energética-LAERFTE [27], emitida también en 2008, excluye a los RSU del concepto de energía renovable cuando son convertidos mediante procesos térmicos.

La LPDB crea la Comisión Intersecretarial para el Desarrollo de los Bioenergéticos (CIDB), entidad que coordina las políticas en la materia. El Reglamento de esta Ley [27] establece obligaciones para varias dependencias y prohíbe la producción de bioenergéticos con maíz. También prohíbe cambiar el uso de suelo de forestal a agrícola para producir insumos para bioenergéticos, y obliga a la SAGARPA a emitir un “Programa de Producción Sustentable de Insumos para Bioenergéticos”, otro para el “Desarrollo Científico y Tecnológico”, y a la SENER el “Programa de Introducción de Bioenergéticos” con objetivos, estrategias, acciones y metas. El PEAER, derivado de la LAERFTE, establece entre sus cinco objetivos principales incrementar la participación de biocombustibles en la matriz energética nacional y propone promover el aprovechamiento de residuos e insumos para la producción de biocombustibles, desarrollar las condiciones de certidumbre legal y de mercado para la promoción de todo tipo de biocombustibles y mezclas, y generar y difundir información relevante para su promoción, desarrollo y uso las políticas en México no establecen mandatos para los mercados de biocombustibles para el transporte, pero se actúa para promover el desarrollo de esa agroindustria mediante el Programa de Bioeconomía implementado en 2010, con un presupuesto de 1,000 millones de pesos otorgado por el Fondo para la Transición Energética y el Aprovechamiento Sustentable de la Energía. El recurso aprobado se destina a

proyectos para la multiplicación de semillas, plantas y material vegetativo, así como al establecimiento de cultivos a nivel comercial y proyectos innovadores de producción de insumos para bioenergéticos, así como para apoyar proyectos de plantas piloto, investigación y desarrollo tecnológico, validación de paquetes tecnológicos de cultivos agrícolas o de algas con potencial productivo para la obtención de biomasa [28].

### **2.10.1 Plan Energético**

Varios factores impactan la viabilidad comercial de los bioenergéticos en el país, ya sea para generación eléctrica o para biocombustibles, incluyendo los costos de producción y la logística para el acopio de la biomasa, los costos de recolección y entrega en las plantas de procesamiento, las adecuaciones que requerirán las centrales de generación ya en operación y otros más

La transición de nuestro país hacia una economía con mayor aprovechamiento de la biomasa seguramente durará varias décadas, a lo largo de las cuales los bioenergéticos deberán evolucionar hacia formas más eficientes, más rentables y más sustentables. Su participación en la matriz energética dependerá fundamentalmente de su competitividad económica y del marco de políticas y programas que para su adopción se establezcan en el futuro.

La investigación y el desarrollo deberán jugar un papel importante para eliminar las barreras, tanto en el trayecto hacia los bioenergéticos de segunda y tercera generación como en la estructuración local de las correspondientes cadenas de

valor, de tal forma que la implementación masiva de bioenergéticos en el país sea social, económica y ambientalmente sustentable.

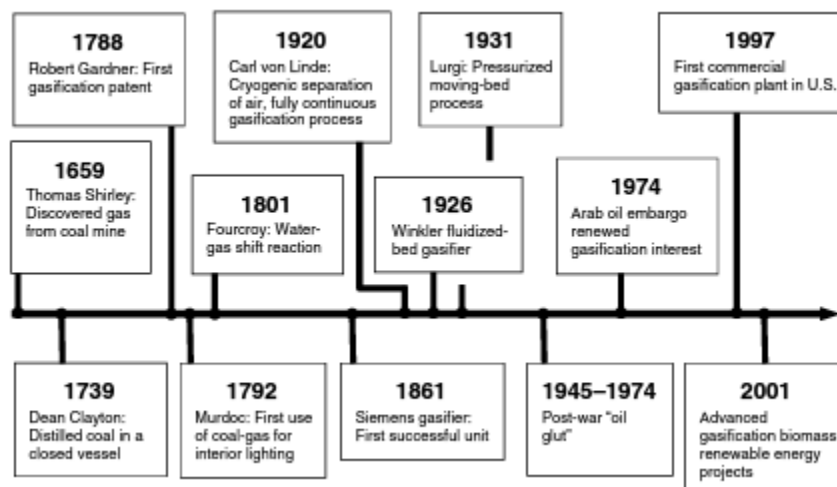
Se espera que el Centro Mexicano de Innovación en Bioenergéticos, en proceso de creación por el Fondo de Sustentabilidad Energética CONACyT-SENER, logre vincular los esfuerzos de la academia, centros de investigación y empresas para atender la diversidad de barreras que han sido obstáculo a nivel internacional para el desarrollo de proyectos de bioenergéticos, incluyendo el riesgo tecnológico derivado de la compleja interacción de las diversas etapas de desarrollo de las componentes tecnológicas individuales a través de todos los segmentos de la cadena de producción y suministro [29].

## **2.11 Antecedentes históricos de la gasificación.**

La primera investigación conocida sobre gasificación fue llevada a cabo por Thomas Shirley, quien en 1659 experimentó con "hidrógeno carburado" (ahora llamado metano). La Figura 9 muestra algunos de los hitos importantes en la progresión de la gasificación.

La pirólisis de biomasa para producir carbón vegetal fue quizás la primera aplicación a gran escala de un proceso relacionado con la gasificación. Cuando la madera, debido a su uso excesivo, escaseaba hacia principios del siglo XVIII, el coque se producía a partir del carbón a través de la pirólisis, pero el uso del subproducto gaseoso de la pirólisis recibió poca atención. Los primeros desarrollos se inspiraron principalmente en la necesidad de gas urbano para el alumbrado público. Las

características sobresalientes del gas de la ciudad proveniente del carbón se demostraron a la Real Sociedad Británica en 1733, pero los científicos de la época no le consideraron útil. En 1798, William Murdoch utilizó gas de carbón, también conocido como gas de la ciudad, para iluminar el edificio principal de la fundición Soho, y en 1802 presentó una exhibición pública de iluminación de gas, asombrando a la población local. Friedrich Winzer de Alemania patentó la iluminación de gas de carbón en 1804. En 1823, numerosos pueblos y ciudades de toda Gran Bretaña tenían gas. Llegó a los Estados Unidos probablemente en 1816, con Baltimore la primera ciudad en usarlo [30].



**Figura 9 La historia de gasificación [30]**

El historial de gasificación se puede dividir en cuatro períodos, como se describe a continuación:

- 1850–1940: durante esta primera etapa, se utilizó el gas hecho de carbón principalmente para iluminar casas y calles y para calefacción. La iluminación ayudó a lo largo de la Revolución Industrial al extender las horas de trabajo en las fábricas, especialmente en los cortos días de invierno. La invención de

la bombilla eléctrica hacia 1900 redujo la necesidad de gas para la iluminación, pero su uso para calentar y cocinar continuó. Con el descubrimiento del gas natural, la necesidad de gasificación de carbón o biomasa disminuyó. Todas las mayores tecnologías de gasificación comerciales (el gasificador de lecho fluidizado de Winkler en 1926, el gasificador de lecho móvil presurizado de Lurgi en 1931 y el gasificador de flujo arrastrado de Koppers-Totzek) hicieron su debut durante este período.

- 1940–1975: el período 1940–1975 vio la gasificación entrar en dos campos de aplicación como combustibles sintéticos: combustión interna y síntesis química en petróleo y otros productos químicos de proceso. En la Segunda Guerra Mundial, los bombardeos aliados de las refinerías de petróleo nazis y las rutas de suministro de petróleo disminuyeron en gran medida el suministro de petróleo crudo que alimentó la maquinaria de guerra masiva de Alemania.

Una gran cantidad de automóviles y camiones en Europa operaban con carbón o biomasa gasificada en gasificadores a bordo. Durante este período, se construyeron más de un millón de pequeños gasificadores principalmente para el transporte (ver Figura 10). El final de la Segunda Guerra Mundial y la disponibilidad de abundante petróleo del Medio Oriente eliminó la necesidad de gasificación para el transporte y la producción química [30].



Figura 10 Gasificadores usados en camiones [30]

- 1975–2000: La tercera fase en la historia de la gasificación comenzó después de la Guerra de Yom Kippur, que desencadenó el embargo de petróleo de 1973. El 15 de octubre de 1973, los miembros de la Organización de Países Árabes Exportadores de Petróleo (OPEP) prohibieron las exportaciones de petróleo a los Estados Unidos y otros países occidentales, que en ese momento dependían en gran medida del petróleo del Medio Oriente. Esto conmocionó a la economía occidental y dio un fuerte impulso al desarrollo de tecnologías alternativas como la gasificación para reducir la dependencia del petróleo importado.
- Post-2000: El calentamiento global y la inestabilidad política en algunos países productores de petróleo dieron un nuevo impulso a la gasificación. La amenaza del cambio climático enfatizó la necesidad de alejarse de los combustibles fósiles ricos en carbono. La gasificación surgió como una

opción natural para la conversión de biomasa renovable neutral en carbono en gas [26].

La búsqueda de la independencia energética y el rápido aumento del petróleo crudo en los precios llevaron a algunos países a reconocer la necesidad de desarrollo de plantas IGCC [11].

### 3 Materiales y métodos

#### 3.1 Preparación de la biomasa

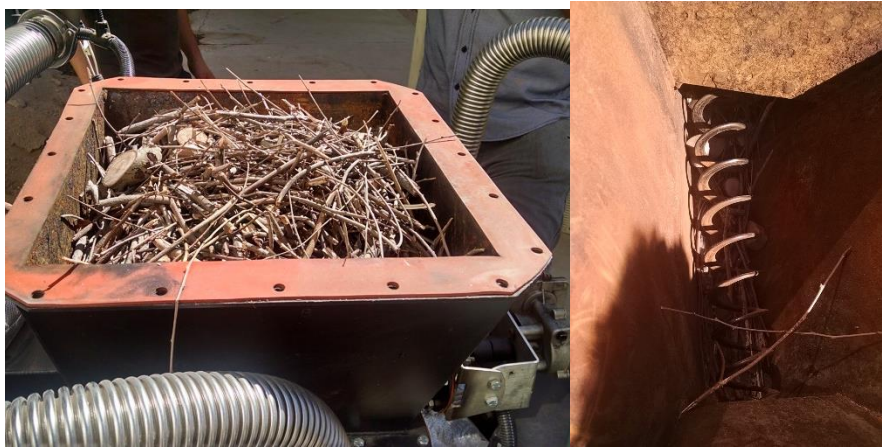
Se preparó podas de eucalipto como materia prima para suministrar al gasificador las cuales se obtuvieron directamente de los jardines del campus Mexicali 1 de la UABC (Figura 11).



Figura 11 Preparación de materia prima (fuente propia)

#### 3.2 Pruebas de alimentación de materia prima.

Se realizaron pruebas de alimentación (Figura 12). Esta prueba consistía en introducir la materia prima ya preparada, hacer girar el tornillo o gusano de alimentación y poder visualmente inspeccionar la forma de trabajar de la parte alimentadora del gasificador con el tamaño y tipo de materia prima.



**Figura 12 Pruebas de alimentación (fuente propia)**

Se encontraron ajustes necesarios para la gasificación mediante pruebas de alimentación de la materia prima, se corroboró lo presentado por el fabricante sobre el tamaño de muestras a alimentar.



**Figura 13 Tamaño ideal de materia prima para la alimentación**

Al uso paja de trigo del valle de Mexicali. Su densidad característica impide un óptimo funcionamiento del alimentador como del mismo proceso de gasificación.



**Figura 14 Tamaño de paja de trigo para la alimentación**

### 3.3 Toma de muestra del gas de síntesis

Se tomaron muestras de gas de síntesis mediante accesorios que se instalaron al gasificador. Se utilizó un adaptador Merlin Microseal (Figura 15) y una jeringa de 5 ml (Figura 16). Se tomaron dos muestras para caracterizar, una a los 40 minutos de haber iniciado la gasificación, y otra muestra a los 60 minutos.



Figura 15 Adaptador para la toma de muestras (funte propia)



Figura 16 Jeringa para CG (imagen de la web)

### 3.4 Cromatografía de gases

Para caracterizar el gas obtenido se utilizó el cromatógrafo de gases Clarus 400 Perkin Elmer (Figura 17), se usó un gas estándar de referencia SIGMA-ALDRICH para cuantificar el gas de síntesis. El gas de arrastre utilizado fue helio de ultra pureza. En la Tabla 3 muestran las condiciones en las que se operó el cromatógrafo.



Figura 17 CG Clarus 400 (imagen de la web)

Tabla 3 Condiciones de operación del cromatógrafo

<b>Columna</b>	60/80 Carboxen-1000, 15' x 1/8" acero inoxidable (2.1mm ID).
<b>Rampla de calentamiento</b>	35°C (5 min) to 225°C at 20°C/min
<b>Gas de arrastre</b>	Helio, 30mL/min.

### 3.5 Simulación en Aspen Plus

La gasificación es un método muy importante para la conversión de residuos biomásicos útiles para la producción de combustibles y/o productos químicos. El objetivo del uso de este software es introducir los conceptos generales de simulación y mediante un diagrama de flujo modelar cuantitativamente las ecuaciones de un proceso químico usando las relaciones físicas fundamentales como balances de masa y energía, relaciones de equilibrio, relaciones de velocidad de reacción, transferencia de masa y calor).

En este documento se describe la información necesaria para simular el proceso de gasificación de biomasa de eucalipto en el software de simulación Aspen Plus.

Las diferentes etapas consideradas en la simulación Aspen Plus, para mostrar el proceso general de gasificación, son la descomposición de la alimentación, las reacciones volátiles, la gasificación del carbón y la separación gas-sólido [31].

Supuestos de la simulación:

- El proceso es isotérmico en estado estacionario.

La devolatilización de la biomasa tiene lugar instantáneamente, generando como productos  $H_2$ ,  $CO$ ,  $CO_2$ ,  $CH_4$  y  $H_2O$ .

- Hay uniformidad en el tamaño de las partículas.
- Todos los gases están uniformemente distribuidos dentro del reactor.
- El azufre en la biomasa reacciona solamente para formar  $H_2S$ .

- Solamente se forma amoníaco durante la gasificación, sin óxidos de nitrógeno.
- El *char* contiene solamente carbón y cenizas.

Método de cálculo.

- \* PR-BM: (Ecuación de estado de Peng-Robison con las modificaciones de Boston-Mathias) [32].
- \* Componentes declarados.
- \* Convencionales.

**Tabla 4 Componentes convencionales**

ID	TIPO	NOMBRE	ALIAS
AGUA	Convencionales	WATER	H <sub>2</sub> O
HIDROGEN	Convencionales	HYDROGEN	H <sub>2</sub>
NITROGEN	Convencionales	NITROGEN	N <sub>2</sub>
OXIGENO	Convencionales	OXYGEN	O <sub>2</sub>
MONO-CAR	Convencionales	CARBON-MONOXIDE	CO
DIOX-CAR	Convencionales	CARBON-DIOXIDE	CO <sub>2</sub>
METANO	Convencionales	METHANE	CH <sub>4</sub>
AZUFRE	Convencionales	SULFUR	S
AMONIACO	Convencionales	AMMONIA	H <sub>3</sub> N

No convencionales.

**Tabla 5 Componentes no convencionales**

ID	TIPO	NOMBRE	ALIAS
BIOMASA	No convencionales		BIOMASA
CENIZAS	No convencionales		CENIZAS

Sólidos:

**Tabla 6 Sólidos**

ID	TIPO	NOMBRE	ALIAS
CARBONO	Solido	CARBON- GRAPHITE	C

**Tabla 7 Análisis próximo y último del eucalipto**

Norma	Características	Unidad	Eucalipto
ASTM E711-87	PCS	MJ/kg	17.331
ASTM E711-87	PCI	MJ/kg	16.187
ASTM E871-82	Humedad	%	6.08
ASTM E872-82	Material Volátil	%	72.53
Por diferencia	Carbono fijo	%	22.34
ASTM E830-87	Ceniza	%	5.13
ASTM E777-08	C	%	44.05
ASTM E777-08	H	%	5.24
Por diferencia	O	%	38.85
ASTM E778-08	N	%	0.61
ASTM E775-87	S	%	-----

Tabla 8 Descripción de bloques de reactores [33]

RYIELD	Modela un reactor especificando los rendimientos de reacción de cada componente. Este modelo es útil cuando la estequiometría de reacción y la cinética son desconocidas y los datos de distribución de rendimiento o las correlaciones están disponibles.
RGIBBS	Modela el equilibrio químico monofásico, o el equilibrio simultáneo de fase y químico minimizando la energía libre de Gibbs, sujeto a restricciones de equilibrio atómico. Este modelo es útil cuando se conocen la temperatura y la presión y se desconoce la estequiometría de la reacción.
RCSTR	Modela un reactor de tanque con agitación continua. Este modelo es útil cuando se conoce la cinética de reacción. Este modelo es útil cuando los sólidos, como el carbón, participan en las reacciones.
Reactor REquil	<p>Se utiliza este reactor cuando:</p> <p>La estequiometría de la reacción es conocida.</p> <p>Algunas o todas las reacciones alcanzan el equilibrio químico.</p> <p>El REquil puede modelar una o dos fases, calculando simultáneamente la fase y el equilibrio químico.</p>
Cyclone	El cyclone separa una corriente de gas de entrada que contiene sólidos, en dos corrientes de salida. Para lograr tal separación, las partículas sólidas son llevadas a través de una espiral y son eliminadas al chocar debido a la fuerza centrífuga en el vórtice de gas.

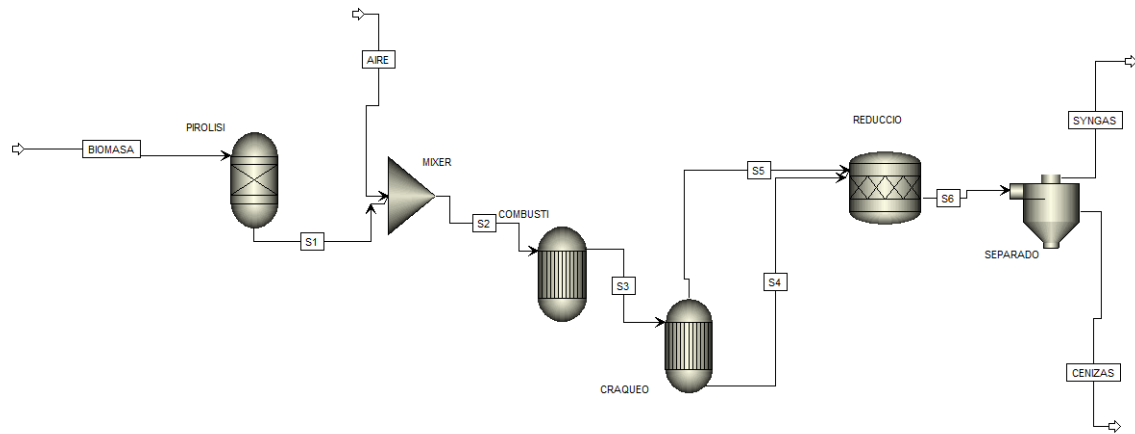
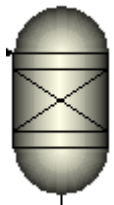


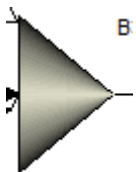
Figura 18 Diagrama de Aspen Plus

Configuración de bloques.



Ryield

Temperatura	350	C
Presión	1	atm



Mixer

Temperatura	30	C
Presión	1	atm



RGibbs

Temperatura	680	C
Presión	0.15	atm



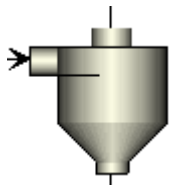
REquil

Temperatura	680	C
Presión	0.15	atm



RStoic

Temperatura	750	C
Presión	1	atm



Cyclone

Temperatura	750	C
Presión	.039	atm

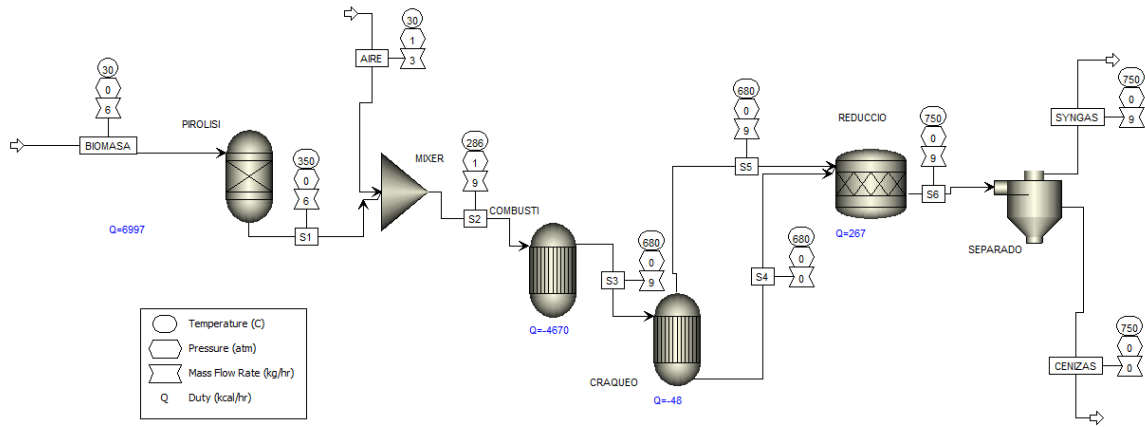


Figura 19 Diagrama de Aspen Plus

### 3.6 Gasificador PP20 Power Pallet

El gasificador GEK TOTTI a bordo del Power Pallet (Figura 20) es una refinería que toma la biomasa mediante un sistema de alimentación y la convierte en un combustible gaseoso o gas de síntesis (syngas) listo para emplearse al motor que ayudara al generador eléctrico a producir la energía, el producto de desecho que produce es ceniza de carbón. Debido a su diseño y proceso de gasificación es de tipo downdraft [34].



Figura 20 Gasificador Power Pallet PP20 [34]

Tabla 9 Especificaciones técnicas del gasificador [34]

<b>Especificaciones técnicas</b>	
Potencia continua	15 kW @ 50 Hz/18 kW@60 Hz
Consumo de biomasa	1.2 kg/kWh, 2.5lbs/kWh
Máxima operación continua	>12h
Tiempo de encendido	10-20 min
<b>Especificaciones de biomasa</b>	
Tamaño	12-40mm/0.5-1.5"
Contenido de humedad	10-30% en base seca
Biomasa	Cáscara de nuez Piezas de madera blandas Piezas de maderas duras Cáscara de coco Cáscara de almendra de palma

### 3.7 Procesos termoquímicos del PP20

Dentro del gasificador, los sólidos fluyen hacia abajo por gravedad, mientras que los gases se extraen a través del sistema por el vacío producido por el motor o los sopladores de gas.

Los principales procesos de gasificación son los siguientes:

**Secado:** eliminación de la humedad de la materia prima la cual fluye a través de la tolva que mediante un intercambiador de calor seca la materia prime de hasta un 30% de humedad subiendo la temperatura de 100 a 200 °C.

Biomasa humedad + calor → biomasa seca + H<sub>2</sub>O (g) Ecuación 2

**Pirólisis:** descomposición térmica de la materia prima en alquitrán, gases y carboncillo. La pirólisis es el proceso de carbonización mediante el cual la materia prima se convierte en carbón vegetal y en cantidades considerables de gases de alquitrán inflamables. La biomasa seca es empujada a la zona de pirólisis de forma automatizada ayudada de un alimentador en forma de gusano. La temperatura óptima de pirólisis ubicada en el reactor está en el rango de 400 a 600 °C usando el calor recuperado del escape del motor y de líneas corrugadas que calientan el aire entrante para la combustión.

Biomasa seca + calor → C vegetal + gases de alquitrán Ecuación 3

**Combustión y craqueo de alquitrán:** quema de carbón y gases de alquitrán para proporcionar calor para el resto de los procesos y el craqueo térmico de una parte de los gases de alquitrán en gas de CO y H<sub>2</sub>.

Este proceso incluye las principales reacciones heterogéneas entre el combustible sólido (char) y las especies químicas presentes en la atmósfera circundante. Estas especies gaseosas incluyen los compuestos liberados durante el secado y pirólisis, pero generalmente se suministran externamente para el proceso. Los procesos de combustión exigen el uso de oxígeno puro o aire atmosférico, mientras que otros procesos incluyen el uso de vapor de agua, hidrógeno u otros gases.

La alta temperatura del precalentamiento aumenta la eficiencia de la combustión, lo que permite que la zona de combustión alcance temperaturas que van desde 1000-1300 °C frente a los chorros de aire.

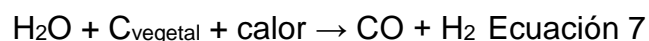
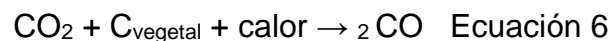
La constricción hace que la temperatura se homogeneice a través de la abertura, formando un punto caliente de craqueo de 800 a 900 °C a través del cual deben fluir los gases de alquitrán sin quemar, lo que da como resultado un gas productor más limpio.



**Reducción:** reacción de los productos de combustión y carbón vegetal para producir combustible gaseoso.

El vapor de agua y el dióxido de carbono producidos durante la combustión reaccionan con el carbón caliente en la zona de reducción. La zona de reducción comienza bajo la constricción y se extiende.

A lo largo de todo el carbón de leña en la cesta de la parrilla. Debido a la alta reactividad del carbono por encima de las temperaturas de 600 °C, el dióxido de carbono y el vapor de agua se reducen, con un átomo de oxígeno eliminado a H<sub>2</sub>, CO y algunos CH<sub>4</sub>, que son combustibles gaseosos de combustión limpia. Esta conversión del material de alimentación sólido rico en energía en gas de madera inflamable de combustión limpia es lo último objetivo de la gasificación.



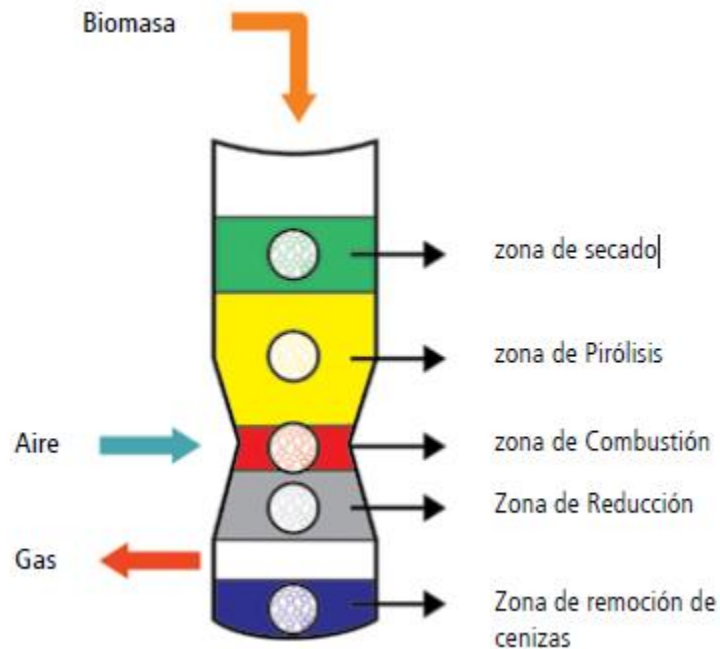


Figura 21 Zonas del gasificador (imagen de la web)

### 3.8 Automatización

El sistema de automatización de Power Pallet tiene una serie de sensores de presión, temperatura, corriente y oxígeno, y otros sensores que son monitoreados por la Unidad de Control de Procesos (PCU) Figura 22.

La PCU se ejecuta en la plataforma de software de código abierto Arduino. La PCU controla automáticamente las diversas funciones físicas necesarias para que el sistema funcione sin problemas. Estas funciones incluir:

La PCU también permite el registro de datos, la capacidad adicional de entrada / salida, así como la capacidad de modificar el código de fuente abierta para la investigación, el desarrollo y las personalizaciones. Este sistema de automatización es lo que hace que el sistema de gasificación GEK sea práctico para su uso con un

generador, gestionando los diversos parámetros que de otro modo necesitarían la intervención continua del operador.

El sistema automatizado representado con una placa de circuito impreso, con un procesador ATmega 1280, un microcontrolador Risc de 8 bits de la familia AVR, los cuales en conjunto reciben la información recolectada de sensores de temperatura, de presión y otros tipos de conexiones puestas para controlar aditamentos para que el gasificador Power Pallet de 20 Kwatts sea automatizado eficientemente. Toda esta información es representada en una pequeña pantalla LCD de 4 filas x 20 columnas con un tablero de 4 botones para moverse entre las características.

La refinería de gas de síntesis complementada con la unidad de procesamiento central, que dentro de sus características se encuentra serial mediante un puerto con conexión Rs-232 y un puerto seria bus universal comúnmente llamado USB los cuales permiten que el sistema de control se pueda comunicar con algún equipo de cómputo. Estos puertos son puestos por el fabricante principalmente para cargar código de control, así como para cargar y descarga de datos de ejecución. El puerto USB es un conector hembra tipo B, por lo que se necesita un cable USB AB macho-macho para la conexión con la computadora [35].

A grandes rasgos UPC controla automáticamente las diversas funciones físicas necesarias para mantener el sistema funcionando sin problemas. Estas funciones incluir:

- Agitación de rejilla, para mantener el flujo de materia prima y para purgar pequeñas partículas de carbón la cama de gasificador.
- Activa tornillo sin fin de la materia prima en el sistema según sea necesario.
- Ajusta mezcla combustible-aire para el motor para asegurar la combustión completa del gas productor, lo que resulta en altas eficiencias y emisiones limpias.
- Activa alarmas si algún evento de preocupación surge.

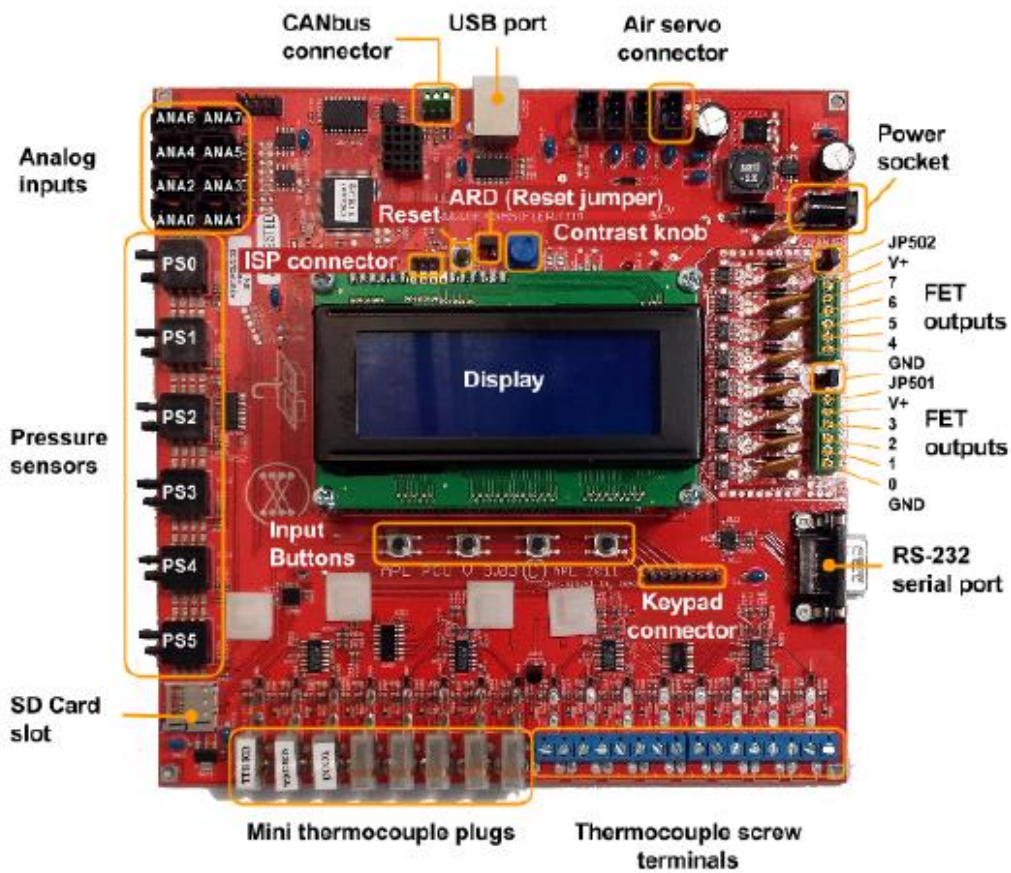


Figura 22 Unidad de Control de Procesos del PP20 [35]

### **3.9 Instrumento virtual**

Gracias a los materiales que presenta el PP20 se desarrollaron instrumentos virtuales que ayudan en gran medida y de manera muy representativa el proceso de gasificación.

Los instrumentos virtuales son dispositivos para la medición y control cuya forma física se encuentra implementada en el hardware de una computadora y las interfaces físicas requeridas para interconectar el instrumento con el mundo exterior a la computadora. Hoy en día todo el equipamiento de vanguardia se encuentra instrumentado y controlado por sistemas de instrumentación virtual grandes instituciones como NASA y empresas como Airbus y Boing emplean la instrumentación virtual en sus grandes proyectos por la versatilidad y eficiencia de operación de los sistemas embebidos con funcionalidad autónoma (stand alone).

La principal ventaja de un instrumento virtual es que se define por el usuario final y no el fabricante de instrumentos como sucede con la instrumentación tradicional otras características importantes es que son reciclables y escalables es decir respectivamente fácilmente reconfigurables a otros modos de operación y permiten expandir sus capacidades de medición y control a un número de canales de entrada y salida importante y a bajo costo por canal lo que implica la rentabilidad de los instrumentos virtuales.

Son precisamente las características de funcionalidad definida por el usuario, reciclaje y escalabilidad lo que permite que su diseño se considere una aportación al desarrollo tecnológico ya que cada instrumento virtual se diseña para satisfacer los requerimientos específicos de su aplicación. Lo anterior puede desarrollarse con

una gama importante de funciones de programación definidas por la plataforma de instrumentación y la apertura de la plataforma para definir nuestras propias funciones cuyos algoritmos pueden ser registrados como Derecho de Autor en México, en otros países donde aplique como patentes.

Son muchas otras más las características y cualidades de la instrumentación virtual que permiten afirmar que los diseños de instrumentación virtuales se consideran aportación a un trabajo doctoral entre ellas diseño específico de sistemas de adquisición de datos, preamplificadores e incluso sensores inteligentes.

Por último es importante aclarar que un instrumento virtual no es un simulador es un sistema computarizado con el poderío del procesamiento de los últimos desarrollos en microprocesadores.

Una herramienta esencial para el desarrollo de la instrumentación virtual es la plataforma de programación LabView<sup>MR</sup> (Laboratory Virtual Instrumentation Engineering Workbench). Este programa fue creado por National Instruments (1976) para funcionar sobre máquinas MAC, salió al mercado por primera vez en 1986. Ahora está disponible para las plataformas Windows, UNIX, MAC y GNU/Linux. Los programas desarrollados con LabView<sup>MR</sup> se llaman Instrumentos Virtuales, o VI's y su principal característica es la facilidad de uso, válido para programadores profesionales como para personas con pocos conocimientos en programación pueden hacer programas relativamente complejos, imposibles para ellos de hacer con lenguajes tradicionales [36].

LabView<sup>MR</sup> es una herramienta gráfica de programación, esto significa que los programas no se escriben, sino que se dibujan, facilitando su comprensión. Al tener

ya pre-diseñados una gran cantidad de bloques de programación se le facilita al usuario, la creación del proyecto y le permite invertir mucho menos tiempo en la programación.

### **3.10 Representación virtual de parámetros de operación en tiempo real de equipo gasificador**

El programa REVIOGA (Figura 23) es de tipo ejecutable, se podrá ejecutar en computadoras sin necesidad de tener instalada la plataforma de LabView<sup>MR</sup> 2015.

El instrumento virtual representa de forma gráfica y precisa los datos más relevantes que ocurren en tiempo real cuando el proceso de gasificación del PP20 está en curso así como los pormenores y alarmas que se generan en dicho proceso.

La comunicación del instrumento virtual con el equipo gasificador PP20 se genera mediante comunicación serial, en este caso utilizando los puertos USB del computador.

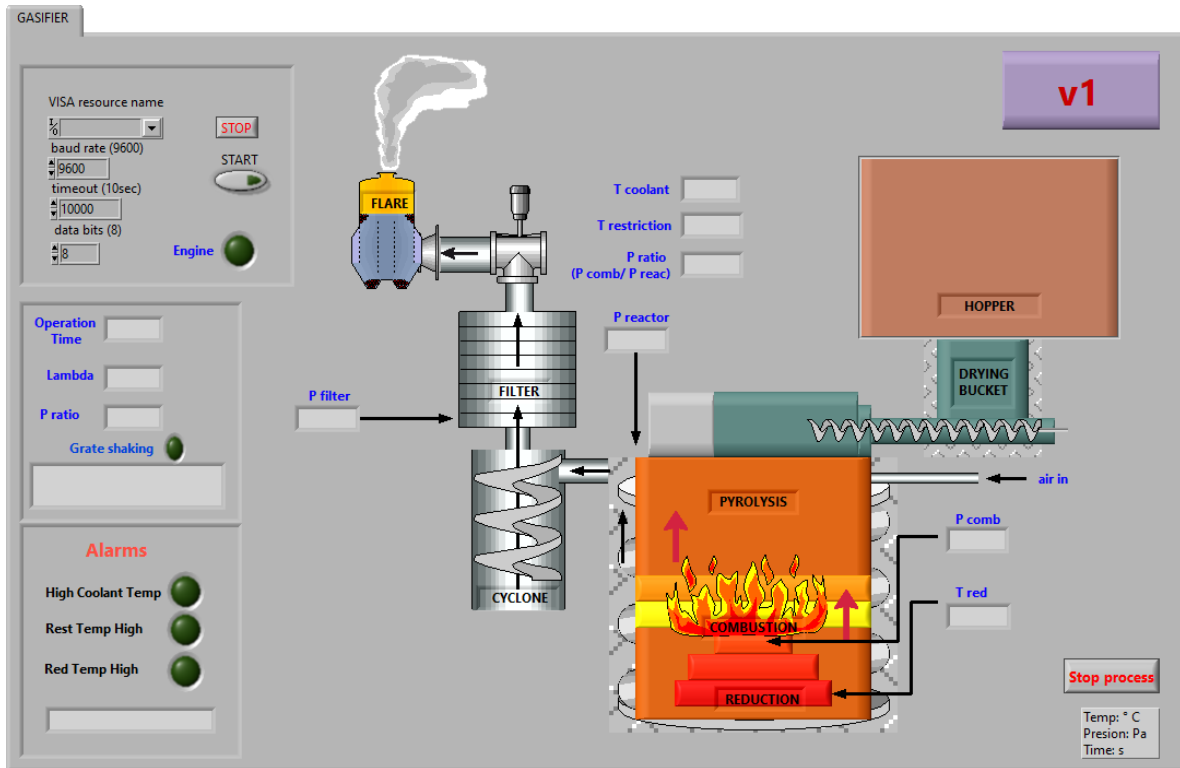


Figura 23 Instrumento virtual REVIAGA

Representación (Figura 24) de los datos capturados por el instrumento virtual, cada segundo se recolectan más de 48 datos (temperatura, presión etc...) del gasificador en marcha, por lo que al minuto tendríamos 2,880 datos, si la corrida corresponde a 40 minutos, tendríamos más de 115,200 datos diferentes analizados por el instrumento virtual y mostrados en pantalla. Cabe destacar que cada dato tiene la capacidad de contener hasta 8 bits. Por la capacidad del procesador ATmega1280 de la unidad del procesamiento central del gasificador que es de 8 bits por cada dato y una velocidad de transferencia de datos en total de 9600 bits por segundo. En este caso en particular la mayor parte del tiempo se trabaja en cada segundo con una transferencia total de 256 valores o caracteres, cada minuto 15,360 en 40 minutos trabajaría con 614,400 valores [37].

```
Serial.println();
Serial.print("3, 25, 25, 25, 25, 25, 25, 25, 25, 25, -16, -17, -6, 0, 2, 3, 3823, 952, 6, 533, 129, 38, 16, 0, 3, 0.375, Correct, 0, 0.941, Good, 1.499, 0.000, 1.050, 0.130, 0.100, 0.000, 126.000, -18.000, Off, Cold, Shutdown, 6, Off, Normal, 82.000, ");
Serial.println();
Serial.print("4, 25, 25, 25, 25, 25, 25, 25, 25, 25, -16, -17, -6, 0, 2, 7, 3823, 952, 0, 539, 129, 26, 15, 0, 3, 0.375, Correct, 0, 0.941, Good, 1.499, 0.000, 1.050, 0.130, 0.100, 0.000, 126.000, -19.000, Off, Cold, Shutdown, 6, Off, Normal, 14.000, ");
Serial.println();
Serial.print("5, 25, 25, 25, 25, 25, 25, 25, 25, 25, -16, -17, -6, 0, 7, 7, 3823, 952, 1, 535, 129, 16, 13, 0, 3, 0.375, Correct, 0, 0.941, Good, 1.499, 0.000, 1.050, 0.130, 0.100, 0.000, 126.000, -20.000, Off, Cold, Shutdown, 6, Off, Low, -3.000, ");
Serial.println();
Serial.print("6, 25, 25, 25, 25, 25, 25, 25, 25, 25, -16, -17, -6, 0, 2, 3, 3823, 948, 1, 539, 129, 27, 15, 0, 3, 0.375, Correct, 0, 0.941, Good, 1.499, 0.000, 1.050, 0.130, 0.100, 0.000, 35.000, -19.000, Off, Cold, Cold, Off, 6, Off, Low, -7.000, ");
Serial.println();
Serial.print("7, 25, 25, 25, 25, 25, 25, 25, 25, 25, -16, -17, -6, 0, 7, 3, 3823, 952, 1, 534, 129, 24, 16, 0, 3, 0.375, Correct, 0, 0.941, Good, 1.499, 0.000, 1.050, 0.130, 0.100, 0.000, 35.000, -18.000, Off, Cold, Cold, Off, 6, Off, Low, -9.000, ");
Serial.println();
Serial.print("8, 25, 25, 25, 25, 25, 25, 25, 25, 25, -16, -17, -6, 0, 2, 7, 3823, 952, 1, 537, 128, 13, 14, 0, 3, 0.375, Correct, 0, 0.941, Good, 1.499, 0.000, 1.050, 0.130, 0.100, 0.000, 35.000, -20.000, Off, Cold, Cold, Off, 6, Off, Low, -9.000, ");
Serial.println();
Serial.print("9, 25, 25, 25, 25, 25, 25, 25, 25, 25, -16, -17, -6, 0, 2, 7, 3823, 952, 6, 532, 129, 21, 15, 0, 3, 0.375, Correct, 0, 0.941, Good, 1.499, 0.000, 1.050, 0.130, 0.100, 0.000, 35.000, -18.000, Off, Cold, Cold, Off, 6, Off, Low, -10.000, ");
Serial.println();
Serial.print("10, 25, 25, 25, 25, 25, 25, 25, 25, 25, -16, 0, -6, 0, 7, 7, 3823, 952, 3, 537, 129, 17, 14, 0, 3, 0.375, Correct, 0, -INF, Bad, 1.499, 0.000, 1.050, 0.130, 0.100, 0.000, 35.000, -20.000, Off, Cold, Cold, Off, 6, Off, Low, -10.000, ");
Serial.println();
Serial.print("# 10, New Auger State: Starting Forward");
Serial.println();
Serial.print("# 10, New Auger State: Forward");
```

Figura 24 Representación de cómo se reciben los datos capturados por el IV

### 3.11 Programación

Como ya se ha mencionado el programa está desarrollado en plataforma de programación LabView<sup>MR</sup> 2015, el cual emplea programación gráfica en donde se crean programas basados en diagramas de bloques a través de la interconexión de íconos de programación.

El instrumento virtual consta de dos partes, una es la representación virtual de parámetros de operación en tiempo real del equipo gasificador (REVIOGA), y la otra es el análisis de los parámetros de operación del equipo gasificador (ANAPAGA).

#### 3.11.1 Código de programación

En esta sección se describirá la programación en bloques de REVIOGA, se mostraran cada uno de los pasos que se debió programar para poder mostrar la información recabada del gasificador en la pantalla del instrumento virtual [38].

### 3.11.1.1 Inicio del programa

Este primer bloque (Figura 25 Código para inicio de programaFigura 25) se encuentra dentro de un While Loop, el cual siempre repite la secuencia de programación y mientras no le des la orden de parar. Luego debemos de presionar el botón de START el cual nos mandara dentro de un Case Structure para empezar a correr el programa.

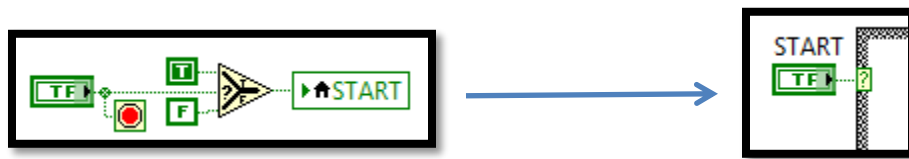


Figura 25 Código para inicio de programa

### 3.11.1.2 Iniciar arreglos y strings

En esta parte se inician los arreglos (Figura 26) que se usaran con la información del gasificador para cerciorarnos que inician sin ninguna información que afecte el proceso.

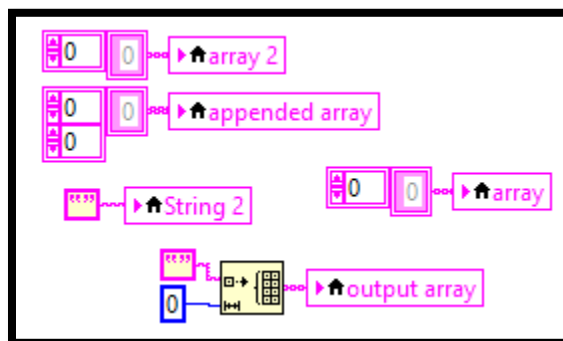


Figura 26 Código para inicio de arreglos

### 3.11.1.3 Comunicación serial

Al inicializar los arreglos entra a un Case Structure por default, donde iniciamos y validamos la comunicación serial (Figura 27) con el dispositivo externo, una vez validado el nombre de la fuente, velocidad de transferencia de datos y cantidades de bits, los datos entran a un segundo While Loop para dar la orden de escritura y lectura de datos sobre la interface conectada, en caso de marcar error manda un True al STOP y sale del While Loop para intentar de nuevo la comunicación [39].

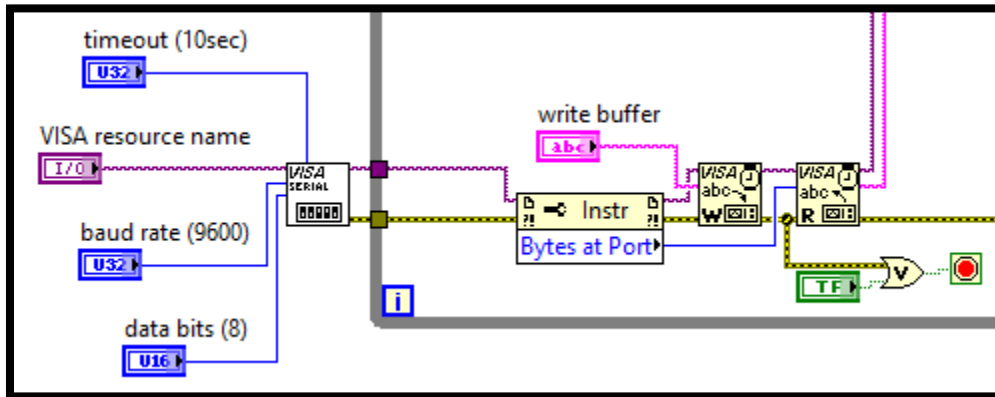


Figura 27 Código para la comunicación serial

### 3.11.1.4 conteo de total de valores transferidos

Se cuenta el total de valores (Figura 28) contenidas en los 8 bits de transferencia de la unidad de procesamiento central del equipo gasificador con la finalidad de separar cada dato y guardarlos en un arreglo y ubicarlos para un uso posterior de estos.

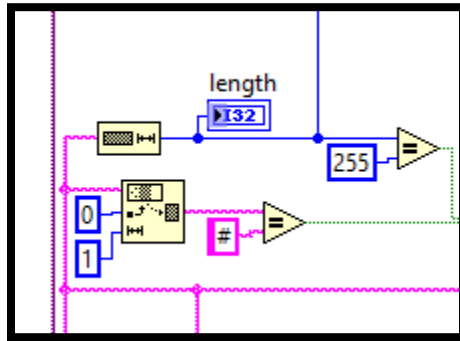


Figura 28 Cantidad de valores en una cadena

### 3.11.1.5 Clasificación de cada dato transferido

Al contar los datos y haber superado los 560 bits de la suma total encontramos que dicha cadena contiene el titulo de los datos instrumentados del gasificador, así que se separan y se guardan en un arreglo (Figura 29) donde se tendrán ubicados para resguardarlos en una matriz posteriormente.

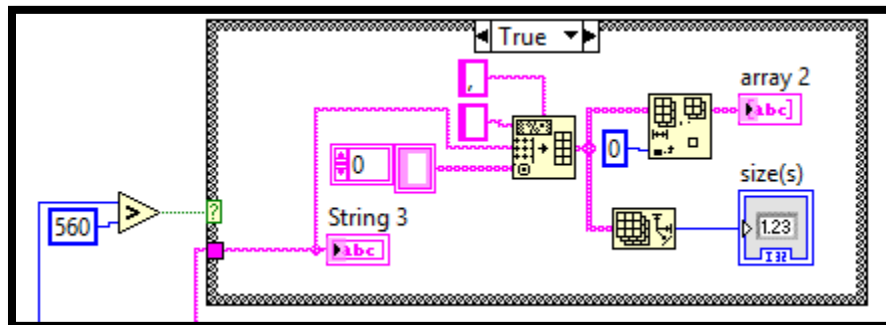


Figura 29 Código para clasificación de valores

### 3.11.1.6 Impresión de datos en pantalla

Teniendo cada uno de los datos en un arreglo e identificando su contenido mediante un Case Structure se imprimen en pantalla principal (Figura 30), se usa su posicionamiento en el arreglo mediante la paleta Index Array que nos dará el valor de la posición que le indiquemos.

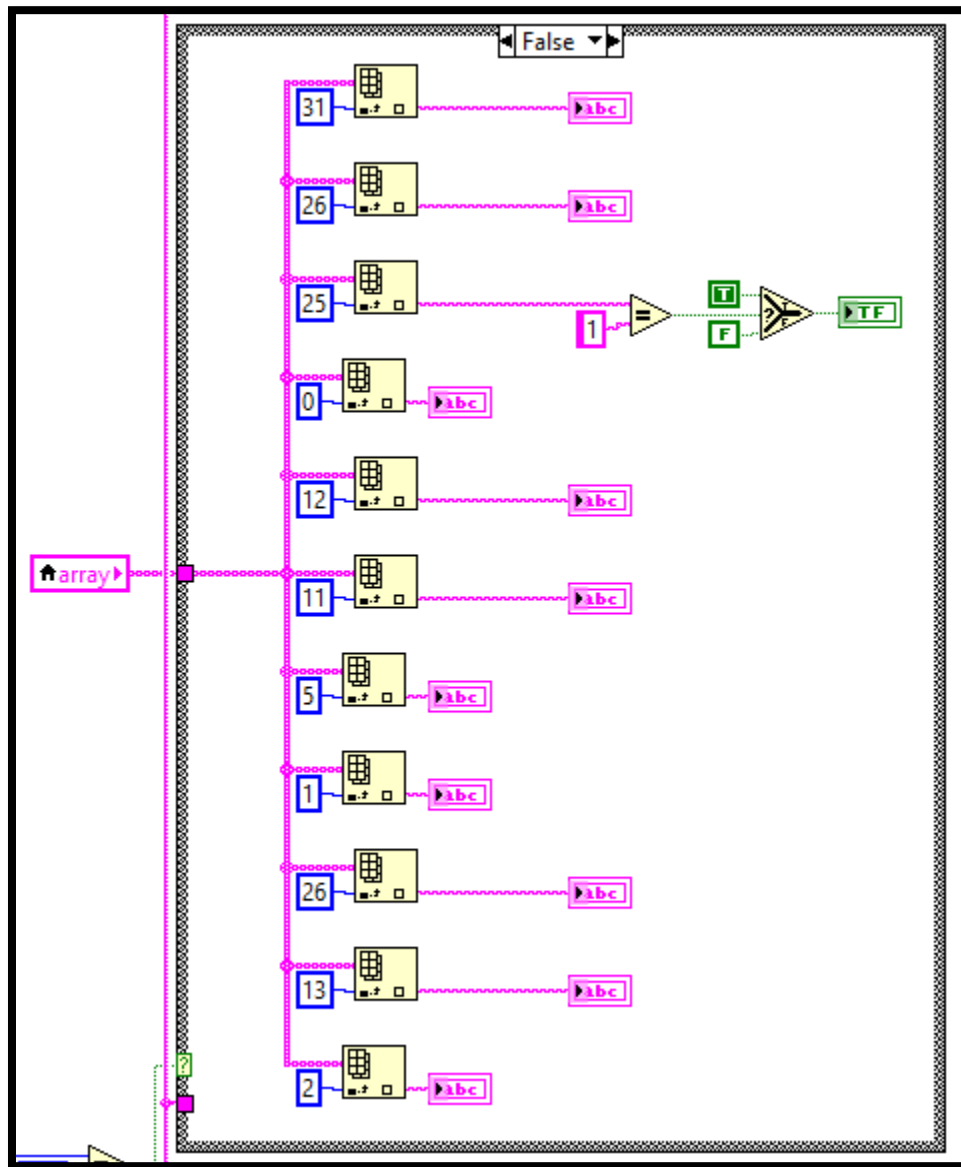


Figura 30 Bloques que permiten la impresión los valores precisos en pantalla

### 3.11.1.7 Matriz del total de datos clasificados

En este Case Structure se tiene identificados los datos instrumentados el cual se separa y se guardan en un arreglo para posteriormente ser impresos en pantalla (paso explicado anteriormente). Luego se toman los datos del arreglo con los títulos de los datos instrumentados (paso explicado anteriormente) en conjunto con los valores obtenidos en estos mismos bloques para construir un arreglo (Figura 31) o matriz con 48 columnas y filas del total de segundos transferidos al iniciar la instrumentación virtual.

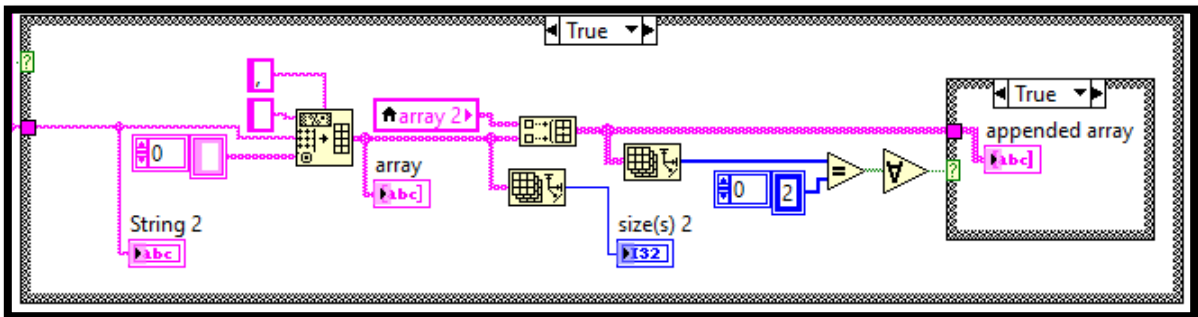


Figura 31 Matriz de dos arreglos en conjunto

### 3.12 Programa de cómputo para el análisis de los parámetros de operación del equipo gasificador.

El programa ANAPAGA (Figura 32) es un programa donde se analizan y comparan gráficamente mediante un instrumento virtual los datos arrojados en el proceso de gasificación realizado con el gasificador PP20 de Power Pallet.

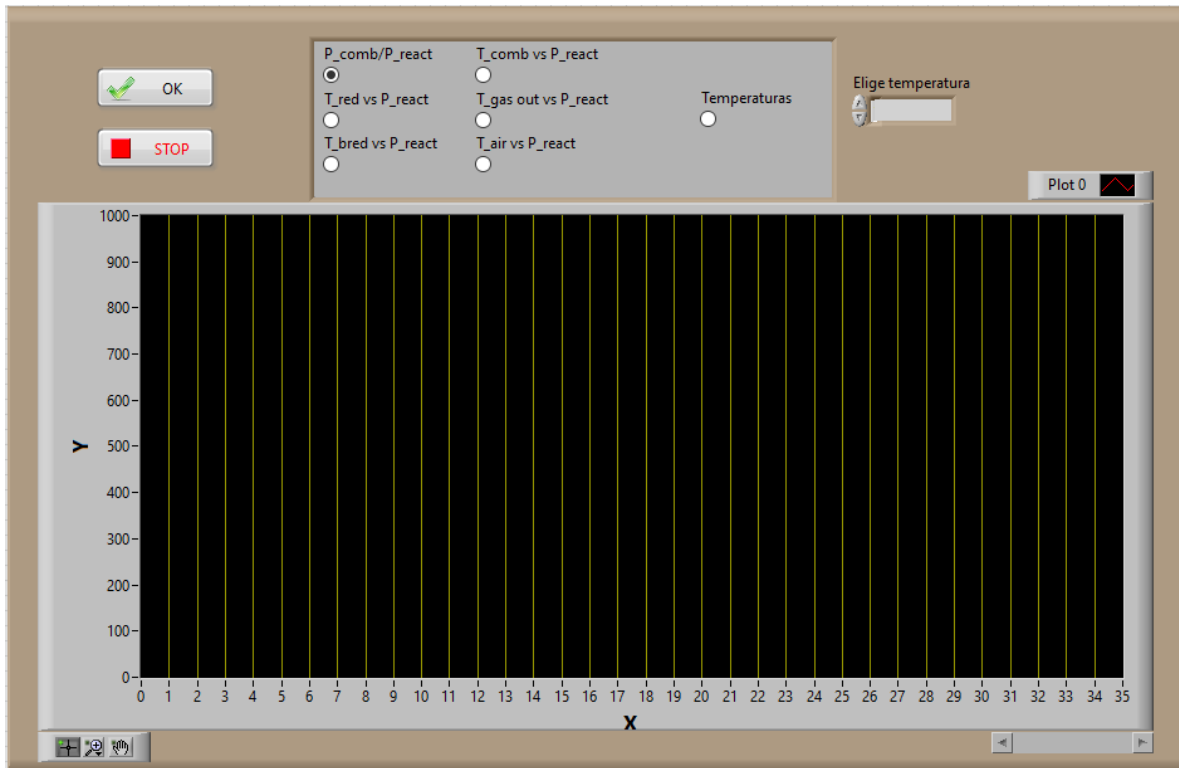


Figura 32 Instrumento virtual ANAPAGA

### 3.12.1 Código de programación

El programa ANAPAGA es de tipo ejecutable, se podrá ejecutar en computadoras sin necesidad de tener instalada la plataforma de LabView<sup>MR</sup>.

Para el análisis de las muestras de biomasa es necesario un archivo, por lo que se junta en el cd un archivo con extensión .CSV (archivo con dicha extensión que arroja la unidad de procesamiento central del PP20) donde se leerán los datos de la gasificación para la posible ejecución.

### 3.12.1.1 Inicio del programa

Para iniciar con los bloques del código se inicia con un file path para ubicar el archivo con formato .csv (Figura 33) generado por sistema de control del gasificador. Posteriormente se configura el Sub-VI que hará la lectura del archivo el cual es de tipo String y lo prepara en un arreglo donde se ingresará a un While Loop para proseguir con el siguiente paso.

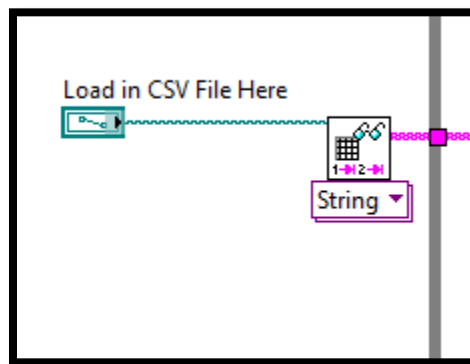


Figura 33 Código para cargar archivo .csv

### 3.12.1.2 Convertir datos a arreglos de LabView

Al leer los datos en formato .csv entramos a una Flat Sequence Structure la cual permite realizar paso a paso las instrucciones de programación. Hasta que se terminen las instrucciones del primer sub-diagrama se pasara al segundo y así consecutivamente.

En este subdiagrama (Figura 34) se desglosa la información encontrada en el archivo leído para convertirlo en un archivo de mejor manejo en el entorno de programación por bloques de LabView y cuyo principal objetivo es la obtención de dicho datos para ser graficados posteriormente.

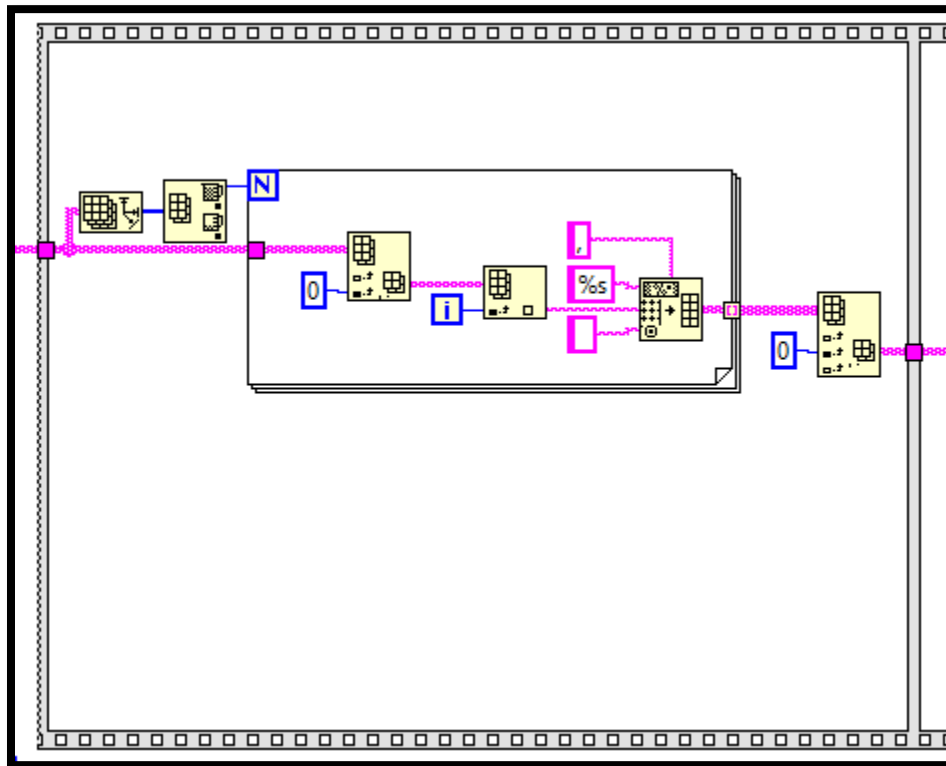


Figura 34 Código para convertir las tablas en arreglos de LabView

### 3.12.1.3 Graficar datos

En esta secuencia al dar OK mediante Case Structure anidados podremos elegir la gráfica de la relación de datos (Figura 35) que requerimos que se muestren en la pantalla del instrumento virtual.

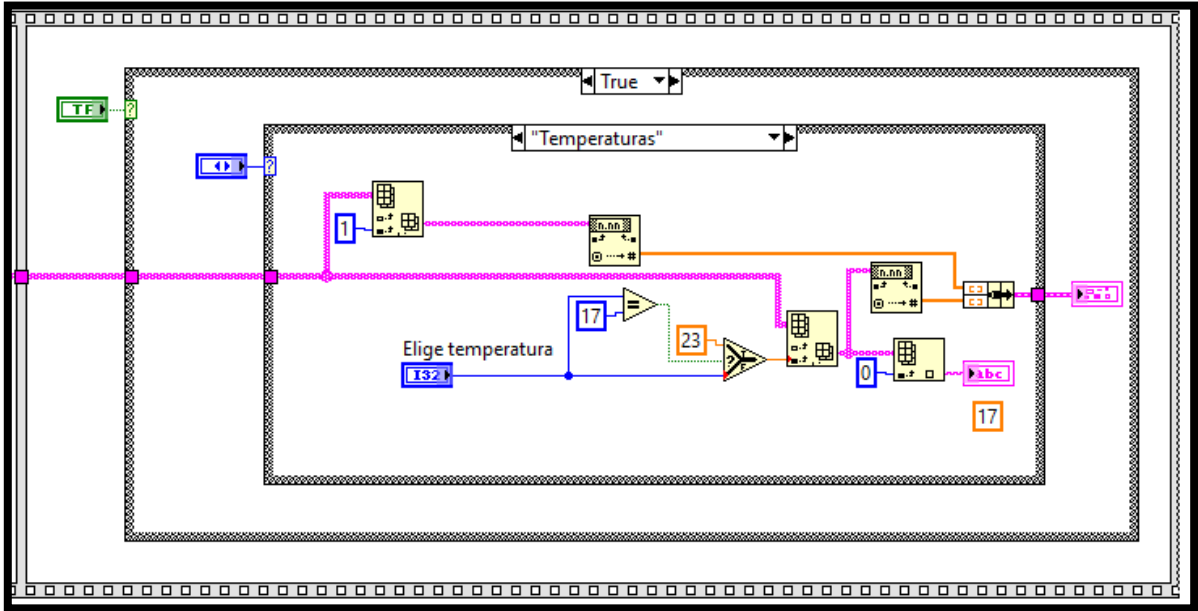


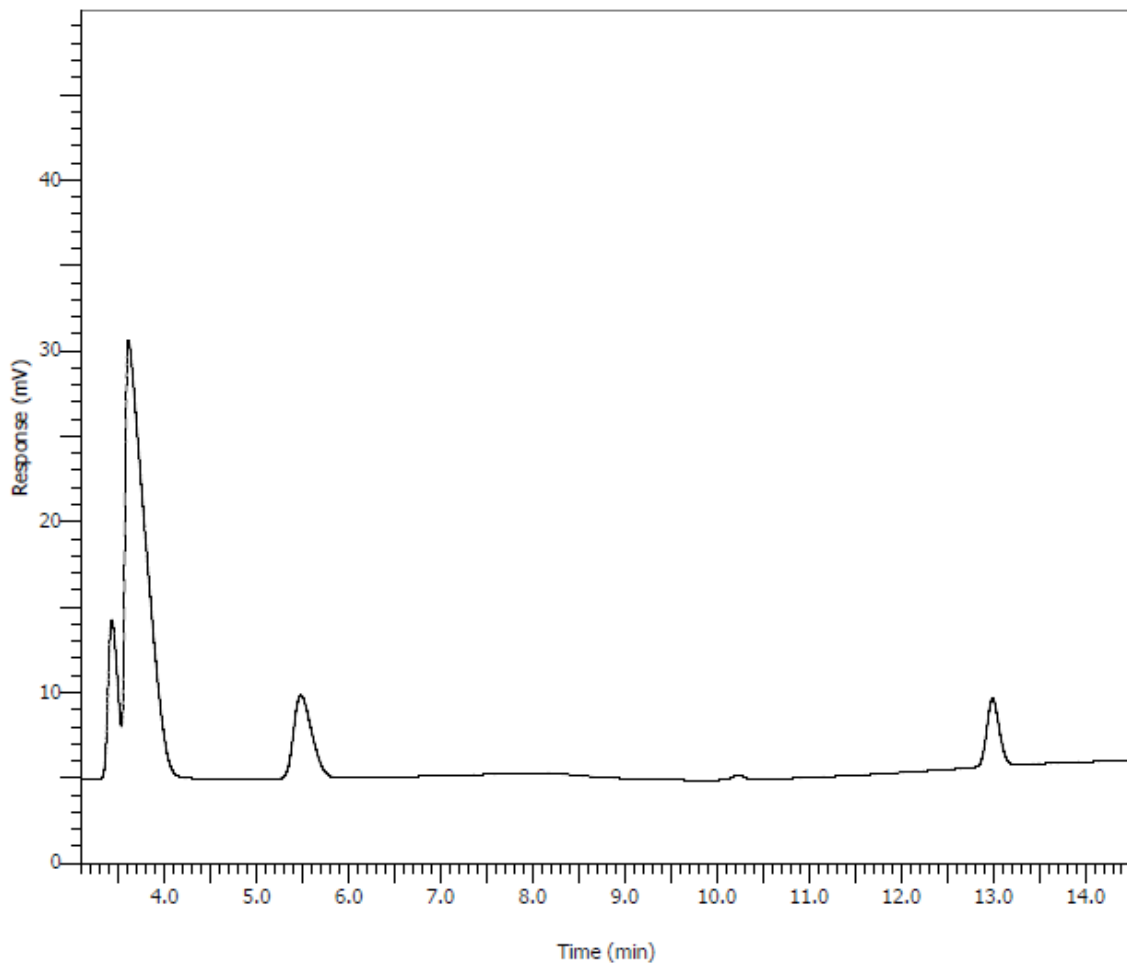
Figura 35 Graficando datos.

## 4 Resultados y discusiones

### 4.1 Resultado de la gasificación

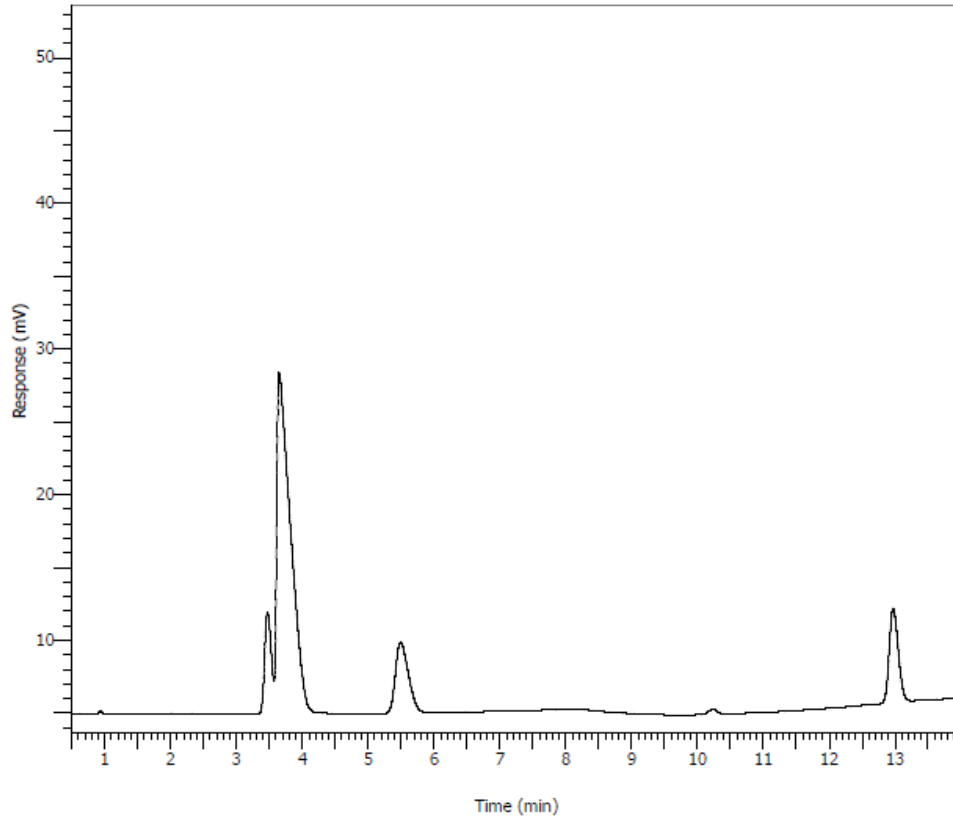
El presente documento presenta los resultados de la simulación en el estudio de la biomasa de la región como es el eucalipto que se usó, los efectos de la temperatura, el tamaño de la partícula y la formación de los alquitranes harán de los datos experimentales tengan relevancia para mejorar las condiciones de operación en campo de un equipo gasificador.

En la caracterización del gas de síntesis principalmente se busca la composición de  $H_2$ ,  $CO$ ,  $CH_4$  y  $CO_2$ . En la Figura 36 se presenta el cromatograma hecho a la muestra del gas de síntesis a los 40 minutos de estar operando el gasificador. El elemento con mayor presencia en el estudio fue el  $N_2$  cercano a 70%, seguido del  $O_2$  y  $CO$  con 12% de presencia cada uno.



**Figura 36 Cromatograma del gas de síntesis a los 40 min**

El cromatograma de la Figura 37 representa la muestra del gas de síntesis a los 60 min cuya presencia del  $N_2$  es del 65 %, 12.84 % del CO y un 11.86 % de  $CO_2$ .



**Figura 37 Cromatograma del gas de síntesis a los 60 min**

Los tiempos de retención y porcentajes de composición se presentan en la Tabla 10.

**Tabla 10 Composición del gas de síntesis**

Tiempo de retención (min)	Compuesto	[ % ] 40 min	[ % ] 60 min
0.93	H <sub>2</sub>	0.00	0.11
3.47	O <sub>2</sub>	11.66	9.40
3.65	N <sub>2</sub>	69.57	65.19
5.49	CO	11.83	12.85
10.23	CH <sub>4</sub>	0.39	0.60
12.97	CO <sub>2</sub>	6.55	11.86

## 4.2 Resultados de la simulación de Aspen Plus

Mediante el software Aspen Plus se simuló la gasificación de eucalipto cuyos criterios se encuentran en la sección 3.5 de este documento. En la Tabla 11 se muestra la comparación de resultados de la gasificación y la simulación de gasificación usando ASPEN PLUS®.

Tabla 11 Gasificación PP20 vs simulación

Compuesto	GEK PP20 POWER PALLET	ASPEN	Diferencia
H <sub>2</sub>	0.110	0.396	0.286
O <sub>2</sub>	9.400	.0004	9.399
N <sub>2</sub>	65.190	22.58	42.61
CO	12.850	54.37	41.52
CH <sub>4</sub>	0.600	0.014	0.586
CO <sub>2</sub>	11.860	15.25	3.39
Poder calorífico superior	.47	1.75	1.27

Como podemos ver en la tabla anterior el poder calorífico fue superior en la simulación en ASPEN esto debido a diferentes aspectos tales como relación biomasa-oxígeno, tamaño de partícula, frecuencia de alimentación.

El porcentaje de hidrógeno fue mayor en la simulación, con una diferencia de 0.28 % con respecto gas generado por el gasificador, en el porcentaje del metano tenemos una diferencia de 0.58 % siendo el gasificador que más género, el monóxido de carbono presentaba la diferencia más alta con el 41 % de producción más en la simulación.

### 4.3 Desarrollo del instrumento virtual

Se desarrolló código en bloques (Figura 38) que permitió de forma contundente la comunicación con el equipo gasificador, así como el diseño de una amigable interface entre computadora y operador.

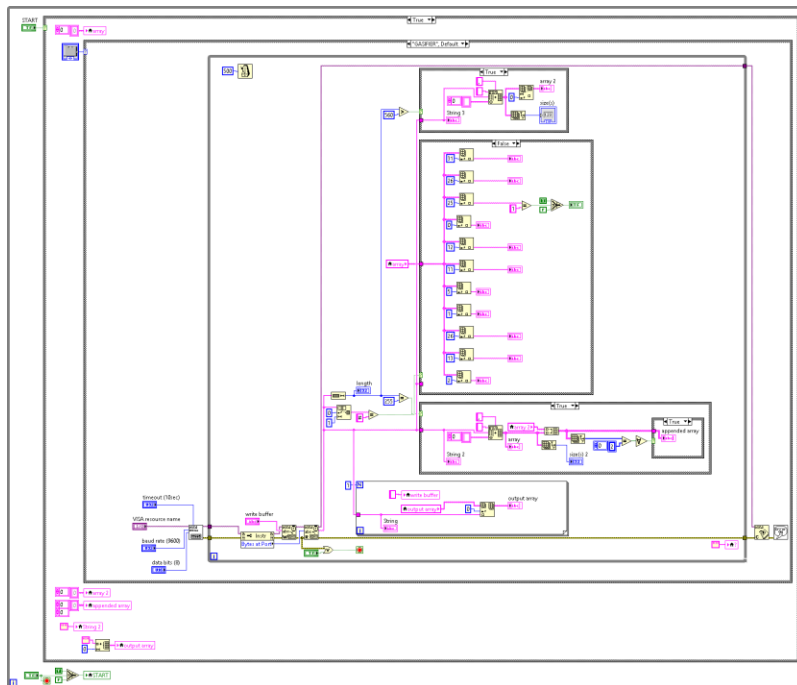


Figura 38 Código de programación por bloques

### **4.3.1 Representación virtual de parámetros de operación en tiempo real de equipo gasificador**

Se desarrolló un instrumento virtual (REVIOGA) (Figura 40) mediante LabView el cual se conecta al gasificador Power Pallet PP20.

El VI se conecta con un puerto serial y es capaz de mostrar información en tiempo real relacionada al proceso de gasificación que está corriendo en el momento.

Comunicación con la PCU del Power pallet.

El conocimiento y estudio de la unidad de procesamiento central del equipo de gasificación así como su código fuente fueron fundamentales para poder lograr la comunicación con el equipo gasificador.(Figura 39)



**Figura 39 Comunicación con el gasificador**

Entre las principales características e información que muestran son:

1. Temperaturas de combustión, temperaturas de restricción, presión de combustión y presión del reactor.
2. Comunicación serial, parado del programa, encendido de PCU, motor encendido.
3. Tiempo de operación total, lambda (aire/combustible), presión ( $P_{comb}/P_{react} * 100$ ), agitador activado, otros datos.
4. Alarmas de temperatura alta del refrigerante, temperatura alta de restricción, temperatura alta de reducción.

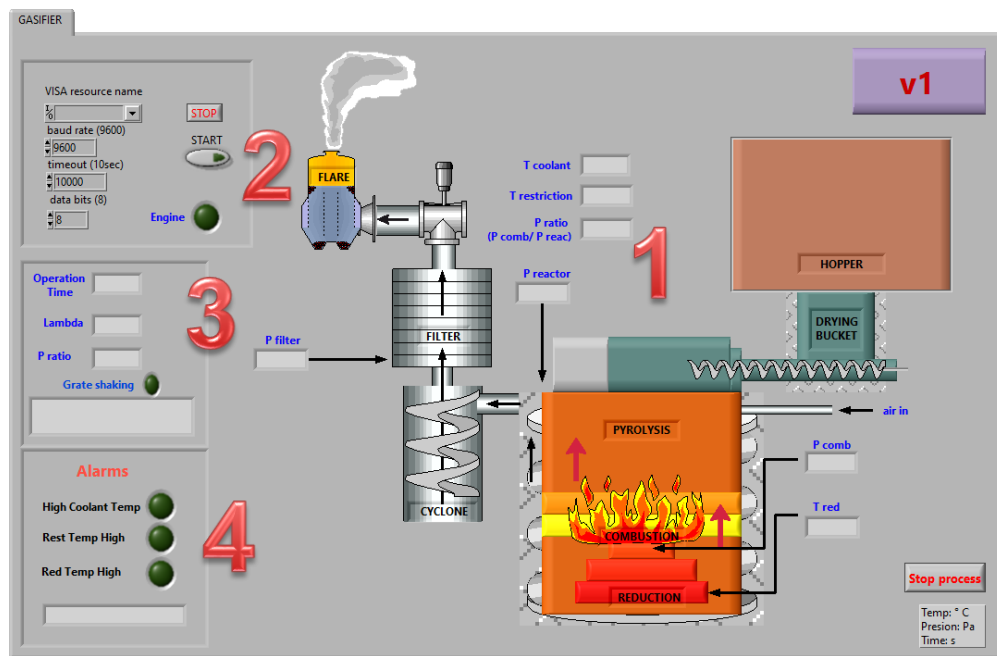


Figura 40 Instrumento virtual REVIOPA

### **4.3.2 Programa de cómputo para el análisis de los parámetros de operación del equipo gasificador**

El programa ANAPAGA es un programa donde se analizan y comparan gráficamente mediante un instrumento virtual los datos arrojados en el proceso de gasificación realizado con el gasificador PP20 de Power Pallet.

El PP20 genera energía de biomasa, convierte la biomasa densa como la madera en energía y calor. El PP20 está compuesto de un gasificador, un motor industrial, un generador eléctrico y un controlador electrónico. El sistema ajusta automáticamente la mezcla de gases mediante sensores, elimina las cenizas y alimenta el reactor.

El software ANAPAGA representa gráficamente la proporción de presiones de la zona de combustión y del reactor, las relaciones de temperaturas y presión de reactor, así como las temperaturas en el tiempo.

Los datos se extraen de la unidad de procesamiento central del PP20 mediante una memoria micro SD luego son leídos en una computadora para ser analizadas en ANAPAGA.

#### 4.4 Control de parámetros importantes y críticos para protección de las partes que corresponden al equipo de gasificación.

Con la comunicación establecida se encontró la manera de poder modificar parámetros de operación (Figura 41) del equipo gasificador, ya se calibración de sensores, del servomotor, activación del agitador y modificación de para la restricción de temperaturas.

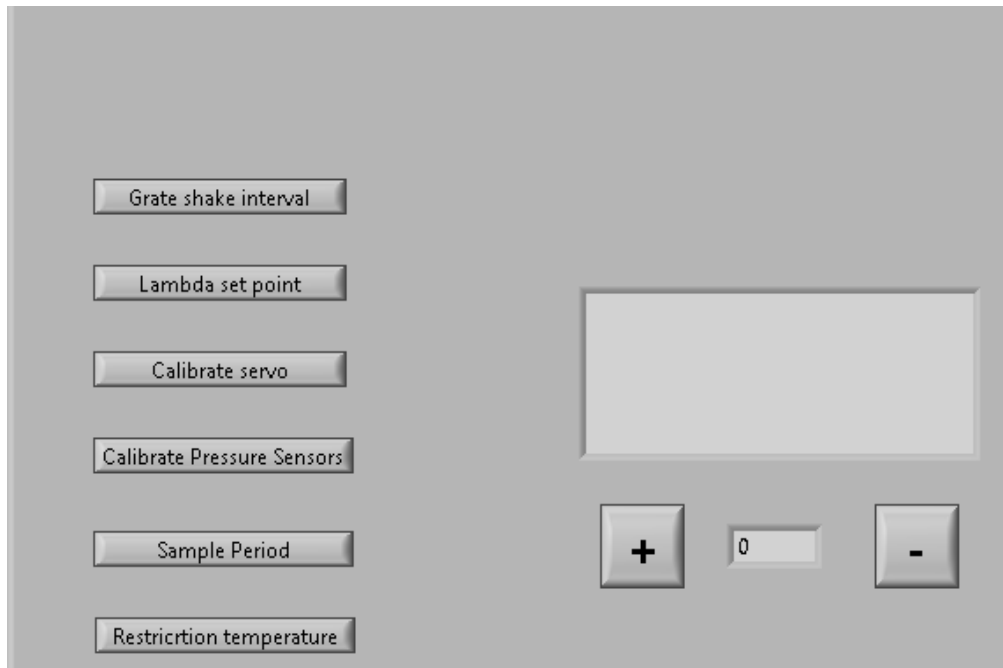


Figura 41 Control de parámetros del gasificador

## 4.5 Gráficos obtenidos

Gráfica de temperatura de reducción (Figura 42) la cual se obtiene a partir de un termopar tipo k, va conectado al puerto T1 del UPC, la temperatura de trabajo es debajo de la zona de combustión, zona de trabajo es de 700 a 800 °C, Debido a la alta reactividad del carbono arriba se reducen las temperaturas de 600 °C, el dióxido de carbono y el vapor de agua (que tiene un átomo de oxígeno eliminado) a H<sub>2</sub>, CO y algunos CH<sub>4</sub>, que son combustibles gaseosos de combustión limpia.

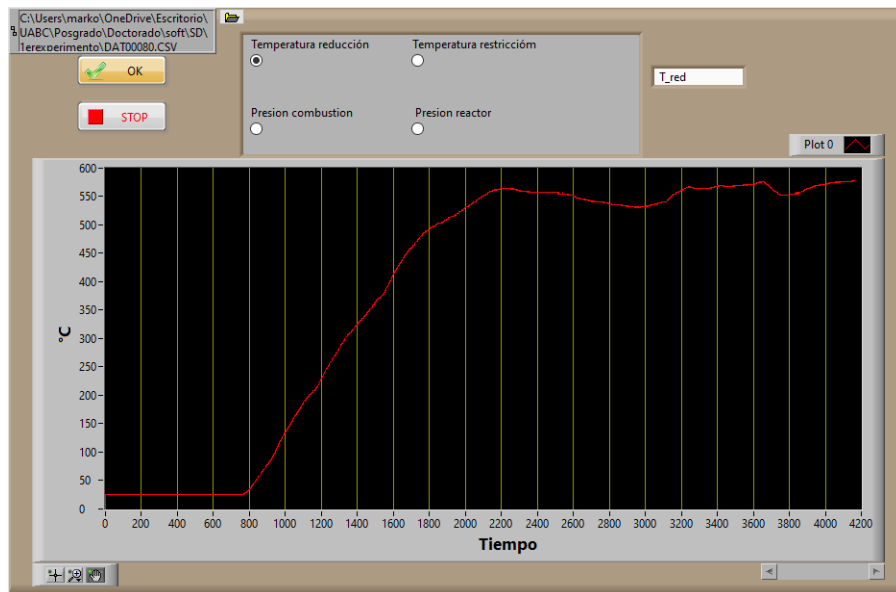
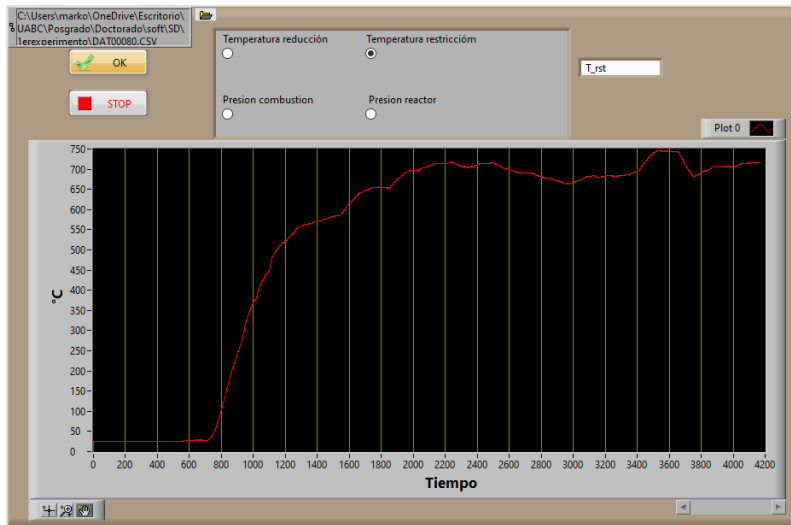


Figura 42 Gráfica de temperatura de reducción

La zona de restricción (Figura 43) canaliza todos los gases de combustión y los gases de alquitrán no quemados juntos para homogeneizar la temperatura mientras hace que los gases de alquitrán fluyan a través de un concentrado caliente lugar de aproximadamente 800 - 900 °C, lo que resulta en un craqueo de alquitrán eficiente: la descomposición térmica de estos alquitranes en CO y H<sub>2</sub>.



**Figura 43 Gráfica de temperatura de restricción**

La magnitud de vacío para las lecturas de presión del equipo gasificador se presentan en decimas de pulgada de columna de agua como unidad.

La relacione existente entre la presión de combustión (Figura 44) y la presión del reactor (Figura 45) son muy importantes. Esta relación se presenta como Pratio.

Cuando pratio es demasiado bajo, indica restricción de flujo debido a pequeñas piezas de carbón; para corregir esto restricción de flujo, la programación acelera el temporizador de cuenta regresiva para activar el movimiento de la rejilla antes para purgar los pequeños trozos de carbón. Cuando pratio es demasiado alto, indica que se está formando un puente dentro del reactor y evita que el carbón llene la canasta de la parrilla.

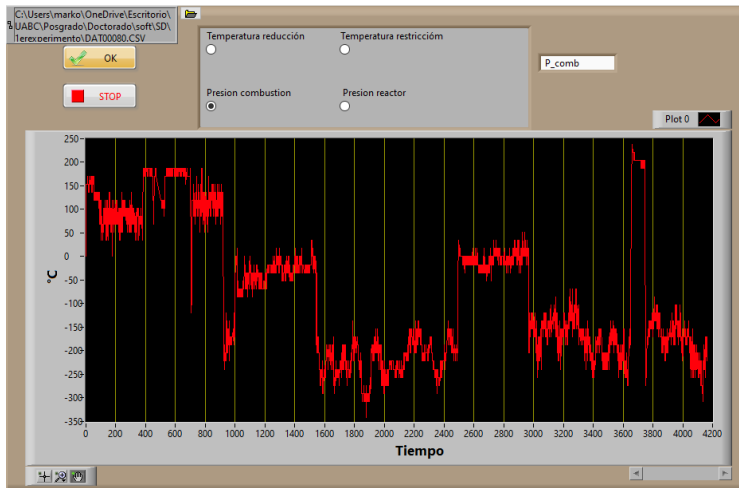


Figura 44 Gráfica de presión de combustión

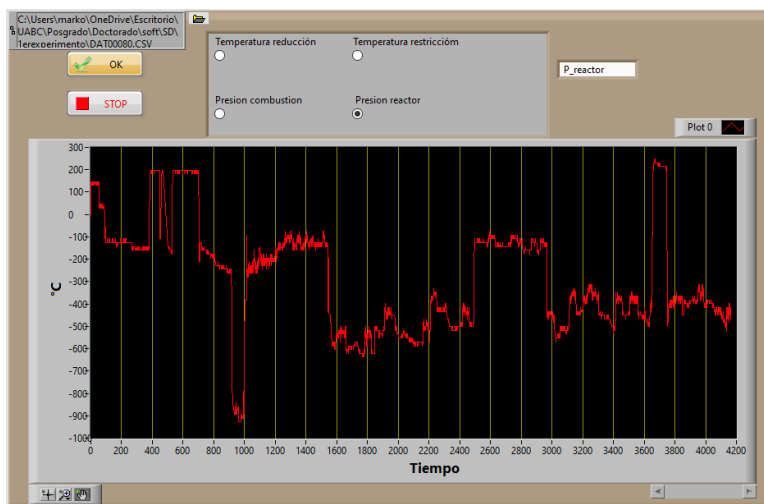


Figura 45 Gráfica de presión del reactor

Conocimientos en base a simulaciones

-La formación de metano decrece con el aumento de temperatura o el aumento de presión.

-La formación del monóxido de carbono e hidrógeno incrementa con un aumento de temperatura y una reducción de presión.

-El dióxido de carbono incrementa con un aumento en la presión y se reduce con un incremento en temperatura.

-Una reducción en la relación oxígeno-vapor incrementa la formación de hidrógeno y metano. Un aumento en esta relación aumenta la formación de CO y CO<sub>2</sub>.

### Algunas discusiones

El mayor inconvenientes que se detectó durante el proceso de gasificación fue la generación de escoria y corrosión dentro del equipo, por lo que se hizo necesario realizar un mantenimiento puntual para evitar problemas posteriores como fallas de válvulas de acceso de los gases al motor de combustión.



Figura 46 Escoria (izquierda), producto de corrosión (derecha)

Otra gran inconveniente que se hizo común fue la alimentación de la biomasa de la tolva a el reactor, el tornillo de alimentación se desviaba de su eje debido al tamaño y forma de las partículas de biomasa con las que se alimentaba el gasificador, esto llevó a que el motor que hacia el trabajo se esforzara a cierto nivel que demanda

más energía del UPC que llevo al fusible encargado de protegerlo se quemara consecuentemente.



Figura 47 Tornillo de alimentación sin poder girar (izquierda). Biomasa sin la tolva colocada (derecha).

## Conclusiones

Los instrumentos virtuales son dispositivos para la medición y control cuya forma física se encuentra implementada en el hardware de una computadora y las interfaces físicas requeridas para interconectar el instrumento con el mundo exterior a la computadora. Estas características fueron ampliamente aprovechadas en este proyecto, son varias la ventajas que se consideraron.

La principal ventaja de un instrumento virtual es que se define por el usuario final y no el fabricante de instrumentos como sucede con la instrumentación tradicional otras características importantes es que son reciclables y escalables es decir respectivamente fácilmente reconfigurables a otros modos de operación y permiten expandir sus capacidades de medición y control a un número de canales de entrada y salida importante y a bajo costo por canal lo que implica la rentabilidad de los instrumentos virtuales.

Son precisamente las características de funcionalidad definida por el usuario, reciclaje y escalabilidad lo que permite que su diseño se considere una aportación al desarrollo tecnológico ya que cada instrumento virtual se diseña para satisfacer los requerimientos específicos de su aplicación.

Gracias a las características y cualidades de funcionalidad antes presentadas permitieron estar sobre otras herramientas para afirmar que un instrumento virtual es de gran relevancia para el diseño específico de sistemas de adquisición de datos como el que se utilizó en este trabajo.

Gracias a lo descrito anteriormente el software de instrumentación virtual permite cualificar los aspectos más importantes de la biomasa con el fin de realizar los cambios necesarios y hacer que el proceso de gasificación sea lo más eficiente posible. Las lecturas hechas en tiempo real, así como la interfaz con el usuario ayudan a tener más clara y amigable la información que se recolecta del proceso de gasificación.

Por otra parte con la ayuda de la simulación de procesos químicos en Aspen Plus® se estimaron algunas propiedades de compuesto, especificaciones de diseño, análisis y síntesis de los procesos químicos, con esto nos damos la idea de cómo debe de reaccionar la biomasa dentro del reactor de gasificación agregando las propiedades físico químicas de cada tipo de biomasa.

Los resultados obtenidos mediante la combinación de las herramientas como LabView® y ASPEN PLUS® son de gran ayuda para valorar si las características de la biomasa utilizada para producción de combustible gaseoso son las óptimas.

## Referencias

1. Schoene, D., Killmann, W., Von Lupke, H and and M. Loychewilkie, *Definitional issues related to reducing emissions from deforestation in developing countries*. FAO, 2007(5): p. 1-26.
2. Michael Brower , E.M.G., Li Junfeng, David Green, Rainer Hinrichs-Rahlwes *Renewables 2014 Global Status Report*. 2014: p. 206.
3. Energia, A.I.d. <https://www.iea.org/>.
4. Bermejo, J.A.R., in *Escuela Técnica Superior de Ingeniería Industrial*. 2014: Universidad de la Rioja. p. 390.
5. Peter W. Reiners, R.W.C., Paul R. Renne, Kari M. Cooper, Darryl E. Granger, Noah M. McLean, Blair Schoene, *Geochronology and Thermochronology*. 2017: p. 445.
6. Coordinación de Energías Renovables, Dirección Nacional de Promoción, and S.d.E. Eléctrica, *Energías Renovables*. 2014.
7. Secretaría de Desarrollo Agropecuario, D.d.P.S.y.S.a.I.I.P., Oficina Estatal de Información para el Desarrollo Rural and E.c.I.d.P.d.G.d.C. Sustentable, *Programa de Georeferenciación de cultivos*. 2018.
8. Investigaciones, I.N.d. and A.y.P. Forestales, *Informe Anual de Actividades*. 2008.
9. Salvador, A.R., *Aprovechamiento de la Biomasa como Fuente de Energía Alternativa a los Combustibles Fósiles*. XII Programa de Promoción de la Cultura Científica y Tecnológica, 2010. Vol. 104(Nº. 2): p. pp 331-345.
10. Renovables, C.d.E., D.N.d. Promoción, and S.d.E. Eléctrica, *Energía Biomasa*. 2008.
11. Basu, P., *Biomass Gasification and Pyrolysis : Practical Design and Theory*. 2010, Burlington, MA: Academic Press.
12. Basu, P., *Biomass Gasification and Pyrolysis: Practical Design and Theory*. 2010: p. 376.
13. Ahorsu, R., F. Medina, and M. Constantí, *Significance and Challenges of Biomass as a Suitable Feedstock for Bioenergy and Biochemical Production: A Review*. *Energies*, 2018. 11(12): p. 3366.
14. Sala JM, L.L., *Plantas de Valorización Energética de Biomasa*. Editorial Ochoa, 2002.

15. Castro Gil M, C.P.R., Carta González JA, Colmenar Santos A., *Centrales de energías renovables : generación eléctrica con energías renovables*. UNED Pearson Educación, 2009.
16. <http://www.energia.gov.ar>.
17. P., B., *Biomass Characteristics*. In: *Biomass Gasification Design Handbook*. Academic Press, 2010. p. 27-63DOI: 10.1016/B978-0-12-374988-8.00002-7.
18. P., M., *Energy production from biomass (part 2): conversion technologies*. . Bioresour Technol 2002. 83: 47-54DOI: 10.1016/S0960-8524(01)00119-5.
19. [worldwide.espacenet.com/](http://worldwide.espacenet.com/).
20. <http://gpsn.uspto.gov/>.
21. Organization, W.I.P.
22. <https://www.epo.org>.
23. <https://patentscope.wipo.int>.
24. <http://web2.wipo.int/classifications/ipc>.
25. Kirsanovs, V., et al., *Experimental investigation of downdraft gasifier at various conditions*. Energy Procedia, 2017. 128: p. 332-338.
26. Baker, M.D., *Gasification : Chemistry, Processes, and Applications*. Energy Science, Engineering and Technology. 2012, New York: Nova Science Publishers, Inc.
27. *Diario Oficial de la Federacion* 2009. 5: p. 111.
28. Zamarrita, C., *Estado del Arte y Novedades de la Bioenergía en México*. FAO, Oficina Regional para América Latina y el Caribe., 2011.
29. Villamar, J.M.H., *La biomasa en la transición energética de México*. Boletín IIE, 2015
30. Higman, C. and M.v.d. Burgt, *Gasification*. Vol. 2nd ed. 2008, Burlington, MA: Gulf Professional Publishing.
31. MehrdokhtB. Nikoo, N.M., *Simulation of biomass gasification in fluidized bed reactor using ASPENPLUS*.
32. Rajul Nayak, R.K.M., *Simulation of Coal Gasification Process using ASPEN Plus*. 2011. Institute of Technology, Nirma university, Ahmedabad p. 382- 481.
33. Nikoo, M.B. and N. Mahinpey, *Simulation of biomass gasification in fluidized bed reactor using ASPEN PLUS*. Biomass and Bioenergy, 2008. 32(12): p. 1245-1254.
34. <http://www.allpowerlabs.com>. *Introduction to the Power PalletPP20 v1.08, v1.09*. .
35. <http://www.allpowerlabs.com>. *v1.09 Chapter 4\_ Automation Assembly*.

36. Yang, Y., *LabVIEW Graphical Programming Cookbook*. Quick Answers to Common Problems. 2014, Birmingham, U.K.: Packt Publishing.
37. Schwartz, M. and O. Manickum, *Programming Arduino with LabVIEW*. Community Experience Distilled. 2015, Birmingham, UK: Packt Publishing.
38. Segura, F., V. Bartolucci, and J.M. Andújar, *Hardware/Software Data Acquisition System for Real Time Cell Temperature Monitoring in Air-Cooled Polymer Electrolyte Fuel Cells*. *Sensors* (14248220), 2017. 17(7): p. 1600.
39. Yogesh, B. and P. Rengaprabhu, *Temperature Control and Data Acquisition Method for Factory using Labview*. *Grenze International Journal of Engineering and Technology (GIJET)*, 2017. 3(3): p. 121-124.





Diploma del Curso taller “Búsqueda de información tecnológica de base de datos”

# CERTIFICADO

## Registro Público del Derecho de Autor

Para los efectos de los artículos 13, 162, 163 fracción I, 164 fracción I, 168, 169, 209 fracción III y demás relativos de la Ley Federal del Derecho de Autor, se hace constar que la **OBRA** cuyas especificaciones aparecen a continuación, ha quedado inscrita en el Registro Público del Derecho de Autor, con los siguientes datos:

**AUTORES:** FLORES ZAMORA MARCO ANTONIO  
GARCIA GONZALEZ CONRADO  
MONTERO ALPIREZ GISELA  
**TITULO:** RAMOS IRIGOYEN ROGELIO ARTURO ABRAHAM JOSE MARIA  
PRESENTACION VIRTUAL DE PARAMETROS DE OPERACION EN TIEMPO REAL  
DE EQUIPO GASIFICADOR  
**RAMA:** PROGRAMAS DE COMPUTACION  
**TITULARES:** FLORES ZAMORA MARCO ANTONIO  
GARCIA GONZALEZ CONRADO  
MONTERO ALPIREZ GISELA  
RAMOS IRIGOYEN ROGELIO ARTURO ABRAHAM JOSE MARIA

Con fundamento en lo establecido por el artículo 168 de la Ley Federal del Derecho de Autor, las inscripciones en el registro establecen la presunción de ser ciertos los hechos y actos que en ellas constan, salvo prueba en contrario. Toda inscripción deja a salvo los derechos de terceros. Si surge controversia, los efectos de la inscripción quedarán suspendidos en tanto se pronuncie resolución firme por autoridad competente.

Con fundamento en los artículos 2, 208, 209 fracción III y 211 de la Ley Federal del Derecho de Autor; artículos 64, 103 fracción IV y 104 del Reglamento de la Ley Federal del Derecho de Autor; artículos 1, 3 fracción I, 4, 8 fracción I y 9 del Reglamento Interior del Instituto Nacional del Derecho de Autor, se expide el presente certificado.

---

Número de Registro: 03-2017-121913434000-01

---

México D.F., a 15 de enero de 2018

EL DIRECTOR DEL REGISTRO PÚBLICO DEL DERECHO DE AUTOR

JESUS PARETS GOMEZ



SECRETARÍA DE CULTURA  
INSTITUTO NACIONAL DEL  
DERECHO DE AUTOR  
DIRECCIÓN DEL REGISTRO  
PÚBLICO  
DEL DERECHO DE AUTOR

Certificado de derecho de autor, REVIAGA

# CERTIFICADO

## Registro Público del Derecho de Autor

Para los efectos de los artículos 13, 162, 163 fracción I, 164 fracción I, 168, 169, 209 fracción III y demás relativos de la Ley Federal del Derecho de Autor, se hace constar que la **OBRA** cuyas especificaciones aparecen a continuación, ha quedado inscrita en el Registro Público del Derecho de Autor, con los siguientes datos:

**AUTORES:** FLORES ZAMORA MARCO ANTONIO  
GARCIA GONZALEZ CONRADO  
MONTERO ALPIREZ GISELA  
RAMOS IRIGOYEN ROGELIO ARTURO ABRAHAM JOSE DE MARIA  
SANCHEZ BUENO LORENZO ALEJANDRO

**TITULO:** PROGRAMA DE COMPUTO PARA EL ANALISIS DE LOS PARAMETROS DE OPERACION DEL EQUIPO GASIFICADOR

**RAMA:** PROGRAMAS DE COMPUTACION

**TITULARES:** FLORES ZAMORA MARCO ANTONIO  
GARCIA GONZALEZ CONRADO  
MONTERO ALPIREZ GISELA  
RAMOS IRIGOYEN ROGELIO ARTURO ABRAHAM JOSE DE MARIA  
SANCHEZ BUENO LORENZO ALEJANDRO

Con fundamento en lo establecido por el artículo 168 de la Ley Federal del Derecho de Autor, las inscripciones en el registro establecen la presunción de ser ciertos los hechos y actos que en ellas constan, salvo prueba en contrario. Toda inscripción deja a salvo los derechos de terceros. Si surge controversia, los efectos de la inscripción quedarán suspendidos en tanto se pronuncie resolución firme por autoridad competente.

Con fundamento en los artículos 2, 208, 209 fracción III y 211 de la Ley Federal del Derecho de Autor; artículos 64, 103 fracción IV y 104 del Reglamento de la Ley Federal del Derecho de Autor; artículos 1, 3 fracción I, 4, 8 fracción I y 9 del Reglamento Interior del Instituto Nacional del Derecho de Autor, se expide el presente certificado.

Número de Registro: 03-2017-121912564400-01

México D.F., a 15 de enero de 2018

EL DIRECTOR DEL REGISTRO PÚBLICO DEL DERECHO DE AUTOR

JESUS PARETS GOMEZ



Certificado de derecho de autor ANAPAGA



Otorgan el presente

# Reconocimiento

a

**Flores Z. Marco**

por su participación en el

**XVII Congreso Internacional de Ing. Mecatrónica  
y Mecánica**

con el artículo titulado:

*“Desarrollo de un instrumento virtual para monitorear  
los efluentes de gasificación de biomasa agrícola residual”*

Lic. Alejandro Ortíz G.  
Director General Grupo LOC

Dr. José Emilio Vargas Soto  
Fundador Asociación Mexicana de  
Mecatrónica, A.C.

Puerto Vallarta, Jalisco, México, 1 al 3 de Noviembre del 2018