



ESPE
UNIVERSIDAD DE LAS FUERZAS ARMADAS
INNOVACIÓN PARA LA EXCELENCIA

Universidad de las Fuerzas Armadas - ESPE

Departamento de Ciencias de la Energía y Mecánica

Carrera de Petroquímica

“Desarrollo y evaluación de la reacción de pirólisis de polipropileno (PP) junto con biomasa para la obtención de gas de síntesis mediante un software de simulación”

Autora: Palacios Tixilima, Pamela Abigail

Tutor: Ing. Sayavedra Delgado, Jonathan Javier



INTRODUCCIÓN

OBJETIVOS

METODOLOGÍA

RESULTADOS

CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES



INTRODUCCIÓN

OBJETIVOS

METODOLOGÍA

RESULTADOS

CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES



Plástico



A nivel mundial la producción de plásticos es de **370** millones de toneladas por año



Se recicla solo el **9%**

El **11.43%** representa a los plásticos



Reciclaje químico



Combustibles



Nuevos plásticos

En Ecuador se arroja un promedio de basura de **12739** toneladas al día



Polipropileno



El segundo
plástico más
utilizado

Figura 1
Polimerización de propileno

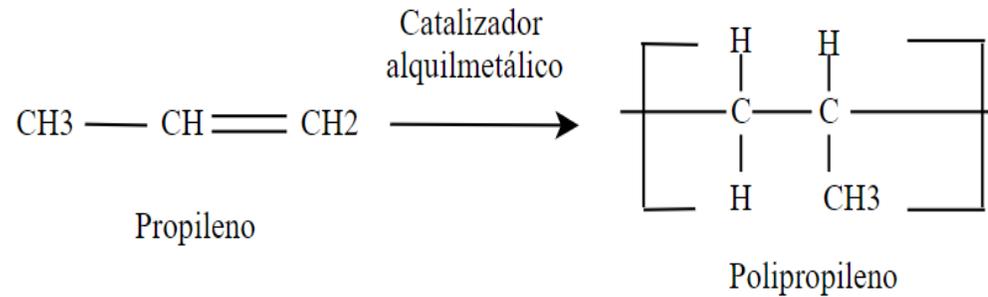


Tabla 1
Propiedades y especificaciones del polipropileno

Propiedades

Excelente resistencia química y mecánica

Baja densidad

Baja absorción de humedad

Aislante eléctrico

Elevado punto fusión





A nivel mundial se depende de combustibles fósiles para generar energía



Petróleo
Gas natural
Carbón



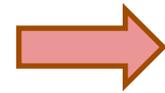
Biomasa



Procesos químicos



Pirólisis
Gasificación



Combustibles

Producción de residuos de biomasa en Ecuador

Tabla 2

Biomasa disponible en Ecuador

Producto	Producción absoluta (t/año)	Residuos (t/año)
Banano	113400.30	74844.20
Forestal	16932.21	36404.25
Cacao	5053.69	62570.80
Palma Africana	9388.23	24055.46
Plátano	11845.01	7817.71



Biomasa

Figura 2
Hemicelulosa

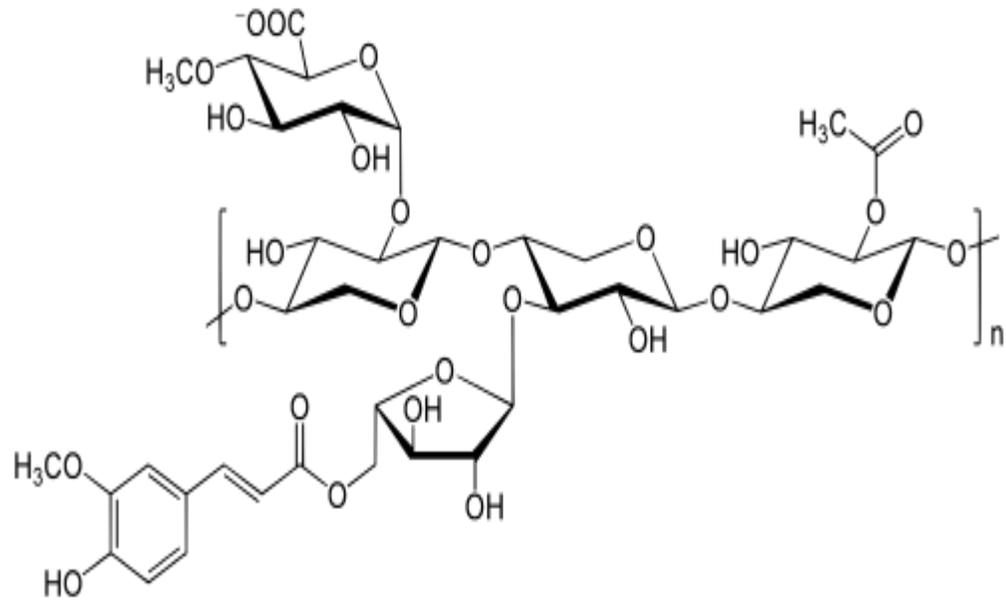
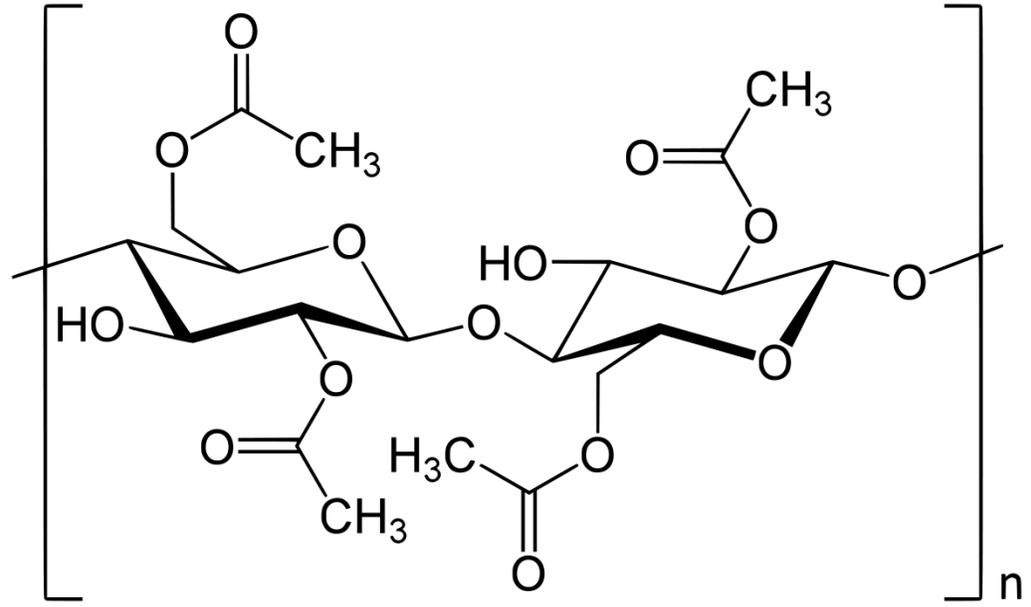
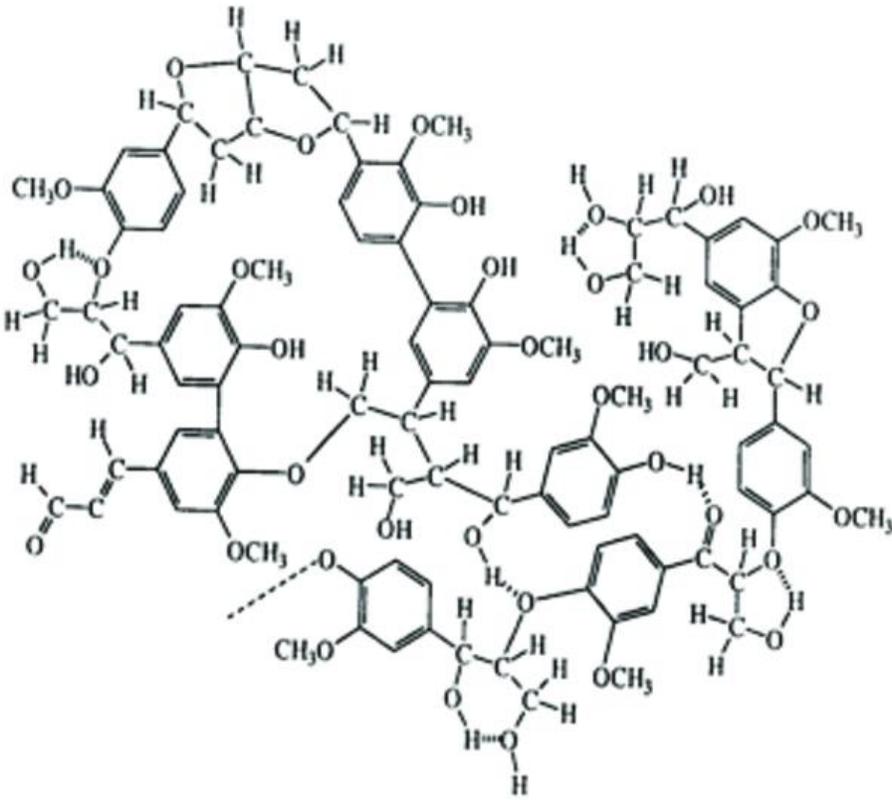


Figura 3
Celulosa



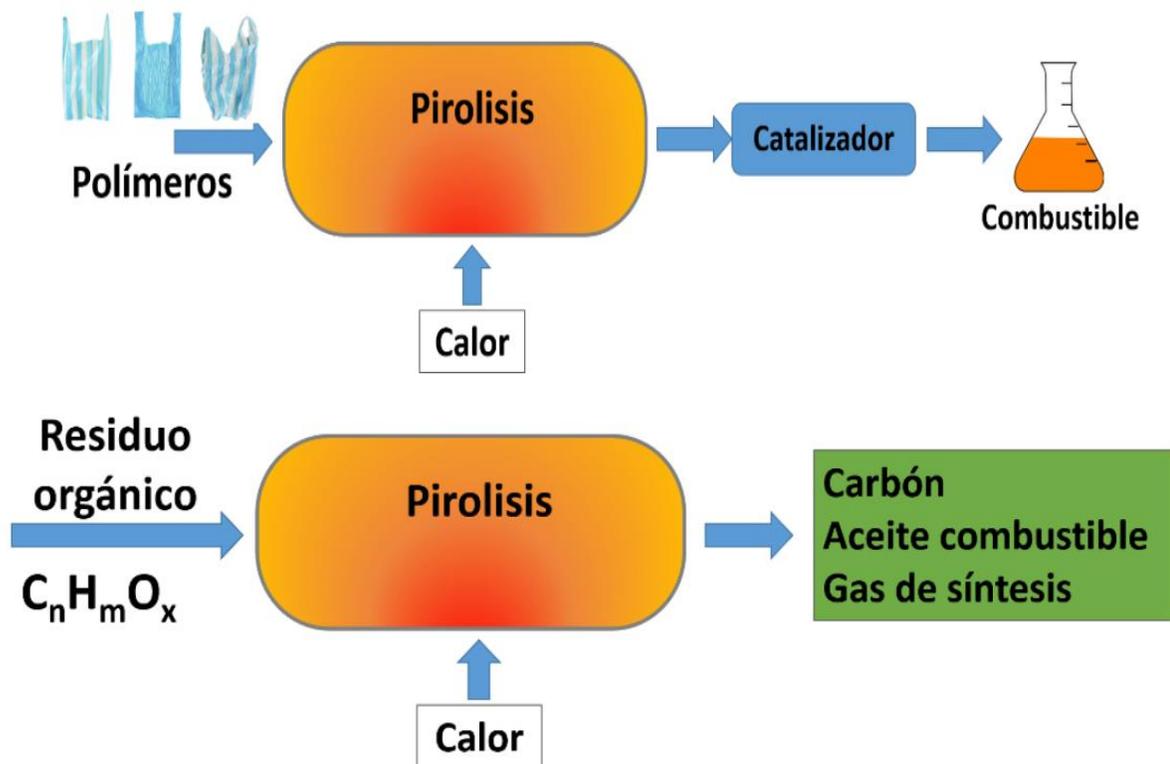
Biomasa

Figura 4
Lignina



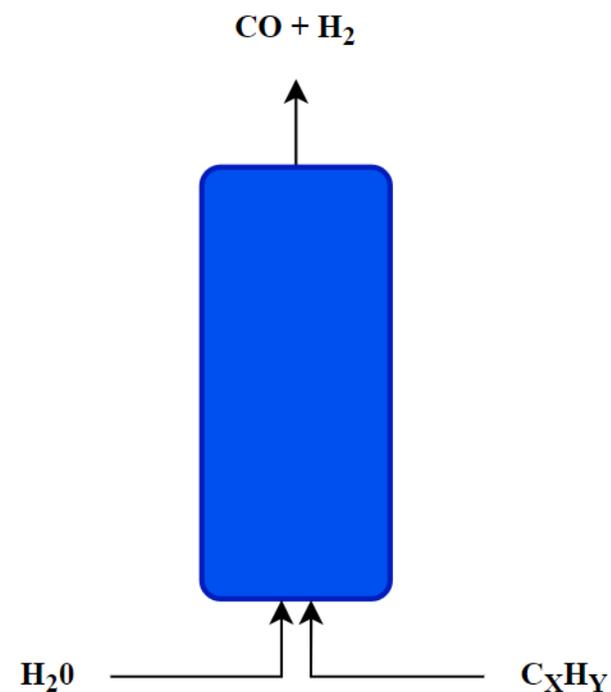
Pirólisis

Figura 4
Proceso de pirólisis



Reformado con vapor

Figura 5
Proceso de reformado con vapor



INTRODUCCIÓN

OBJETIVOS

METODOLOGÍA

RESULTADOS

CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES



Objetivo General

Desarrollar y evaluar la reacción de pirólisis de polipropileno (PP) junto con biomasa para la obtención de gas de síntesis mediante un software de simulación.

Objetivos Específicos

- Determinar las condiciones óptimas de generación de mayor cantidad de productos con valor agregado.
- Generar balances y reacciones presentes en el reactor de pirólisis.
- Realizar la simulación del proceso de pirólisis ocupando los datos y cálculos obtenidos en los objetivos planteados.



INTRODUCCIÓN

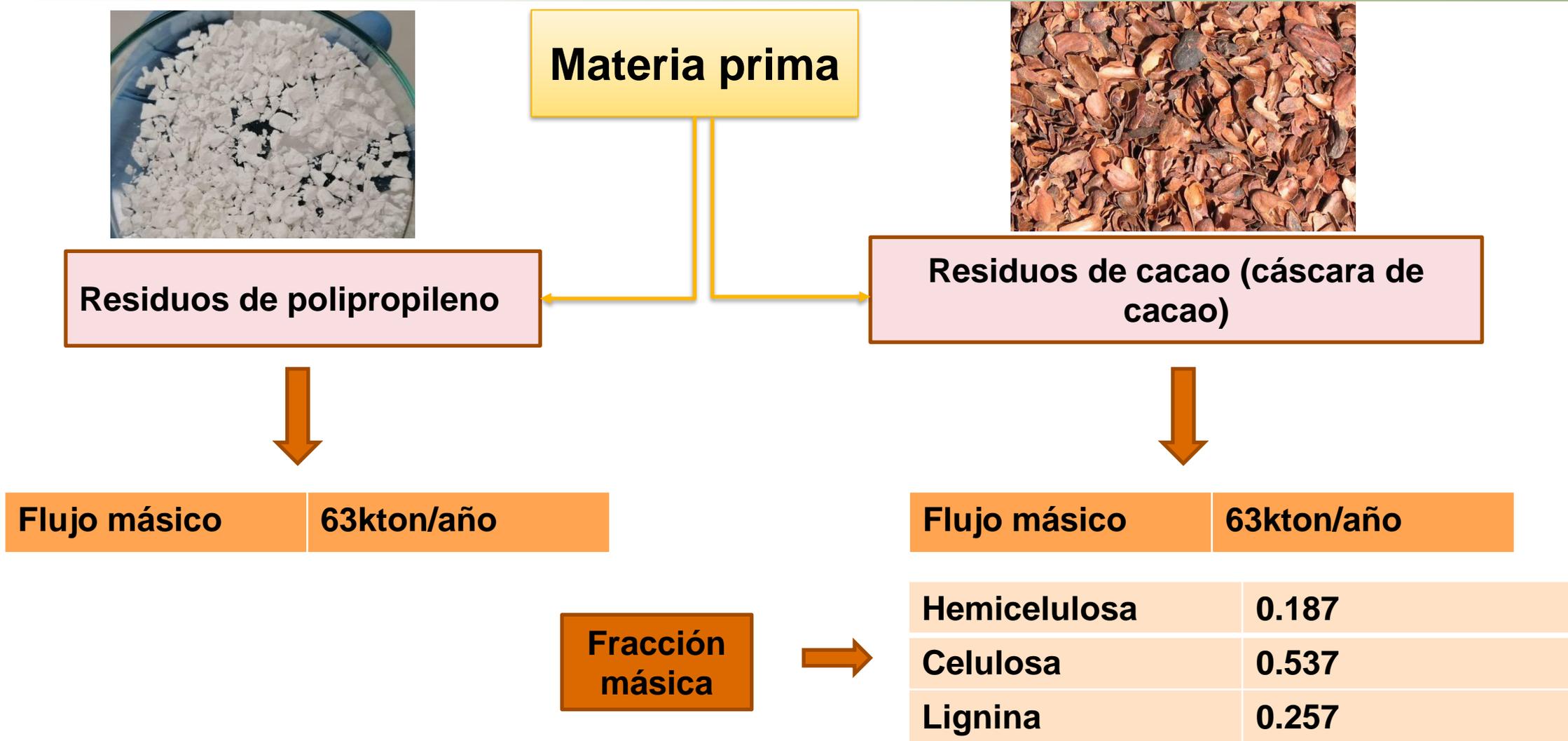
OBJETIVOS

METODOLOGÍA

RESULTADOS

CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES

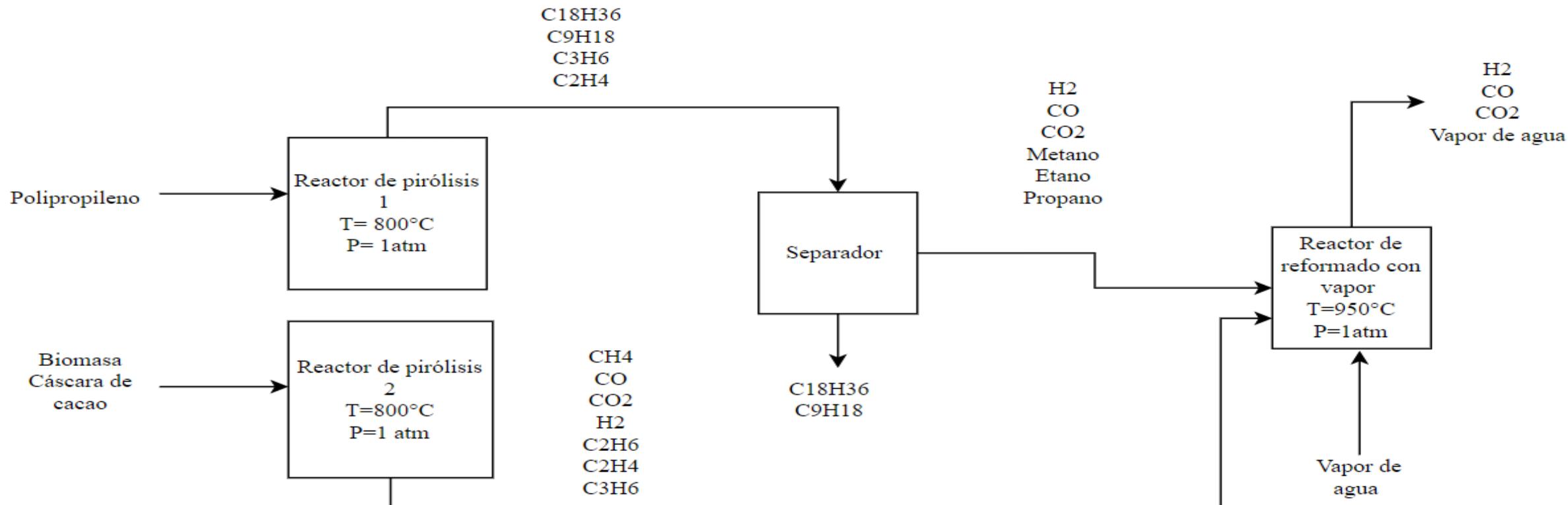




Método de obtención de gas de síntesis

Figura 6

Diagrama de bloques del proceso de obtención de gas de síntesis



Simulación

Paquete termodinámico NRTL

Ingreso de componentes no disponibles en la librería del programa de simulación

Figura 7

Estructura del polipropileno

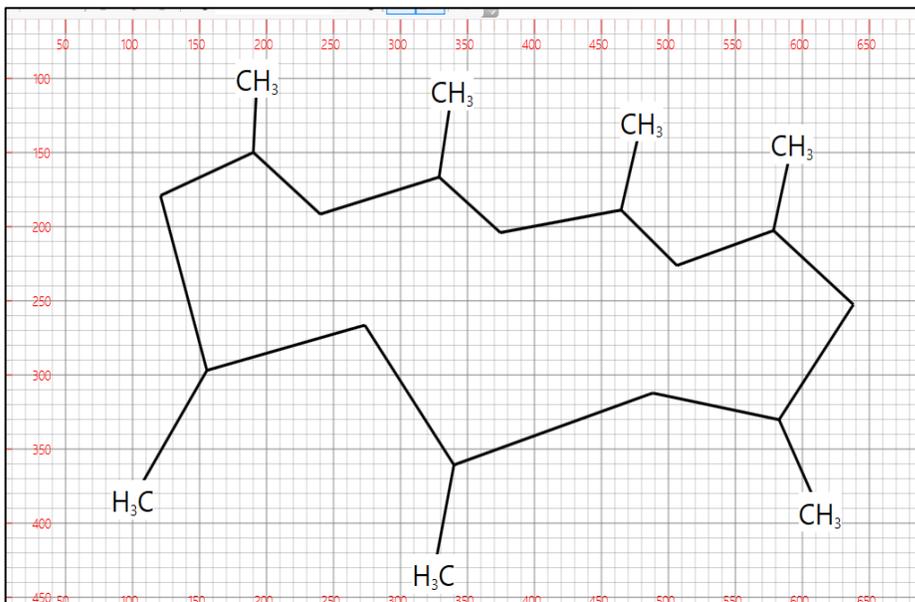
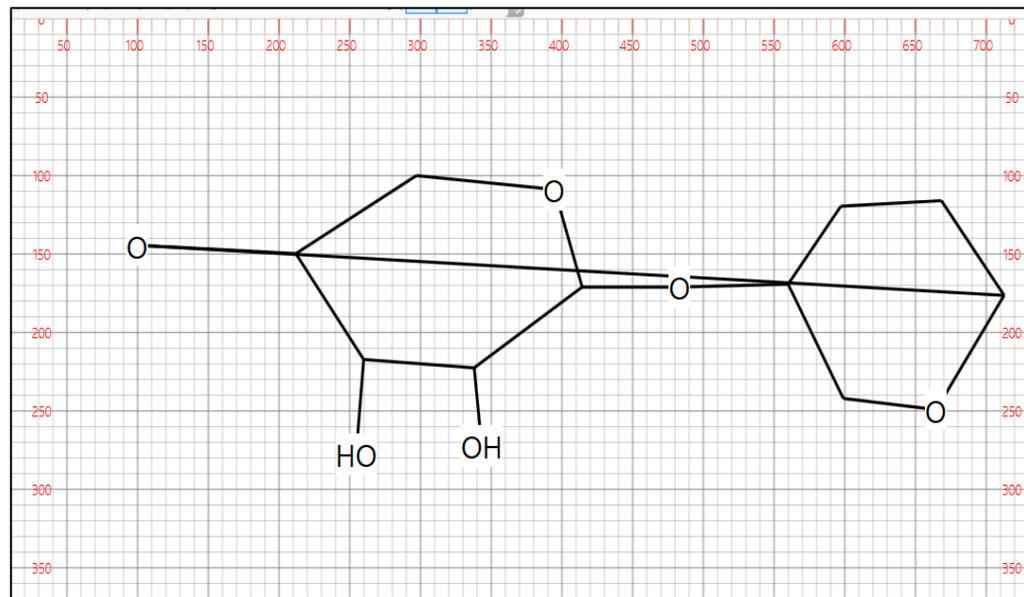


Figura 8

Estructura de la hemicelulosa



Simulación

Figura 9
Estructura de la celulosa

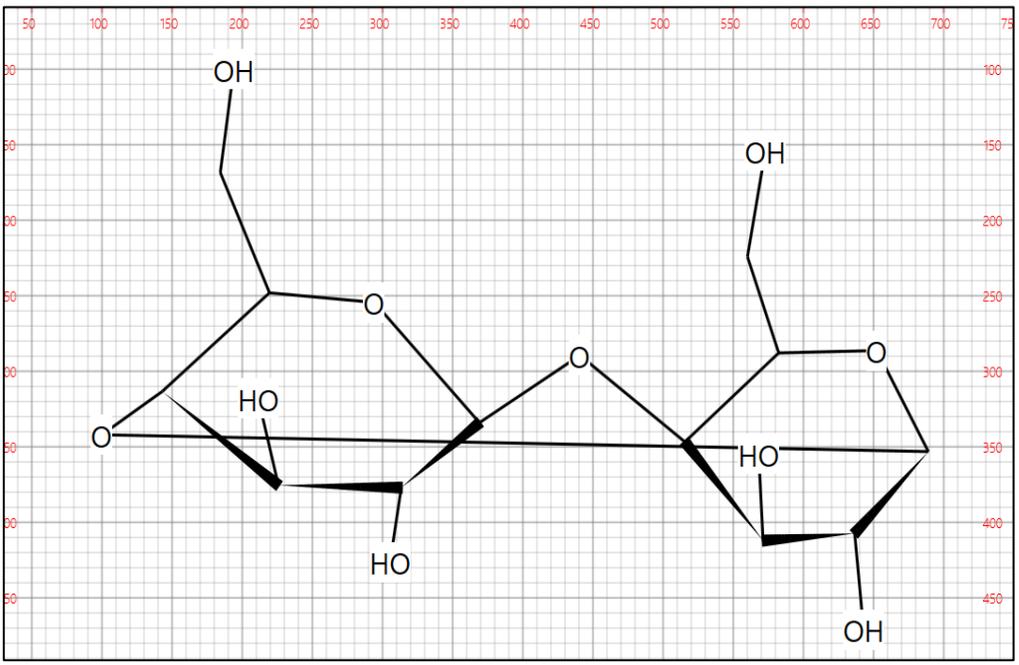
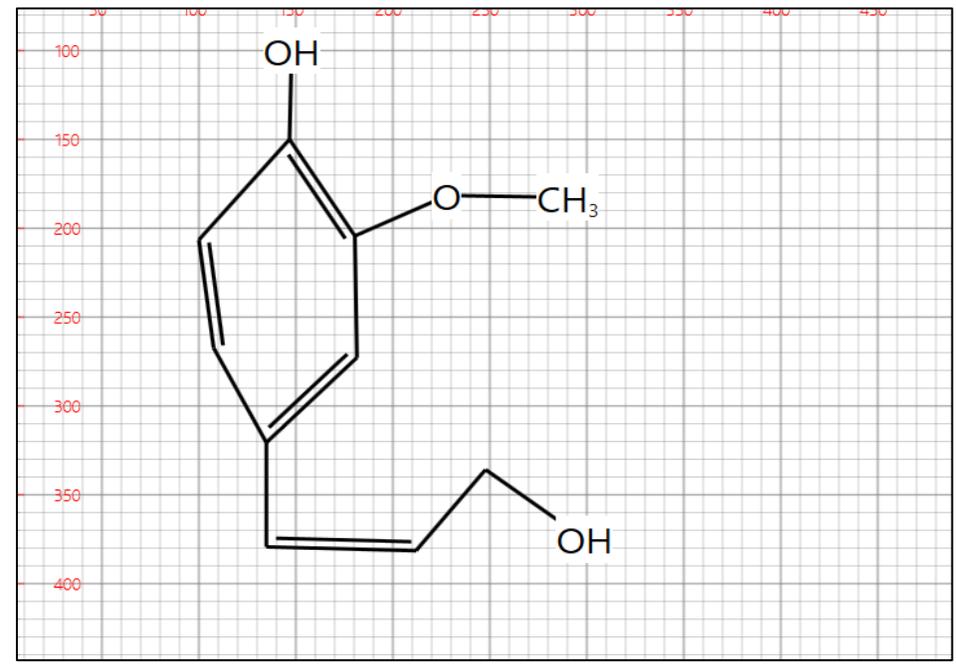


Figura 10
Estructura de la lignina



Simulación

Figura 11

Propiedades de los componentes no disponibles en la librería

Parameters	Units	Data set	Component CO	Component CO2	Component H2	Component CELULOSE	Component HCELULOS	Component LIGNINE	Component METHANE	Component ETHANE
DGFORM	CAL/MOL	1	-32760,1	-94200,8	0	-250182	-116122	-43020,9	-12137	-7870
DHFORM	CAL/MOL	1	-26399,6	-93990,6	0	-348402	-427808	-156940	-17883,1	-20240
DHAQFM	CAL/MOL	1	-28890,8	-98834,4	-1003,15	0	0	0	-21266,8	-24383,8
DHVLB	CAL/MOL	1	1444	4100	216	40363,2	25137,4	20163,9	1955	3515
HFUS	CAL/MOL	1	200,866	2154,15	27,9689				224,85	682,86
API		1	340	340	340				340	265,5
VC	CC/MOL	1	93,2441	93,9446	64,9115	729,5	545,5	470,5	99,2094	148,17
VCRKT	CC/MOL	1	93,2441	93,9446	64,9115	729,5	545,5	470,5	99,2094	148,17
VLSTD	CC/MOL	1	53,5578	53,5578	53,5578	63,8616	57,2138	71,6734	53,5578	84,7116
S025E	CAL/MOL-K	1	25,8703	50,3696	31,2124	0	0	0	63,7958	96,3793
PC	BAR	1	34,9571	73,7646	12,9696	40,5696	38,3878	39,7552	46,0016	48,8387
VB	CC/MOL	1	35,0109	35,6374	28,6127	115,397	92,8071	105,257	37,7482	55,0614
MW		1	28,0104	44,0098	2,01588	324,285	232,233	180,203	16,0428	30,0696
TREEHS	C	1	25	25	25	25	25	25	25	25



Proceso de pirólisis del polipropileno

Figura 12

Proceso de pirólisis del polipropileno

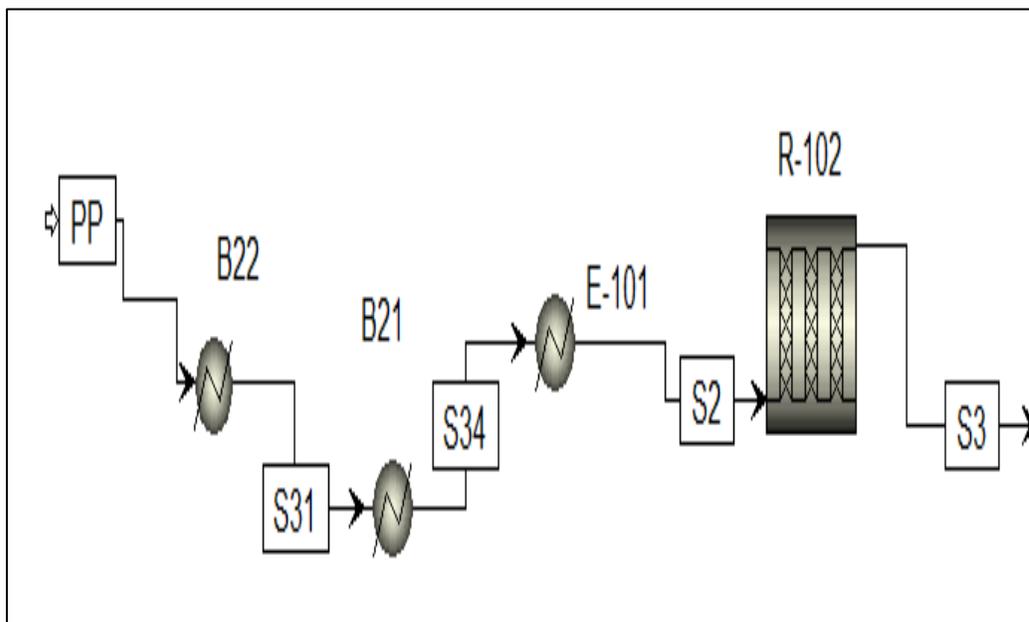


Tabla 3

Datos ingresados al proceso de pirólisis

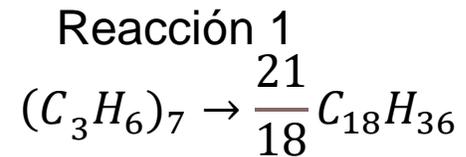
Corriente	Flujo másico [kton/año]	Temperatura [°C]	Presión [atm]		
Polipropileno	63	25			
Equipo	Temperatura [°C]	Presión [atm]	Diámetro [in]	Longitud [in]	Número de tubos
Heater 1	130	1			
Heater 2	260	1			
Heater 3	800	1			
R-plug 1	800	1	6	600	3000

Proceso de pirólisis del polipropileno

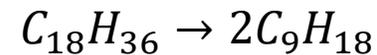
Tabla 4
Datos de los parámetros cinéticos

Reacción de descomposición	k [s ⁻¹]	E [kJ/mol]
1	0.01495	2.59
2	16.13	29.81
3	1.773	43.96

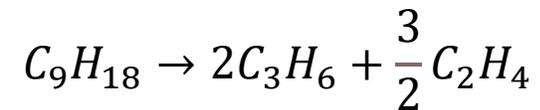
Reacciones de descomposición del polipropileno ingresadas al reactor



Reacción 2



Reacción 3



Proceso de pirólisis de la biomasa

Figura 12

Proceso de pirólisis de la biomasa

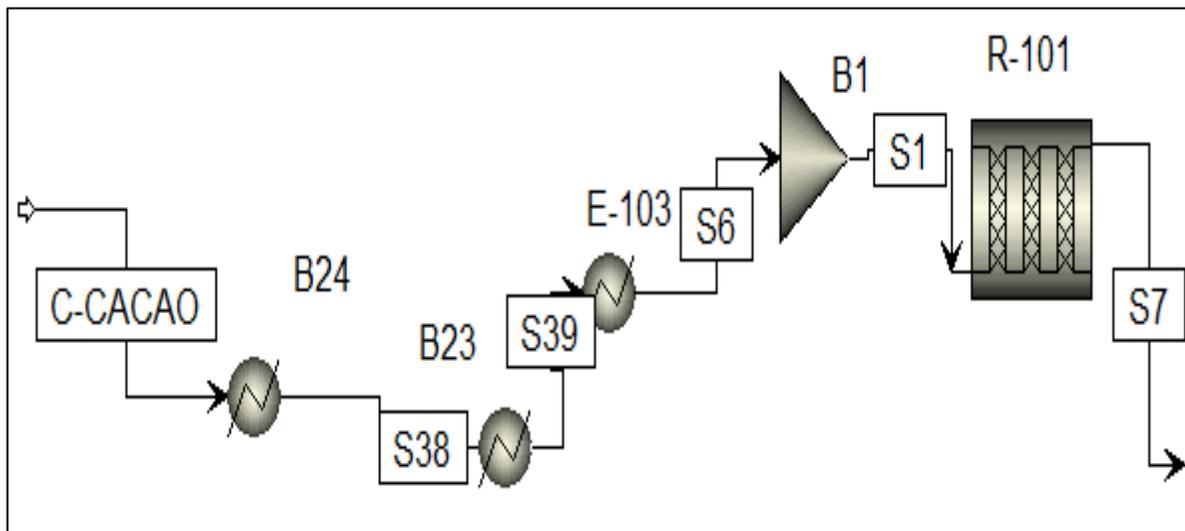


Tabla 5

Datos ingresados al proceso de pirólisis

Corriente	Fracción másica	Temperatu ra [°C]	Presión [atm]			
Celulosa	0.5474	25	1			
Hemicelulosa	0.1906	25	1			
Lignina	0.262	25	1			
Equipo	Temperatu ra [°C]	Presi ón [atm]	Diámetro [in]	Longit ud [in]	Número de tubos	
Heater 4	130	1				
Heater 5	260	1				
Heater 6	800	1				
R-plug 2	800	1	4	400	3000	



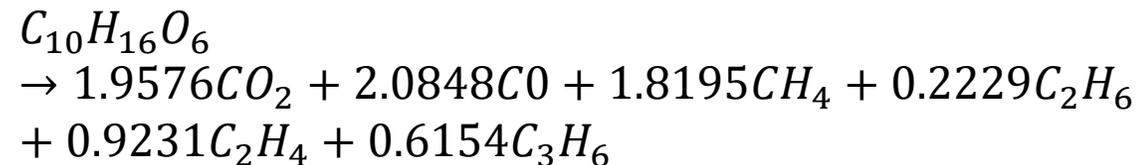
Proceso de pirólisis de la biomasa

Tabla 6
Datos de los parámetros cinéticos

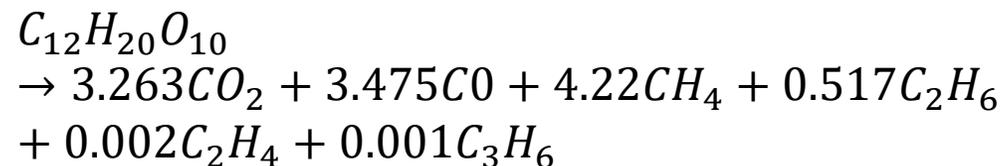
Componente	k [s ⁻¹]	E [kJ/mol]
Hemicelulosa	29400	85.48
Celulosa	2690	87.54
Lignina	59.4	69.41

Reacciones ingresadas al reactor

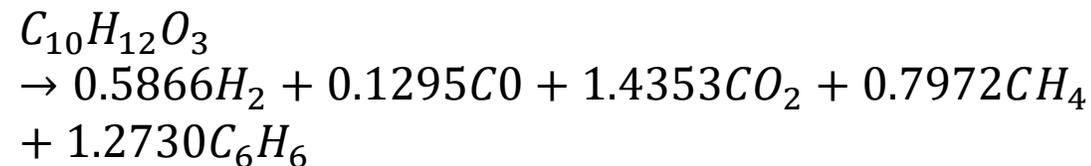
Hemicelulosa



Celulosa



Lignina



Proceso de separación de componentes

Figura 12

Proceso de separación del polipropileno

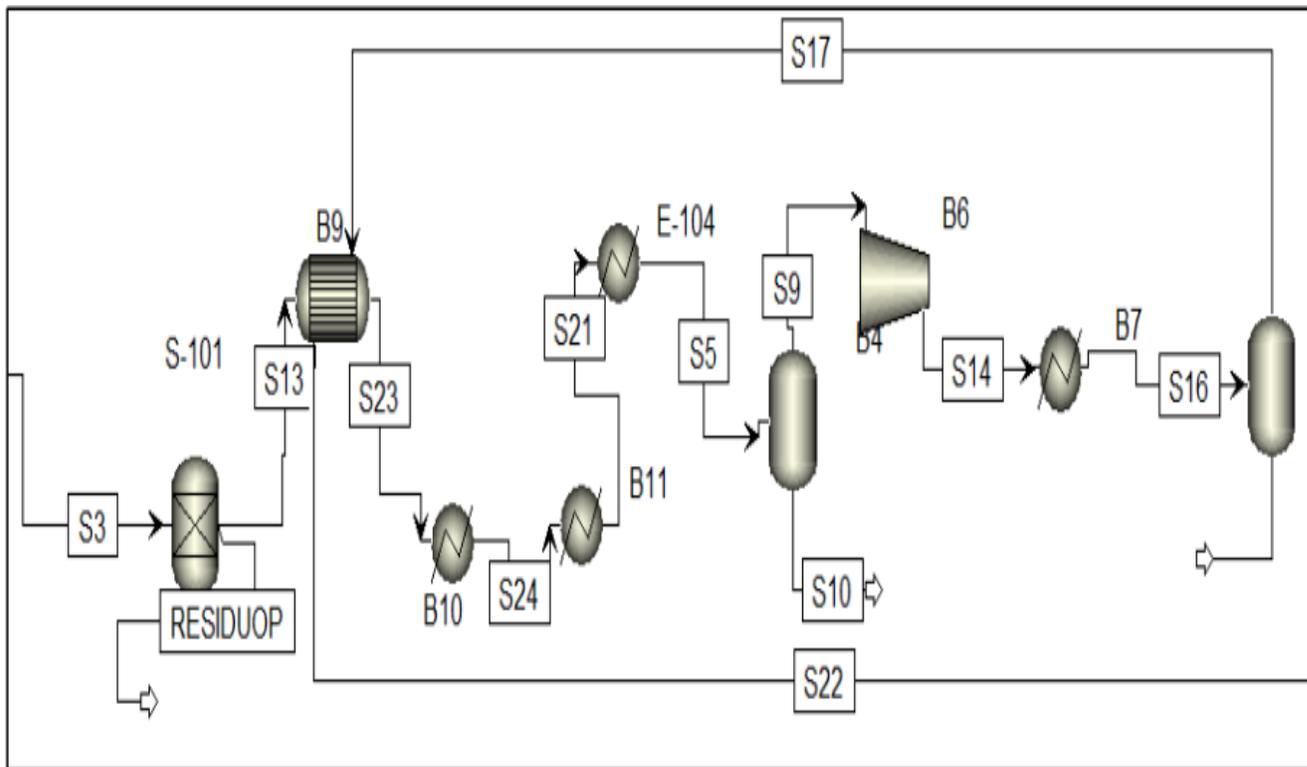


Tabla 7

Datos ingresados al proceso de separación

Equipos	Temperatura	Presión
B9	20°F	1 atm
B10	500°F	1 atm
B11	120°F	1 atm
E-104	55°F	1 atm
B4		1 atm
B6		5 bar
B7	55°F	5 bar
B8		5 bar

Proceso de separación de componentes

Figura 13

Proceso de separación de la biomasa

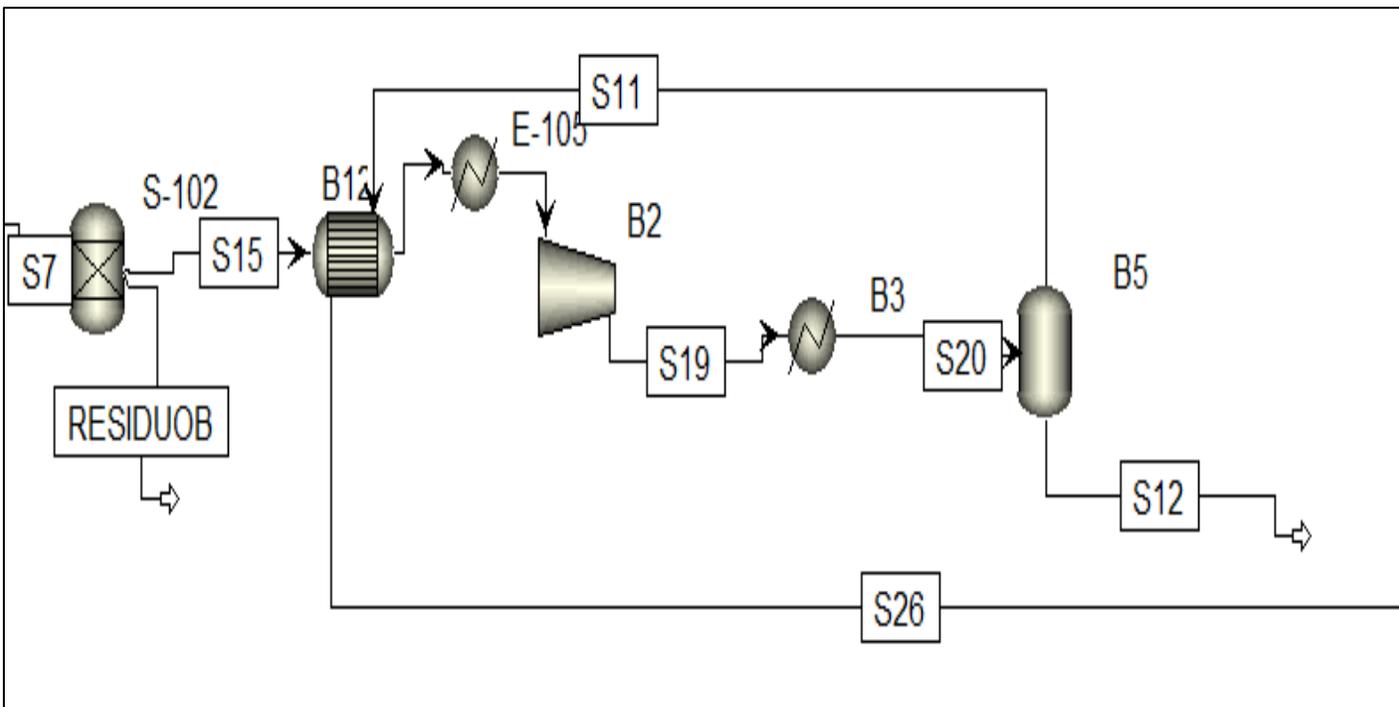


Tabla 8

Datos ingresados al proceso de separación

Equipos	Temperatura	Presión
B12	20°F	1 atm
E-105	110°F	1 atm
B2		5 bar
B3	-28°F	5 bar
B5		5 bar

Proceso de reformado con vapor

Figura 14

Proceso de reformado con vapor

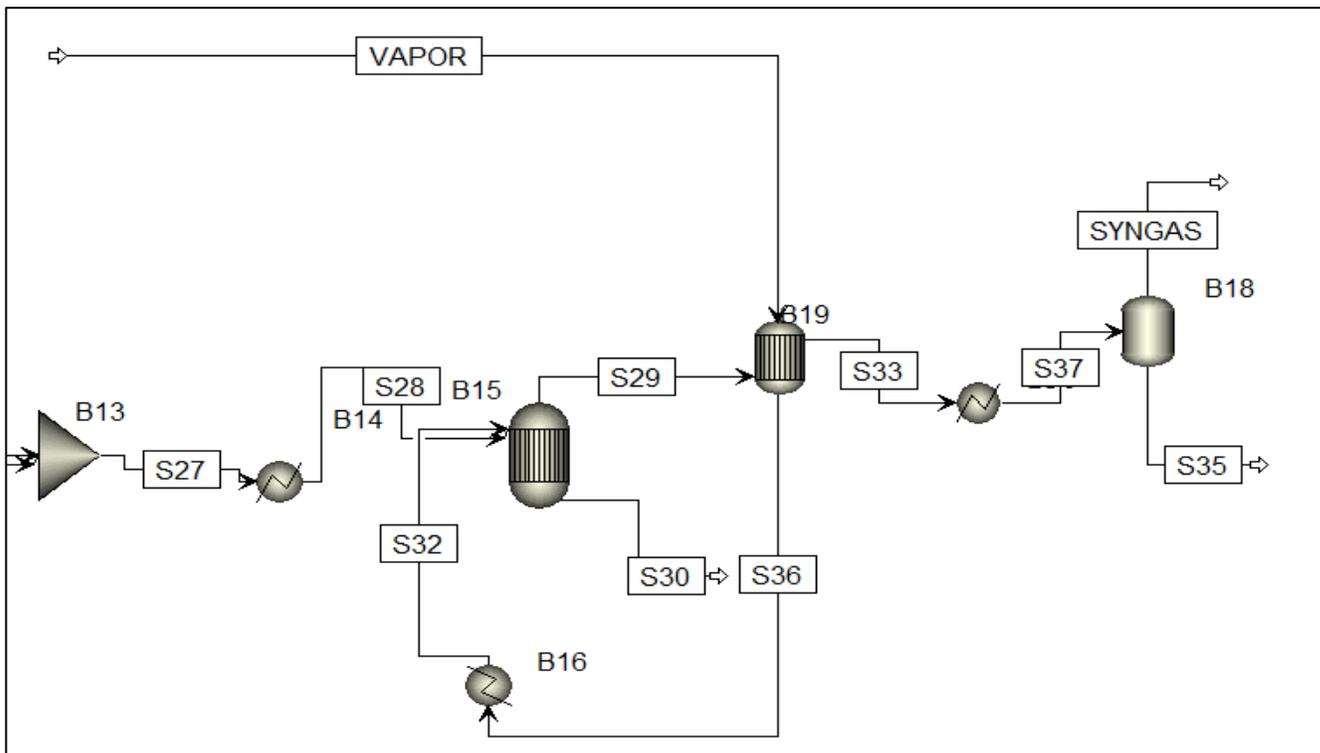


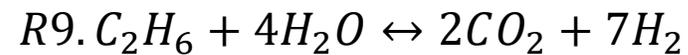
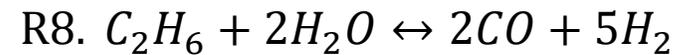
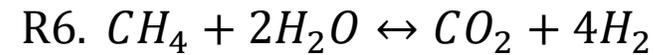
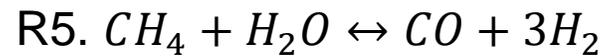
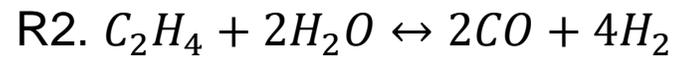
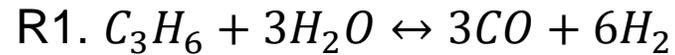
Tabla 9

Datos ingresados al proceso de separación

Equipos	Temperatura	Presión
B14	950°C	1 atm
B15	950°C	1 atm
B16	950°C	1 atm
B19	20°F	1 atm
B20	0°F	1 atm
B18		1 atm

Proceso de reformado con vapor

Reacciones ingresadas al reactor de equilibrio



INTRODUCCIÓN

OBJETIVOS

METODOLOGÍA

RESULTADOS

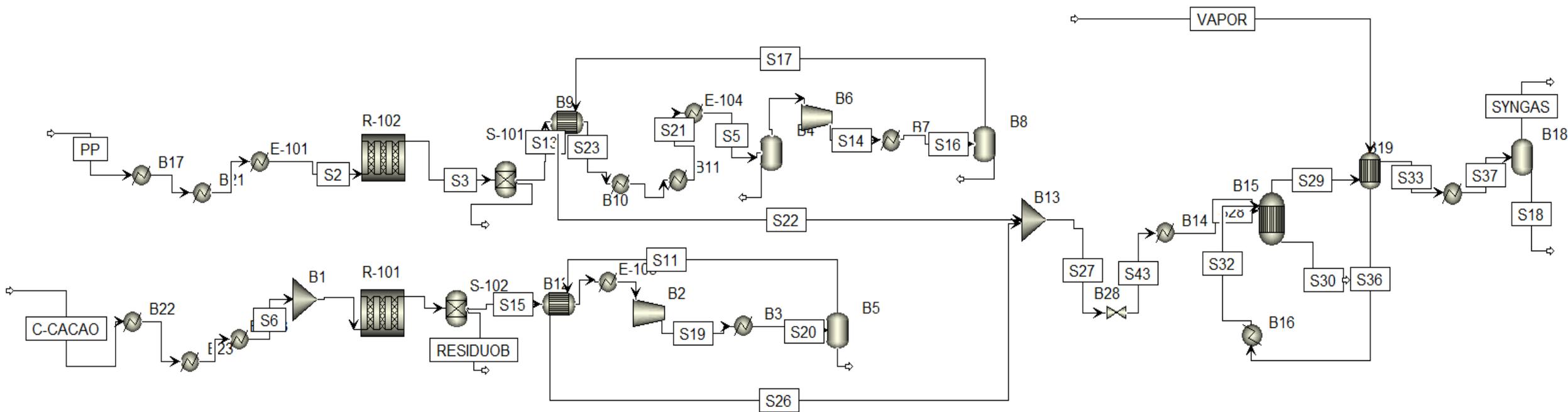
CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES



Diagrama de flujo del proceso de producción de gas de síntesis

Figura 15

Diagrama de flujo de la producción de gas de síntesis



Especificación de diseño en los reactores de pirólisis

Tabla 10

Especificación de diseño

Equipo	Número de tubos iniciales	Número de tubos para una conversión del 95%
R-102	2000	2548
R-101	2000	962



Balance de Masa

Tabla 11

Balance de masa de cada componente

Nombre la corriente	Flujo másico [kg/h]										
	S1	S2	S3	S7	S8	S9	S10	S11	S17	S29	SYNGAS
PP		7141.22	355.45								
$C_{18}H_{36}$			7.10			3.30E-05	7.10		2.84E-10	2.84E-10	
C_9H_{18}			871.97			111.774	760.20		19.11	19.11	0.042
C_3H_6			3937.91	152.20	152.20	3919.45	18.46	140.63	3904.55	8.12E-12	
C_2H_4			1968.95	152.44	152.44	1967.51	1.45	151.06	1966.29	3.91E-06	3.87E-06
H_2O										8014.56	56.70
CO				1471.91	1471.91			1471.91		13907.7	13902.6
CO ₂				2409.4	2409.4			2409.4		5533.63	5468.86
H ₂				4.86	4.86			4.86		2367.85	2367.81
CEL	3909.10			195.7							
HCEL	1361.11										
LIG	1871.00			1129.85							
CH ₄				998.92	998.92			997.859		1.68	1.68
C ₂ H ₆				217.33	217.33			213.82		2.81E-07	2.77E-07
C ₆ H ₆				408.976	408.976			12.78		12.78	0.63



Análisis de Sensibilidad

Para el proceso de pirólisis de polipropileno se obtuvieron los siguientes resultados

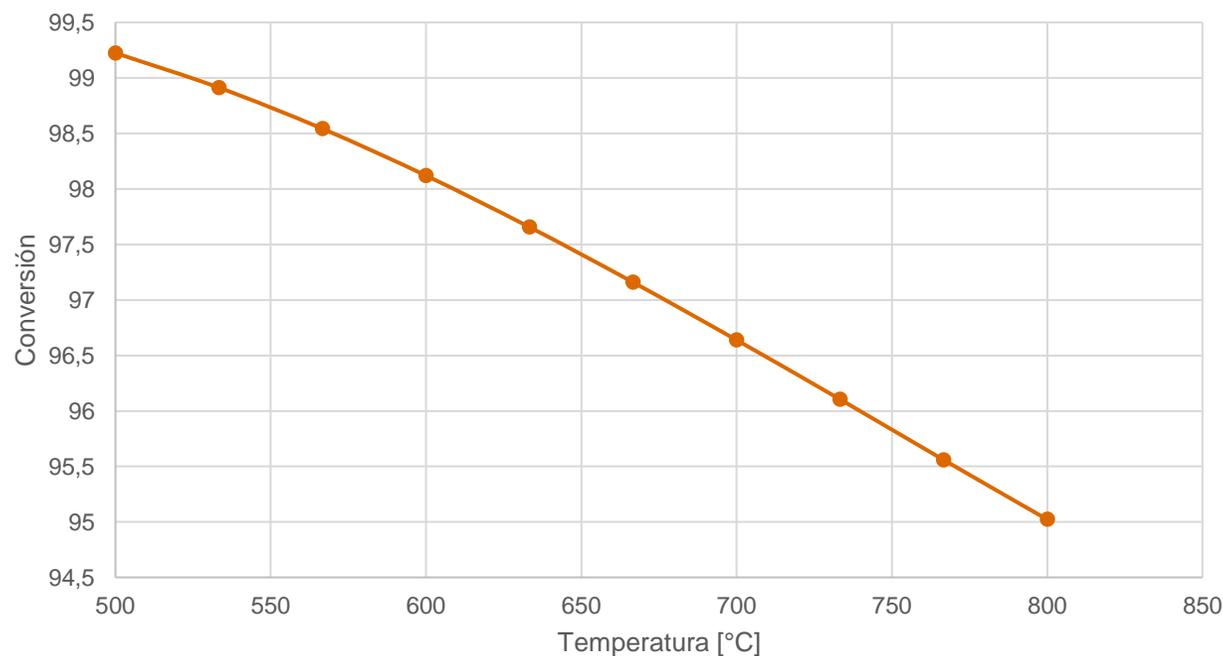
Tabla 12

Resultados del análisis de sensibilidad

Temperatura	Conversión
500	99.22
533.33	98.91
566.66	98.54
600	98.12
633.33	97.65
666.66	97.15
700	96.63
733.33	96.10
766.66	95.55
800	95.02

Figura 16

Curva de sensibilidad temperatura vs conversión



Análisis de Sensibilidad

Para el proceso de pirólisis de polipropileno se obtuvieron los siguientes resultados

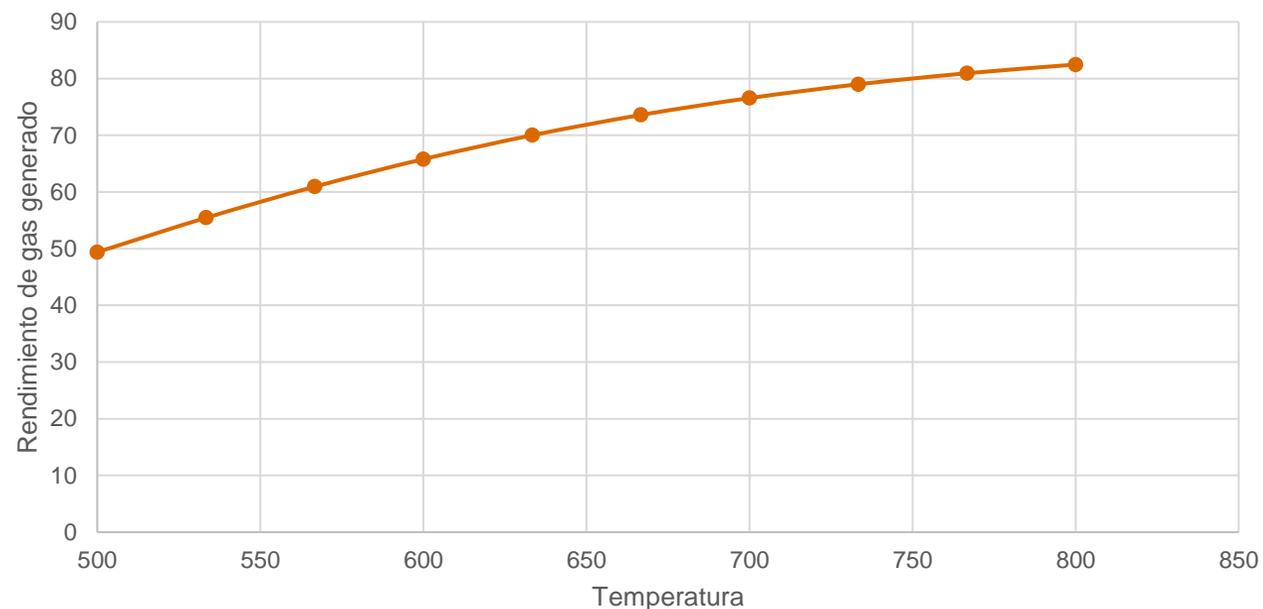
Tabla 13

Resultados del análisis de sensibilidad

Temperatura	Rendimiento
500	49.39
533.33	55.44
566.66	60.93
600	65.79
633.33	70.01
666.66	73.58
700	76.56
733.33	79
766.66	80.94
800	82.47

Figura 17

Curva de sensibilidad temperatura vs rendimiento de gas generado



Análisis de Sensibilidad

Para el proceso de pirólisis de la biomasa se obtuvieron los siguientes resultados

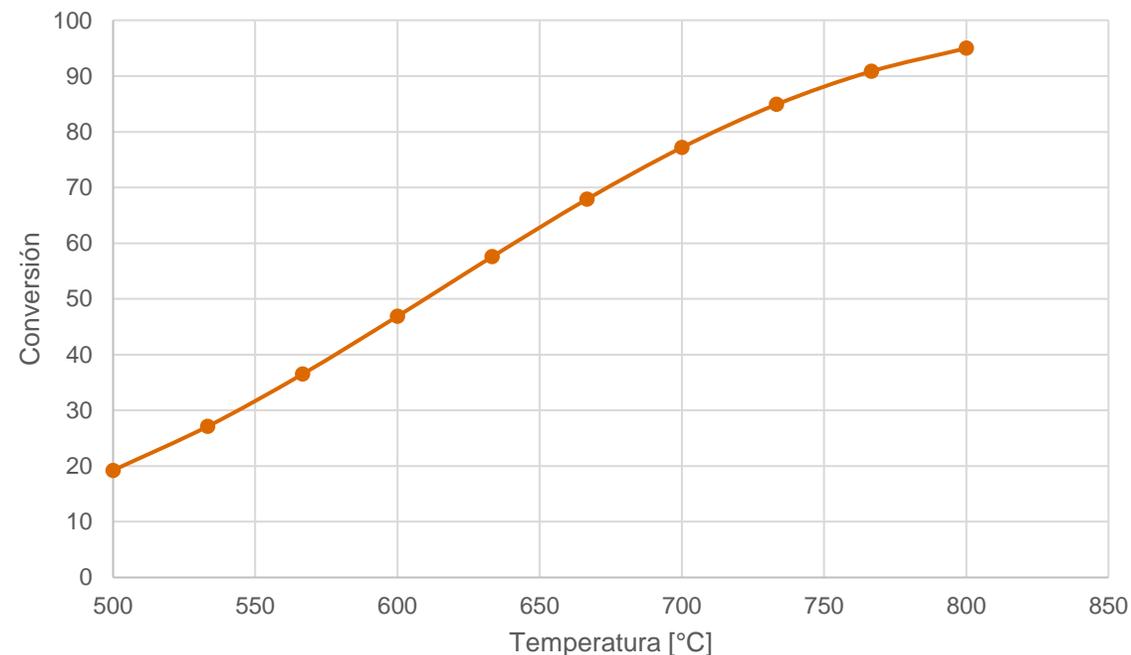
Tabla 14

Resultados del análisis de sensibilidad

Temperatura	Rendimiento
500	49.39
533.33	55.44
566.66	60.93
600	65.79
633.33	70.01
666.66	73.58
700	76.56
733.33	79
766.66	80.94
800	82.47

Figura 18

Curva de sensibilidad temperatura vs conversión



Análisis de Sensibilidad

Para el proceso de pirólisis de biomasa se obtuvieron los siguientes resultados

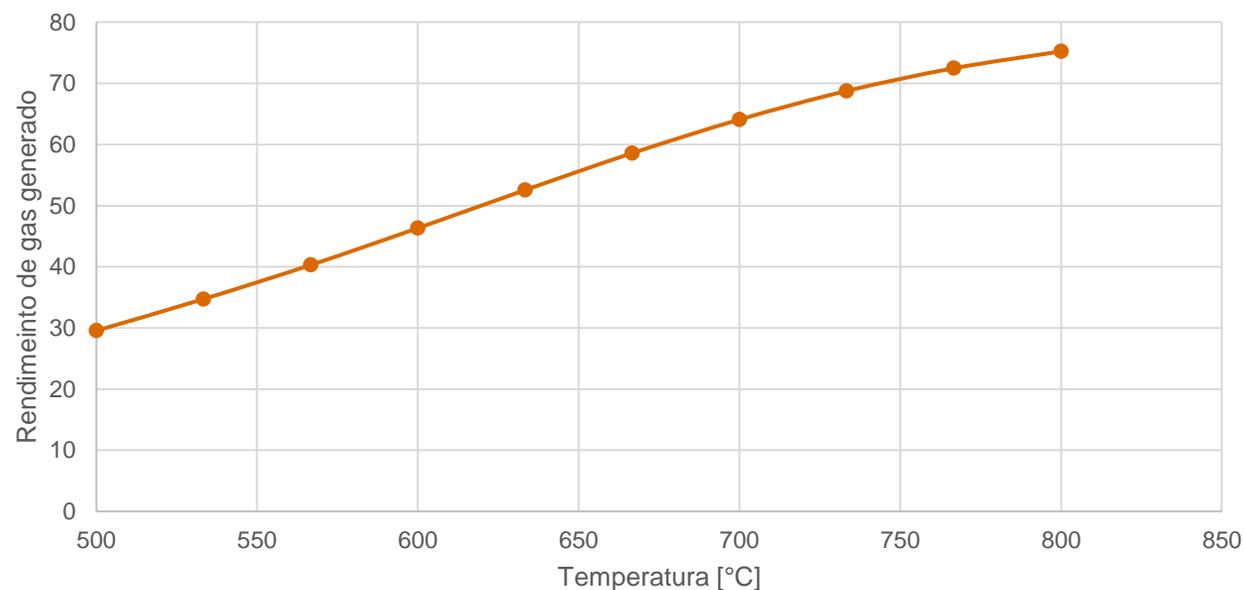
Tabla 15

Resultados del análisis de sensibilidad

Temperatura	Conversión
500	19.20
533.33	27.10
566.66	36.48
600	46.86
633.33	57.57
666.66	67.89
700	77.16
733.33	84.92
766.66	90.85
800	94.99

Figura 19

Curva de sensibilidad temperatura vs rendimiento de gas generado



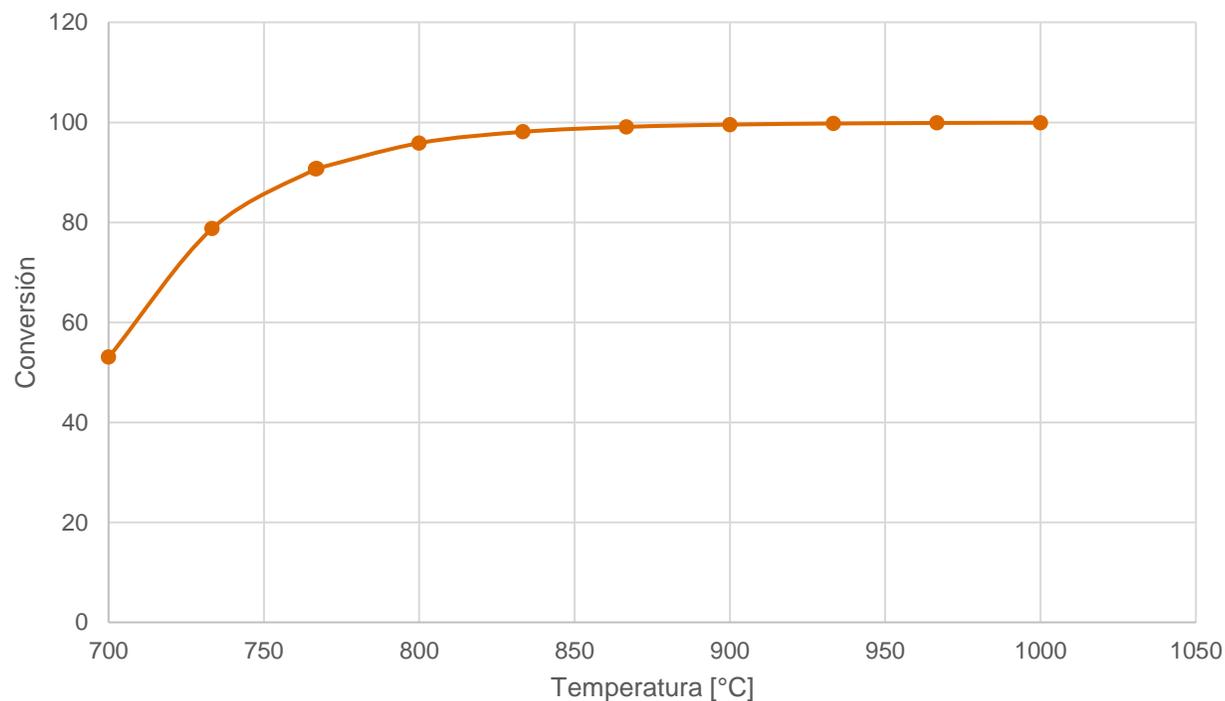
Análisis de Sensibilidad

Para el proceso de reformado con vapor del metano se obtuvieron los siguientes resultados

Tabla 16
Resultados del análisis de sensibilidad

Temperatura	Rendimiento
500	29.56
533.33	34.73
566.66	40.30
600	46.33
633.33	52.55
666.66	58.59
700	64.08
733.33	68.76
766.66	72.47
800	75.22

Figura 18
Curva de sensibilidad temperatura vs conversión



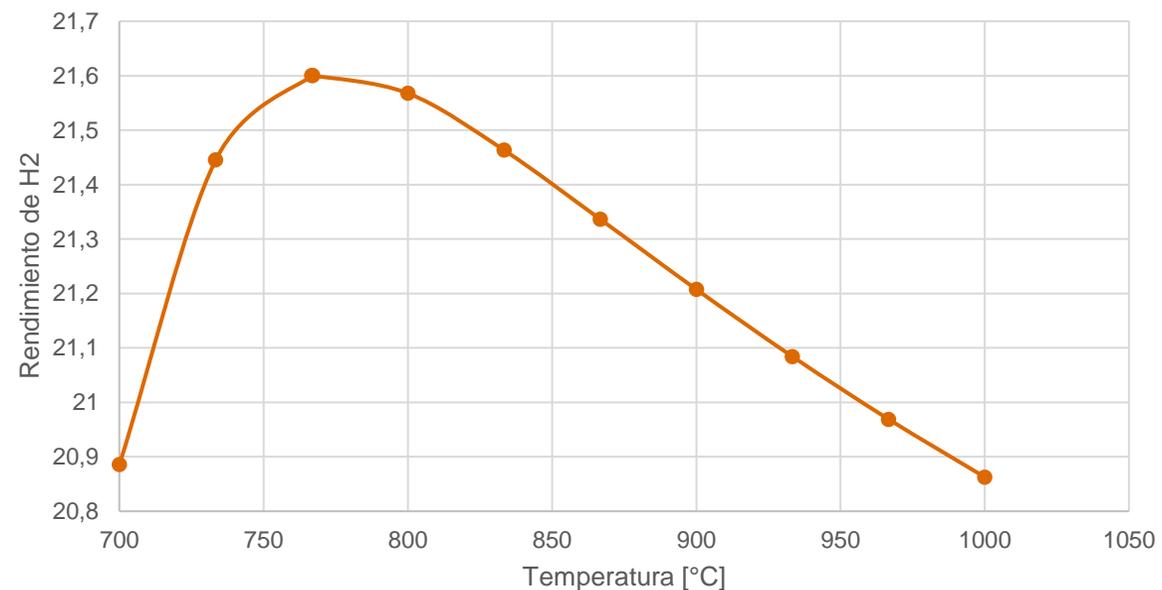
Análisis de Sensibilidad

Para el proceso de reformado con vapor se obtuvieron los siguientes resultados

Tabla 17
Resultados del análisis de sensibilidad

Temperatura	Conversión
700	53.04
733.33	78.78
766.66	90.69
767	90.77
800	95.86
833.33	98.10
866.66	99.09
900	99.55
933.33	99.76
966.66	99.87
1000	99.93

Figura 20
Curva de sensibilidad temperatura vs rendimiento de hidrógeno



Propuesta de biomasa para producir gas de síntesis

Tabla 18

Composición de la cáscara de cacao

Componente	Fracción másica
Hemicelulosa	0.1906
Celulosa	0.5474
Lignina	0.262

Tabla 19

Composición de la cáscara de banano

Componente	Fracción másica
Hemicelulosa	0.15
Celulosa	0.25
Lignina	0.15

Tabla 20

Composiciones del gas de síntesis en la corriente de salida del proceso

Biomasa	Fracción molar		
	H_2	CO	CO_2
Cáscara de cacao	0.653	0.275	0.069
Cáscara de banano	0.665	0.258	0.073



INTRODUCCIÓN

OBJETIVOS

METODOLOGÍA

RESULTADOS

CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES



Conclusiones

- Mediante la revisión bibliográfica se logró plantear un mecanismo hipotético para las reacciones de descomposición del polipropileno y la biomasa. Se tomó como referencia los productos que más porcentaje en peso presentaban tanto en fase líquida como en fase gaseosa.
- Para evaluar la eficacia de las reacciones de pirólisis se realizó un análisis de sensibilidad, en el cual, se obtuvo que para pirólisis del polipropileno se obtiene un rendimiento de gas generado del 82%, mientras que en la pirólisis de la biomasa se obtuvo un rendimiento de gas generado del 75%.
- Realizando un balance de masa en el reactor de pirólisis se determinó los valores de los parámetros cinéticos, como la constante de velocidad (k) y la energía de activación (E) de las reacciones de descomposición del polipropileno.
- Mediante la investigación realizada se logró establecer un proceso de diagrama de bloques que presentaron condiciones adecuadas para la simulación del proceso de pirólisis y reformado con vapor.

Conclusiones

- Se realizó la simulación en Aspen Plus, donde se obtuvieron resultados de los flujos másicos de cada corriente en cada equipo. Las composiciones molares del gas de síntesis obtenidos a la salida de la corriente del proceso fueron de 0.653 H_2 , 0.275 CO y 0.069 CO_2 .
- Las corrientes de salida del proceso de pirólisis se enfriaron con el objetivo de separar los productos gaseosos de los líquidos y aprovechar la temperatura de salida de reactor para calentar la corriente fría en el que están los productos gaseosos.
- Mediante una especificación de diseño en el reactor de pirólisis, se logró obtener una conversión del 95% para el polipropileno y la biomasa mediante la variación del número de tubos en el equipo.



Recomendaciones

- Los residuos obtenidos de los separadores flash del proceso de pirólisis pueden ser utilizados para obtener energía para proceso, mediante un proceso de quemado con aire
- Para el proceso de pirólisis, el reactor R-plug se puede reemplazar por otro reactor como es el reactor de Gibbs con el objetivo de observar la conversión materia prima.
- Para la simulación se puede utilizar otro paquete termodinámico como el SRK para presiones mayores a 10 bares.





ESPE
UNIVERSIDAD DE LAS FUERZAS ARMADAS
INNOVACIÓN PARA LA EXCELENCIA

Muchas Gracias

