



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 polietileno (PE) junto con biomasa mediante un software de simulación para la obtención de gas de síntesis.

Realizado por:
Encalada Soria, Dennys Fabricio

Tutor:
Ing. Sayavedra Delgado, Jonathan Javier. Msc



- 1. INTRODUCCIÓN
- 2. OBJETIVOS
- 3. METODOLOGÍA
- 4. RESULTADOS
- 5. CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES





1. INTRODUCCIÓN



RESIDUOS PLÁSTICOS



Problemática ambiental



DESECHOS DE POLIETILENOS



Corresponde al **60% de los desechos plásticos.**

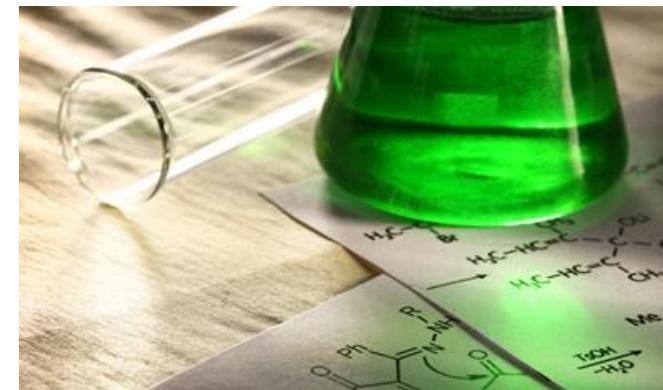


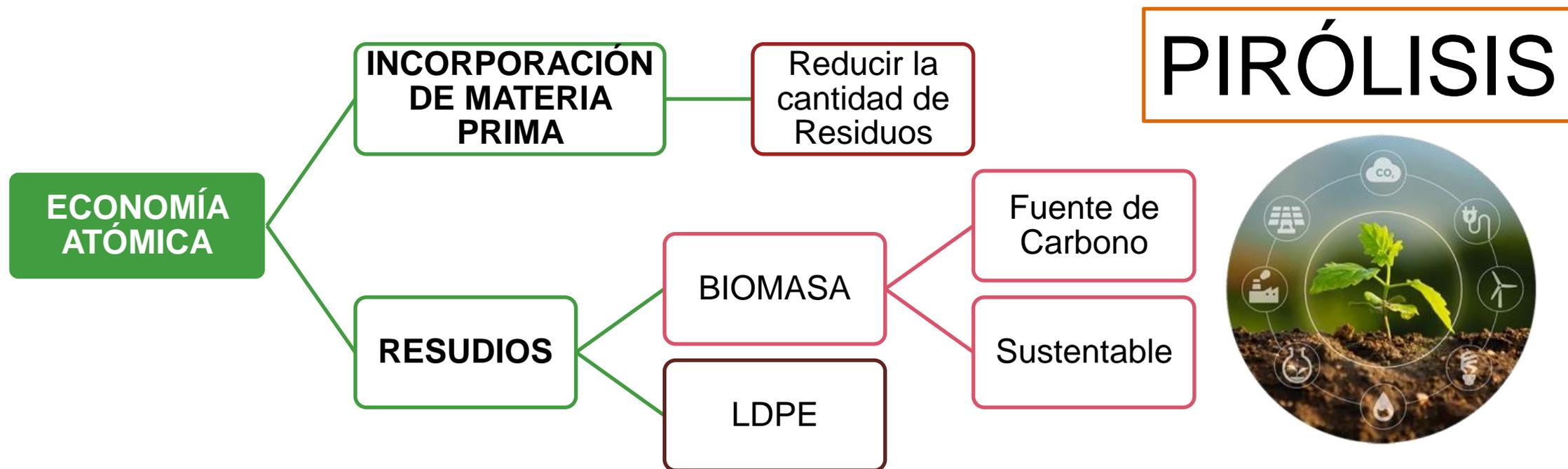
Peso aproximado a los **25 millones de kilos.**

SOLUCIÓN



Aplicar procesos químicos
(Principios de la Química Verde)

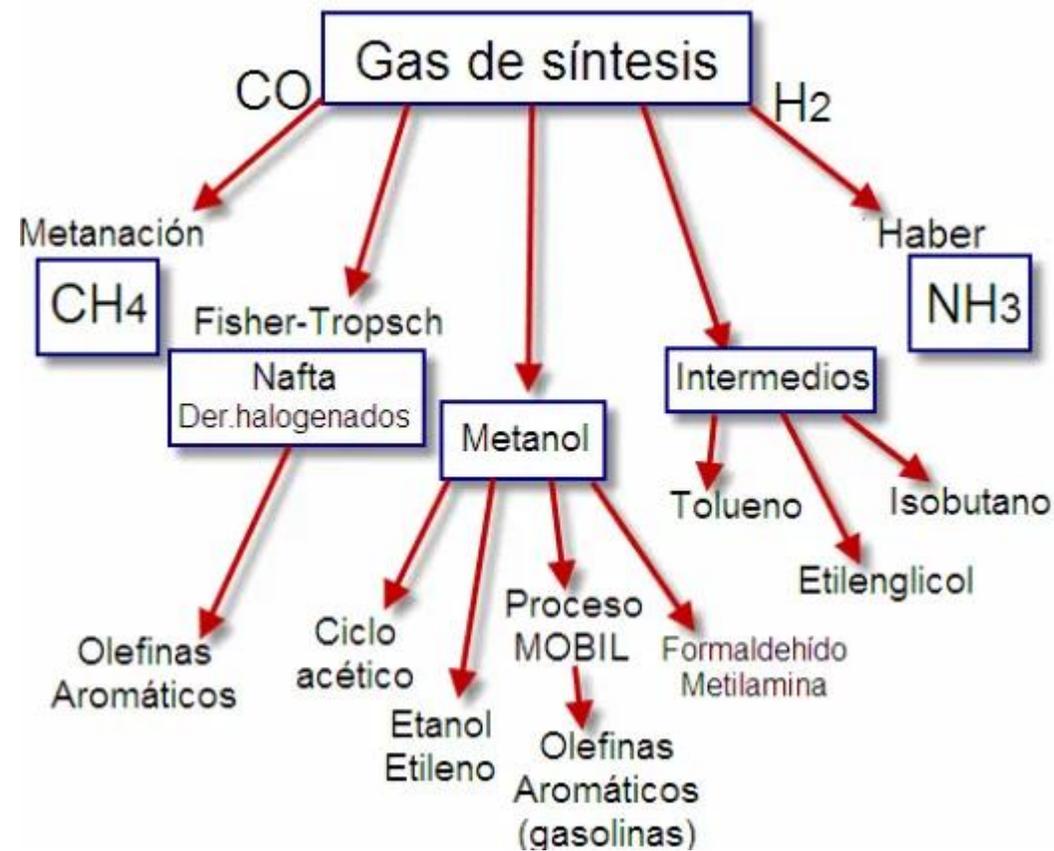




SÍNTESIS DE TOXICIDAD REDUCIDA

POCA TOXICIDAD

GAS DE SÍNTESIS



2. OBJETIVOS

Objetivo General

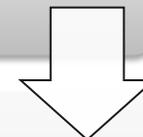
Desarrollar y evaluar la reacción de pirólisis de polietileno (PE) junto con biomasa mediante un software de simulación para la obtención de gas de síntesis.

Objetivos Específicos

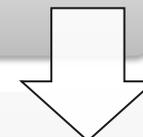
- Determinar las condiciones de **operación óptimas** de proceso a partir de un software de simulación que permitan la generación de productos con valor agregado.
- **Generar balances** y reacciones presentes en los **sistemas de reacción** y demás operaciones unitarias necesarias para el proceso.
- Realizar la **simulación del proceso** de pirólisis utilizando un software con los datos y cálculos obtenidos en los objetivos planteados.

3. METODOLOGÍA

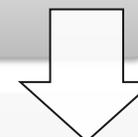
Descripción general del proceso



Diagramas de flujos de Procesos

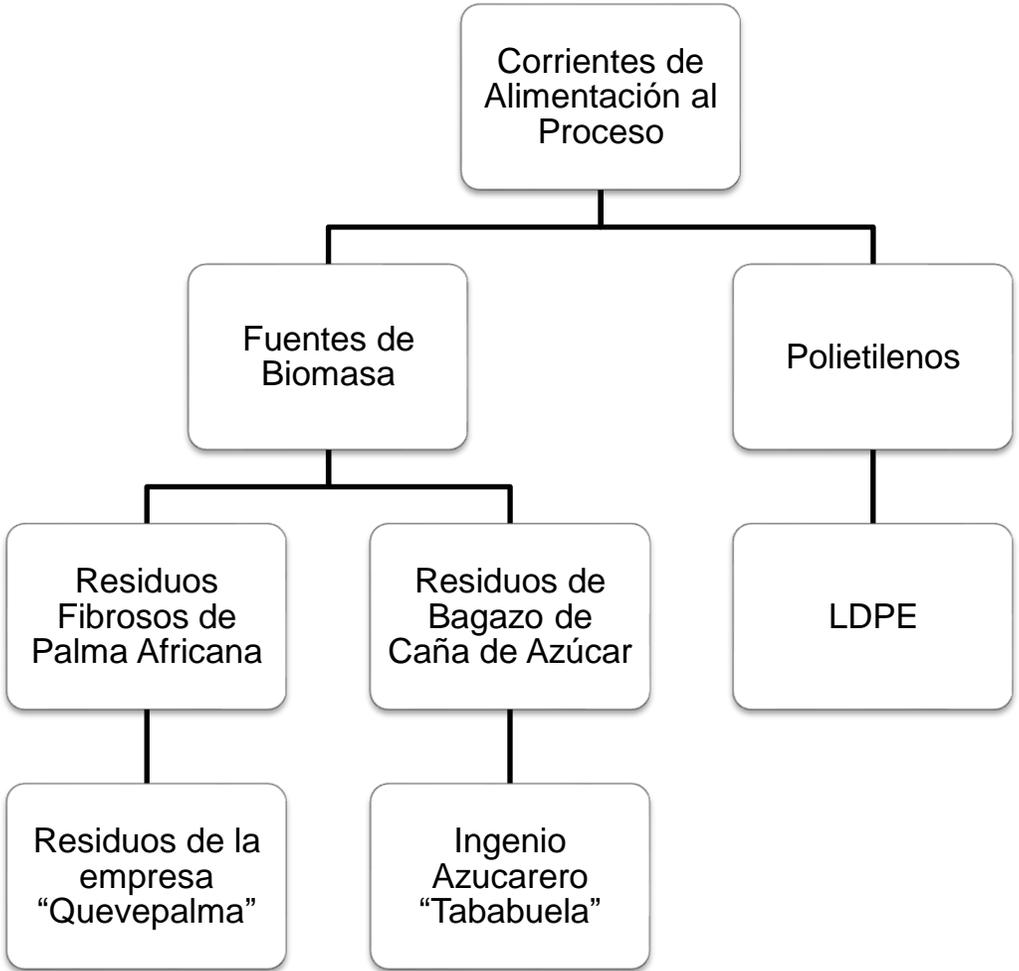


Reacciones Químicas del Proceso



Simulación del Proceso





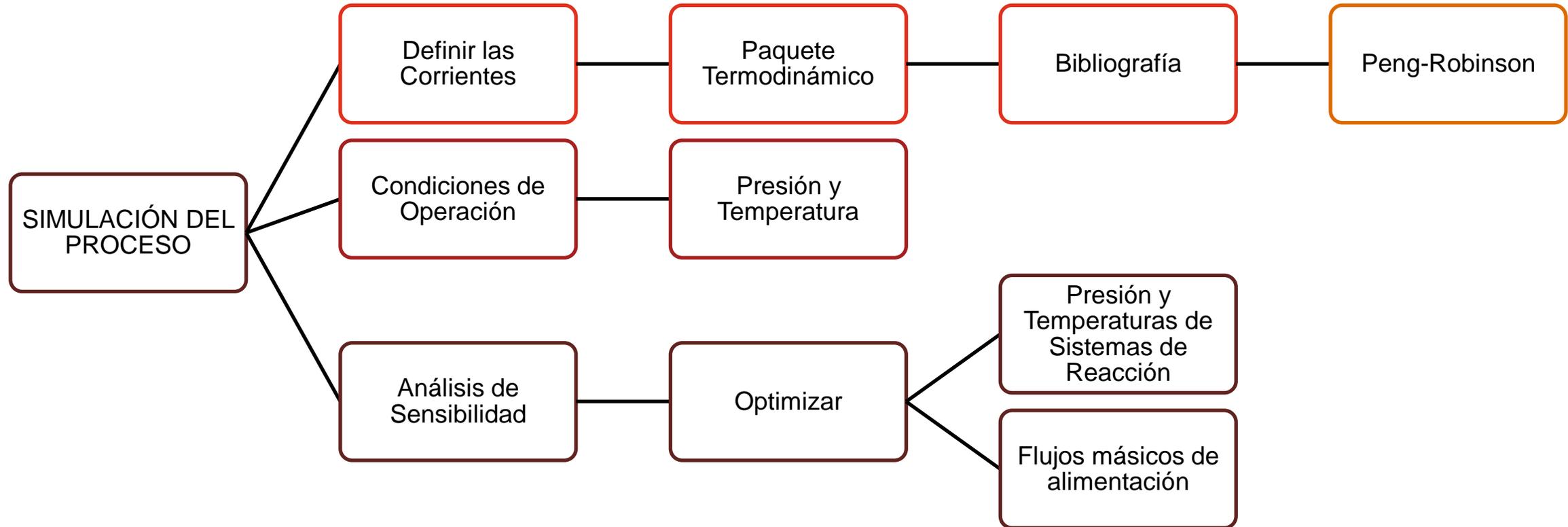


Tabla 1.

Propiedades termodinámicas de los residuos fibrosos de la Palma Africana.

Fuente: (Vergaria, 2022)

PARÁMETRO	PROPIEDAD	VALOR
Análisis Aproximado (PROXANAL)	Humedad Total % (Moisture)	37
	Cenizas % (Ash)	5.5
	Volátiles % (VM)	53.14
	Carbono Fijo % (FC)	12.56
Análisis Final (ULTANAL)	Cenizas %	5.5
	Carbono, C %	58.9
	Hidrógeno, H %	20.15
	Nitrógeno, N %	4.21
	Oxígeno, O %	8.62
Análisis de Azufre (SULFANAL)	Azufre, S %	0.24
	Pirolítico	0
	Orgánico	0.24
	Sulfato	0

Tabla 2.

Propiedades termodinámicas del bagazo de caña de azúcar.

Fuente: (Quinteros, 2020)

PARÁMETRO	PROPIEDAD	VALOR
Análisis Aproximado (PROXANAL)	Humedad Total % (Moisture)	5.2
	Cenizas % (Ash)	7.74
	Volátiles % (VM)	78.62
	Carbono Fijo % (FC)	14.57
Análisis Final (ULTANAL)	Cenizas %	7.74
	Carbono, C %	44.39
	Hidrógeno, H %	8.85
	Nitrógeno, N %	0.23
	Oxígeno, O %	46.30
	Azufre, S %	0.23
Análisis de Azufre (SULFANAL)	Pirolítico	0
	Orgánico	0.23
	Sulfato	0



Tabla 3.

Propiedades termodinámicas no convencionales del LDPE.

Fuente: (Zheng et al., 2018)

PARÁMETRO	PROPIEDAD	VALOR
Análisis Aproximado (PROXANAL)	Humedad Total % (Moisture)	0
	Cenizas % (Ash)	0.92
	Volátiles % (VM)	99.08
	Carbono Fijo % (FC)	0
Análisis Final (ULTANAL)	Cenizas %	0.92
	Carbono, C %	85.43
	Hidrógeno, H %	13.58
	Nitrógeno, N %	0
	Oxígeno, O %	0
	Azufre, S %	0.07
Análisis de Azufre (SULFANAL)	Pirólítico	0
	Orgánico	0
	Sulfato	0.074



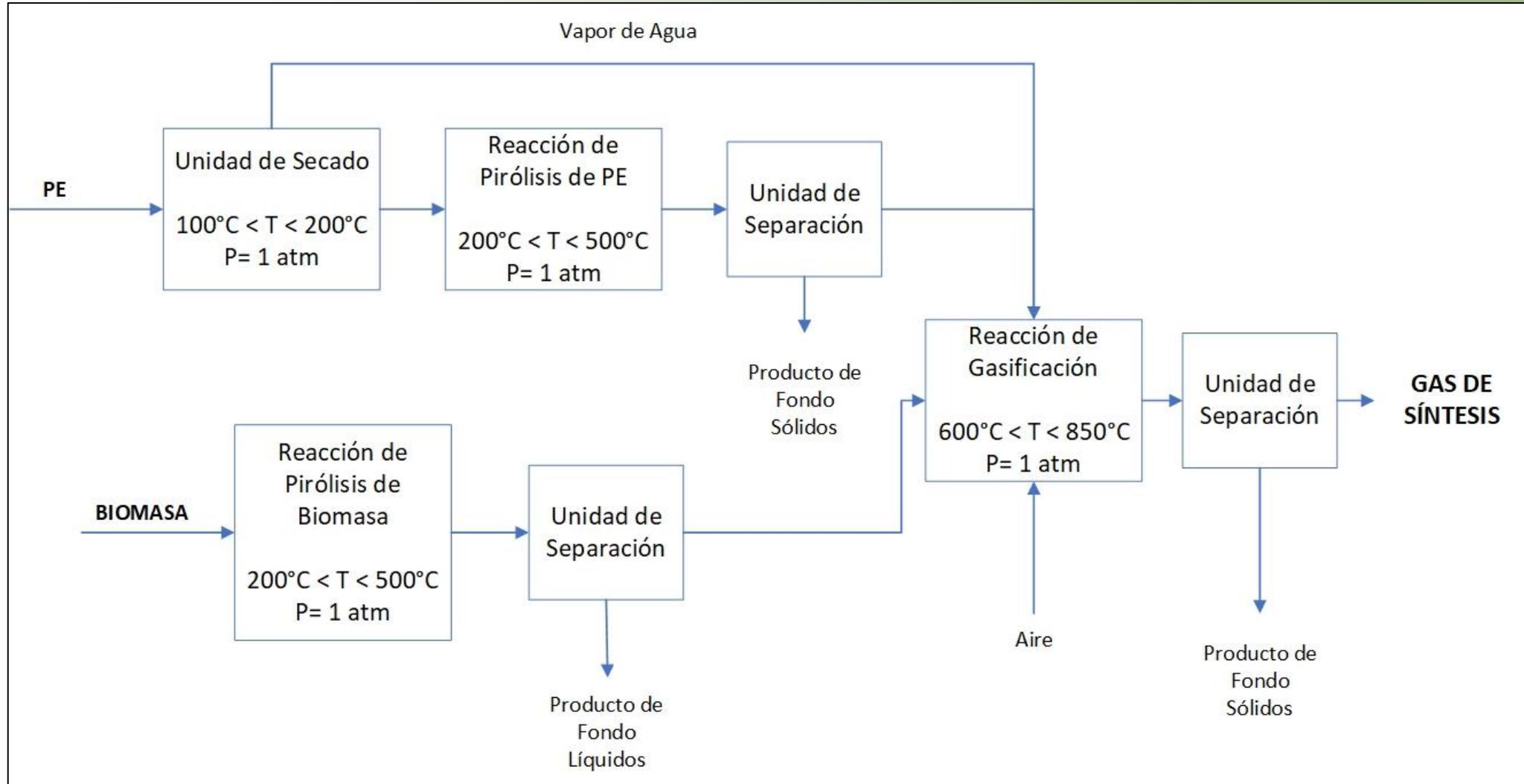


Figura 1.
Diagrama de bloque (BFD) del proceso de pirólisis.

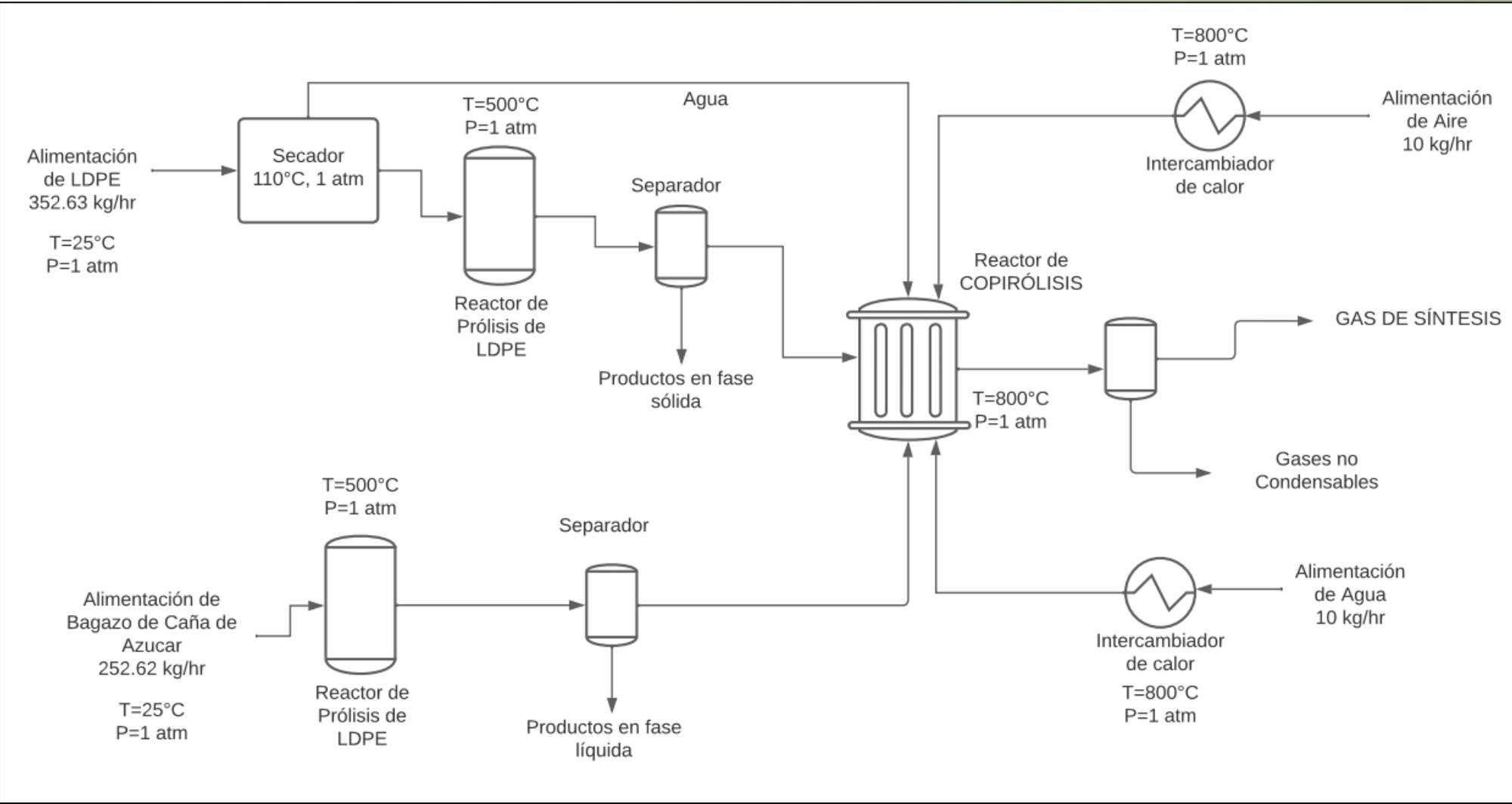


Figura 2.
Diagrama de Flujo de Procesos (PFD) del proceso de pirólisis.

No.	Reacciones de Gasificación	Calor de Reacción (kJ/mol) T=1000K	Tipo
1	$C + \frac{1}{2}O_2 \leftrightarrow CO$	-112	Reacciones con oxígeno
2	$CO + \frac{1}{2}O_2 \leftrightarrow CO_2$	-283	
3	$H_2 + \frac{1}{2}O_2 \leftrightarrow H_2O$	-248	
4	$C + H_2O \leftrightarrow CO + H_2$	136	Reacciones con Agua
5	$CO + H_2O \leftrightarrow CO_2 + H_2$	-35	
6	$CH_4 + H_2O \leftrightarrow CO + 3H_2$	206	
7	$C + CO_2 \leftrightarrow 2CO$	171	Reacción de Boudouard
8	$C + 2H_2 \leftrightarrow CH_4$	-74.8	Reacciones de Metanación
9	$CO + 3H_2 \leftrightarrow CH_4 + H_2O$	-225	
10	$CO_2 + 4H_2 \leftrightarrow CH_4 + H_2O$	-190	

Tabla 4.
Reacciones de Gasificación para la obtención de Gas de Síntesis

Fuente: (Yun, 2012)

4. RESULTADOS

Fuente de Biomasa del Proceso.

Tabla 5.

Flujo másico de Gas de Síntesis producto de la copirólisis de diferentes biomاسas

Fuente de Biomasa	Flujo másico de Gas de Síntesis, kg/hr
Bagazo de caña de azúcar	420.87
Fibras de palma africana	418.52



Proceso de obtención de gas de síntesis

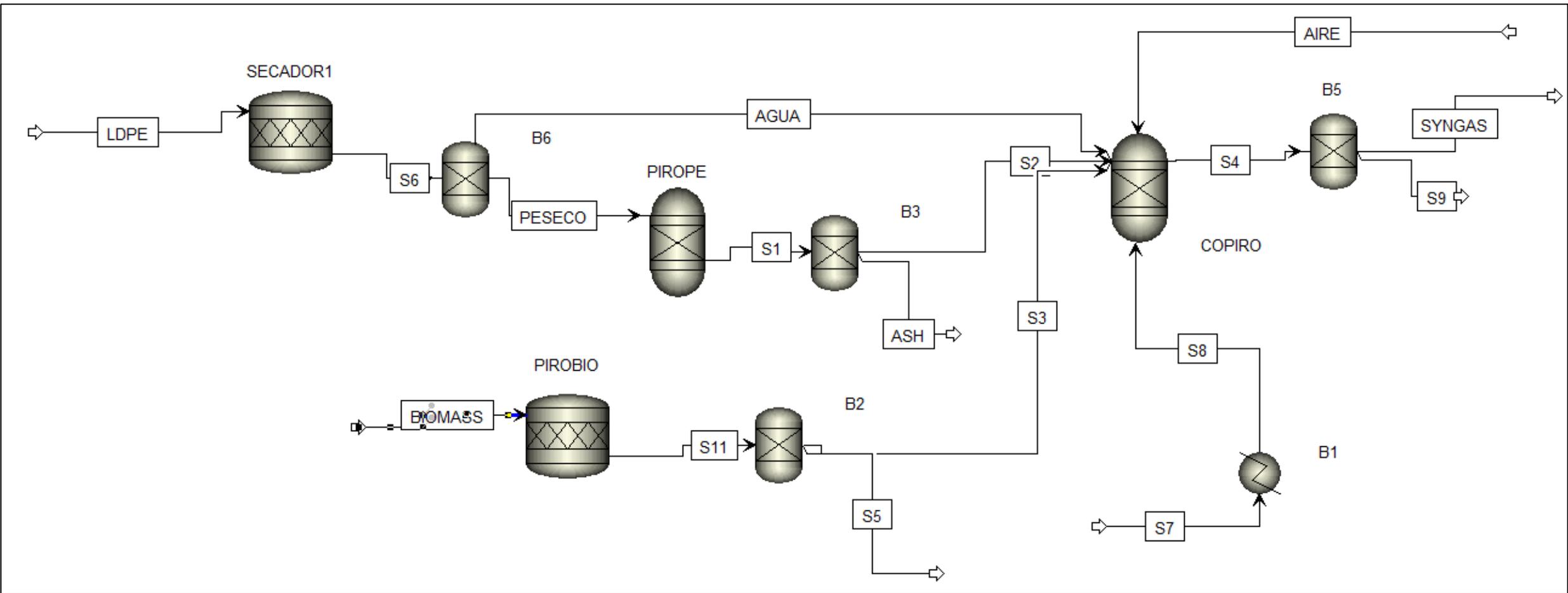


Figura 3.
 Proceso de obtención de Gas de síntesis mediante la copirólisis de LDPE y residuos de Caña de Azúcar.

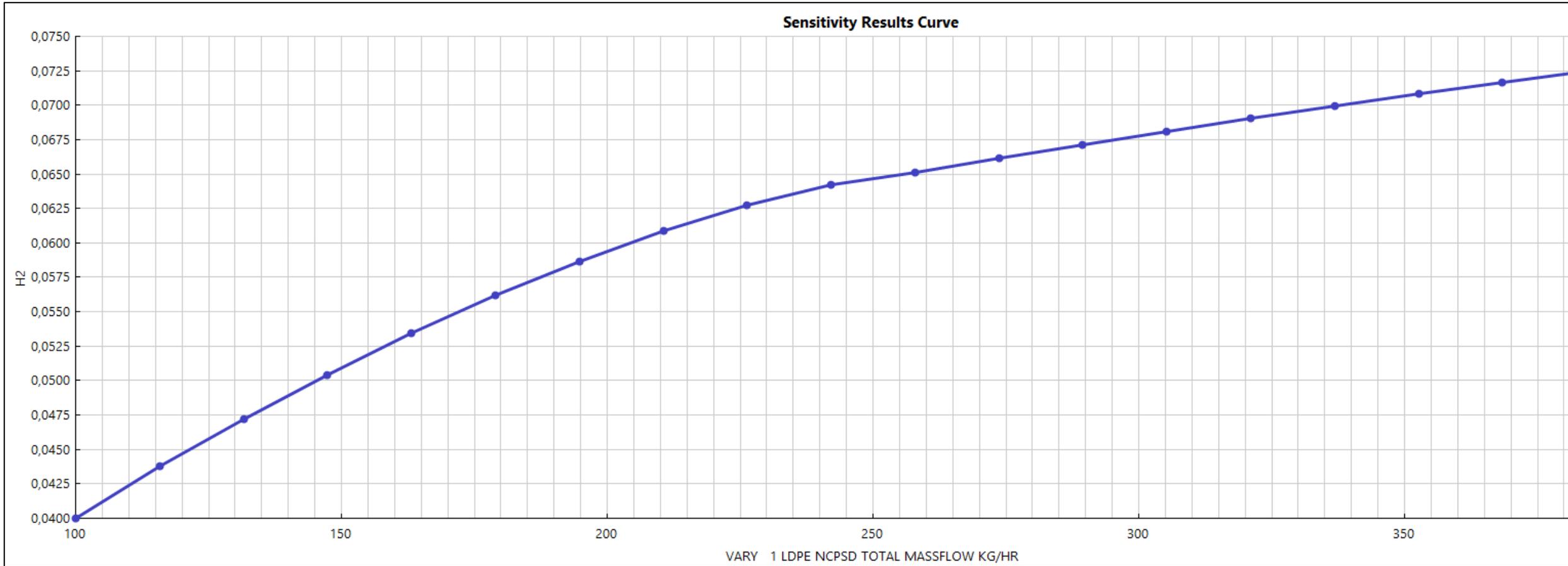
Tabla 6.
Balance de masa.

Componentes	Unidades	BIOMASS	LDPE	S11	S1	Aire	S8	S4
BIOMASS	kg/hr	252,62		78,1003				0
WATER	kg/hr			54,5434			100	57,41916
CO	kg/hr			44,7611				370,9297
CO2	kg/hr			41,1977				82,15912
CH4	kg/hr			18,285				52,04668
H2	kg/hr			1,39161	38,31			49,94011
NH3	kg/hr			0,02674				0,205325
H2S	kg/hr			0,40116				0
N2	kg/hr			0,65315		221,3		221,1376
OIL	kg/hr			13,2625				3,30E-31
LDPE	kg/hr		352,63					0
O2	kg/hr					67,2		2,55E-18
C	kg/hr				241			64,68826
ASH	kg/hr				2,5954			0
S	kg/hr				0,1975			0



Figura 4.

Curva de sensibilidad de flujo de LDPE vs Composición de H2 en la corriente S4.



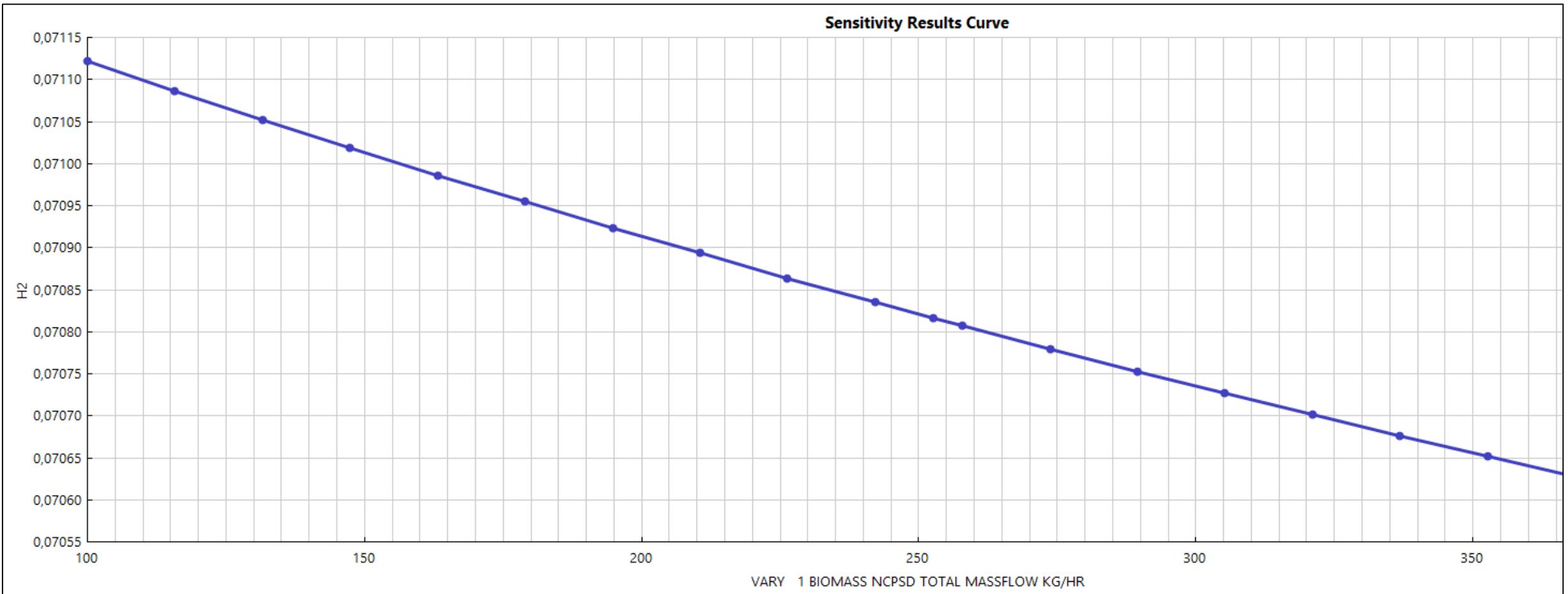


Figura 5.

Curva de sensibilidad de flujo de Biomasa de caña de Azúcar vs composición de H₂ en la corriente S4.



Análisis de Sensibilidad Presión de Reacción de Copirólisis vs Composición de H₂.

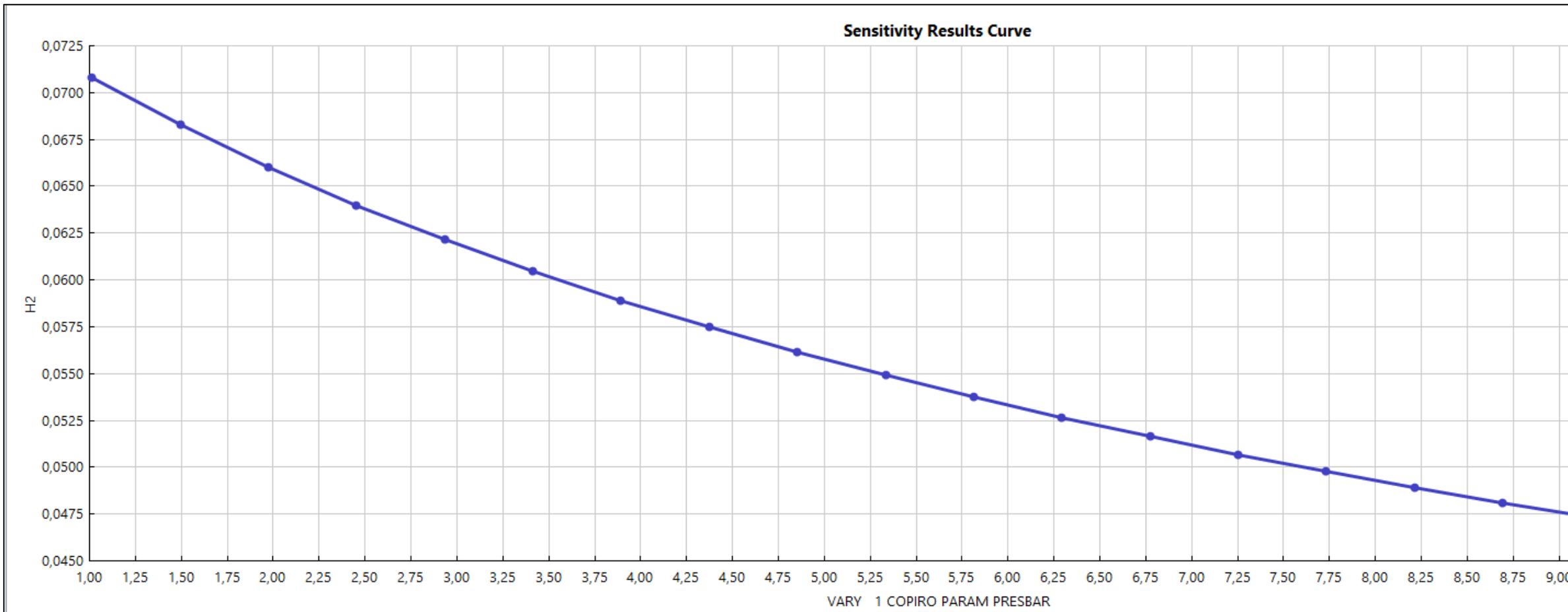


Figura 6.

Curva de sensibilidad Presión de Reacción de Copirólisis vs Composición de H₂.



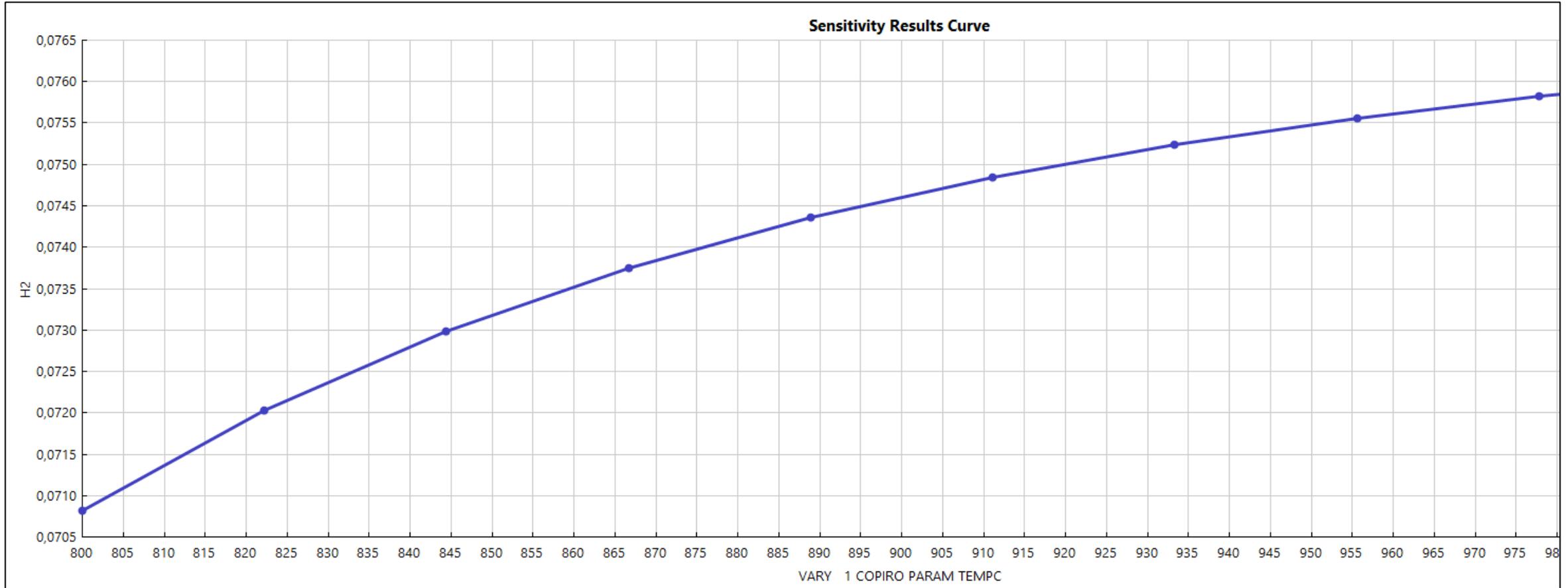


Figura 7.
Curva de sensibilidad de temperatura de reacción en el reactor de copirólisis vs composición de H₂.

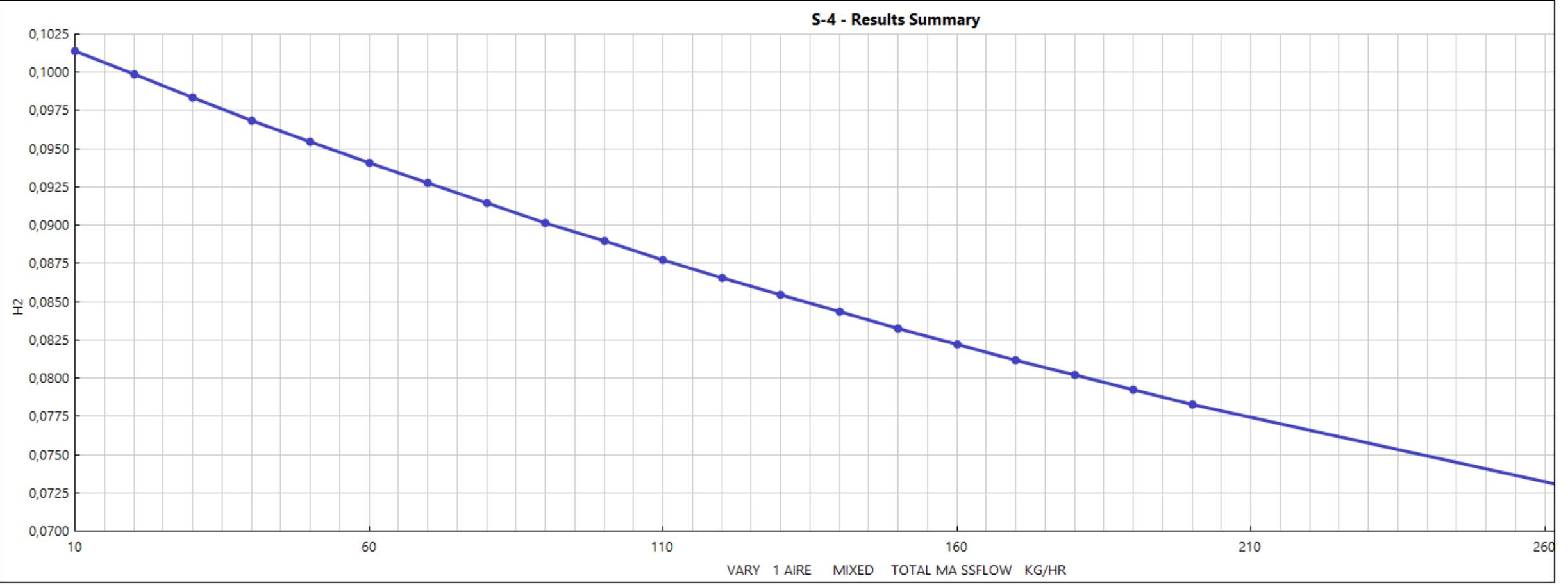


Figura 8.
Curva de análisis de sensibilidad en la corriente de Aire.

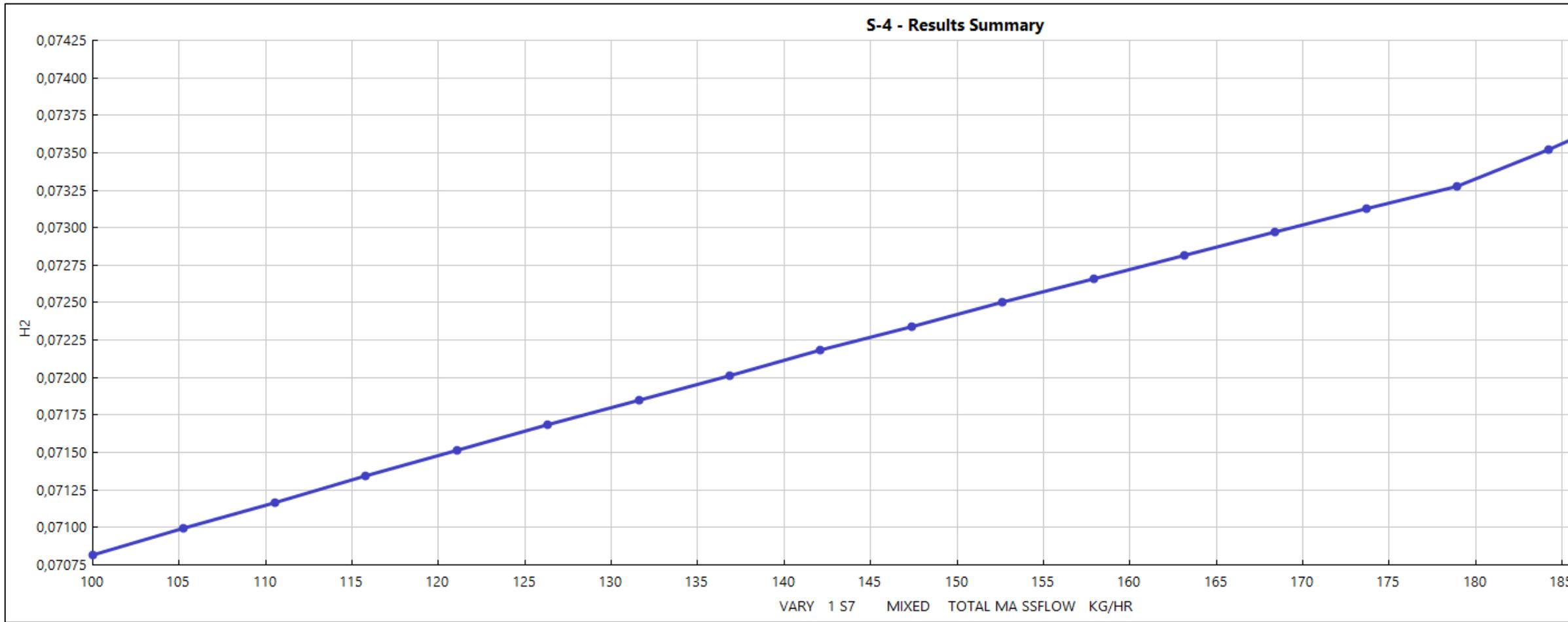


Figura 9.
Curva de análisis de sensibilidad en la corriente de Agua.

5. CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES

- Para la reacción de **pirólisis de polietileno de baja densidad** junto con **residuos de caña de azúcar** como fuente de biomasa, se logró establecer los **diagramas de bloque (BFD)** y **diagramas de flujo (PFD)** con las condiciones de operación adecuadas para la producción de gas de síntesis.
- Al realizar la simulación del proceso diseñado se determinó que para la obtención de gas de síntesis la configuración acertada corresponde a una alimentación de **caña de azúcar de 252.62 kg/hr** y **352.63 kg/hr de LDPE**.
- Se determinó que, para incrementar el rendimiento de gas de síntesis, es necesario una relación de flujo másico **LDPE/BIOMASA equivalente a 1.4** como alimentación del proceso. Adicionalmente, se configuró una **corriente de agua externa** que incrementó el rendimiento de H₂ en la reacción de copirólisis.

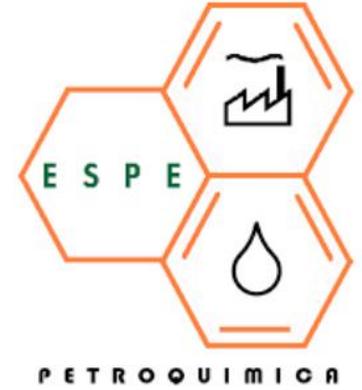
- Con la configuración diseñada para la simulación se obtuvieron los balances de masa de todo el proceso diseñado, obteniéndose **420.87 kg/hr** de gas de síntesis.
- Mediante los análisis de sensibilidad se determinó que la temperatura y la presión tienen efectos determinantes en el proceso de copirólisis de la biomasa y LDPE. **A medida que la temperatura aumenta y la presión disminuye, se incrementa la composición de H₂ en el gas de síntesis.** Sin embargo, el gas obtenido tiene mayor proporción de CO en su composición.
- Al realizar la simulación los resultados reflejan que la fuente de biomasa adecuada para el proceso de copirólisis con LDPE **son los residuos del bagazo de caña de azúcar**, que conforman el grupo de residuos con mayor volumen de actividad agrícola en el Ecuador.



- Realizar un **ensayo** de **laboratorio** para obtener **datos cinéticos** del proceso de pirólisis con la fuente de biomasa utilizada y mejorar la composición de hidrógeno en el gas de síntesis.
- Realizar un ensayo de laboratorio con el uso de **catalizadores** de **Níquel** que según se reporta en la bibliografía incrementa el rendimiento de gas de síntesis rico en H₂.
- Debido a que en el proceso no se incluye una corriente alterna de metano, se recomienda realizar el estudio mediante un software de simulación reemplazando la corriente de aire por metano para verificar si existe un incremento de H₂ en el reactor de pirólisis.
- Realizar un estudio que considere el uso de una corriente pura de O₂ que reemplace la corriente de aire y sirva sistema alternativo de alimentación al reactor de copirólisis para incrementar el rendimiento de H₂.



ESPE
UNIVERSIDAD DE LAS FUERZAS ARMADAS
INNOVACIÓN PARA LA EXCELENCIA



*GRACIAS POR
SU ATENCIÓN*

