



# UNIVERSIDAD DE LAS FUERZAS ARMADAS ESPE-L



DEPARTAMENTO DE CIENCIAS DE ENERGÍA Y MECÁNICA  
CARRERA DE INGENIERÍA EN PETROQUÍMICA

**OBTENCIÓN DE COMBUSTIBLES A PARTIR DE RESIDUOS DE  
POLIPROPILENO RECICLADO, MEDIANTE PIRÓLISIS CATALÍTICA**

AUTORA:

TAIPE ANDAGUA, JESSICA GABRIELA

DIRECTORA:

ING. DONOSO QUIMBITA, CATERINE ISABEL, MSc.

# CONTENIDO

---

**INTRODUCCIÓN**

OBJETIVOS

METODOLOGÍA

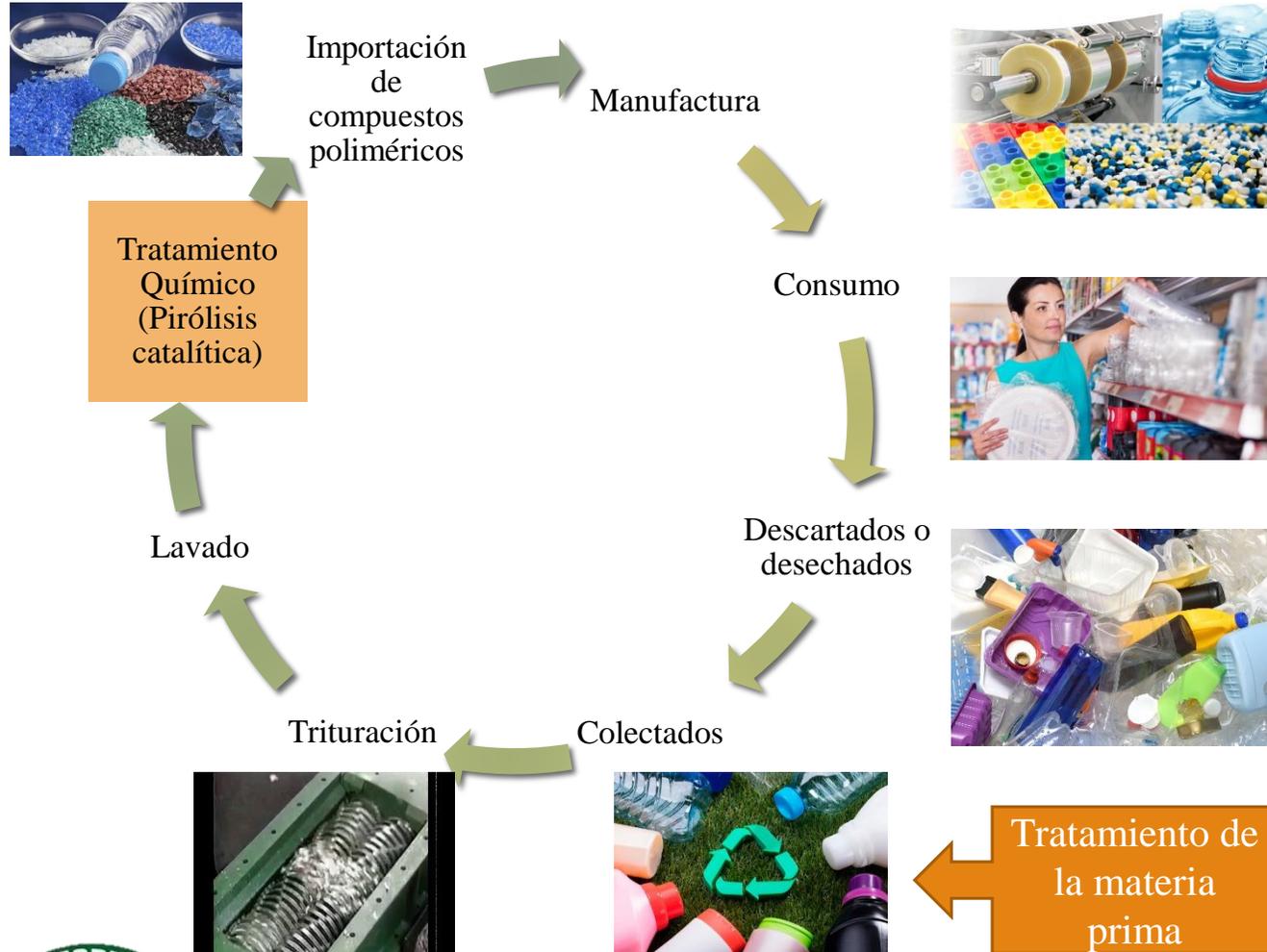
ANÁLISIS DE RESULTADOS

CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES



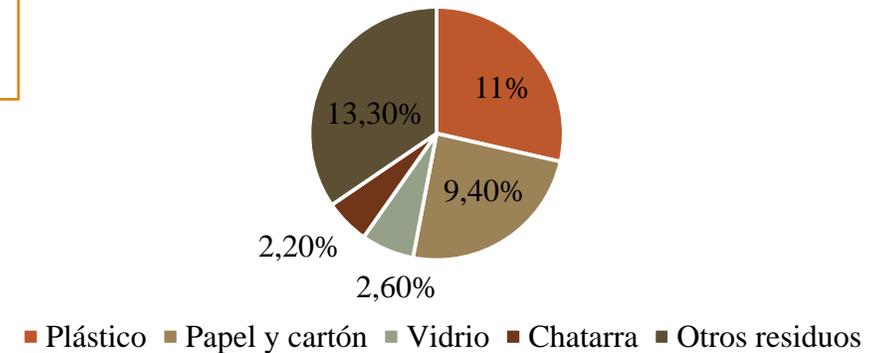
PETROQUÍMICA

# INTRODUCCIÓN



En Ecuador la producción per capita (PPC) de residuos sólidos es 0.73 kg/día.año.

El 61% de residuos generados corresponde



# INTRODUCCIÓN



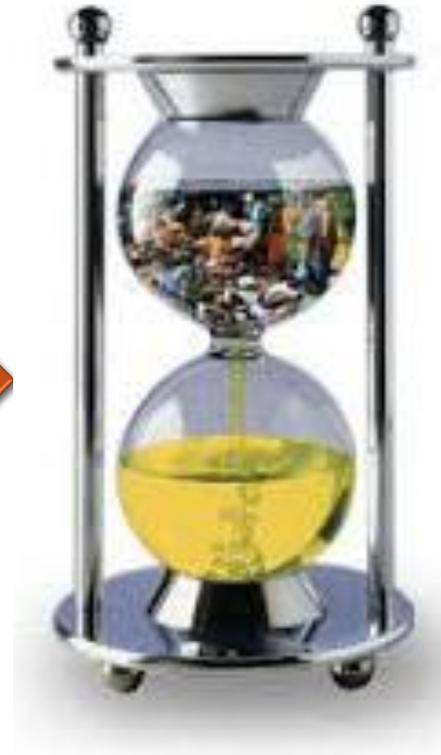
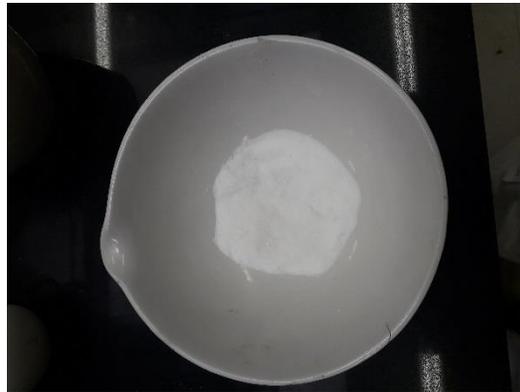
## INGENIERÍA INVERSA



PP



Termoplástico



# CONTENIDO

---

INTRODUCCIÓN

**OBJETIVOS**

METODOLOGÍA

ANÁLISIS DE RESULTADOS

CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES



PETROQUÍMICA

# OBJETIVOS

---

## OBJETIVO GENERAL

- Obtener combustibles a partir de residuos plásticos de polipropileno reciclado mediante pirólisis catalítica.

## OBJETIVOS ESPECÍFICOS

- Obtener un rendimiento superior al 50% de fracción líquida de combustible.
- Determinar las propiedades químicas y fisicoquímicas del producto como fracción líquida luego de la pirólisis, empleando Espectrometría de Infrarrojo con Transformada de Fourier (FT-IR) y Cromatografía de Gases acoplado a un Espectrómetro de masas.
- Valorar la fracción líquida del producto en referencia a los requisitos de la normativa INEN 935 e INEN 1489 para ser considerado como un combustible.



# CONTENIDO

---

INTRODUCCIÓN

OBJETIVOS

**METODOLOGÍA**

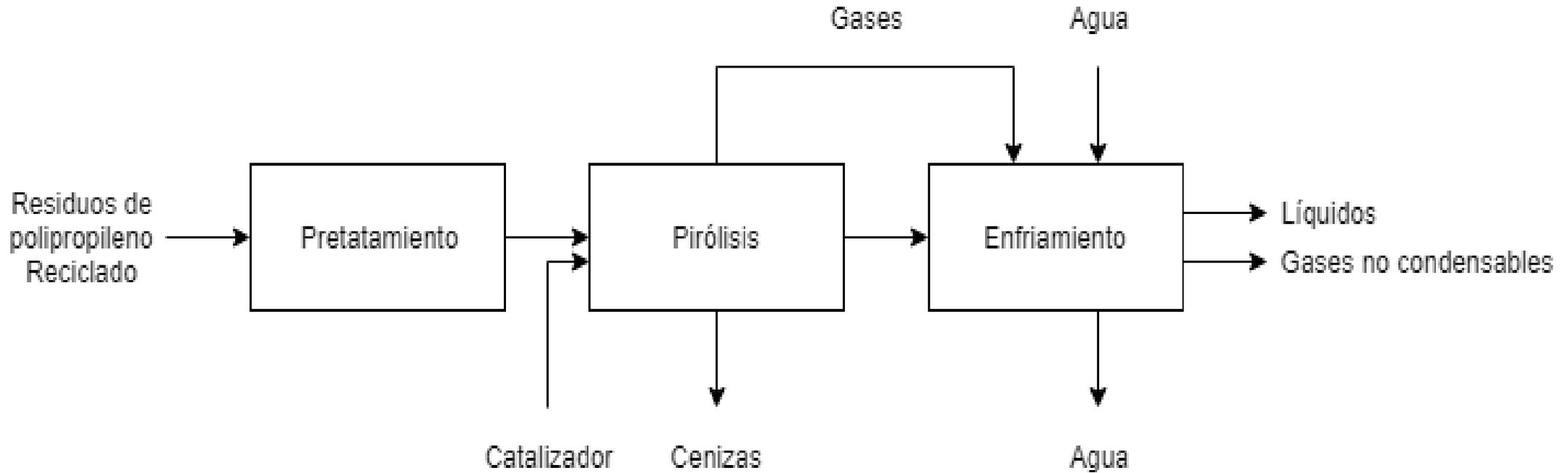
ANÁLISIS DE RESULTADOS

CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES



PETROQUIMICA

# METODOLOGÍA



Esquema del proceso de pirólisis catalítica de PP reciclado

# METODOLOGÍA

---

ACONDICIONAMIENTO Y CARACTERIZACIÓN DE LA MATERIA PRIMA

CARACTERIZACIÓN DEL CATALIZADOR

PROCESO DE PIRÓLISIS CATALÍTICA

ANÁLISIS DE LOS PRODUCTOS RESULTANTES



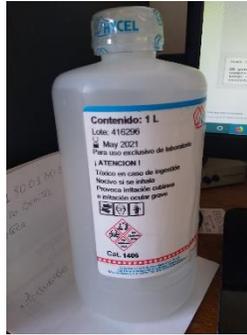
PETROQUÍMICA

# ACONDICIONAMIENTO DE LA PIRÓLISIS CATALÍTICA

Residuos triturados



Provenientes de centros de Reciclaje de la Ciudad de Riobamba



Hidróxido de Sodio



Enjuagar con agua

El plástico es extendido y secado al ambiente sobre una superficie limpia.

# CARACTERIZACIÓN DE LA MATERIA PRIMA

Espectroscopia de Infrarrojo con Transformada de Fourier (FT-IR)



Calorimetría diferencial de barrido (DSC)



Característica	Condiciones de operación	
Gas empleado	Nitrógeno	
Flujo	250 mL/min	
Etapas	Rango de temperatura	Tasa de calentamiento (°C/min)
Primer calentamiento	Desde la temperatura ambiente ( $T_a$ ) hasta 200°C	10
Paso isotermal	Temperatura constante de 200°C, por 5 min.	
Primer enfriamiento	Desde 200°C hasta la 50°C	
Segundo calentamiento	Desde 50°C hasta los 300°C	10
Segundo enfriamiento	Desde 300°C hasta la $T_a$	

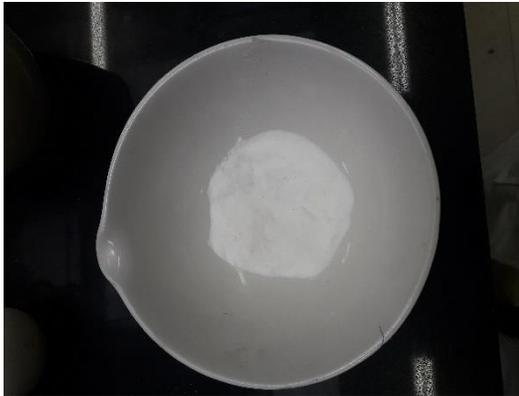
# Caracterización del catalizador



Difracción de Rayos X



Microscopia electrónica de barrido

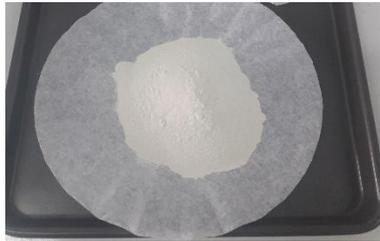


Espectrometría de dispersión de energía de rayos X (EDS)

Desorción programada a temperatura por amonio.

Área superficial (BET) absorción de N<sub>2</sub>

# Proceso de pirólisis catalítica



Fracción líquida



Fracción gaseosa



# Proceso de pirólisis catalítica

## Parámetros y variables

*Variables del proceso de pirólisis y número de tratamientos.*

Tiempo de residencia (h)	Relación catalizador/plástico		
	1/50	1.5/50	2 /50
1	T1	T4	T7
1.5	T2	T5	T8
2	T3	T6	T9

*Parámetros del proceso de pirólisis catalítica de polipropileno.*

Parámetro	Valor
Cantidad de muestra (polipropileno reciclado)	320 gr
Temperatura	450°C
Presión de operación	0.45 bar

## Cuantificación de productos y determinación del rendimiento global.

### Cuantificación de productos resultantes

La fracción líquida y sólida fueron pesadas y la fracción gaseosa, fue determinada por la siguiente ecuación:

$$W_G = W_i - W_L - W_S$$

$W_G$ : Cantidad de gas producida de la pirólisis, gr.

$W_i$ : Peso inicial de la muestra, gr.

$W_L$ : Peso de los productos líquidos obtenidos, gr.

$W_S$ : Peso de sólidos en el reactor, gr.

### Rendimiento global de la fracción líquida

$$\eta_{parcial}(\%) = \frac{W_2 - W_1}{W_{PP}} \times 100$$

$\eta_{parcial}$ : Rendimiento del proceso de pirólisis respecto a los productos líquidos obtenidos, %.

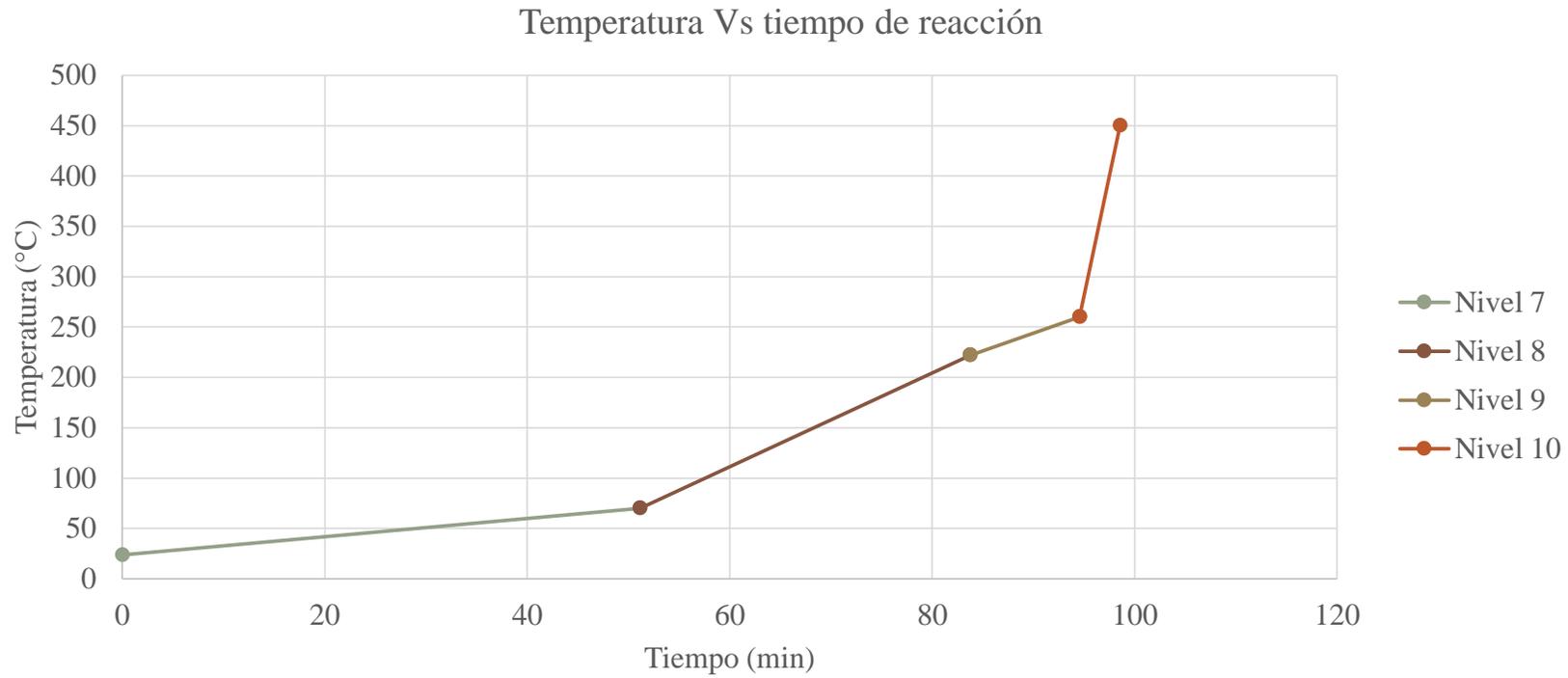
$W_2$ : Peso del envase y de los productos líquidos producidos de la pirólisis.

$W_1$ : Peso del envase.

$W_{PP}$ : Peso de la muestra inicial de polipropileno.



# Tasas de calentamiento

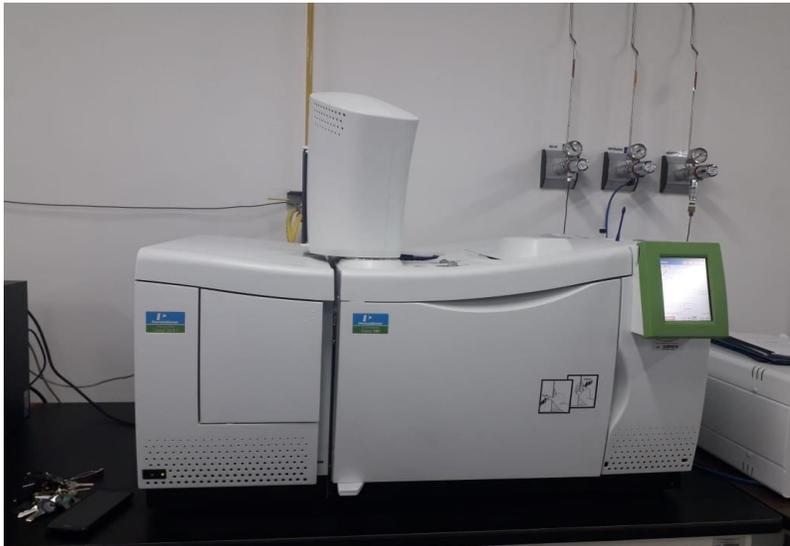


# Análisis de Productos resultantes

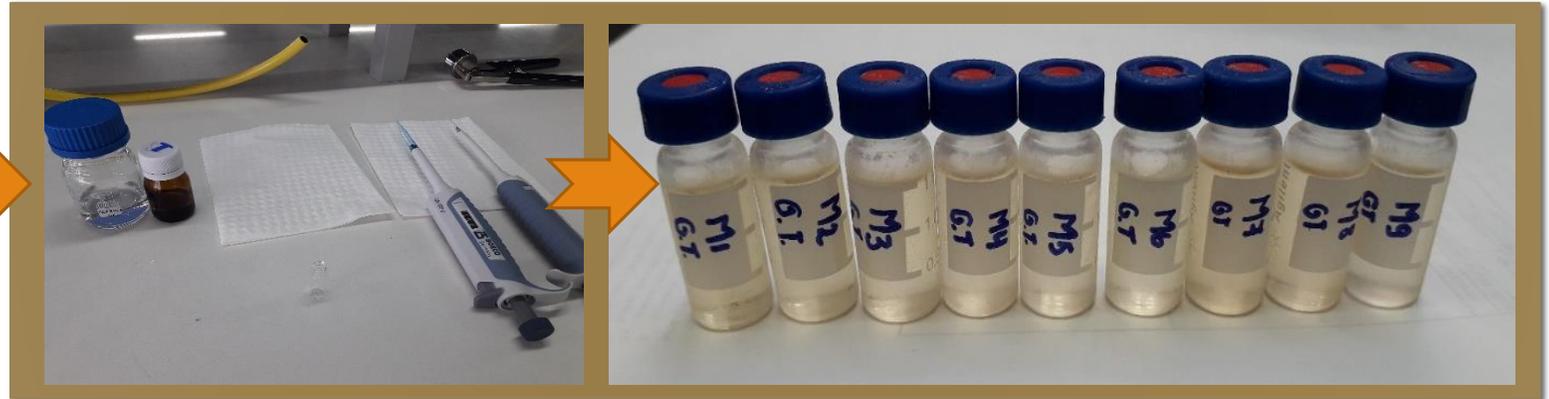
Análisis de productos gaseosos

Análisis de la fracción líquida

Cromatografía de Gases



Cromatógrafo de Gases acoplado a un Espectrómetro de Masas, Perkin Elmer



*Condiciones de operación de GC-MS.*

Parámetros	Condiciones
Gas Portador	Helio
Caudal del Gas portador	1 ml/min
Temperatura del inyector	250°C
Temperatura del detector	250°C
Volumen de muestra	0.5 µL

DILUCIÓN		
CANTIDAD DE MUESTRA INYECTADA		
SPLIT		
°C/min	°C	t
	50	2
3	80	0
5	150	2
10	250	2



PETROQUIMICA

# CONTENIDO

---

INTRODUCCIÓN

OBJETIVOS

METODOLOGÍA

**ANÁLISIS DE RESULTADOS**

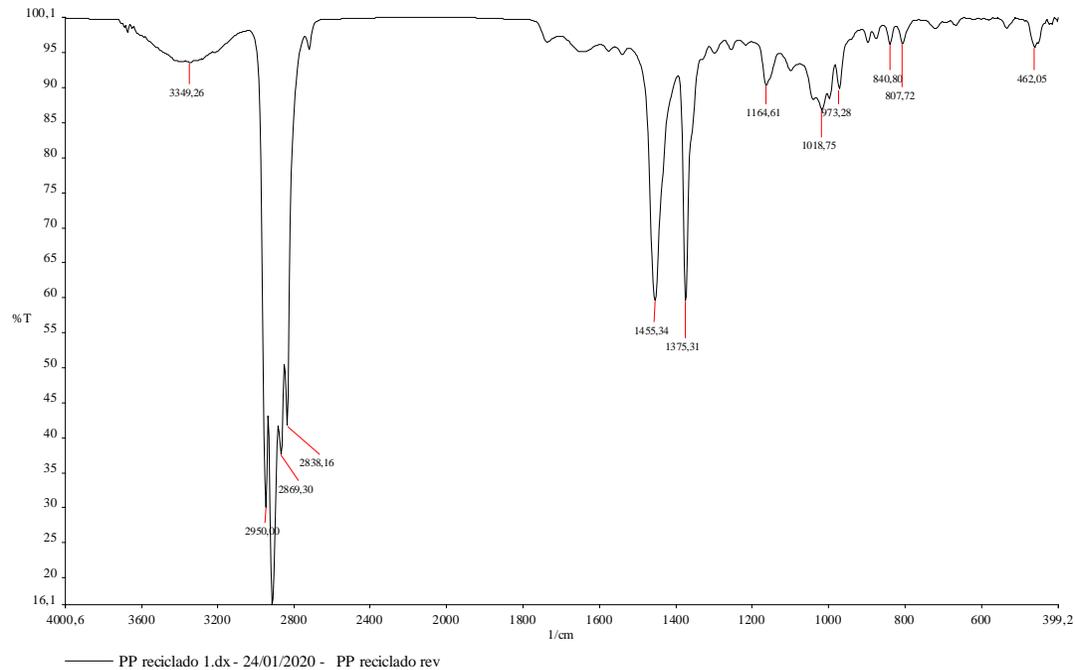
CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES



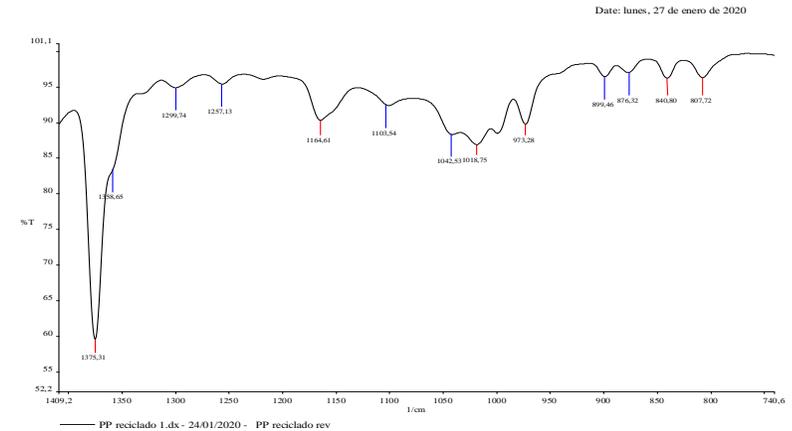
PETROQUÍMICA

# CARACTERIZACIÓN DE LA MATERIA PRIMA

- **Espectroscopia de Infrarrojo con Transformada de Fourier (FT-IR)**



Espectro Infrarrojo de la muestra de PP reciclado.



Amplificación del espectro infrarrojo de la muestra de PP reciclado, amplificada en el rango del número de onda de 1400 a 800  $\text{cm}^{-1}$ .

### Bandas características de absorción IR del PP isotáctico vs el PP reciclado.

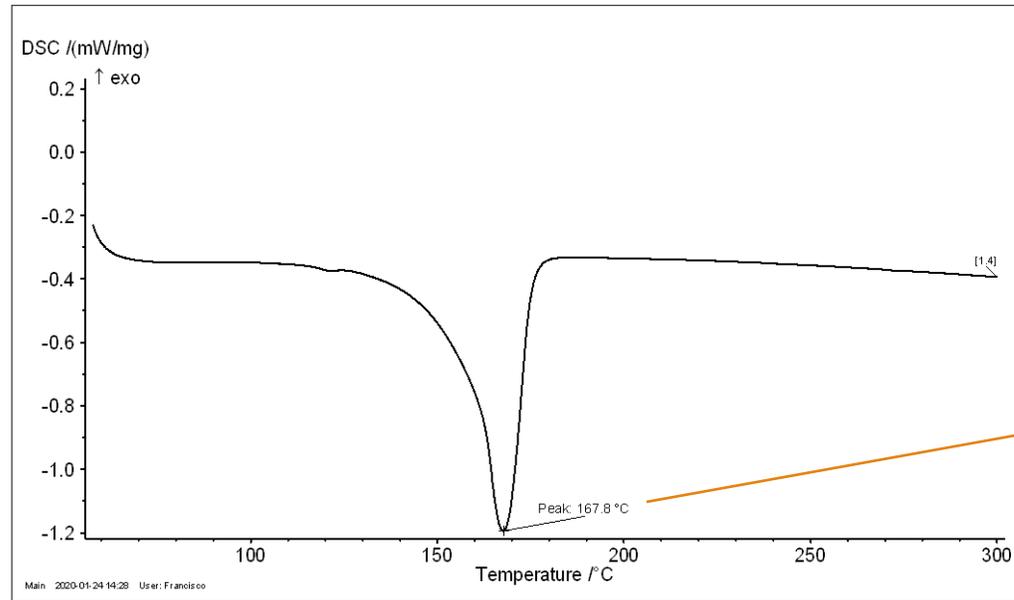
Polímero	Bandas características de absorción IR, $\text{cm}^{-1}$
PP isotáctico <sup>a</sup>	2950, 2920, 1470, 1380, 1160, 970
PP reciclado	2950, 2920, 1455.34, 1375, 1164, 973.28

Nota. <sup>a</sup> Naranjo, Noriega, Osswald, Roldan & Sierra ( 2008, p. 17)



# CARACTERIZACIÓN DE LA MATERIA PRIMA

- **Calorimetría de Barrido Diferencial (DSC)**



167.8°C ±  
1.1°C.

## PUNTO DE FUSIÓN



PP isotáctico puro que va de 165 a 176 °C



PP sindiotactico es de 159±2°

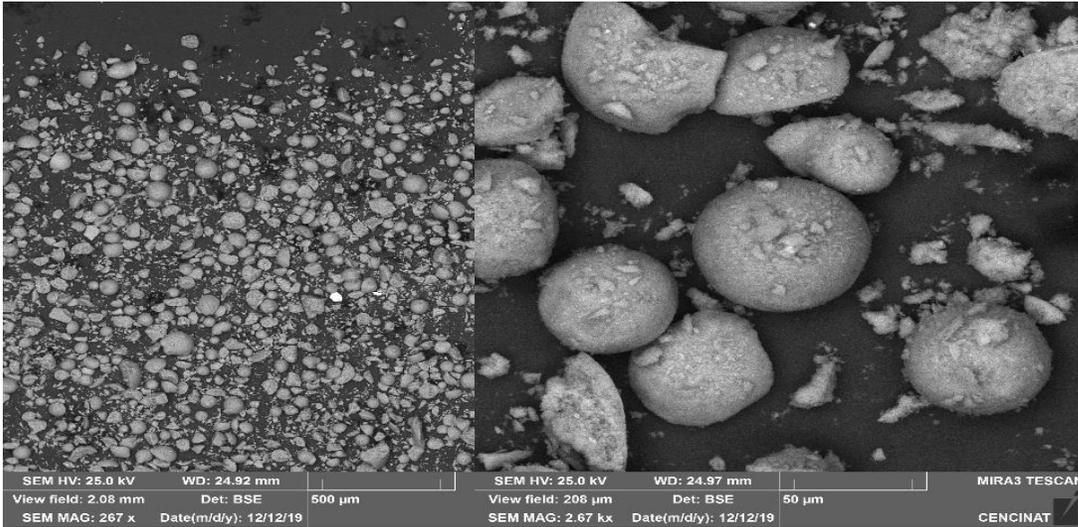


PP atáctico es de 75°C

Amplificación del termograma de la muestra de polipropileno laminado.

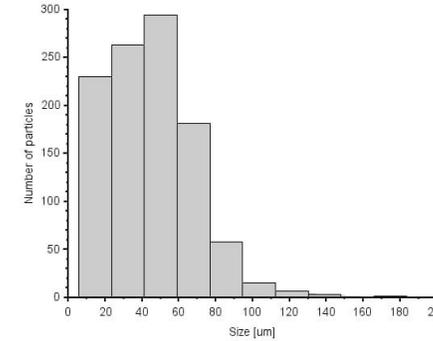
# CARACTERIZACIÓN DEL CATALIZADOR

Micrografía SEM del catalizador regenerado de la FCC.

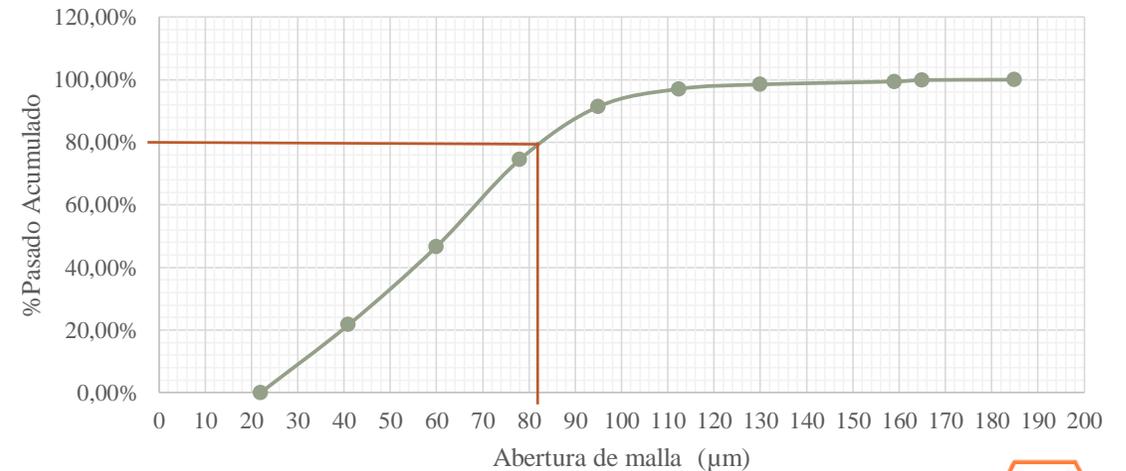


Diámetro promedio de las partículas:  $44.7 \mu\text{m}$ .  
Aproximadamente el 58% del catalizador fue recuperado como una partícula completa o funcional, el resto corresponde a residuos amorfos.

Distribución del tamaño de partícula.

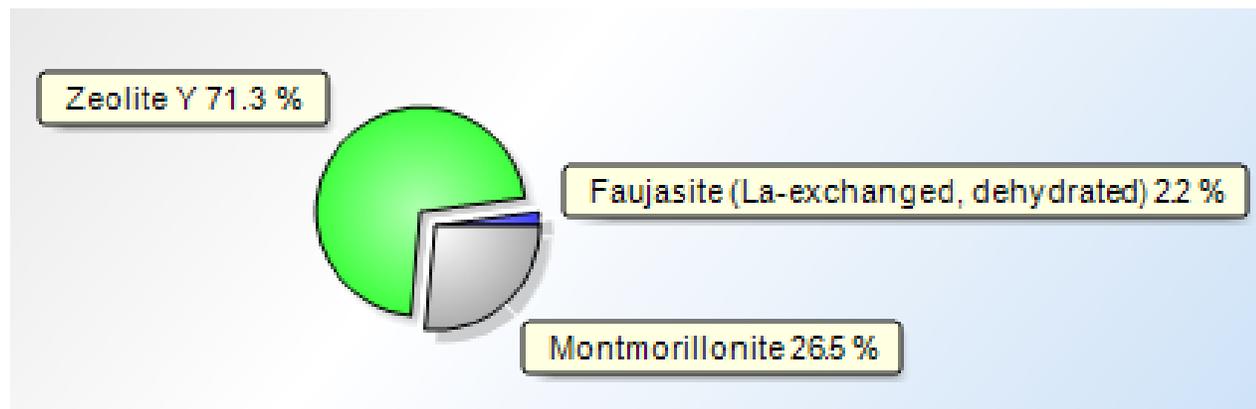


Curva granulométrica de la abertura de la malla ( $\mu\text{m}$ ) versus el porcentaje pasado acumulado.



# CARACTERIZACIÓN DEL CATALIZADOR

Difracción de Rayos X



Análisis cualitativo y cuantitativo de las fases cristalinas mediante EDS.

Elemento	Catalizador Regenerado, utilizado en la pirólisis catalítica de PP reciclado	Catalizador Fresco	Catalizador Agotado
	% Masa	% Masa	% Masa
Al <sup>a</sup>	21,68193	32	30,4
Si <sup>a</sup>	21,01163	30	29,7
Fe <sup>a</sup>	3,33359	-	1,1
La <sup>a</sup>	2,636798	2,5	2,3
Mg <sup>b</sup>	2,194861	0,40	0,35
Ti <sup>c</sup>	0,534099	1,4	1,4
Na <sup>b</sup>	0,140124	0,09	0,54
Zn <sup>c</sup>	0,029463	<0.001	<0.001

Nota. <sup>a</sup>Barrera (2015, pp.50). <sup>b</sup>Zhou et al. (2020, pp.3). <sup>c</sup>Datos en ppm y transformados a % m/m, tomados de la bibliografía de Carrera (2013).

# CARACTERIZACIÓN DEL CATALIZADOR

Características del catalizador regenerado de la FCC vs un catalizador de la FCC nuevo.

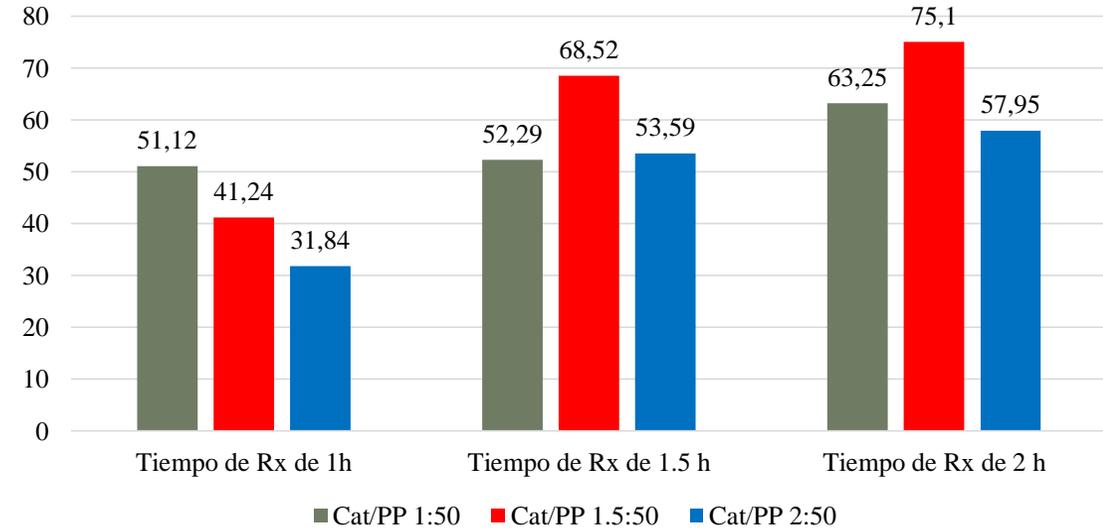
Parámetro	Valores del catalizador regenerado analizado	Valores del catalizador FCC nuevo	Unidades
Si/Al <sup>a</sup>	1.44	1.5-3	w*w <sup>-1</sup>
Área superficial BET	134.08	250.44	m <sup>2</sup> *g <sup>-1</sup>
Tamaño promedio de partícula	44.7	70	µm
Área transversal	0.162		nm <sup>2</sup>
Volumen monocapa	30.683		cm <sup>2</sup> * g <sup>-1</sup>
Volumen total del poros	0.067	0.236	cm <sup>3</sup> *g <sup>-1</sup>
Acidez	66.055	167.000	(µmol NH <sub>3</sub> * g <sup>-1</sup> )
Porosidad <sup>b</sup>	0.71	0.47	



# PROCESO DE PIRÓLISIS CATALÍTICA

Efecto de las condiciones de operación, proporción de catalizador /PP y tiempo de reacción

Tiempo de residencia (min)	Relación catalizador/plástico		
	1/50	1.5/50	2.5/50
1	T1	T4	T7
1.5	T2	T5	T8
2	T3	T6	T9



Porcentaje de rendimiento de la en fracción líquida a diferentes proporciones de catalizador/PP.

# Análisis Estadístico ANOVA de la influencia del tiempo de reacción y la proporción catalizador/PP en la pirólisis catalítica de polipropileno reciclado.

Análisis de varianza de dos factores con una sola muestra por grupo.

<i>Origen de las variaciones</i>	<i>Suma de cuadrados</i>	<i>Grados de libertad</i>	<i>Promedios de los cuadrados</i>	<i>F</i>	<i>Probabilidad</i>	<i>Valor crítico para F</i>
Tiempo de reacción	910.895556	2	455.447778	8.490041	0.0363501	6.94427191
Proporción de catalizador/PP	288.198756	2	144.099378	2.686169	0.1821479	6.94427191
Error	214.579778	4	53.6449444			
Total	1413.67409	8				

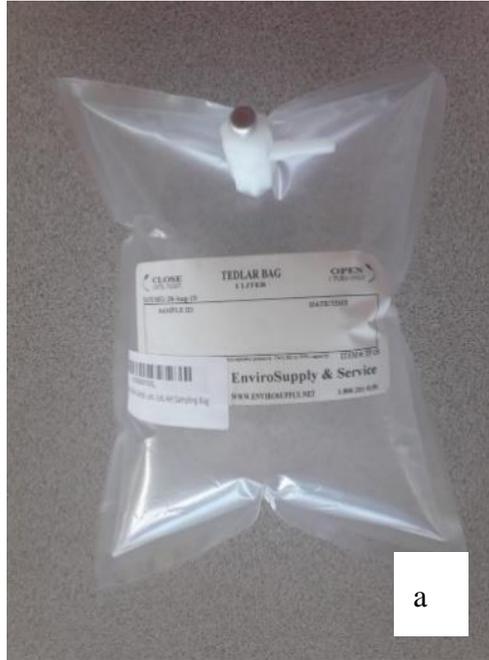


# Porcentaje en masa de las fracciones líquida, gaseosa y sólida, como producto de la pirólisis catalítica del polipropileno reciclado.

Número de tratamiento	Condiciones de operación	Rendimiento			Número de tratamiento	Condiciones de operación	Rendimiento		
		Fracción líquida (%)	Fracción sólida (%)	Fracción Gaseosa (%)			Fracción líquida (%)	Fracción sólida (%)	Fracción Gaseosa (%)
<b>T1</b>	Relación catalizador/PP (1/50) Tiempo: 1 h	51.12	36.90	11.98					
<b>T2</b>	Relación catalizador/PP (1/50) Tiempo: 1,5 h	52.30	37.82	9.88	<b>T7</b>	Relación catalizador/PP (2/50) Tiempo: 1 h	31.84	62.32	5.84
<b>T3</b>	Relación catalizador/PP (1/50) Tiempo: 2 h	63.25	25.23	11.51					
<b>T4</b>	Relación catalizador/PP (1.5/50) Tiempo: 1 h	41.24	50.60	8.16	<b>T8</b>	Relación catalizador/PP (2/50) Tiempo: 1,5 h	53.59	31.36	15.05
<b>T5</b>	Relación catalizador/PP (1.5/50) Tiempo: 1,5 h	68.52	20.58	10.9					
<b>T6</b>	Relación catalizador/PP (1.5/50) Tiempo: 2 h	75.10	18.53	6.37	<b>T9</b>	Relación catalizador/PP (2/50) Tiempo: 2 h	57.95	37.35	4.70



# PRODUCTOS DE PIRÓLISIS DEL T6



a



b



c

a) Producto gaseoso, b) líquido y c) sólido de la pirólisis catalítica de polipropileno, en base a los parámetros aplicados del tratamiento T6.

# Análisis de la fracción gaseosa

## Composición de la muestra gaseosa, para un tiempo de reacción de 2 horas.

Componente	% Peso
Nitrógeno	14.91
Metano	2.39
CO <sub>2</sub>	3.99
Etano	7.62
→ Propano	39.35
Agua	0.31
Isobutano	3.12
→ nButano	13.99
Isopentano	1.65
nPentano	12.31
Hexanos	0.35

## Propiedades de la muestra gaseosa.

Propiedades	Valor	Unidades
Densidad Relativa	1.43	
Peso Molecular Promedio	41.20	g*mol <sup>-1</sup>
Densidad de la muestra	1.74	g*L <sup>-1</sup>
Poder calorífico superior	70676.98	kJ*m <sup>-3</sup>
Poder calorífico inferior	65087.72	kJ*m <sup>-3</sup>
Factor de compresibilidad	1.0000	z

## Comparación del poder calorífico del gas obtenido vs los principales constituyentes del GLP.

Propiedad	Muestra gaseosa de pirólisis	<sup>a</sup> Propano	<sup>a</sup> Butano
Poder calorífico superior (KJ/Kg)	70676.98	45795.22	46398.12
Poder calorífico inferior (KJ/Kg)	65087.72	50459.31	50459.32

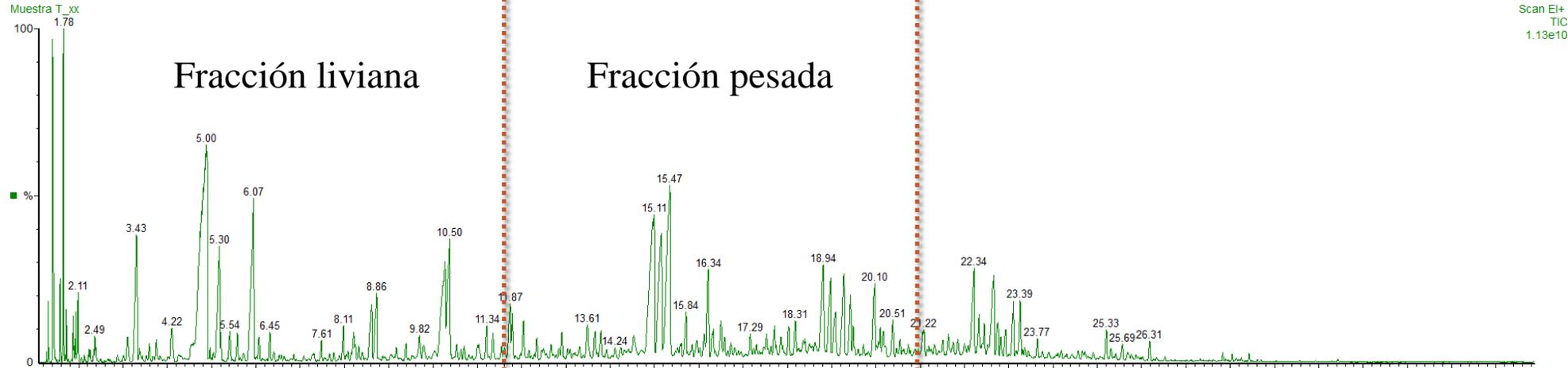
Fuente. <sup>a</sup>(Ministerio para la Transición Ecológica y el Reto Demográfico, s.f.)



# Análisis de la fracción líquida: Cromatografía de gases acoplado a un Espectrómetro de Masas

PIRÓLISIS TÉRMICA

muestra pura 0.5 ul split 20:1

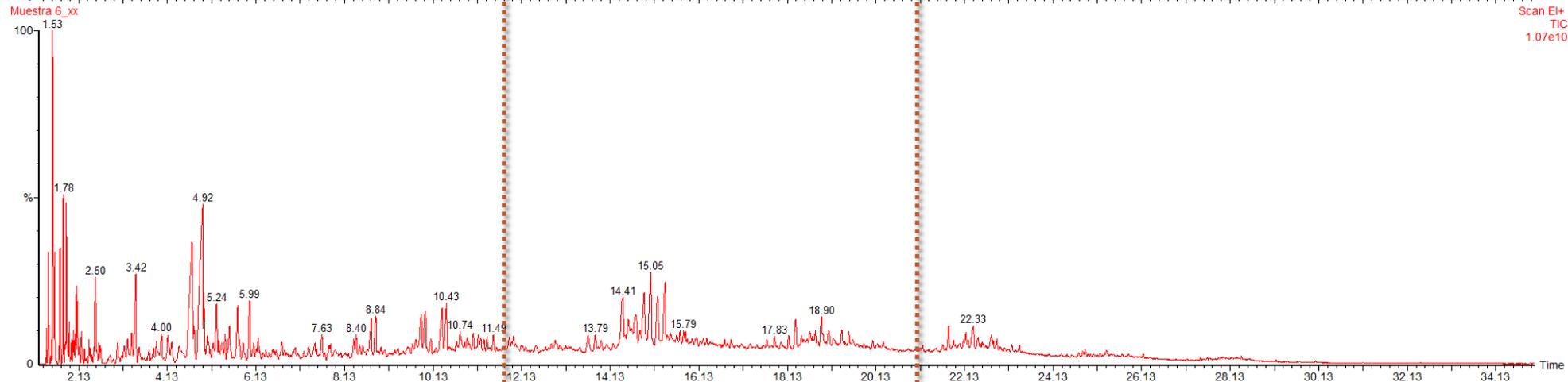


, 23-Dec-2019 + 16:25:02

Scan EI+  
TIC  
1.13e10

\*Tiempo de reacción : 2.5 horas  
\*Sin catalizador

PIRÓLISIS CATALÍTICA (T6)



\*Tiempo de reacción : 2 horas  
\*Proporción de catalizador/PP: 1.5/50



ESPE  
PETROQUÍMICA

# Balances de masa de experimentos de la pirólisis catalítica y térmica.

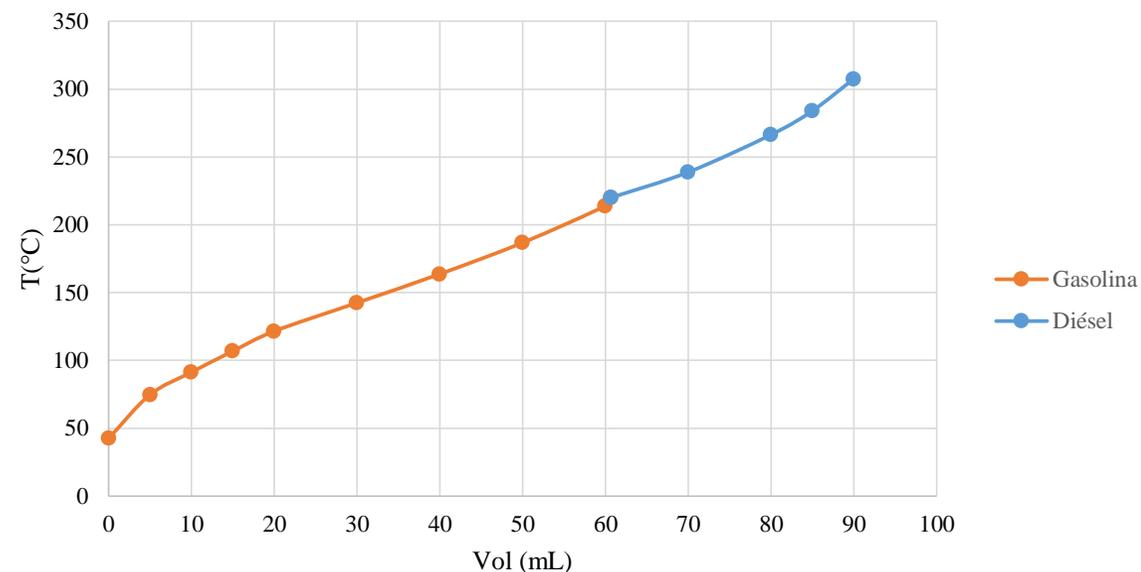
Experimento		M1	M2	M3	M4	M5	M6	M7	M8	M9	MT	Gasolina Base
%Entrada	PP reciclado	100%	100%	100%	100%	100%	100%	100%	100%	100%	100%	100%
Alcanos		16.769	18.481	5.924	2.852	4.411	4.500	4.721	4.760	3.887	28.545	15.879
Cicloalcanos/Naftenos		11.590	6.297	16.128	13.183	4.716	12.427	15.292	12.203	11.566	3.954	29.095
<b>Alifáticos saturados</b>		<b>28.359</b>	<b>24.778</b>	<b>22.052</b>	<b>16.035</b>	<b>9.127</b>	<b>16.927</b>	<b>20.013</b>	<b>16.963</b>	<b>15.453</b>	<b>32.499</b>	<b>44.974</b>
Alquenos		33574	36.846	33.527	32.690	36.643	32.16	34.35	30.694	33.678	33.711	1.066
Dienos		2.817	2.553	0.433	1.812	3.509	2.031	2.748	3.134	2.747	2.657	0
Cicloalquenos		2.772	1.054	1.135	1.041	1.526	3.043	1.030	1.106	1.830	1.578	0
Alquinos				0.419								0
<b>Alifáticos insaturados</b>		<b>39.163</b>	<b>40.453</b>	<b>35.514</b>	<b>35.543</b>	<b>41.678</b>	<b>37.237</b>	<b>38.124</b>	<b>34.934</b>	<b>38.255</b>	<b>37.946</b>	<b>1.066</b>
<b>Suma de alifáticos</b>		<b>67.522</b>	<b>65.231</b>	<b>57.566</b>	<b>51.578</b>	<b>50.805</b>	<b>54.164</b>	<b>58.137</b>	<b>51.897</b>	<b>53.708</b>	<b>70.445</b>	<b>46.040</b>
Aromáticos		0	0.38	0.43	0.465	1.222	1.687	2.259	3.595	3.035	0.941	7.557
Alcoholes		12.459	7.846	14.632	14.593	12.303	5.491	5.468	5.758	10.842	4.392	4.519
Éteres								5.13	4.881		3.763	0.236
No identificado o detectado		20.019	26.543	27.372	33.364	35.67	38.658	29.006	33.869	32.415	20.4591	41.648
<b>Total</b>		<b>100.000</b>										



# Resultados obtenidos de la fracción líquida del tratamiento 6.

Ensayo	Norma del método	Unid ad	Valor Obtenido
Contenido de Azufre	ASTM-D4294	Ppm	122.5
Corrosión en lámina de cobre	ASTM-D130	----	1A
Ensayo de destilación	ASTM-D86	10%	°C 90
		50%	°C 186.60
		90%	°C 307.60
		Punto Final	°C 334.10
		Residuo de Destilación	% 1

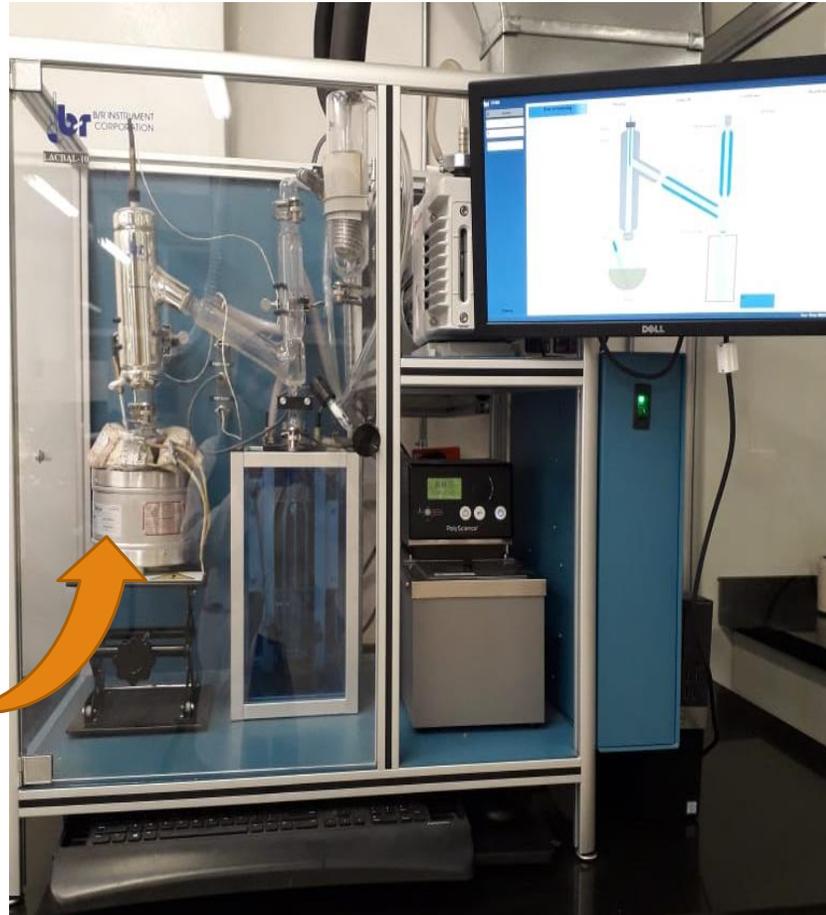
Gráfica de la destilación programada del combustible resultante del proceso de pirólisis catalítica.



Aproximadamente el 60.70% fracciones ligeras comparables con la gasolina y el 39.3% corresponde a fracciones pesadas semejantes al diésel.



# Fracción líquida



Fracción liviana (gasolina) obtenida de la destilación.



Fracción pesada (diésel) obtenida de la destilación.



# Poder calorífico y densidad de los combustibles obtenidos por pirólisis catalítica, T6

---

<b>Combustible</b>	<b>Poder Calorífico (kJ/kg)</b>	<b>Densidad (g/cm<sup>3</sup>)</b>
Gasolina	31817.00	0.74463
Diésel	46285.07	0.7813



# Fracción líquida

Resultados de conversión (%) y selectividad (%) a productos.

N° de Tratamiento	Relación catalizador/plástico	Tiempo de reacción (h)	Conversión en fracción líquida (%)	Selectividad (%)		
				Volátiles	Gasolina	Diésel
T1	1/50	1	51.12	13.38	44.4	42.22
T2	1/50	1.5	52.3	16	48	36
T3	1/50	2	63.25	17	45	38
T4	1.5/50	1	41.24	15.07	50.68	34.25
T5	1.5/50	1.5	68.52	9.22	44.73	46.05
T6	1.5/50	2	75.1	1.33	70.67	28
T7	2/50	1	31.84	11	48	41
T8	2/50	1.5	53.59	13.34	50	36.66
T9	2/50	2	57.95	10.01	46.66	43.33
T. Térmico	-	2.5	50	2.5	53.75	43.75



# Fracción liviana, T6



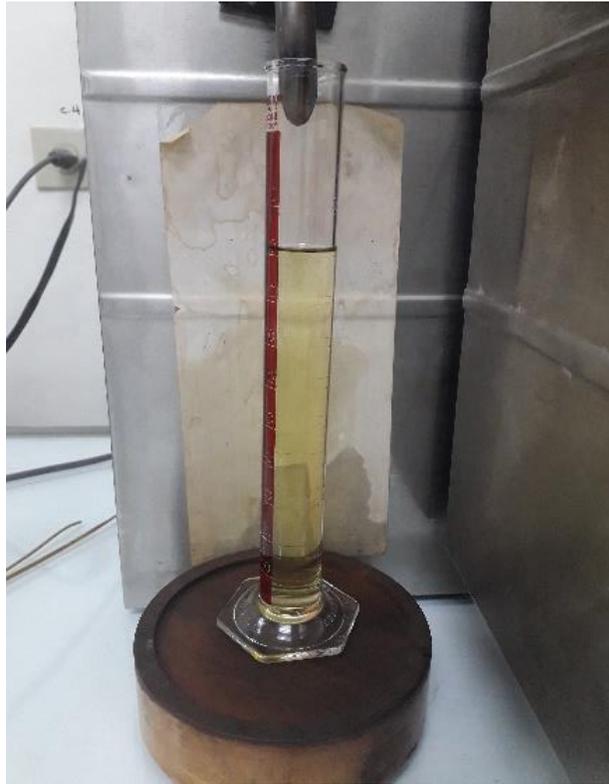
Fracción liviana (gasolina) obtenida de la destilación.

## Comparación de las características de la gasolina obtenida por pirólisis catalítica y las gasolinas comerciales en Ecuador

Requisito	Gasolina (Pirólisis catalítica)	<sup>a</sup> Gasolina Súper		<sup>b</sup> Gasolina Extra		Cumple	Método de Ensayo
Número de octano Research (RON)	85	Mín 92	Máx ----	Mín 87	Máx ---	No	NTE INEN 2102
Destilación : 10%	97.9°C	Mín --- 70°C	Máx	Mín --- 70°C	Máx	No	ASTM D86
50%	144.7°C	Mín 77°C 121°C	Máx	Mín 77°C 121°C	Máx	No	ASTM D86
90%	180.9°C	Mín --- 190°C	Máx	Mín --- 189°C	Máx	Si	ASTM D86
Punto Final	206.4°C	Mín --- 220°C	Máx	Mín --- 220°C	Máx	Si	ASTM D86
Residuo de destilación	1%	Mín ---	Máx 2%	Mín ---	Máx 2%	Si	ASTM D90
Presión de vapor	5.5 kPa	Mín --- (kPa)	Máx 60	Mín --- (kPa)	Máx 60	Si	ASTM D323
Corrosión a la lámina de cobre	1A	Mín ---	Máx 1	Mín ---	Máx 1	Si	ASTM D130
Contenido de azufre	0.00148 %	Mín --- 0.065%	Máx	Mín --- 0.065%	Máx	Si	ASTM D4294

Fuente. <sup>a</sup>y <sup>b</sup> (INEN 935, 2016)

# Fracción pesada, T6



Fracción pesada (diésel) de la destilación.

## Comparación de las características del diésel obtenido por pirólisis catalítica y el diésel comercial en Ecuador

Requisito	Diésel (Pirólisis catalítica)	<sup>a</sup> Diésel N°1	<sup>b</sup> Diésel N°2	<sup>c</sup> Diésel Premium	Cumple	Método de Ensayo
Punto de Inflamación (Flash Point)	87°C	Mín 40°C Máx ---	Mín 51°C Máx ---	Mín 51°C Máx ---	Si	NTE INEN 1493
Contenido de agua y sedimento	0.00%	Mín --- Máx 0.05%	Mín --- Máx 0.05%	Mín --- Máx 0.05%	Si	NTE INEN 1494
W contenido de residuo carbonoso sobre el 10% del residuo de la destilación	0.04388%	Mín --- Máx 0.15%	Mín --- Máx 0.15%	Mín --- Máx 0.15%	Si	NTE INEN 1491
W contenido de cenizas	0.00056%	Mín --- Máx 0.01%	Mín --- Máx 0.01%	Mín --- Máx 0.01%	Si	NTE INEN 1492
Temperatura de destilación del 90%	296.2°C	Mín --- Máx 288°C	Mín --- Máx 360°C	Mín --- Máx 360°C	No cumple para Diésel N°1 Si cumple para Diésel N°2 y premium	NTE INEN 926
Viscosidad cinemática a 37.8°C	2.565 mm <sup>2</sup> /s	Mín 1.3mm <sup>2</sup> /s Máx 3 mm <sup>2</sup> /s	Mín 2 mm <sup>2</sup> /s Máx 5 mm <sup>2</sup> /s	Mín 2 mm <sup>2</sup> /s Máx 5 mm <sup>2</sup> /s	No cumple para Diésel N°1 Si cumple para Diésel N°2 y premium	NTE INEN 810
W contenido de azufre	0.00141%	Mín --- Máx 0.3%	Mín --- Máx 0.7%	Mín --- Máx 0.05%	Si	ASTM 4294
Corrosión a la lámina de cobre	1A	Mín --- Máx 2	Mín --- Máx 3	Mín --- Máx 3	Si	NTE INEN 927
Índice de cetano calculado	68.92	Mín 40 Máx ---	Mín 45 Máx ---	Mín 45 Máx ---	Si	NTE INEN 1495

Nota. <sup>a, b, y c</sup> (INEN 1489, 2016)

# CONTENIDO

---

INTRODUCCIÓN

OBJETIVOS

METODOLOGÍA

ANÁLISIS DE RESULTADOS

**CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES**



PETROQUÍMICA

# CONCLUSIONES

---

- La pirólisis catalítica se llevó a cabo a la temperatura de 450°C, a una presión de vacío de 0.45 bar, sin oxígeno y con una columna de rectificación para mejorar las características del producto resultante (fracción líquida), en comparación con otras investigaciones que obtienen una fracción líquida con aspecto turbio.
- La proporción de catalizador empleada en la pirólisis de polipropileno influyó en el rendimiento de la fracción líquida, al igual que la tasa de calentamiento.
- La pirólisis catalítica realizada con el catalizador regenerado de la FCC respecto a la pirólisis térmica en condiciones de operación similares, genera una mayor producción de fracción líquida debido al efecto de craqueo o ruptura del soporte del catalizador.
- Para una relación catalizador/PP de 1.5/50, con un tiempo de reacción de 2 horas, condiciones de presión, velocidad de calentamiento de 9°C/min y temperatura de 450°C establecidas la fracción líquida obtenida fue de 75.10%.
- Además se determinó que la proporción catalizador/PP óptima para el proceso de pirólisis catalítica es de 1.5/50, ya que a mayores proporciones la fracción líquida disminuye y la fracción gaseosa aumenta.



# CONCLUSIONES

---

- Para un mismo tiempo de reacción se observa que incrementar la proporción catalizador/PP (2:50) ya no existe un efecto significativo en la formación de alquenos. Sin embargo al incrementar el tiempo de reacción el porcentaje de compuestos saturados disminuye.
- Al realizar la comparación entre una gasolina base y el combustible obtenido en el tratamiento 6, el incremento en el porcentaje de alcanos es del 28.34%, lo que representa que el proceso de pirólisis craqueo inhibe parcialmente la formación de alcanos para producir compuestos olefinicos.
- El contenido de azufre resultante del proceso de pirólisis catalítica propuesto en este estudio presenta concentraciones de compuestos sulfurados equivalentes a 122.5 ppm, lo que representa una disminución del 80% respecto a otros estudios de pirólisis de plástico presentados.



# CONCLUSIONES

---

- De acuerdo a los requisitos establecidos por las normas INEN y ASMT para combustibles de calidad comercial, se determinó que el combustible de fracciones ligeras obtenido se lo puede clasificar como una gasolina extra y súper, siempre y cuando se cumpla con los parámetros de la destilación ASTM D-86 y el octanaje de 95 y 87 respectivamente. Por otra parte el combustible de fracciones pesadas cumple con todos los parámetros de diésel 2 y Premium, además cumple con las condiciones para ser considerado como un combustible de Grado 2D, S15 según la clasificación de diésel determinada en la norma ASTM-975.
- El combustible producido en la pirólisis catalítica puede usarse como sustituto de los combustibles en el motor.
- La fracción de gas obtenida del proceso de pirólisis catalítica del tratamiento 6 está constituida por trazas de hidrocarburos C1-C5 predominando significativamente la formación de alcanos en donde el componente en mayor cantidad es el propano y butano, siendo los principales componentes de un gas de GLP.



# RECOMENDACIONES

---

- Trabajar con chaquetas de calentamiento verticales con el fin de conseguir una distribución homogénea de la temperatura y reducir el tiempo del proceso.
- Sellar el sistema meticulosamente a fin de evitar fugas entre las uniones vidrio-vidrio, colocando teflón para lograr hermeticidad del proceso.
- Generar un buen vacío para que exista mayor arrastre de los productos para su posterior condensación.
- Caracterizar los residuos sólidos para valorarlos y darles una adecuada disposición final.
- Realizar en futuras investigaciones la evaluación de la pirólisis catalítica con el mismo sistema pero con otro tipo de gas inerte y a diferentes velocidades de flujo para observar otro tipo de beneficios.
- Realizar un balance energético del proceso, en donde se determine un valor aproximado de la energía consumida por el proceso.
- Investigar la viabilidad y autosostenibilidad energética del proceso continuo, a partir del gas producido durante el proceso de pirólisis catalítica.



# GRACIAS



PETROQUÍMICA