

SESIÓN 9 — Pirólisis y cracking de alcanos

Química III · U1 RAP1 — Mecanismos y reacciones orgánicas (20 sesiones de 1h)

Generado por PDF Project

Datos de la sesión

- Unidad Didáctica 1: Reacciones químicas de compuestos orgánicos
- RAP 1: Explica las reacciones químicas de los hidrocarburos a partir de su estructura
- Duración: 1 hora
- Tema: Pirólisis, cracking térmico y catalítico, refinación del petróleo

Objetivos de aprendizaje

Al finalizar la sesión, el estudiante será capaz de:

- Definir pirólisis y cracking, y distinguir el cracking térmico del catalítico.
- Escribir ecuaciones balanceadas de ruptura de alcanos de cadena larga.
- Relacionar la destilación fraccionada del petróleo con los procesos de cracking.
- Explicar por qué el cracking es económicamente indispensable en la industria petrolera mexicana.
- Analizar el impacto ambiental de la refinación y del consumo de combustibles fósiles.

Anclaje con el contexto nacional

Comience mostrando en el pizarrón la lista de refinerías de Pemex (Cadereyta, Madero, Minatitlán, Salamanca, Salina Cruz, Tula y Dos Bocas). Pregunte: "Del barril de petróleo crudo, ¿qué fracción creen que sale ya lista como gasolina?" La respuesta —muy poca, alrededor de una quinta parte por destilación directa— justifica toda la clase.

Activación de conocimientos previos (8 minutos)

Recupere con el grupo:

- El petróleo crudo es una mezcla compleja de hidrocarburos: alcanos lineales y ramificados, cicloalcanos y aromáticos, con azufre, nitrógeno y metales en pequeña proporción.
- Los puntos de ebullición de los alcanos aumentan con la masa molar, porque aumentan las fuerzas de dispersión de London.
- La destilación fraccionada separa por diferencia de punto de ebullición, no transforma moléculas.

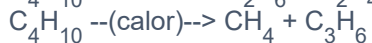
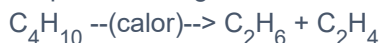
Pregunta detonadora: si la destilación solo separa, ¿cómo se obtiene más gasolina de la que el crudo trae de origen? Rompiendo moléculas grandes: eso es el cracking.

Desarrollo (35 minutos)

Qué es la pirólisis

1

La pirólisis es la descomposición térmica de un compuesto orgánico por acción del calor en ausencia de oxígeno. En el caso de los alcanos se rompen enlaces C–C y C–H, y se obtienen alcanos más cortos, alquenos e hidrógeno. Es distinta de la combustión: en la combustión hay oxígeno y los productos son CO₂ y H₂O; en la pirólisis no hay oxígeno y los productos siguen siendo hidrocarburos. Ejemplo con el butano a alta temperatura:



$\text{C}_4\text{H}_{10} \xrightarrow{\text{calor}} \text{C}_4\text{H}_8 + \text{H}_2$ Observe que en cada ecuación los átomos están balanceados y que siempre aparece un alqueno o hidrógeno: al perder hidrógenos o romperse la cadena es inevitable que se forme una insaturación.

Cracking térmico

2

Se realiza a temperaturas de 450 a 750 °C y presiones elevadas, sin catalizador. Procede por un mecanismo de radicales libres: el calor rompe homolíticamente un enlace C–C, se forman dos radicales alquilo y estos sufren una escisión beta que genera un alqueno y un radical más pequeño. Ejemplo representativo con el hexadecano (cetano), típico del gasóleo: $\text{C}_{16}\text{H}_{34} \xrightarrow{\text{calor}} \text{C}_8\text{H}_{18} + \text{C}_8\text{H}_{16}$ El octano obtenido sirve para gasolina y el octeno como materia prima petroquímica. Un caso industrial muy importante es la pirólisis con vapor (steam cracking) del etano para producir etileno, el compuesto orgánico de mayor producción mundial: $\text{C}_2\text{H}_6 \xrightarrow{(750-900\text{ }^\circ\text{C})} \text{C}_2\text{H}_4 + \text{H}_2$

Cracking catalítico

3

Se realiza a menor temperatura (450–550 °C) usando catalizadores de zeolitas (aluminosilicatos cristalinos). El mecanismo ya no es radicalario sino iónico: se forman carbocationes, que se reordenan con facilidad. Ventajas frente al térmico:

- Menor consumo de energía.
- Produce alcanos ramificados y aromáticos, que tienen mayor octanaje.
- Mayor rendimiento de gasolina y menos coque.

El proceso industrial más usado es el FCC (Fluid Catalytic Cracking, craqueo catalítico fluidizado), presente en las refinerías de Pemex.

Octanaje

RON

El índice de octano mide la resistencia de una gasolina a la detonación prematura. Se define con dos referencias: el 2,2,4-trimetilpentano ("isooctano") tiene índice 100 y el heptano lineal tiene índice 0. Los alcanos ramificados y los aromáticos tienen alto octanaje; los alcanos lineales, bajo. Por eso el cracking catalítico y la isomerización son tan valiosos: no solo hacen más gasolina, hacen mejor gasolina.

- ****Reformación catalítica:**** convierte alcanos lineales en aromáticos e hidrógeno. Ejemplo: heptano a tolueno más cuatro moléculas de H_2 .
- ****Isomerización:**** transforma alcanos lineales en ramificados para elevar el octanaje.
- ****Alquilación:**** une alquenos pequeños con isobutano para dar alcanos ramificados de alto octanaje.
- ****Hidrodesulfuración:**** elimina azufre en forma de H_2S ; es la razón por la que existen las gasolinas de ultra bajo azufre.

Balanceo de una reacción de cracking

Tip aplicado: **cuente carbonos e hidrógenos por separado**

Enunciado: Al someter decano a cracking se obtiene propeno y un alcano. Escriba la ecuación balanceada e identifique el alcano. Después calcule cuántos gramos de propeno se obtienen a partir de 284 g de decano si el rendimiento es del 100 % para esa vía. Resolución: El decano es $C_{10}H_{22}$ y el propeno es C_3H_6 . Carbonos: $10 - 3 = 7$, así que el otro producto tiene 7 carbonos.

Hidrógenos: $22 - 6 = 16$, así que tiene 16 hidrógenos. C_7H_{16} corresponde al heptano, que cumple la fórmula general C_nH_{2n+2} . $C_{10}H_{22} \rightarrow C_3H_6 + C_7H_{16}$ Masa molar del decano: $(10 \times 12.01) + (22 \times 1.008) = 120.1 + 22.18 = 142.3 \text{ g/mol}$.

Moles de decano: $284 \text{ g} \div 142.3 \text{ g/mol} = 2.00 \text{ mol}$.

Relación estequiométrica 1:1, entonces se producen 2.00 mol de propeno.

Masa molar del propeno: $(3 \times 12.01) + (6 \times 1.008) = 36.03 + 6.05 = 42.08 \text{ g/mol}$.

Masa de propeno: $2.00 \text{ mol} \times 42.08 \text{ g/mol} = 84.2 \text{ g}$.

Enfoque CTSA

La refinación del petróleo es la base de la industria petroquímica: de ella salen plásticos, fibras sintéticas, fertilizantes, medicamentos y detergentes. Pero también tiene costos:

- Emisión de gases de efecto invernadero (CO_2) por la quema de combustibles.
- Emisión de óxidos de azufre y nitrógeno, precursores de la lluvia ácida y del ozono troposférico.
- Riesgo de derrames y contaminación de suelos y mantos acuíferos.
- Generación de coque y catalizadores gastados que requieren disposición controlada.

Plantee al grupo la discusión: ¿es viable dejar de refinar petróleo en el corto plazo, considerando que el 90 % de los plásticos que usamos provienen de él?

Cierre y resumen (10 minutos)

Solicite a los estudiantes que completen en su cuaderno un esquema del barril de petróleo con las fracciones ordenadas por punto de ebullición y señalen dónde interviene el cracking. Ideas para cerrar:

- La pirólisis es descomposición por calor en ausencia de oxígeno.
- El cracking rompe cadenas largas para obtener fracciones de mayor valor comercial.
- El cracking térmico opera por radicales libres; el catalítico, por carbocationes sobre zeolitas.
- Los alcanos ramificados y los aromáticos elevan el octanaje.
- Los procesos de refinación son estratégicos para México, pero exigen control ambiental estricto.

Tarea sugerida: investigar la capacidad de refinación instalada de Pemex y qué fracción del consumo nacional de gasolina se importa.