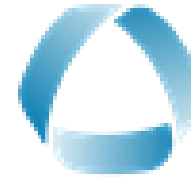


# PROCESAMIENTO DE HIDROCARBUROS



**UNCUYO**  
UNIVERSIDAD  
NACIONAL DE CUYO



**FACULTAD  
DE INGENIERÍA**

**CARRERA DE INGENIERÍA EN PETRÓLEOS**

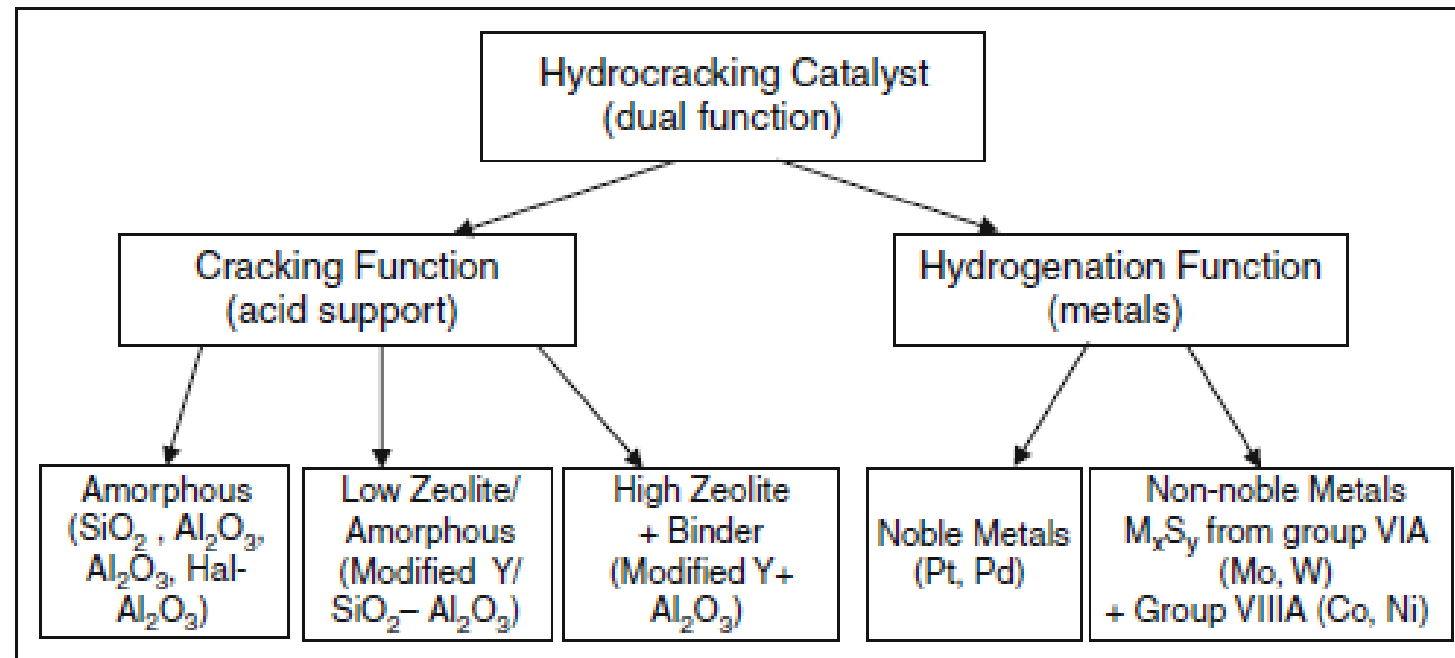
**Ing . Jorge Nozica**

# CLASE N° 8: FCC

- CRAKING CATALÍTICO FLUIDIZADO
- IMPORTANCIA EN EL PROCESAMIENTO DE HC
- ALIMENTACIÓN Y PRODUCTOS
- REACCIONES QUIMICAS
- CATALISIS
- PROCESOS CORRELACIONES
- BALANCES

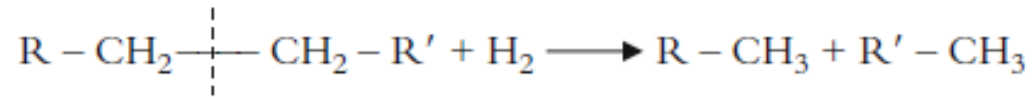
# Comparativa de HIDROCRACKING vs FCC

- Hidrocracking – utiliza catalizador dual
- Produce alcanos de menor PM

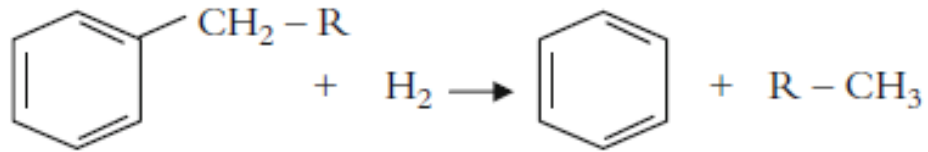


# QUIMICA DEL HIDROCRACKING

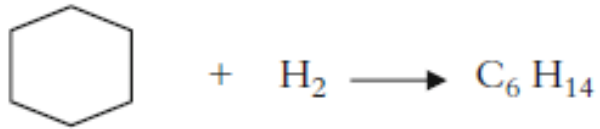
## 1. Alkane hydrocracking



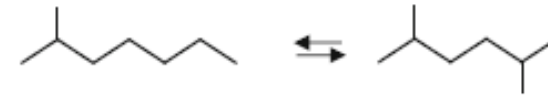
## 2. Hydrodealkylation



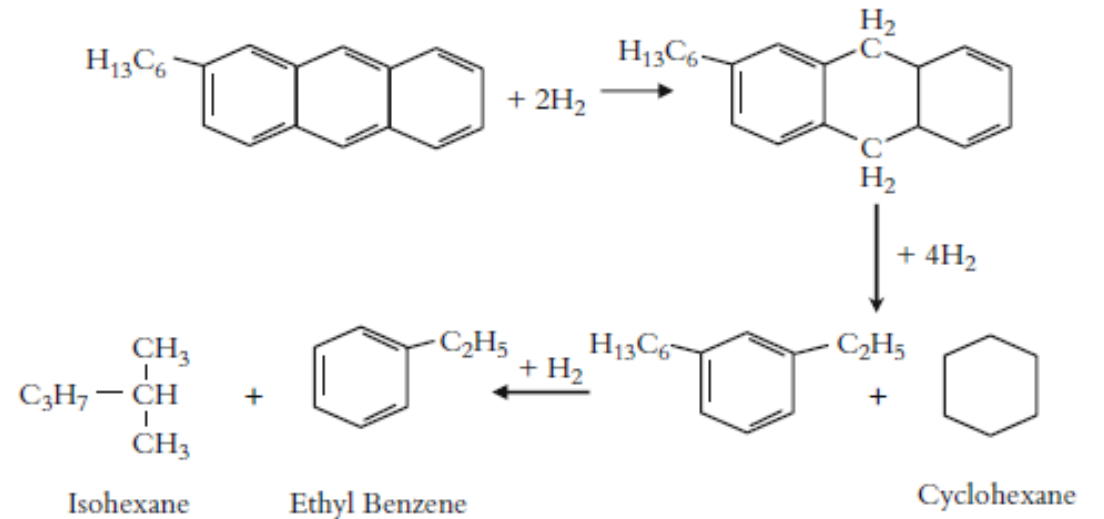
## 3. Ring opening



## 4. Hydroisomerization



## 5. Polynuclear aromatics hydrocracking



# CRAKING CATALÍTICO

## Reacciones:

- Las reacciones fundamentales son de cracking o ruptura molecular.
- La reacción se produce muy rápidamente en una tubería vertical denominada "Riser".
- El cracking catalítico es más controlable que el térmico.
- La separación rápida de producto y catalizador en ciclones después del Riser evita fenómenos de "overcracking".
- El catalizador circula en forma continua entre el reactor-riser donde ocurre la reacción y el regenerador donde el catalizador es reactivado al quemarse el coque depositado en la superficie.
- Además el catalizadores el vehículo que transporta el calor desde el regenerador al reactor.
- Las reacciones son más rápidas y selectivas que en el cracking térmico.

# CRAKING CATALÍTICO

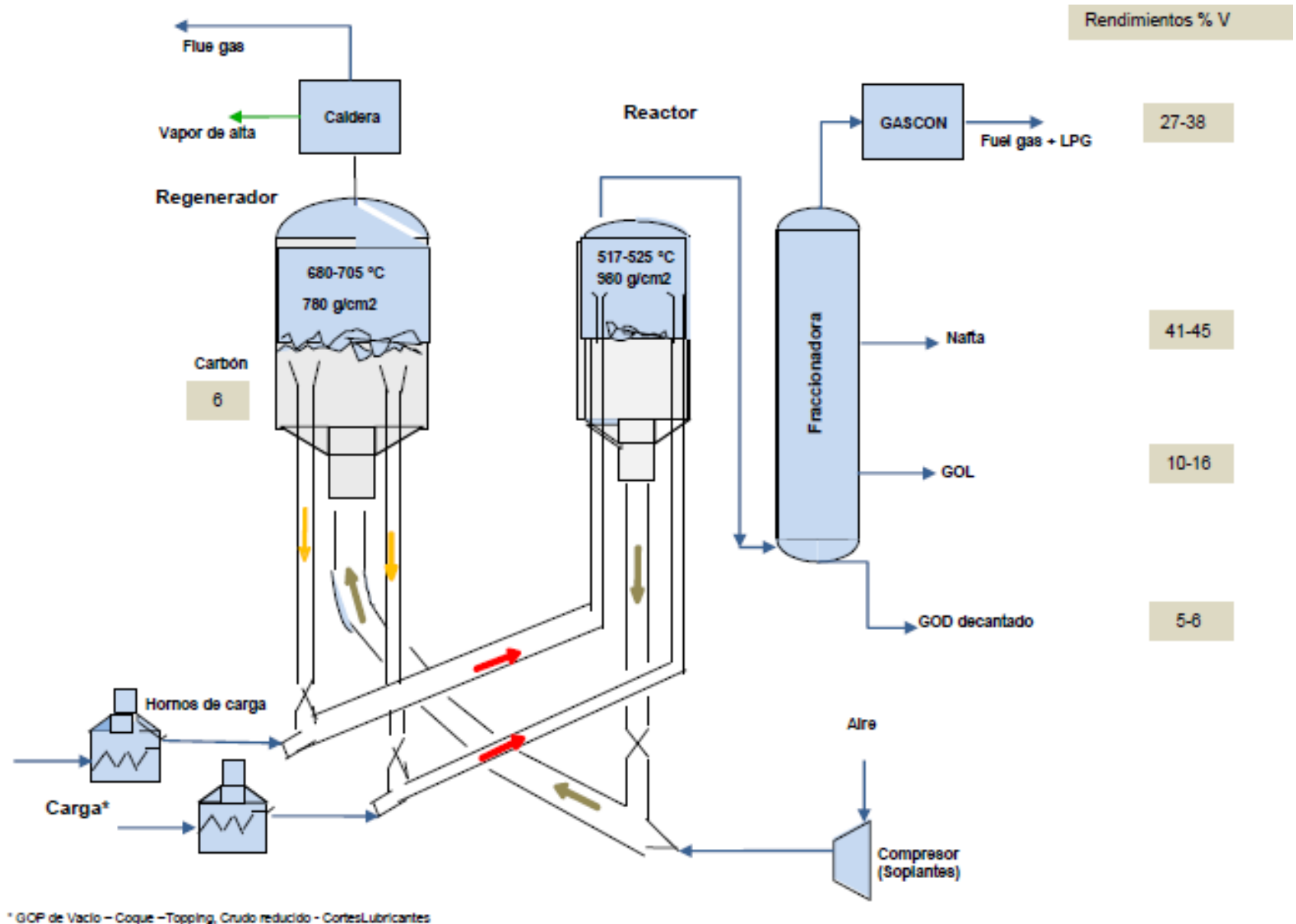


- SB: Sitios Bronsted (dadores de H+)
- SL: Sitios Lewis (Sustraen H-)

# FLUID CATALITIC CRAKING

- Proceso de transformación catalítica, de regeneración continua.
- Utilizado para mejorar corrientes de productos pesados de bajo valor como el VGO.
- Principalmente se produce gasolina y olefinas C3/C4, utilizadas luego en alquilación (mejoradores de RON)
- Gran desarrollo en catalizadores y diseño de reactores, han mejorado el producto para utilizar alimentaciones de residuo o para uso petroquímico

# FLUID CATALYTIC CRACKING



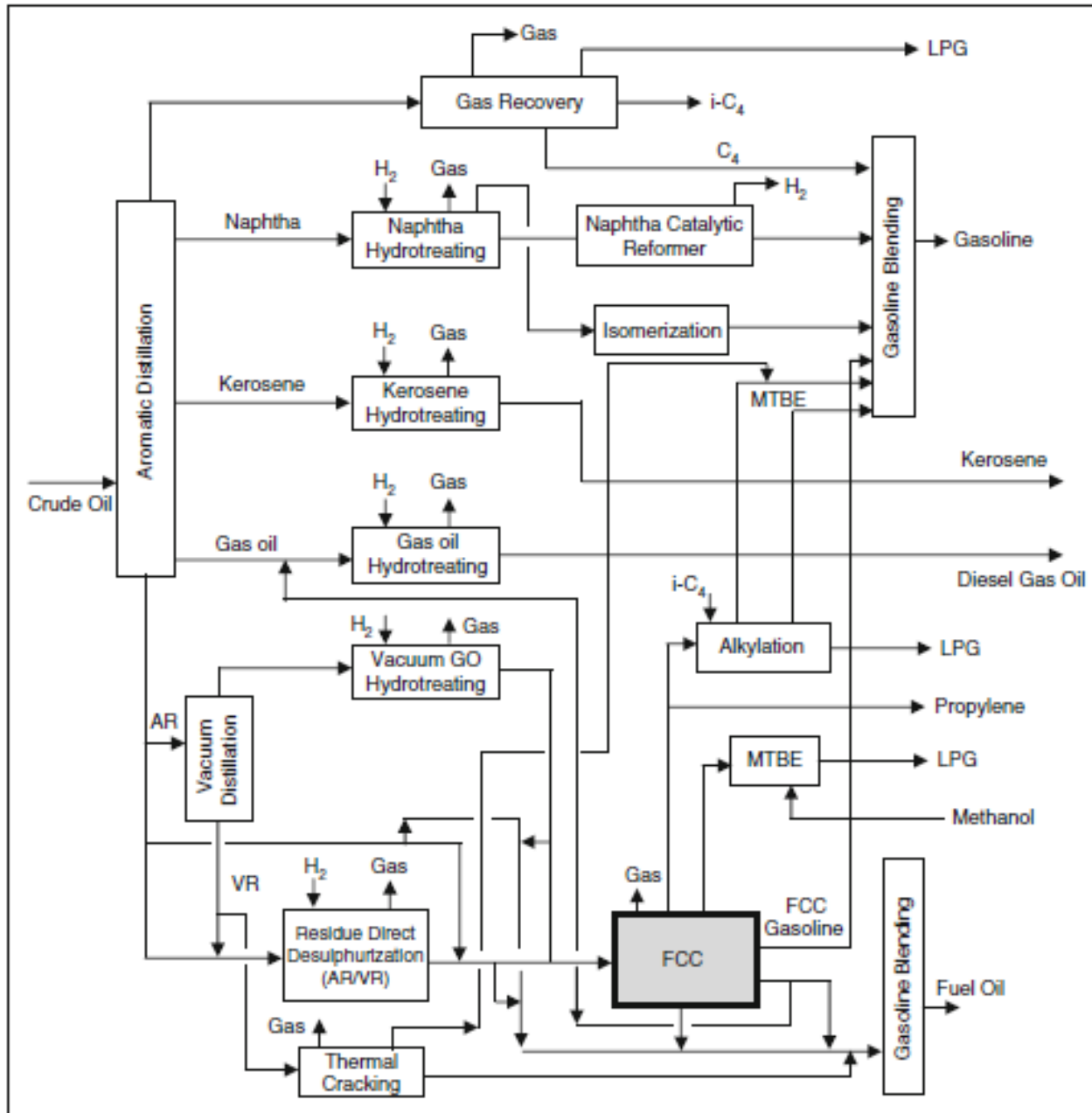


# FLUID CATALITIC CRAKING

- La reacción es en estado gaseoso a través de un lecho de catalizador sólido fluidizado.
- Los productos craqueados, se separan del sólido y son enviados a una columna de destilación para separación de sus productos.
- El catalizador agotado es regenerado quemando el coke depositado
- El calor de combustión producido es utilizado para mantener las reacciones endotérmicas necesarias

# IMPORTANCIA DEL FCC

- Las alimentaciones utilizadas deben encontrarse en niveles adecuados de impurezas.
- Se utiliza VGO Hidrotratado (HT VGO), Residuo Atmosférico Desulfurizado (ARDS)
- Puede ser alimentado con Residuos de Vacío (VR), se denomina RFCC
- Transforma alimentaciones pesadas desulfuradas por, craking en fracciones livianas de calidad de combustible.
- Pueden ser operadas para aumentar la producción de gasolina en detrimento de diesel



# FCC

# ALIMENTACIÓN Y PRODUCTOS

- Se utiliza principalmente gasoil de 316-516 °C (600-1050°F)
- Es una mezcla de P,N y Ar.
- La alimentación HIDROTRATADA, presenta dos limitantes:
  - Compuestos de residuo de Carbón Conradson (CCR)
  - Metales contaminantes
- CCR: Los depósitos de coke formados superan capacidad de regeneración del catalizador
- Organometales: desactivan y envenenan catalizador
- Nitrógeno: desactiva sitios ácidos, pero soportan 0.2%wt

# ALIMENTACIÓN Y PRODUCTOS

## PROPIEDADES DE CORRIENTES DE ALIMENTACIÓN

	Desulphurised vacuum gas oil	Atmospheric residue
Specific gravity (15/4 °C)	0.896	0.889
API	26.3	27.5
Gas oil fraction (GO), wt% (boiling point < 343 °C)	7	4
VGO fraction (VGO), wt% (boiling point 343–538 °C)	88.5	52.5
Vacuum residue fraction (VR), wt% (boiling point > 538 °C)	4.5	43.5
Conradson Carbon Residue (CCR), wt%	0.2	4.2
Sulphur, wt%	0.4	0.11
Nitrogen, wt%	0.064	0.19
Nickel (Ni), wppm	0.26	17
Vanadium (V), wppm	0.15	0.5

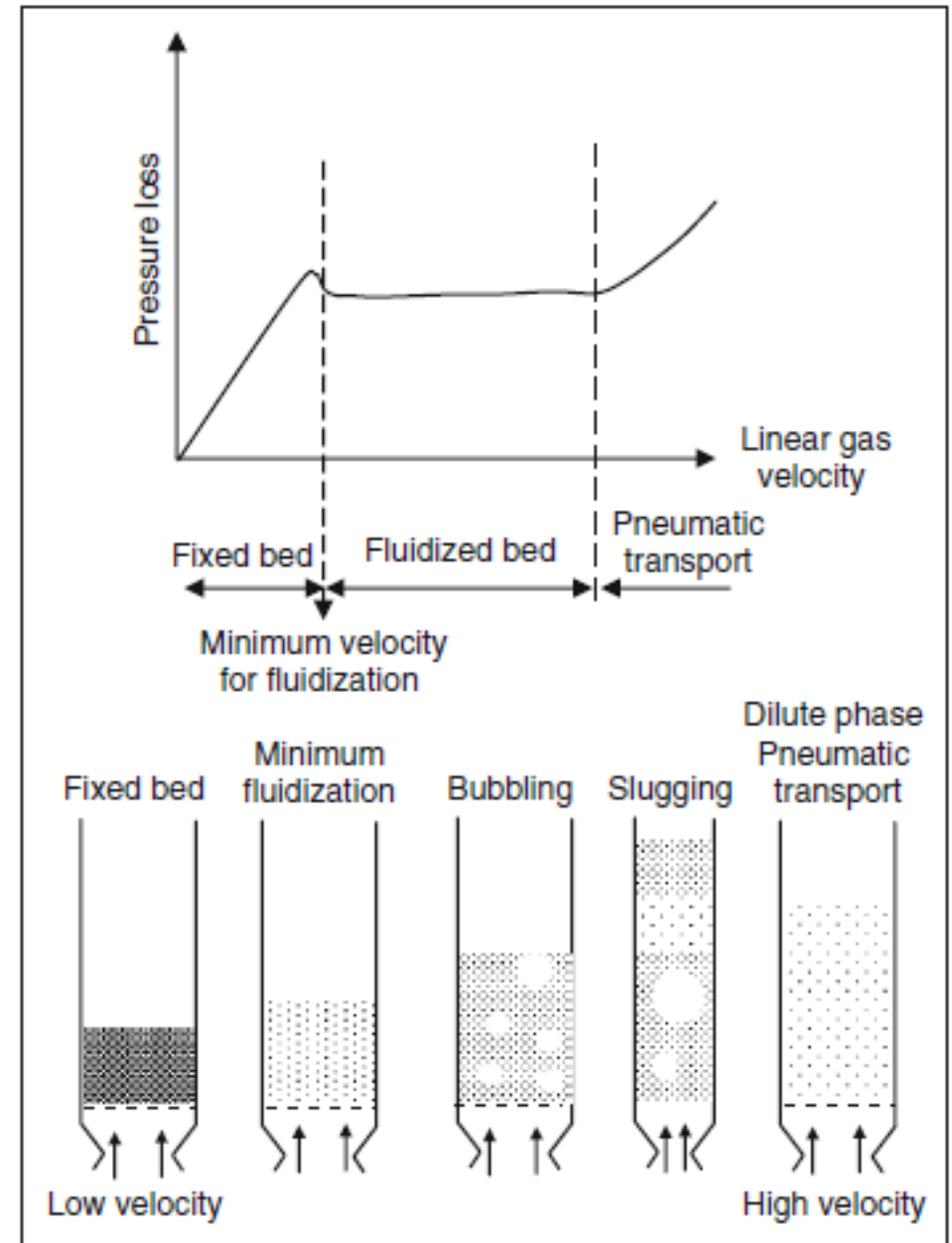
# ALIMENTACIÓN Y PRODUCTOS

## PROPIEDADES DE CORRIENTES DE PRODUCTO

Products	Characteristics	Yield (wt%)
Dry gas + H <sub>2</sub> S (C <sub>1</sub> + C <sub>2</sub> + C <sub>3</sub> + H <sub>2</sub> ) + H <sub>2</sub> S	H <sub>2</sub> S must be removed	3–5
LPG: C <sub>3</sub> , C <sub>3</sub> <sup>+</sup> , C <sub>4</sub> , C <sub>4</sub> <sup>+</sup>	Petrochemical feedstock	8–20
Gasoline	Main product, good octane number	35–60
Light cycle oil (LCO)	Rich in aromatics, high sulphur content, diluent for fuel	12–20
Heavy cycle oil (HCO) + slurry	Very rich in aromatics, slurry of solids, (mainly catalyst coke)	10–15
Coke	Consumed in regenerator	3–5

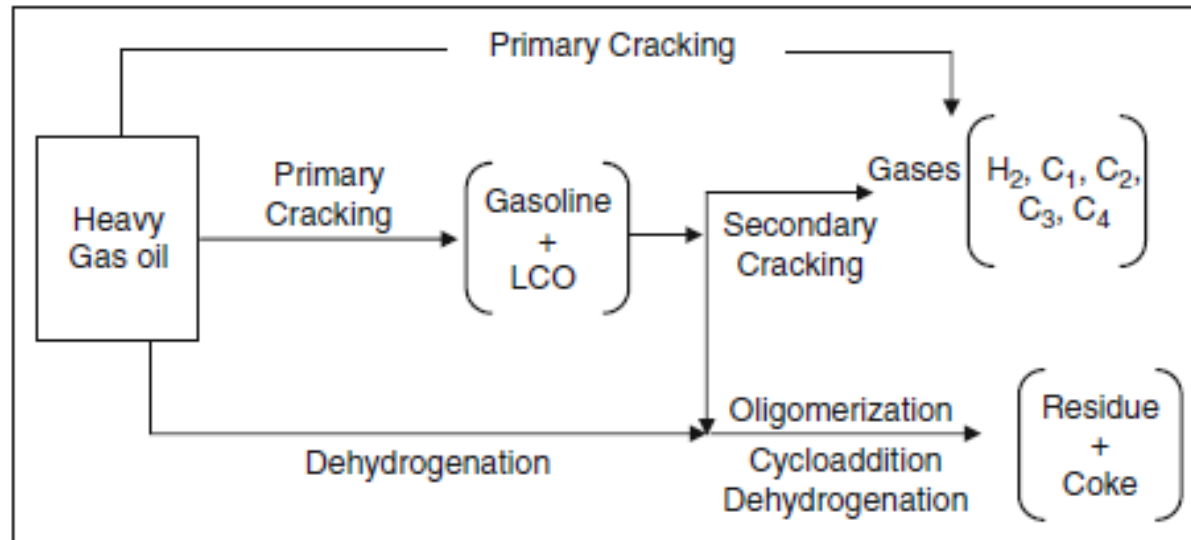
# FLUIDIZACIÓN

- TIPOS DE COMPORTAMIENTO DE LECHOS



# QUIMICA DEL FCC

## ESQUEMA DE REACCIONES INVOLUCRADAS

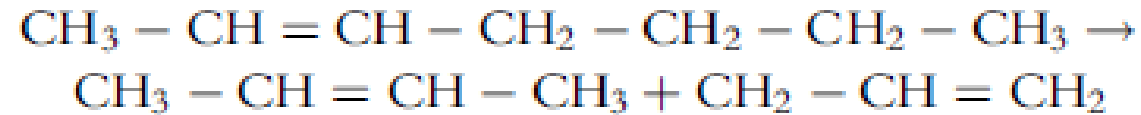


LCO (Ligth Ciclyc Oil)

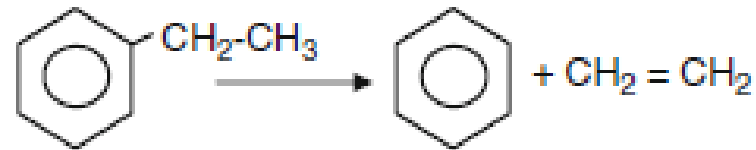


# QUIMICA DEL FCC-Reacciones deseadas

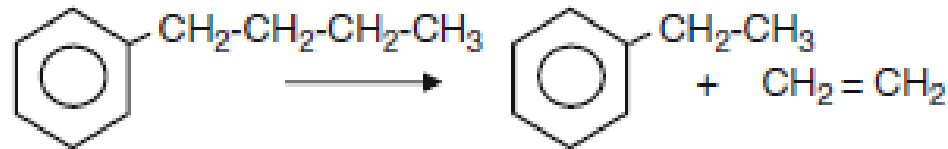
## 1. Olefins – smaller olefins



## 2. Alkylaromatics – Dealkylation



## 3. Alkylaromatics – Side chain cracking



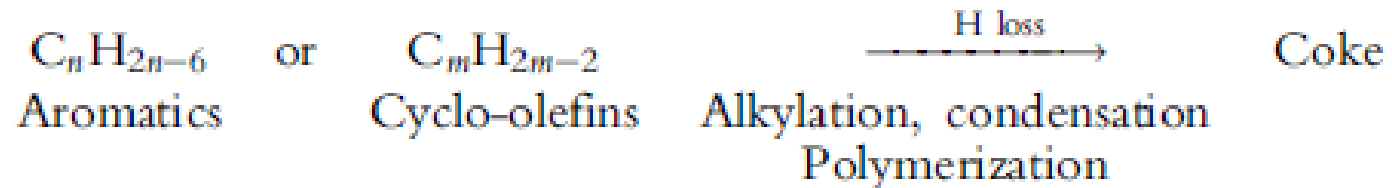
# QUIMICA DEL FCC-Reacciones no deseadas

## Transferencia de Hidrógeno



Se transfiere H<sub>2</sub>, transformando olefinas muy reactivas en parafinas estables o aromáticos

## Combinación de H en insaturaciones-formación de coke

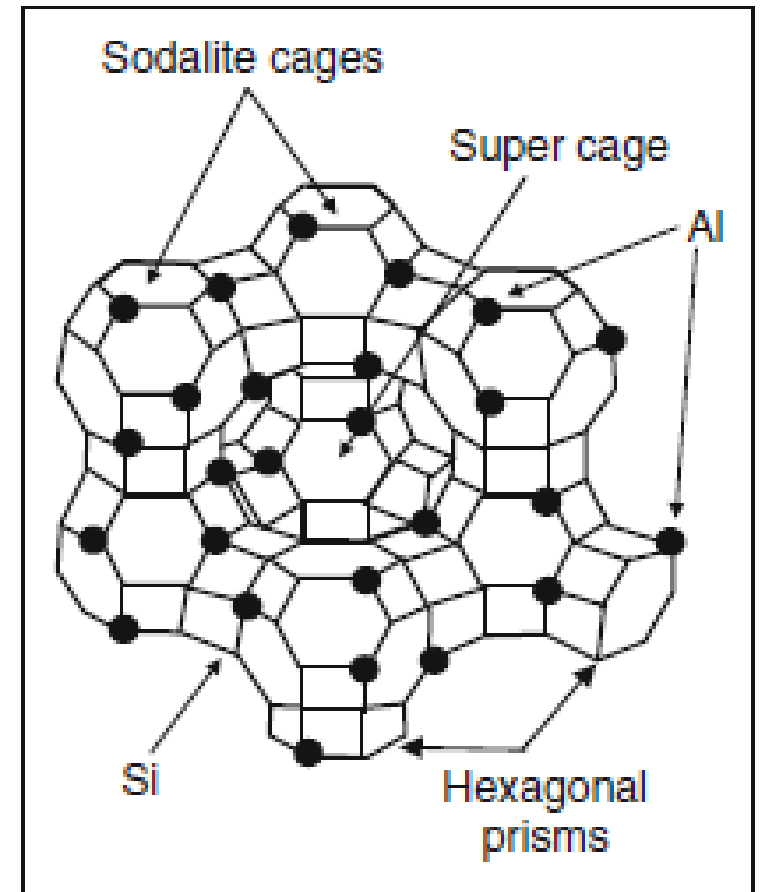


# RESUMEN DE REACCIONES INVOLUCRADAS

- Paraffins  
Thermal catalytic cracking  
Paraffin cracking → Paraffins + Olefins
- Olefins  
The following reaction can occur with olefins:  
Olefin cracking → LPG olefins  
Olefin cyclisation → Naphthenes  
Olefin isomerisation → Branched olefins + Branched paraffins  
Olefin H-transfer → Paraffins  
Olefin cyclisation → Coke
- Naphthenes  
Naphthene cracking → Olefins  
Naphthene dehydrogenation → Aromatics  
Naphthene isomerisation → Restructured naphthenes
- Aromatics  
Aromatics (side chain) → Aromatics + Olefins  
Aromatic transalkylation → Alkylaromatics  
Aromatic dehydrogenation → Polyaromatics → Coke

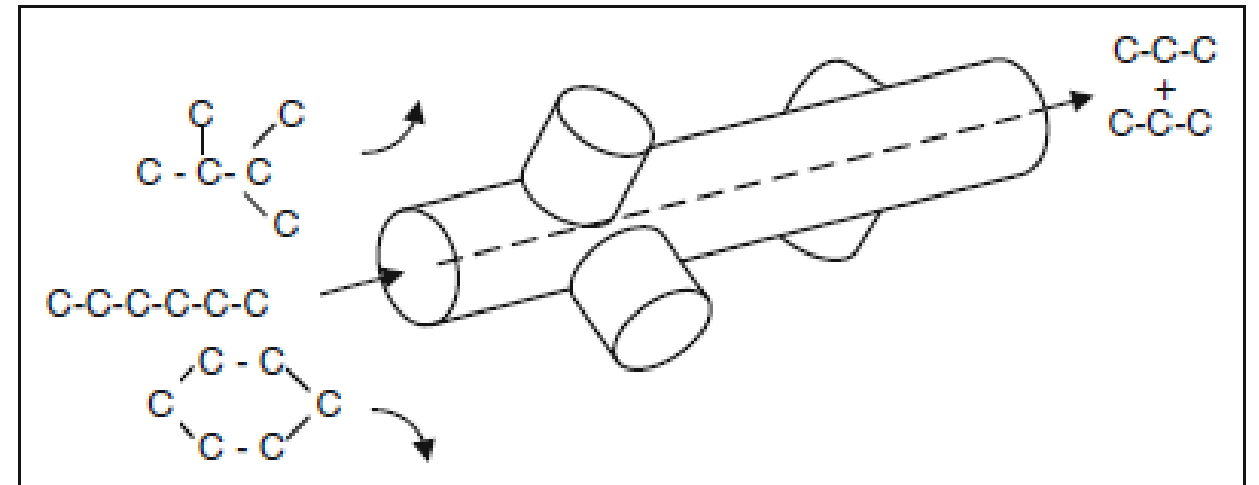
# CATÁLISIS

- Zeolita Tipo Y
- Utilizada en polvo 75 micrones
- Aproximadamente 800 m<sup>2</sup>/g
- Estructura cristalina de alúmino silicatos en matriz
- Mesoporos y microporos



# CATÁLISIS

- Zeolita tipo ZSM-5
- Se agrega al 5%
- Mejora rendimiento en RON
- Canales zigzag (ver video)
- Al incorporarse mezclas, aumentan conversión de olefinas de C3/C4

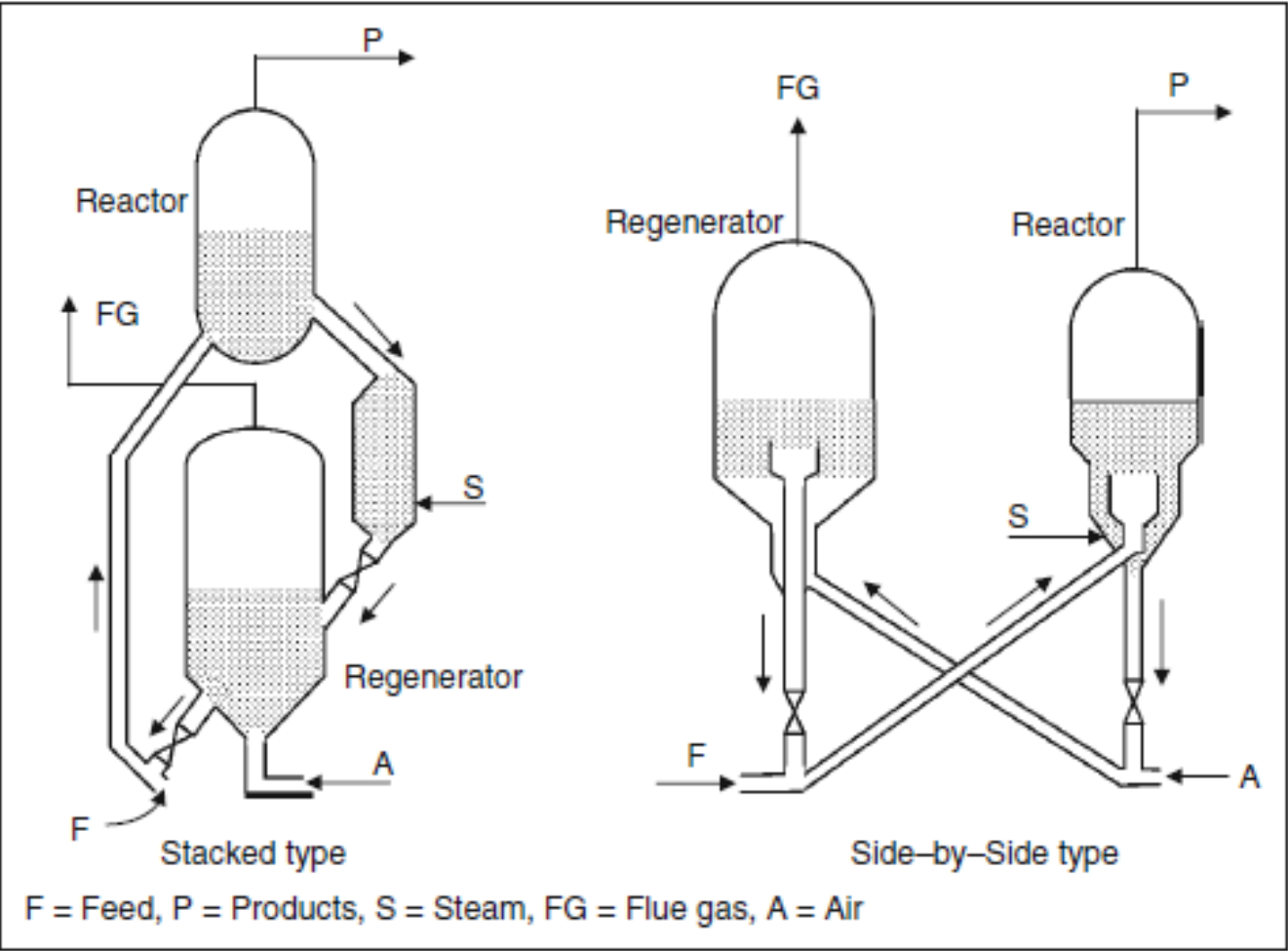


# CATÁLISIS-MATRICES

- a) AGLUTINANTE: Incorporado solamente para dar soporte a una red estructural más grande.
  
- b) RELLENO ESTRUCTURAL: Incorporado para dar estructura , se usan arcillas del tipo caolín, forma el esqueleto.
  
- c) METALES: Se incorpora para contribuir la oxidación completa del CO a CO<sub>2</sub> en el regenerador. Se adiciona una pequeña cantidad para fijar el SO<sub>x</sub> contaminante sobre el catalizador, no contaminando sitios activos y luego regenerado como SH<sub>2</sub>

# PROCESO DE FCC

## CONFIGURACIONES DE REACCIÓN



# DESCRIPCIÓN DEL PROCESO DE FCC

Vapor y VGO se calientan 316-427° C (600-800°F) y se envían al fondo del tubo de ingreso al reactor. Esta es la zona de reacción endotérmica y se llama RAISER, aquí se produce la fluidización.

El catalizador caliente regenerado, ingresa también desde el fondo a 650-760° C (1200-1400 °F)

La reacción transcurre entre 2 y 10 seg, desalojando por el tope del reactor, los gases hacia la torre fraccionadora y el catalizador y las fracciones pesadas, se separan en la zona de desacople

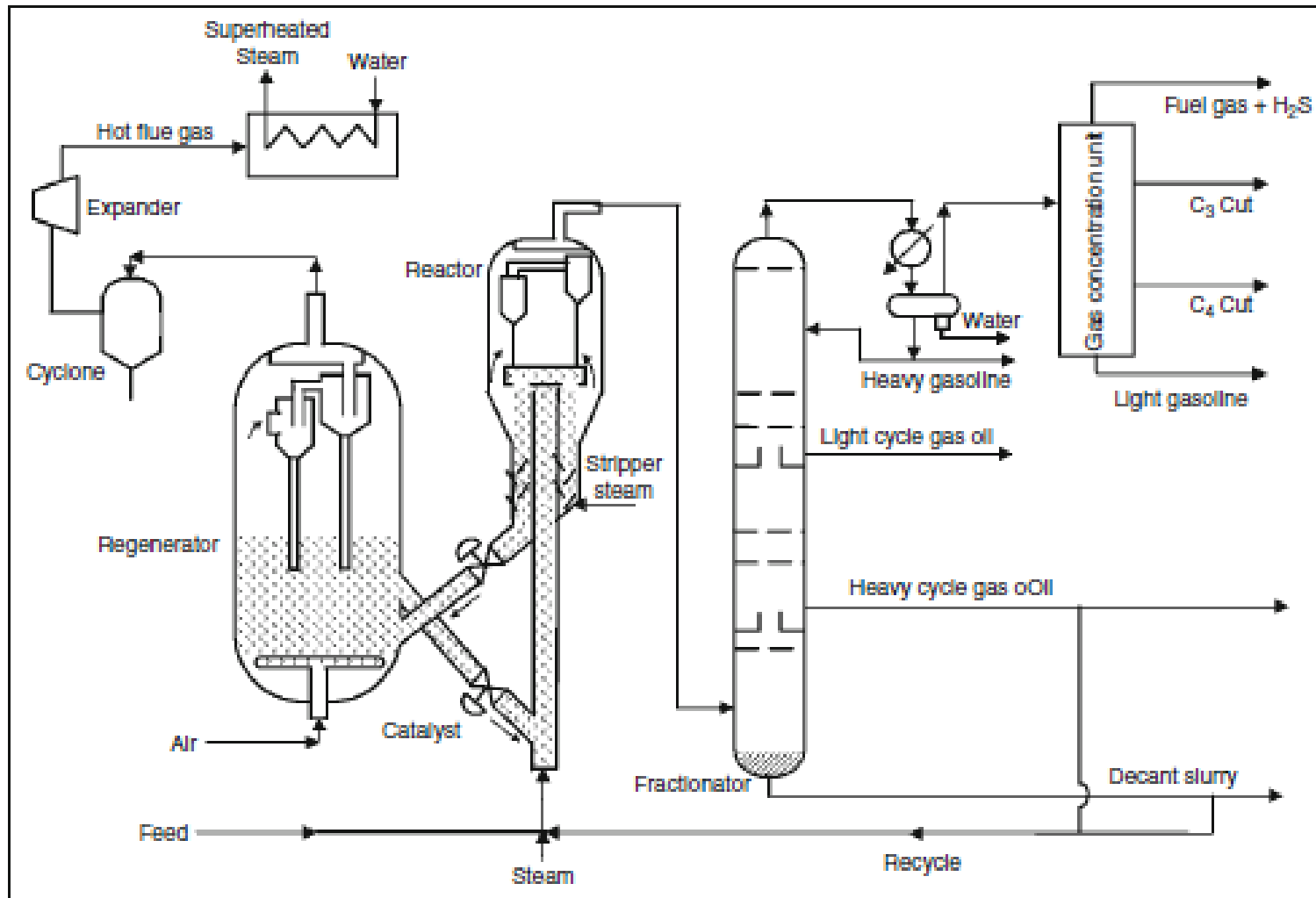
Se inyecta vapor en la zona de stripper y el líquido es removido del sólido con ayuda de los baffles instalados.

El catalizador agotado, es enviado al regenerador a 425-538° C (900-1000°F)

El coke depositado sobre el catalizador agotado, es quemado con aire en exceso, asegurando combustión eficiente. El gas caliente sale por el tope del regenerador

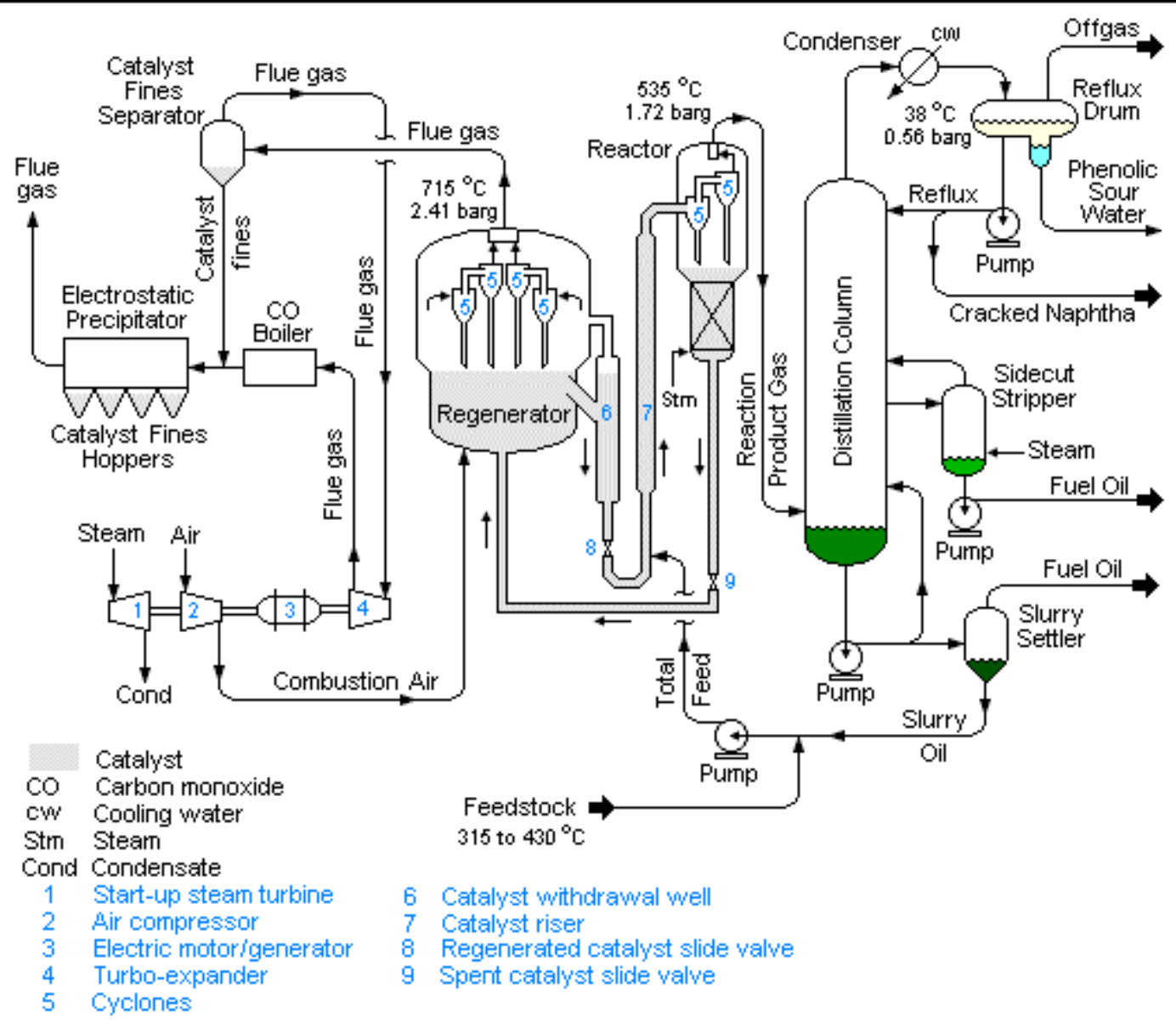


# FLOW SHEET - FCC



# DESCRIPCIÓN DE FCC

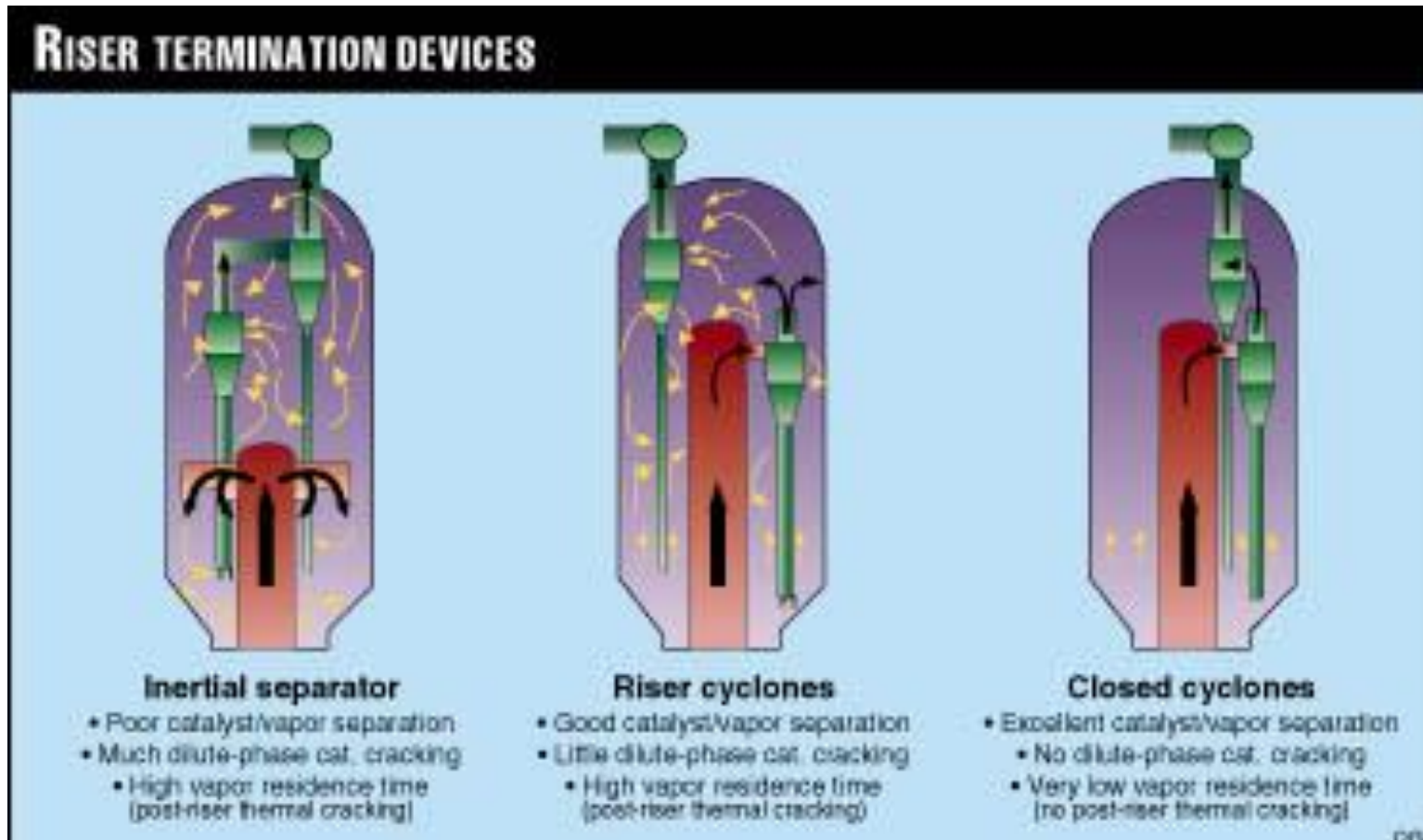
- El gas caliente se envía a unidad de producción de vapor sobre calentado, que se utiliza para calentar la reacción
- Los gases son enviados a una torre fraccionadora que separa gases livianos, gasolina pesada (principal), Light cycle oil (LCO), heavy Cycle Oil (HCO) y lodo decantado
- Gases se envían a Gas Concentrado (gas combustible, propano, butano, LPG y gasolina liviana)
- Los lodos son una mezcla de aromáticos pesados y polvos de catalizador. (se pueden filtrar y reciclar o usar como solvente aromático)



(PD) Milton Beychok

**Schematic flow diagram of a fluid catalytic cracking unit**

# Sistema de recuperación de polvos



# PROCESO Y OPERACIÓN

## Principales variables de proceso

### Variables Independientes

- Temperatura de Reacción
- Actividad del Catalizador (y tipo de catalizador)
- Uso de promotor de olefinas (ZSM5)
- Reciclos de GOP/GOD
- Puntos de cortes entre Productos
- Calidad de la carga
- Temperatura de precalentamiento

# MODOS DE FLUIDIZACIÓN

Location in FCC	Mode of fluidisation
Regenerator	Turbulent fluidisation: to attain uniform burning temperature in bed.
Line for catalyst transport from regenerator to riser	Bubbling fluidisation
Riser	Pneumatic transport: Catalyst and products are carried out from riser. Plug flow has a few seconds of residence time.
Stripper	Bubbling fluidisation: Steam is injected in the stripper to vaporise and recover heavy oil and reduce coke formation.
Lift line from regenerator to reactor	Pneumatic transport

# CORRELACIONES DE FCC

## DEFINICIÓN DE CONVERSIÓN

$$\text{CONV}\% = \left( \frac{\text{volume of oil feed} - \text{volume of cycle stock}}{\text{volume of oil feed}} \right) \times 100$$

Conversión se define como el porcentaje de alimentación convertido en productos livianos del rango de gasolina y rangos inferiores

El producto Cycle Stock, es la fracción no convertida en gasolina o equivalente

# CORRELACIONES DE FCC

- Correlaciones de Maples

Products	Correlation
Coke wt%	$0.05356 \times \text{CONV} - 0.18598 \times \text{API} + 5.966975$
LCO LV%	$0.0047 \times \text{CONV}^2 - 0.8564 \times \text{CONV} + 53.576$
Gases wt%	$0.0552 \times \text{CONV} + 0.597$
Gasoline LV%	$0.7754 \times \text{CONV} - 0.7778$
iC <sub>4</sub> LV%	$0.0007 \times \text{CONV}^2 + 0.0047 \times \text{CONV} + 1.40524$
nC <sub>4</sub> LV%	$0.0002 \times \text{CONV}^2 + 0.019 \times \text{CONV} + 0.0476$
C <sub>4</sub> <sup>+</sup> LV%	$0.0993 \times \text{CONV} - 0.1556$
C <sub>3</sub> LV%	$0.0436 \times \text{CONV} - 0.8714$
C <sub>3</sub> <sup>+</sup> LV%	$0.0003 \times \text{CONV}^2 + 0.0633 \times \text{CONV} + 0.0143$
HCO	$100 - \text{CONV} - (\text{LCO LV}\%)$
Wt% S in Gases	$3.9678 \times (\text{wt}\% \text{ S in feed}) + 0.2238$
Wt% S in LCO	$1.04994 \times (\text{wt}\% \text{ S in feed}) + 0.00013$
Wt% S in HCO	$1.88525 \times (\text{wt}\% \text{ S in feed}) + 0.0135$
S in Coke <sup>a</sup>	$\text{wt}\% \text{ S in feed} - \text{wt}\% \text{ S in gases} - \text{wt}\% \text{ S LCO} - \text{wt}\% \text{ S HCO}$
Gasoline API	$-0.19028 \times \text{CONV} + 0.02772 \times (\text{Gasoline LV}\%) + 64.08$
LCO API	$-0.34661 \times \text{CONV} + 1.725715 \times (\text{Feed API})$

<sup>a</sup> Assuming no sulphur in gasoline



# BALANCES

Una corriente de alimentación de 20.000 BPD ( $q_1$ ) de AGO (650-850°F) API 24 y S 0.2%wt se mezcla con otra de 15.000 BPD ( $q_2$ ) de VGO (850-1050°F) API 15 y S 0.35%wt. Se usan para alimentar la unidad de FCC. Use las correlaciones para realizar el balance de materia en la unidad de reacción. Asuma conversión 75% LV

# Ejemplo

- SG AGO=0.9099 y SG = 0.9659 de despejar de fórmula API
- Caudal másico AGO = 265.000 lb/h
- Caudal másico VGO = 211.250 lb/h
- Caudal másico total de mezcla = 476.250 lb/h
- S AGO = 530 lb/h
- S VGO = 739 lb/h
- S en alimentación = 0.266 % wt
- Conversión 75%
- Cycle stoc = porción sin convertir hasta gasolina (LCG+HCGO)=25%

# BALANCE DE COMPONENTES

- SG de mezcla =  $(q_1/(q_1+q_2)) \times SG_1 + (q_2/(q_1+q_2)) \times SG_2$
- SG feed = 0.9339
- API feed = 20.02

		lb/h
Coke wt%	6.3	30,004
LCO LV%	15.8	81,337
Gases wt%	4.7	22,574
Gasoline LV%	57.4	226,816
iC <sub>4</sub> LV%	5.7	16,375
nC <sub>4</sub> LV%	2.6	7735
C <sub>4</sub> <sup>-</sup> LV%	7.3	22,356
C <sub>3</sub> LV%	2.4	6230
C <sub>3</sub> <sup>-</sup> LV%	6.4	16,987
HGO wt%	9.7	46,027
S in H <sub>2</sub> S wt%	1.28	289
S in LCO wt%	0.278	226
S in HCO wt%	0.515	237
S in Coke wt%	1.734	517
Gasoline API	51.4	
LCO API	8.5	