



A importância dos elementos Terras Raras para os catalisadores de craqueamento

---

La importancia de los elementos Tierras Raras para los catalizadores de craqueo

---

## INTRODUÇÃO: O CATALISADOR DE FCC.

### História do processo de FCC

O processo de Craqueamento Catalítico Fluido (FCC) é sem dúvida o coração da refinaria e pode ser considerado um dos mais importantes processos da Indústria Química. Este processo converte resíduos atmosféricos pesados e destilados de vácuo em frações mais valorizadas tais como gasolina, diesel, querosene e GLP.

No início do século 19, as lâmpadas para iluminação interna muitas vezes utilizavam óleo de baleia como combustível. Iluminantes à base de petróleo tais como lampiões começaram a substituir o óleo de baleia em torno de 1850, dando origem a uma indústria emergente que produzia querosene a partir do refino de óleo cru. Por volta do fim do século a indústria automotiva, em crescimento, propiciou um uso alternativo a frações leves de petróleo, prin-

cipalmente gasolina. Logo o fornecimento de gasolina de destilação direta como combustível para motores automotivos se tornou insuficiente. Por esta razão, a indústria do petróleo começou a buscar processos alternativos objetivando aumentar a produção de frações mais leves. Este fato foi a força motriz para o primeiro processo de craqueamento, o Craqueamento Térmico<sup>1</sup>. O processo de craqueamento térmico (também conhecido como "processo de craqueamento Shukhov") foi inventado pelo engenheiro russo Vladimir Shukhov e patentado em 1891 no Império Russo, patente nº 12926, em 27 de Novembro de 1891. Mais tarde, este processo foi modificado pelo engenheiro americano William Merriam Burton e patentado como patente norte-americana U.S. 1.049.667 em 8 de junho de 1908.

## INTRODUCCIÓN: EL CATALIZADOR DE FCC.

### Historia del proceso de FCC

El proceso de Craqueo Catalítico Fluido (FCC) es sin duda el corazón de la refinería y puede ser considerado uno de los más importantes procesos de la Industria Química. Este proceso convierte residuos atmosféricos pesados y destilados de vacío en fracciones más valoradas tales como gasolina, diesel, queroseno y GLP.

Al inicio del siglo 19, las lámparas para iluminación interna muchas veces utilizaban aceite de ballena como combustible. Iluminantes a base de petróleo tales como lampiones comenzaron a sustituir el aceite de ballena en torno a 1850, dando origen a una industria emergente que producía queroseno a partir del refino de aceite crudo. Alrededor del fin del siglo la industria automotiva, en crecimiento, propició un uso alternativo a fracciones ligeras

de petróleo, principalmente gasolina. Luego el suministro de gasolina de destilación directa como combustible para motores automotivos se volvió insuficiente. Por esta razón, la industria del petróleo empezó a buscar procesos alternativos objetivando aumentar la producción de fracciones más ligeras. Este hecho fue la fuerza motriz para el primer proceso de craqueo, el Craqueo Térmico<sup>1</sup>. El proceso de craqueo térmico (también conocido como "proceso de craqueo Shukhov") fue inventado por el ingeniero ruso Vladimir Shukhov y patentado en 1891 en el Imperio Ruso, patente nº 12926, el 27 de noviembre de 1891. Más tarde, este proceso fue modificado por el ingeniero estadounidense William Merriam Burton y patentado como patente norteamericana U.S. 1.049.667 el 8 de junio de 1908.

À medida que motores mais novos e mais potentes foram sendo desenvolvidos, foi exigida gasolina de mais alta octanagem. Além disso, motores de avião necessitavam de combustível com índices de octanas próximos de 100. Tais características não poderiam ser obtidas através do processo tradicional de craqueamento térmico. Portanto, a descoberta de um processo de craqueamento mais eficiente, pelo engenheiro francês Eugene Houdry<sup>2</sup> nos anos 1920, permitiu que as refinarias produzissem gasolina de octanagem mais elevada, permitindo igualmente um aumento no fornecimento da mesma. Este processo foi denominado Craqueamento Catalítico (conhecido como "craqueamento catalítico de leito fixo de Houdry"), já que reações de craqueamento eram promovidas por um catalisador sólido<sup>3</sup>. O processo compreendia vários reatores separados atuando como um processo cíclico, ou melhor, enquanto em alguns reatores ocorria craqueamento, em outros o catalisador sofria regeneração por queima de coque com ar. O conceito de craqueamento térmico foi aperfeiçoado adicionalmente pelo Craqueamento Catalítico Thermofor da Mobil (TCC), no qual um leito móvel de catalisador com um macrocatalisador (esferas com diâmetro de 1,5-2mm) era usado. O sistema de leito móvel aumentou o rendimento de gasolina em 15% em relação ao sistema de leito fixo.

O conhecimento sobre leitos fluidizados junto com a preparação de catalisador em partículas finas foi a base para o desenvolvimento do processo de Craqueamento Catalítico Fluido (FCC)<sup>5,6</sup>. O uso de partículas pequenas oferecia vantagens em termos de transferência de calor e difusão de massa em relação às grandes pelotas de catalisador usadas tanto em leito fixo como

A medida que motores más nuevos y más potentes fueron siendo desarrollados, fue exigida gasolina de octanaje más alto. Además de eso, motores de avión necesitaban combustible con índices de octanas próximos de 100. Tales características no podrían ser obtenidas a través del proceso tradicional de craqueo térmico. Por lo tanto, el descubrimiento de un proceso de craqueo más eficiente, por el ingeniero francés Eugene Houdry<sup>2</sup> en los años 1920, permitió que las refinarias produjesen gasolina de octanaje más elevado, permitiendo igualmente un aumento en el suministro de la misma. Este proceso fue denominado Craqueo Catalítico (conocido como "craqueo catalítico de lecho fijo de Houdry"), ya que reacciones de craqueo eran promovidas por un catalizador sólido<sup>3</sup>. El proceso comprendía varios reactores separados actuando como un proceso cíclico, o mejor, mientras que en algunos reactores ocurría craqueo, en otros el catalizador sufría regeneración por quema de coque con aire. El concepto de craqueo térmico fue perfeccionado adicionalmente por el Craqueo Catalítico Thermofor de Mobil (TCC), en el cual un lecho móvil de catalizador con un macrocatalizador (esferas con diámetro de 1,5-2mm) era usado. El sistema de lecho móvil aumentó el rendimiento de gasolina en 15% en relación al sistema de lecho fijo.

El conocimiento sobre lechos fluidizados junto con la preparación de catalizador en partículas finas fue la base para el desarrollo del proceso de Craqueo Catalítico Fluido (FCC)<sup>5,6</sup>. El uso de partículas pequeñas ofrecía ventajas en términos de transferencia de calor y difusión de masa en relación a las grandes pelotas de catalizador usadas tanto en lecho fijo como

2. American Chemical Society National Historic Chemical Landmarks. The Houdry Process for Catalytic Cracking. <http://portal.acs.org/portal/PublicWebSite/education/whatischemistry/landmarks/houdry/index.htm> (accessed April 27, 2013).

5. A. Avidan, M. Edwards and H. Owen Oil & Gas Journal, 1990, 88 (2).

6. J. Scherzer . Octane-enhancing Zeolitic FCC Catalysts: Scientific and Technical Aspects. CRC Press. 1990, ISBN 0-8247-8399-9.

em TCC. A primeira unidade de FCC iniciou em Maio de 1942, na refinaria da Standard Oil de New Jersey em Baton Rouge, Louisiana. A enorme demanda por combustíveis para motor e aviação devida à 2ª Guerra Mundial ajudou a estabelecer este processo. Na verdade, entre 1942 e 1945, 34 novas unidades foram postas em andamento.

O aperfeiçoamento da tecnologia de FCC foi efetuado através de vários tipos de reatores. De fato, o primeiro foi um reator de fluxo ascendente Modelo I FCC, seguido pelo reator de fluxo descendente Modelo II FCC. Foram igualmente desenvolvidos o projeto de reator empilhado, Esso modelo 4 e o riser reto. Por fim, o projeto side-by-side com riser reto, melhor para unidades grandes, foi comercializado em 1950.

## O CATALISADOR DE FCC

O primeiro uso comercial de craqueamento catalítico ocorreu em 1915 quando A. M. McAfee desenvolveu um processo em batelada usando cloreto de alumínio (que era um catalisador tradicional de Friedel Crafts conhecido desde 1877) para promover o craqueamento de petróleo pesados. No entanto, o custo proibitivo do catalisador impediu o uso generalizado do processo de McAfee na época.

Os catalisadores para craqueamento são historicamente subdivididos nos seguintes três grupos principais:

- Catalisadores Naturais – argilas, como bentonita ou montmorillonita, eram submetidas a tratamento ácido para remover Na e Mg e aumentar sua acidez;

em TCC. La primera unidad de FCC empezó en mayo de 1942, en la refinaria de Standard Oil de New Jersey en Baton Rouge, Louisiana. La enorme demanda por combustibles para motor y aviación debido a la 2ª Guerra Mundial ayudó a establecer este proceso. En verdad, entre 1942 y 1945, 34 nuevas unidades fueron puestas en marcha.

El perfeccionamiento de la tecnología de FCC fue efectuado a través de varios tipos de reactores. De hecho, el primero fue un reactor de flujo ascendente Modelo I FCC, seguido por el reactor de flujo descendente Modelo II FCC. Fueron igualmente desarrollados el proyecto de reactor empilhado, Ese modelo 4 y el riser recto. Por fin, el proyecto side-by-side con riser recto, mejor para unidades grandes, fue comercializado en 1950.

## EL CATALISADOR DE FCC

El primer uso comercial de craqueo catalítico ocurrió en 1915 cuando A. M. McAfee desarrolló un proceso en batelada usando cloruro de aluminio (que era un catalizador tradicional de Friedel Crafts conocido desde 1877) para promover el craqueo de petróleo pesados. Sin embargo, el coste prohibitivo del catalizador impidió el uso generalizado del proceso de McAfee en esa época.

Los catalisadores para craqueo son históricamente subdivididos en los tres siguientes principales grupos:

- Catalisadores Naturales – arcillas, como bentonita o montmorillonita, eran sometidas a tratamiento ácido para remover Na y Mg y aumentar su acidez;

- Catalisadores amorfos – estes eram géis de sílica e alumina, resultantes da reação de  $\text{Na}_2\text{SiO}_3$  e  $\text{Al}_2(\text{SO}_4)_3$ . Havia dois tipos desses catalisadores, baixa alumina (10 a 15% de  $\text{Al}_2\text{O}_3$ ) e alta alumina (20 a 30% de  $\text{Al}_2\text{O}_3$ );
  - Catalisadores cristalinos – Microesferas (40-150  $\mu\text{m}$ ), tendo como componente principal uma zeólita cristalina.
- Catalizadores amorfos – estos eran geles de sílica y alúmina, resultantes de la reacción de  $\text{Na}_2\text{SiO}_3$  y  $\text{Al}_2(\text{SO}_4)_3$ . Había dos tipos de esos catalizadores, baja alúmina (10 a 15% de  $\text{Al}_2\text{O}_3$ ) y alta alúmina (20 a 30% de  $\text{Al}_2\text{O}_3$ );
  - Catalizadores cristalinos – Microesferas (40-150  $\mu\text{m}$ ), teniendo como componente principal una zeólita cristalina.

Na realidade, Houdry foi o primeiro a usar as bentonitas tratadas com ácido como catalisadores de craqueamento, já em 1936. Nos anos 1940, catalisadores de sílica alumina foram sintetizados e aperfeiçoaram grandemente o desempenho de catalisadores à base de argila. Os primeiros catalisadores sintéticos amorfos de sílica-alumina continham cerca de 13% em peso de  $\text{Al}_2\text{O}_3$  (baixa alumina), no entanto, em 1955, o teor de  $\text{Al}_2\text{O}_3$  tinha sido elevado para cerca de 25%.

Em 1962 ocorreu a inovação catalítica mais importante do processo de FCC, quando um componente, conhecido como Zeólita-Y, foi adicionado ao catalisador ativo de alumina. Foi

En realidad, Houdry fue el primero a usar las bentonitas tratadas con ácido como catalizadores de craqueo, ya en 1936. En los años 1940, catalizadores de sílica-alúmina fueron sintetizados y perfeccionaron grandemente el desempeño de catalizadores a base de arcilla. Los primeros catalizadores sintéticos amorfos de sílica-alúmina contenían cerca de 13% en peso de  $\text{Al}_2\text{O}_3$  (baja alúmina), sin embargo, en 1955, el tenor de  $\text{Al}_2\text{O}_3$  había sido elevado para cerca del 25%.

En 1962 ocurrió la innovación catalítica más importante del proceso de FCC, cuando un componente, conocido como Zeolita-Y, fue adicionado al catalizador activo de alúmina.

verificado que através da adição de pequenas proporções de zeólita na matriz do catalisador antigo de sílica-alumina, havia sido produzido um novo catalisador. Esse catalisador tinha um desempenho excelente, muito melhor do que qualquer catalisador anterior. O catalisador zeolítico melhorou muito o rendimento em gasolina (Tabela 1). Os primeiros catalisadores zeolíticos comerciais foram introduzidos em 1964, e os catalisadores zeolíticos continuam a ser usados atualmente.

No entanto, deve-se ter em mente que a gasolina produzida via os catalisadores zeolíticos originais tinha um Número de Octanas (RON) mais baixo. Isto foi correlacionado posteriormente com o fato de que zeólitas, tendo uma densidade muito elevada em sítios ácidos, estavam aumentando a Reação de Transferência de Hidrogênio (HTR) como descrito abaixo<sup>7</sup>.

**3 Olefinas + Nafteno → Aromático + 3 Parafinas**

Fue verificado que a través de la adición de pequeñas proporciones de zeolita en la matriz del catalizador antiguo de sílica-alúmina, había sido producido un nuevo catalizador. Ese catalizador tenía un desempeño excelente, mucho mejor que el de cualquier catalizador anterior. El catalizador zeolítico mejoró mucho el rendimiento en gasolina (Tabla 1). Los primeros catalizadores zeolíticos comerciales fueron introducidos en 1964, y los catalizadores zeolíticos continúan siendo usados actualmente.

Sin embargo, se debe tener en mente que la gasolina producida vía los catalizadores zeolíticos originales tenía un Número de Octanas (RON) más bajo. Esto fue correlacionado posteriormente con el hecho de que zeolitas, teniendo una densidad muy elevada en sitios ácidos, estaban aumentando la Reacción de Transferencia de Hidrógeno (HTR) como descrito abajo<sup>7</sup>.

**3 Olefinas + Nafteno → Aromático + 3 Parafinas**

7. U. Sedran. Catal. Rev. Sci. Eng., 1994, 36, 405-431

**TABELA 1 // TABLA 1**

Principais características dos primeiros catalisadores contendo zeólitas  
Principales características de los primeros catalizadores conteniendo zeolitas

Tipo	Característica Principal
COQUE	Catalisadores zeolíticos reduziram a formação de coque Catalizadores zeolíticos redujeron la formación de coque
GASOLINA	Catalisadores zeolíticos aumentaram o rendimento em gasolina Catalizadores zeolíticos aumentaron el rendimiento en gasolina
RON	Catalisadores zeolíticos reduziram RON devido a HTR mais elevada Catalizadores zeolíticos redujeron RON debido a HTR más elevada

Essa reação é prejudicial à qualidade da gasolina quando se trata de RON. Por esta razão as zeólitas sofreram vários tipos de modificações visando reduzir transferência de hidrogênio, aumentando assim o RON da gasolina.

## OS CATALISADORES DE FCC ATUAIS

Embora um elevado número de formulações possa ser encontrado atualmente quando se trata de catalisadores de FCC, para qualquer formulação os componentes do catalisador podem ser classificados como segue<sup>8</sup>:

- [a] COMPONENTE ATIVO – responsável pela maior parte da atividade do catalisador, constituído em geral por faujasitas (ou zeólitas-Y). Atualmente, outra zeólita tem sido usada (ZSM-5).
- [b] MATRIZES – elas promovem conversão de fundos, aumentando a atividade global do catalisador. Elas precisam ter certa tolerância a Ni e V, a compostos nitrogenados e, quando possível promover efeitos DESOX. Elas também devem ter propriedades ligantes.
- Matriz ativa – normalmente, a matriz ativa é uma alumina<sup>9</sup>, que é ácida, embora menos ácida do que a zeólita, e por outro lado, aluminas têm poros muito maiores do que a zeólita, portanto elas promovem o pré-craqueamento de moléculas mais pesadas;
  - Matriz inerte – normalmente, a matriz inerte é uma argila, como caulim, sendo usada para conferir propriedades físicas;
  - Matriz sintética – a matriz sintética é na realidade um ligante que mantém todos os outros componentes ligados no catalisador final.
- [c] INGREDIENTES FUNCIONAIS – ingredientes adicionados ao catalisador para desempenhar uma função específica (isto é, traps para capturar compostos de Vanádio).

Esta reacción es perjudicial a la calidad de la gasolina cuando se trata de RON. Por esta razón las zeolitas sufrieron varios tipos de modificaciones con el objetivo de reducir la transferencia de hidrógeno, aumentando así el RON de la gasolina.

## LOS CATALIZADORES DE FCC ACTUALES

Aunque un elevado número de formulaciones pueda ser encontrado actualmente cuando se trata de catalizadores de FCC, para cualquier formulación los componentes del catalizador pueden ser clasificados como abajo<sup>8</sup>:

- [a] COMPONENTE ACTIVO – responsable por la mayor parte de la actividad del catalizador, constituido en general por faujasitas (o zeolitas-Y). Actualmente, otra zeolita ha sido usada (ZSM-5).
- [b] MATRICES – estas promueven conversión de fondos, aumentando la actividad global del catalizador. Necesitan tener cierta tolerancia a Ni y V, a compuestos nitrogenados y, cuando posible promover efectos DESOX. También deben tener propiedades ligantes.
- Matriz activa – normalmente, la matriz activa es una alúmina<sup>9</sup>, que es ácida, aunque menos ácida que la zeolita, y por otro lado, alúminas tienen poros mucho mayores que la zeolita, por lo tanto estas promueven el pre craqueo de moléculas más pesadas;
  - Matriz inerte – normalmente, la matriz inerte es una arcilla, como caolín, siendo usada para conferir propiedades físicas;
  - Matriz sintética – la matriz sintética es en realidad un ligante que mantiene todos los otros componentes ligados en el catalizador final.
- [c] INGREDIENTES FUNCIONALES ingredientes adicionados al catalizador para desempeñar una función específica (esto es, trampas para capturar compuestos de Vanadio).

8. P.B. Venuto and E.T. Habib (1979). Fluid Catalytic Cracking with Zeólita Catalysts. New York, NY: Marcel Dekker.

9. S. Al-Khattaf, Energy & Fuels 2003, 17, 62-68.

Os catalisadores de FCC estão em constante modificação, novos catalisadores comerciais sendo entregues ao mercado a cada seis meses ou menos. Na verdade, novas formulações estão sendo desenvolvidas constantemente, objetivando:

- Desfavorecer a formação de coque;
- Promover a conversão de fundos;
- Apresentar alta resistência a metais (V, Ni e Fe);
- Exibir desempenho excelente em termos de octanas, já que compostos contendo chumbo não podem mais ser usados.

## A PREPARAÇÃO DE CATALISADORES DE FCC

Como mencionado anteriormente, os catalisadores de FCC são espécies multicomponentes, cuja preparação não é trivial. O tipo de componente usado, os ingredientes usados na preparação dos mesmos, a ordem de adição destes ingredientes e como eles respondem à calcinação sob vapor determinarão as características finais do catalisador. Embora diferentes tecnologias possam ter diferentes etapas na preparação do catalisador, as etapas convencionais podem ser didaticamente divididas em:

- a) Preparação da Zeólita;
- b) Modificações da Zeólita;
- c) Formação da Partícula (por secagem por atomização ou spray drying);
- d) Troca Iônica;
- e) Lavagem;
- f) Secagem;
- g) Calcinação.

Los catalizadores de FCC están en constante modificación, nuevos catalizadores comerciales siendo entregados al mercado a cada seis meses o menos. En verdad, nuevas formulaciones están siendo desarrolladas constantemente, objetivando:

- Desfavorecer la formación de coque;
- Promover la conversión de fondos;
- Presentar alta resistencia a metales (V, Ni y Fe);
- Exibir desempeño excelente en términos de octanas, ya que compuestos conteniendo plomo no pueden más ser usados.

## LA PREPARACIÓN DE CATALIZADORES DE FCC

Como mencionado anteriormente, los catalizadores de FCC son especies multicomponentes, cuya preparación no es trivial. El tipo de componente usado, los ingredientes usados en la preparación de los mismos, el orden de adición de estos ingredientes y como responden a la calcinación bajo vapor determinarán las características finales del catalizador. Aunque diferentes tecnologías puedan tener diferentes etapas en la preparación del catalizador, las etapas convencionales pueden ser didácticamente divididas en:

- a) Preparación de la Zeolita;
- b) Modificaciones de la Zeolita;
- c) Formación de la Partícula (por secado por atomización o spray drying);
- d) Intercambio Iónico;
- e) Lavado;
- f) Secado;
- g) Calcinación



Na verdade, a partícula de catalisador de FCC é muito similar a uma partícula de concreto. O concreto é um material de construção composto primariamente de brita, cimento e areia, cujos tamanhos relativos são 15, 250 e 5000. Em relação à partícula de catalisador, tem-se um ligante, alumina e zeólita/argila, que têm aproximadamente os mesmos tamanhos relativos (Figura 1), formando uma partícula de dureza considerável.

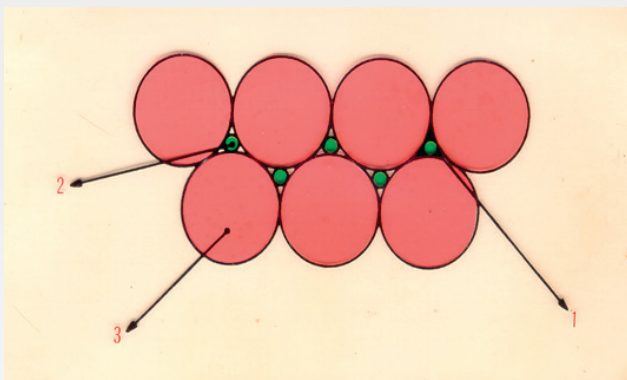
Como demonstrado na Figura 2, os diferentes componentes, isto é, a alumina, a zeólita e a argila são basicamente pós que têm diferentes tamanhos médios de partícula. Eles são em geral colocados em suspensão em um frasco, junto com o ligante, em geral produzido in situ. Após efetuar a suspensão de todos os componentes, é preciso formar a partícula de catalisador. A formação da partícula requer o uso de uma tecnologia qualquer de formação de partícula. Normalmente, é escolhida a secagem por atomização ou *spray drying* já que ela pode prover o produtor com uma distribuição relativamente estreita de tamanho de partícula e boa resistência ao atrito, que é uma das

En verdad, la partícula de catalisador de FCC es muy similar a una partícula de concreto. El concreto es un material de construcción compuesto primariamente de grava, cemento y arena, cuyos tamaños relativos son 15, 250 y 5000. En relación a la partícula de catalisador, se tiene un ligante, alúmina y zeolita/arcilla, que tienen aproximadamente los mismos tamaños relativos (Figura 1), formando una partícula de considerable dureza.

Como demostrado en la Figura 2, los diferentes componentes, isto é, la alúmina, la zeolita y la arcilla son básicamente polvos que tienen diferentes tamaños medios de partícula. Estos son en general colocados en suspensión en un frasco, junto con el ligante, en general producido in situ. Después de efectuar la suspensión de todos los componentes, es necesario formar la partícula de catalisador. La formación de la partícula requiere el uso de una tecnología cualquiera de formación de partícula. Normalmente, es escogido el secado por atomización o *spray drying* ya que esta puede proveer el productor con una distribución relativamente estrecha de tamaño de partícula y buena resistencia a la fricción, que es una de las

**FIGURA 1 // FIGURA 1**

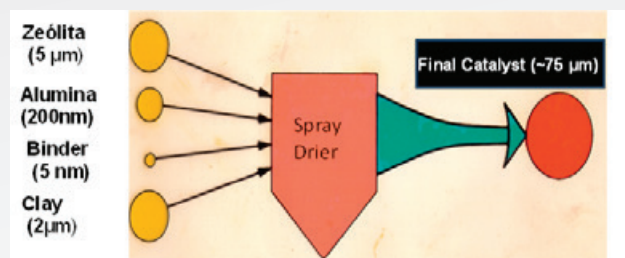
partícula de FCC: o modelo de concreto.  
1 – Ligante; 2 – Alumina; 3 – Zeólita/Argila  
partícula de FCC: el modelo de concreto.  
1 – Ligante; 2 – Alúmina; 3 – Zeolita/Arcilla



**FIGURA 2 // FIGURA 2**

Formação da partícula de catalisador de FCC: partículas de diferentes tamanhos geram o catalisador final através de secagem por atomização ou *spray drying*.

Formación de la partícula de catalisador de FCC: partículas de diferentes tamaños generan el catalisador final a través de secado por atomización o *spray drying*.



Zeolite = zeólita; Alumina = Alumina; binder = Ligante; Clay = Argila

Spray-dryer = secador por atomização ou spray drier/ secador por atomização o spray drier

Final Catalyst = Catalisador Final/ Catalizador Final

maiores preocupações no desempenho do catalisador de FCC (Figura 2). Adicionalmente, muitas tecnologias exigem uma etapa final de calcinação a fim de aumentar a dureza do catalisador. No entanto, a calcinação deve ser efetuada com cuidado, já que o componente zeólita é muito sensível à calcinação por vapor.

## O COMPONENTE ZEÓLITA

Há várias razões pelas quais as zeólitas se tornaram o catalisador preferido para muitas reações de importância industrial. No processo de craqueamento, as seguintes características merecem atenção especial:

### a) Estabilidade Térmica:

Por certo, uma das razões mais importantes para basear a seleção de zeólitas como catalisador para reações a alta temperatura é sua boa estabilidade térmica. A maior parte das zeólitas não é afetada por temperaturas de até 650°C. Para zeólitas que apresentam altas razões sílica-alumina, o colapso estrutural se torna significativo somente a temperaturas

mayores preocupaciones en el desempeño del catalizador de FCC (Figura 2). Adicionalmente, muchas tecnologías exigen una etapa final de calcinación con el fin de aumentar la dureza del catalizador. Sin embargo, la calcinación debe ser efectuada con cuidado, ya que el componente zeolita es muy sensible a la calcinación por vapor.

## EL COMPONENTE ZEOLITA

Hay varias razones por las que las zeolitas se volvieron el catalizador preferido para muchas reacciones de importancia industrial. En el proceso de craqueo, las siguientes características merecen especial atención:

### a) Estabilidad Térmica:

Por cierto, una de las razones más importantes para basar la selección de zeolitas como catalizador para reacciones a alta temperatura es su buena estabilidad térmica. La mayor parte de las zeolitas no es afectada por temperaturas de hasta 650°C. Para zeolitas que presentan altas razones sílica-alúmina, el colapso estructural se vuelve significativo solamente a temperaturas

tão elevadas quanto 1000°C. Além disso, a introdução de átomos Terras Raras na zeólita também aumenta a estabilidade térmica. Portanto, essas zeólitas são adequadas para processos de craqueamento catalítico fluido, onde prevalecem altas temperaturas e outras condições operacionais agressivas.

### **b) Acidez:**

Zeólitas exibem acidez muito mais alta do que os primeiros catalisadores amorfos de sílica-alumina. Além disso, as zeólitas têm sítios ácidos tanto de Brønsted como de Lewis. A densidade desses sítios ácidos está correlacionada à razão sílica-alumina (SAR) na estrutura zeolítica. Essa densidade aumenta com o teor de alumínio. No entanto, à medida que a SAR aumenta e a densidade de sítios diminui, a força de sítios isolados aumenta, atingindo um máximo. Em geral, os seguintes parâmetros afetam a acidez de uma zeólita:

1. A natureza e tipo dos sítios ácidos
2. A densidade ou concentração dos sítios ácidos
3. A distribuição de força dos sítios ácidos
4. A localização dos sítios ácidos no interior da estrutura zeolítica
5. A distribuição geométrica dos sítios ácidos sobre os cristais de zeólita.

Um parâmetro importante que governa a acidez por unidade de célula na estrutura zeolítica é o Tamanho de Célula Unitária (UCS), representado pelo símbolo  $A_0$ . O valor de  $A_0$  está relacionado à SAR da zeólita.

tan elevadas como 1000°C. Además de eso, la introducción de átomos Tierras Raras en la zeolita también aumenta la estabilidad térmica. Por lo tanto, esas zeolitas son adecuadas para procesos de craqueo catalítico fluido, donde prevalecen altas temperaturas y otras condiciones operacionales agresivas.

### **b) Acidez:**

Zeolitas exhiben acidez mucho más alta que los primeros catalizadores amorfos de sílica-alúmina. Además de eso, las zeolitas tienen sitios ácidos tanto de Brønsted como de Lewis. La densidad de esos sitios ácidos está correlacionada a la razón sílica-alúmina (SAR) en la estructura zeolítica. Esa densidad aumenta con el tenor de aluminio. Sin embargo, a medida que la SAR aumenta y la densidad de sitios disminuye, la fuerza de sitios aislados aumenta, alcanzando un máximo. En general, los siguientes parámetros afectan la acidez de una zeolita:

1. La naturaleza y tipo de los sitios ácidos
2. La densidad o concentración de los sitios ácidos
3. La distribución de fuerza de los sitios ácidos
4. La localización de los sitios ácidos en el interior de la estructura zeolítica
5. La distribución geométrica de los sitios ácidos sobre los cristales de zeolita.

Un parámetro importante que gobierna la acidez por unidad de célula en la estructura zeolítica es el Tamaño de Célula Unitaria (UCS), representado por el símbolo  $A_0$ . El valor de  $A_0$  está relacionado a la SAR de la zeolita.

### c) Seletividade de forma 10,11,12:

As dimensões dos poros no interior da estrutura zeolítica são muitas vezes similares aos tamanhos das moléculas que participam nas reações que elas catalisam, gerando uma forte influência na seletividade destas reações. Os principais tipos de seletividade são os seguintes:

- Seletividade do reagente ocorre quando somente parte das moléculas reagentes são suficientemente pequenas para difundir através dos poros do catalisador.
- Seletividade do produto ocorre quando parte dos produtos formados no interior dos poros são excessivamente volumosos para difundir sob forma de produtos observados. Eles são convertidos ou em moléculas menos volumosas ou eventualmente desativam o catalisador pelo bloqueio de poros.
- Seletividade restrita do estado de transição ocorre quando certas reações são impedidas porque o estado de transição correspondente exigiria mais espaço do que aquele disponível nas cavidades. Nem o reagente nem as moléculas potenciais de produto são impedidos de difundir através dos poros. As reações que necessitam estados de transição mais baixos ocorrem sem impedimento.
- Controle de tráfego molecular pode ocorrer em zeólitas com mais de um tipo de sistema de poro. Aqui as moléculas de reagente podem entrar preferencialmente no catalisador através de um dos sistemas de poro enquanto os produtos difundem através do outro sistema de poro.

### d) Efeitos de Concentração:

Efeitos de concentração estão relacionados aos conceitos de hidrofobicidade ou hidrofili-

### c) Selectividad de forma 10,11,12:

Las dimensiones de los poros en el interior de la estructura zeolítica son muchas veces similares a los tamaños de las moléculas que participan en las reacciones que estas catalizan, generando una fuerte influencia en la selectividad de estas reacciones. Los principales tipos de selectividad son los siguientes:

- Selectividad del reactivo ocurre cuando solamente parte de las moléculas reactivas son suficientemente pequeñas para difundir a través de los poros del catalizador.
- Selectividad del producto ocurre cuando parte de los productos formados en el interior de los poros son excesivamente voluminosos para difundir bajo forma de productos observados. Estos son convertidos o en moléculas menos voluminosas o eventualmente desactivan el catalizador por el bloqueo de poros.
- Selectividad restringida del estado de transición ocurre cuando ciertas reacciones son impedidas porque el estado de transición correspondiente exigiría más espacio que aquel disponible en las cavidades. Ni el reactivo ni las moléculas potenciales de producto son impedidos de difundir a través de los poros. Las reacciones que necesitan estados de transición más bajos ocurren sin impedimento.
- Control de tráfico molecular puede ocurrir en zeólitas con más de un tipo de sistema de poro. Aquí las moléculas de reactivo pueden entrar preferencialmente en el catalizador a través de uno de los sistemas de poro mientras los productos difunden a través del otro sistema de poro.

### d) Efectos de Concentración:

Efectos de concentración están relacionados a los conceptos de hidrofobicidad o hidrofili-



das zeólitas, afetando a seletividade da reação. Essas propriedades podem ter um ajuste fino quando as zeólitas estão sendo sintetizadas, produzindo zeólitas específicas para certa finalidade.

Como mencionado anteriormente, o componente zeolítico é o componente mais importante no catalisador de FCC, sendo capaz de prover o catalisador tanto com a acidez quanto com a seletividade convenientes. Em catalisadores de FCC, a zeólita empregada é faujasita, ou antes, a estrutura FAU. A razão Si/Al da zeólita-Y preparada é uma característica importante desse material já que quanto mais alta a razão Si/Al, mais estável é a zeólita em relação a desaluminização ácida e hidrotérmica.

A zeólita é sintetizada na forma sódica, que é uma forma não-ativa, já que os sítios ácidos (sítios ácidos de Brønsted) responsáveis pela formação de carbocátions e portanto reações de craqueamento não estão presentes. Assim, a zeólita NaY deve sofrer troca iônica com amônio (ou íons Terras Raras) para preparar a forma amônio/TR da zeólita que dará origem à forma ácida HY por calcinação.

de las zeolitas, afectando la selectividad de la reacción. Esas propiedades pueden tener un ajuste fino cuando las zeolitas están siendo sintetizadas, produciendo zeolitas específicas para cierta finalidad.

Como mencionado anteriormente, el componente zeolítico es el componente más importante en el catalizador de FCC, siendo capaz de proveer el catalizador tanto con la acidez como con la selectividad conveniente. En catalisadores de FCC, la zeolita empleada es faujasita, o antes, la estructura FAU. La razón Si/Al de la zeolita-Y preparada es una característica importante de ese material ya que cuanto más alta la razón Si/Al, más estable es la zeolita en relación a desaluminización ácida e hidrotérmica.

La zeolita es sintetizada en la forma sódica, que es una forma no-activa, ya que los sitios ácidos (sitios ácidos de Brønsted) responsables por la formación de carbocationes y por lo tanto reacciones de craqueo no están presentes. Así, la zeolita NaY debe sufrir intercambio iónico con amonio (o iones Tierras Raras) para preparar la forma amonio/TR de la zeolita que dará origen a la forma ácida HY por calcinación.

## ZEÓLITAS REY

A introdução de ELEMENTOS TERRAS RARAS no componente zeolítico, via troca iônica, seguida de uma etapa de calcinação, é uma das mais importantes modificações efetuadas no processo de preparação de catalisadores de FCC, já que ela aumenta tanto a estabilidade da zeólita quanto a atividade geral do catalisador<sup>9</sup>. Além disso, a calcinação promove a desaluminização da estrutura, mudando as características de acidez e de textura da zeólita.

Zeólitas com teores elevados de La e Ce, que foram calcinadas em presença de vapor ou não, foram estudadas usando o refinamento de estrutura de Rietveld<sup>13</sup>. Como representado na Figura 3, vários sítios cristalográficos podem ser encontrados na estrutura da zeólita-Y.

## ZEOLITAS REY

La introducción de ELEMENTOS TIERRAS RARAS en el componente zeolítico, vía intercambio iónico, seguida de una etapa de calcinación, es una de las más importantes modificaciones efectuadas en el proceso de preparación de catalizadores de FCC, ya que esta aumenta tanto la estabilidad de la zeólita como la actividad general del catalizador<sup>9</sup>. Además de eso, la calcinación promueve la desaluminización de la estructura, cambiando las características de acidez y de textura de la zeólita.

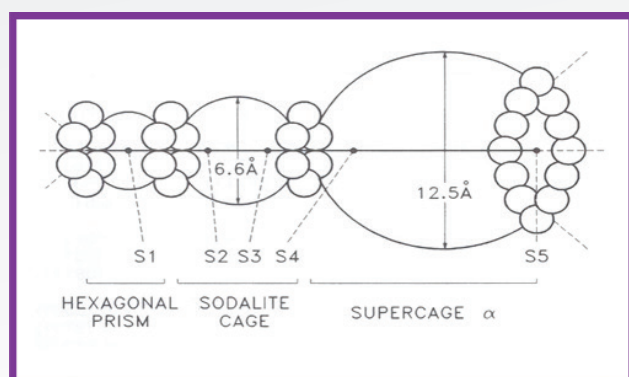
Zeolitas con tenores elevados de La y Ce, que fueron calcinadas en presencia de vapor o no, fueron estudiadas usando el refinamiento de estructura de Rietveld<sup>13</sup>. Como representado en la Figura 3, varios sitios cristalográficos pueden ser encontrados en la estructura de la zeólita-Y.

9. S. Al-Khattaf, Energy & Fuels 2003, 17, 62-68.

13. E. Falabella S.A. et al. Zeólitas, 1997, 18, 44-49.

### FIGURA 3 // FIGURA 3

Sítios cristalográficos para átomos não estruturais em zeólitas-Y  
Sítios cristalográficos para átomos no estructurales en zeólitas-Y



Hexagonal prism = prisma hexagonal; Sodalite Cage = Gaiola sodalita;  
Supercage  $\alpha$  = supergaiola  $\alpha$

Os resultados da Tabela 2 mostram que:

- Após troca iônica, TR são localizadas nos sítios 4 e 5 na supergaiola;
- No entanto, após calcinação, ocorre migração para a gaiola sodalita e prisma hexagonal;
- Essa migração ocorre não importa o tipo de átomo TR (La ou Ce).

Além disso,  $^{27}\text{Al}$ -MAS/NMR confirma que por calcinação está ocorrendo desaluminização; no entanto, não é observado o colapso da estrutura. De modo interessante, como relatado anteriormente<sup>14</sup>, a temperatura de colapso da estrutura aumenta com a introdução de TR, não importando o tipo de cátion TR introduzido (Figura 4).

Outra questão importante é relativa à acidez de zeólitas-Y contendo TR. Estudos<sup>15</sup> com zeólitas com o mesmo teor de diferentes cátions (La, Nd, Sm, Gd, Dy) verificaram que o raio iônico do cátion representa um papel importante na formação de sítios ácidos de Brønsted<sup>15</sup>.

14. E. Falabella S.A. et al. Journal of Alloys and Compounds, 2002, 344(1-2), 337-341.

15. E. Falabella S.A. et al. Microporous and Mesoporous Materials, 1998, 25, 25-34.

**TABELA 2 // TABLA 2**

Localização de diferentes cátions em sítios cristalográficos da estrutura da zeólita-Y (AC – antes da calcinação; DC – depois da calcinação)

Localización de diferentes cationes en sitios cristalográficos de la estructura de la zeólita-Y (AC – antes de la calcinación; DC – después de la calcinación)

S1	S2	S3	S4	S5	
	20,2 Na	32 H <sub>2</sub> O	0,8 La	5,0 La	A.C.
9,8 Al	10,4 La	32 H <sub>2</sub> O	20,2 Na		D.C.

Los resultados de la Tabla 2 muestran que:

- Después del intercambio iónico, TR son localizadas en los sitios 4 y 5 en la supercaja;
- Sin embargo, después de la calcinación, ocurre migración para la caja sodalita y prisma hexagonal;
- Esa migración ocurre no importa el tipo de átomo TR (La o Ce).

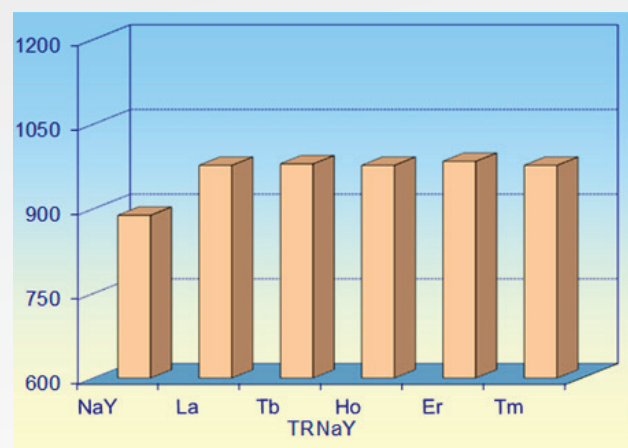
Además de eso,  $^{27}\text{Al}$ -MAS/NMR confirma que por calcinación está ocurriendo desaluminización; sin embargo, no es observado el colapso de la estructura. De modo interesante, como relatado anteriormente<sup>14</sup>, la temperatura de colapso de la estructura aumenta con la introducción de TR, no importando el tipo de cátion TR introducido (Figura 4).

Otra cuestión importante es relativa a la acidez de zeólitas-Y conteniendo TR. Estudios<sup>15</sup> con zeólitas con el mismo tenor de diferentes cationes (La, Nd, Sm, Gd, Dy) verificaron que el rayo iónico del cátion representa un papel importante en la formación de sitios ácidos de Brønsted<sup>15</sup>.

**FIGURA 4 // FIGURA 4**

Temperatura de colapso para zeólitas-Y trocadas com diferentes tipos de cátions TR.

Temperatura de colapso para zeólitas-Y intercambiadas con diferentes tipos de cationes TR.



O espectro de IR (região do OH) mostra claramente que a introdução de TR gera uma banda entre 3490-3530  $\text{cm}^{-1}$  (OH interagindo com TR). Essa banda sofre um deslocamento para números de onda mais altos à medida que o raio iônico aumenta.

Uma banda muito intensa entre 3496/3530  $\text{cm}^{-1}$  é atribuída à existência de grupos OH associados a cátions TR. Um deslocamento nesta banda após adsorção de PY (ou lutidina) é observado, o qual foi atribuído a um aumento na força ácida do OH associado a cátions de terras raras. De fato, é possível observar uma correlação linear entre o raio iônico do cátion de terra rara e o número de onda da banda.

Algumas conclusões muito interessantes podem ser tiradas desta série de experimentos e caracterização. De fato, por calcinação, as TR realmente migram para sítios mais internos. Uma vez posicionados no interior da gaiola sodalita e o prisma hexagonal, são formados grupos TR-O-TR. Esses grupos têm capacidade para estabilizar a estrutura zeolítica através da geração de pontes com os átomos de oxigênio

El espectro de IR (región del OH) muestra claramente que la introducción de TR genera una banda entre 3490-3530  $\text{cm}^{-1}$  (OH interaccionando con TR). Esa banda sufre un desplazamiento para números de onda más altos a la medida que el raio iónico aumenta.

Una banda muy intensa entre 3496/3530  $\text{cm}^{-1}$  es atribuida a la existencia de grupos OH asociados a cationes TR. Un desplazamiento en esta banda después de la adsorción de PY (o lutidina) es observado, lo cual fue atribuido a un aumento en la fuerza ácida del OH asociado a cationes de tierras raras. De hecho, es posible observar una correlación linear entre el raio iónico del catión de tierra rara y el número de onda de la banda.

Algunas conclusiones muy interesantes se pueden sacar de esta serie de experimentos y caracterización. De hecho, por calcinación, las TR realmente emigran para sitios más internos. Una vez posicionados en el interior de la caja sodalita y el prisma hexagonal, son formados grupos TR-O-TR. Esos grupos tienen capacidad para estabilizar la estructura zeolítica a través de la generación de puentes con los átomos de oxígeno de la misma.

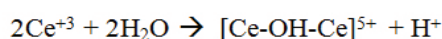
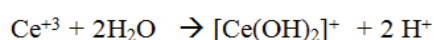


da mesma. Além disso, o grau de estabilização depende do grau de troca de TR (Figura 5).

Em relação à acidez, cátions TR(H<sub>2</sub>O)<sub>n</sub> sofrem hidrólise por calcinação, gerando sítios ácidos de Brønsted. Essa reação de hidrólise permite que seja explicada a concentração de sítios ácidos mais elevada em zeólitas TRYC (TR-Y Calcinadas) e sua atividade mais alta. Os sítios de Brønsted parecem ser uma função do tipo de cátions TR introduzidos na zeólita.

Uma outra questão importante diz respeito à atividade. Artigos publicados anteriormente<sup>31-33</sup> também mostraram, usando o craqueamento de n-heptano como molécula sonda:

- Atividade depende do grau de troca iônica;
- Um máximo é atingido para 40% de troca com Na;
- Aparentemente as seguintes reações estão ocorrendo:

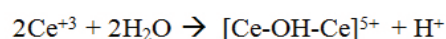
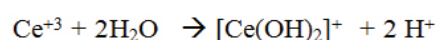


Además de eso, el grado de estabilización depende del grado de intercambio de TR (Figura 6).

En relación a la acidez, cationes TR(H<sub>2</sub>O)<sub>n</sub> sufren hidrólisis por calcinación, generando sitios ácidos de Brønsted. Esa reacción de hidrólisis permite que sea explicada la concentración de sitios ácidos más elevada en zeólitas TRYC (TR-Y Calcinadas) y su actividad más alta. Los sitios de Brønsted parecen ser una función del tipo de cationes TR introducidos en la zeólita.

Una otra cuestión importante dice a respecto a la actividad. Artículos publicados anteriormente<sup>31-33</sup> también mostraron, usando el craqueo de n-heptano como molécula sonda:

- Actividad depende del grado de intercambio iónico;
- Un máximo es alcanzado para 40% de intercambio con Na;
- Aparentemente las siguientes reacciones están ocurriendo:



31. F. Lemos, F. Ramoa Ribeiro et al. Appl. Catal., 1988, 39, 227-237.

33. A. Mendes, J. Caeiro and F.R. Ribeiro, React. Kinet. Catal. Lett. 1989, 38(1), 175 - 180.

#### FIGURA 5 // FIGURA 5

Localização de diferentes cátions em sítios cristalográficos da estrutura da zeólita-Y (AC – antes da calcinação; DC – depois da calcinação)

Delta de los resultados de la comparación entre los catalizadores evaluados en las mismas condiciones operacionales<sup>2</sup>.

Estas reações explicam porque uma atividade máxima é atingida dependendo do grau de troca. No entanto, essa atividade máxima depende tanto do tipo de cátion TR como do tipo de reação modelo.

Em termos de craqueamento, a presença de TR na zeólita afeta a capacidade de transferência de hidrogênio. A reação de Transferência de Hidrogênio (HT), no processo de FCC, é muito importante já que:

- Ela compete com outras reações importantes como o próprio craqueamento, isomerização e alquilação;
- Ela transforma olefinas em parafinas, reduzindo o RON da gasolina;
- Ela é portanto determinante para a seletividade do processo.

A presença de TR aumenta a acidez de Brønsted, portanto TR afetam tanto a atividade como a seletividade. Quanto maior o raio iônico do átomo de TR, mais alta a acidez gerada na zeólita. Já que HT aumenta com a acidez aumentada da zeólita, quanto mais alto o raio

Estas reacciones explican porque una actividad máxima es alcanzada dependiendo del grado de intercambio. Sin embargo, esa actividad máxima depende tanto del tipo de catión TR como del tipo de reacción modelo.

En términos de craqueo, la presencia de TR en la zeolita afecta la capacidad de transferencia de hidrógeno. La reacción de Transferencia de Hidrógeno (HT), en el proceso de FCC, es muy importante ya que:

- Esta compete con otras reacciones importantes como el propio craqueo, isomerización y alquilación;
- Esta transforma olefinas en parafinas, reduciendo el RON de la gasolina;
- Esta es por lo tanto determinante para la selectividad del proceso.

La presencia de TR aumenta la acidez de Brønsted, por lo tanto TR afectan tanto la actividad como la selectividad. Cuanto mayor el rayo iónico del átomo de TR, más alta la acidez generada en la zeolita. Ya que HT aumenta con la acidez aumentada de la zeolita, cuanto más

atômico do átomo de TR, mais elevada será a HT. Em geral, TR favorece HT, reduzindo RON pela redução da concentração de olefinas na gasolina. No entanto, já que TR também afetam a estabilidade da zeólita, às vezes a avaliação pode ser equivocada. Igualmente, é preciso ter em mente que os resultados industriais mostram que TR parecem ter pouca influência sobre o MON da gasolina. Finalmente, vale a pena mencionar que Terras Raras também têm um papel importante na prevenção da desativação de metais já que elas constituem uma armadilha muito eficiente para Vanádio.

## CONCLUSÕES

Elementos Terras Raras constituem de fato um componente muito importante dos catalisadores de FCC. No entanto, Terras Raras estão enfrentando um problema terrível de aumento de preço e redução de disponibilidade<sup>10</sup>. Assim, tem sido pesquisada a remoção destes ingredientes da composição de catalisador de FCC. No entanto, a remoção total de elementos Terras Raras do componente zeolítico de um catalisador de FCC resultaria em um efeito detrimental considerável na maior parte das operações de FCC devido à atividade mais baixa e volume piorado de rendimento de produção, para não falar no problema de maior desativação por Vanádio.

Por esta razão, outros elementos como Ca e Cr foram ensaiados, sem resultados encorajadores.

Recentemente, produtores (Catalysts Technologies) anunciaram a comercialização bem sucedida de Catalisador para FCC com Zero/Baixo Teor de Terras Raras<sup>11</sup>. Deve-se

alto el rayo atômico del átomo de TR, más elevada será la HT. En general, TR favorece HT, reduciendo RON por la reducción de la concentración de olefinas en la gasolina. Sin embargo, ya que TR también afectan la estabilidad de la zeólita, a veces la evaluación puede ser equivocada. Igualmente, es necesario tener en mente que los resultados industriales muestran que TR parecen tener poca influencia sobre el MON de la gasolina. Finalmente, vale la pena mencionar que Tierras Raras también tienen un papel importante en la prevención de la desactivación de metales ya que estas constituyen una trampa muy eficiente para Vanadio.

## CONCLUSIONES

Elementos Tierras Raras constituyen de hecho un componente muy importante de los catalizadores de FCC. Sin embargo, Tierras Raras están enfrentando un problema terrible de aumento de precio y reducción de disponibilidad<sup>10</sup>. Así, ha sido investigada la remoción de estos ingredientes de la composición de catalizador de FCC. Sin embargo, la remoción total de elementos Tierras Raras del componente zeolítico de un catalizador de FCC resultaría en un efecto detrimental considerable en la mayor parte de las operaciones de FCC debido a la actividad más baja y volumen empeorado de rendimiento de producción, para no hablar en el problema de mayor desactivación por Vanadio.

Por esta razón, otros elementos como Ca y Cr fueron ensayados, sin resultados animadores.

Recentemente, productores (Catalysts Technologies) anunciaron la comercialización bien sucedida de Catalisador para FCC con Cero/Bajo Tenor de Tierras Raras<sup>11</sup>. Se debe

11. S. Csicsery, Pure & Appl. Chem., 1986, 58(6), 841-856.

ter em mente que algumas características especiais relativas a este catalisador devem estar presentes, tais como:

- Proporções muito altas de matrix seletiva;
- Alta acessibilidade;
- Altos níveis de zeólita para atividade aumentada;
- Alta razão sílica-alumina (SAR), que resulta em estabilidade superior da zeólita;
- Cargas de baixo teor de Vanádio.

tener en mente que algunas características especiales relativas a este catalizador deben estar presentes, tales como:

- Proporciones muy altas de matrix selectiva;
- Alta accesibilidad;
- Altos niveles de zeolita para actividad aumentada;
- Alta razón sílica-alúmina (SAR), que resulta en estabilidad superior de la zeolita;
- Cargas de bajo tenor de Vanadio.

## DADOS DO AUTOR DATOS DEL AUTOR



**Eduardo Falabella  
Sousa-Aguiar**

Prof. Eduardo Falabella Sousa-Aguiar, Engenheiro Químico, MSc, DSc, tem 40 anos de experiência no campo da catálise e dos processos catalíticos. Ele vem trabalhando na Universidade Federal do Rio de Janeiro por 35 anos, sendo atualmente Professor Titular do Departamento de Processos Orgânicos da Escola de Química, onde introduziu os cursos de Catálise e Refino de Petróleo. Foi pesquisador (Consultor Sênior) do Centro de Pesquisas da Petrobras (CENPES) por mais de 30 anos, onde coordenou os projetos de pesquisa em BTL/GTL/CTL no CENPES, tendo sido gerente da célula GTL, um grupo estruturado com o objetivo de desenvolver uma tecnologia GTL para Petrobras. Esteve envolvido em muitas atividades e projetos de pesquisa e passou considerável tempo como membro da equipe que transferiu a tecnologia de catalisadores de craqueamento da AKZO Nobel para a FCCSA. Trabalhou por certo período como pesquisador no Centro de Pesquisas da AKZO Nobel, em Amsterdã, na Universidade de Brunel, Reino Unido, na Universidade Técnica de Viena e na planta da Texas Ketjen, em Houston, EUA. Prof. Falabella é autor de mais de 300 trabalhos científicos nacionais e internacionais, tendo orientado mais de trinta teses de mestrado e doutorado. Foi ponto focal no Brasil do programa internacional CYTED, subprograma de Catalise Ambiental e atuou por 15 anos como consultor do ICS-UNIDO no campo de tecnologias limpas. Recentemente, foi convidado a integrar o Comitê Científico do ICS-UNIDO. Recebeu diversos prêmios, nacionais e internacionais, ao longo de sua trajetória profissional, por sua contribuição à Engenharia Química na América do Sul, em especial a área de petróleo e petroquímica. É frequentemente convidado como conferencista em muitos congressos e seminários, tendo sido conferencista plenário em Congressos Internacionais em 21 países.

Prof. Eduardo Falabella Sousa-Aguiar, Ingeniero Químico, MSc, DSc, tiene 40 años de experiencia en el campo de la catálisis y de los procesos catalíticos. Viene trabajando en la Universidad Federal de Rio de Janeiro por 35 años, siendo actualmente Profesor Titular del Departamento de Procesos Orgánicos de la Escuela de Química, donde introdujo los cursos de Catálisis y Refino de Petróleo. Fue investigador (Consultor Sênior) del Centro de Investigaciones de Petrobras (CENPES) por más de 30 años, donde coordinó los proyectos de investigación en BTL/GTL/CTL en CENPES, habiendo sido gerente de la célula GTL, un grupo estructurado con el objetivo de desarrollar una tecnología GTL para Petrobras. Estuvo involucrado en muchas actividades y proyectos de investigación y pasó considerable tiempo como miembro del equipo que transfirió la tecnología de catalizadores de craqueo de AKZO Nobel para FCCSA. Trabajó por cierto período como investigador en el Centro de investigaciones de AKZO Nobel, en Ámsterdam, en la Universidad de Brunel, Reino Unido, en la Universidad Técnica de Viena y en la planta de Texas Ketjen, en Houston, EUA. Prof. Falabella es autor de más de 300 trabajos científicos nacionales e internacionales, habiendo orientado más de treinta tesis de maestría y doctorado. Fue punto focal en Brasil del programa internacional CYTED, subprograma de Catálisis Ambiental y actuó por 15 años como consultor del ICS-UNIDO en el campo de tecnologías limpas. Recientemente, fue invitado a integrar el Comité Científico del ICS-UNIDO. Recibió diversos premios, nacionales e internacionales, a lo largo de su trayectoria profesional, por su contribución a la Ingeniería Química en Sudamérica, en especial al área de petróleo y petroquímica. es frecuentemente invitado como conferencista en muchos congresos y seminarios, habiendo sido conferencista plenario en Congressos Internacionales en 21 países.