FÁBRICA CARIOCA DE CATALISADORES

Momento Técnico

SUGERENCIAS DE LOS EXPERTOS

Optimización del aditivo de antimonio y soluciones catalíticas para la pasivación de níquel



Indiara Gonçalves
Engenheira de Serviços Técnicos
FCC S.A.



Tiago Coelho
Consultor de Estrategia e Inteligencia de Mercado
FCC S.A.

JUNIO
2026

FÁBRICA CARIOCA DE CATALISADORES

Introducción

En escenarios de inestabilidad geopolítica con repercusiones económicas globales, las refinerías tienden a intensificar estrategias orientadas a la maximización de la producción, optimización de procesos, control de costos y aumento de la rentabilidad. En este contexto, los cambios en la mezcla de crudos procesados tienden a volverse más frecuentes, resultando en modificaciones en la composición de la carga de las unidades de craqueo catalítico fluidizado (UFCC).

Entre los principales contaminantes metálicos presentes en los petróleos, se destacan el níquel (Ni), el vanadio (V), el hierro (Fe) y el sodio (Na). Las variaciones en las concentraciones de estos metales y en las características del petróleo exigen monitoreo continuo de la calidad de la carga, siendo responsabilidad de la ingeniería de procesos actuar de manera proactiva para mitigar los impactos en la unidad y en el catalizador.

Aunque el níquel no promueve la degradación de la estructura cristalina de la zeolita, como ocurre con el vanadio, su elevada actividad deshidrogenante puede causar impactos operacionales significativos, imponiendo restricciones asociadas al compresor de gases, llevando a la reducción de la carga procesada y exigiendo una disminución de la severidad operacional. Para más información sobre los impactos del níquel en el desempeño de la UFCC acceda al momento técnico de FCCS.A.: *"El H2 y sus impactos en el desempeño de la UFCC"* [1].

JUNIO
2026

1. Aditivos para pasivación de Ni

Una de las estrategias utilizadas para la mitigación de los efectos del níquel es la inyección de aditivos pasivadores, siendo los más comunes los basados en antimonio (Sb) o, en menor escala, bismuto (Bi). En la práctica industrial, predomina el uso de soluciones que contienen pentóxido de antimonio (Sb_2O_5) debido a su mayor eficiencia de pasivación. Los compuestos a base de bismuto se utilizan como alternativa al antimonio, en función de los potenciales riesgos ocupacionales y ambientales asociados a este elemento [2].

Operacionalmente, el control de la dosificación de este aditivo es crítico. Una inyección inadecuada puede comprometer tanto el desempeño operacional como los costos de la unidad. Cuando se dosifica en exceso, el antimonio tiende a migrar preferencialmente hacia la corriente de fondo de la fraccionadora principal, pudiendo provocar:

- **Pérdidas financieras** asociadas a una dosificación no optimizada;
- **Aumento de la tasa de deposición de coque en el fondo de la fraccionadora principal,** especialmente en los intercambiadores de calor: el antimonio presente en el *slurry* actúa como catalizador de reacciones secundarias, favoreciendo la formación de compuestos pesados que tienden a depositarse en las tuberías del sistema de fondo;
- **Aumento de la deposición de coque en el reactor y en el riser:** reportes operacionales indican la ocurrencia de formación de "piedras de coque", asociadas a altos contenidos de antimonio;
- **Envenenamiento del catalizador de hidrotratamiento (HDT):** el antimonio puede ser arrastrado para corrientes de hidrotratamiento y promover la desactivación de catalizadores Co-Mo y Ni-Mo, afectando directamente las reacciones de hidrodesulfuración (HDS) e hidrodesnitrogenación (HDN) [3];
- **Impacto ambiental y en la combustión:** puede provocar un aumento en las emisiones de NOx y SOx e interferir en el desempeño de los promotores de combustión.

Un aspecto relevante es que el exceso de antimonio no puede detectarse mediante el análisis del e-cat, ya que su fijación en el catalizador depende de la presencia de níquel disponible para la formación de complejos. En ausencia de níquel disponible para la reacción, el antimonio migra hacia la corriente de fondo.

Indicadores prácticos de sobredosificación:

- Manteniendo constante la concentración de Ni en la carga, aumentar la dosificación del aditivo y verificar si se observa un incremento en el contenido de Sb del e-cat. Si esto no ocurre, indica sobredosificación y que ya no hay más níquel disponible para reaccionar con el antimonio;
- Realizar análisis de antimonio en el *slurry* periódicamente. Si la dosificación está controlada, no se espera encontrar cantidades significativas de este metal en esta corriente.

2. Cálculo de la dosificación de la solución de antimonio

Para evitar los problemas causados por el exceso de aditivo, se debe calcular la cantidad necesaria de antimonio para reaccionar con el níquel, de manera de mantener el equilibrio de las reacciones, sin excesos. Para el cálculo de la inyección óptima de este aditivo es importante considerar los siguientes factores:

- **Contenido de níquel en la carga:** la solución de antimonio siempre debe ser adicionada en función de la cantidad de níquel en la carga. La relación óptima de dosificación corresponde a una relación Sb/Ni de 0,3 a 0,5 en el e-cat [2];
- **Presencia de trampa de níquel en el catalizador:** catalizadores con tecnología de pasivación de níquel, como los de FCC S.A., reducen la necesidad de aditivo de antimonio y la relación Sb/Ni indicada pasa a ser de 0,1 a 0,2;
- **Retención del antimonio:** la eficiencia de deposición del antimonio en el catalizador depende de la composición de la solución y del método de inyección. La retención del antimonio en el catalizador es de 75 a 85%, sin el reciclaje del slurry al riser. Si la unidad practica el reciclaje, la retención generalmente aumenta para 90% [2]. El fabricante suele indicar cuál es la retención de su producto, generalmente se utiliza 85%, sin embargo, se recomienda que cada usuario calcule su retención real;
- **Concentración de la solución:** la cantidad de antimonio en la solución es fundamental para el cálculo y es proporcionada por el fabricante. Siempre que ocurra un cambio de proveedor es importante verificar la concentración y modificarla en el cálculo. Las concentraciones generalmente varían de 17 a 30%.

Fórmula para el cálculo del flujo de solución de antimonio en L/d:

$$Q_{sb}(L/d) = \frac{\dot{m}_{carga} \times Ni_{carga} \times \frac{Sb}{Ni}}{1000 \times \eta_{sb} \times C_{sb} \times \rho_{sb}}$$

Donde:

$\dot{m}_{carga}$ = Caudal másico de carga en t/d;

Ni_{carga} = Concentración de níquel en la carga en ppm;

$\frac{Sb}{Ni}$ = Relación según la teoría, de 0,1 a 0,5;

η_{sb} = Retención de la solución de antimonio (de 0,65 a 0,85);

C_{sb} = Concentración másica de la solución de antimonio (de 0,17 a 0,30);

P_{sb} = Densidad de la solución de antimonio en kg/L.

El valor calculado siempre debe ser validado y ajustado con base en las respuestas de las variables operacionales de la unidad, principalmente: concentración de H_2 en el gas combustible, formación de coque y relación Sb/Ni en el e-cat.

3. Consideraciones sobre el uso de aditivos pasivadores de Níquel

- Existen evidencias de que la presencia de cloro puede llevar a la reactivación de especies oxidadas de níquel, aumentando los rendimientos de coque e hidrógeno de la unidad [4]. Este hecho refuerza que el seguimiento y control del cloro en la carga también es esencial para minimizar los efectos del níquel en la UFCC;
- El antimonio reacciona con el platino presente en los promotores de combustión a base de Pt, reduciendo su eficiencia. Por lo tanto, en unidades que utilizan promotores de combustión platinados, puede ser necesaria una mayor dosificación de promotor para mantener el control del *afterburning*;
- Según la literatura, el uso de antimonio generalmente es ventajoso en unidades que posean concentración de níquel en el e-cat superior de 1000ppm [2]. Sin embargo, la indicación de uso involucra otras variables, siendo una de ellas la calidad del catalizador empleado. Además, el mantenimiento de la calidad del inventario mediante la reposición de catalizador fresco y el uso de catalizadores con trampa de níquel en su composición reducen significativamente la necesidad de aditivo de antimonio.

4. Tecnología de pasivación de níquel en los catalizadores FCC S.A.

Se denominan "trampas de níquel" a los componentes incorporados a la formulación del catalizador con el objetivo de suprimir la actividad deshidrogenante del níquel. Los catalizadores de FCC S.A. poseen en su formulación, una trampa de níquel de alto desempeño denominada ADM-60, cuya concentración puede ajustarse de acuerdo con las necesidades específicas de cada unidad.

El mecanismo de acción ocurre mediante la formacion de estructuras del tipo espinela, en las cuales el níquel reacciona con la matriz del catalizador, formando aluminato de níquel ($NiAl_2O_4$), una fase cristalina estable del tipo espinela (Figura 1). En condiciones operativas típicas de FCC, también es común la formación de la fase no estequiométrica $Ni_xAl_2O_{3+x}$. Estas interacciones ocurren preferentemente a altas temperaturas del regenerador, en atmósfera oxidante (680–730 °C). Debido a la elevada estabilidad termodinámica de los compuestos espinélicos, su reducción a la fase metálica Ni^0 se ve significativamente dificultada en las condiciones del riser, caracterizadas por una atmósfera reductora y temperaturas entre 500 y 550 °C. Como consecuencia, se observa una mayor tolerancia del catalizador a la contaminación por níquel, con una reducción significativa de la actividad deshidrogenante asociada a este contaminante. Este comportamiento ha sido reportado en la literatura mediante análisis de reducción a temperatura programada (TPR).

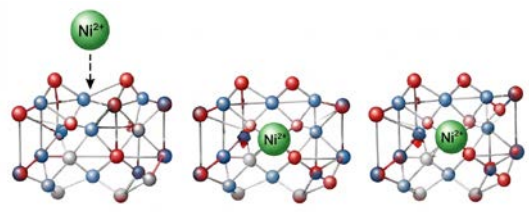


Figura 1 - Formación de la estructura tipo espinela.
Fuente: Banco de datos FCC S.A.

Este enfoque de trampa (formación de estructura espinélica) es superior en comparación con otros enfoques de pasivación, como aquellos basados en la adsorción mediante interacción ácido-base de Lewis (Figura 2). En este modelo, el catión Ni^{2+} (ácido de Lewis) es retenido por interacciones de coordinación con sitios básicos de la matriz del catalizador, tales como grupos superficiales, comúnmente a base de MgO o La_2O_3 [5]. Aunque esta interacción limita la movilidad y la sinterización del níquel, la estabilidad de las especies formadas es considerablemente inferior a la de la espinela: bajo las condiciones reductoras del riser, atmósfera rica en hidrocarburos e hidrógeno a 500–550 °C, el Ni^{2+} adsorbido puede reducirse parcialmente a Ni^0 metálico, una especie altamente activa para las reacciones de deshidrogenación. De esta manera, aunque el modelo ácido-base de Lewis reduce la movilidad y la sinterización del níquel, su eficacia en la supresión de la actividad deshidrogenante es inferior a la proporcionada por el modelo de espinela, en el cual el níquel se incorpora a una estructura cristalina termodinámicamente estable y de difícil reducción.

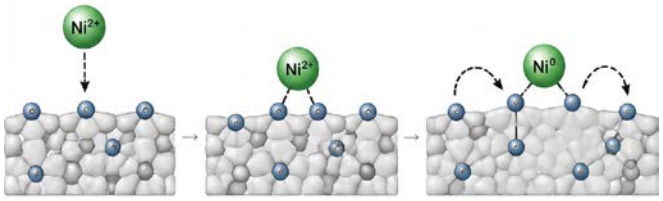


Figura 2 - Modelo de adsorción o enlace ácido-base de Lewis
Fuente: Banco de datos FCC S.A.

Para ejemplificar la efectividad de la pasivación de níquel de los catalizadores da FCC S.A., en la tabla 1 se presentan los resultados relacionados con este tema de una evaluación de catalizador con 80% de cambio de inventario de un catalizador de otro fabricante hacia el UPGRADER™ que contiene pasivador de Ni en su formulación.

	Catalizador Base	UPGRADER	DELTA
Ni equivalente (ppm)	3000	4260	42% ↑
H_2/CH_4 (%mol)	0,74	0,63	-15% ↓

Tabla 1 - Resultado de la evaluación del UPGRADER™
Fonte: Banco de datos FCC S.A.

El catalizador de FCC S.A. cuando se comparó con el catalizador base, presentó una reducción significativa en la relación H_2/CH_4, incluso con el aumento de la cantidad de níquel equivalente, indicando un mejor desempeño del producto, que contiene la tecnología de pasivación de níquel ADM-60 de FCC S.A. Además del UPGRADER™, tecnologías como DENALI® y SaFeGuard™ también fueron desarrolladas para el procesamiento de cargas pesadas y poseen elevada resistencia a metales.

Consideraciones finales

La pasivación de níquel mediante la inyección de antimonio es una herramienta importante para reducir los efectos del níquel en las unidades de UFCC, especialmente en escenarios de procesamiento de cargas más contaminadas. Sin embargo, su aplicación exige un control riguroso, ya que la sobredosificación puede resultar en impactos operacionales significativos, además de pérdidas económicas. Por eso, se recomienda la revisión periódica del cálculo de la dosificación y el ajuste de la adición del producto.

Adicionalmente, el uso de catalizadores con tecnologías de pasivación incorporada representa una estrategia eficaz y consolidada para reducir la dependencia de aditivos, aumentar la robustez operacional y mejorar la rentabilidad del proceso. Para obtener el máximo desempeño de los catalizadores, es importante preservar la calidad del inventario a través de la reposición óptima y continua de catalizador fresco.

FCC S.A., por medio de su equipo de Servicios Técnicos, ofrece soporte completo a las refinerías en la evaluación, optimización y maximización del desempeño de las unidades de UFCC. Nuestras soluciones contemplan, por ejemplo, estudios de dosificación de antimonio y balance de metales además del análisis constante de la adecuación de la formulación del catalizador alineada con los desafíos y objetivos operacionales específicos de cada unidad.

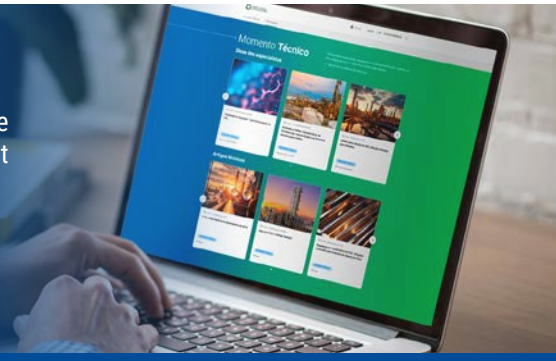
REFERENCIAS

1. GUTIERREZ, Isis; DIAMANTE, Eliza. *Momento Técnico FCC S.A. – El H2 y sus impactos en el desempeño de la UFCC*. Marzo 2026. Disponible en: **El H2 y sus impactos en el desempeño de la UFCC**. Acceso en: 12 mayo 2026.
2. SADEGHBEIGI, Reza. *Fluid Catalytic Cracking Handbook: An Expert Guide to the Practical Operation, Design, and Optimization of FCC Units*. 2. ed. Oxford: Butterworth-Heinemann, 2000.
3. VOGT, Kaspar. *AFPM Q&A – Albemarle*. 2011, Disponible en: **https://www.afpm.org/print/pdf/node/42756**. Acceso en: 18 mayo 2026.
4. SENTER, Corbett, et al. *Role of chlorides in reactivation of contaminant nickel on fluid catalytic cracking (FCC) catalysts*. Applied Catalysis A: General, Volume 611,2021. Disponible en: **https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0926860X20305718**. Acceso en: 27 agosto 2025.
5. YU QI, Qianqian LIU; ZHENYU CHEN, yuxia zhu; YAN CHEN, Haitao Song; BAIQIAN DAI, Lian Zhang. *Nickel-Passivating element selection in FCC process and mechanistic study on the passivation of nickel by lanthanum and phosphorus*. Chemical Engineering Journal, Volume 467, 2023. Disponible en: **https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S1385894723021836**. Acceso en: 28 mayo 2026.

Conozca nuestro Momento Técnico

Dentro del Portal **FCC Connect, Momento Técnico** es la línea editorial que reúne sugerencias operacionales de nuestros especialistas, estudios, resultados de test en unidades de FCC, soluciones catalíticas inovadoras, y mucho más.

HAGA CLICK



Sobre la Empresa

Fábrica Carioca de Catalisadores S.A. es una empresa de tecnología de punta, con su oficina central en Río de Janeiro, formada por la unión de las empresas Petrobras S.A. y Ketjen. Única fabricante de catalizadores de craqueo catalítico y aditivos para el refino de petróleo en el mercado sudamericano tiene como clientes consumidores las refinerías del Sistema Petrobras, así como refinerías de petróleo de países de la América del Sur.

Para más informaciones, entre en contacto con el equipo de Servicios Técnicos de FCC S.A.

Rua Nelson da Silva, 663 - Distrito Industrial de Santa Cruz
CEP: 23565-160 - Rio de Janeiro - RJ - Brasil
www.fccsa.com.br