

Proceso Haber-Bosch para la producción de amoníaco

M.Ángeles Márquez, Manuel Salas, Manuel Fernández

Resumen—El proceso Haber-Bosch es uno de los procesos industriales más importantes del mundo. Proporciona la síntesis de amoníaco directamente a partir de nitrógeno elemental e hidrógeno. Desde su desarrollo a principios del siglo XX, ha llevado a la producción de una enorme cantidad de fertilizantes, incrementando así la producción mundial de alimentos. Como resultado, se estima que una fracción significativa del contenido de nitrógeno en el cuerpo humano se deriva en última instancia de este proceso.

Palabras Claves— Catálisis, Amoníaco, Producción, Síntesis, Nitrógeno, Hidrógeno, Hierro, Catalizador

1. INTRODUCCIÓN

La reacción de síntesis del amoníaco se emplea como ejemplo para analizar la importancia de los catalizadores en los procesos químicos. Los catalizadores suponen un camino alternativo para el transcurso de la reacción, ya que modifican la energía de activación suponiendo una variación en la cinética de la reacción, la cual acelera. En la actualidad más del 90% de los procesos industriales utilizan catalizadores para desarrollarse por las ventajas que estas sustancias presentan para la cadena industrial: mejora la eficiencia del proceso, suponen bajos costes por el ahorro que suponen de energía, aumentan la producción y favorece el cumplimiento de los estándares medioambientales.[1]

2. ORIGEN DEL PROCESO HABER BOSCH Y LA NECESIDAD DE FERTILIZANTES.

A principios del siglo XX la población mundial crecía exponencialmente, así como la esperanza de vida gracias al progreso médico y los avances tecnológicos. Como consecuencia, el suministro mundial de alimentos no pudo mantenerse al ritmo del aumento de la población, y los científicos comenzaron a buscar formas de aumentar la productividad del suelo.

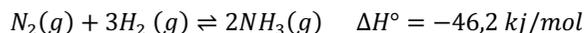
Una vez los científicos descubrieron que la disponibilidad del macro-nutriente de nitrógeno estaba limitando el crecimiento de las plantas, los agricultores comenzaron a esparcir estiércol y desechos de animales en su suelo para agregarle nitratos. También plantaron especies que naturalmente ayudaban a fijar el nitrógeno en el suelo, como la soja o el cacahuete.

En 1909, Haber descubrió que podía fijar con éxito el nitrógeno atmosférico convirtiéndolo en amoníaco. Unos años más tarde, utilizando los hallazgos de Haber, Bosch desarrolló la primera aplicación a escala industrial del proceso Haber-Bosch y los fertilizantes nitrogenados comenzaron a producirse a gran escala para impulsar el

crecimiento de los cultivos y alimentar al mundo. Hoy en día el proceso Haber-Bosch es una parte clave del proceso convencional de cultivo en todo el mundo. [2]

3. EL PROCESO HABER-BOSCH.

La síntesis industrial del amoníaco se obtiene exclusivamente por este método. El proceso consiste en la reacción directa entre el nitrógeno y el hidrógeno gaseosos:



Debido a que la reacción convierte 4 moles de reactivos gaseosos en solo 2 moles de producto gaseoso, el principio de Le Chatelier predice que la formación de NH_3 se verá favorecida cuando se incremente la presión. Por otro lado, la reacción es exotérmica, sin embargo, como la constante de equilibrio disminuye con el aumento de la temperatura, a altas temperaturas se obtienen cantidades relativamente pequeñas de amoníaco.

Todas estas consideraciones sugieren que el rendimiento máximo de amoníaco se obtendrá si la reacción se lleva a cabo a una temperatura lo más baja posible. Desafortunadamente, a temperaturas inferiores a $300^\circ C$, donde el rendimiento de amoníaco sería alto, la reacción es demasiado lenta para ser empleada en un proceso industrial.

El proceso industrial, por lo tanto, emplea un catalizador que permite que la reacción procesa a una velocidad significativa a temperaturas de $400-530^\circ C$. [3]

3.2. Catalizadores

El catalizador empleado en el proceso Haber-Bosch es un catalizador de hierro. Este catalizador consiste en un mineral de magnetita reducido (Fe_3O_4). Aunque superficies de hierro puro aseguran las mejores condiciones para la adsorción y disociación del N_2 , normalmente se enriquece con óxidos de aluminio o potasio para mejorar el rendimiento; pues, por ejemplo, el aluminio aumenta el

área de superficie del catalizador. Al ser un metal de transición, en su configuración electrónica aparece el orbital d, parcialmente completo, lo que hace que sea una superficie adecuada para la adsorción del nitrógeno. [4]

Aunque los catalizadores más empleados para producir amoníaco son aquellos basados en hierro, existen otros desarrollados recientemente, que también proporcionan el mismo efecto. La siguiente tabla muestra algunos de los catalizadores que pueden ser empleados en la industria de producción del amoníaco.

Categoría	Ejemplos
Catalizadores basados en hierro	Magnetita (Fe_3O_4) Hematita ($\alpha\text{-Fe}_2\text{O}_3$)
Catalizadores basados en rutenio	Ru/CaFH Ru/CeO ₂
Catalizadores basados en electruros	Ru / $[\text{Ca}_{24}\text{Al}_{28}\text{O}_{64}]^{+4}(\text{e}^-)_4$
Catalizadores basados en cobalto	Co / CeO ₂ Co ₃ Mo ₃ N Co-BaH ₂
Catalizadores basados en nitruros metálicos	$\gamma\text{-Mo}_2\text{NNi}_2\text{Mo}_3\text{N}$

Tabla 1. Ejemplo de catalizadores

La selección del catalizador más adecuado para cada situación permitirá reducir la temperatura de operación y la presión necesaria para el proceso. Asimismo, el desarrollo de nuevos catalizadores permitirá alcanzar la producción de amoníaco de forma más sustentable en el futuro. [5]

3.3. Etapas del proceso

El proceso Haber-Bosch es un proceso químico complejo que se divide en varias etapas. A continuación, describiremos detalladamente cada una de ellas [6]:

a) Obtención de los gases de reacción.

El proceso comienza con la obtención de los gases de reacción a partir de fuentes como el aire y el gas natural. El aire es el principal recurso para obtener nitrógeno, mientras que el gas natural se emplea para obtener hidrógeno. Estos gases se purifican y se mezclan en las proporciones adecuadas para la reacción química.

b) Compresión y purificación de los gases.

Los gases de reacción se comprimen para aumentar su presión y se purifican para eliminar impurezas que puedan afectar la eficacia del catalizador. El nitrógeno e hidrógeno se comprimen a aproximadamente 200 veces la presión atmosférica y se enfrían para licuarlos.

c) Síntesis de amoníaco.

El proceso de síntesis de amoníaco se realiza en un reactor que contiene un catalizador de hierro a alta presión y temperatura. Los gases comprimidos y purificados se introducen en el reactor, donde la reacción química comienza a tener lugar. El catalizador acelera la velocidad de la

reacción y permite que se forme amoníaco a partir de nitrógeno e hidrógeno. El amoníaco formado se separa del resto de los gases y se recoge en un recipiente.

d) Reciclar los gases de desecho.

Los gases que no han reaccionado se recuperan y se vuelven a tratar para optimizar costes y no causar daños en el medio ambiente.

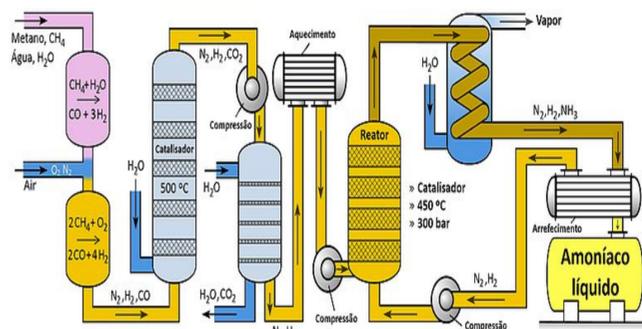


Fig. 1. Etapas del proceso Haber-Bosch

3.4. Impacto medioambiental del proceso Haber-Bosch.

Solo el 17% del amoníaco usado como fertilizante es consumido por los humanos a través de la comida. El resto acaba en la tierra o en el aire. Las emisiones en ausencia de la interferencia humana son de 0,5 kg por hectárea y año. La agricultura moderna ha multiplicado por 20 esta cifra, lo que ha provocado la alteración del ciclo natural del nitrógeno, aunque su impacto global aún no es muy conocido.

Hay dos problemas directamente relacionados con el amoníaco. Uno es la eutrofización de las aguas. Los nitratos acaban en mares y ríos, las algas y bacterias con exceso de nutrientes, acaban con el oxígeno que necesitan otras especies. Por otro lado, el nitrógeno reactivo está alterando el equilibrio atmosférico, enriqueciendo el ozono de la troposfera y reduciendo el de la atmósfera. Eso sí, el amoníaco tiene el efecto positivo de la captura de CO₂ en selvas y bosques debido a la mayor presencia de nitrógeno en el aire. [7]

4. CONCLUSIONES

El proceso de Haber-Bosch ha sido una herramienta revolucionaria en la química industrial, permitiendo la producción de amoníaco a gran escala y, en consecuencia, de fertilizantes. Aunque el proceso no está exento de problemas ambientales, como se ha descrito anteriormente, su impacto en la agricultura y en la capacidad para alimentar a una población en crecimiento no puede ser puesto en entredicho. La clave está en buscar un equilibrio entre los beneficios que aporta este tipo de tecnología y los problemas ambientales que presenta

Referencias

- [1] A.Varotto, "Enhanced Catalytic Perfomance for raising the standards: Global Ammonia Production", Quantumsphere, INC. Website: www.qsinano.com.
- [2] "Descripción general del proceso Haber-Bosch" Website: www.cienciadehoy.com
- [3] Joshua Jalpern, Scott Sinex, Scott Johnson. "El proceso Haber-Bosch para la Síntesis de Amoníaco." Website: www.espano.libretexts.org
- [4] S.Benci. "Ammonia Synthesis Promoted by Iron Catalysts". Departamento de Química. Michigan State University. Literature Report. 2001.
- [5] "Proceso Haber-Bosch" Website: www.studysmarter.es
- [6] TECPA. "Las etapas del proceso de Haber Bosch". 2023 Website: www.tecpa.es
- [7] Kanter, David R.; Bartolini, Fabio; Kugelberg, Susanna, Leip Adrian; Oenema, Oene; Uwize, Aimable. "Nitrogen pollution policy beyondthe farm Nature Food" 1, 27-32. 2020.



*M. Ángeles Márquez, Manuel Salas, Manuel Fernández
Alumnos de 4º curso del Grado de Química*