

Introducción a la Ingeniería de Procesos

Clase 4

1

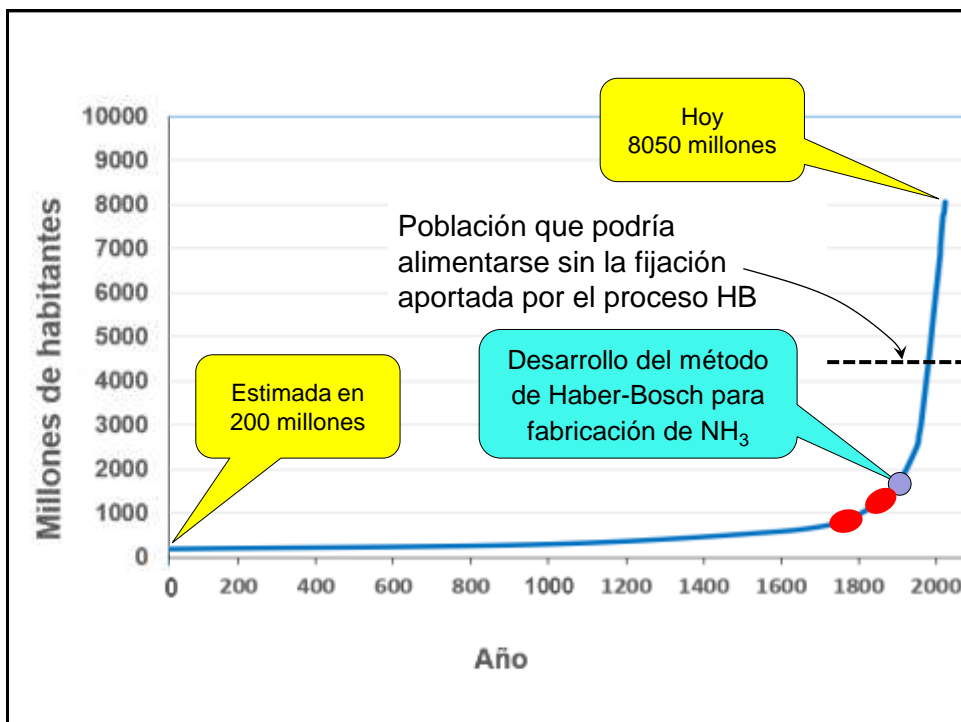
Ejemplo Proceso de Obtención de Amoníaco

2

Principales usos del Amoníaco

- ✓ El amoníaco producido industrialmente se destina principalmente a la fabricación de fertilizantes ($\approx 80\%$):
 - nitrato de amonio: NH_4NO_3
 - sales amónicas: $(\text{NH}_4)_2\text{SO}_4$, $(\text{NH}_4)_3\text{PO}_4$
 - urea: $(\text{NH}_2)_2\text{CO}$
- ✓ Otros usos del amoníaco incluyen:
 - Fabricación de ácido nítrico HNO_3 .
 - Explosivos (i.e. TNT).
 - Caprolactama, nylon
 - Poliuretanos
 - Gas criogénico por su elevado poder de vaporización
 - Productos de limpieza domésticos

3



4

Algunos datos interesantes

- ✓ Sin los fertilizantes que se producen a partir del amoníaco sintético, la generación de alimentos podría mantener solamente unos 4.500 millones de personas (hoy somos más de 8.000 millones y aumentando)
- ✓ Se estima que más de la mitad de los átomos de N que tenemos en nuestro cuerpo, llegaron desde la atmósfera a través de amoníaco sintetizado a través del proceso Haber-Bosch

5

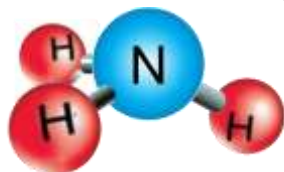
En las próximas diapositivas haremos un "simulacro" de diseño de un proceso de transformación para obtención de Amoníaco.

No se pretende enseñar a diseñar procesos, ni a llegar al diseño más adecuado, sino aprovechar el ejercicio para enseñar algunos conceptos relevantes sobre los procesos de transformación.

6

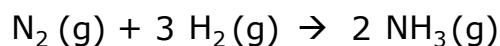
¿Cómo obtener Amoníaco?

La fórmula del amoníaco es NH₃



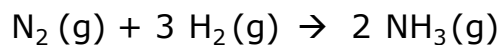
Podríamos sintetizarlo haciendo reaccionar...
... Hidrógeno y Nitrógeno.

La ecuación que representa la reacción química:



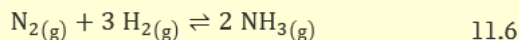
7

La reacción química



Es muy fácil escribir la ecuación en una hoja...

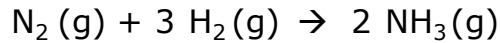
The ammonia synthesis reaction is represented by Eq. 11.6, which establishes the stoichiometry of 2 mol (volumes) of ammonia produced for each 4 mol (volumes) of reacting gases.



... pero ¿cómo hacemos para que esa reacción ocurra?

8

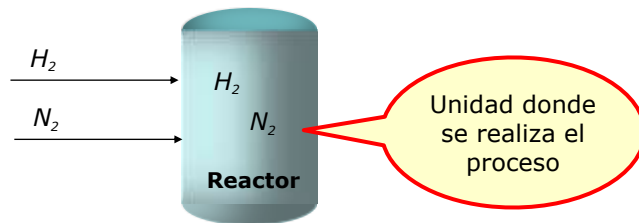
La reacción química



... pero ¿cómo hacemos para que esa reacción ocurra?

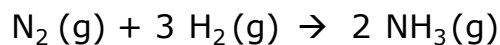
Debemos permitir que N_2 y H_2 interactúen

Ponemos ambos gases en un recipiente y nos aseguramos que se mezclen



9

La reacción química



Ahora bien,...

Si mezclamos N_2 y H_2 en condiciones normales...

... "no pasa nada".

Durante años, varios intentos de hacer reaccionar Nitrógeno e Hidrógeno fallaron, llevando incluso a pensar a muchos químicos que era imposible obtener NH_3 más allá de algunas trazas.

¿Cómo lograr que N_2 y H_2 reaccionen?

10

Proceso Haber - Bosch

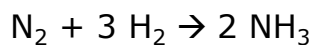
Haber encontró las condiciones para producir la reacción y Bosch diseñó el reactor a escala industrial.

- ✓ altas presiones **100 - 1000 bar**
- ✓ altas temperaturas **400 - 600 °C**
- ✓ uso de catalizador **Hierro (magnetita) con K_2O , CaO , SiO_2 , y Al_2O_3 como promotores**

En estas condiciones se llega a un equilibrio entre reactivos y producto con un grado de conversión del orden del 25%.

11

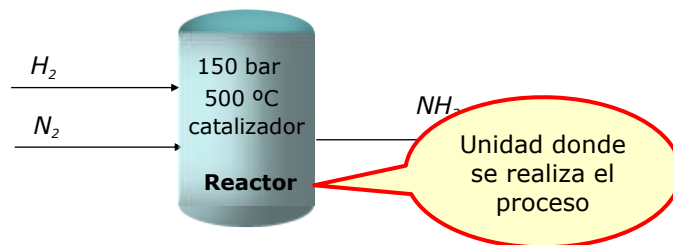
La reacción química



Ponemos el catalizador

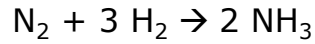
Calentamos hasta 500 °C

Presurizamos a 150 bar

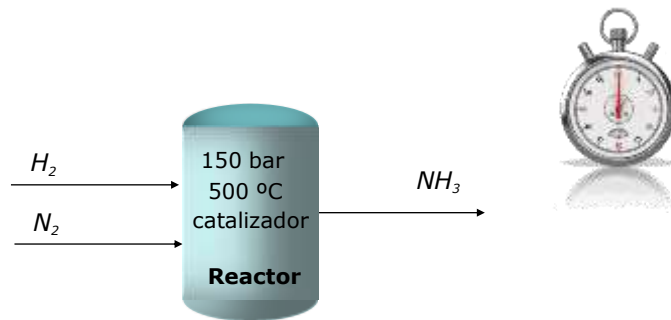


12

La reacción química

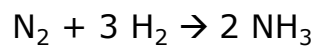


*¿Diseñamos un reactor batch?
¿Llenamos, esperamos que ocurra
la reacción y vaciamos?*

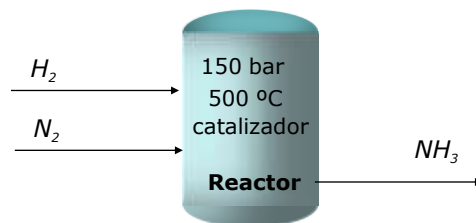


13

La reacción química



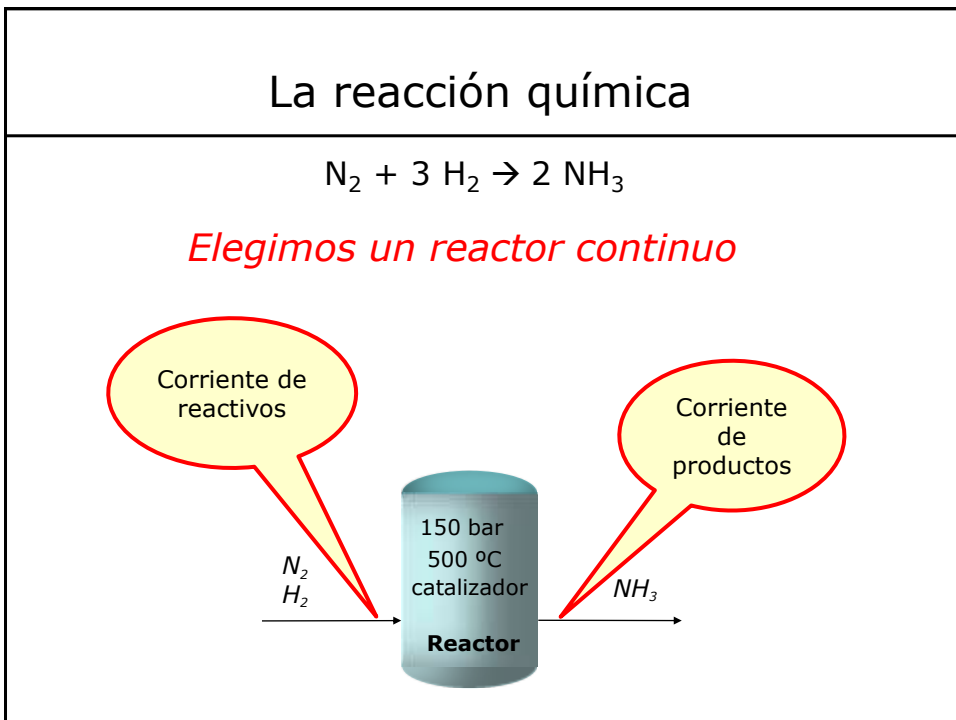
*o
¿lo hacemos en un reactor continuo?*



14

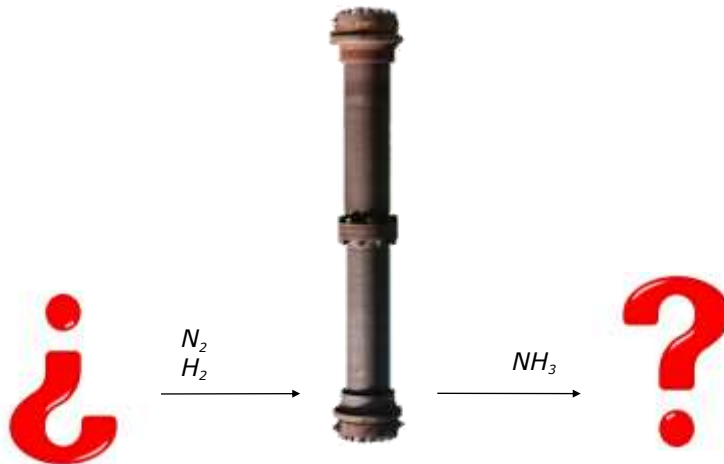
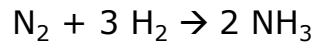


15



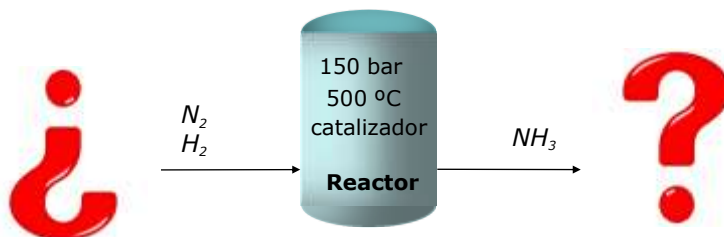
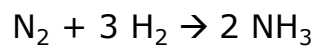
16

La reacción química a escala industrial



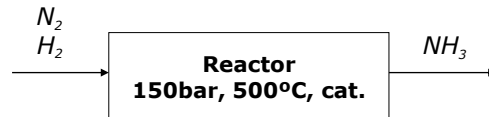
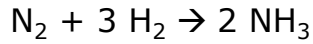
17

La reacción química a escala industrial



18

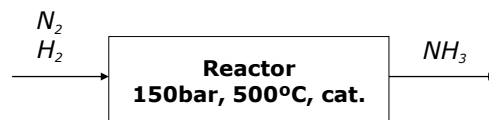
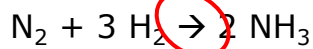
La reacción química a escala industrial



En vez de dibujar el equipo, podemos representarlo con un bloque

19

La reacción química a escala industrial

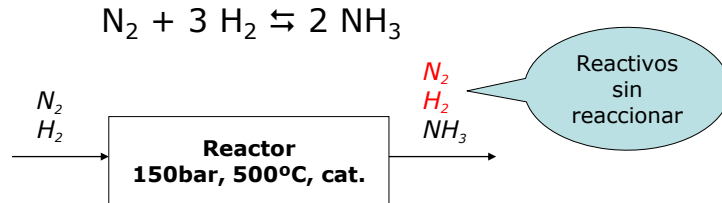


Pero esta representación gráfica no es correcta!

... pues como vimos, se llega a un equilibrio

20

La reacción química a escala industrial

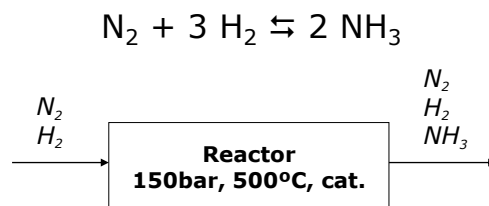


Pero esta representación gráfica no es correcta!

... pues como vimos, se llega a un equilibrio (con una importante concentración de reactivos sin reaccionar en la corriente de salida)

21

La reacción química a escala industrial

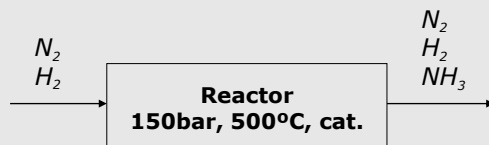
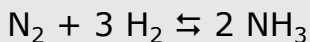


Esta representación refleja mejor la realidad

*Si representamos la operación con un BLOQUE deben estar **todas las corrientes de sustancias que entran y que salen**, no puede haber "creación ni destrucción espontánea"*

22

¿Podemos estimar la pureza del NH₃ en la salida?



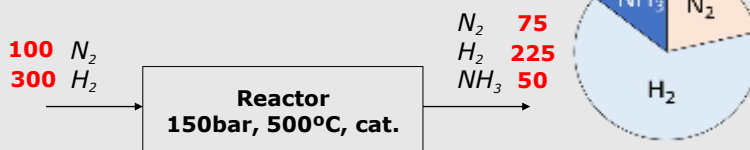
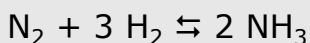
Supongamos que al reactor ingresan N₂ e H₂ en cantidades estequiométricas (3 moles de H₂ por mol de N₂).

Si como dijimos, la reacción llega a un equilibrio y reaccionan sólo el 25% de los reactivos...

¿qué proporción de moles de NH₃ habrá a la salida?

23

Unas pocas cuentas



Por cada 100 moles de N₂ entrarán 300 moles de H₂ (pues se alimentan en proporciones estequiométricas, y según la ecuación de arriba: 1 mol de N₂ reaccionan con 3 de H₂)

Sólo el 25% reaccionan, por lo que de los 100 moles de N₂ quedarán 75, y de los 300 moles de H₂ quedarán 225

Reaccionan 25 moles de N₂ y por cada uno se forman 2 de NH₃, así que del reactor saldrán 50 moles de NH₃

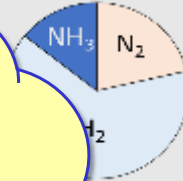
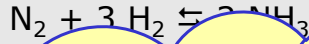
Asumiendo conducta ideal: % moles = % volumen

$$\text{Proporción NH}_3 = 50 / (75 + 225 + 50)$$

$$\text{Resp.} = 14,3 \%$$

24

Unas pocas cuentas



Lo que acabamos de hacer es un Balance de Materia

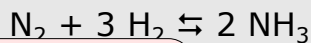
Reacción de N_2 y H_2 para formar NH_3 , así que de N_2 y H_2 reaccionan 25 y 75 moles, respectivamente. Asumiendo conducta ideal: % moles = % volumen

$$\text{Proporción } \text{NH}_3 = 50 / (75 + 225 + 50)$$

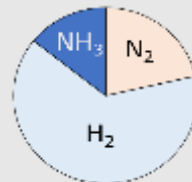
Resp. = 14,3 %

25

Unas pocas cuentas



N_2 75
 H_2 225
 NH_3 50



GRADO DE AVANCE CUANDO SE ALCANZA EL EQUILIBRIO

Por cada 100 moles de N_2 entrarán 300 moles de H_2 para alimentar en proporciones estequiométricas la reacción. Como se muestra arriba: 1 mol de N_2 reaccionan con 3 de H_2 . Sólo el 25% reaccionan, por lo que de los 100 moles de N_2 quedarán 75, y de los 300 moles de H_2 quedarán 225

% DE NH_3 EN LA MEZCLA DE EQUILIBRIO

Reaccionan 25 moles de N_2 y por cada uno se forman 2 de NH_3 , así que del reactor saldrán 50 moles de NH_3

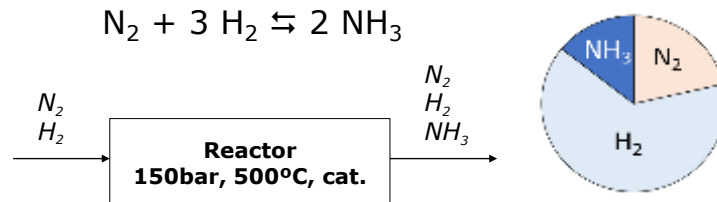
Asumiendo conducta ideal: % moles = % volumen

$$\text{Proporción } \text{NH}_3 = 50 / (75 + 225 + 50)$$

Resp. = 14,3 %

26

La reacción química a escala industrial



Sí, tenemos el reactor, pero...

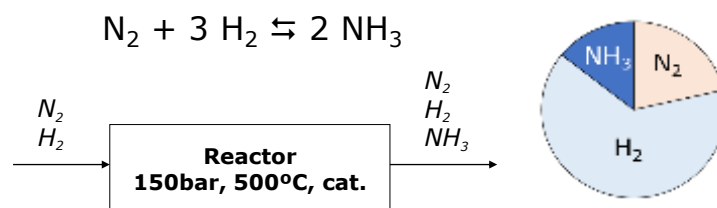
... aun en estas condiciones
"extremas" el gas que sale es
muy pobre en Amoníaco.



Esto NO es satisfactorio:
el "Producto" que sale es muy impuro

27

La reacción química a escala industrial



"Gasto alto de reactivos para producir poco
Amoníaco y por si fuera poco, lo obtenemos
muy diluido"



¿Entonces?

*Intentemos desplazar el equilibrio
más "a la derecha" (¿?)*

28

Influencia de P y T en el punto de equilibrio...

Presión (atm)	% de amoníaco presente en el equilibrio a cada P y T					
	100°C	200°C	300°C	400°C	500°C	700°C
10	-	50.7	14.7	3.9	1.2	0.2
25	91.7	63.6	27.4	8.7	2.9	-
50	94.5	74.0	39.5	15.3	5.6	1.1
100	96.7	81.7	52.5	25.2	10.6	2.2
200	98.4	89.0	66.7	38.8	18.3	-
400	99.4	94.6	79.7	55.4	31.9	-
1000	-	98.3	92.6	79.8	57.5	12.9

Condiciones operativas

T = 500 °C
P = 150 atm
lo que permite
% NH₃ en eq. ≈ 14,3% (pureza)

29

Para aumentar el % de NH₃ en el equilibrio...

Presión (atm)	% de amoníaco presente en el equilibrio a cada P y T					
	100°C	200°C	300°C	400°C	500°C	700°C
10	-	50.7	14.7	3.9	1.2	0.2
25	91.7	63.6	27.4	8.7	2.9	-
50	94.5	74.0	39.5	15.3	5.6	1.1
100	96.7	81.7	52.5	25.2	10.6	2.2
200	98.4	89.0	66.7	38.8	18.3	-
400	99.4	94.6	79.7	55.4	31.9	-
1000	-	98.3	92.6	79.8	57.5	12.9

30

Para aumentar el % de NH₃ en el equilibrio...

Presión (atm)	% de amoníaco presente en el equilibrio a cada P y T					
	100°C	200°C	300°C	400°C	500°C	700°C
10	-	50.7	14.7	3.9	1.2	0.2
25	91.7	63.6	27.4	8.7	2.9	-
50	94.5	74.0	39.5	15.3	5.6	1.1
100	96.7	81.7	52.5	25.2	10.6	2.2
200	98.4	89.0	66.7	38.8	18.3	-
400	99.4	94.6	79.7	55.4	31.9	-
1000	-	98.3	92.6	79.8	57.5	12.9

(No es la manera: pues si bien mejoramos el % de NH₃ en equilibrio, la reacción se vuelve extremadamente lenta)

31

Para aumentar el % de NH₃ en el equilibrio...

Presión (atm)	% de amoníaco presente en el equilibrio a cada P y T					
	100°C	200°C	300°C	400°C	500°C	700°C
10	-	50.7	14.7	3.9	1.2	0.2
25	91.7	63.6	27.4	8.7	2.9	-
50	94.5	74.0	39.5	15.3	5.6	1.1
100	96.7	81.7	52.5	25.2	10.6	2.2
200	98.4	89.0	66.7	38.8	18.3	-
400	99.4	94.6	79.7	55.4	31.9	-
1000	-	98.3	92.6	79.8	57.5	12.9

32

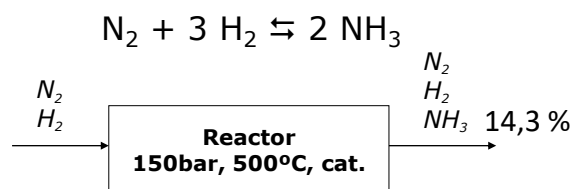
Para aumentar el % de NH_3 en el equilibrio...

Presión (atm)	% de amoníaco presente en el equilibrio a cada P y T					
	100°C	200°C	300°C	400°C	500°C	700°C
10	-	50.7	14.7	3.9	1.2	0.2
25	91.7	63.6	27.4	8.7	2.9	-
50	94.5	74.0	39.5	15.3	5.6	1.1
100	96.7	81.7	52.5	25.2	10.6	2.2
200	98.4	89.0	66.7	38.8	18.3	-
400	99.4	94.6	79.7	55.4	31.9	-
1000	-	98.3	92.6	79.8	57.5	12.9

(Funciona en los papeles, pero trabajar a tan altas presiones se vuelve impráctico, costoso y peligroso!!!)

33

¿Cómo podemos aumentar la pureza del producto de salida?



Estamos limitados técnicamente para mejorar el grado de conversión por cambios de T y P .

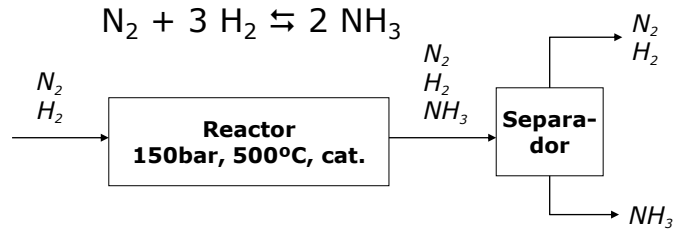
¿Entonces?



Podemos aumentar la pureza del NH_3 separándolo de los reactivos sin reaccionar.

34

¿Cómo podemos aumentar la pureza del producto de salida?



Un "pique": Una de las formas más comunes para separar mezclas es la separación de fases

35

¿Separación de fases?

SUSTANCIAS EN
FASES
DIFERENTES

Las fases pueden tener propiedades físicas diferentes que faciliten la separación

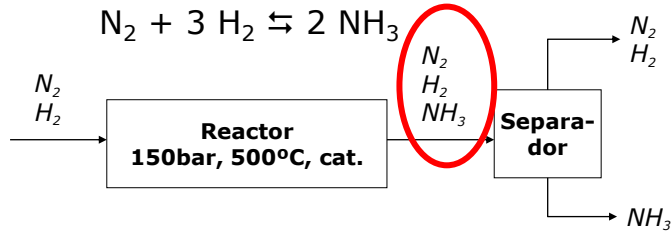
Por ejemplo: sólidos, líquidos y gases generalmente tienen diferente densidad; sólidos pueden separarse filtrando; etc.

SUSTANCIAS
MEZCLADAS EN
UNA ÚNICA FASE

Es muy difícil separar las diferentes sustancias

36

¿Cómo separamos amoníaco del hidrógeno y nitrógeno?



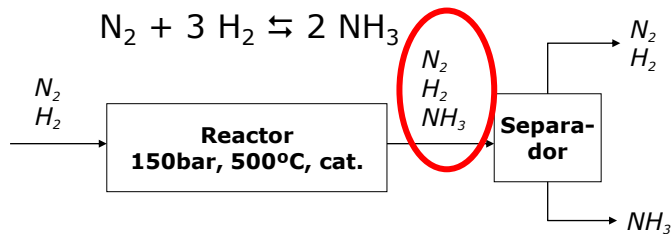
Un "pique": Una de las formas más comunes para separar mezclas es la separación de fases

Pero en este caso las 3 sustancias son gases y salen del reactor en una única fase !!!

¿Entonces?

37

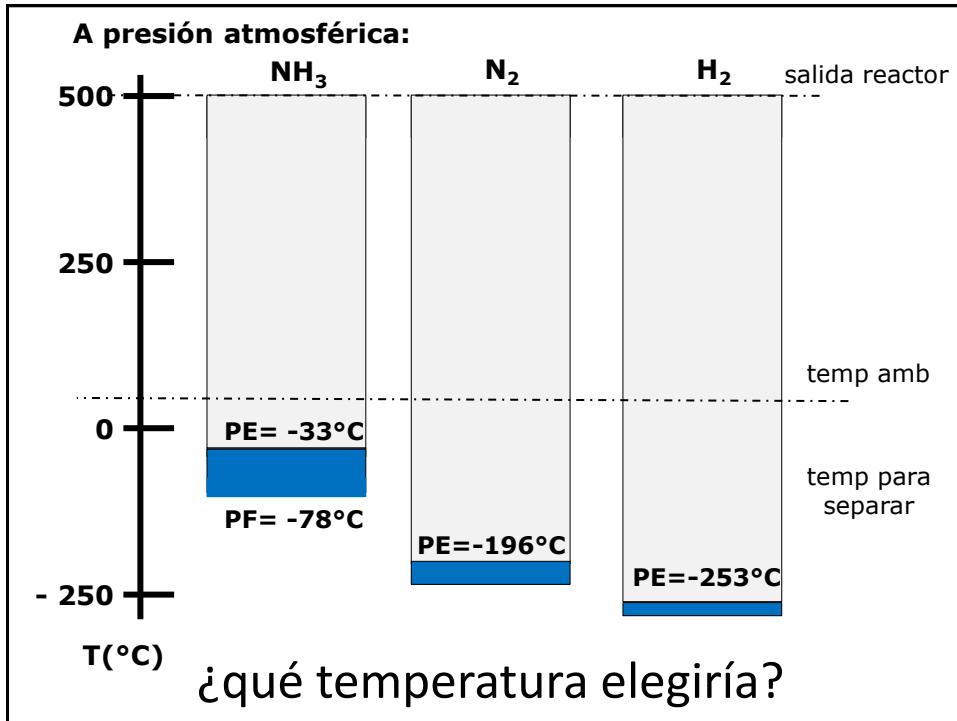
¿Cómo separamos amoníaco del hidrógeno y nitrógeno?



Compuesto	P.E. a 1 atm, en grados Celsius
Amoníaco	-33
Nitrógeno	-196
Hidrógeno	-253

Podemos enfriar y condensar !!!

38



39

¿Cómo separamos amoníaco del hidrógeno y nitrógeno?

$$\text{N}_2 + 3 \text{H}_2 \rightleftharpoons 2 \text{NH}_3$$

N_2
 H_2 → **Reactor
150bar, 500°C, cat.** → N_2
 H_2
 NH_3

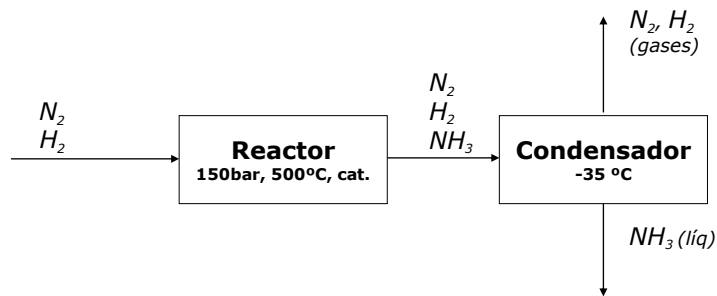
Podemos enfriar y condensar !!!

Compuesto	P.E. a 1 atm, en grados Celsius
Amoníaco	-33
Nitrógeno	-196
Hidrógeno	-253

¿qué temperatura elegiría?

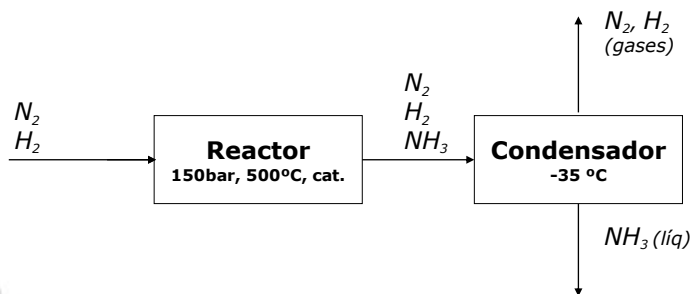
40

¿Cómo separamos amoníaco del hidrógeno y nitrógeno?



41

Ahora sí, obtenemos Amoníaco puro

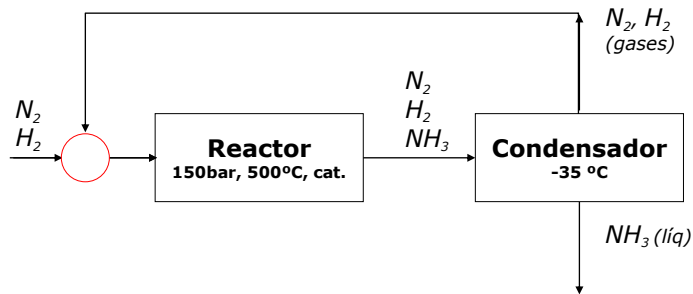


Sigue siendo insatisfactorio:

Desperdiciamos el 75% de los reactivos sin reaccionar (sólo 25% de conversión).

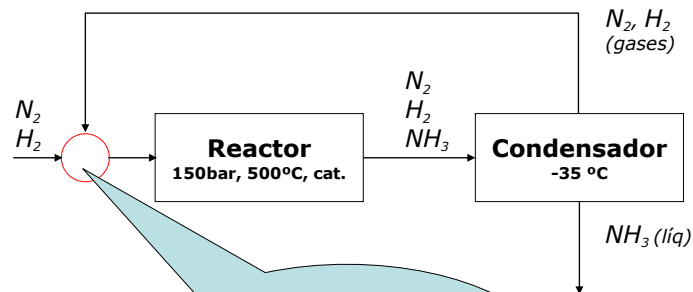
42

¿Cómo aprovechar los reactivos sin reaccionar?



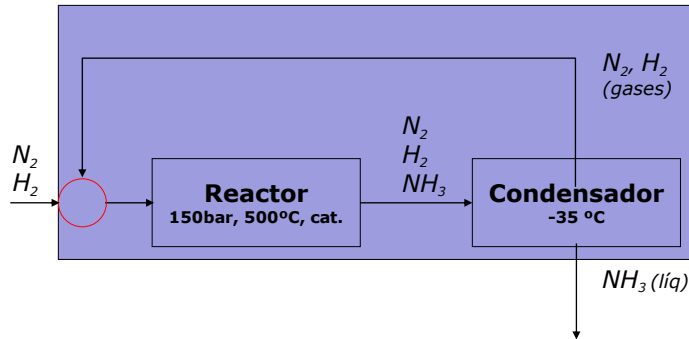
43

Reciclado de los reactivos



44

Reciclado de los reactivos



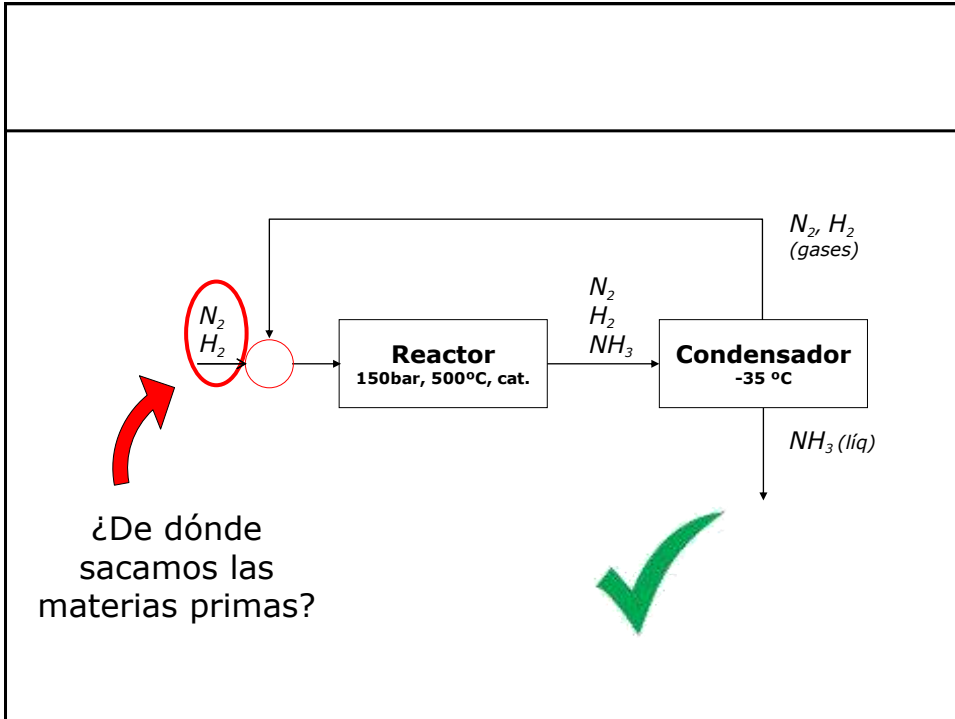
45

Reciclado de los reactivos

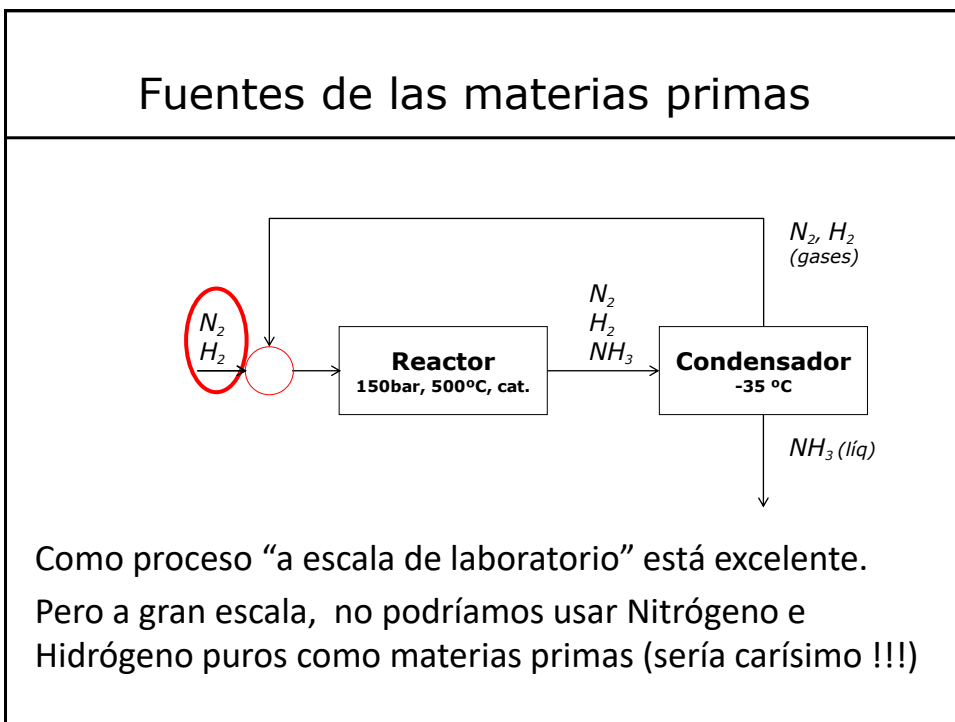


El reciclado del total de los reactivos sin reaccionar permitiría lograr una conversión "efectiva" del 100%

46

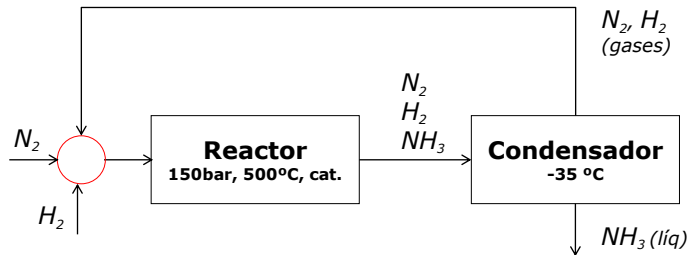


47



48

Fuentes de las materias primas



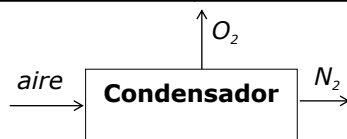
49

Aire como fuente de N_2

*El aire contiene 78% de Nitrógeno !!!!
... pero también Oxígeno que hay que separar.*

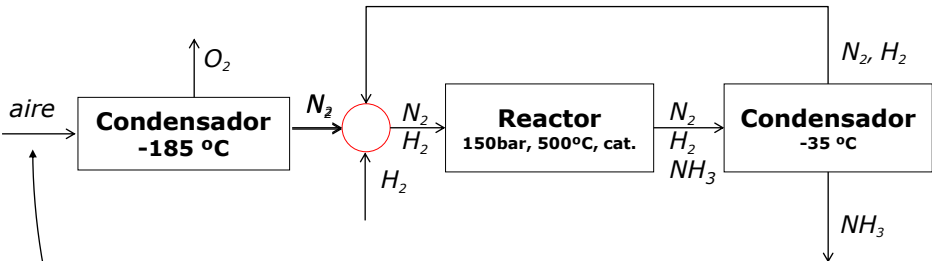
(NO PUEDE HABER OXIGENO DENTRO DEL REACTOR PUES REACCIONARIA VIOLENTAMENTE CON EL HIDROGENO)

Compuesto	P.E. a 1 atm, en grados Celsius
Oxígeno	-183
Nitrógeno	-196



50

Aire como fuente de N_2



Pero...¿el aire es sólo N_2 y O_2 ?

51

El aire no es sólo N_2 y O_2

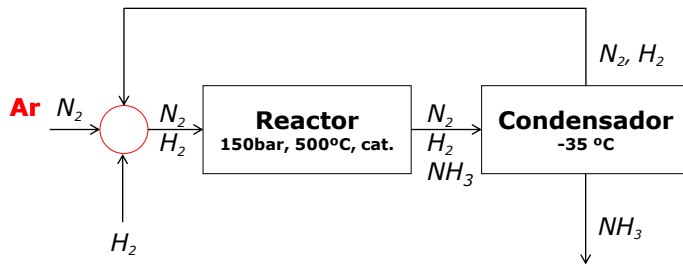
N_2	78,1 %
O_2	20,9 %
Ar	0,94 %
CO_2	0,04 %
H_2O y trazas de otros	

El Argón está en cantidades no despreciables, pero es inerte.

Pero si el Argón es inerte ¿hay algún riesgo si ingresa el Argón junto con el Nitrógeno?

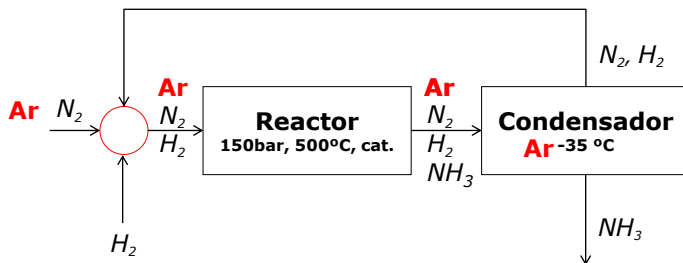
52

Si ingresa Ar con el N_2



53

Si ingresa Ar con el N_2



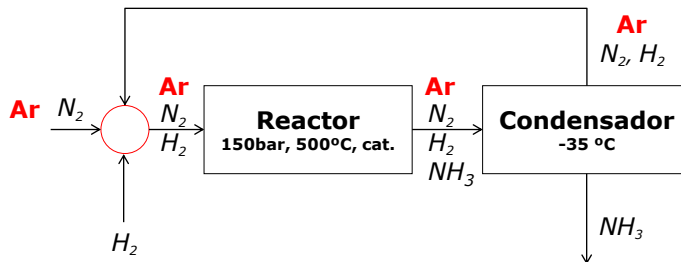
El Argón ingresa al reactor, pero como es inerte (no reacciona) sale como tal del reactor.

Ingresa con el resto de los gases al condensador.

¿Con qué corriente sale del Condensador?

54

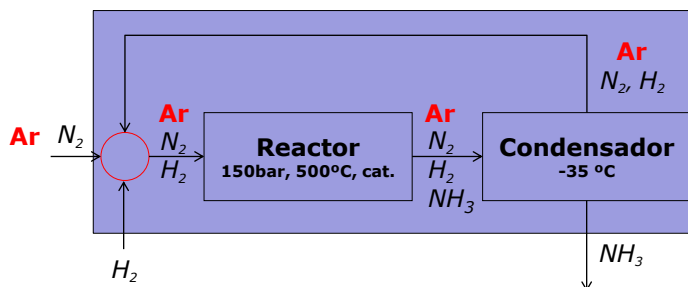
Si ingresa Ar con el N₂



Compuesto	P.E. a 1 atm, en °C
Amoníaco	-33
Nitrógeno	-196
Hidrógeno	-253
Argón	-186

55

Si ingresa Ar con el N₂



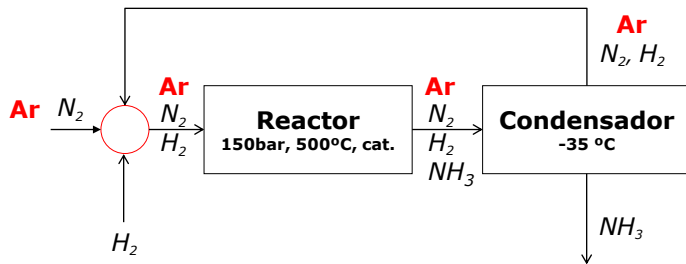
El Argón sale del Condensador en la corriente que recircula.

¿ ven algún inconveniente ?

La acumulación indefinida de Argón; que es incompatible con el buen funcionamiento.

56

Si ingresa Ar con el N₂

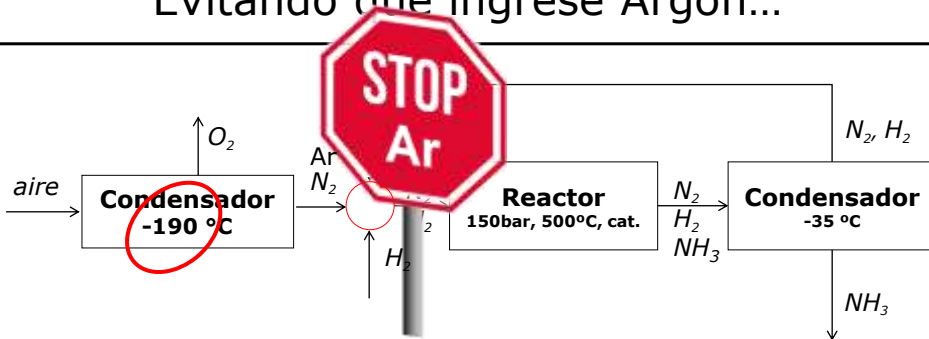


La acumulación indefinida de Argón es incompatible con el buen funcionamiento.

¿Qué podemos hacer?

57

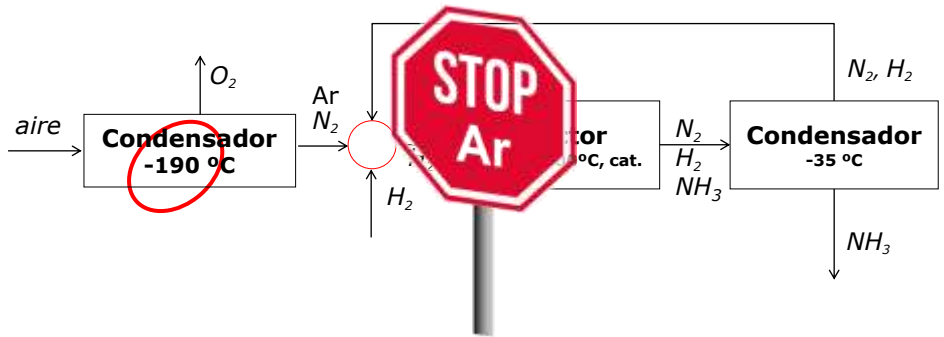
Evitando que ingrese Argón...



Compuesto	P.E. a 1 atm, en °C
Nitrógeno	-196
Oxígeno	-183
Argón	-186

58

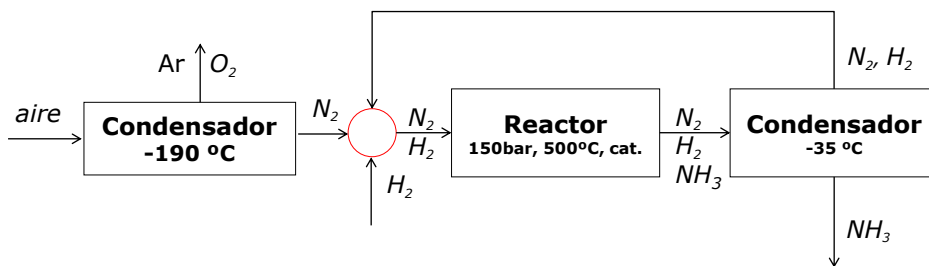
Evitando que ingrese Argón...



Compuesto	P.E. a 1 atm, en °C
Nitrógeno	-196
Oxígeno	-183
Argón	-186

59

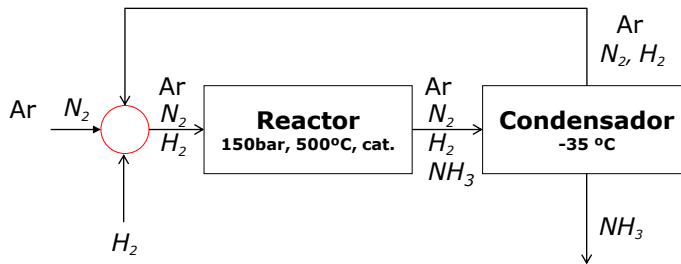
Evitando que ingrese Argón...



Técnicamente, esto puede funcionar... pero el costo del enfriamiento del aire a -190°C lo hacen un método no conveniente.

60

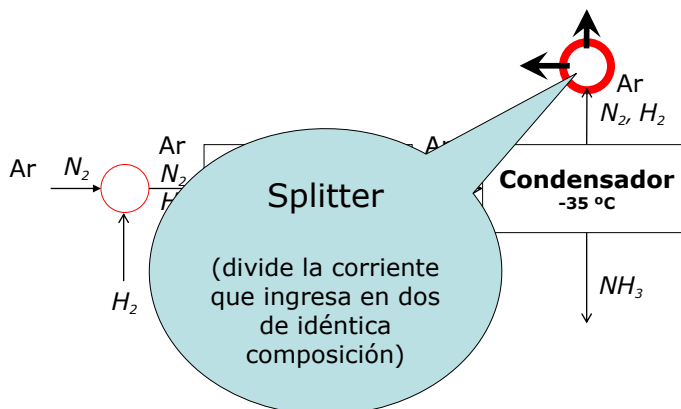
Si ingresa Ar con el N_2



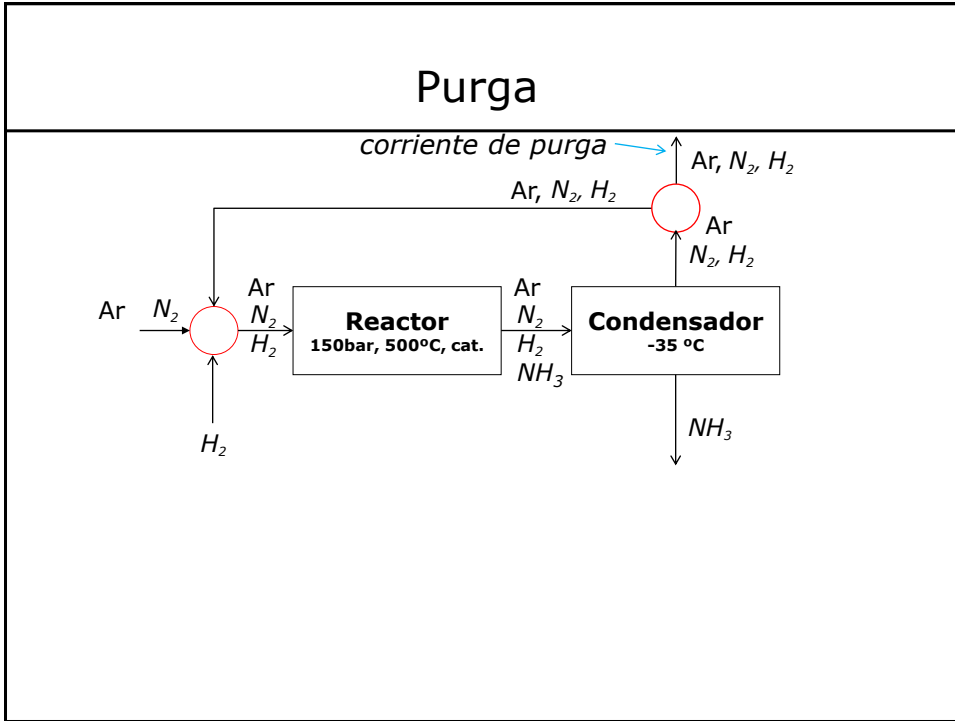
Para estos casos la alternativa de uso común en la industria es "purgar"

61

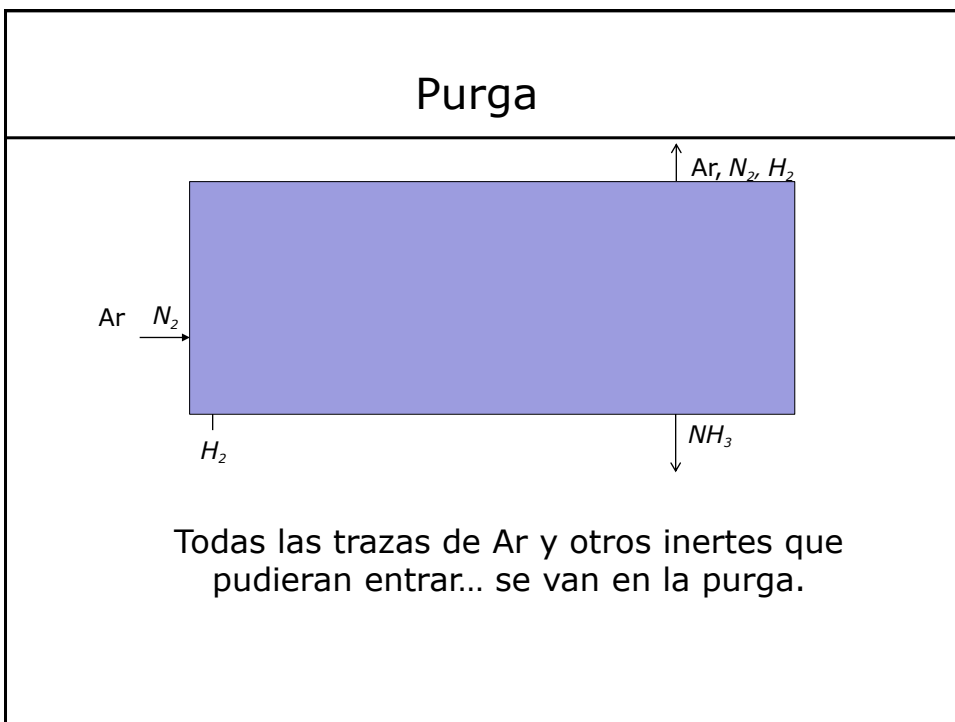
Si ingresa Ar con el N_2



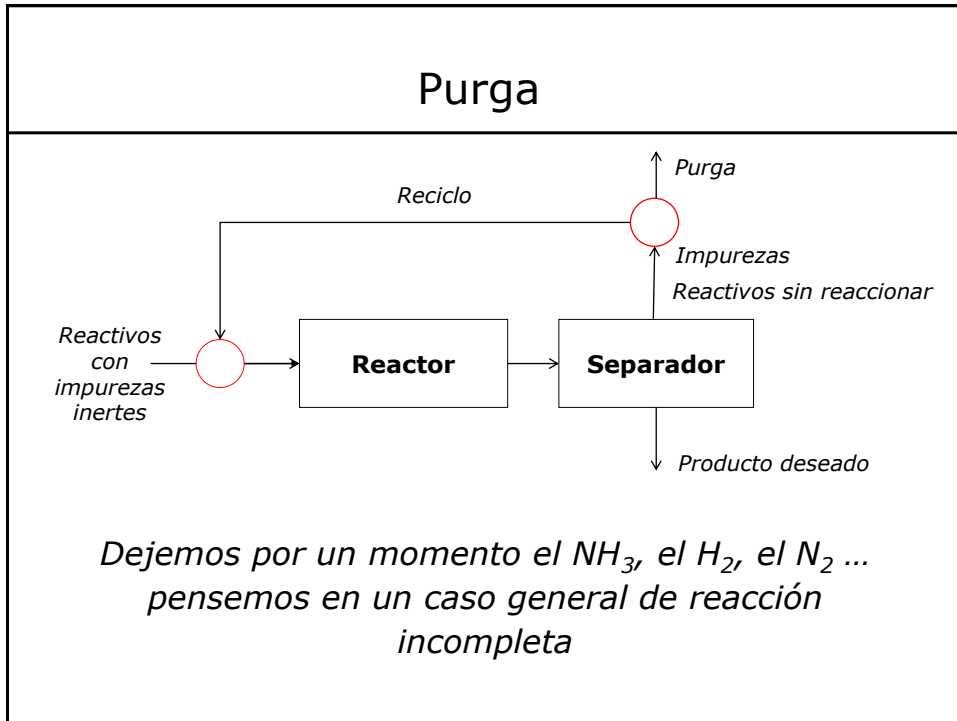
62



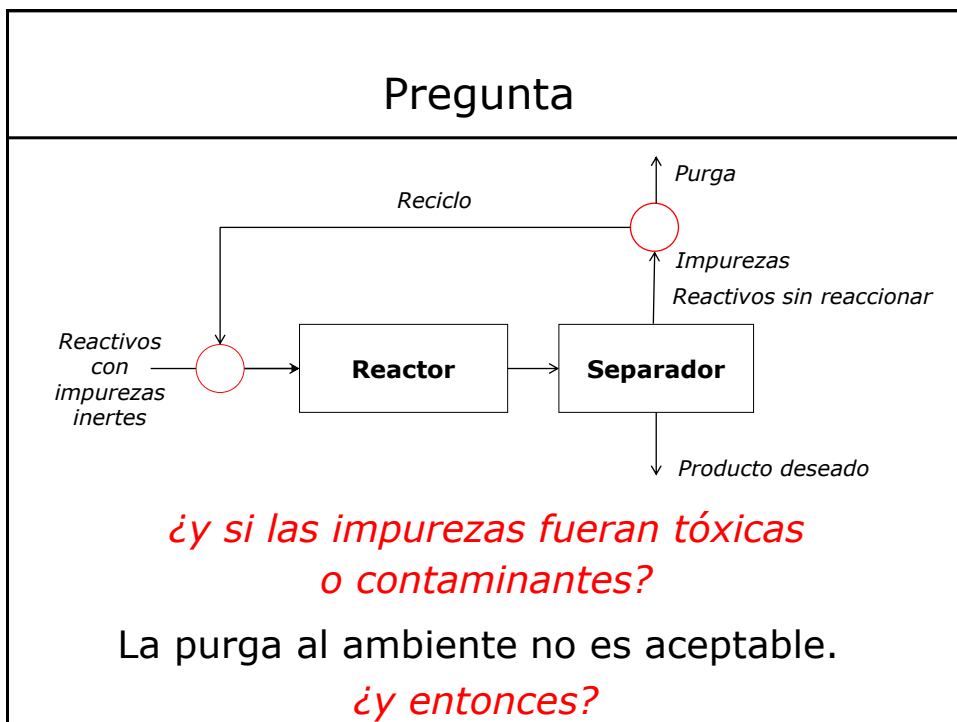
63



64

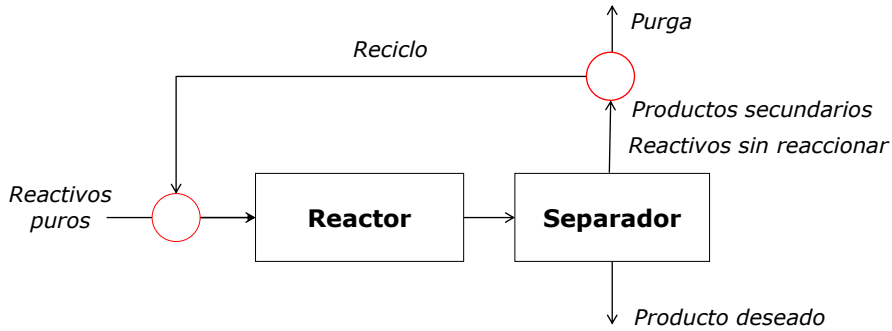


65



66

Pregunta



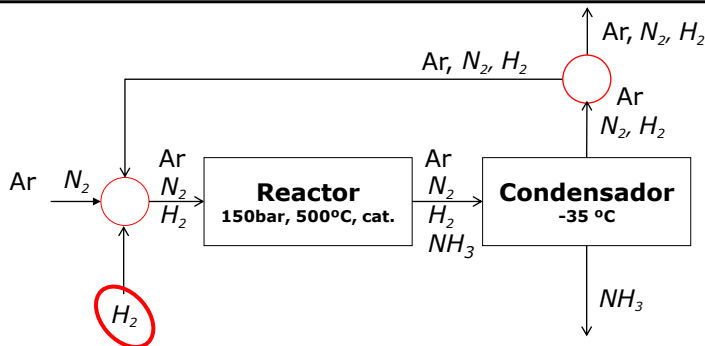
Reactivos puros, pero una reacción secundaria genera productos que no se van con el producto deseado

¿igual recirculamos y purgamos?

Respuesta depende de nocividad, cantidad y valor

67

Volvemos a nuestro proceso de obtención de NH_3



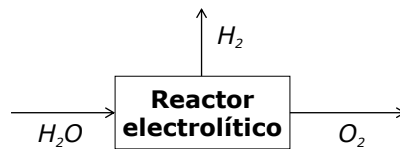
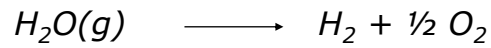
¿Cuál sería una buena fuente para el Hidrógeno?

68

¿Fuente de H₂?

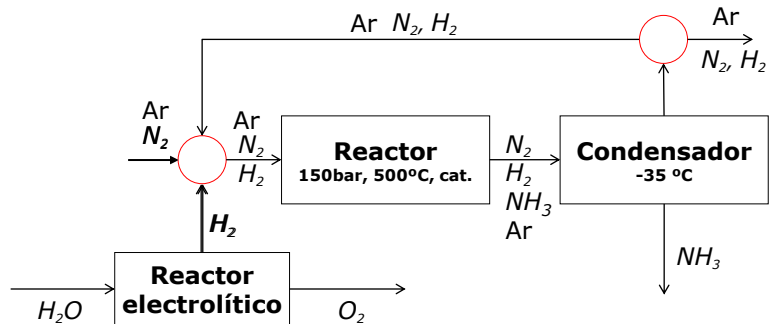
Una posible fuente: Agua (es barata)

Descomposición hidrolítica del agua:



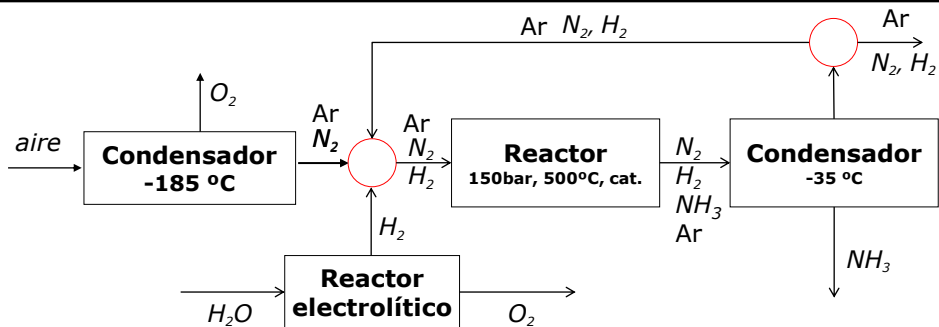
69

¿Fuente de H₂?



70

Obtención de NH_3 a partir de aire y agua



Hemos llegado a un “diseño” que permite obtener NH_3 puro, pero tiene como inconvenientes que enfriar el aire a -185°C y la electrolisis son procesos muy costosos (consumen mucha energía)

71

Mejoras al diseño original

Oportunidad
de mejora

72

Mejoras al diseño original

Abaratar la obtención de N₂ y H₂

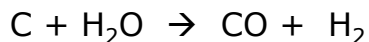
El aire y el agua son muy baratos. Pero los procesos requeridos para obtener N₂ y H₂ son muy caros.

73

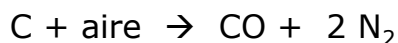
Aire y Agua como materias primas

Al principio, cuando se empezó a producir amoníaco industrialmente se usó agua como fuente de H₂. Pero en lugar de obtener H₂ por electrolisis del agua, se lo obtenía haciendo reaccionar el agua con Carbón (coke)

Al tratar el carbón con vapor de agua se obtiene una mezcla CO y H₂ ("*gas de agua*") según:



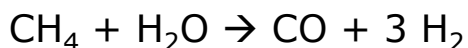
A su vez, al tratar el carbón con aire, se consume el oxígeno y queda el N₂ para usar como reactivo:



74

Uso de Metano

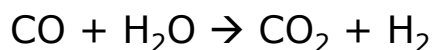
Podemos usar Metano (en lugar de carbón)



La reacción es endotérmica ($\Delta H = - 206 \text{ kJ/mol}$)
... y requiere el aporte de mucha energía.

La reacción es reversible (se llega a un equilibrio).

Parte del CO obtenido puede seguir reaccionando con vapor de agua según:



75

"Steam Reforming"

Este método de obtención del Hidrógeno (a partir de la reacción del vapor de agua con el metano) se conoce como "Steam Reforming" (sigla en inglés: SMR).

El 55% del Hidrógeno producido en el mundo es en las fábricas de Amoníaco

El SMR es al presente la manera más extendida y más barata de obtener Hidrógeno. Pero es "contaminante" debido al alto nivel de emisión de gases con efecto invernadero.

<https://4thgeneration.energy/life-cycles-emissions-of-hydrogen/>

<https://www.aiche.org/resources/publications/cep/2019/august/renewable-hydrogen-sustainable-ammonia-production>

76

¿De dónde obtenemos Metano?

- El Metano no se encuentra puro en la naturaleza, pero es el principal componente del **gas natural** (que abunda en muchos países)
- El gas natural tiene algunas impurezas sulfuradas que son incompatibles con los catalizadores usados en el proceso

77

Uso de Gas Natural como materia prima

Según una publicación de 2010 (*), el 67% del NH_3 global se obtenía a partir del reforming de gas natural con vapor.

La composición del gas natural varía según el yacimiento.

Componente	Fórmula	Gas No Asociado	Gas Asociado
Metano	CH_4	95-98 %	60-80 %
Etano	C_2H_6	1-3 %	10-20 %
Propano	C_3H_8	0.5-1 %	5-12 %
Butano	C_4H_{10}	0.2-0.5 %	2-5 %
Pentano	C_5H_{12}	0.2-0.5 %	1-3 %
Dióxido de carbono	CO_2	0-8 %	0-8 %
Nitrógeno	N_2	0-5 %	0-5 %
Ácido sulfhídrico	H_2S	0-5 %	0-5 %
Otros	A, He, Ne, Xe	trazas	trazas

(*) https://www.research.manchester.ac.uk/portal/files/33615474/FULL_TEXT.PDF

78

Uso de Gas Natural como materia prima

Según una publicación de 2010 (*), el 67% del NH_3 global se obtenía a partir del reforming de gas natural con vapor.

La composición del gas natural reformado es la siguiente:

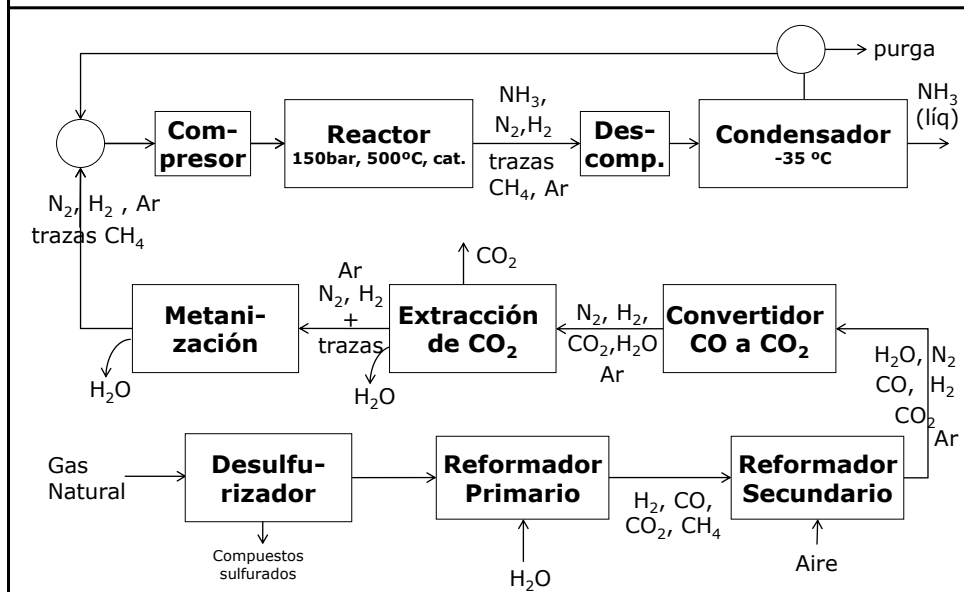
Componente	Fórmula	Porcentaje	Porcentaje
Metano	CH_4		
Etano	C_2H_6		
Propano	C_3H_8		
Butano	C_4H_{10}		
Pentano	C_5H_{12}	1-3 %	1-3 %
Dióxido de carbono	CO_2	0-8 %	0-8 %
Nitrógeno	N_2	0-5 %	0-5 %
Ácido sulfhídrico	H_2S	0-5 %	0-5 %
Otros	A, He, Ne, Xe	trazas	trazas

El azufre es una impureza indeseada pues interfiere con los catalizadores usados

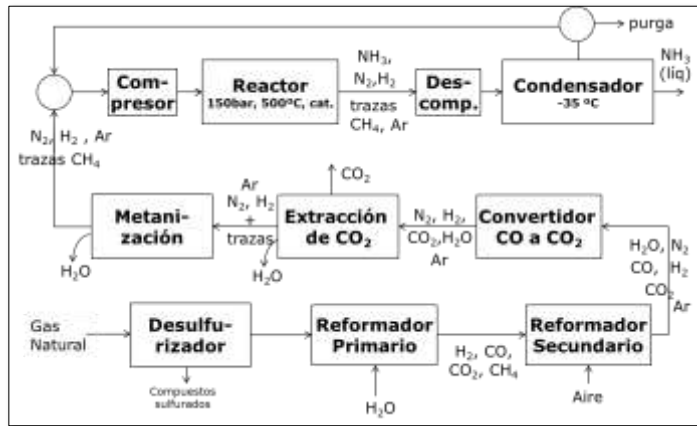
(*) https://www.research.manchester.ac.uk/portal/files/33615474/FULL_TEXT.PDF

79

Proceso de obtención NH_3 con Gas Natural



80



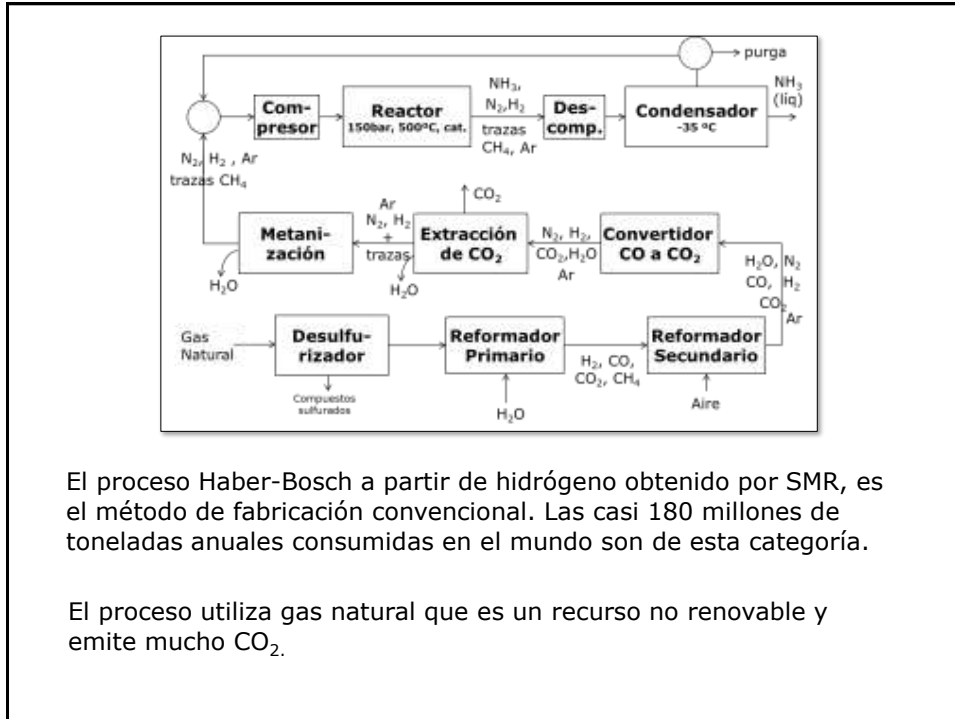
El proceso Haber-Bosch a partir de hidrógeno obtenido por SMR, es el método de fabricación convencional. El proceso utiliza gas natural que es un recurso no renovable y emite mucho CO₂. Las casi 180 millones de toneladas anuales consumidas en el mundo son de esta categoría.

81

Mejoras al diseño original

Propender a un proceso más “verde”

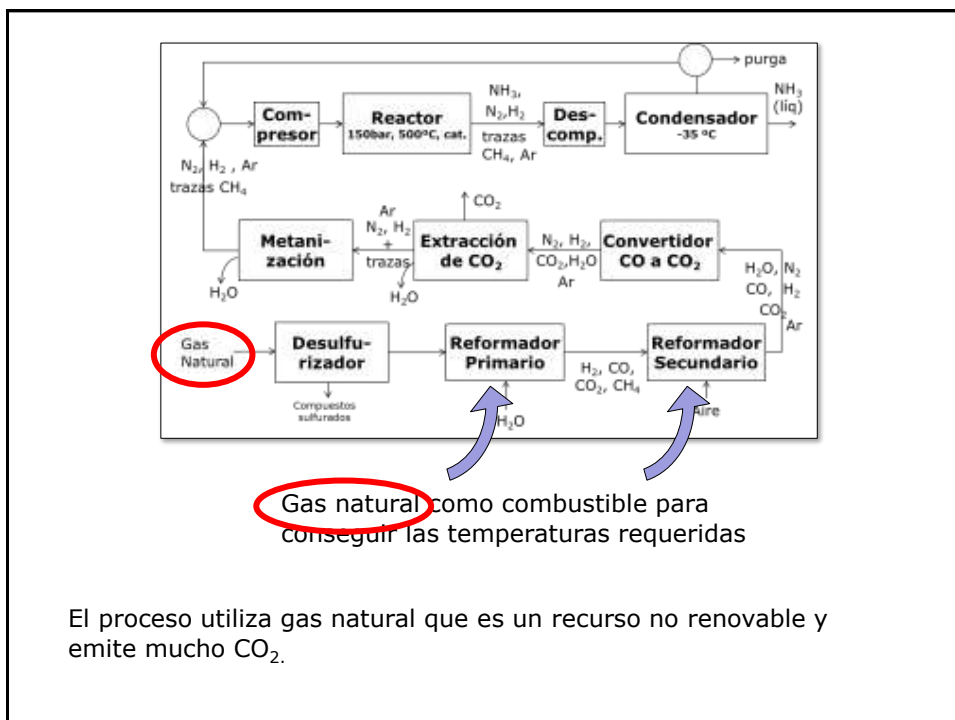
82



El proceso Haber-Bosch a partir de hidrógeno obtenido por SMR, es el método de fabricación convencional. Las casi 180 millones de toneladas anuales consumidas en el mundo son de esta categoría.

El proceso utiliza gas natural que es un recurso no renovable y emite mucho CO₂.

83



El proceso utiliza gas natural que es un recurso no renovable y emite mucho CO₂.

84

Los “colores” del amoníaco

El proceso Haber-Bosch a partir de hidrógeno obtenido por SMR, es el método de fabricación convencional. Utiliza gas natural que es un recurso no renovable y emite mucho CO₂.

A este se le llama, el **amoníaco gris o marrón**.



El **amoníaco azul** es amoníaco fabricado de manera convencional pero en el cual el CO₂ obtenido como subproducto no se dispone a la atmósfera sino que se captura y almacena, reduciendo así el nivel de emisiones de GEI. La extracción de gas natural sigue siendo un proceso emisor de GEI.



El **amoníaco verde** es el fabricado con hidrógeno obtenido por electrolisis de agua cuya energía se obtiene de fuentes alternativas (sin emisión de CO₂). Por ahora las plantas son de pequeña magnitud, pero el desarrollo de la tecnología está acompañando el interés de muchos en satisfacer esta necesidad



85

¿Intereses contrapuestos?

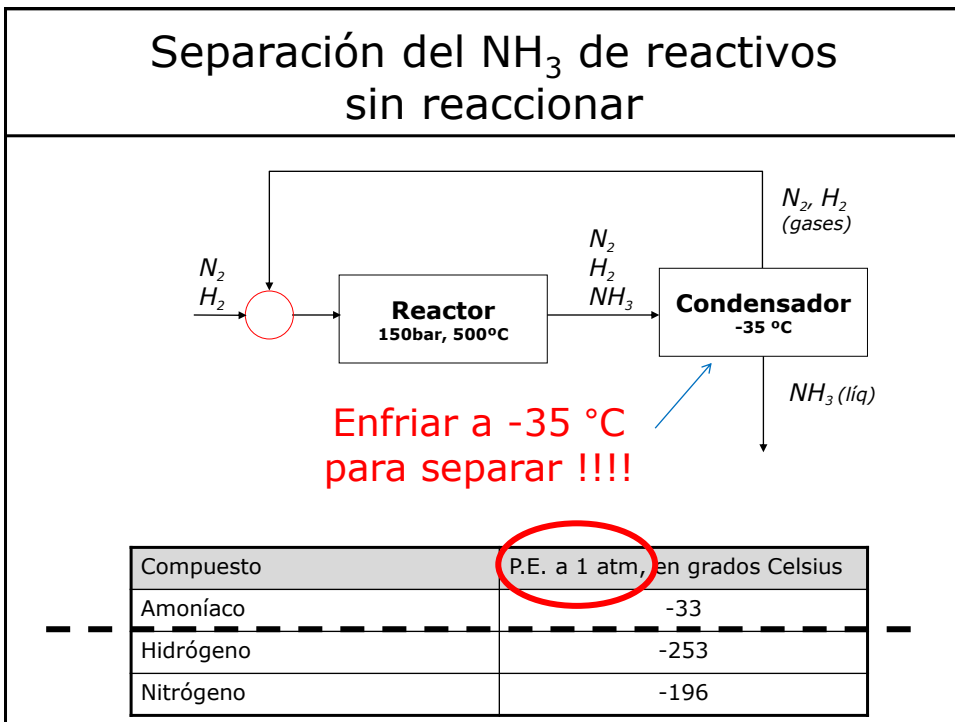
***Abaratar la
obtención de
N₂ y H₂***

***Propender a
un proceso
más “verde”***

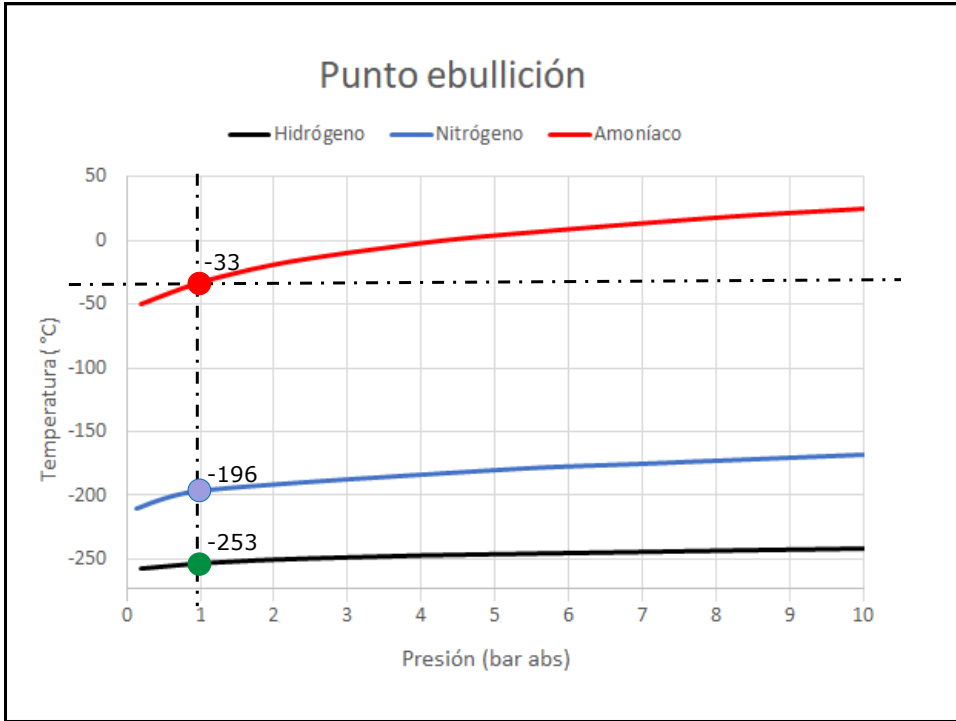
86



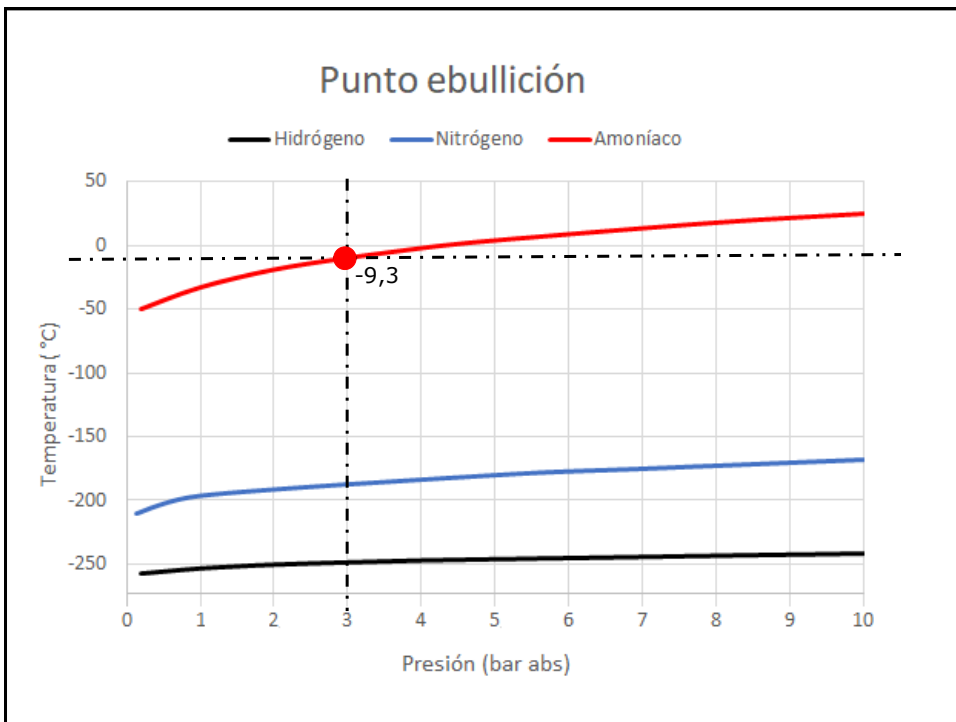
87



88



89

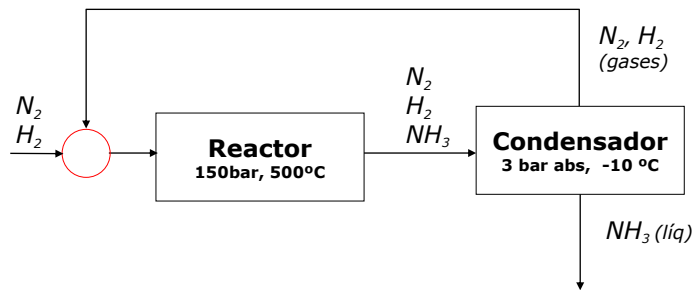


90

Mejoras al diseño del proceso original

- ✓ *Separar el NH_3 a mayor presión para poder operar a mayor temperatura*

Por ejemplo, si $P = 3 \text{ bar abs}$, entonces el amoníaco condensa a $-9,3 \text{ }^\circ\text{C}$. (Alcanzaría con enfriar a $-10 \text{ }^\circ\text{C}$)

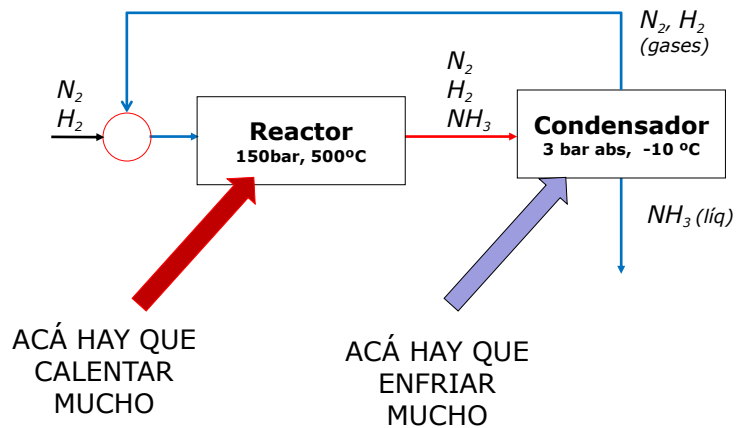


91

Oportunidad
de mejora
3

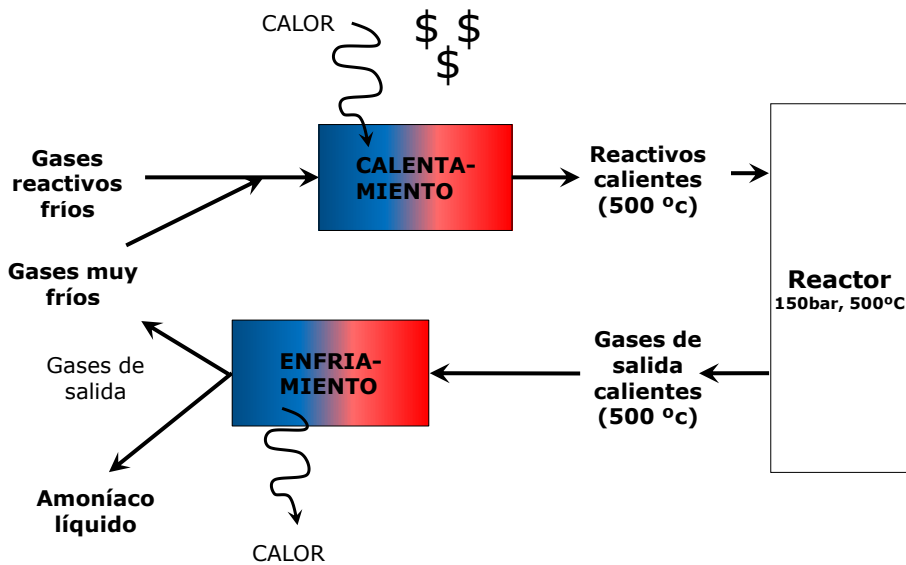
92

Temperaturas extremas!



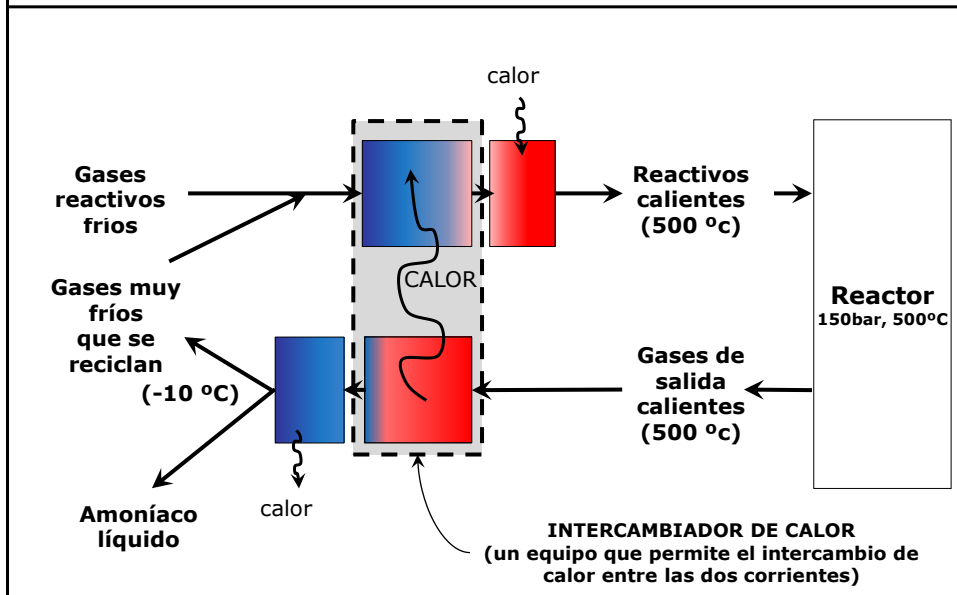
93

Temperaturas extremas!

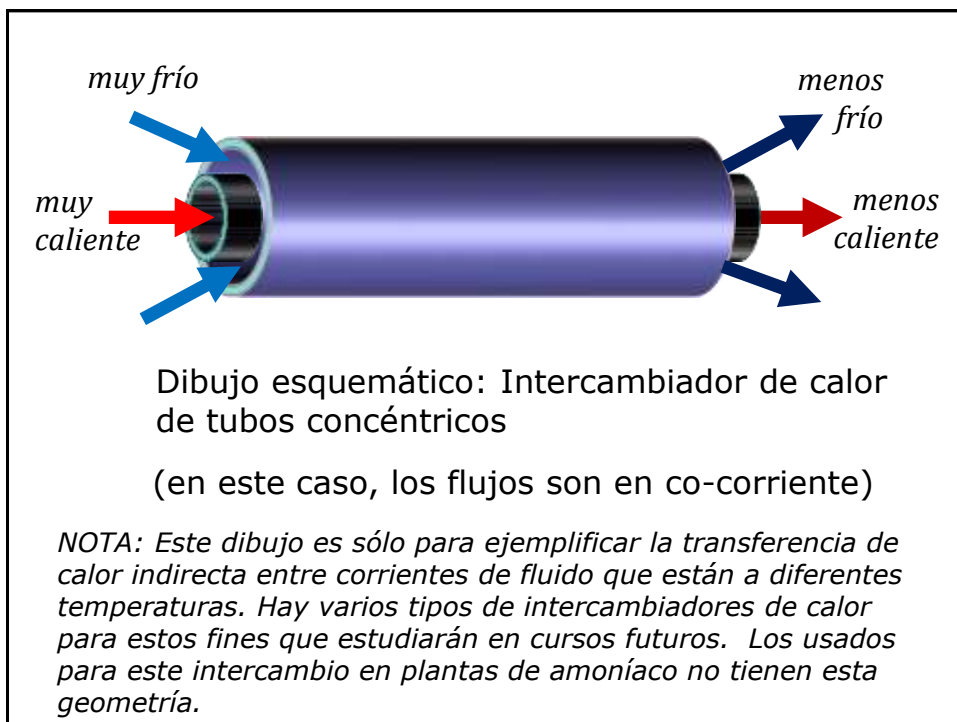


94

Recuperación de calor

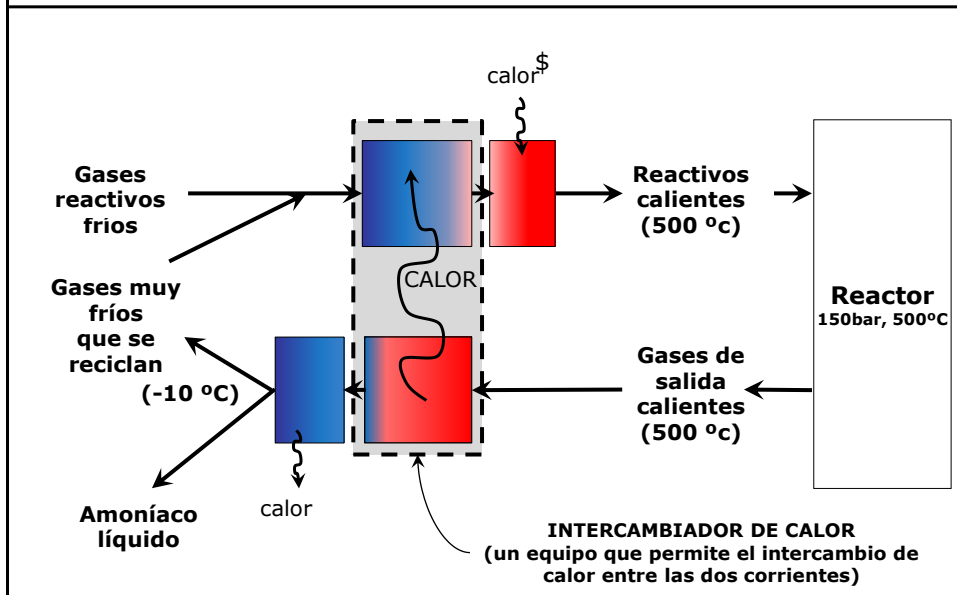


95



96

Recuperación de calor



97



98

- ✓ A través de un mejor aprovechamiento del calor, el intercambiador de calor nos permitirá ahorrar un buen dinero !!!!



- ✓ Pero el intercambiador de calor no es gratis. Será necesario disponer de \$ (para diseñar el equipo, comprarlo, montarlo, ponerlo en marcha, etc...)



*Entonces...., ¿invertimos en el intercambiador?
¿De qué depende la respuesta?*