

Indústria do nitrogênio

Amônia

Curso de Engenharia Química da UNESP, 2021

Disciplina de Processos da Indústria Química

Apresentado por Felipe Kreft Batista

Professor Dr Arnaldo Sarti

Sumário

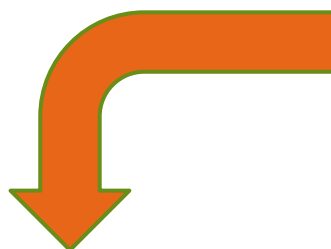
Rota química do processo

Amônia

- ▶ Histórico do processo
- ▶ Aplicação do produto
- ▶ Matéria-Prima
- ▶ Descrição do processo
- ▶ Fluxograma
- ▶ Resíduos
- ▶ Designs de reatores
- ▶ Fluxogramas de rotas

Química

Atenção aqui

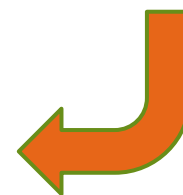


Compound, structure	Oxidation state
Nitrate, NO_3^-	+5
Nitrogen dioxide, NO_2	+4
Nitrite, NO_2^-	+3
Nitric oxide, NO	+2
Nitroxyl, HNO	+1
Nitrogen, N_2	0
Hydroxylamine, NH_2OH	-1
Ammonia, NH_3	-3

Química

Compound, structure	Oxidation state
Nitrate, NO_3^-	+5
Nitrogen dioxide, NO_2	+4
Nitrite, NO_2^-	+3
Nitric oxide, NO	+2
Nitroxyl, HNO	+1
Nitrogen, N_2	0
Hydroxylamine, NH_2OH	-1
Ammonia, NH_3	-3

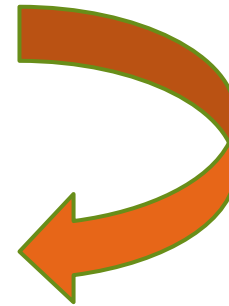
Comece aqui



Química

Compound, structure	Oxidation state
Nitrate, NO_3^-	+5
Nitrogen dioxide, NO_2	+4
Nitrite, NO_2^-	+3
Nitric oxide, NO	+2
Nitroxyl, HNO	+1
Nitrogen, N_2	0
Hydroxylamine, NH_2OH	-1
Ammonia, NH_3	-3

Venha pra cá



Química

Compound. structure	Oxidation state
Nitrate, NO_3^-	+5
Nitrogen dioxide, NO_2	+4
Nitrite, NO_2^-	+3
Nitric oxide, NO	+2
Nitroxyl, HNO	+1
Nitrogen, N_2	0
Hydroxylamine, NH_2OH	-1
Ammonia, NH_3	-3

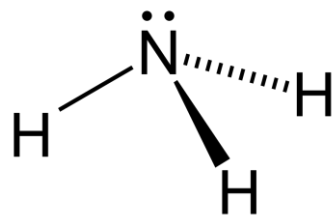


Depois pra cá

Química

Compound, structure		Oxidation state
Nitrate, NO_3^-	#3	+5
Nitrogen dioxide, NO_2		+4
Nitrite, NO_2^-		+3
Nitric oxide, NO		+2
Nitroxyl, HNO		+1
Nitrogen, N_2	#1	0
Hydroxylamine, NH_2OH		-1
Ammonia, NH_3	#2	-3

Pronto, vc sabe oq acontece com o nitrogênio!

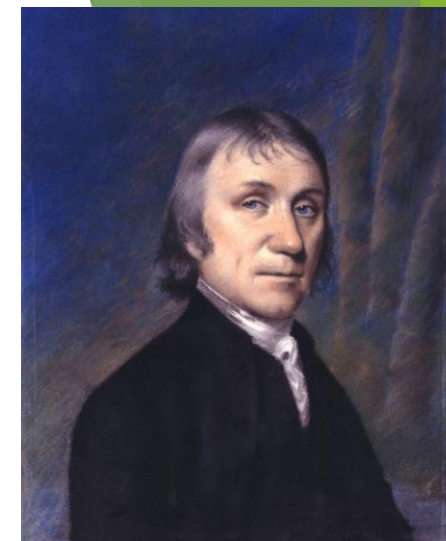


Amônia

Histórico



- Joseph Priestley (1733 - 1804), químico inglês, 1º a isolar a amônia, 1774
- Claude Louis Berthollet, químico francês, determinou a composição, 1785
- Em 1898, Adolph Frank e Nikodem Caro criam o processo Frank-Caro
 - CaCN_2
- Itália, 1906, primeira planta comercial por cianamida construída
 - Consumo excessivo de energia



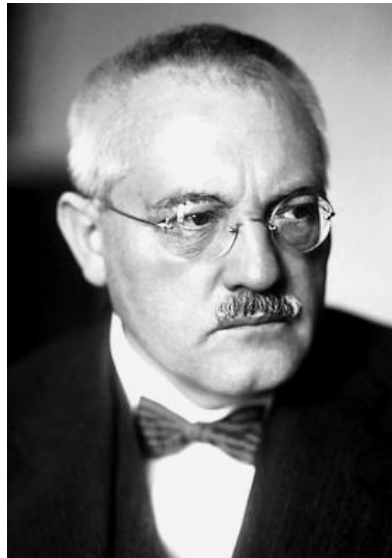
Responsável por descobrir:

- O_2
- CO
- NO
- N_2O
- NH_3
- SO_2
- N_2O_4
- Ciclo do carbono

Histórico

- Fritz Haber, Gabriel van Oordt, Robert le Rossignol, Kirchenbauer Desenvolveram o processo inicial com catalisador de ósmio e o conceito de reciclo. Devido a tecnologia, não haviam materiais capazes de aguentar as condições do processo
- 1910 BASF comprou a patente e Carl Bosch e Alvin Mittasch catalizador de ferro em 1910.

Fig 1: Fritz Haber, Carl Bosch e Alvin Mittasch



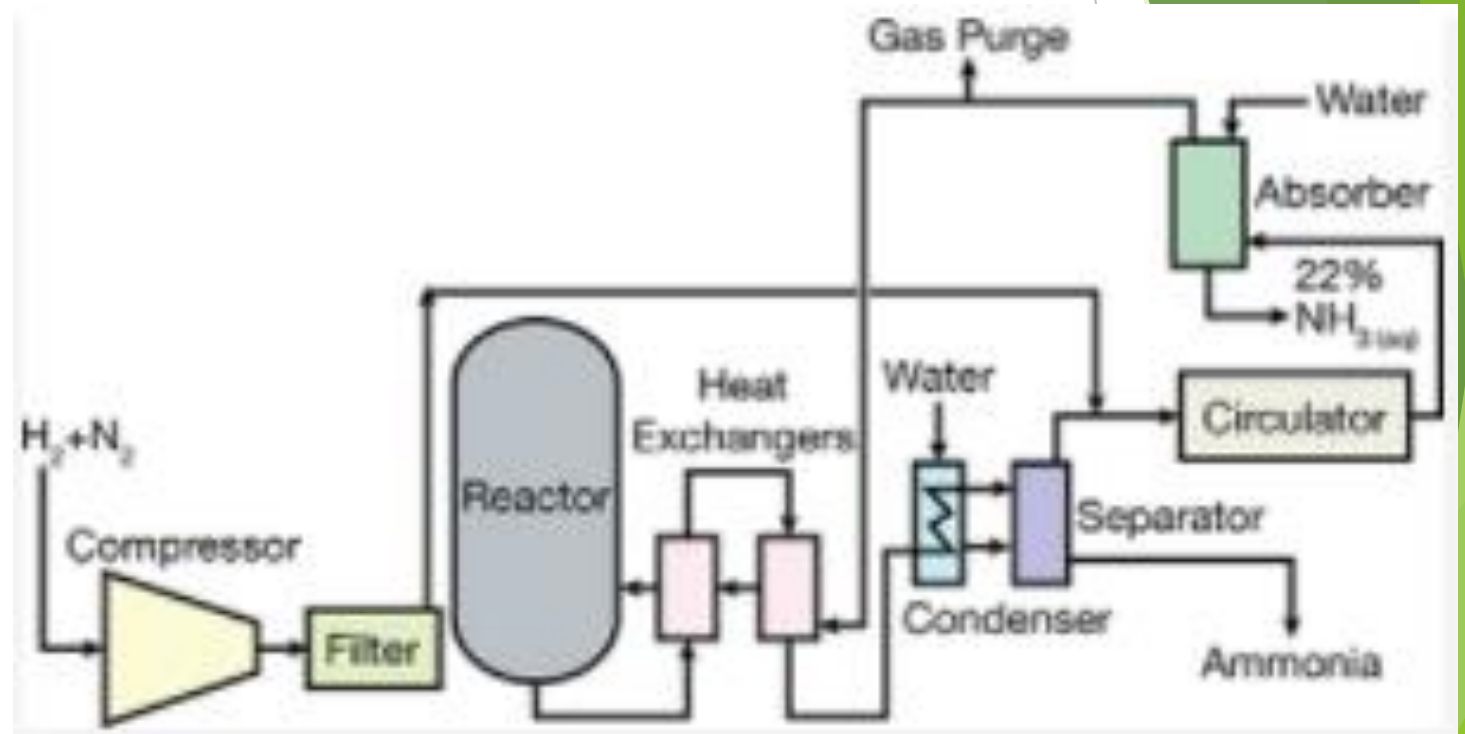
Histórico

- Ludwigshafen (Alemanha)
- 9-set-1913
- 30 ton/dia

Fig 3: Localização da cidade



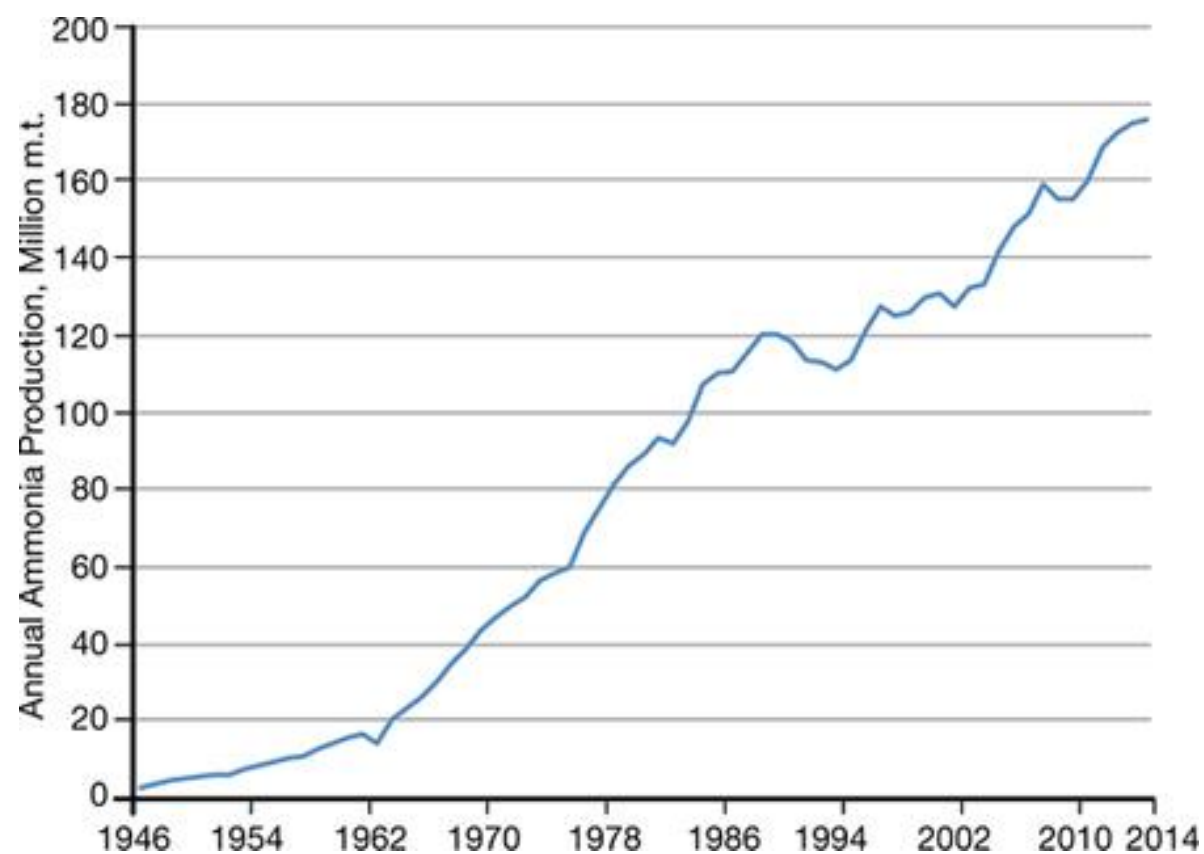
Fig 2: Fluxograma conceitual da primeira planta de amônia –[6]



- Reciclo de gases
- Reaproveitamento de calor

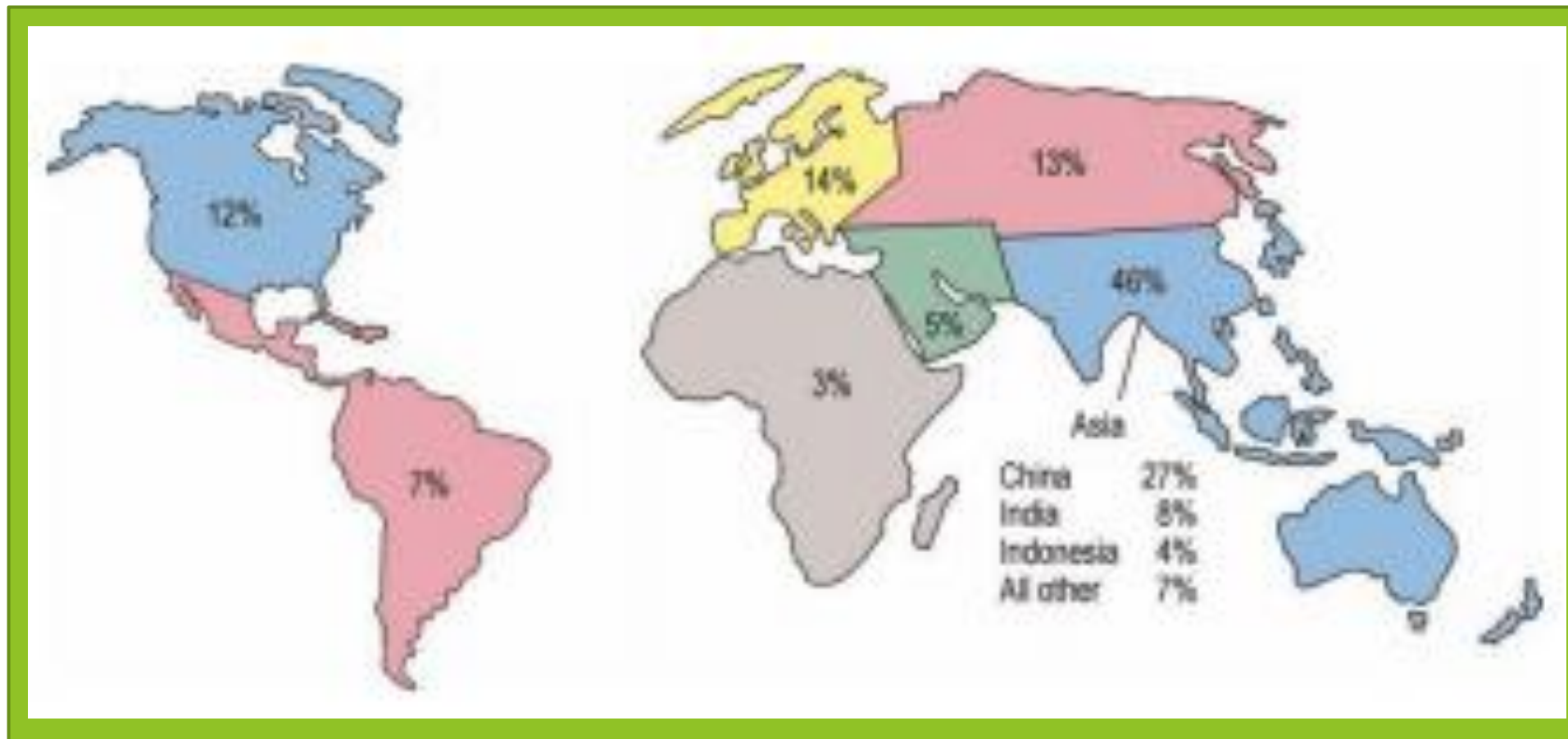
Produção mundial

Fig 4: Histórico da produção mundial de amônia - [6]



Produção Mundial

Fig 5: Capacidade mundial instalada, 2005 - [6]



Aplicação do produto

- Urea (42%)
- Fertilizantes que não urea (43%)
- Outras coisas (15%)
 - Solvente
 - Gás refrigerante
 - Material de síntese orgânica
 - Aminas

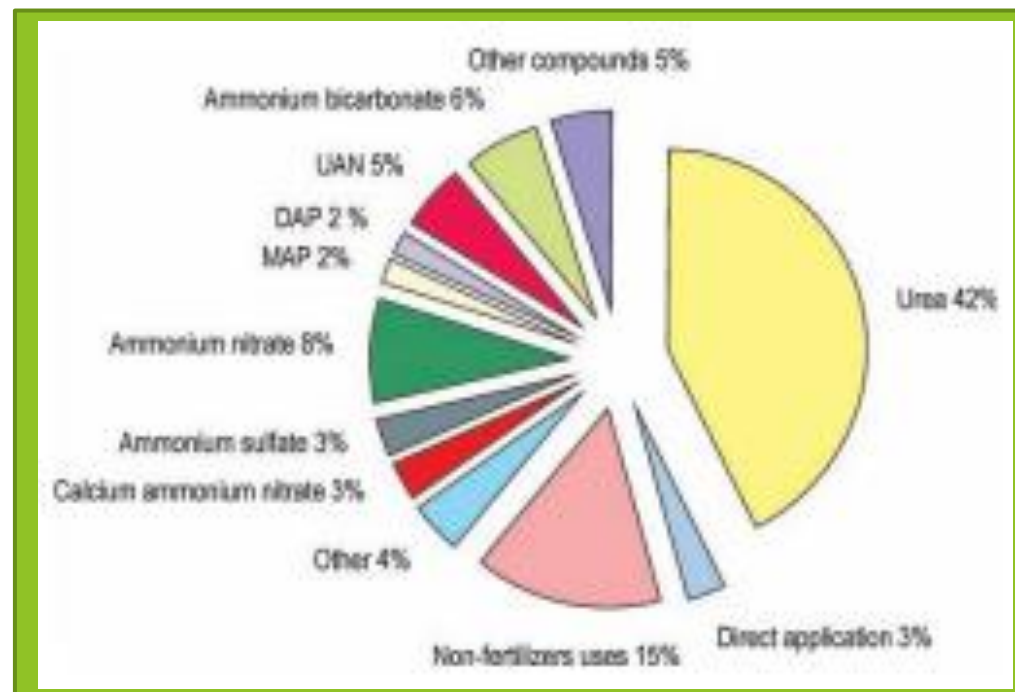
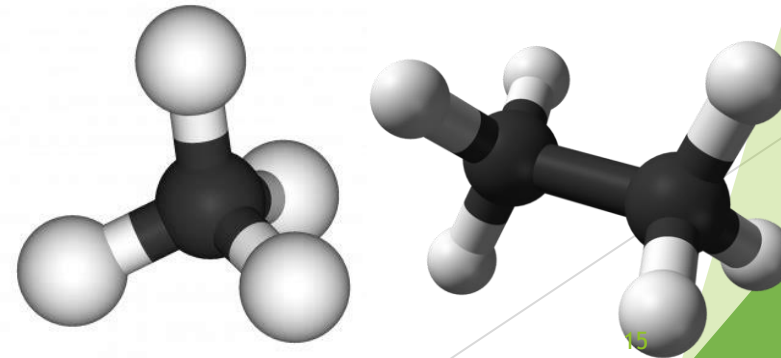


Fig 6: Usos da amônia – [6]

Matéria-Prima



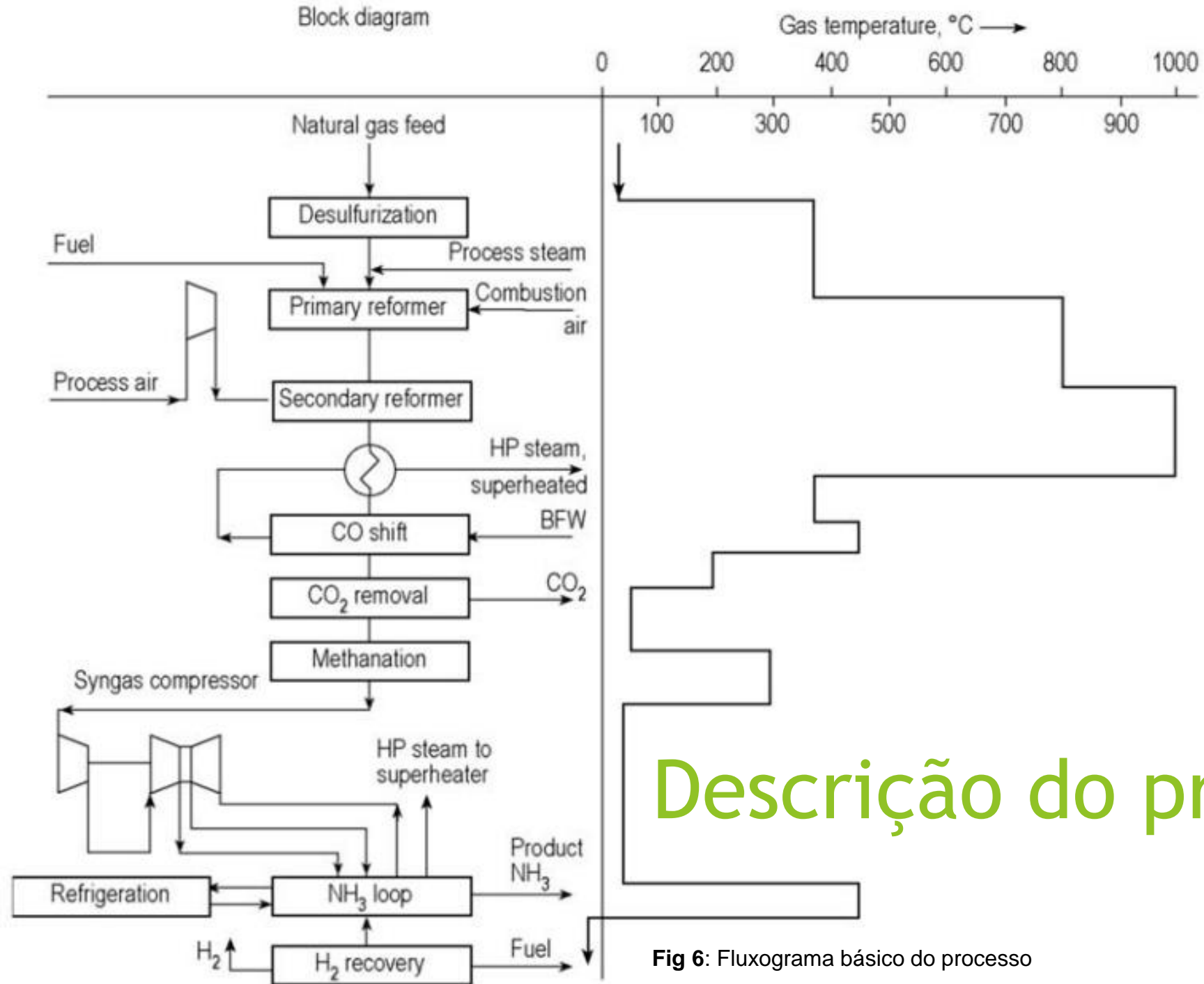
NITROGEN



Descrição do processo

- fluxograma genérico do processo

Block diagram



Descrição do processo

Fig 6: Fluxograma básico do processo

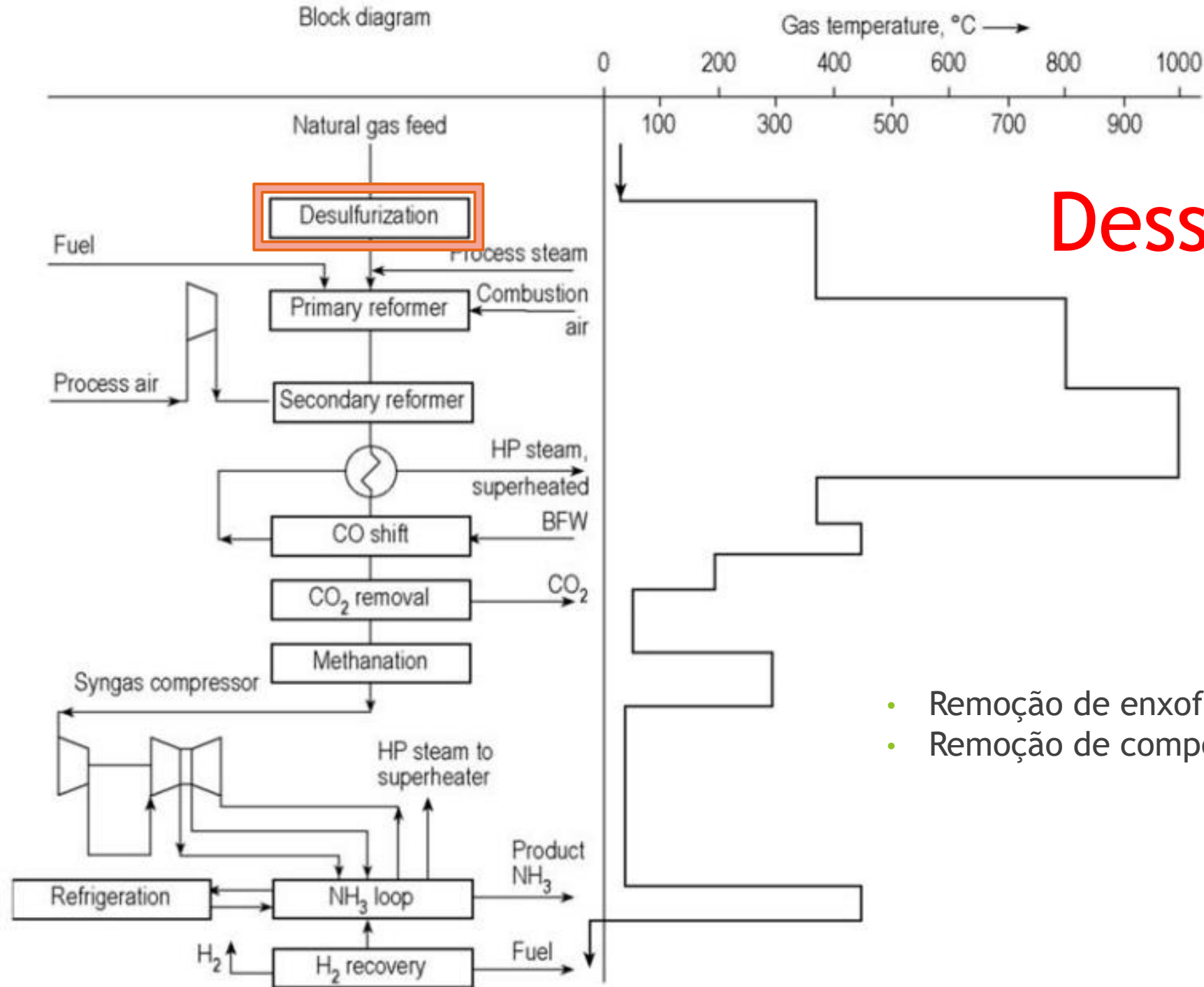
Block diagram

Gas temperature, °C →

0 100 200 300 400 500 600 700 800 900 1000

Dessulfurização

- Remoção de enxofre
- Remoção de compostos com enxofre



Dessulfurização

- Alimentação
 - Enxofre
 - Compostos sulfurados
 - Halogênios
 - Transporte por gasodutos
- Veneno pros catalisadores

Fig 7: Catalisador de gases – [6]



- Catalisadores
 - $\text{ZnO} \rightarrow \text{S}, \text{H}_2\text{S}$
 - $\text{ZnO} \rightarrow \text{ZnS}$
- Mercaptanas e tiofenos não são absorvidos por ZnO
 - Hidrogenados a H_2S
 - Catalisador de Cobalto-Molibdênio

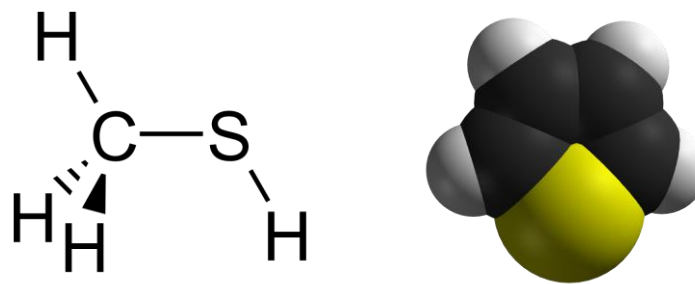
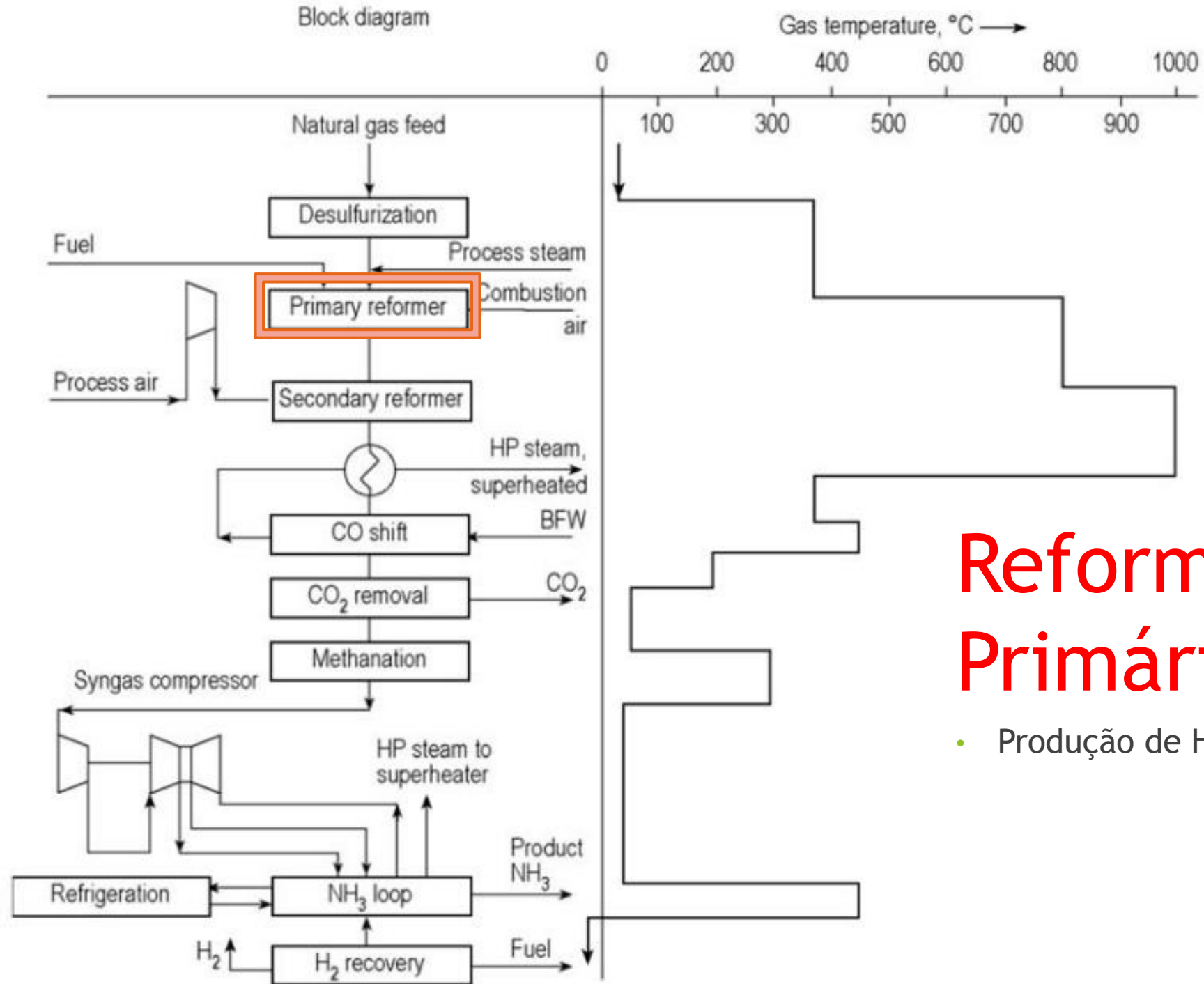


Fig 8: Mercaptana e Tiofeno

Block diagram



Reformador Primário

- Produção de Hidrogênio

Reformador Primário

- Reforma à vapor
$$\text{CH}_4 + \text{H}_2\text{O} \rightleftharpoons \text{CO} + 3 \text{H}_2$$
$$\Delta H = +206 \text{ kJ/mol}$$
- Equilíbrio termodinâmico
 - Princípio de le Chatelier
 - 800 oC
 - A reação não se completa aqui
- Quantidade de vapor controla a reação
 - Caro
 - Pouco vapor → Acúmulo de C no catalisador
- Catalisador
 - NiO em alfa-alumina

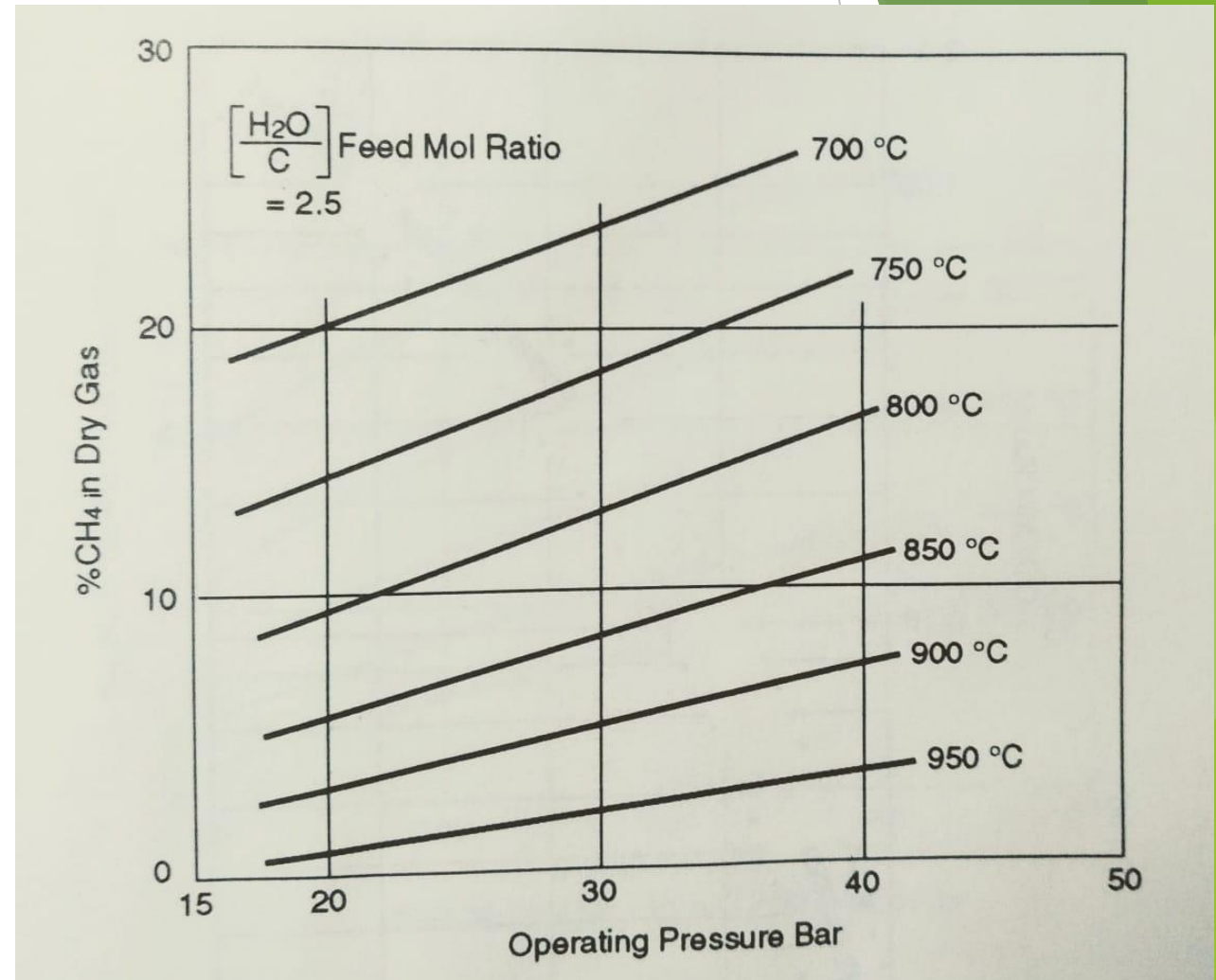


Fig 9: Equilíbrio da reação de reforma a vapor – [1]

Reformador Primário

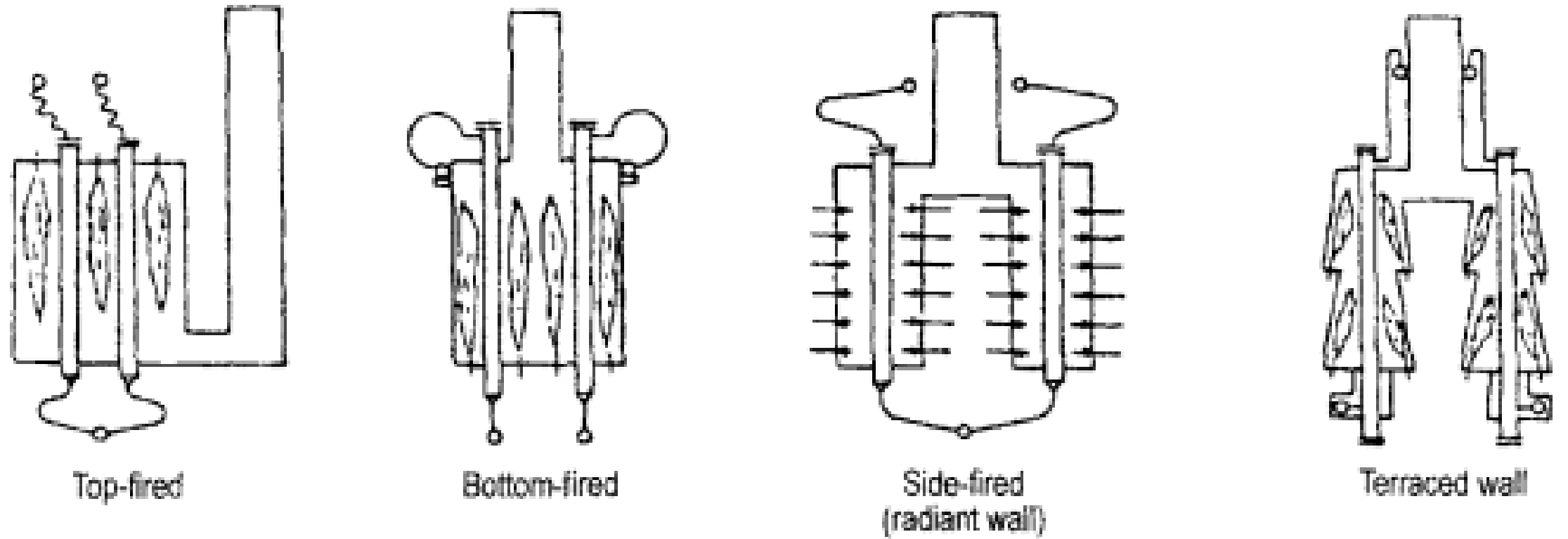
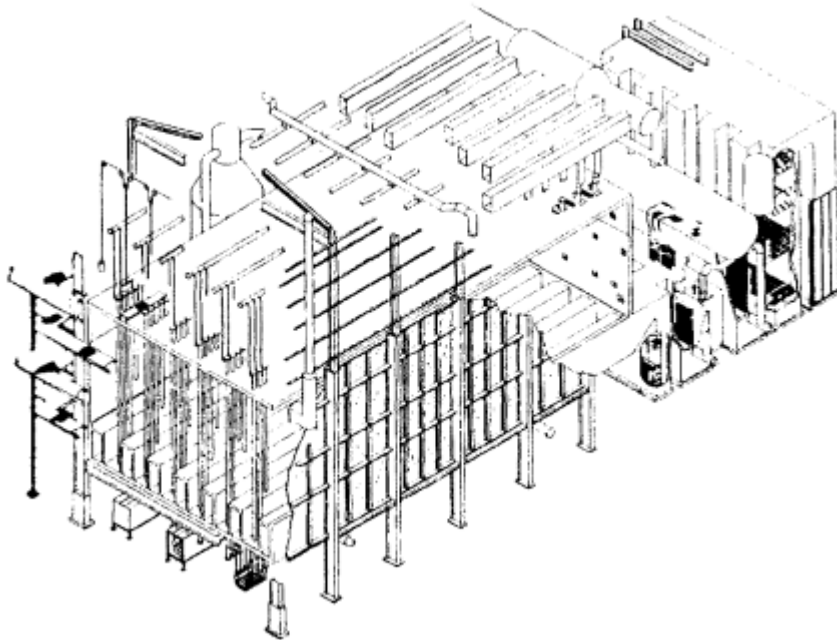
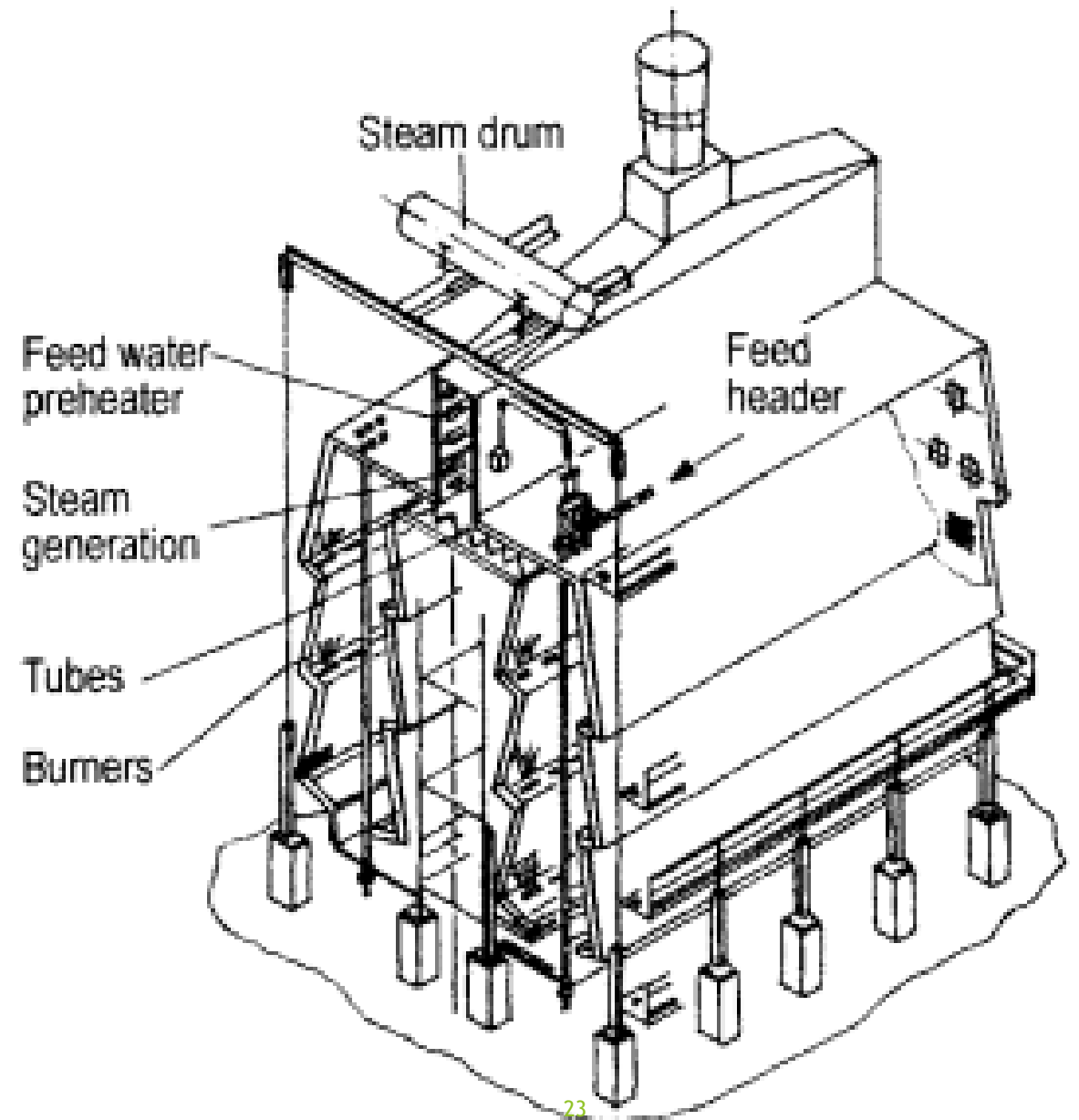


Fig 10: Esquemas de reformadores primários e a posição de seus queimadores – [2]

Reformador Primário

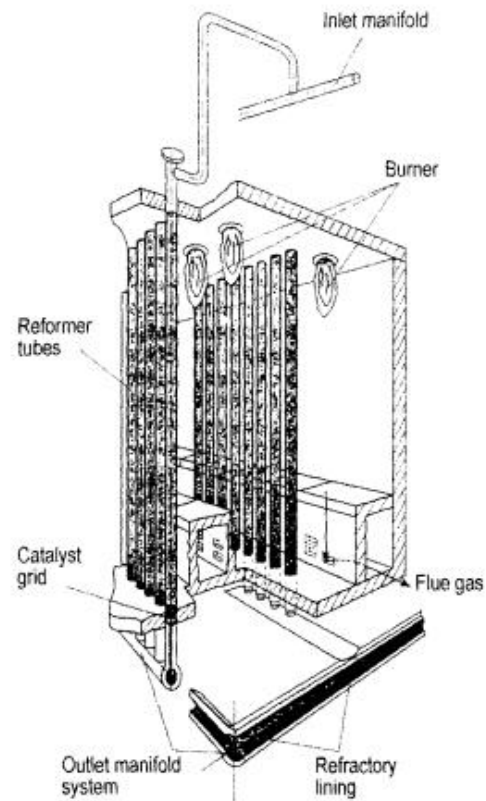


► Fig 11: Reformador primário a gás ICI -[2]

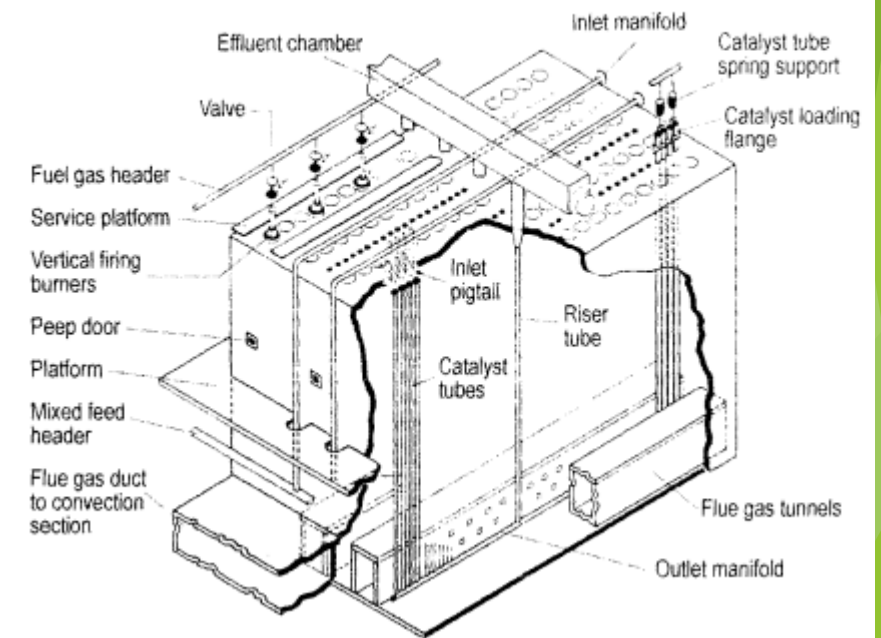


► Fig 12: Reformador primário tipo terraço - [2]

Reformador Primário



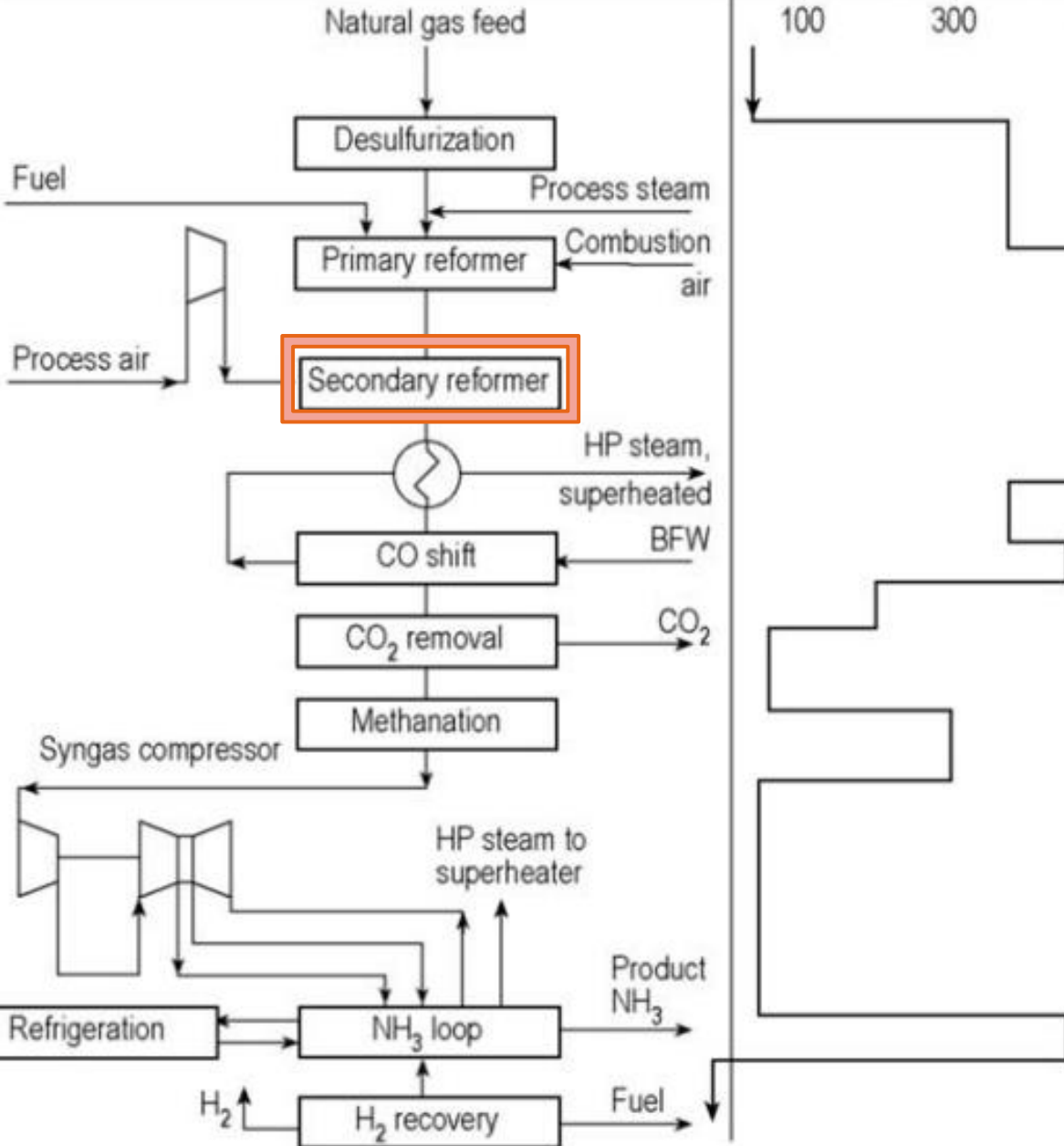
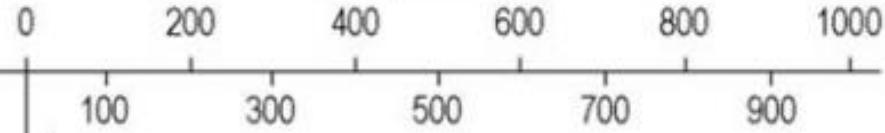
► Fig 13: Reformador Uhde - [2]



► Fig 14: Reformador kellog - [2]

Block diagram

Gas temperature, °C →



Reformador Secundário

- Termina o serviço de conversão de metano em H₂

Reformador Secundário

- Alimentação
 - Gás do reformador primário
 - Ar para queima
 - Aumento da temperatura (1000 oC)
- Reação se completa aqui
$$\text{CH}_4 + \text{H}_2\text{O} \rightleftharpoons \text{CO} + 3 \text{H}_2$$
$$\Delta H = +206 \text{ kJ/mol}$$
- Catalisador
 - NiO

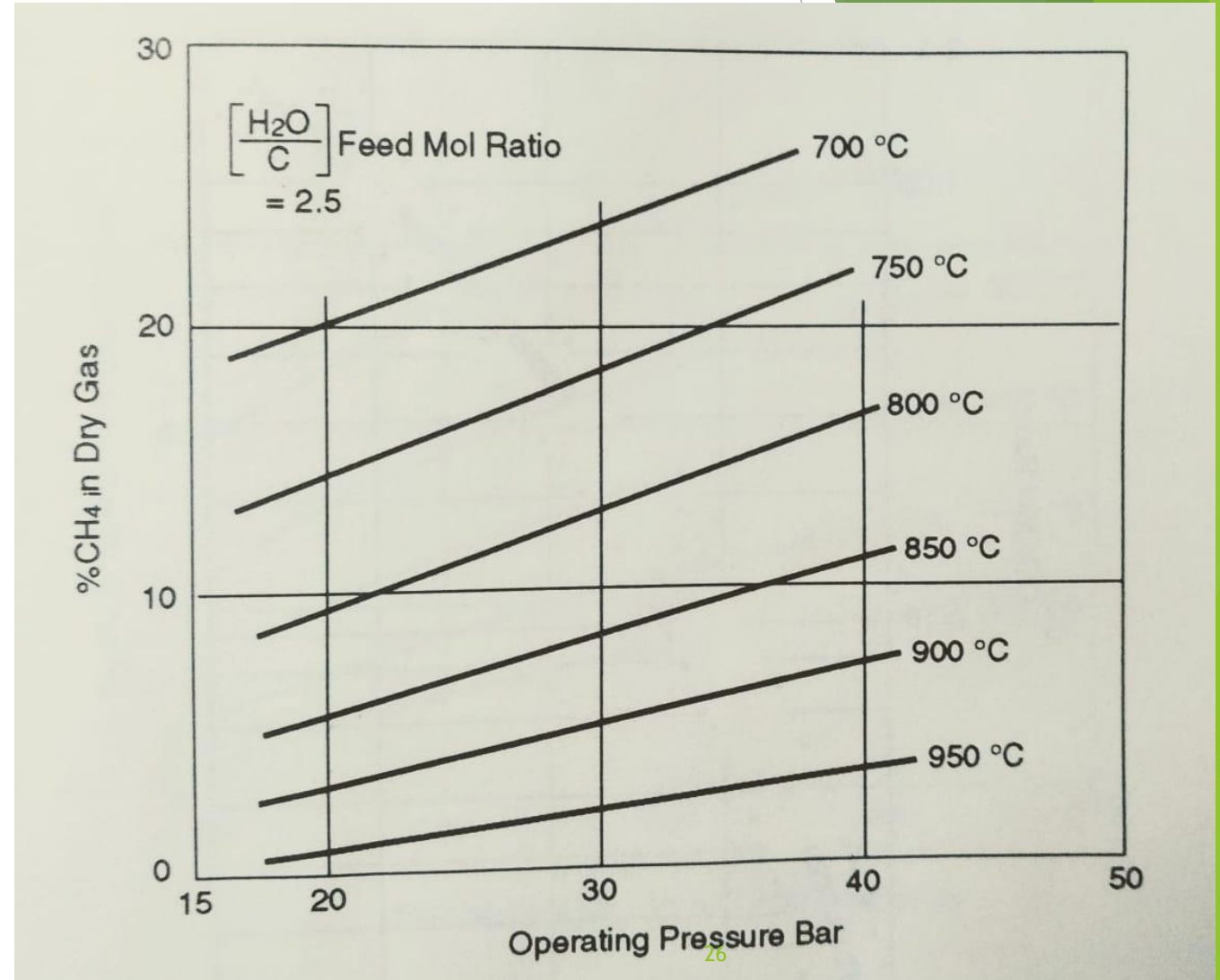
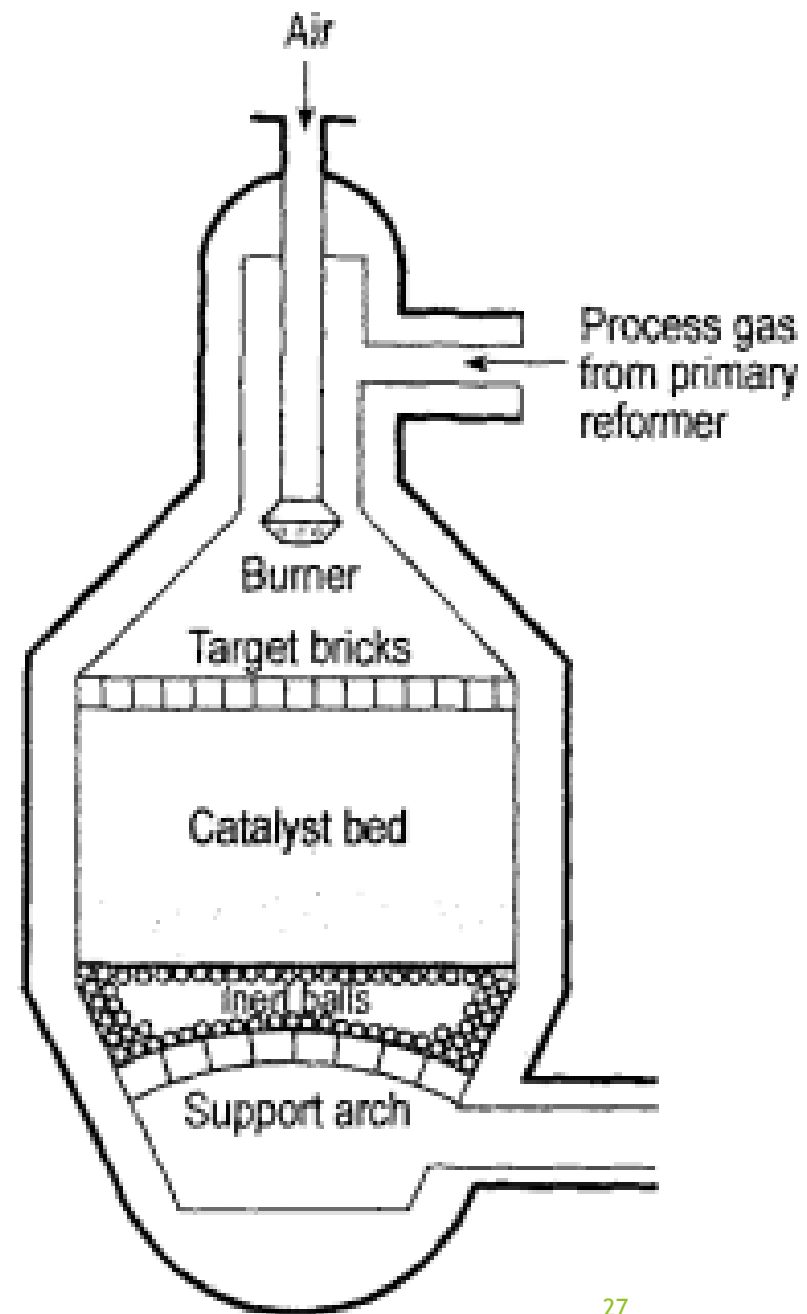


Fig 15: Equilíbrio da reação de reforma a vapor – [1]

Reformador Secundário

Reformador Secundário básico



27

Fig 16: Reformador secundário – [2]

Reformador Secundário

- ▶ a) Entrada de gás
- ▶ b) Saída de gás reformado
- ▶ c) Entrada de Ar, oxigênio e vapor
- ▶ d) Catalisador
- ▶ e) Catalisador de alta temperatura
- ▶ f) Material Inerte
- ▶ g) Isolamento interno
- ▶ h) Isolamento de múltiplas camadas
- ▶ i) Queimador
- ▶ j) Jaqueta de água

A - resfriamento com água com jaqueta

B - resfriamento com ar

C - resfriamento com água sem jaqueta

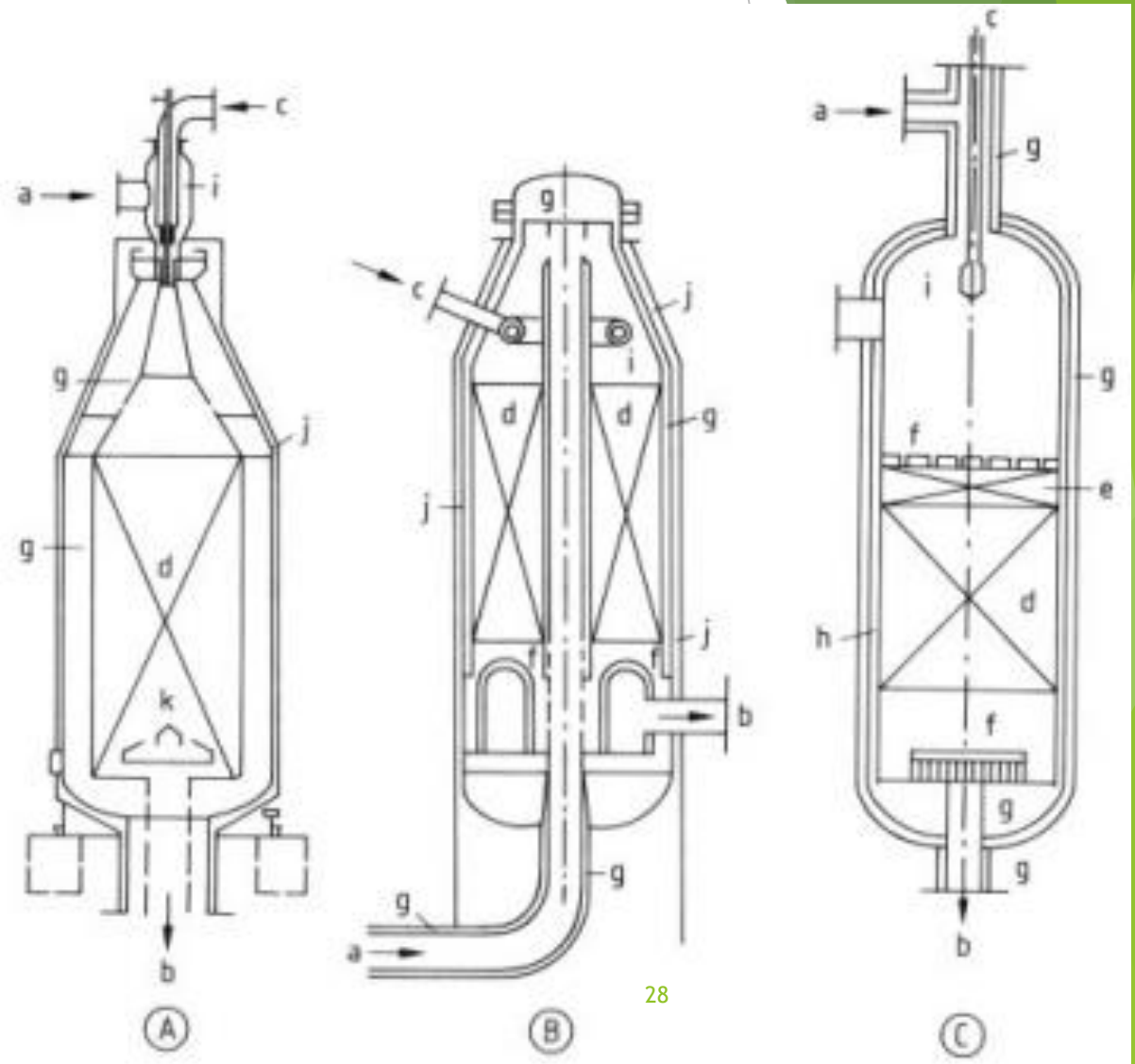
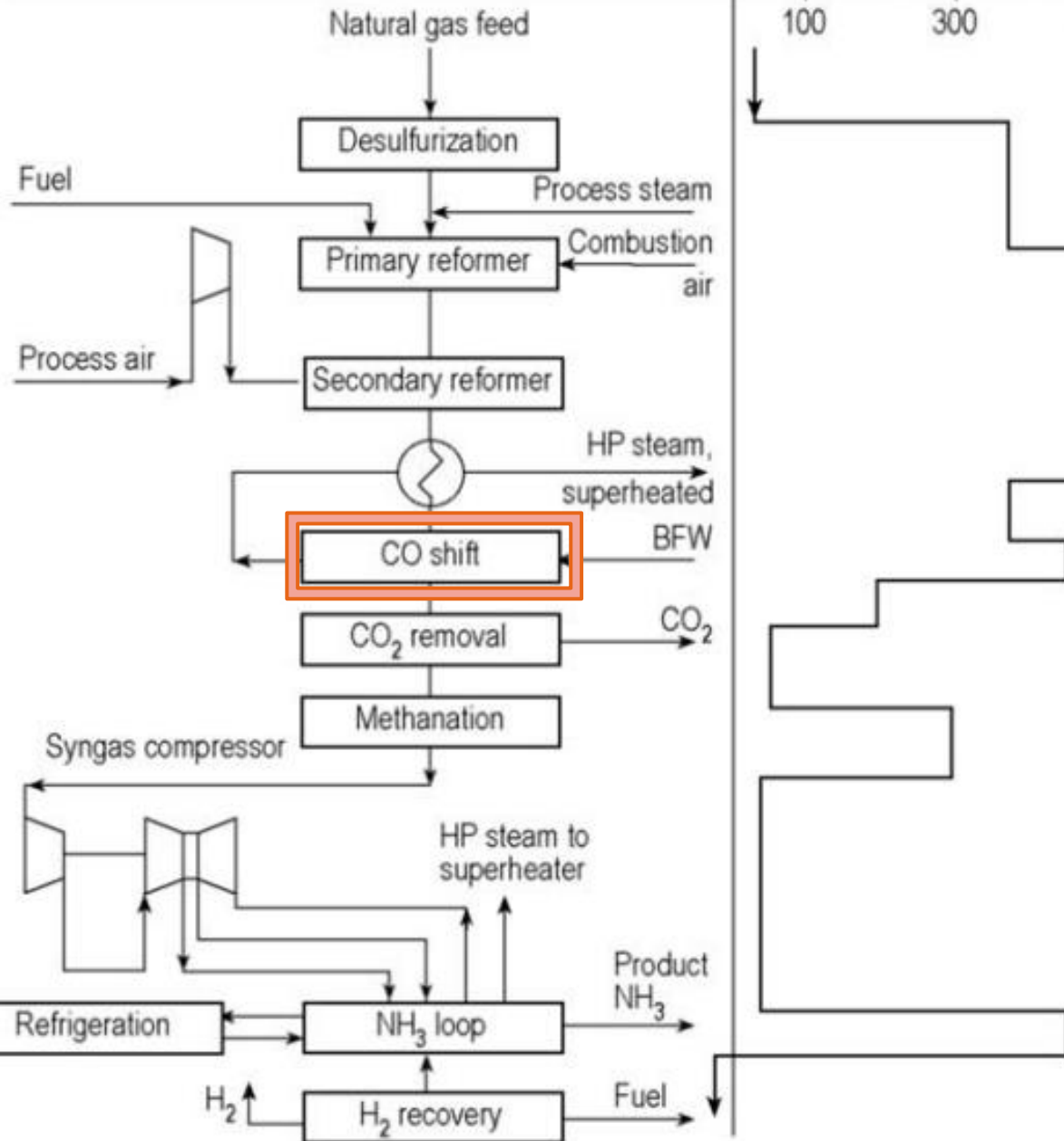
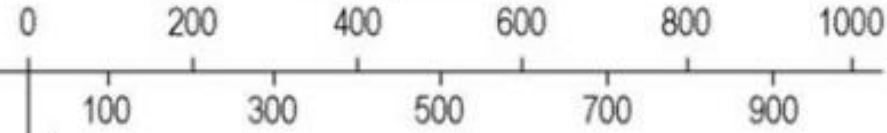


Fig 17: Reformadores Secundários – [5]

Block diagram

Gas temperature, °C →



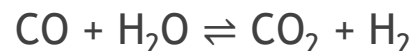
Mudança do vapor de água
- Water Gas Shift (WGS)

Water Gas Shift

- Alimentação

- Gás do reformador secundário

- Reação



$$\Delta H = -41,2 \text{ kJ/mol}$$

- Princípio de le Chatelier

- Pressão não influencia
 - Temperatura influencia

- Leitos catalíticos

- Leito #1

- Mais quente (HTS)
 - $\text{Fe}_2\text{O}_3 + \text{Cr}_2\text{O}_3$

- Leito #2 e #3

- Mais frio (LTS)
 - ZnO
 - CuO

- Integração energética

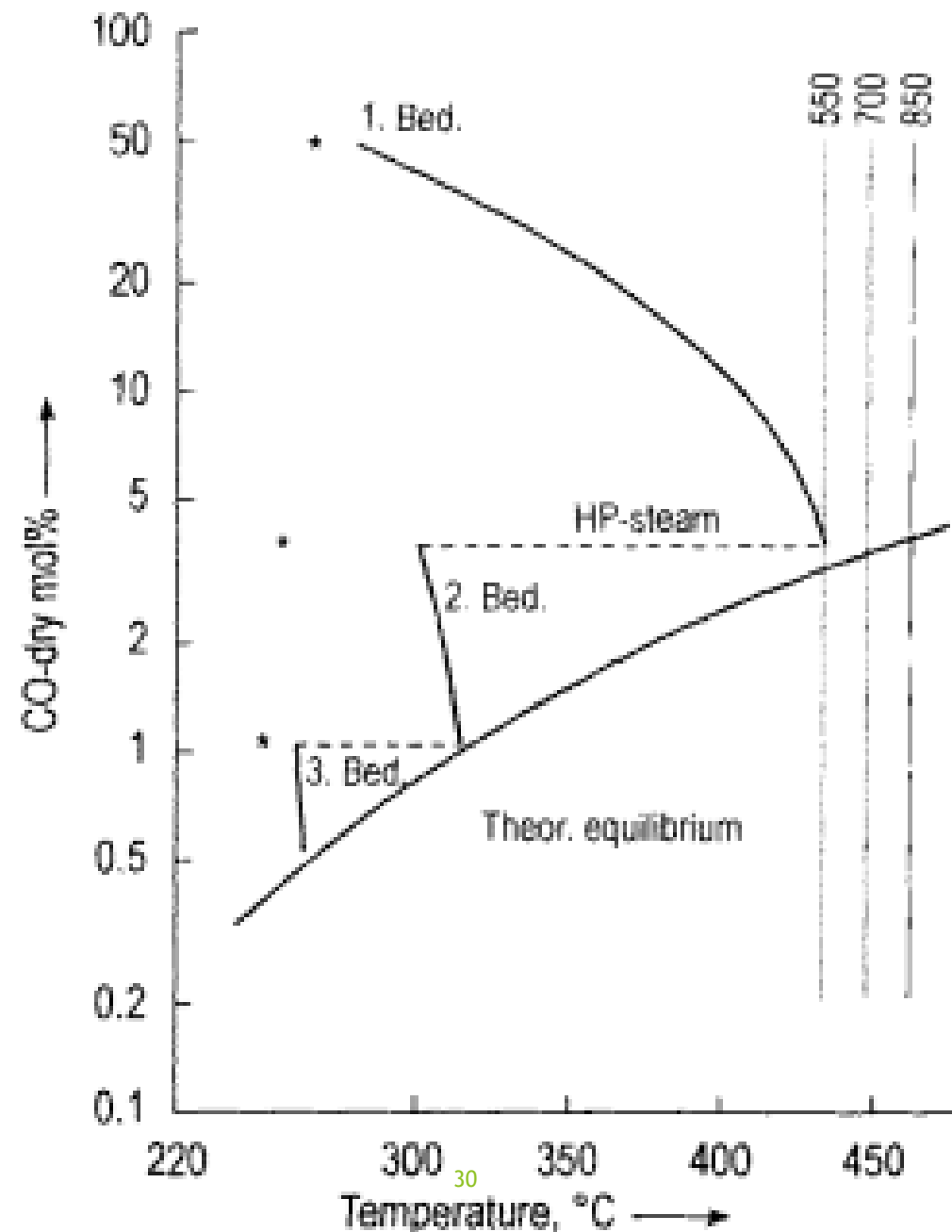
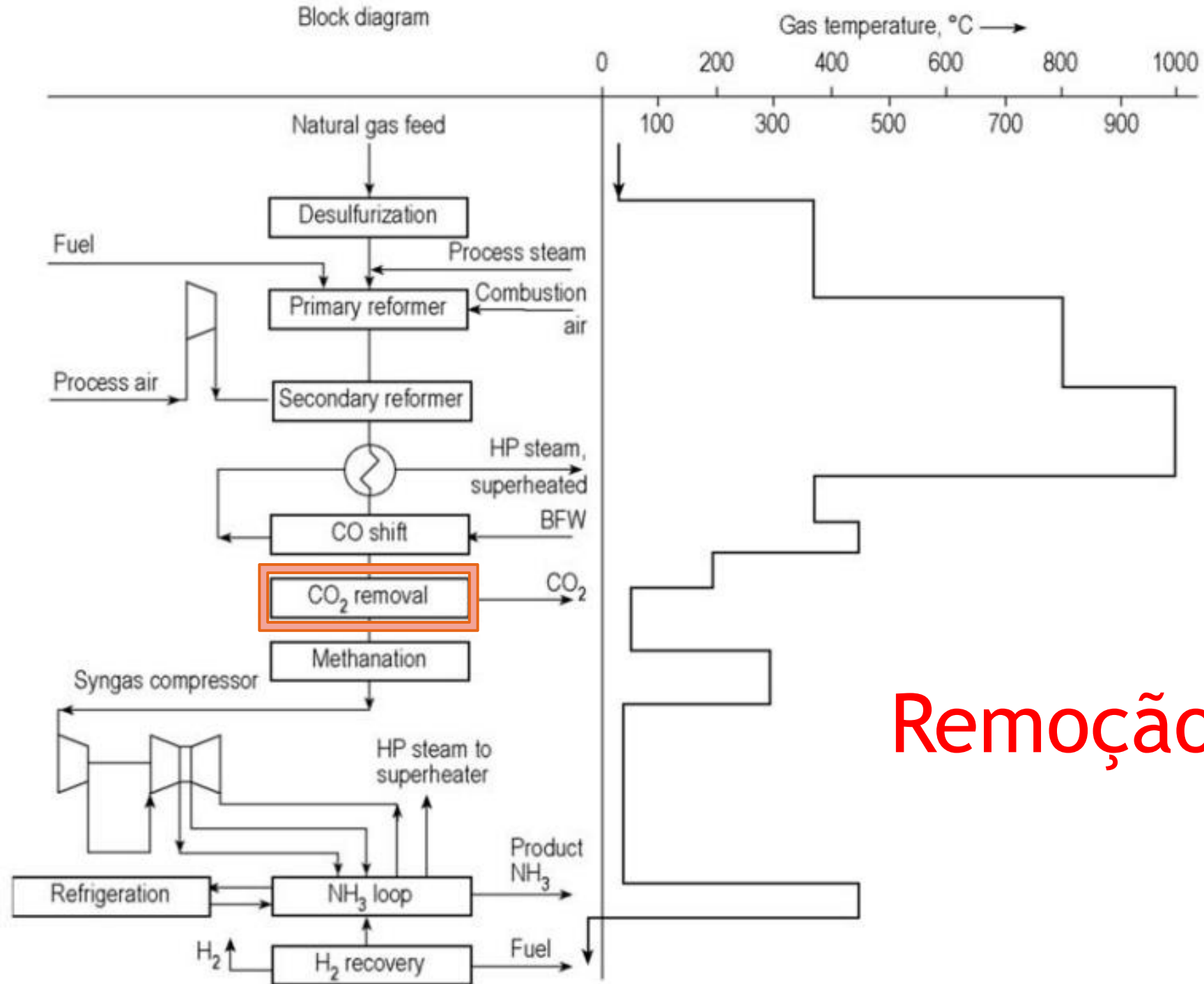


Fig 18: Equilíbrio da reação WGS – [2]

Block diagram



Remoção de CO₂

Remoção de CO₂

- Veneno pro catalisador de Ferro
 - CO
 - CO₂
- Remoção por solvente
 - Transferência de massa
 - FT3
- Processo
 - Solvente Físico
 - Alta pressão parcial de CO₂
 - Poliglicol éter
 - N-metil pirrolidona
 - Metanol
 - Carbamato de propileno
 - Solvente Químico
 - Baixa pressão parcial de CO₂
 - MEA (Metil Etil amina)
 - DEA (DiEtil Amina)
 - MDEA (Metil DiEtil Amina)
 - Potassa quente

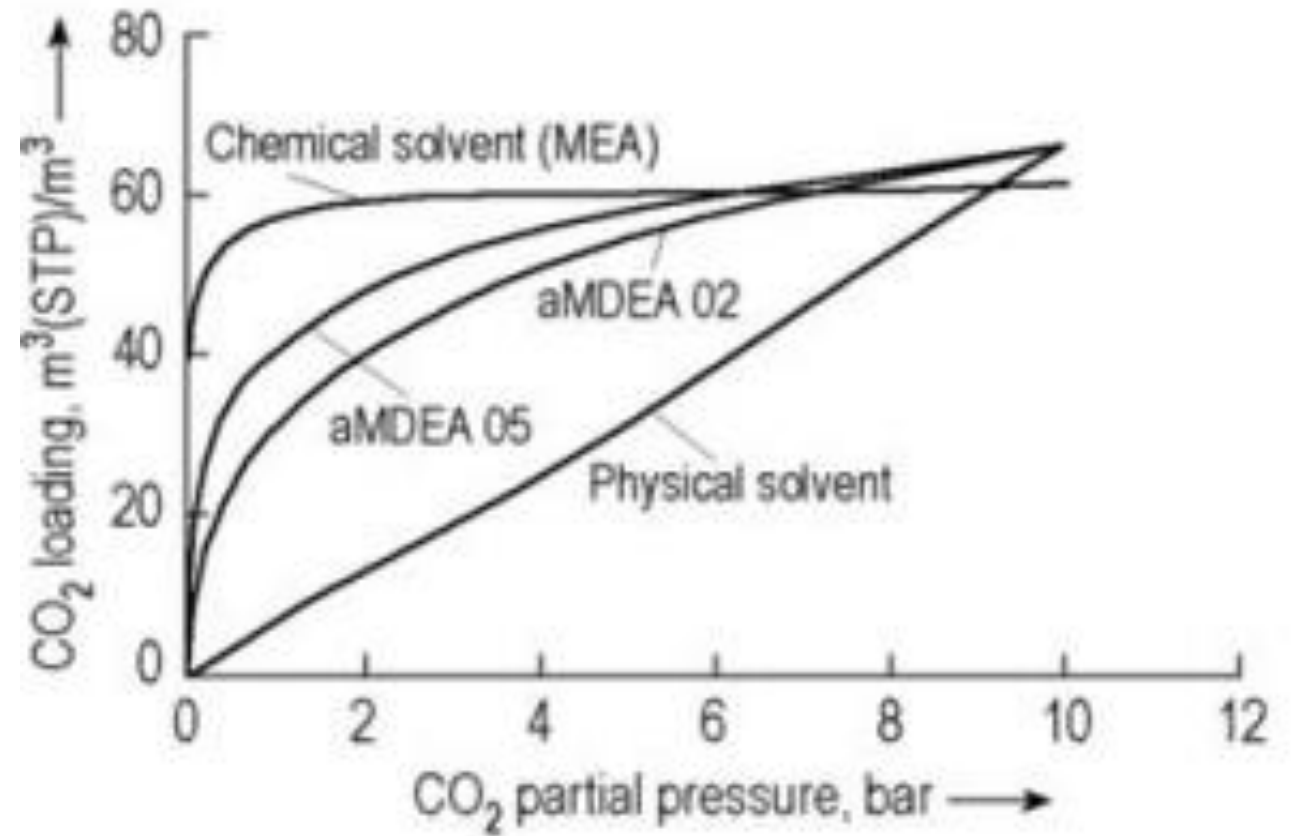


Fig 19: Equilíbrio termodinâmico de CO₂ em diversos solventes – [2]

Remoção de CO₂

- Sistema de remoção Benfield LoHeat
- Potassa quente

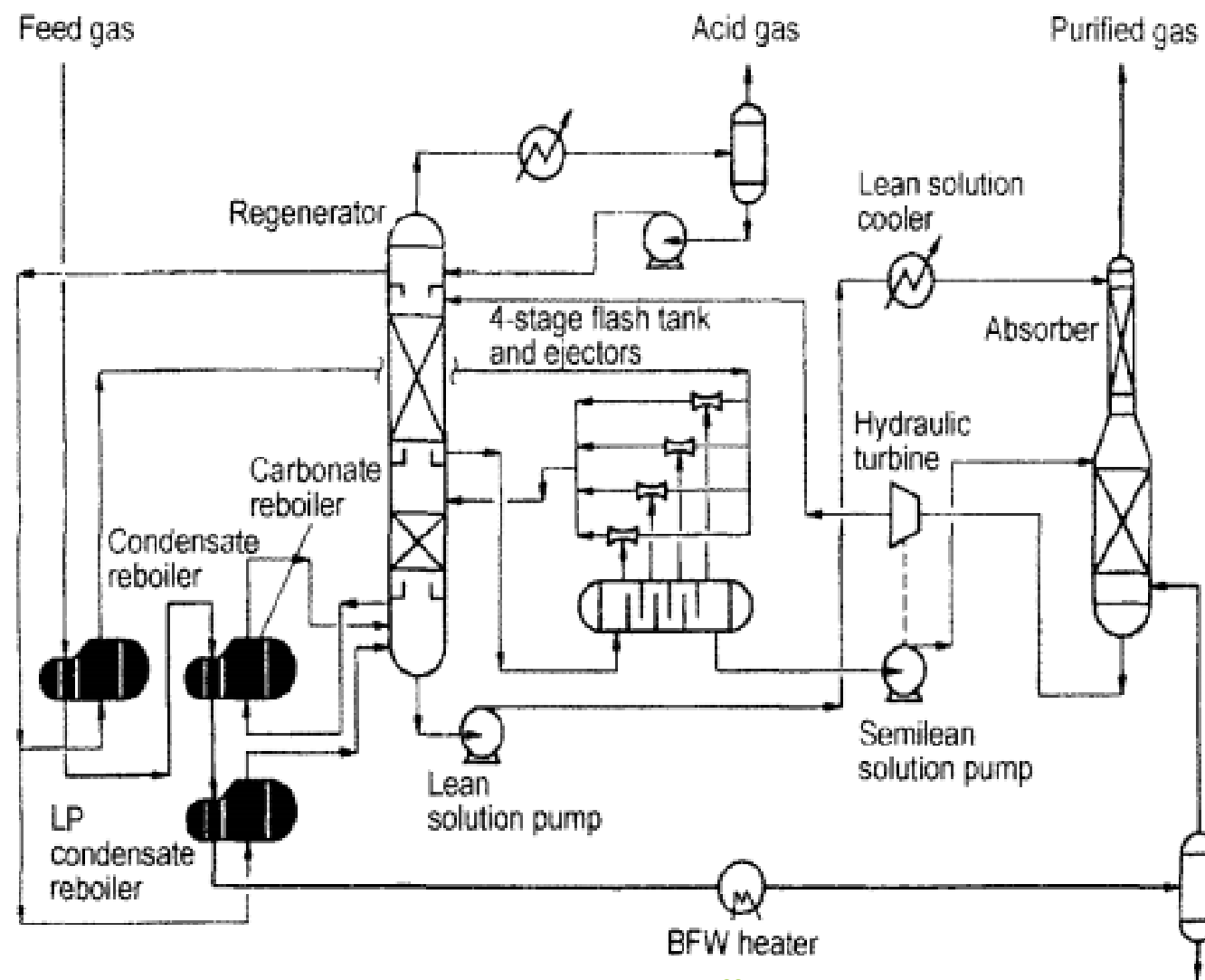


Fig 20: Sistema de remoção de CO₂ – [2]

Remoção de CO₂

- Sistema de remoção Catacarb
- Potassa quente modificada

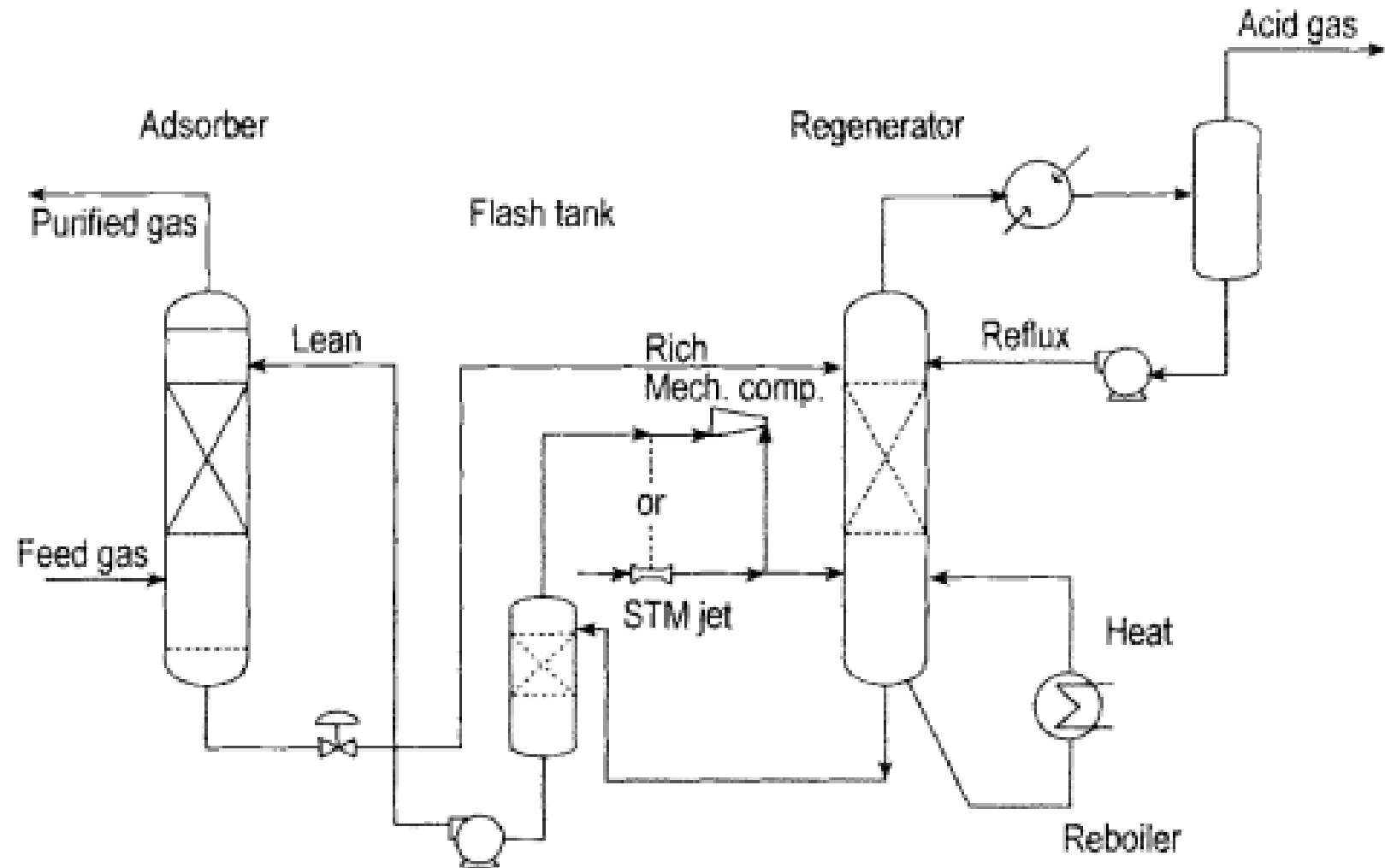


Fig 21: Sistema de remoção de CO₂ – [2]

Remoção de CO₂

- Sistema de remoção física com selexol
Polietileno glicol dimetil éter
PEGDE

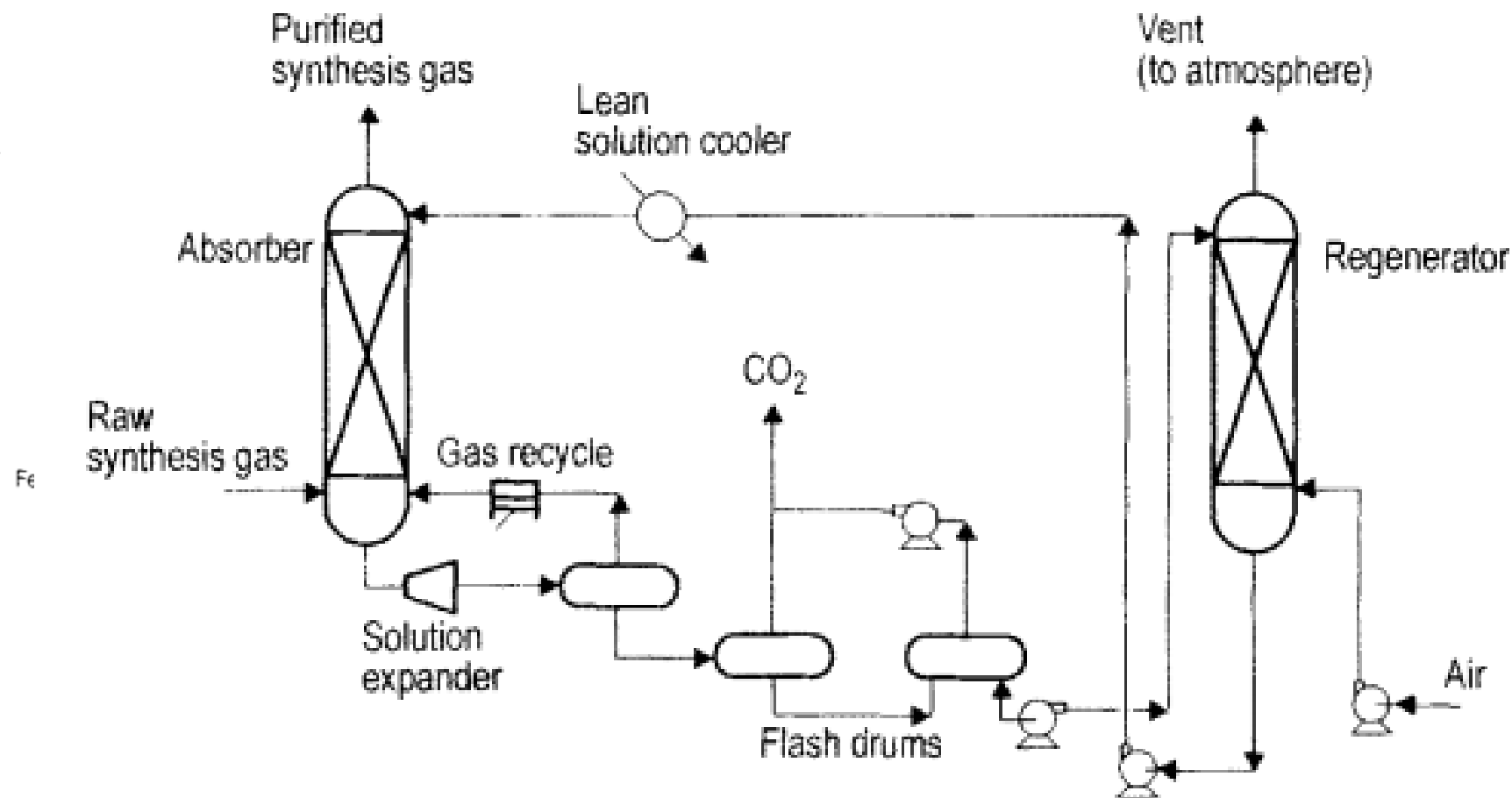


Fig 22: Sistema de remoção de CO₂ – [2]

Remoção de CO₂

Localização do processo de remoção de CO₂ e de regeneração do líquido de lavagem

- ▶ a) Oxidação seletiva
- ▶ **b) Lavagem de CO₂**
- ▶ c) Metanação
- ▶ **d) Regeneração do agente de lavagem**
- ▶ e) Resfriamento do gás
- ▶ f) Aquecimento do gás

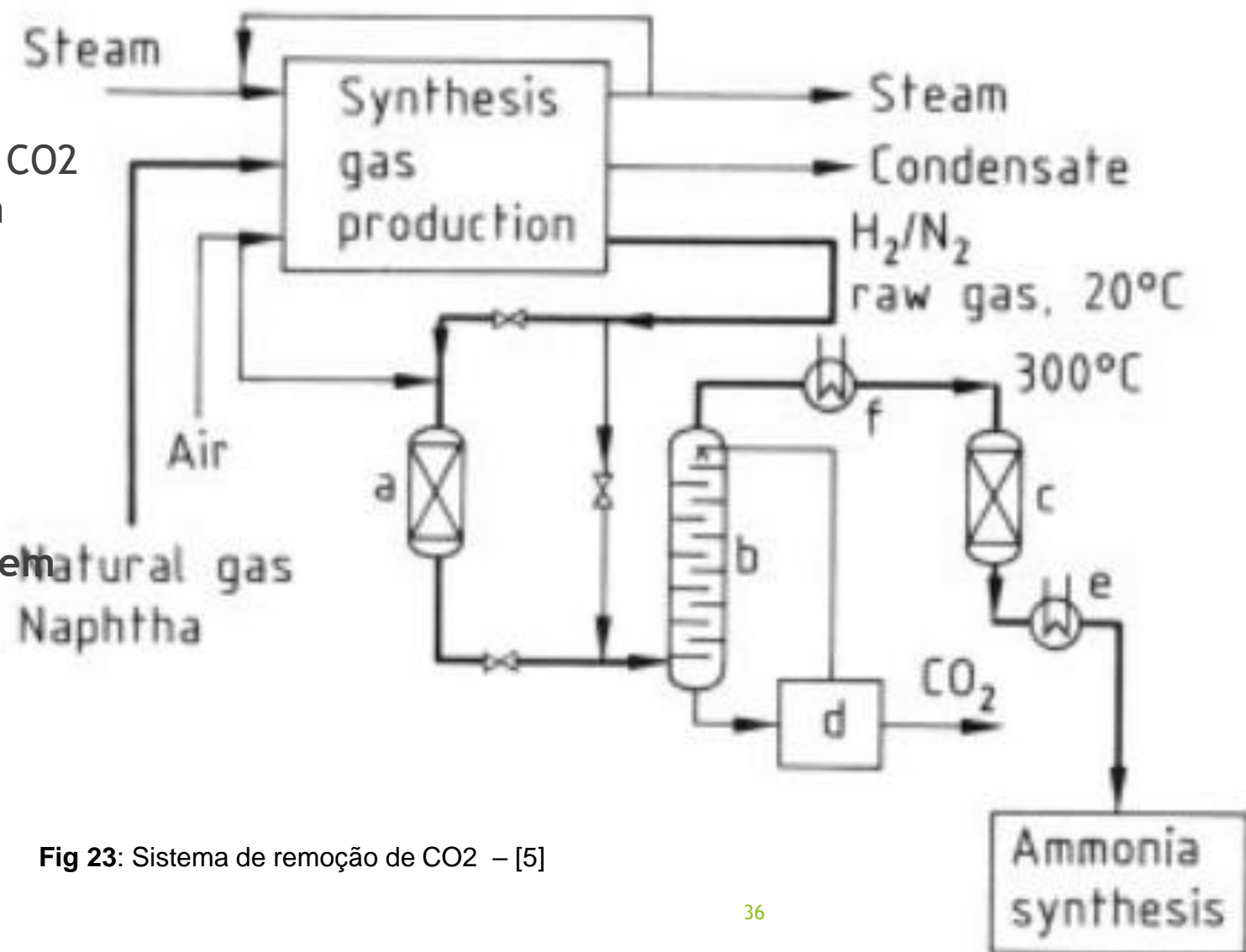
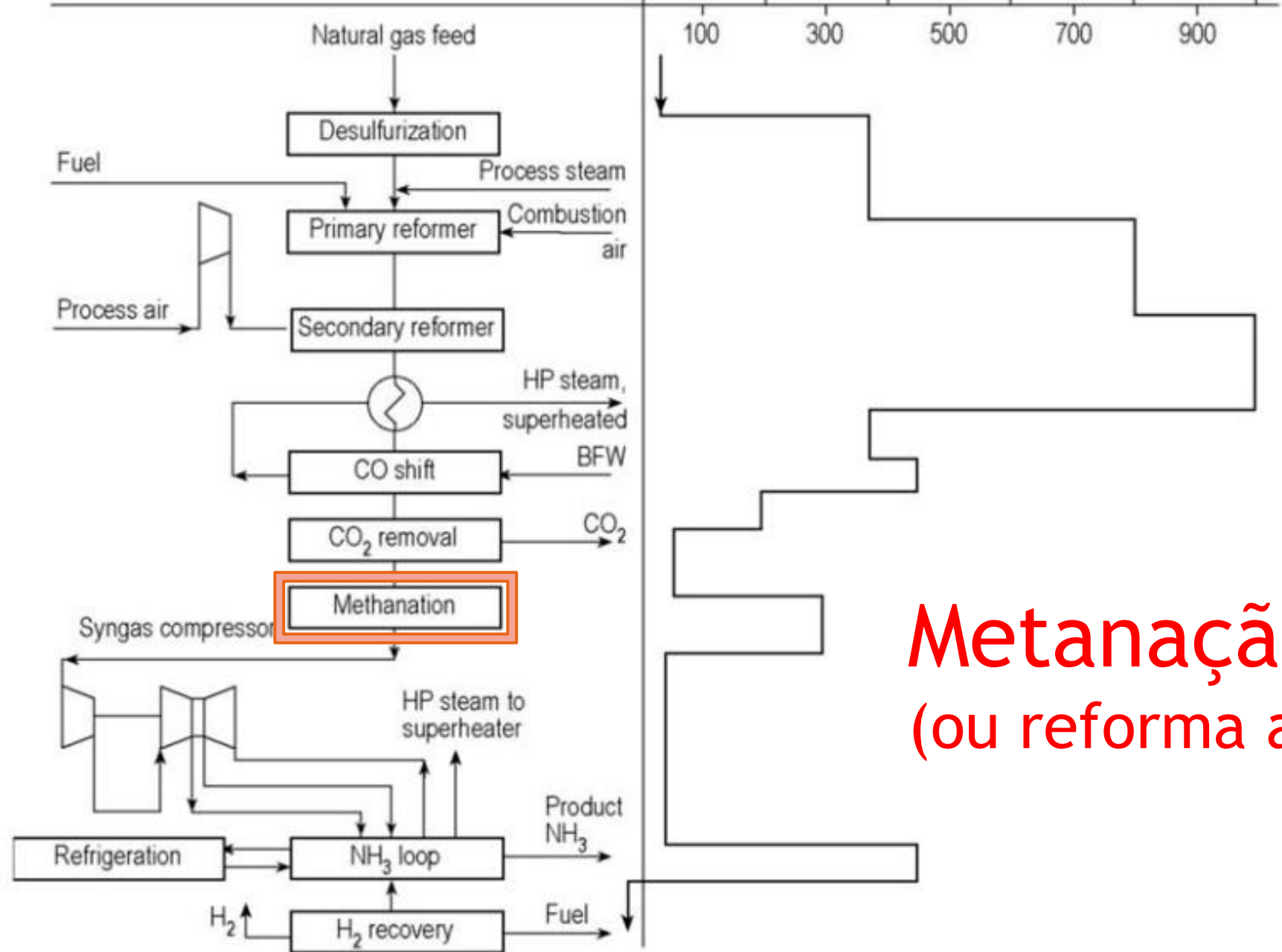


Fig 23: Sistema de remoção de CO₂ – [5]

Block diagram

Gas temperature, °C →

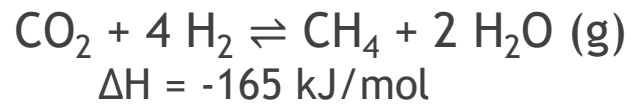
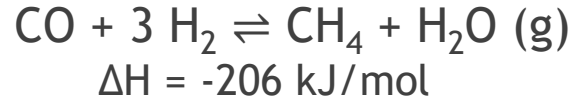
0 100 200 300 400 500 600 700 800 900 1000



Metanação
(ou reforma a vapor ao contrário)

Metanação

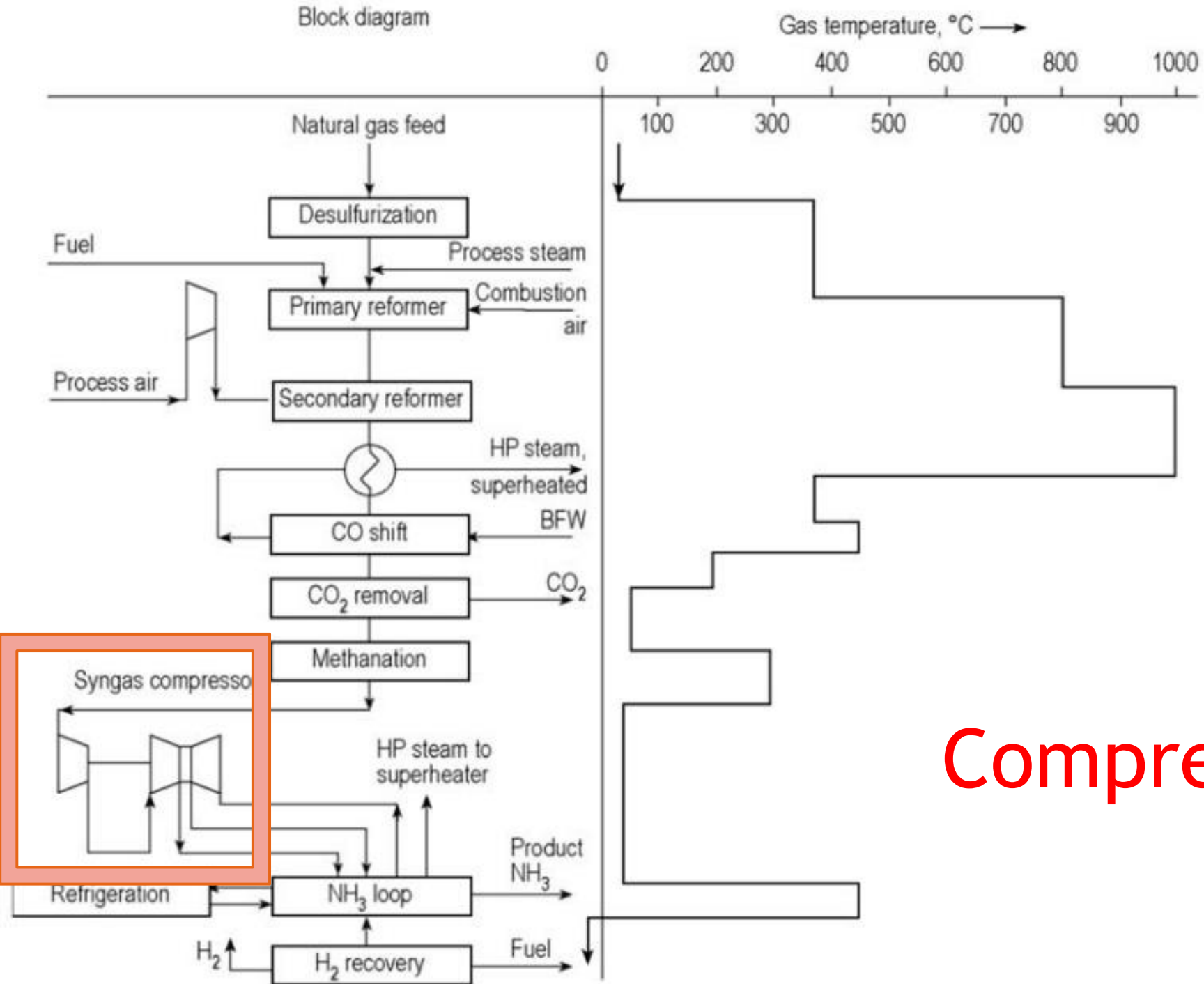
- CO e CO₂ residuais são veneno para o catalisador
- Remoção de CO e CO₂ residual



Remoção de CO e CO₂ residual

- Vantagens
 - Simples
 - Baixo custo total
 - Preserva catalisador
- Desvantagens
 - Consome H₂

Block diagram



Compressor

Compressor

- a) Resfriador a ar
 - b) Separador
 - c) Silenciador
 - d) Resfriador a água
-
- 150 a 190 bar

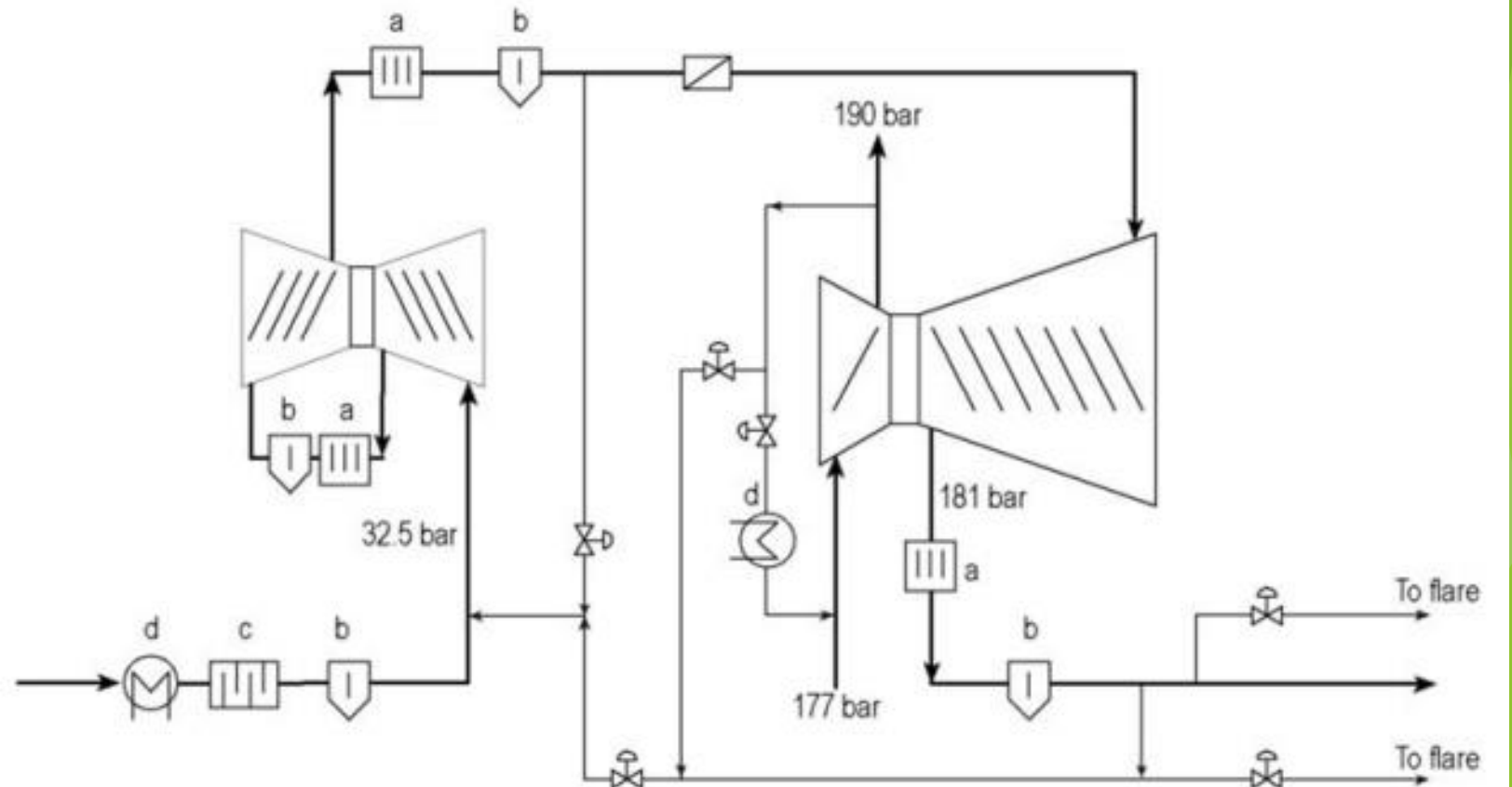
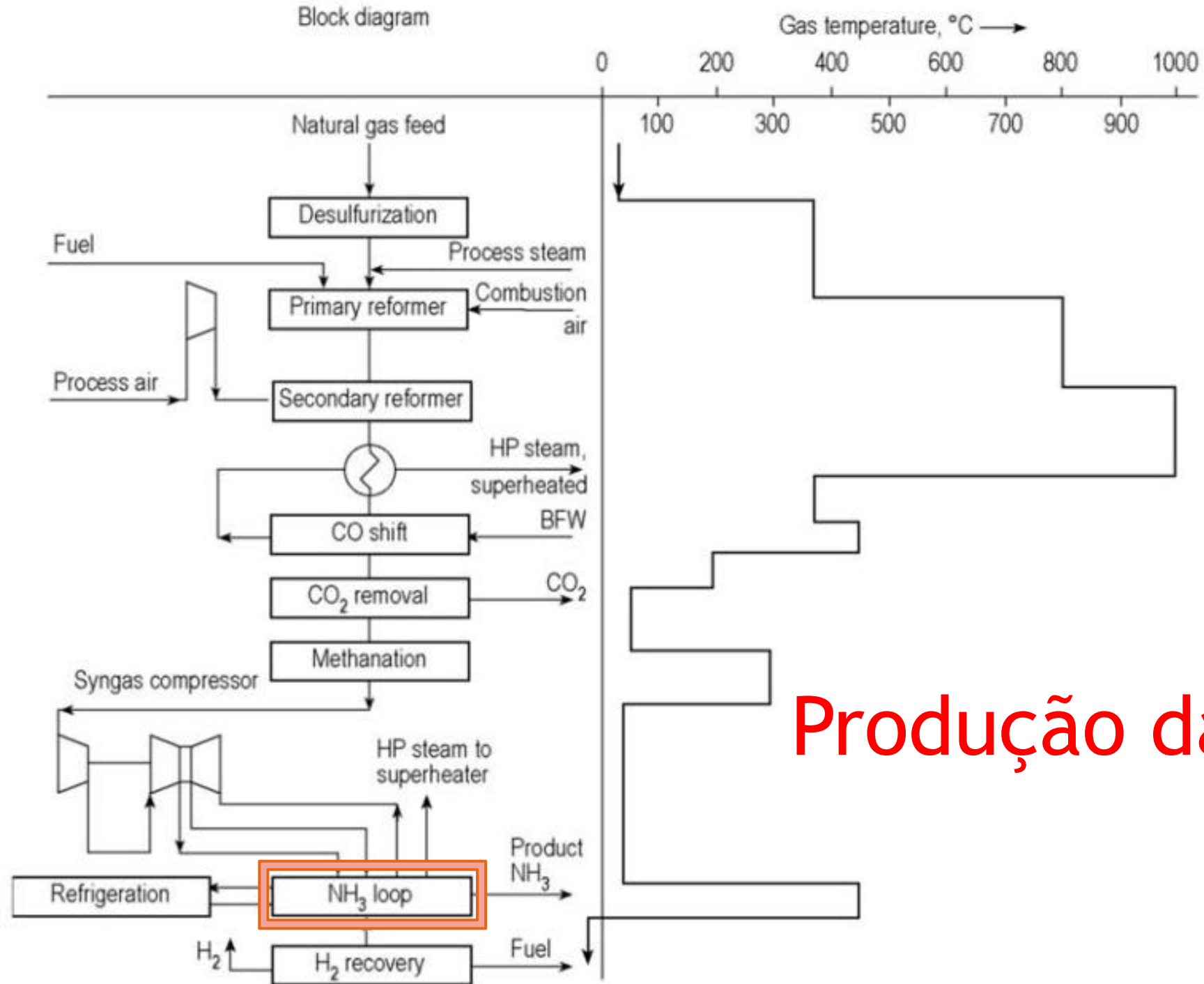


Fig 24: Compressor centrífugo – [2]

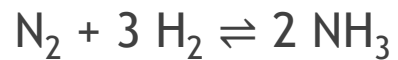
Block diagram



Produção da amônia

Produção da amônia

- Conversão de amônia



$$\Delta H = -91,8 \text{ kJ/mol}$$

- Equilíbrio termodinâmico
 - Princípio de le Chatelier
 - Pressão influencia
 - Temperatura influencia

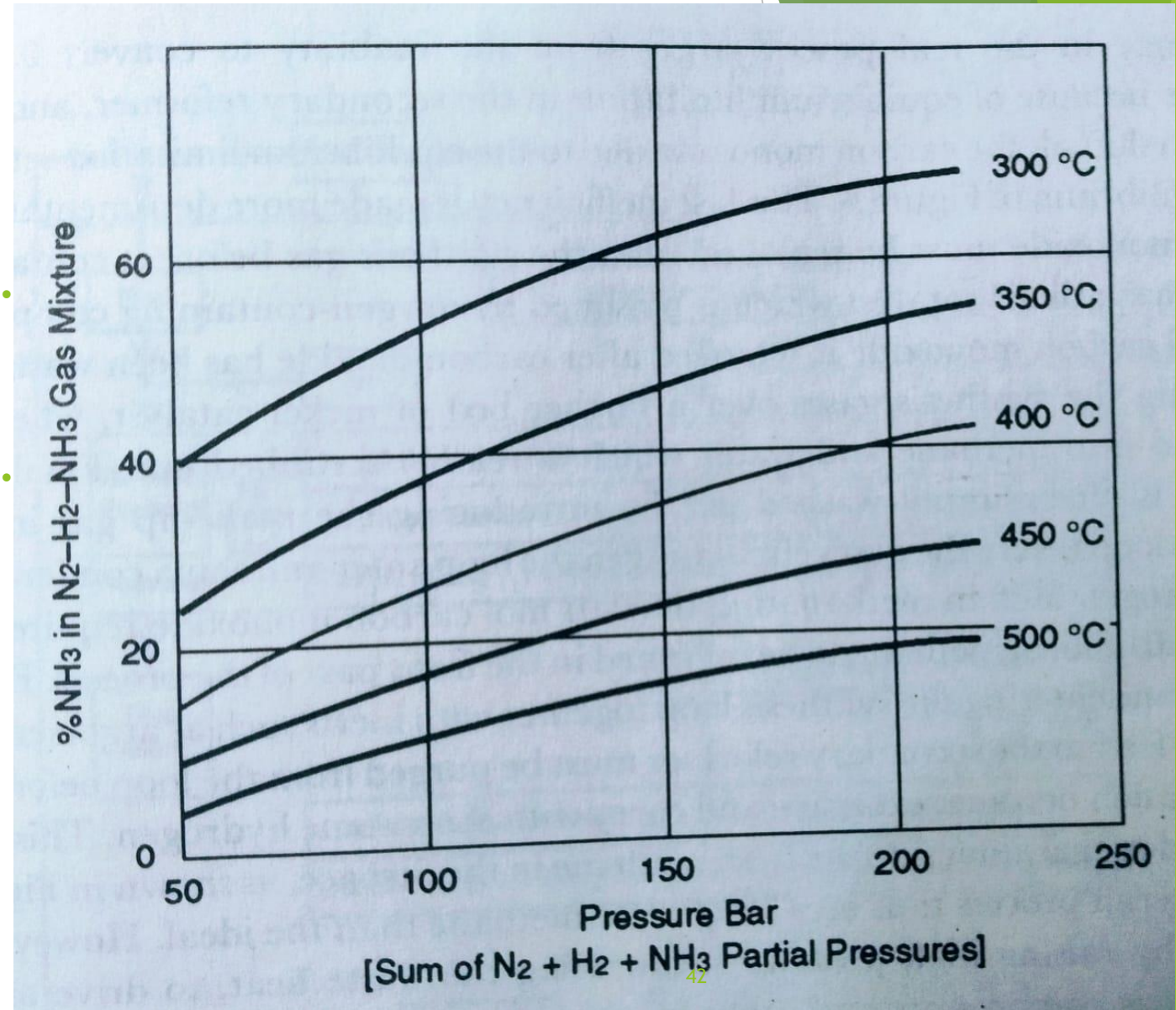


Fig 25: Equilíbrio da reação da amônia – [1]

Produção da amônia

- Conversão de amônia
 - 25 a 35% dos gases
 - Separação e reciclos
 - A) gases secos
 - B) recuperação antes do compressor de reciclo
 - C) recuperação depois do compressor de reciclo
 - D) condensação em dois estágios
-
- a) Conversor de amônia com trocadores de calor
 - b) recuperação por resfriamento e condensação
 - c) recuperação de amônia a temperatura ambiente
 - d) compressor do gás de síntese
 - e) compressor de reciclo

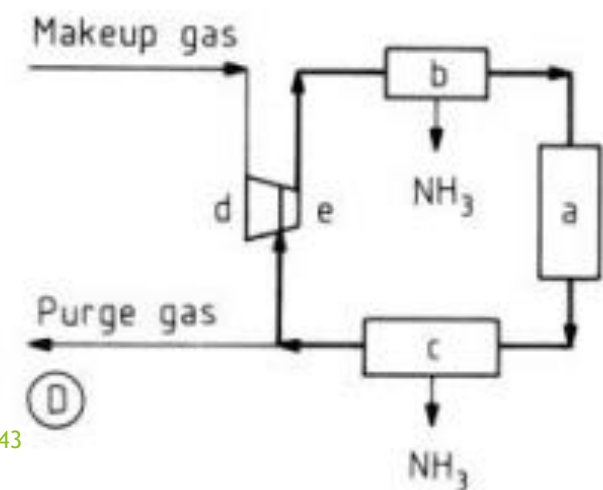
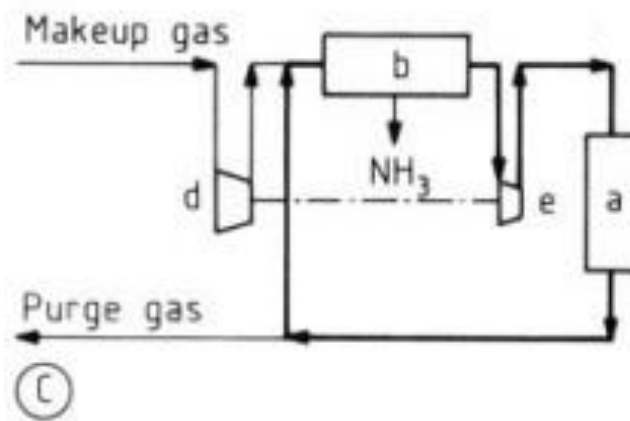
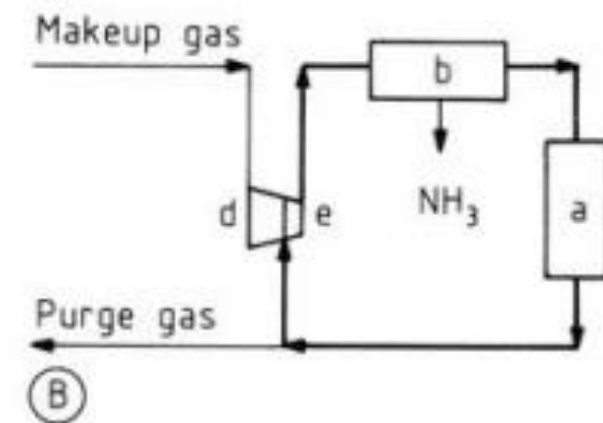
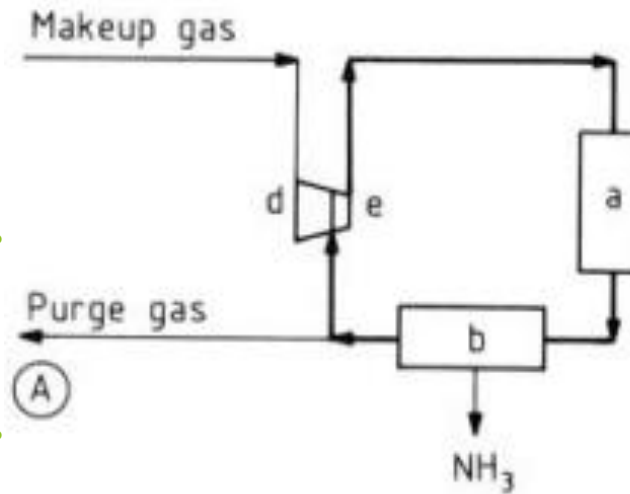


Fig 26: Tipos de reciclos de amônia – [2]

Produção da amônia

- Parâmetros de operação para dois tipos de pressão do loop
 - Vazão de entrada
 - Concentração de entrada
 - Concentração de inertes na entrada
 - Concentração de saída
 - Temperatura do condensador
 - Volume relativo de catalisador

Parameters	Inlet pressure, bar	
	140	220
Inlet flow, Nm ³ /h	500 000	407 000
Inlet NH ₃ conc., mol %	4.1	3.8
Outlet NH ₃ conc., mol %	17.1	19.9
Inlet inert conc., mol %	8.0	12.0
NH ₃ separator temperature, °C	−5	−5
Relative catalyst volume	1	0.6

Fig 27: parâmetros de operação típicos de conversores – [2]

Produção da amônia

- Concentração de NH_3 em função da
 - Pressão do sistema (MPa)
 - Velocidade dos gases (m^3/h)
- Concentração de NH_3 em função da
 - Concentração de Inertes (%)
 - Velocidade dos gases (m^3/h)

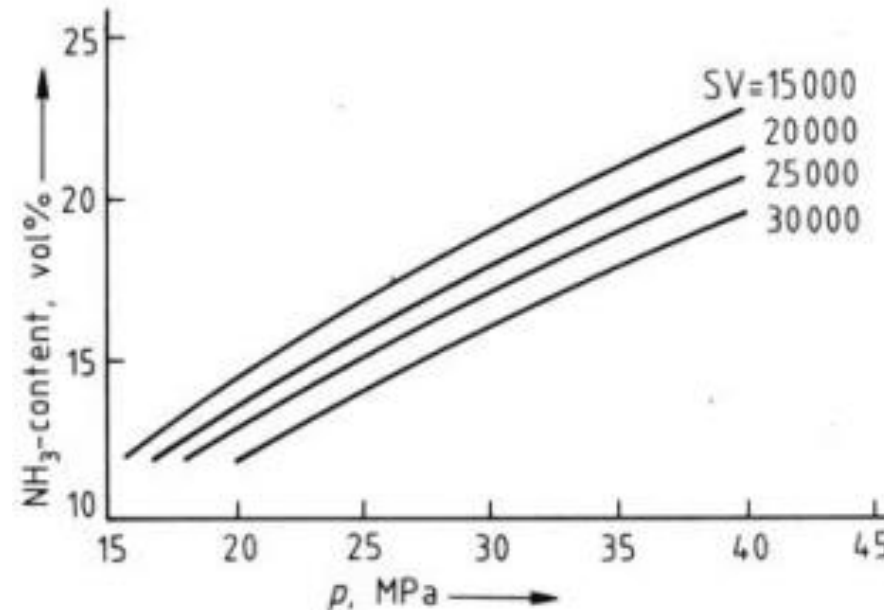


Fig 28: pressão e velocidade – [2]

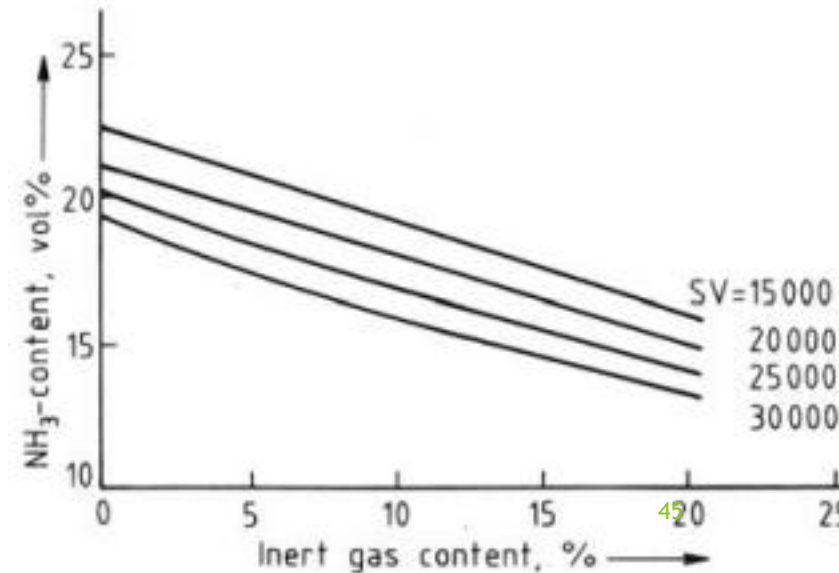


Fig 29: inertes e velocidade – [2]

Produção da amônia

- Concentração de NH_3 em função da
 - concentração de oxigênio (ppm)
- Concentração de NH_3 em função da
 - Razão $\text{H}_2\text{-N}_2$
 - Velocidade dos gases (m^3/h)
- Linha pontilhada
 - máximo das curvas

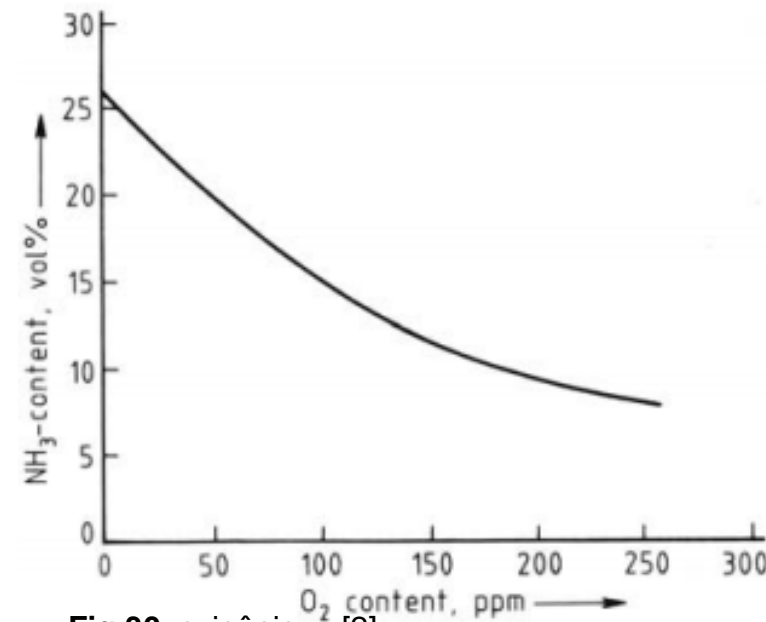


Fig 30: oxigênio – [2]

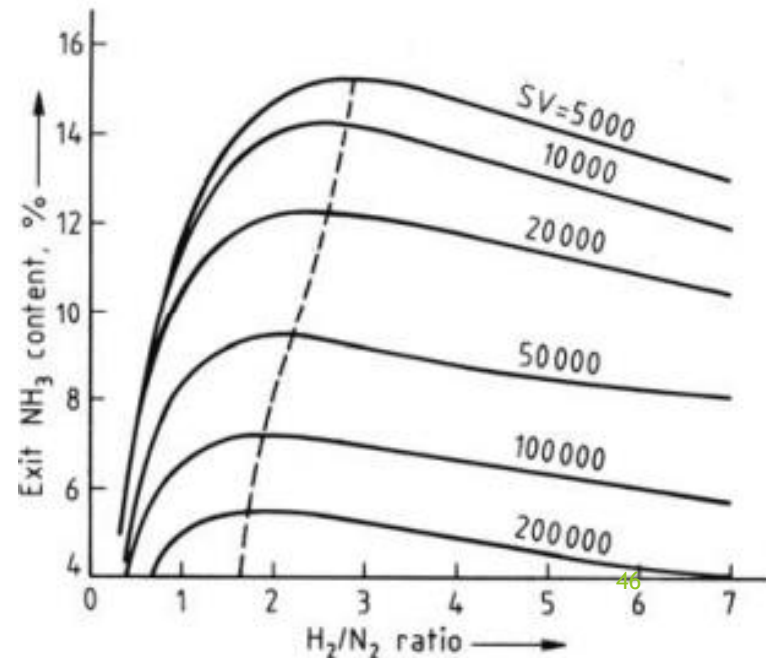


Fig 31: razão H₂ / N₂ – [2]

Produção da amônia

- Velocidade da reação em função da
 - Concentração NH_3 (%)
 - Temperatura (oC)
- Linhas indicam a velocidade da reação
 - Equilíbrio $\rightarrow v = 0$
 - Tracejada \rightarrow máximo de amônia produzida (%)

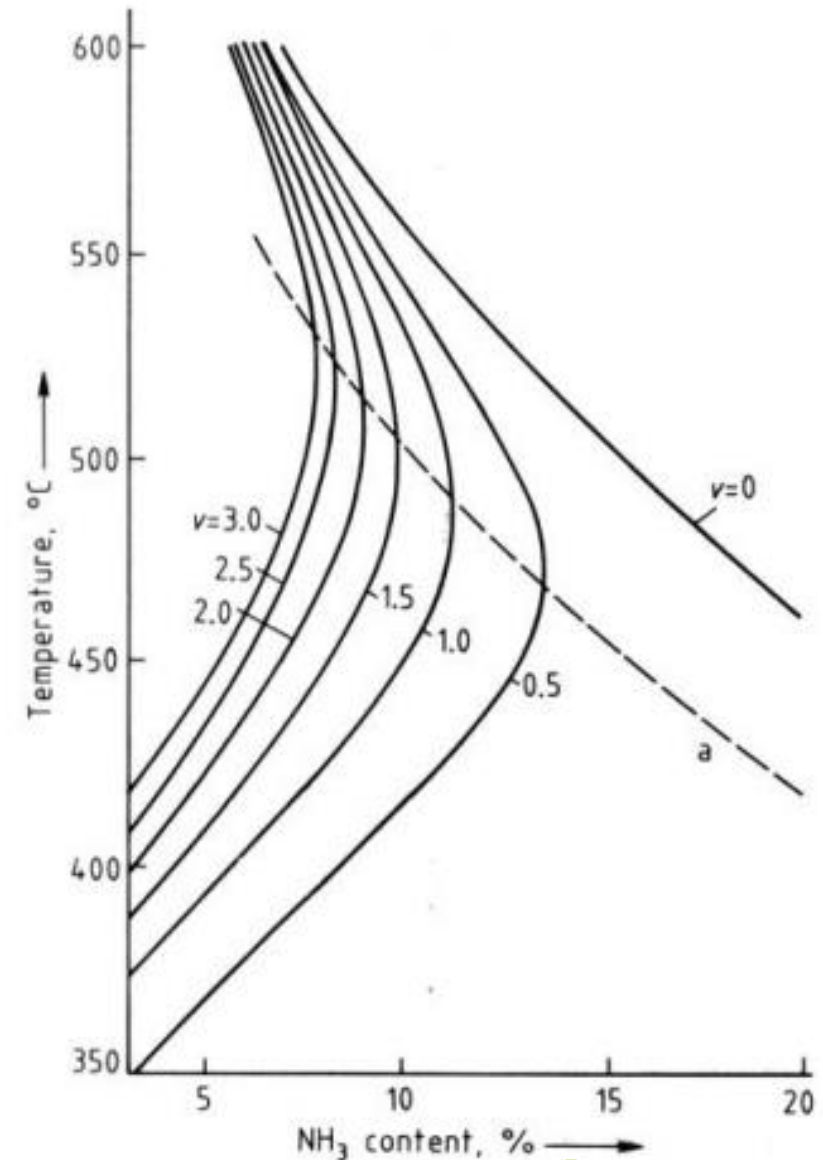


Fig 32: equilíbrio termodinâmico e velocidades – [2]

Produção da amônia - conclusões

- Velocidade do gás
 - Aumento dela diminui C_{NH_3}
 - Cuidado para não ‘apagar’ a reação

Velocidade pode ser usada para manter o máximo operacional conforme envelhecimento do catalisador

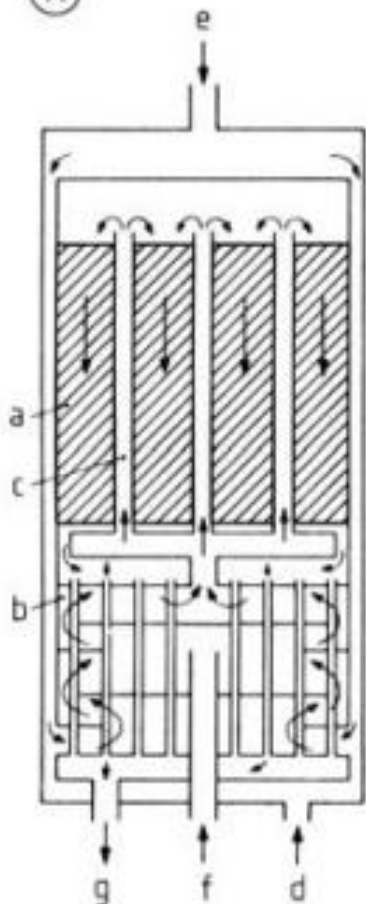
- Cuidado: Máximo operacional está próximo do ponto de ‘apagão’
 - Requer controle preciso
 - Se for feito para operar assim, então a planta deve ser *oversized*

- ▶ Desenhos de conversor de amônia é tarefa difícil
 - ▶ Engenharia Química
 - ▶ Dimensões e números de leitos catalíticos
 - ▶ Perfil de temperaturas
 - ▶ Otimização dos catalisadores de acordo com a temperatura de operação dos leitos
 - ▶ Composição dos gases
 - ▶ Queda de pressão
- ▶ Integração energética é o norte do projetista

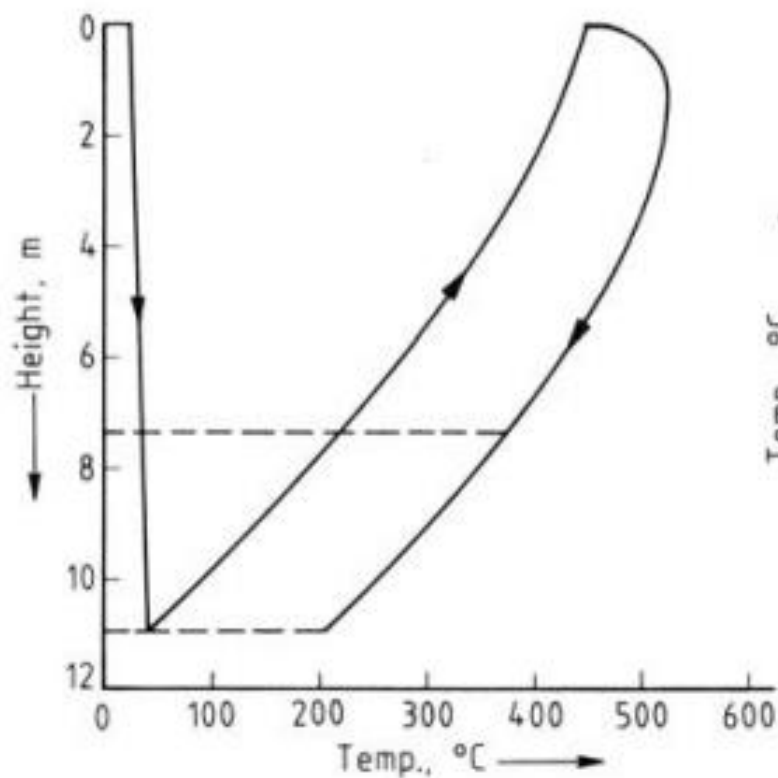
Desenhos de Reatores de amônia

Maravilhas da engenharia química

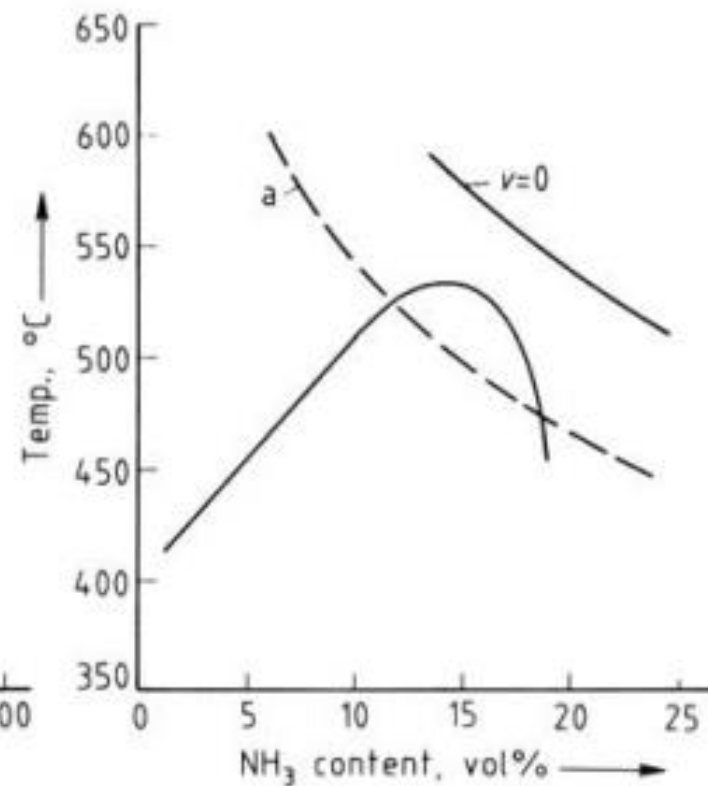
(A)



(B)



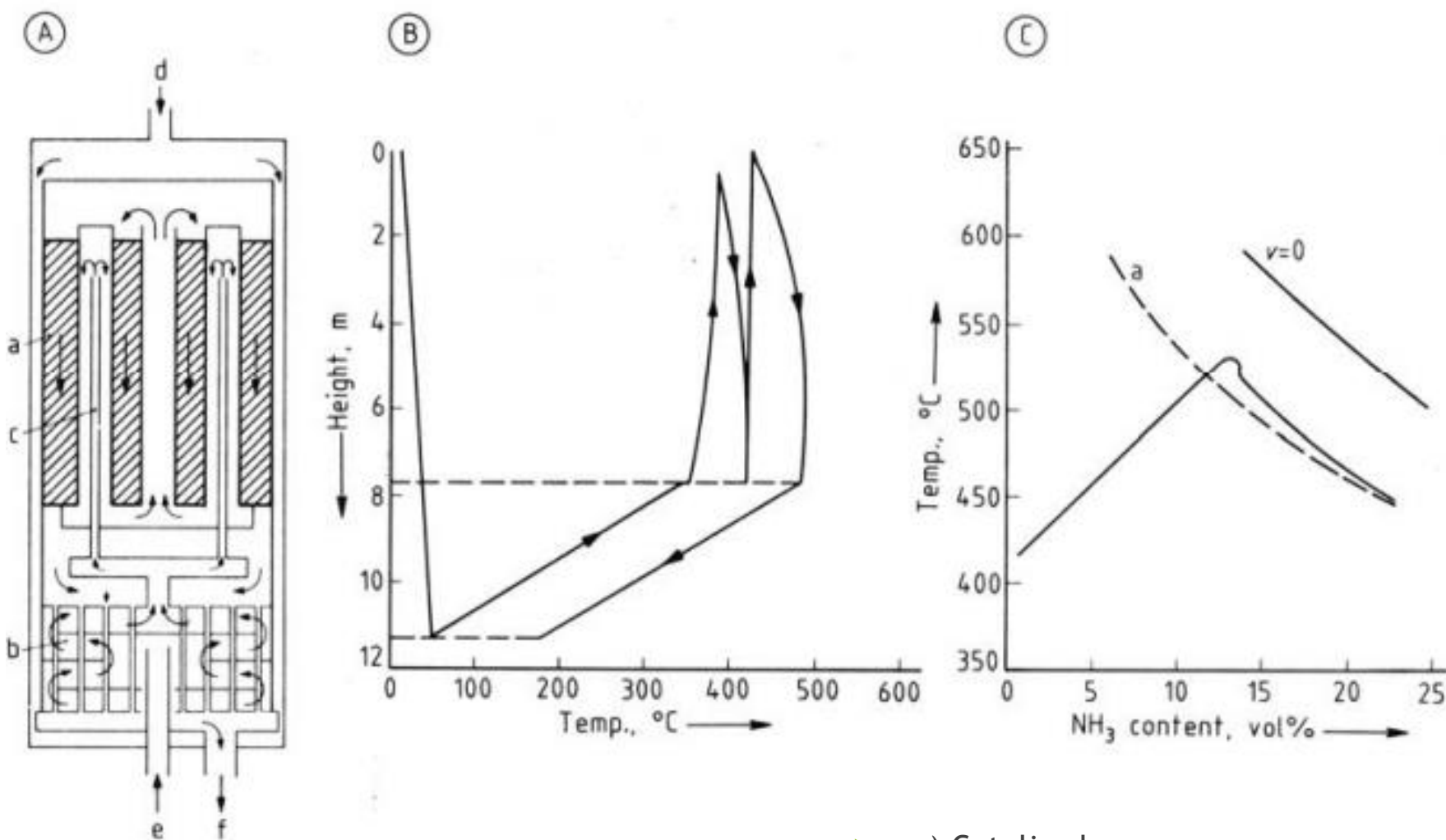
(C)



- ▶ a) Catalisador
- ▶ b) Trocador de calor
- ▶ c) tubos de resfriamento
- ▶ d) Entrada principal de gás
- ▶ e) Entrada de gás da jaqueta externa de resfriamento
- ▶ f) Entrada de gás de controle de temperatura
- ▶ g) saída do gás

- ▶ A) Layout do conversor
- ▶ B) Perfil de temperatura através do conversor
- ▶ C) Concentração de amônia versus temperatura

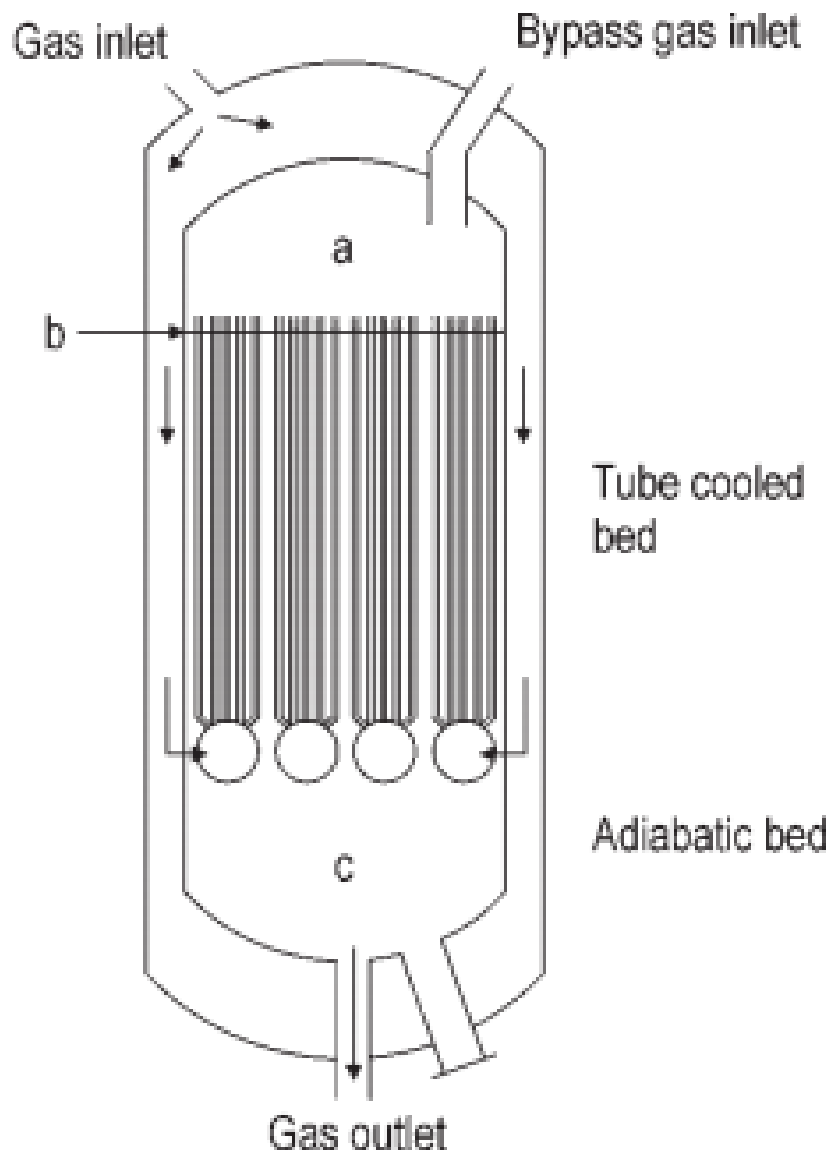
▶ Figura 33:
Conversor
contracorrente
resfriado por
tubos - Tennessee
Valley Authority -
[2]



► Figura 34:
Conversor
resfriado por
fluxo cocorrente
[2]

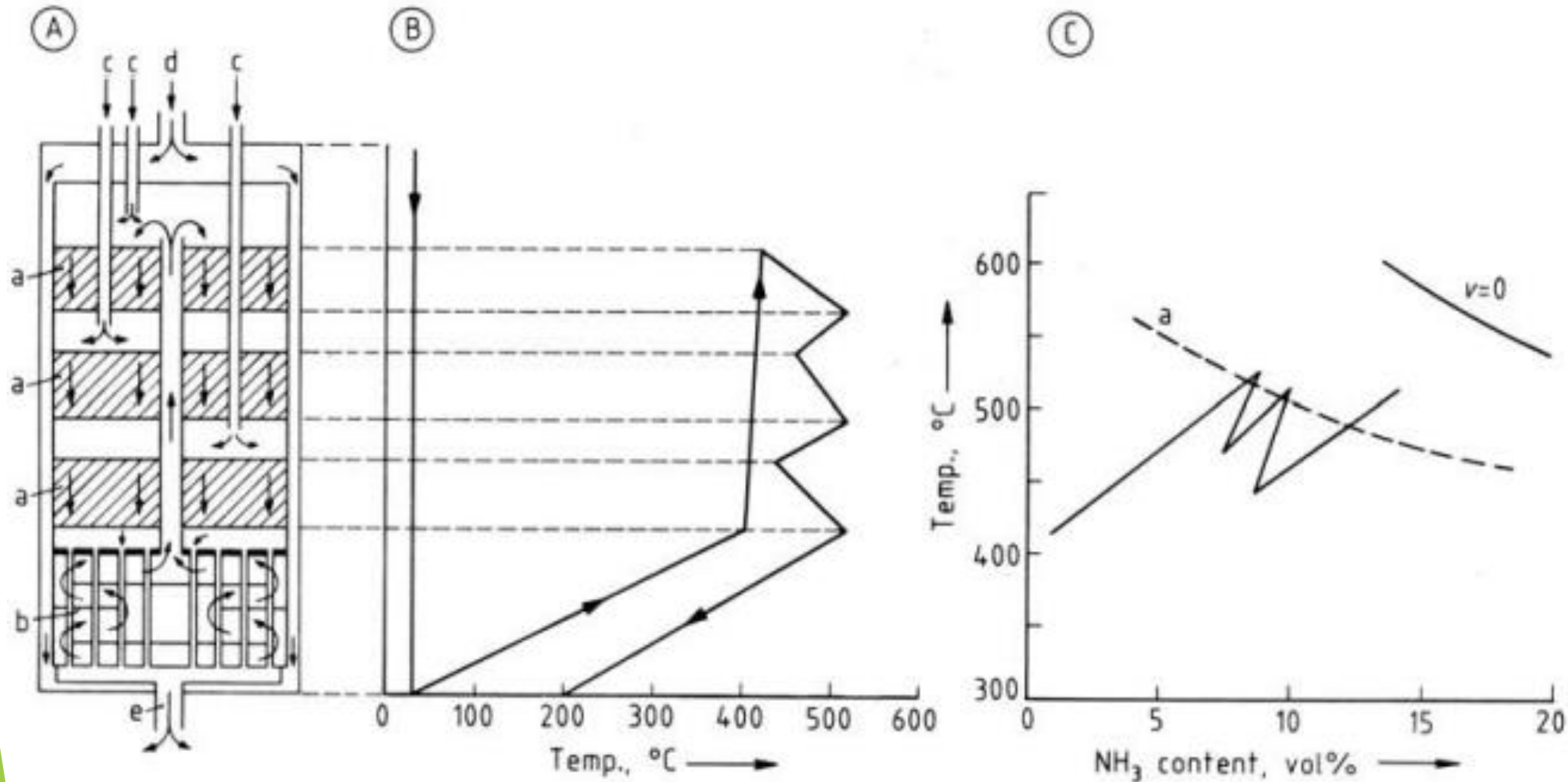
- A) Layout do conversor
- B) Perfil de temperatura através do conversor
- C) Concentração de amônia versus temperatura

- a) Catalisador
- b) Trocador de calor
- c) Tubos de resfriamento
- d) Entrada principal de gás
- e) Entrada de gás de controle de temperatura
- f) saída do gás



► Figura 35: Conversor ICI resfriado por tubo -[4]

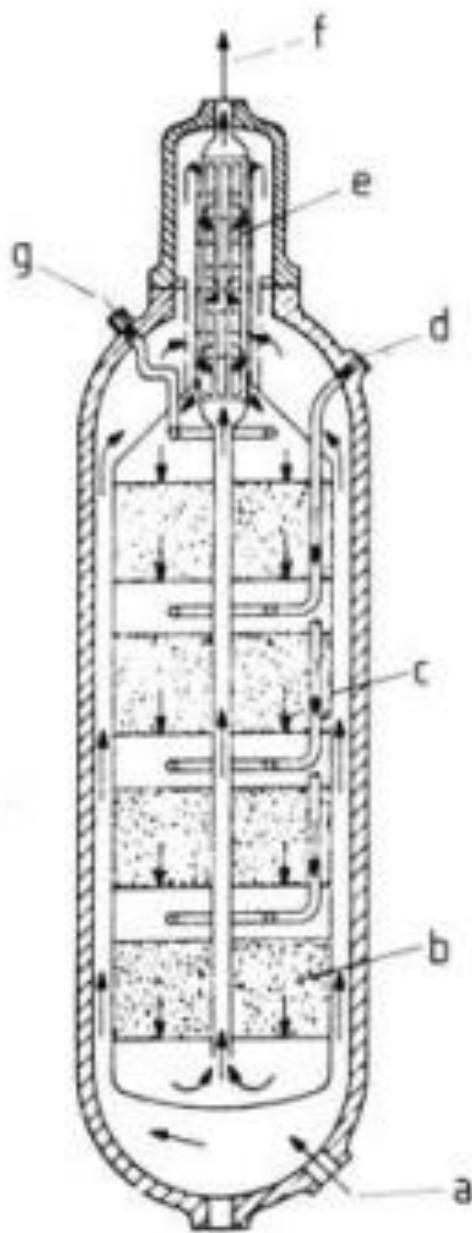
- a) topo do leito catalítico
- b) tubos de resfriamento
- c) catalisador



► Figura 38: Conversor multileito com resfriamento por têmpera - [4]

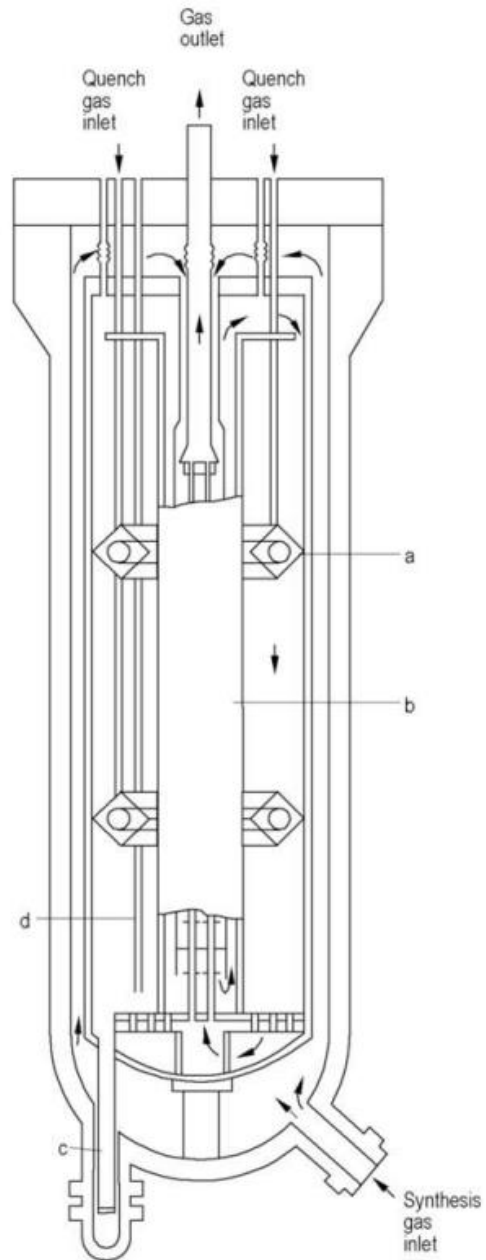
- A) Layout do conversor
- B) Perfil de temperatura através do conversor
- C) Concentração de amônia versus temperatura

- a) Catalisador
- b) Trocador de calor
- c) Entrada dos gases de têmpera
- d) Entrada principal de gás
- e) saída do gás

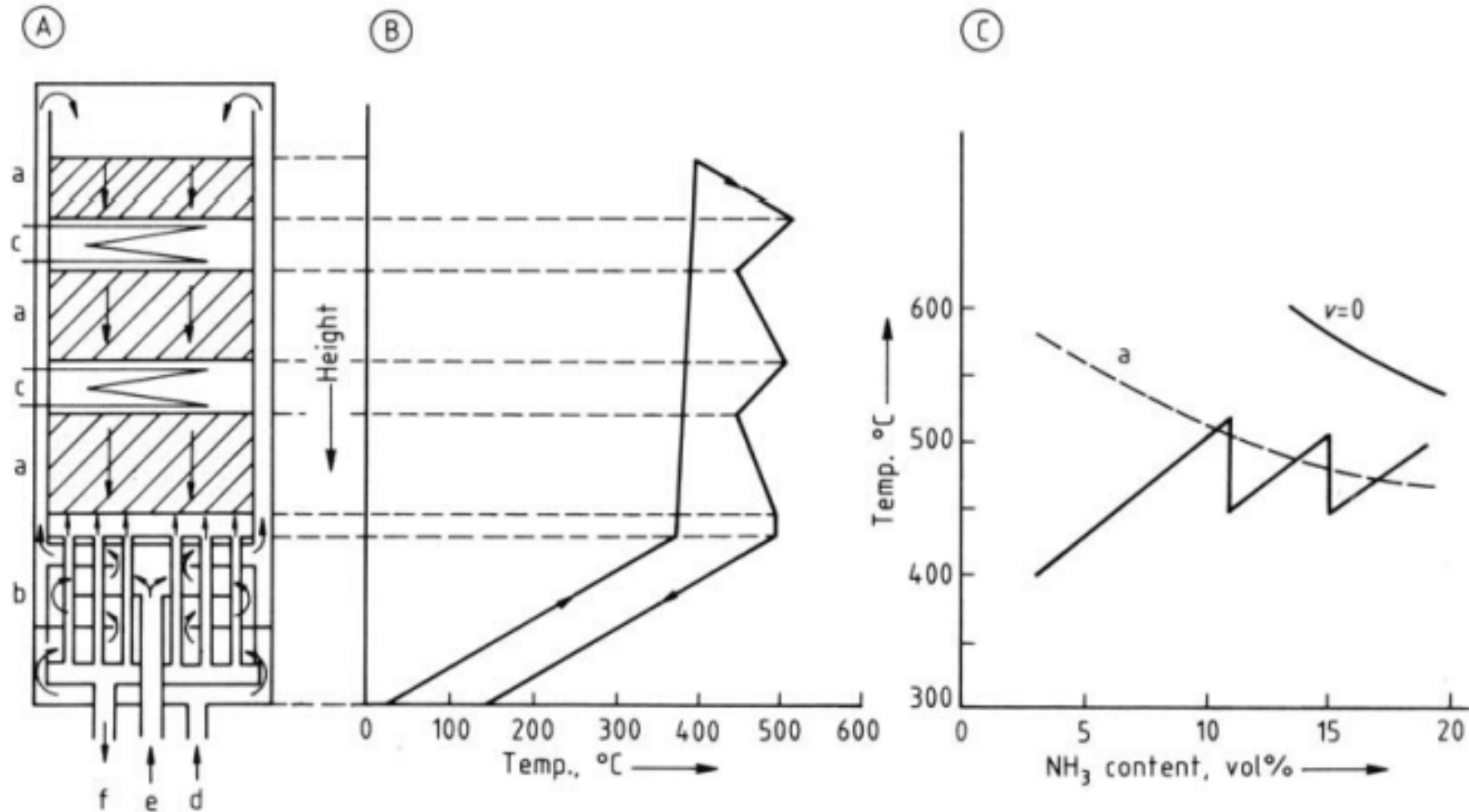


► Fig 38: Conversor kellog com 4 leitos verticais e resfriamento por têmpera - [4]

- a) Entrada de gás
- b) Catalisador
- c) Cesta
- d) Têmpera
- e) Intertrocador
- f) saída do gás
- g) Bypass



- Fig 39: Conversor ICI lozenge - [2]
- a) distribuidores de gás de têmpera
- b) trocadores de calor
- c) bocal de descarga de catalisador
- d) tubo para termopares



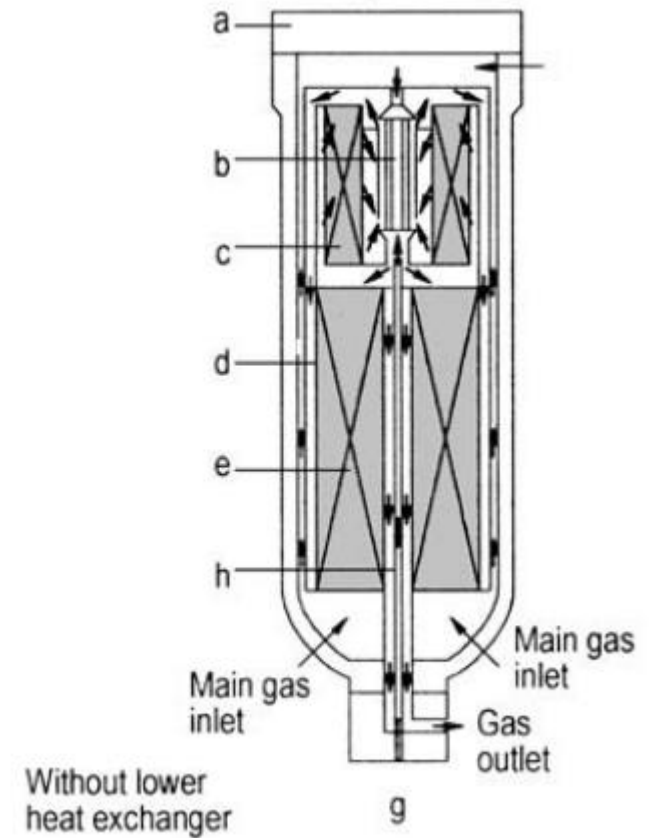
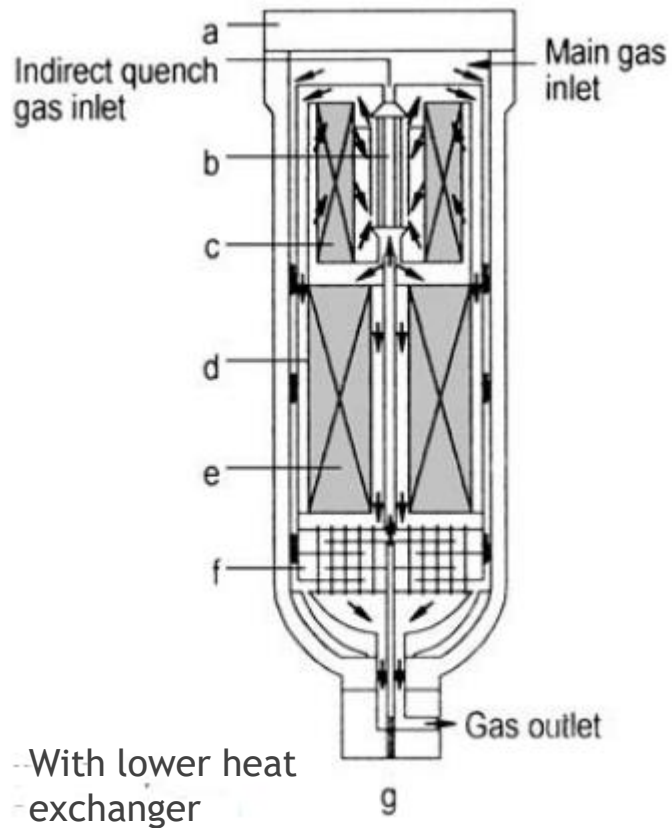
► Figura 40: Conversor multileito com resfriamento indireto - [4]

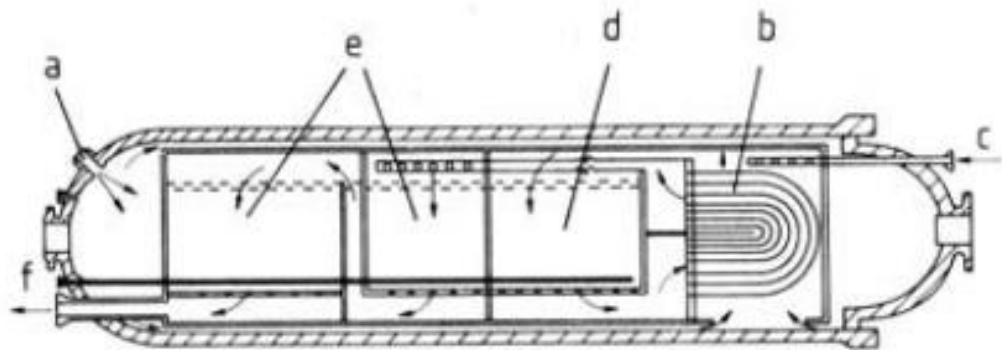
- A) Layout do conversor
- B) Perfil de temperatura através do conversor
- C) Concentração de amônia versus temperatura

- a) Catalisador
- b) Trocador de calor
- c) seção de resfriamento
- d) Entrada principal de gás
- e) Gás de controle de temperatura
- f) saída do gás

► Figura 41:
Conversor Topsoe
Série 200 - [4]

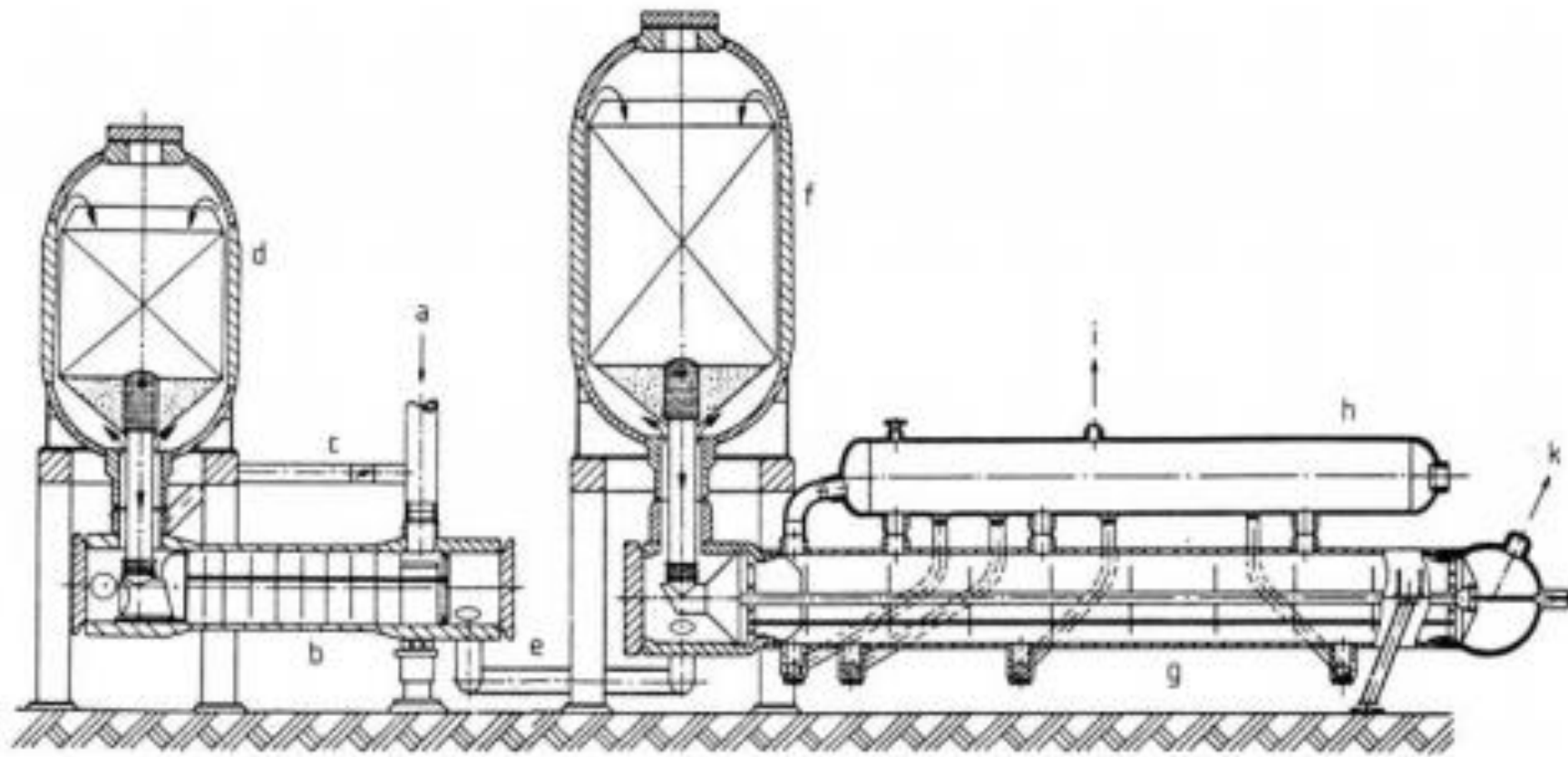
- a) Casco de pressão
- b) Trocador de calor interleito
- c) 1º leito catalítico
- d) Anel ao redor do leito catalítico
- e) 2º leito catalítico
- f) Trocador de calor inferior
- g) By-pass frio
- h) tubo do by-pass frio





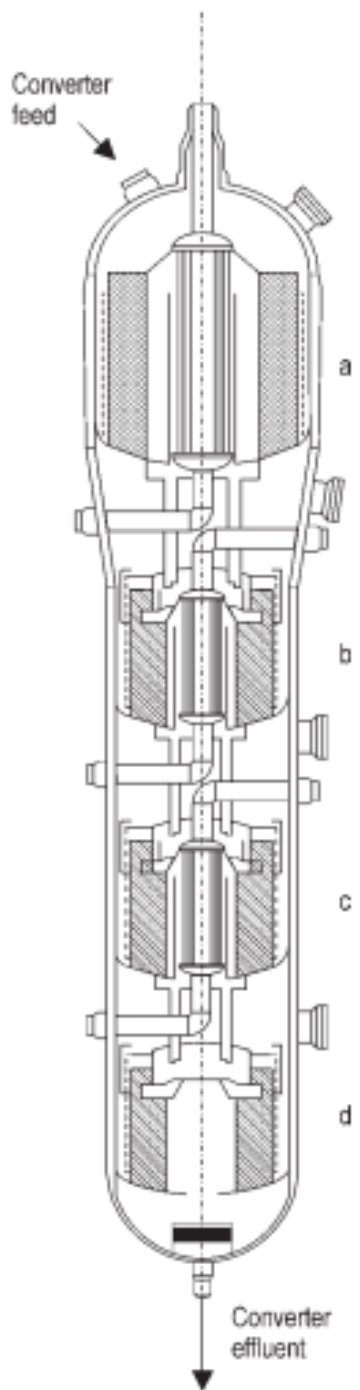
► Figura 42: Conversor horizontal Kellogg interresfriado - [4]

- a) Entrada de gás
- b) Trocador de calor interleito
- c) by-pass
- d) Leito 1
- e) Leito 2
- f) saída



► Figura 43:
Conversores
CF Braun com
trocador de calor
interleito e
caldeira de gás de
saída - [4]

- a) Entrada do gás
- b) Alimentação - trocador do primeiro leito
- c) By-pass de controle de temperatura
- d) 1º leito
- e) Linha para o 2º leito
- f) 2º leito
- g) Caldeira de aproveitamento de calor (Borsig)
- h) Vaso de vapor
- i) Saída de vapor
- k) Saída de gás



► Figura 44: Conversor KAAP de quatro leitos - [4]

a) Leito 1: Catalisador de magnetita

b) Leito 2: Catalisador KAAP

c) Leito 3: Catalisador KAAP

d) Leito 4: Catalisador KAAP

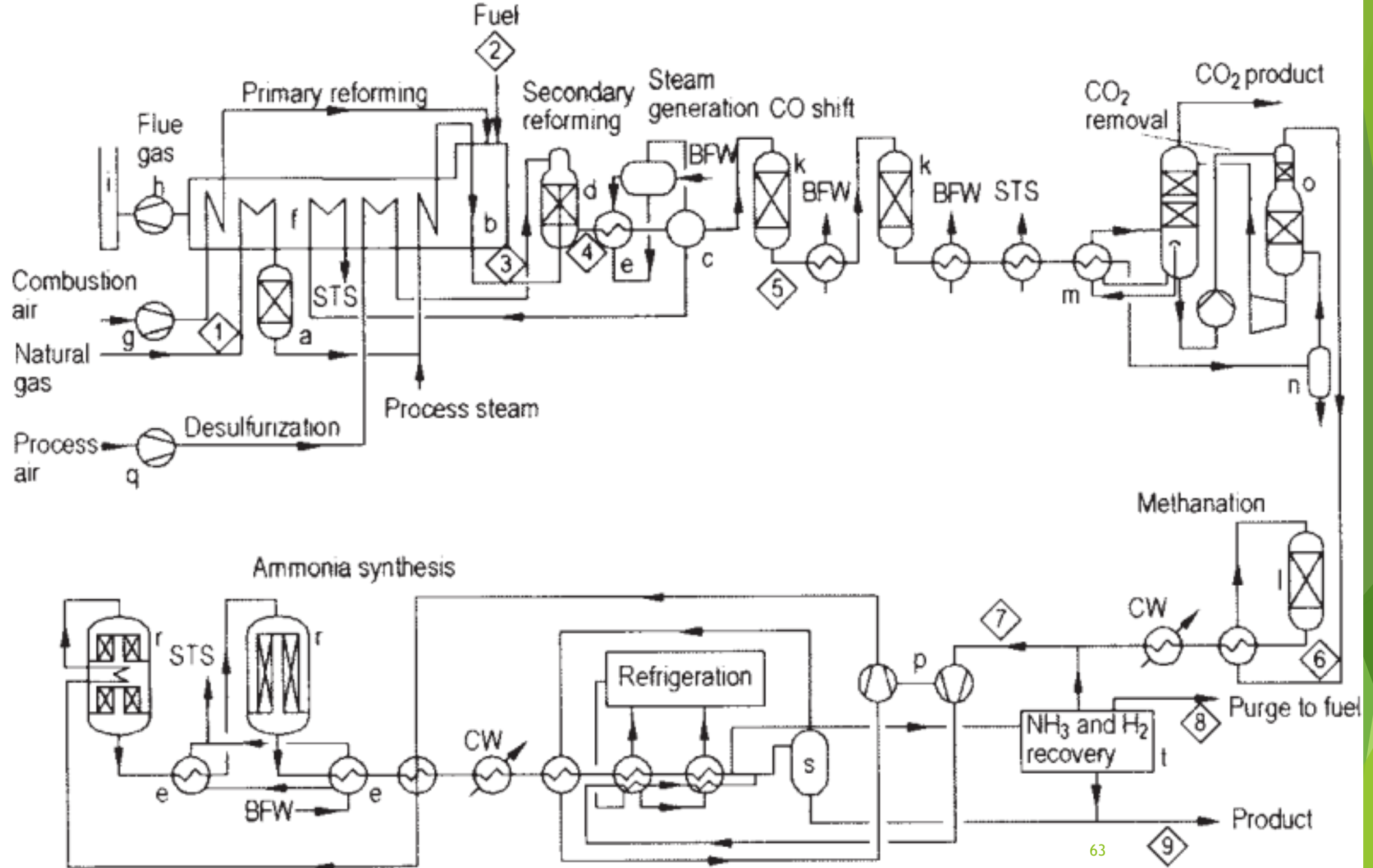
Resíduos

Tabela 1: Emissões de plantas de amônia – [3]

Tipo de Emissão	Componente	Plantas antigas (kg/t NH ₃)	Plantas novas (kg/t NH ₃)
Emissão na água	NH ₃ /NH ₄	0.1	0.1
Emissão atmosférica	NO _x	0.9	0.45
Catalisador	-	< 0.2	< 0.2

A amônia produzida na forma líquida pode ser reaproveitada para produzir fertilizantes de amônio

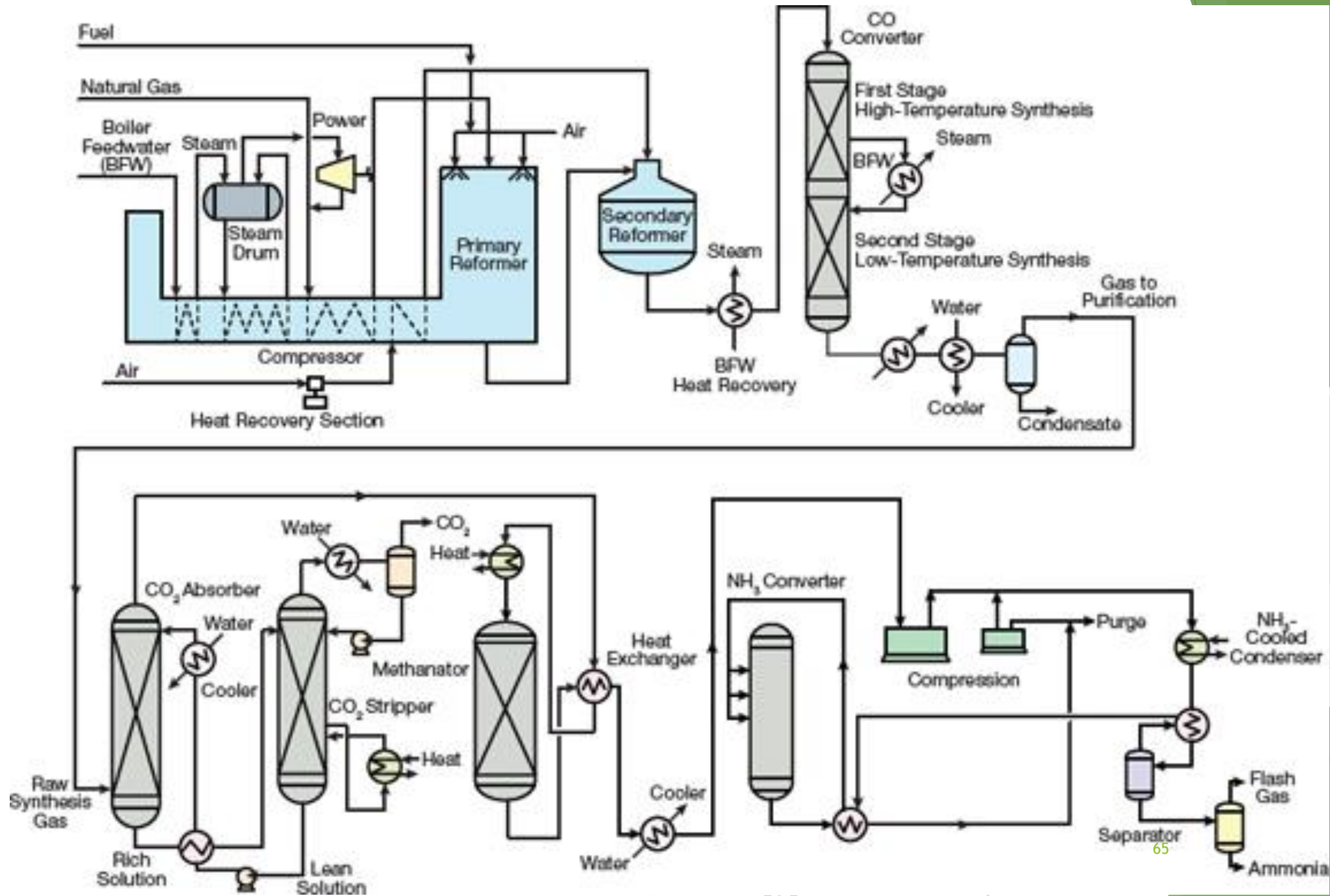
Fluxogramas de rotas tecnológicas



► Figura 45: processo Uhde - [7]

Legenda processo Uhde

- ▶ a) remoção de enxofre
- ▶ b) reformador primário
- ▶ c) superaquecedor de vapor
- ▶ d) reformador secundário
- ▶ e) caldeira de calor residual
- ▶ f) Seção de conversão
- ▶ g) Ventilador de remoção forçada
- ▶ h) Ventilador de remoção induzida
- ▶ i) Chaminé
- ▶ k) Conversores de Alta e Baixa temperaturas
- ▶ l) Metanadores
- ▶ m) Caldeira de solvente de remoção de CO₂
- ▶ n) Separador de condensado de processo
- ▶ o) Absorção de CO₂
- ▶ p) Compressor de gás de síntese
- ▶ q) compressor de ar de processo
- ▶ r) conversor de amônia
- ▶ s) Separador de amônia de alta pressão
- ▶ t) Recuperação de amônia e hidrogênio da purga e gás de flash

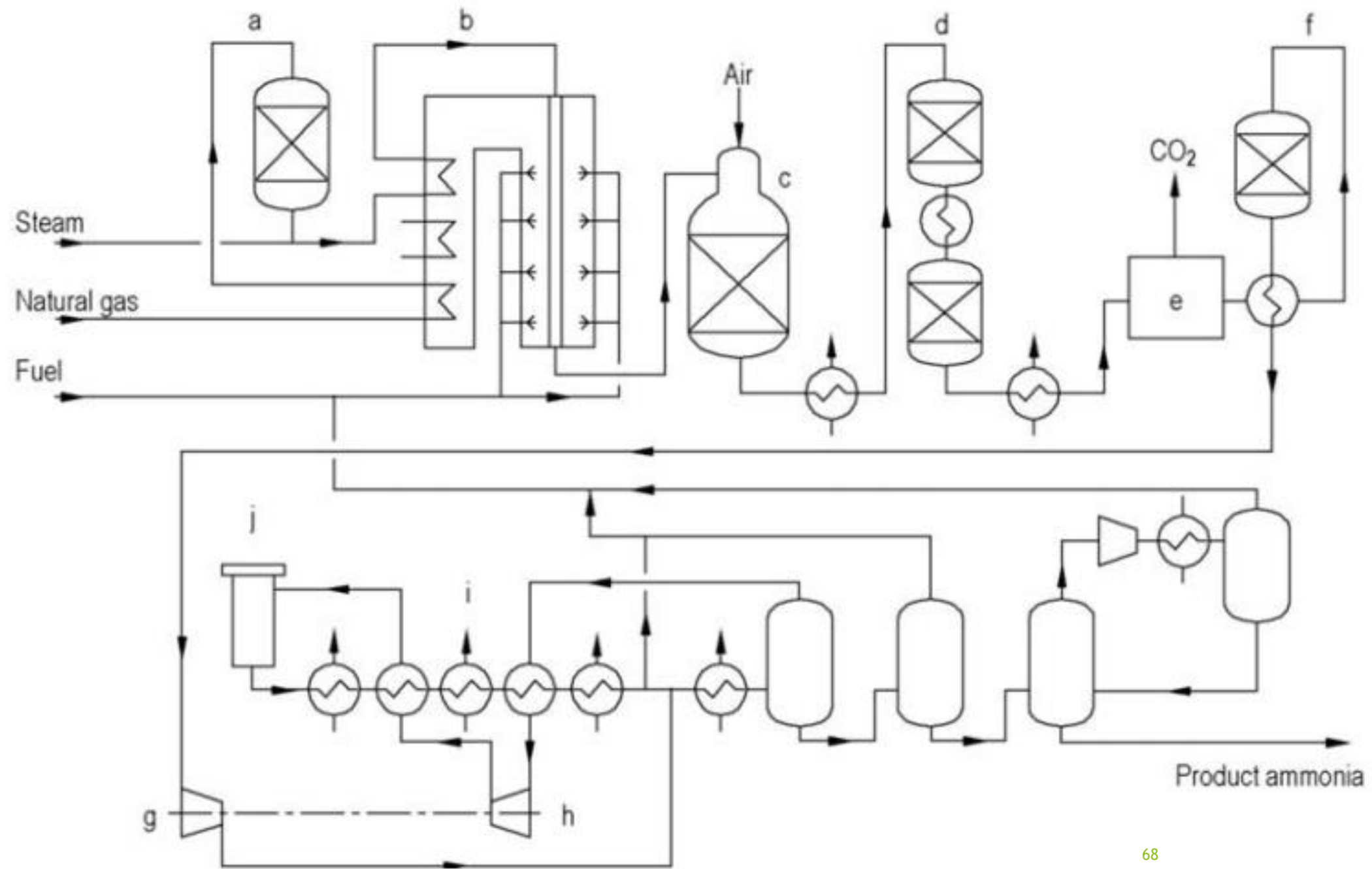


► Fig 46: KBR - [2]



Legenda processo Kellogg

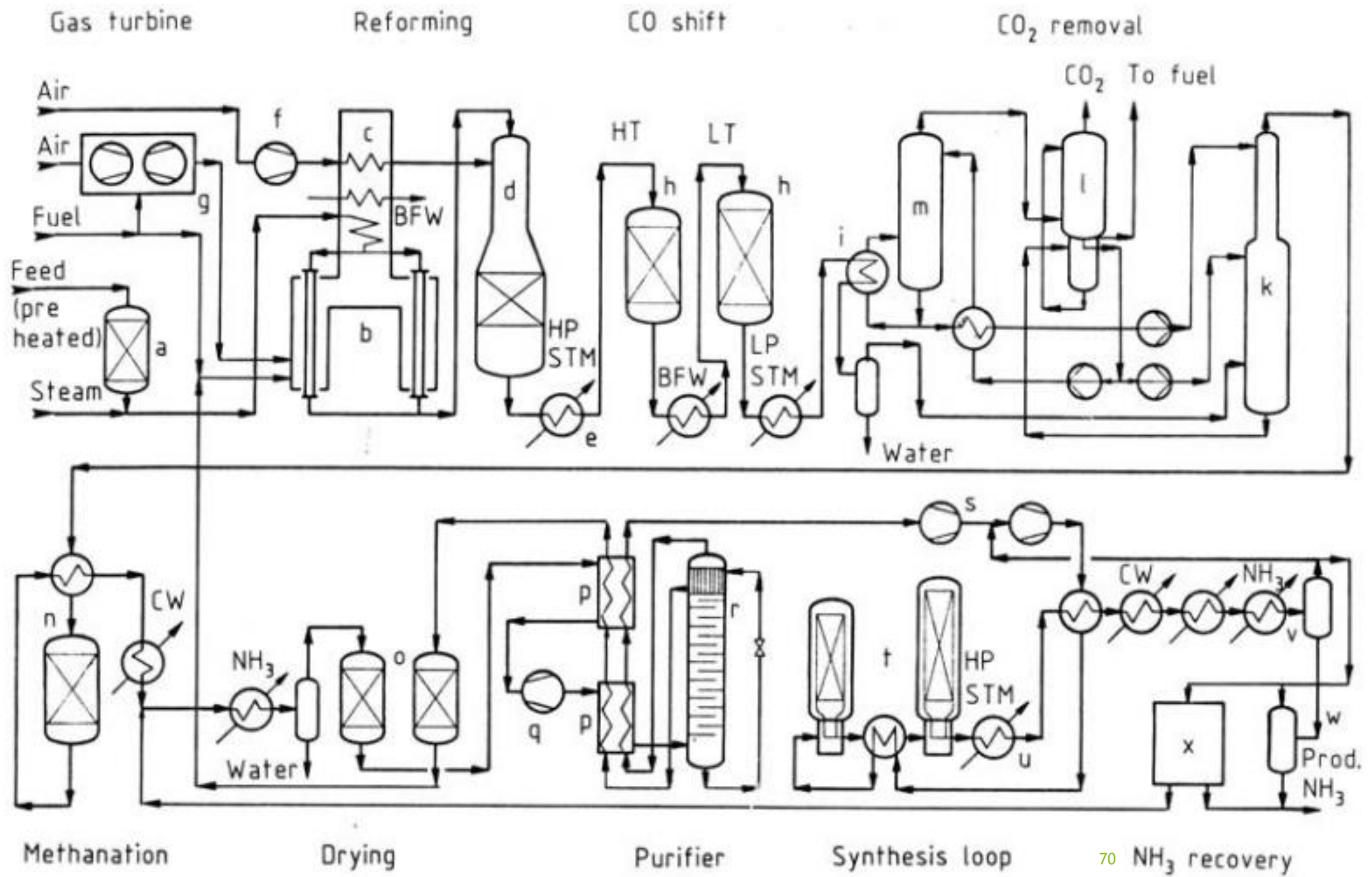
- ▶ a) compressor de gás de alimentação
- ▶ b) remoção de enxofre
- ▶ d) reformador primário
- ▶ e) compressor de ar
- ▶ f) reformador secundário
- ▶ g) recuperação de calor
- ▶ h) conversor WGS de alta temperatura
- ▶ i) conversor WGS de baixa temperatura
- ▶ j) stripper de condensado
- ▶ k) absorção de CO₂
- ▶ l) tambor de flash de CO₂
- ▶ m) compressor de reciclo
- ▶ n) bomba
- ▶ o) Stripper de gás
- ▶ p) soprador de ar do stripper
- ▶ q) bomba de CO₂
- ▶ r) preaquecedor de metanação
- ▶ s) metanador
- ▶ t) compressor de gás de síntese
- ▶ u) secador
- ▶ v) Recuperação de H₂ do gás de purga
- ▶ w) conversor de amônia
- ▶ x) Aquecedor
- ▶ y) Trocador de refrigeração
- ▶ z) compressor de refrigeração



► Fig 48: Haldop Topsoe de baixa energia- [7]

Legenda processo Haldop-Topsoe baixa energia

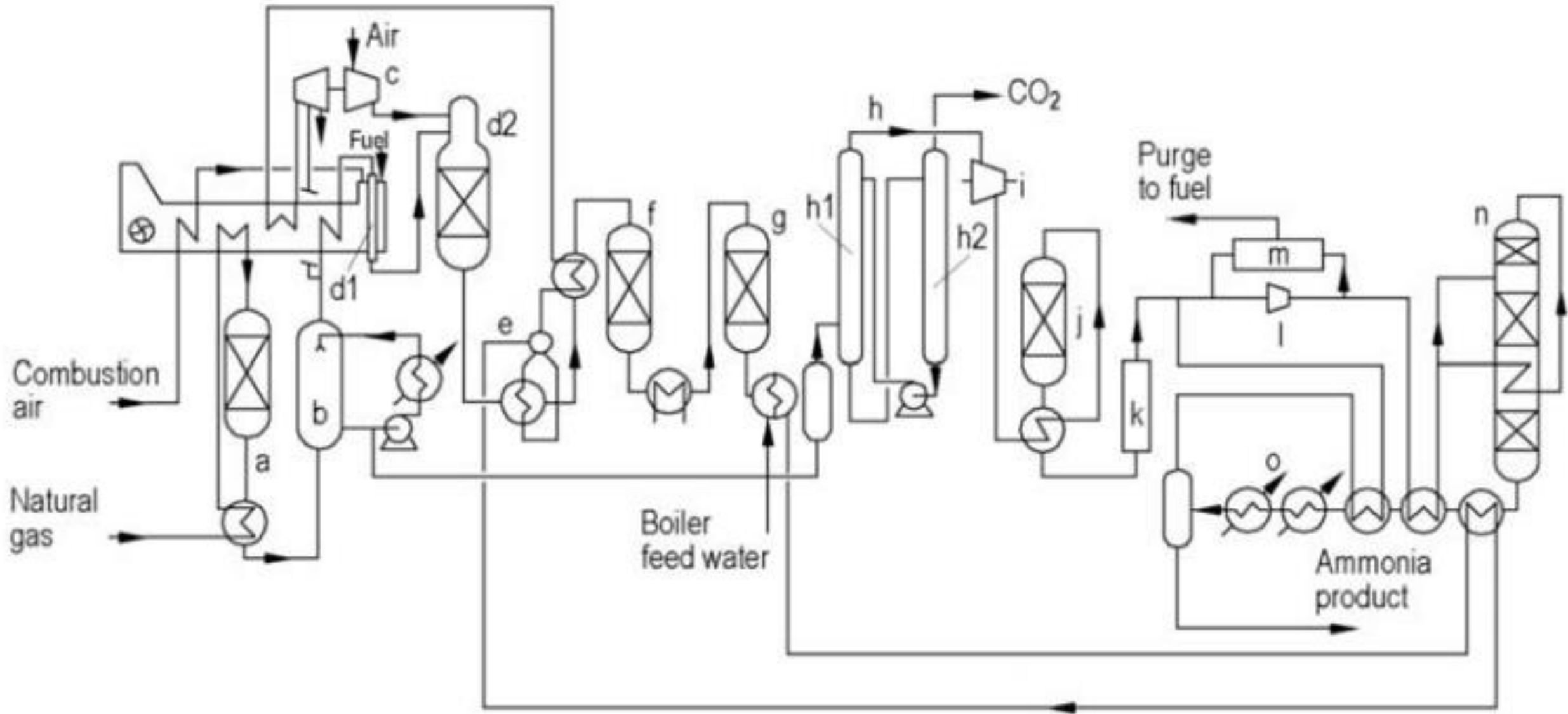
- ▶ a) remoção de enxofre
- ▶ b) reformador primário
- ▶ c) reformador secundário
- ▶ d) conversor WGS
- ▶ e) remoção de CO₂
- ▶ f) metanador
- ▶ g) compressor principal
- ▶ h) compressor de reciclo
- ▶ i) recuperação de calor
- ▶ j) conversor



► Fig 49: Braun - [7]

Legenda processo C.F Braun

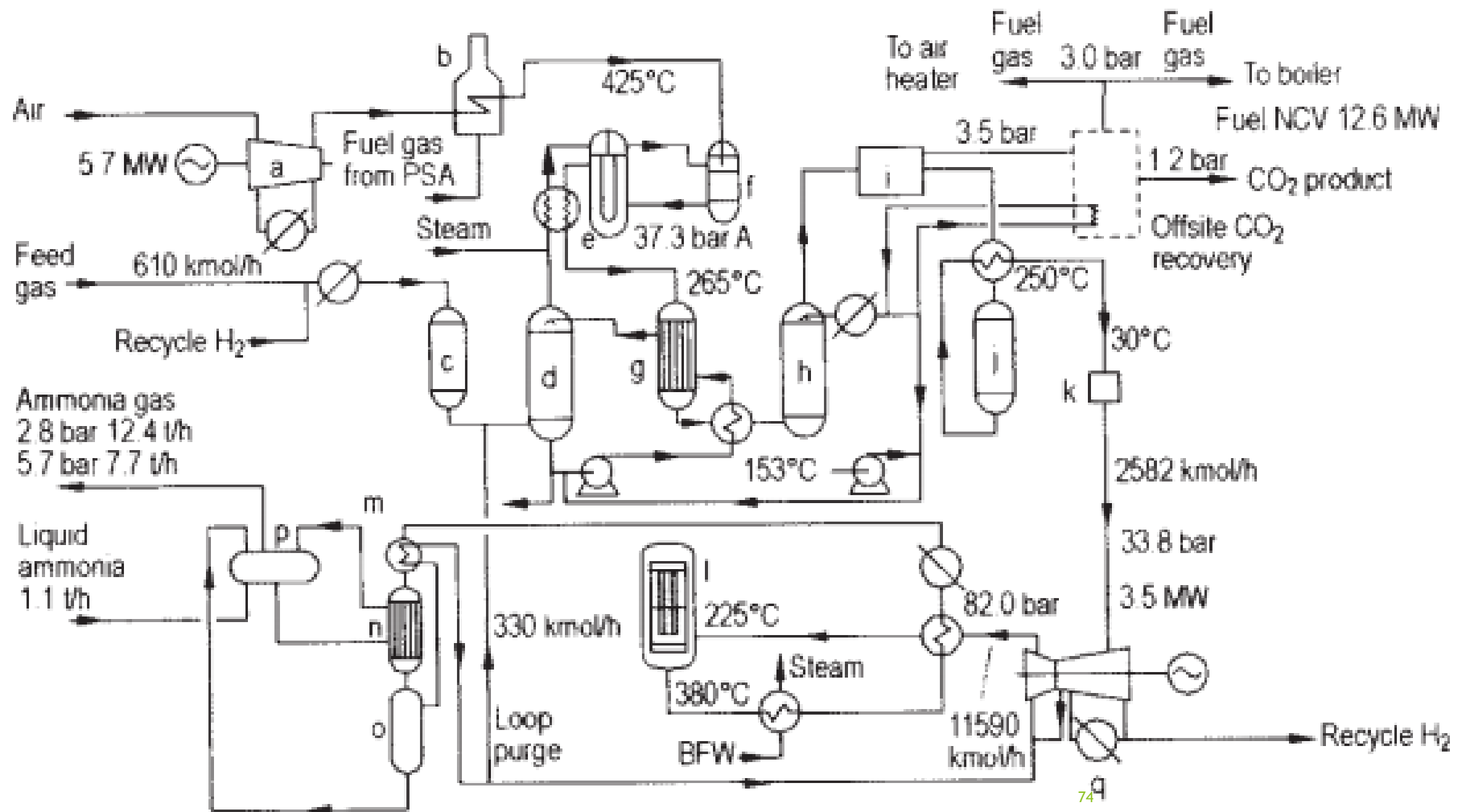
- ▶ a) remoção de enxofre
- ▶ b) reformador primário
- ▶ c) seção de conversão
- ▶ d) reformador secundário
- ▶ e) caldeira de gás residual
- ▶ f) compressor de ar de processo
- ▶ g) turbina a gás
- ▶ h) conversor WGS de alta e baixa temperatura
- ▶ i) caldeira de remoção de CO₂ do solvente
- ▶ k) absorvedor de CO₂
- ▶ l) dessorvedor de CO₂
- ▶ m) stripper de CO₂
- ▶ n) metanador
- ▶ o) secador
- ▶ p) trocador de calor de purificação
- ▶ q) turbina de expansão
- ▶ r) coluna de purificação
- ▶ s) compressor de gás de síntese
- ▶ t) conversor de síntese
- ▶ u) caldeira de gás residual
- ▶ v) separador de amônia de alta pressão
- ▶ w) vaso de repouso de amônia
- ▶ x) recuperação de amônia da purga



► Fig 50: ICI AMV - [7]

Legenda processo ICI AMV

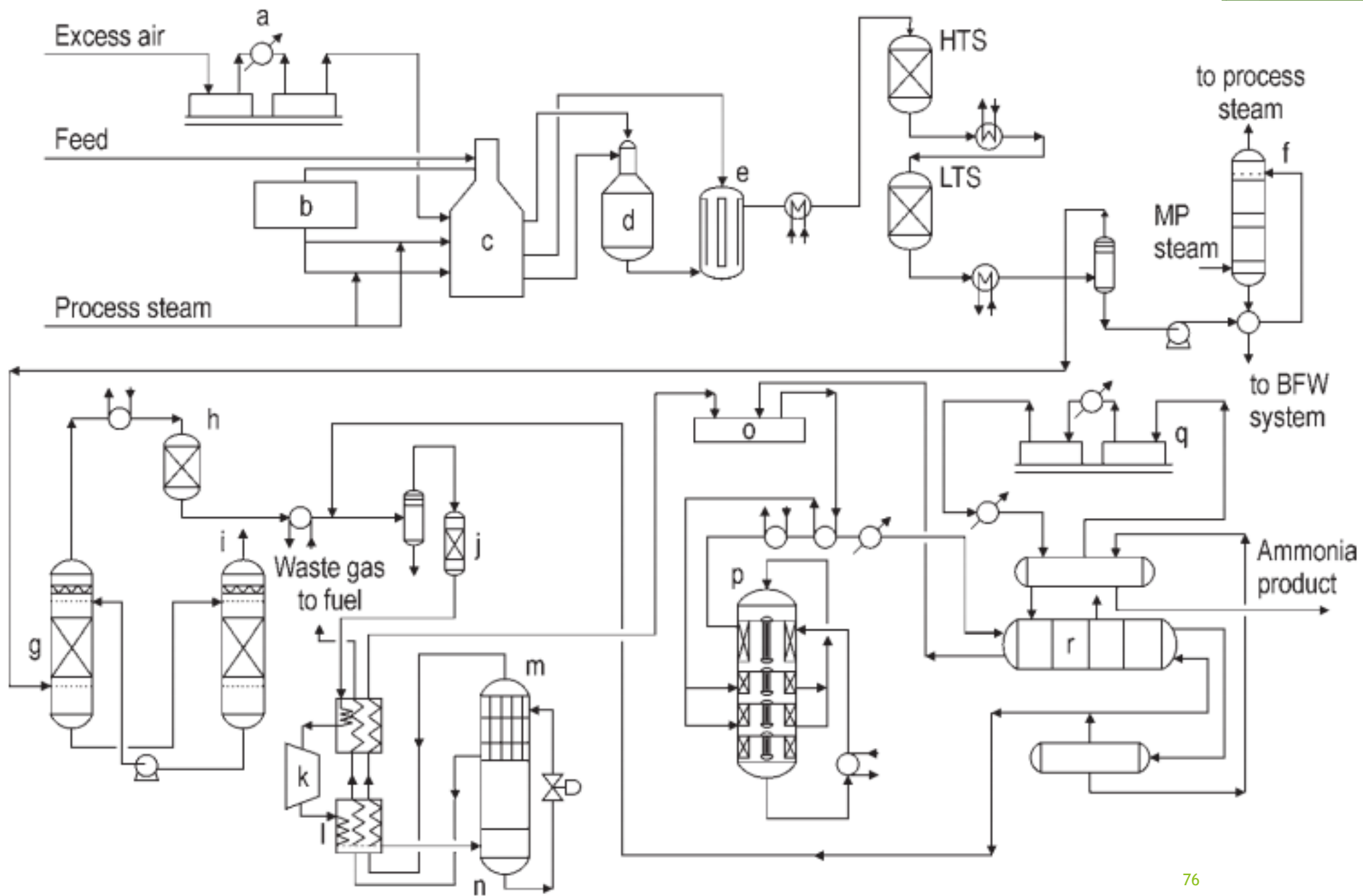
- ▶ a) remoção de enxofre
- ▶ b) saturação de gás natural
- ▶ c) compressor de ar de processo
- ▶ d1) reformador primário
- ▶ d2) reformador secundário
- ▶ e) caldeira
- ▶ f) conversor WGS de alta temperatura
- ▶ g) conversor WGS de baixa temperatura
- ▶ h) remoção de CO₂ - selexol
- ▶ h1) Absorvedor de CO₂
- ▶ h2) regenerador
- ▶ i) compressor de estágio único
- ▶ j) metanação
- ▶ k) resfriamento e secagem
- ▶ l) circulador
- ▶ m) recuperação de H₂
- ▶ n) conversor de amônia bomba
- ▶ o) sistema de refrigeração



► Fig 51: ICI LCA - [7]

Legenda processo ICI LCA

- ▶ a) compressor de ar de processo
- ▶ b) aquecedor inicial de ar
- ▶ c) hidrodessulfurização
- ▶ d) saturador
- ▶ e) GHR
- ▶ f) reformador secundário
- ▶ g) conversor WGS
- ▶ h) dessaturador
- ▶ i) Sistema de absorção por variação de pressão
- ▶ j) metanador
- ▶ k) secador de gás
- ▶ l) conversor de amônia
- ▶ m) refrigeração de flash de 2 estágios
- ▶ n) refrigerador
- ▶ o) vaso de coleta
- ▶ p) vaso de flash
- ▶ q) compressor de gás de síntese



► Fig 52: KBR KAAP plus - [7]

Legenda processo KBR KAAP plus

- ▶ a) compressor de ar
- ▶ b) remoção de enxofre
- ▶ c) aquecedor de processo
- ▶ d) reformador autotérmico
- ▶ e) trocador de calor do reformador (KRES)
- ▶ f) stripper do condensado
- ▶ g) absorção de CO₂
- ▶ h) metanador
- ▶ i) stripper de CO₂
- ▶ j) secador
- ▶ k) expansor
- ▶ l) trocador de calor -alimentação/efluente
- ▶ m) condensador
- ▶ n) coluna de retificação
- ▶ o) compressor de gás de síntese
- ▶ p) conversor de amônia KAAP
- ▶ q) compressor de refrigeração
- ▶ r) trocador de calor de refrigeração