



Projeto e construção de reatores de parede espessa (*heavy wall reactors*) de unidade de hidrorrefino.

Nelson **PATRÍCIO** Junior (PETROBRAS/CENPES)
patricio@petrobras.com.br

Reator de hidrorrefino tipo "heavy wall"



Dia.	CET	Esp.	Peso
4900 mm	32500 mm (2 leitos)	284 + 7,5 wo 291,5 mm	1046 ton



Reator do tipo "heavy wall"

Abordagem simplificada sob o ponto de vista de Processo:

- Realiza a reação do H_2 em altas pressão e temperatura com os cortes em presença de catalisador.

Abordagem sob o ponto de vista de Equipamento:

- Equipamentos mais críticos (\$) e operação) da unidade
- Mais pesados e de maior espessura
- Construção: ASME VIII-2 e API RP 934-A
- Material especial → aço-liga de alta resistência mecânica, difícil soldabilidade e sujeito a fragilização
- Material exige procedimento de partida com patamares de P e T
- Corrosão uniforme por H_2S → clad / weld overlay austenítico
- Quantidade de bocais minimizada → evitar vazamentos
- Possui apenas uma BV no próprio bocal de entrada de carga
- Poucos fornecedores (fabricantes, material, consumíveis etc.)

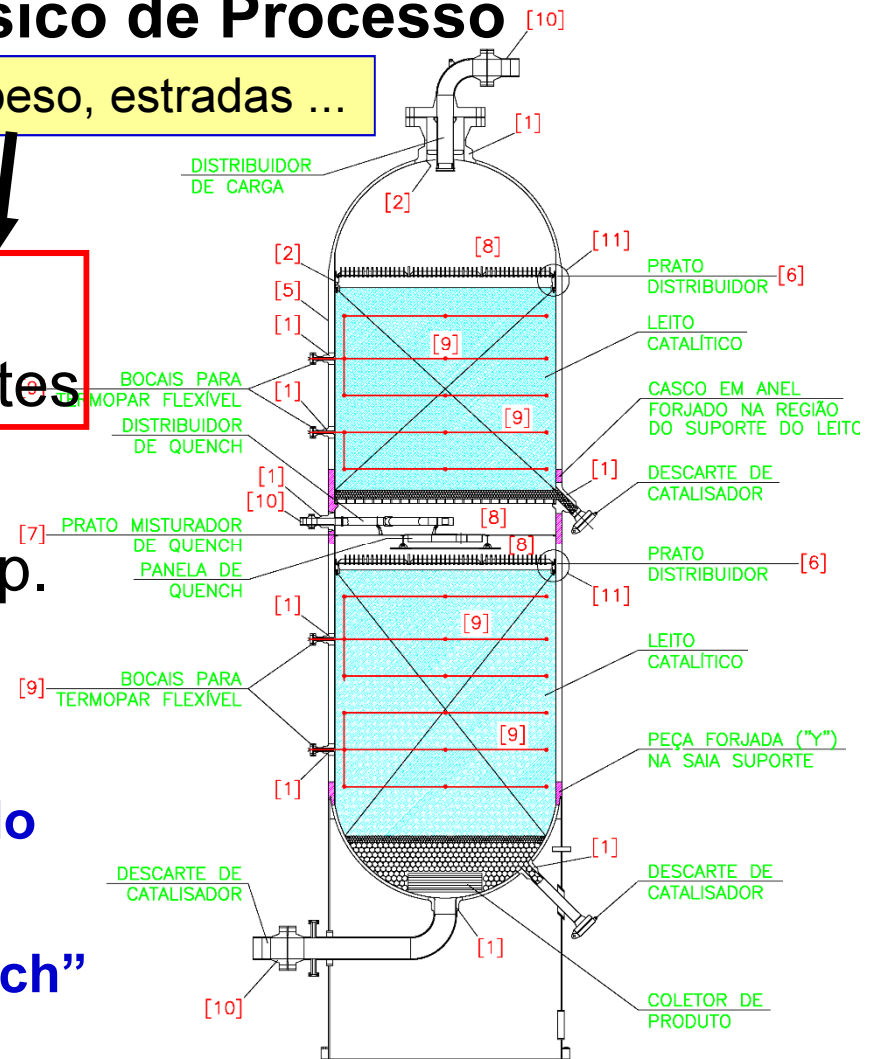
Projeto Básico de Reatores

A- Considerações do Projeto Básico de Processo

- Carga⇒Produzir S10
- Pressão e Temperatura
- Diâmetro
- Comprimento entre tangentes
- Leitos e tipo de catalisador
- Pontos de medição de temp.
- Internos

Internos

- Distribuidor de entrada
- Prato distribuidor de líquido
- Distribuidor de “quench”
- Prato misturador de “quench”
- Coletor de saída



B- Projeto Básico Mecânico (de equipamento)

- ✓ Seleção de materiais
- ✓ Dimensionamento estrutural
- ✓ Detalhes construtivos

B.1- Seleção de materiais (costado, w.o. e internos)

- Por operar em elevadas condições de pressão e temperatura com presença significativa de hidrogênio, os reatores de hidrorrefino exigem a especificação de aços liga de alta resistência mecânica.
- Adicionalmente, para resistir ao ataque corrosivo por composto de enxofre da carga, se faz necessário a especificação de revestimento interno com material mais nobre, na forma de *clad* ou *weld overlay*, que tornam o processo de fabricação dos reatores ainda mais complexo.

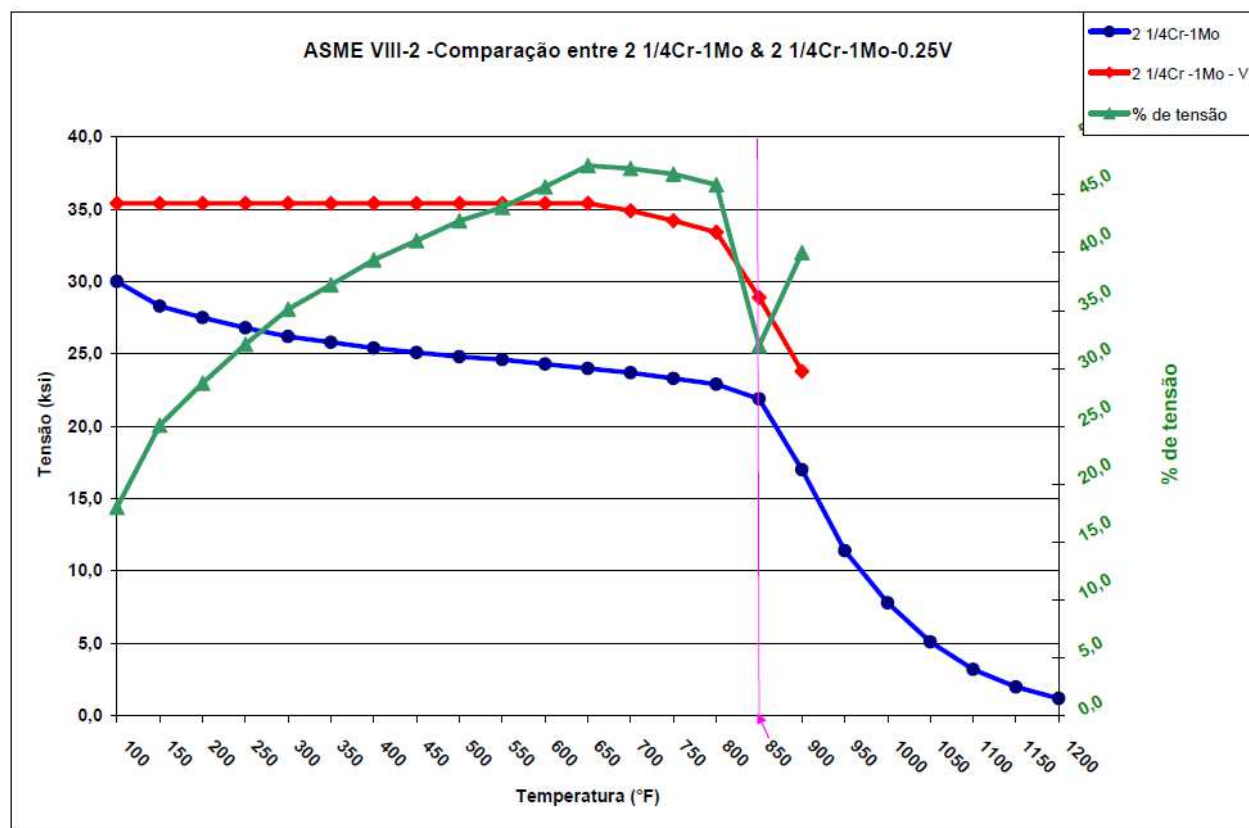
Materiais utilizados para o costado desses reatores

→ Aços liga Cr-Mo(-V): **2 ¼ Cr-1Mo** e **2 ¼ Cr-1Mo-0,25V** → Por que?

- São resistentes ao ataque pelo H₂ em alta temperatura e pressão

→ Curvas de Nelson (API RP 941)

- Apresentam elevada resistência mecânica em temperaturas elevadas.



28.900psi @ 454°C Cr-Mo-V

21.900psi @ 454°C Cr-Mo

ASME VIII-2
Ed.2007/2011

Alguns problemas envolvendo esse aço liga Cr-Mo(-V)

1-Apresentam o mecanismo de deterioração denominado “**Fragilização ao Revenido**” (*temper embrittlement*), que se caracteriza pela **perda de tenacidade** quando aquecido entre 320° e 580°C (343-358) por longos períodos de tempo, durante o qual impurezas como **P, Sn, As e Sb** migram para os contornos de grão reduzindo sua energia de coesão e conseqüentemente com perda de tenacidade.



❗ Fatores J e X, Teste impacto, Step cooling, Curva MPT

2- Perdas de **propriedades mecânicas** devido aos TTATs

As **elevadas espessuras** requerem **tratamentos térmicos mais longos**, que promovem um revenido no aço, que podem **reduzir suas prop mec.**

❗ TTAS simulado em cupões de produção

3- **Trincas de reaquecimento** durante a fabricação

TTAT de fabricação >620°C

Alguns problemas enfrentados por fabricantes:

- 1- Trinca em soldas devido a troca do fluxo do processo de soldagem arco submerso, sem a revisão apropriada dos parâmetros de soldagem ou qualificação de novo EPS/RQPS (WPS/PQR)
- 2- Temperatura incorreta dos TTATs
- 3- Perdas de prop. mecânicas devido a tempo excedente de TTAT
- 4- Insistir em usar o DHT, baseado em sua “experiência”, em soldas que exigem o ISR
- 5- Resfriamento a temp. ambiente antes do ISR, por problemas de logística para levar o componente para o forno mantendo seu pré-aquecimento
- 6- Temperatura de pré-aquecimento incorreta e também sua manutenção

APP. "A" API RP 934-A

AÇOS PARA REATORES

Premissas que norteiam o API RP 934-A e as ETs dos compradores:

1) Garantir as **propriedades mecânicas do aço** não só após **fabricação**, mas também após reparo por solda realizado durante **manutenção futura em campo após operação**.

* Para tal, todas as propriedades mecânicas devem ser avaliadas após os tratamentos térmicos que simulam o envelhecimento em operação.

(Step Cooling Test) e os reparos em manutenção (Tratamento Térmico Simulado).

2) Os **procedimentos de soldagem** devem ser qualificados de modo que as propriedades mecânicas sejam avaliadas da mesma forma que para os metais de base, isto é, devem ser aplicados o Step Cooling e os ciclos de PWHT simulados;

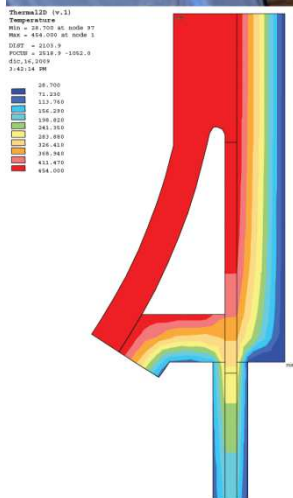
3) Para avaliar as **soldas que estão sendo realizadas** nos reatores, são programados PTCs (Production Test Coupons) para cada tipo de solda existente no reator que esteja submetida à pressão.

* Caso um ensaio do PTC falhe, significa que as soldas que eles representam estão reprovadas.

B- Projeto Básico Mecânico

B.2- Dimensionamento Estrutural → ASME VIII-2

U2



- Espessuras do casco e dos tampos

Ferramentas de cálculos usadas: Mathcad e ANSYS

$$t = \frac{D}{2} \left(\exp \left[\frac{0.5P}{SE} \right] - 1 \right)$$

$$t = \frac{D}{2} \left(\exp \left[\frac{P}{SE} \right] - 1 \right)$$

$$t_{c.min} := r_{ic.ef} \left(\exp \left(\frac{P}{S_q E} \right) - 1 \right) + c_a$$

- Especificação dos detalhes construtivos permitidos dos bocais

- Classe de pressão dos flanges e tipo de junta

- Dimensionamento de flanges

- PMA e PT

- Determinação dos pesos e cargas sobre a base

- Espessura da saia e sua ancoragem

B- Projeto Básico Mecânico

B.3- Detalhes construtivos exigidos

**Detalhes
do projeto
básico**

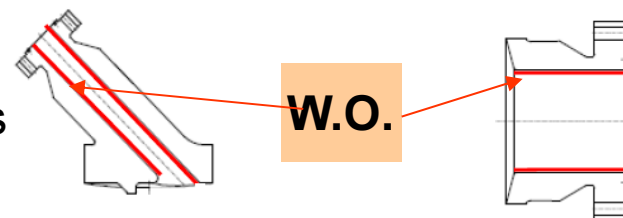
- Bocais auto reforçados do tipo facilmente radiografáveis
- Casco forjado na região do suporte de leito
- Peça “Y” forjada na região da ligação casco-tampo-saia
- Detalhe da fixação dos anéis de suporte dos pratos (distr. e mistur) no costado
- Posicionamento dos bocais de descarte de catalisador
- Posicionamento dos termopares e skin-points
- Regiões de concentração de tensões sujeitas a trinca no w.o. durante TTAT
- Tipo de suporte de isolamento térmico
- Especificação dos bocais com flange companheiro e spool
- Distribuidor de entrada e coletor de saída
- Revestimento da face dos flanges
- Facilidade de acesso através dos internos

FABRICAÇÃO

C- Detalhes das Principais Etapas da Fabricação

C.1- Planejamento da fabricação

- Sequencia de preparação dos componentes
 - ☑ Aplicação de w.o.
- Sequencia de soldagem das juntas entre componentes
 - ☑ Pré-aquecimento e interpasse
 - ☑ Planejamento dos tratamentos térmicos de fabricação (DHT e ISR)
 - Definição, logística, tempos etc. ← API RP 934-A



C.2- Elaboração das MCs (inclusive dos olhais de içamento)

(Fator de carga dinâmica)=1,5 x Peso do reator e Sadm do ASME

C.3- Preparação dos procedimentos de soldagem

**PQR &
WPS**

FABRICAÇÃO

C- Detalhes das Principais Etapas da Fabricação

C.4- RM para compra de material qualificado:

- Chapas ou anéis forjados do casco extremidade preparada
- Chapas dos tampos
- Peças forjadas do casco (suporte de leitos e “Y” da saia)
- Consumíveis de soldagem
- Bocais auto-reforçados, flanges e tubos
- Chapas da saia
- Internos licenciados
- Internos não-licenciados
- Etc. (telas, juntas, estojos,...)

C.5- Definição das regiões de Testes de Produção

C.6- ENDs (V, PM, ToFD/Phase array, antes do PWHT e após TH)

C.7- Tratam. térmico final (PWHT)

C.8- Teste hidrostático (48h PWHT, $Cl^- < 30\text{ppm}$, T_{H_2O} , T_{parede})

C.9- Logística de envio (limpeza, embalagem e embarque)

(decapagem e apassivamento do w.o.; lubrif. de juntas/sede/estojos; pintura marítima; pressurização N₂; navio)

Testes
de
Produção

Fabricação e fornecedores em 2 ¼ Cr-1Mo-0,25V

Fabricantes:

- JSW (Japão)
 - Kobe Steel (Japão)
 - Hitachi (Japão)
 - ATB (Itália)
 - Belleli (Itália)
 - Nuova Piogone (Itália)
 - Walter Tosto (Itália)
 - Larsen (Índia)
 - Doosan (Coreia)
 - Felguera (Espanha)
 - Confab (Brasil)
- + experientes

Principais problemas:

- Tenacidade da solda
- Trincas de reaquecimento

Chapas:

- Dillinger Hutte (Alemanha)
- ArcelorMittal (Industeel) (França)
- VoestAlpine (Áustria)
- Nippon Steel (Japão)
- JFE Steel (Japão)

Forjados:

- Forgiatura Vienna (Itália)
- Bruck (alemanhã)
- Industeel (ex-Cresout-Loire) (França)
- Sumitomo (Japão)

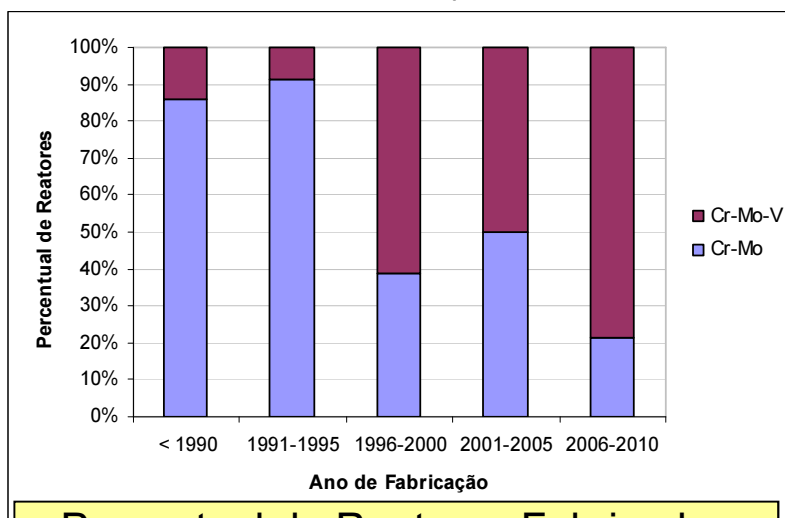
Consumíveis:

- Böhler Welding (VoestAlpine) (Áustria)
- Air Liquide Welding (França)
- Kobe Steel (Japão)

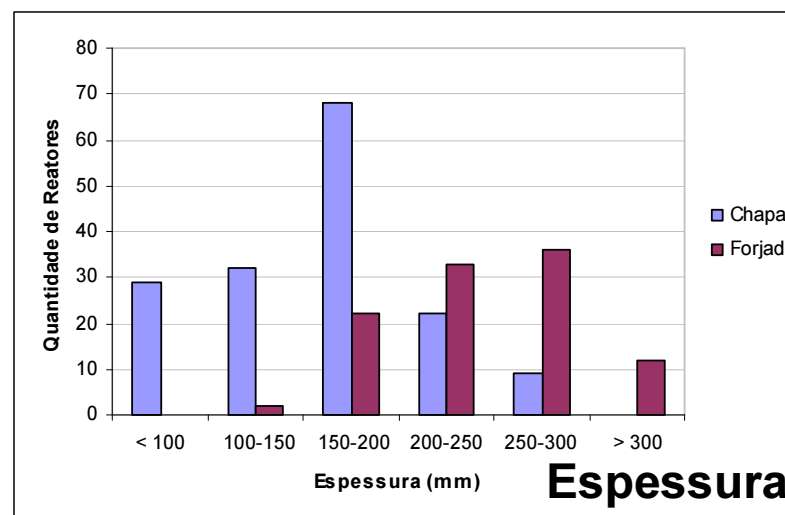
Construção de Reatores: Estatística

Visão Geral dos Reatores de Parede Espessa Fabricados no Mundo

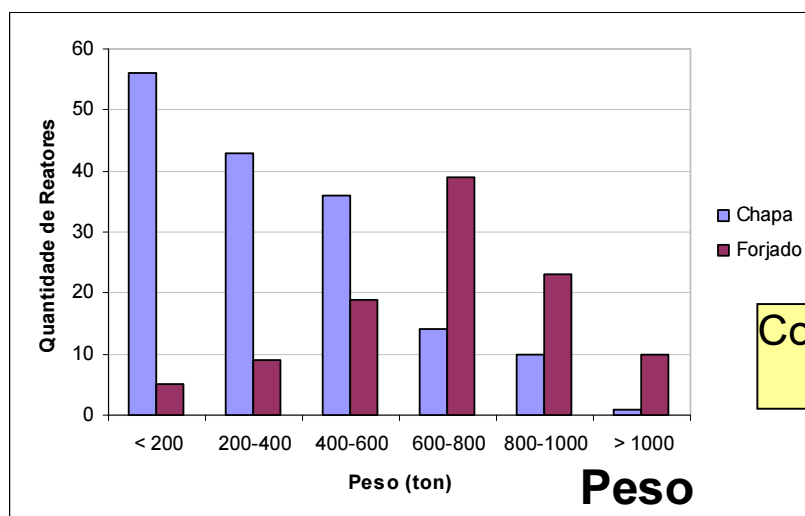
(Fonte: Belleli, ATB e Walter Tosto – 265 reatores)



Percentual de Reatores Fabricados
2¼Cr-1Mo-0,25V x 2¼Cr-1Mo



Comparação Chapa x Forjado em
função da Espessura
(2¼Cr-1Mo-0,25V e 2¼Cr-1Mo)



Comparação Chapa x Forjado em função do
Peso (2¼Cr-1Mo-0,25V e 2¼Cr-1Mo)

Preparação para embarque



**Depois de todo
esse trabalhão ...,**

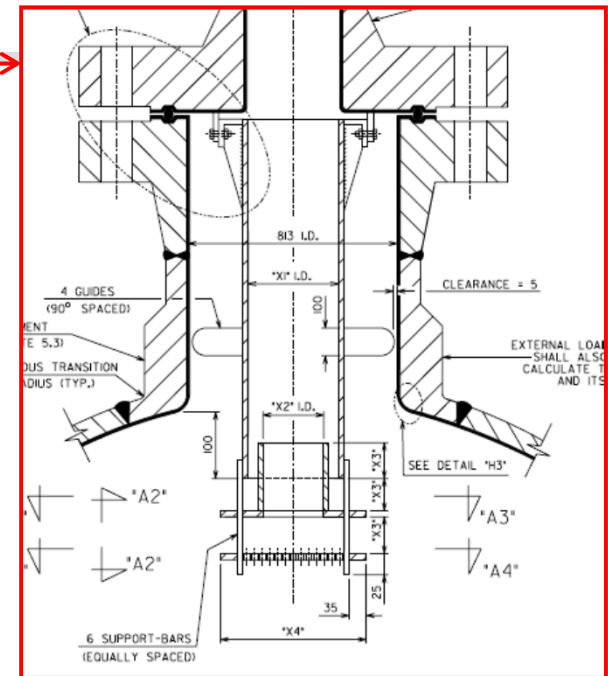
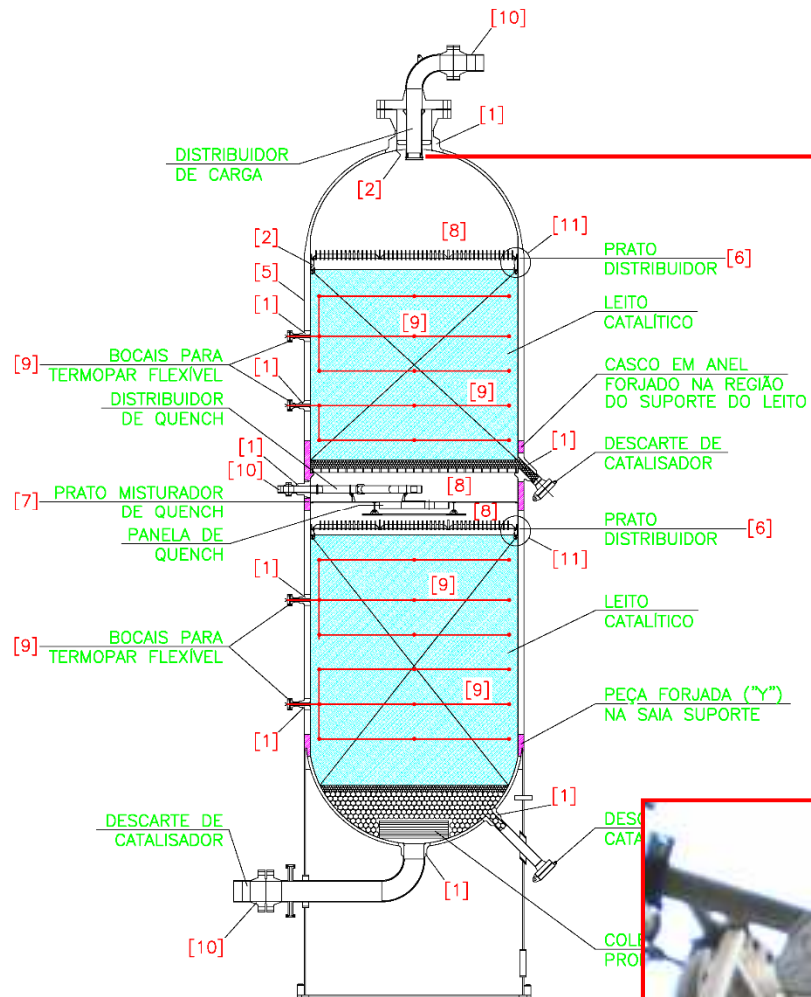
**... MUITO
CUIDADO!!!!**

Fim!

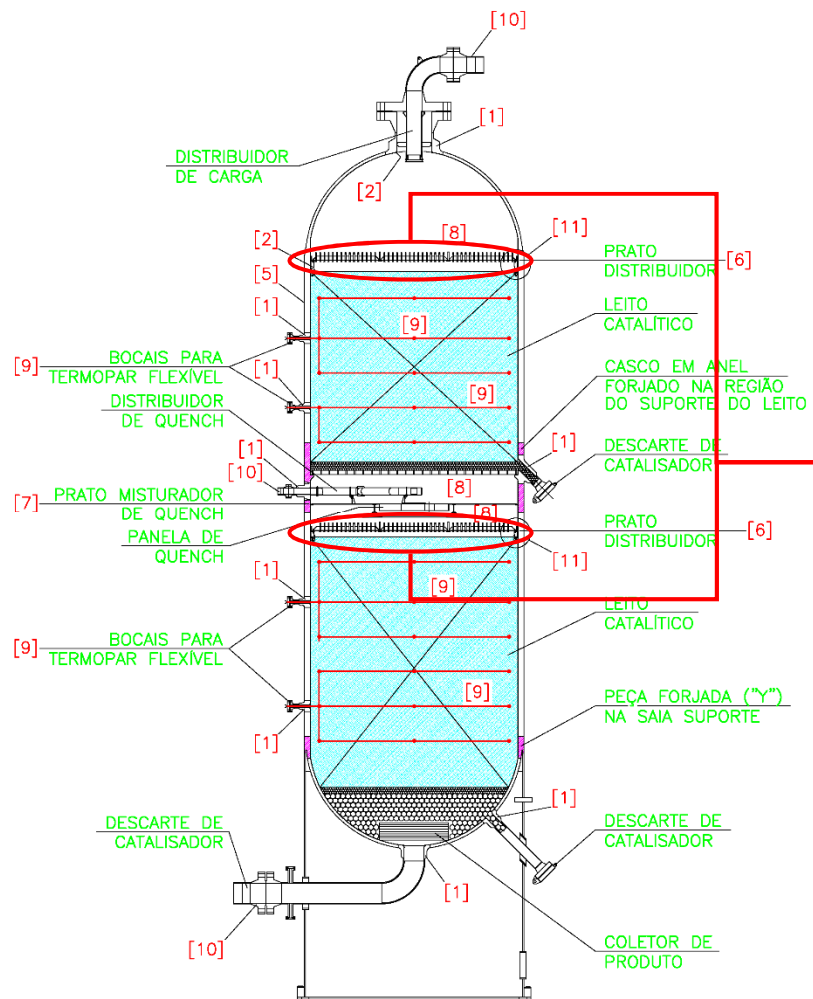
**Obs: Não é da
PETROBRÁS**



Distribuidor de entrada



Internos

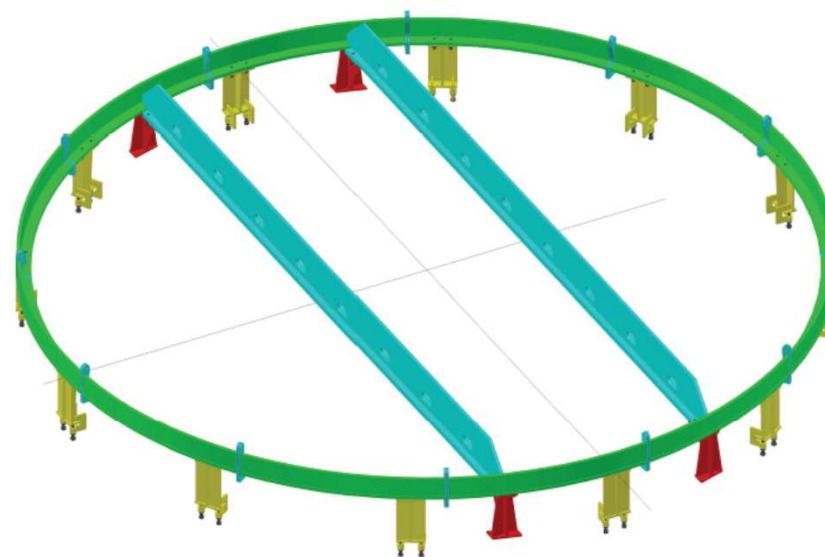


Prato distribuidor de líquido (Petrobras)



Internos

Revamp

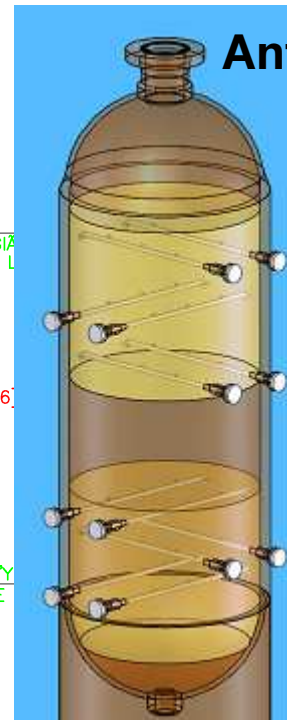
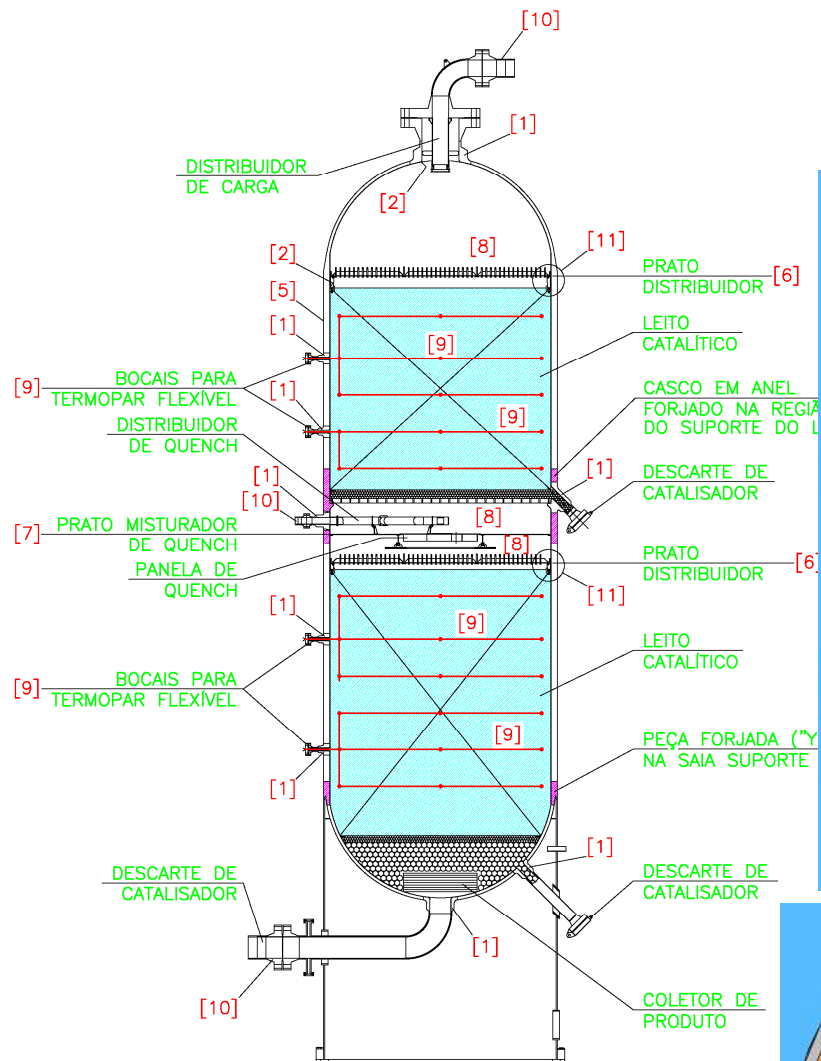


**Configuração para possibilitar
“revampear” os reatores
existentes para aumentar o
inventário de catalisador**

Internos

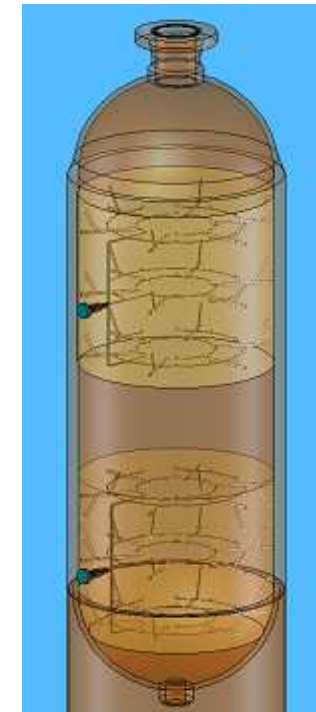
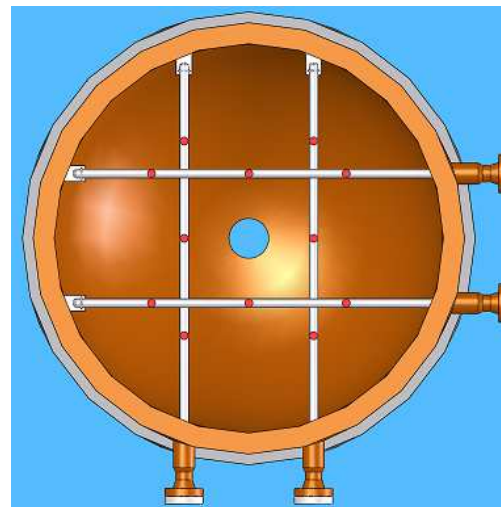
Termopares

Internos



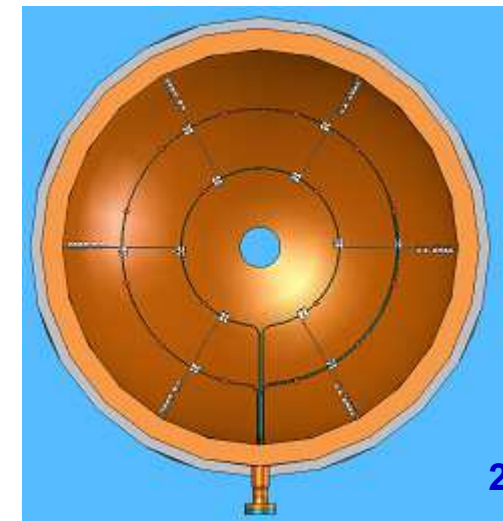
Antigos

Termopares com poço

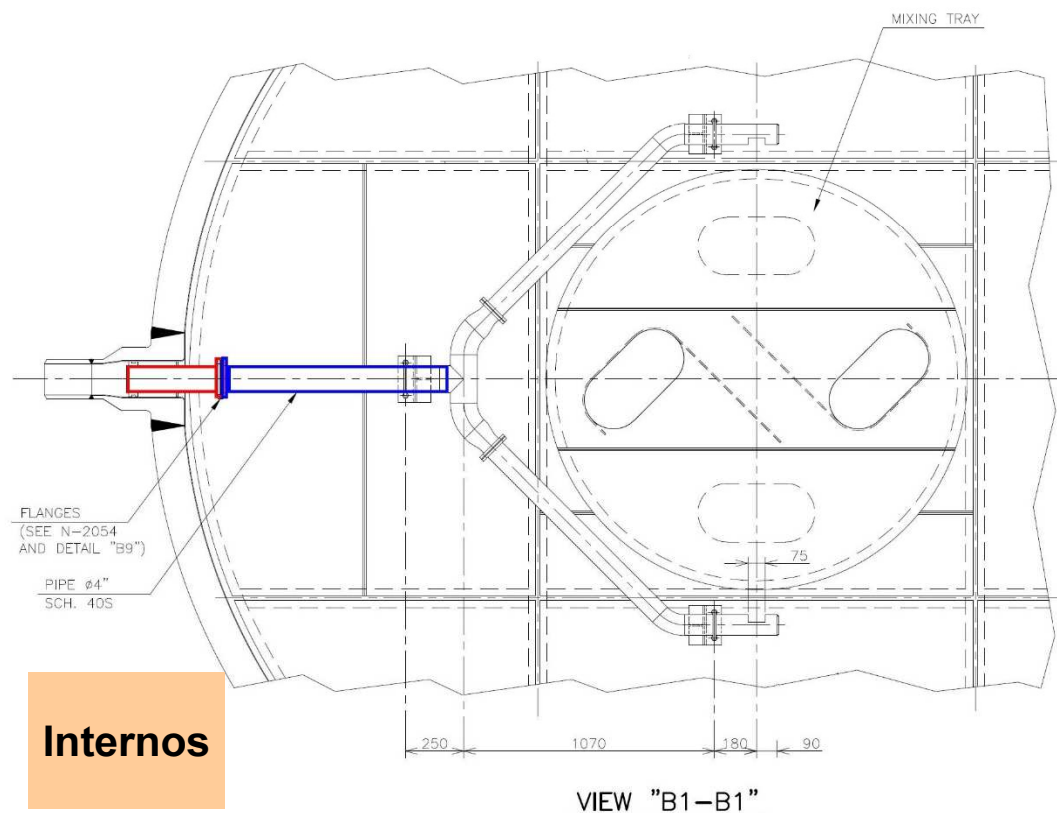
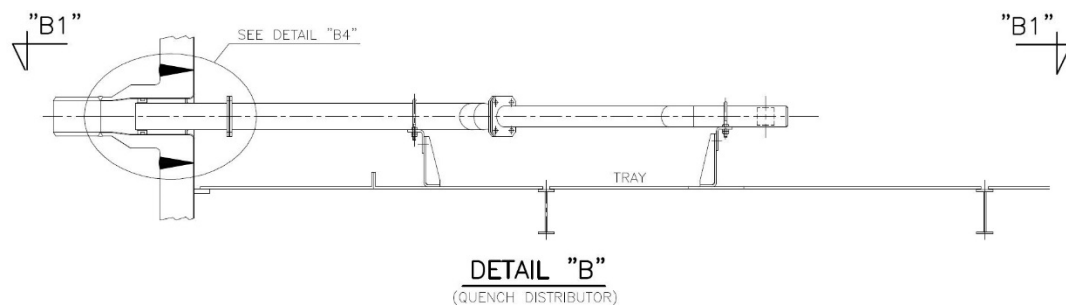


Novos

Termopares flexíveis



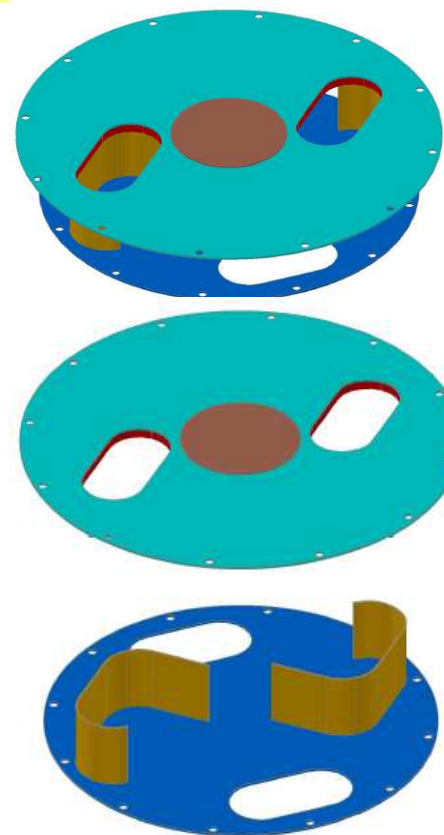
Distribuidor e pratos misturador de quench



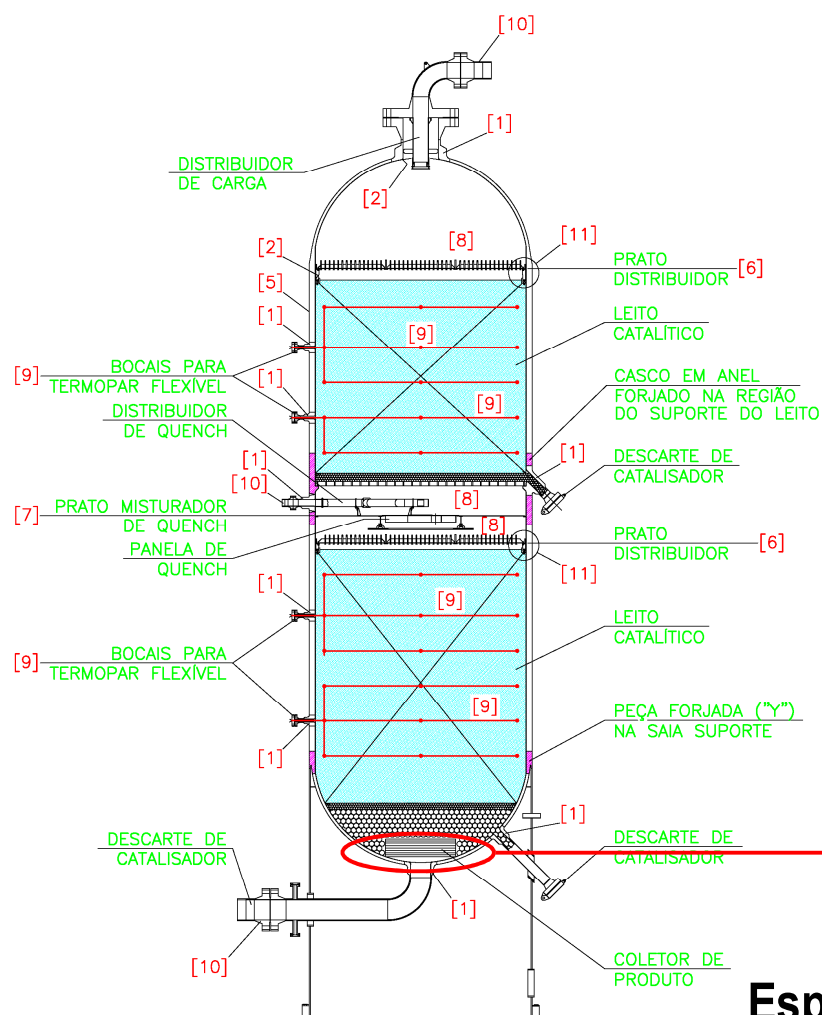
Internos

Dispositivo flangeado internamente para eliminar uma par de flanges externos.

Configuração em "Y" para evitar desmontagens internas.



Coletor de saída

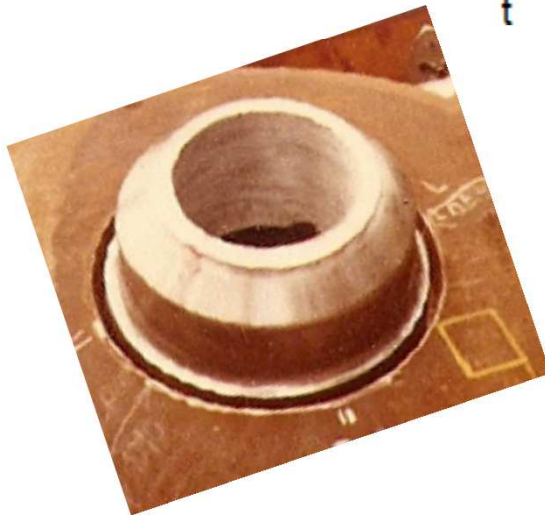
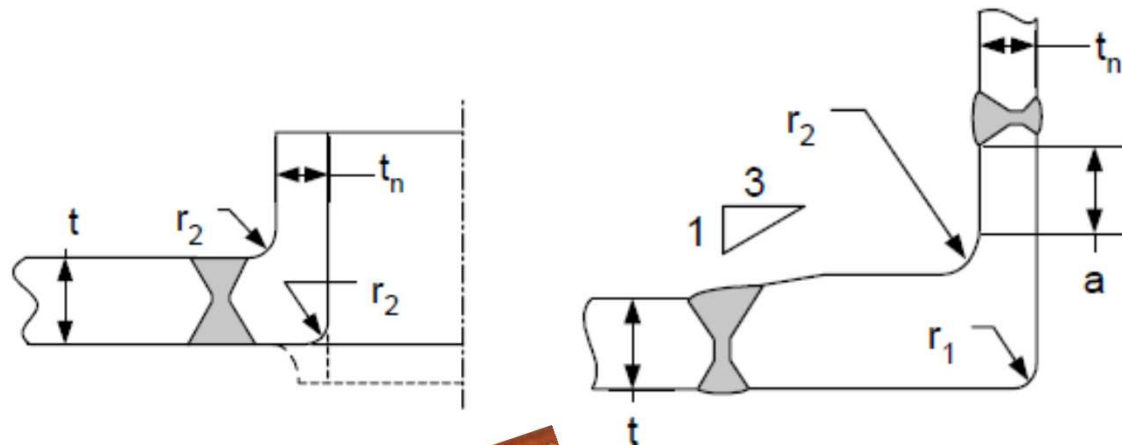


Internos



Especificação de coletor mais robusto visando suportar aumento de ΔP em final de campanha.

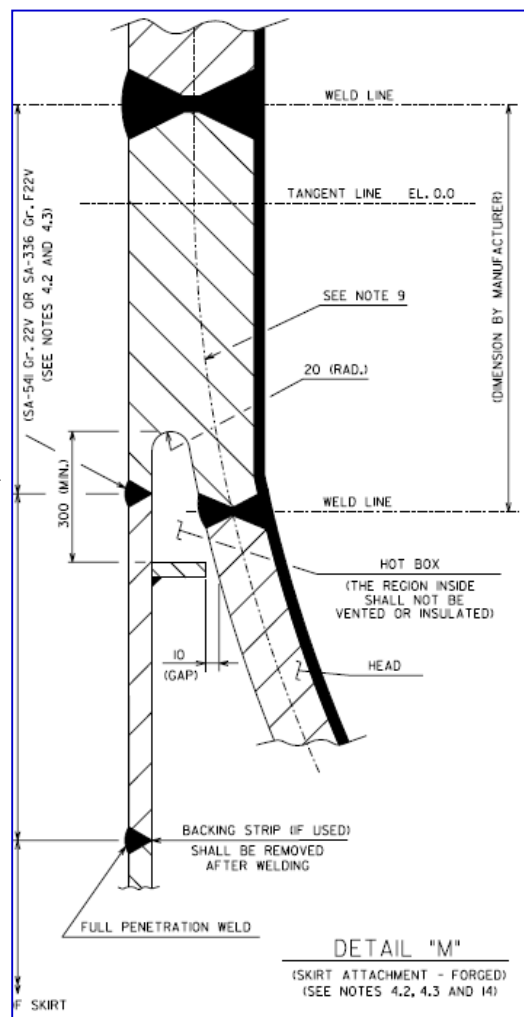
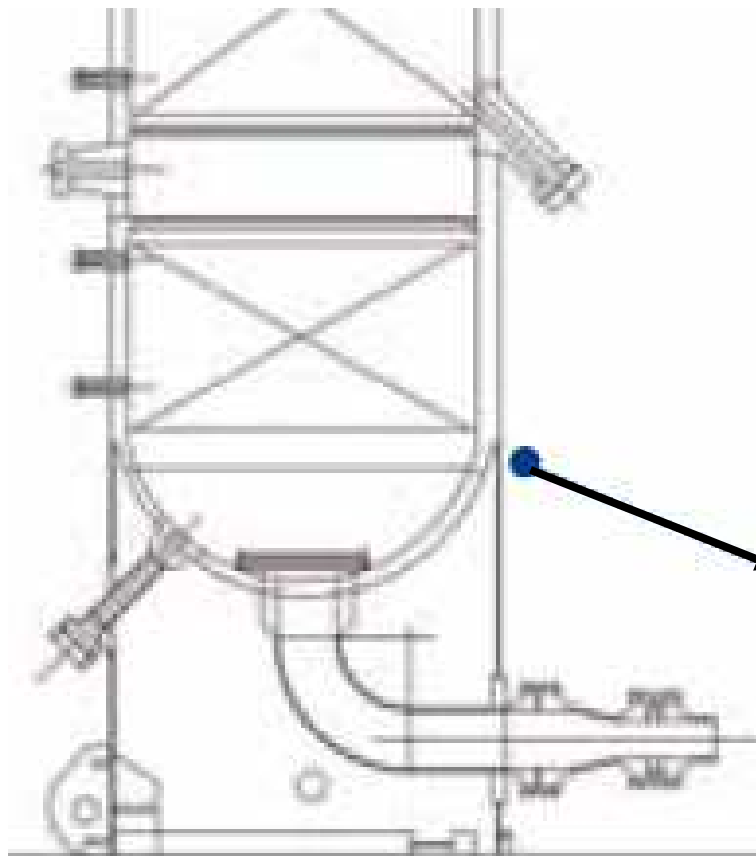
Especificação dos detalhes construtivos permitidos dos bocais



Detalhes
 do projeto
 básico

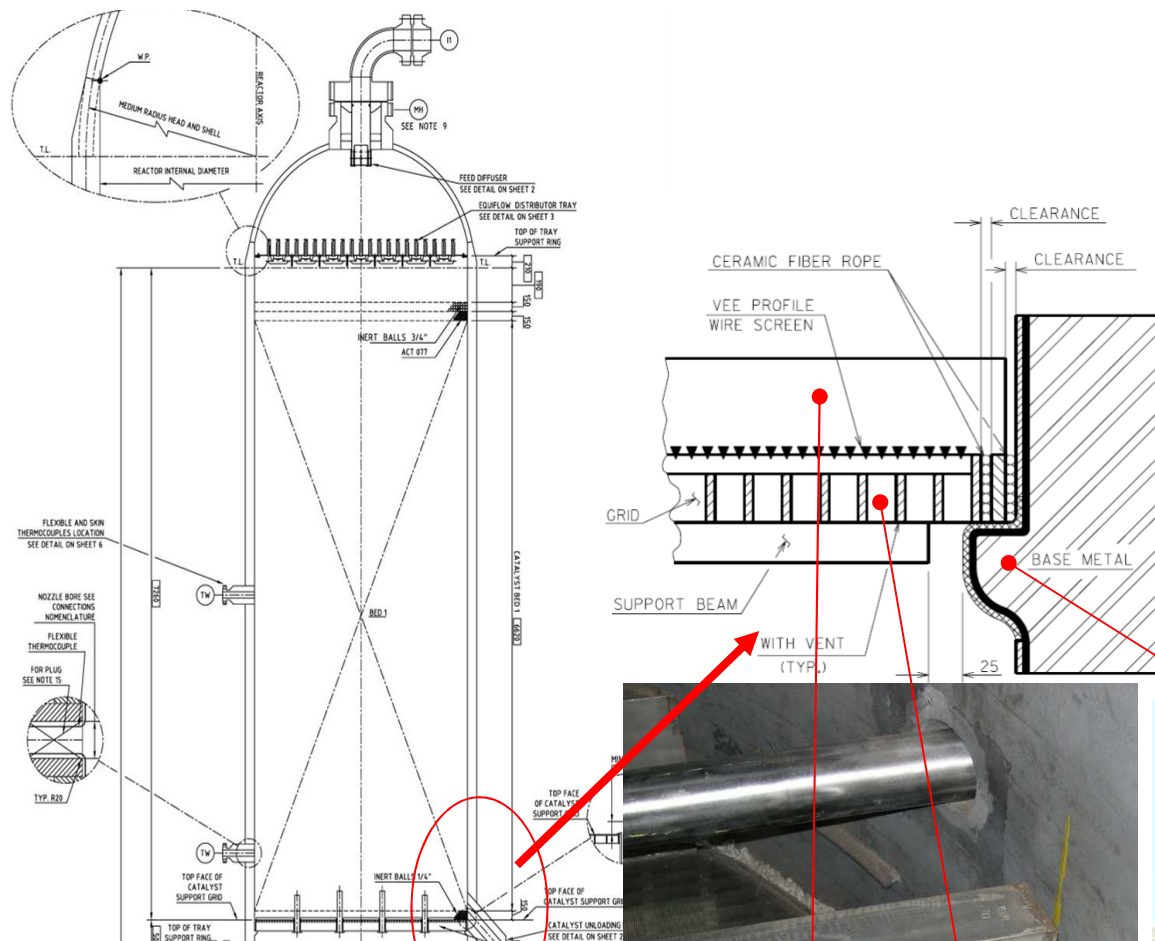


Peça forjada em Y para a ligação tampo-saia-casco

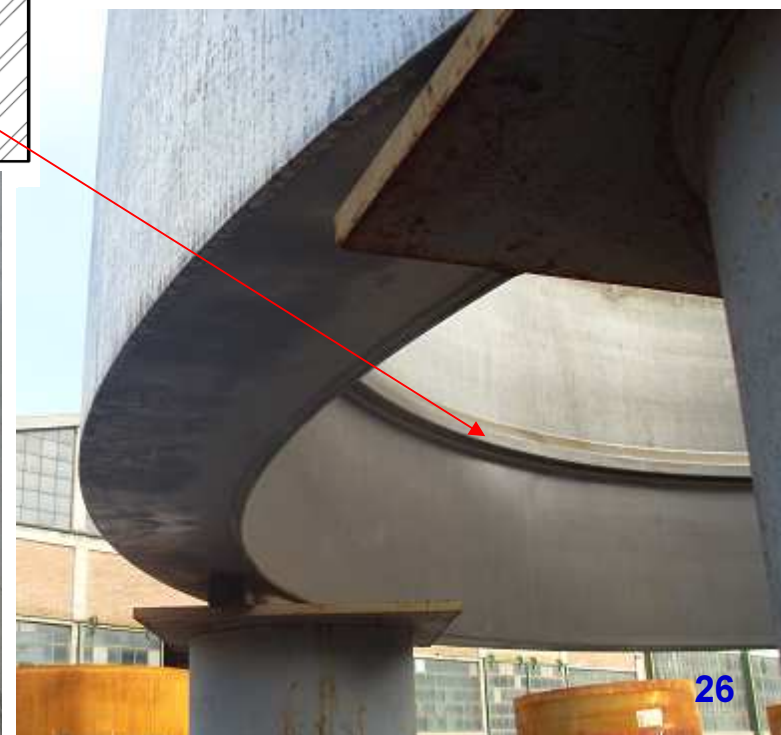


Detalhes
 do projeto
 básico

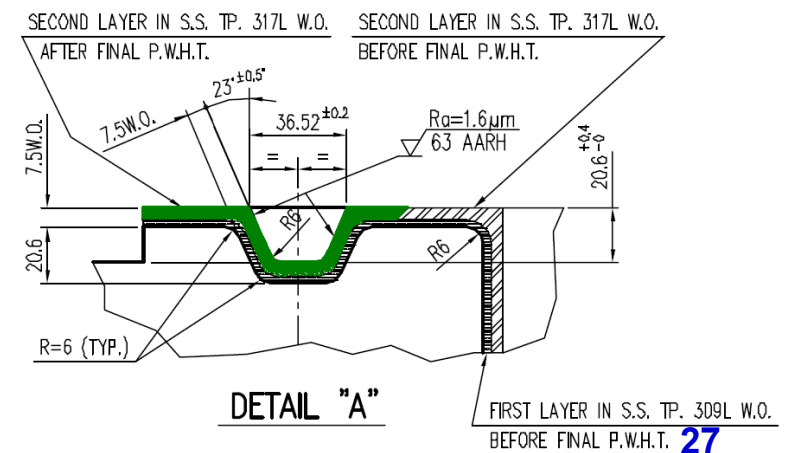
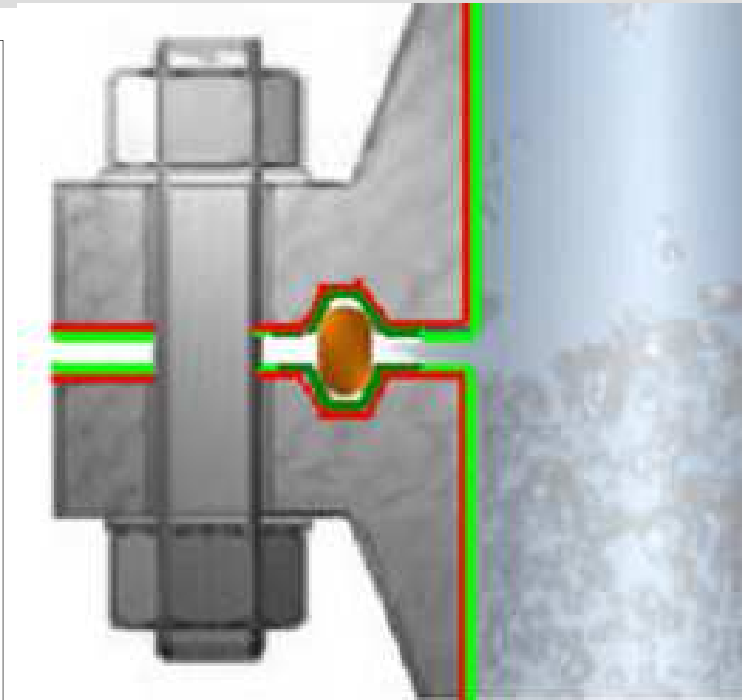
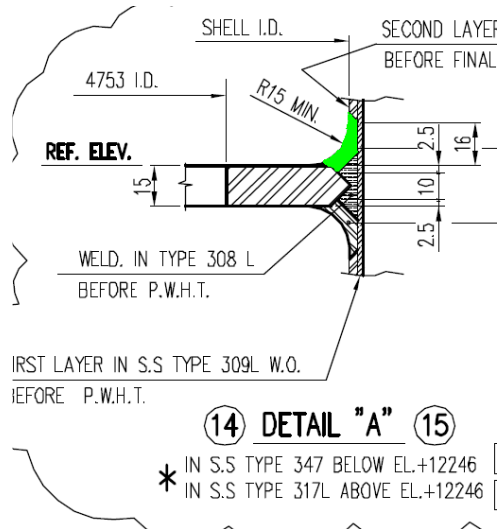
Ligação casco-tampo, Peça "T" forjada para suporte do leito e Flange companheiro



**Detalhes
do projeto
básico**



Regiões com concentração de tensão



Detalhes
 do projeto
 básico



CTVP

comitê de tubulações e vasos de pressão



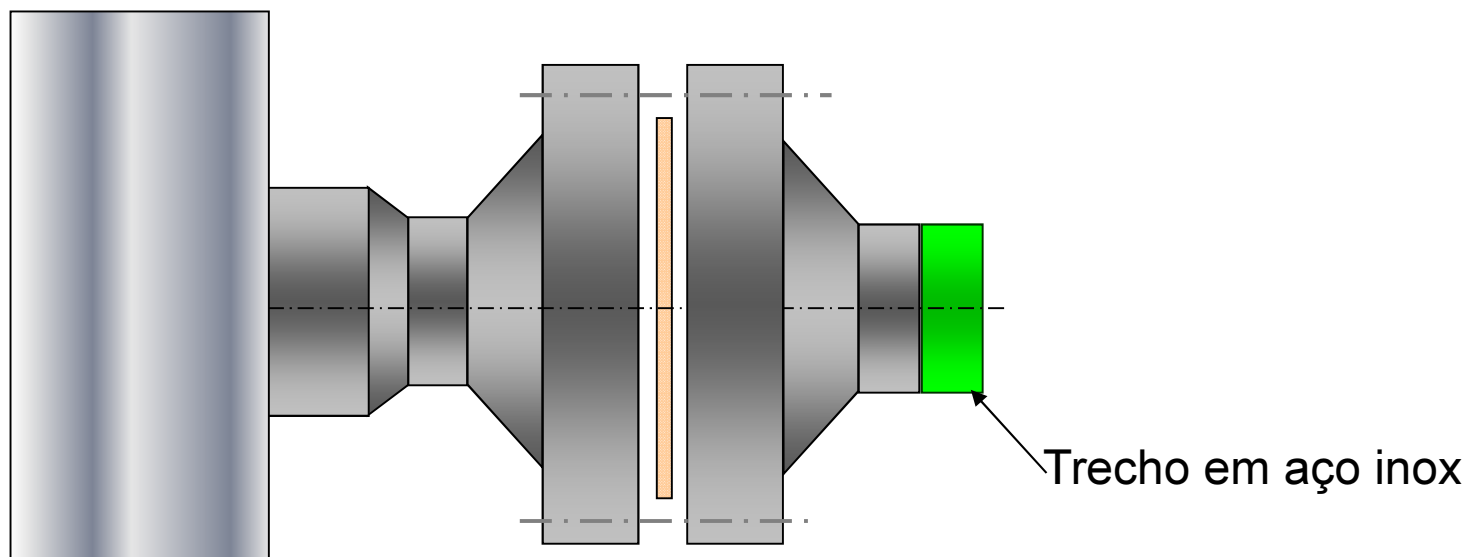
Suporte de isolamento do tipo gaiola (cage type)



Detalhes
do projeto
básico

Flange companheiro

Para evitar dilatação térmica radial entre os flanges:
Reator (aço-liga) e da tubulação (SS347)



Detalhes
do projeto
básico

Blocos de corrosão



Instalação de 3 blocos no tampo inferior com a mesma espessura do casco e com w.o para avaliação futura.

**Detalhes
do projeto
básico**

