



São Manoel

USINA SÃO MANOEL S/A

➤ **LOCALIZAÇÃO: REGIÃO CENTRAL DO ESTADO DE SÃO PAULO**

➤ **USINA ASSOCIADA AO SISTEMA COPERSUCAR**

➤ **CAPACIDADE INSTALADA DE PROCESSAMENTO SAFRA :**

- **MOAGEM - 3.500.000 TON CANA**
- **AÇUCAR CRISTAL BRANCO - 4.500.000 SCS 50 KG**
- **ETANOL ANP E TIPO EXPORTAÇÃO TOTAL - 142.000 M³**
- **LEVEDURA SECA – 2.000 TON**





São Manoel

SIDPEM - 3^a GERAÇÃO





DADOS DE PROJETO

- **3ª Geração SIDPEM**
- ***Produção 500 m³/dia Nominal***
- ***Etanol Anidro 99,5 / 99,8 INPM***
- ***3 Colunas Cilíndricas / Ø = 2500 mm H = 7200 mm***
- ***25 toneladas zeólitas / vasos***
- ***5 toneladas material inerte / vasos***
- ***Porosidade Vaso: 43 % Volume Vazio Gás (ETOH) 93% INPM***





ESTRUTURA E COMPOSIÇÃO PENEIRA MOLECULAR

➤ ZEÓLITO



Zeólito: do grego zein (que ferve) + litos (pedra).

São minerais naturais formados há milhões de anos, e surgiram pela alteração de cinzas vulcânicas em meios aquosos.

Os zeólitos naturais foram descobertos por um mineralogista sueco chamado Freiherr Axel Cronstedt em 1756.

Até 2008 já eram conhecidos mais de 40 zeólitos naturais e mais de 170 zeólitos artificiais.



ESTRUTURA E COMPOSIÇÃO PENEIRA MOLECULAR

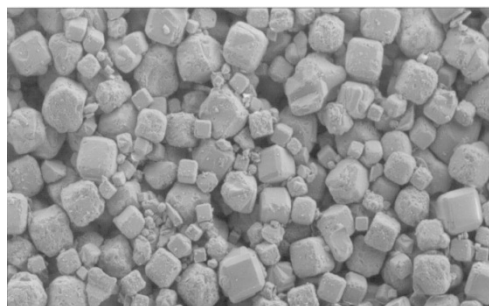
ZEÓLITO ARTIFICIAL – Peneira Molecular

Adsorvente comercial sintético de estrutura cristalina **similar ao zeólito natural** e com aparência de uma **argila porosa**. Formado por cristais com cavidades uniformes interconectadas por estreitas aberturas também uniformes chamadas poros.

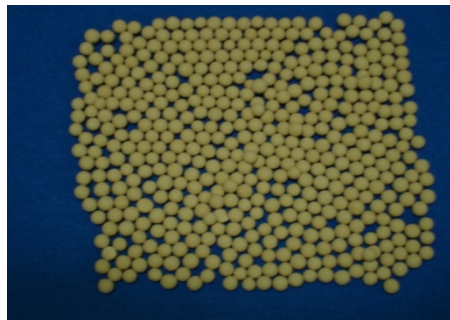
Primeira Peneira Molecular (ou Zeólito Sintético) foi sintetizada em laboratório em 1932 por McBain.

As primeiras utilizações de Peneiras Moleculares foram para **secagem de ar** para câmaras frias.

NATURAL



SINTÉTICO





ESTRUTURA E COMPOSIÇÃO PENEIRA MOLECULAR

ZEÓLITO ARTIFICIAL – Peneira Molecular

Tetraedros compostos de:

Quatro átomos de Oxigênio rodeados cada um por dois átomos de Sílica ou Alumínio, mais **cátions de Potássio, Sódio ou Cálcio**.

Para desidratação de álcool é utilizado o tipo potasso-alumino-silicato.

O **cátion de potássio** confere o poro de 3Å ideal para essa seleção.

Molécula da água tem 2,8 Å de diâmetro.
Molécula de etanol tem 4,4 Å de diâmetro.

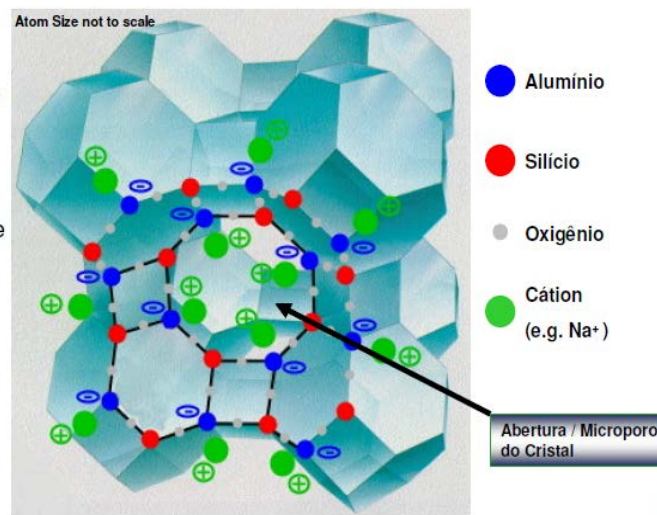
1 Ångstron é igual a 0,000.000.000.1 metro.

Estrutura:

- Si e Al coordenados tetraedricamente através de ligações com O
- Rígida, cristalina, porosa e eletricamente carregada

Cátions:

- Contra-balançam a estrutura de cargas
- Podem ser trocados



Principal Razão para a Secagem de EtOH: Zeólito tipo A



ESTRUTURA E COMPOSIÇÃO PENEIRAS MOLECULARES

➤ Estrutura e Composição de Peneiras Moleculares

- ✓ Presença de Alumina:
 - Estrutura carregada negativamente
 - Cátions positivos (Sódio inicialmente)
 - Forte campo eletrostático na superfície interna

- ✓ Troca dos cátions de Sódio:
 - Potássio ou Cálcio
 - Proporciona uma fina sintonia do tamanho dos poros e das características para adsorção
 - Exemplo: Zeólito A (Na) $\rightarrow$ 4 Å
Zeólito A (K) $\rightarrow$ 3 Å
Zeólito A (Ca) $\rightarrow$ 5 Å



São Manoel

ESTRUTURA E COMPOSIÇÃO PENEIRA MOLECULAR

Existem 3 tamanhos de Zeólitas 3A

mesh	mm
4 à 8	-> 2,5 – 4,5
8 à 12	-> 1,2 – 2,5
12 à 16	-> 1,2

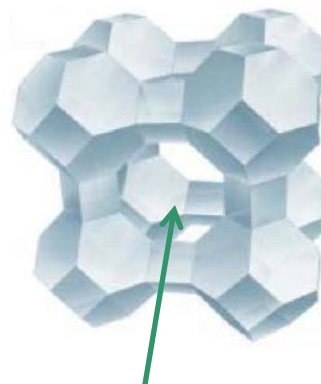
Quanto menor diâmetro das zeólitas
maior nº zeólitas, maior perda carga .
Necessidade de aumentar pressão vapor
alcoólico.

Usina São Manoel

Diâmetro Zeólita 2,5 - 4,5 mm

✓ Aluminosilicato cristalino, altamente poroso, com poros idênticos de diâmetros precisamente definidos

Zeólito A



Zeólito X



potasso-alumino-silicato.



CONHECENDO A PENEIRA MOLECULAR

Adsorção

Transferência de um constituinte(MOLÉCULA) de um fluido gasoso ou líquido para a superfície de uma fase sólida

Adsorvente

Sólido que mantém o soluto na sua superfície pela ação de forças físicas (diferenças das dimensões moleculares, polaridades ou da saturação de ligações carbônicas)



CONHECENDO A PENEIRA MOLECULAR

Principais Adsorventes :

Carvão

Silica Gel

Alumina Ativada

Peneira Molecular Capacidade Adsorvitiva (21 Kg H₂O/ 100 Kg PM)

Principais Aplicações :

Separação de Parafinas da corrente de Hidrocarbonetos - Refinarias

Produção de água ultrapura

Adsorção de vapores Orgânicos

Recuperação de Antibióticos de mostos fermentados

Desidratação de Biocombustíveis



CONHECENDO A PENEIRA MOLECULAR

Fenômenos e condições de Adsorção

Forças Coesão - Retém 1 L H₂O / 3,5 L Adsorvente

Condensação Capilar

Atração Eletrostática (Polaridade)

Temperatura ideal - Pouco acima da condensação

Pressão do Vapor ideal - 2,5 á 3,5 bar

Calor de adsorção - 17500 Kcal / kg H₂O Adsorvida - ΔT 16 ° C

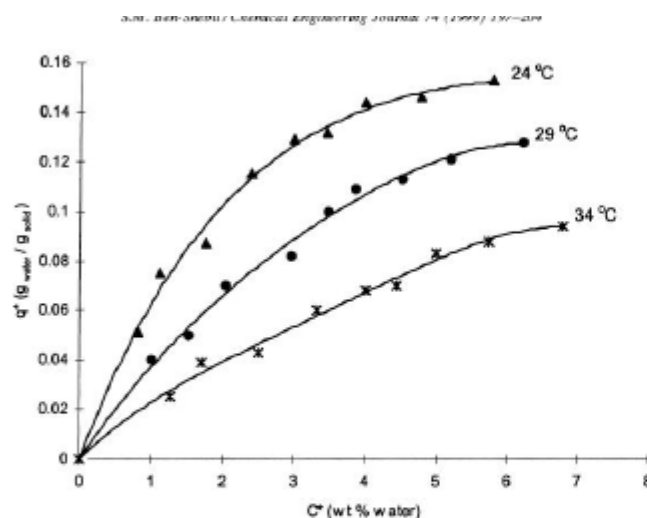
Equilíbrio de Adsorção



CONHECENDO A PENEIRA MOLECULAR

DADOS DE EQUILIBRIO DE ADSORÇÃO

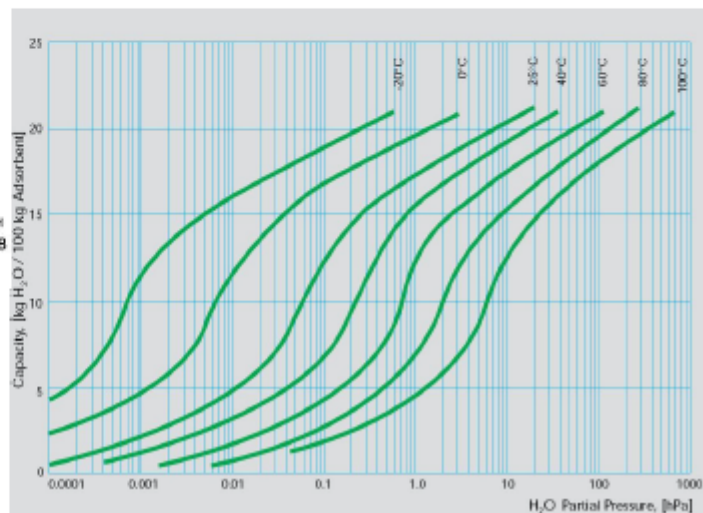
✓ Isotermas para Capacidades de Adsorção de Água da Peneira



Adsorção em fase líquida

Adsorção em fase Gasosa

Secagem Etanol



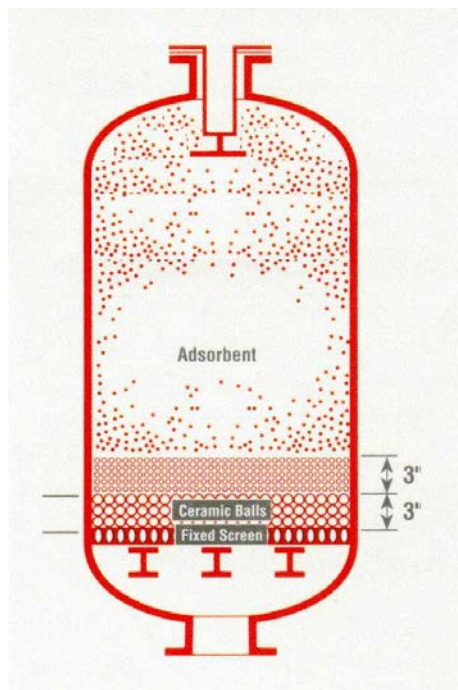
A temperatura constante , quanto maior a pressão parcial maior capacidade Adsorativa.



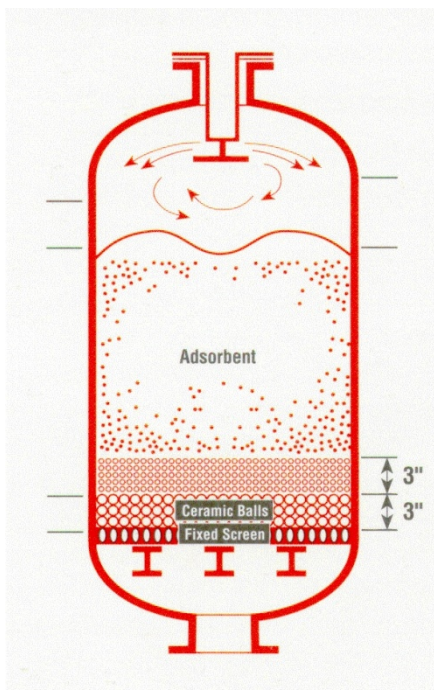
CONHECENDO A PENEIRA MOLECULAR

Leito de Adsorção

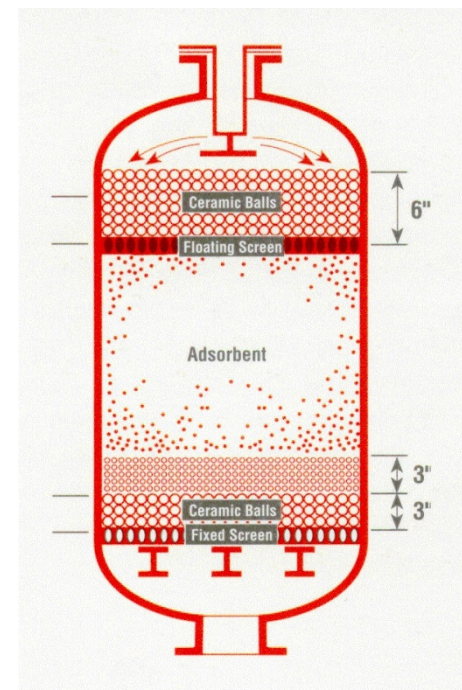
Coluna com leito imóvel, contendo somente resina.



Coluna com leito móvel apresentando "efeito duna".



Coluna com leito imóvel, fixo por tela flutuante e bolas de cerâmica.



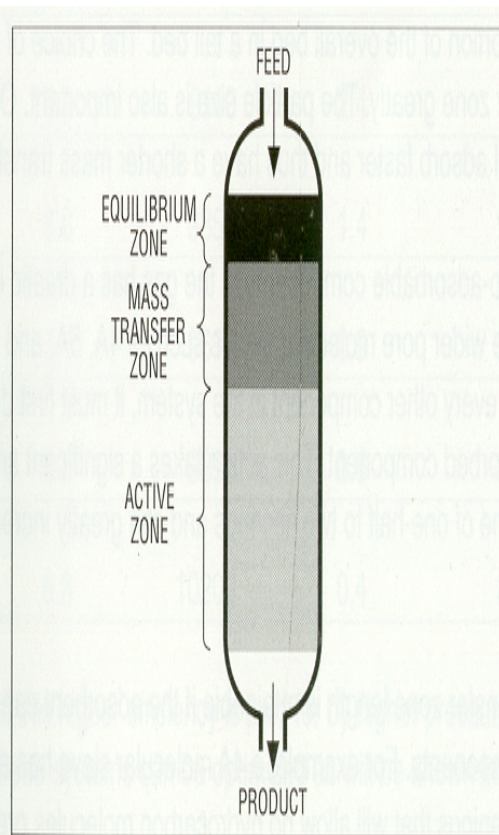


CONHECENDO A PENEIRA MOLECULAR

Dinâmica de Adsorção

Durante o processo de adsorção, o leito de resina se divide em três camadas.

- Zona de Equilíbrio
- Zona de Transferência de Massa
- Zona Ativa



Fluxo descendente: Causa compactação do leito, imobilizando a peneira molecular evitando a Fluidização .



CONHECENDO A PENEIRA MOLECULAR

Desadsorção (despressurização)

Tipos:

- Deslocamento (Zeólita Saturada)
- variação de temperatura
- variação de pressão

O Etanol é desidratado pelo processo de variação de pressão com vácuo mínimo de 26"Hg (-0,9 Kgf/cm²).



PRINCÍPIOS DE FUNCIONAMENTO

Esquema do Balanço de Massa

Etapas de Processo

Fluxograma Esquemático

Ciclo Operacional

Definição de termos

Esquema dos Vasos



PRINCÍPIOS DE FUNCIONAMENTO

BALANÇO MASSA: Global e Componentes (ETHO e H₂O)

Etanol Hidratado 31 m³/h

93 – 94% INPM



25 m³/h Etanol Anidro

99,4 – 99,7% INPM



- ***Ciclo 900 Segundos***
- ***4 bateladas/h***
- ***600 m³/dia***



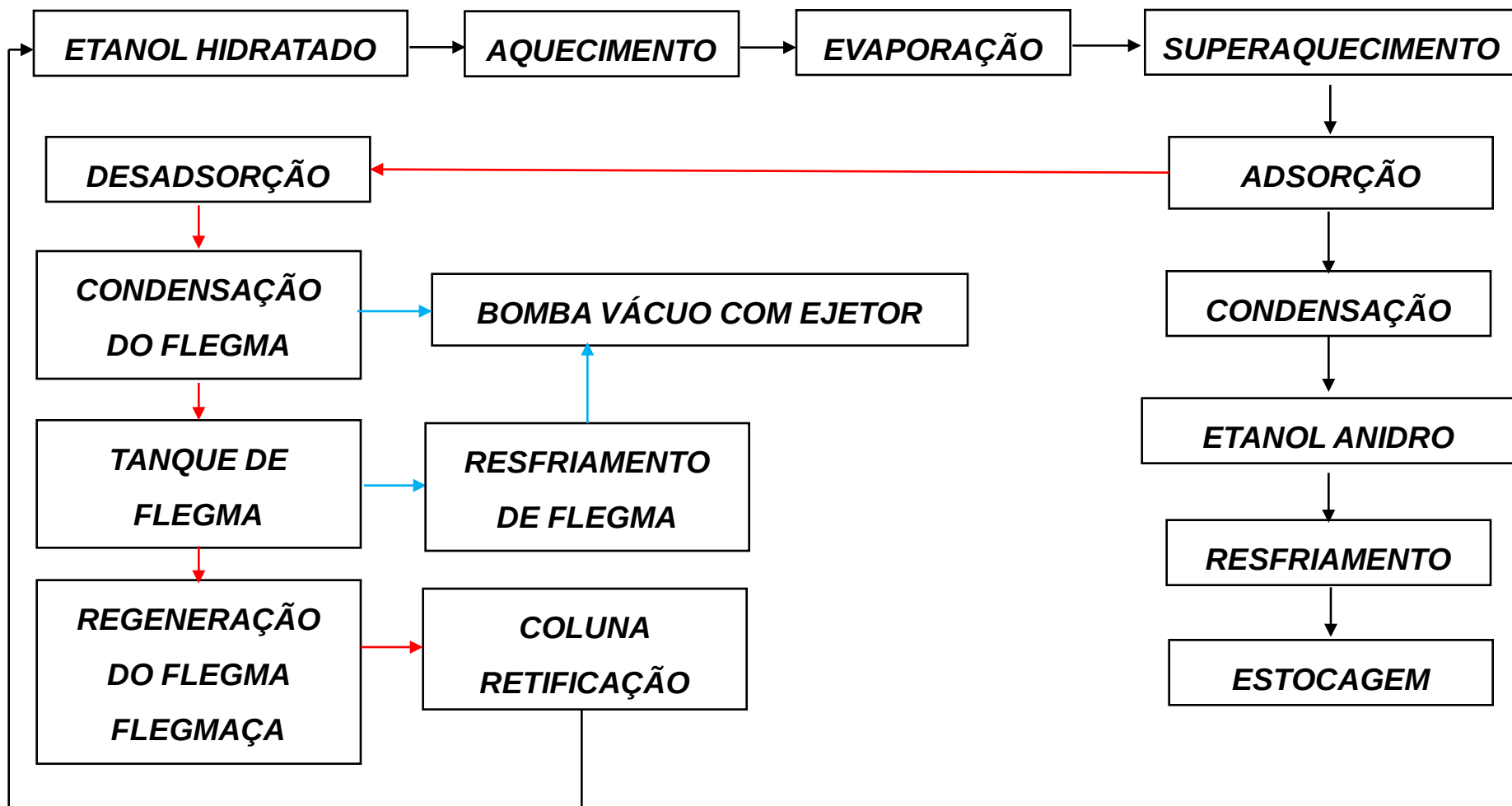
Flegma 6 m³/h

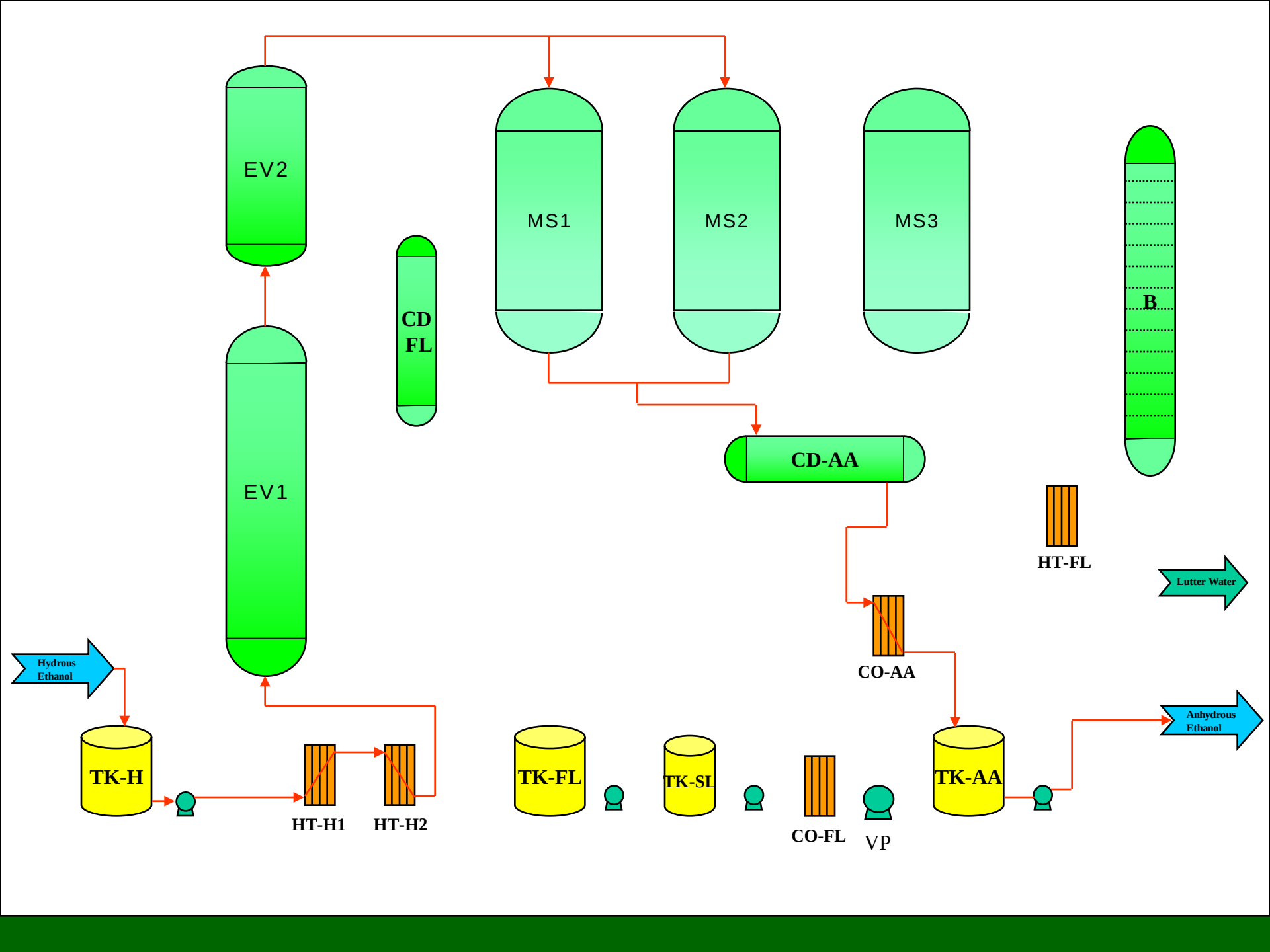
60 – 70% INPM

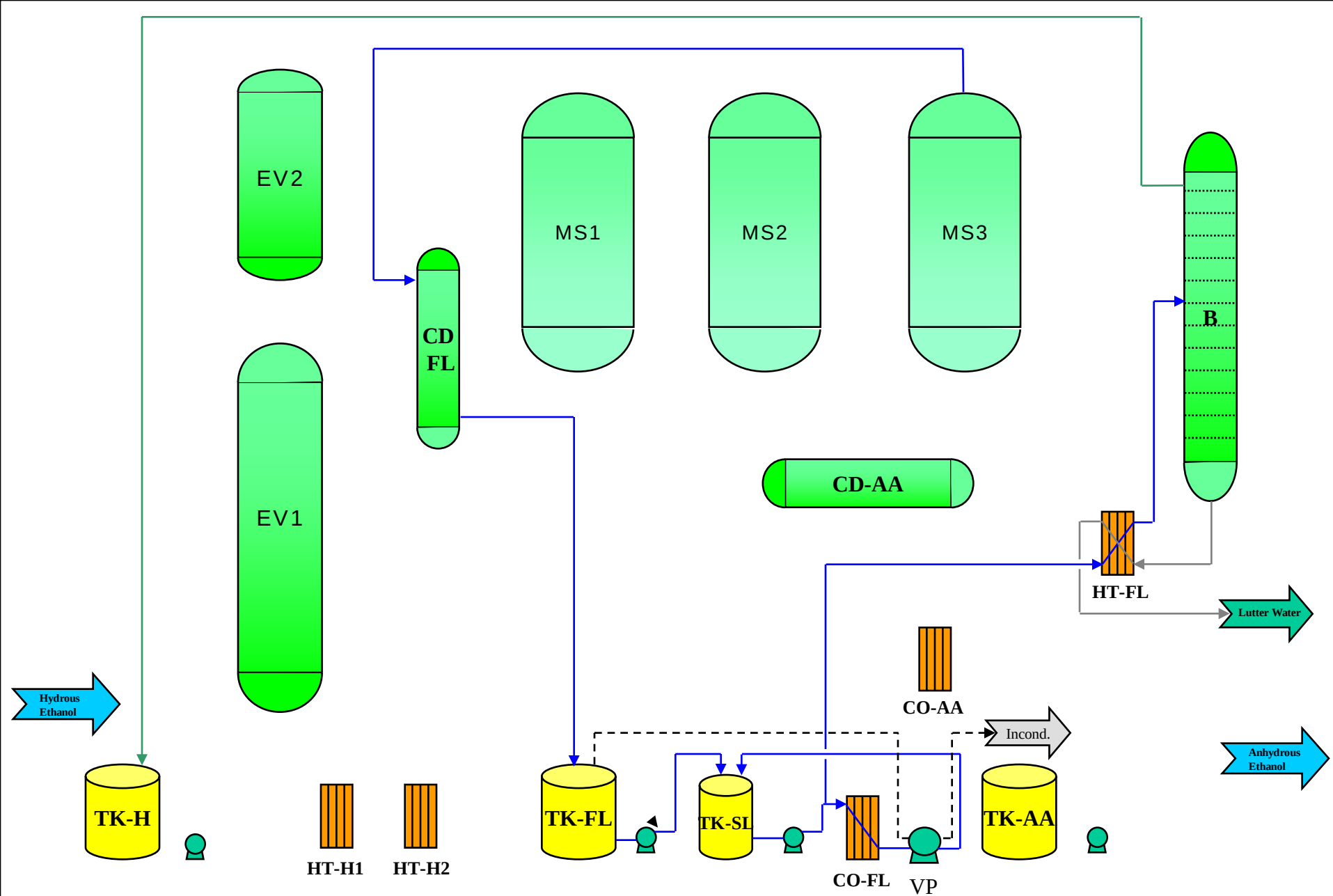
Equivalente a 20 % Reciclo

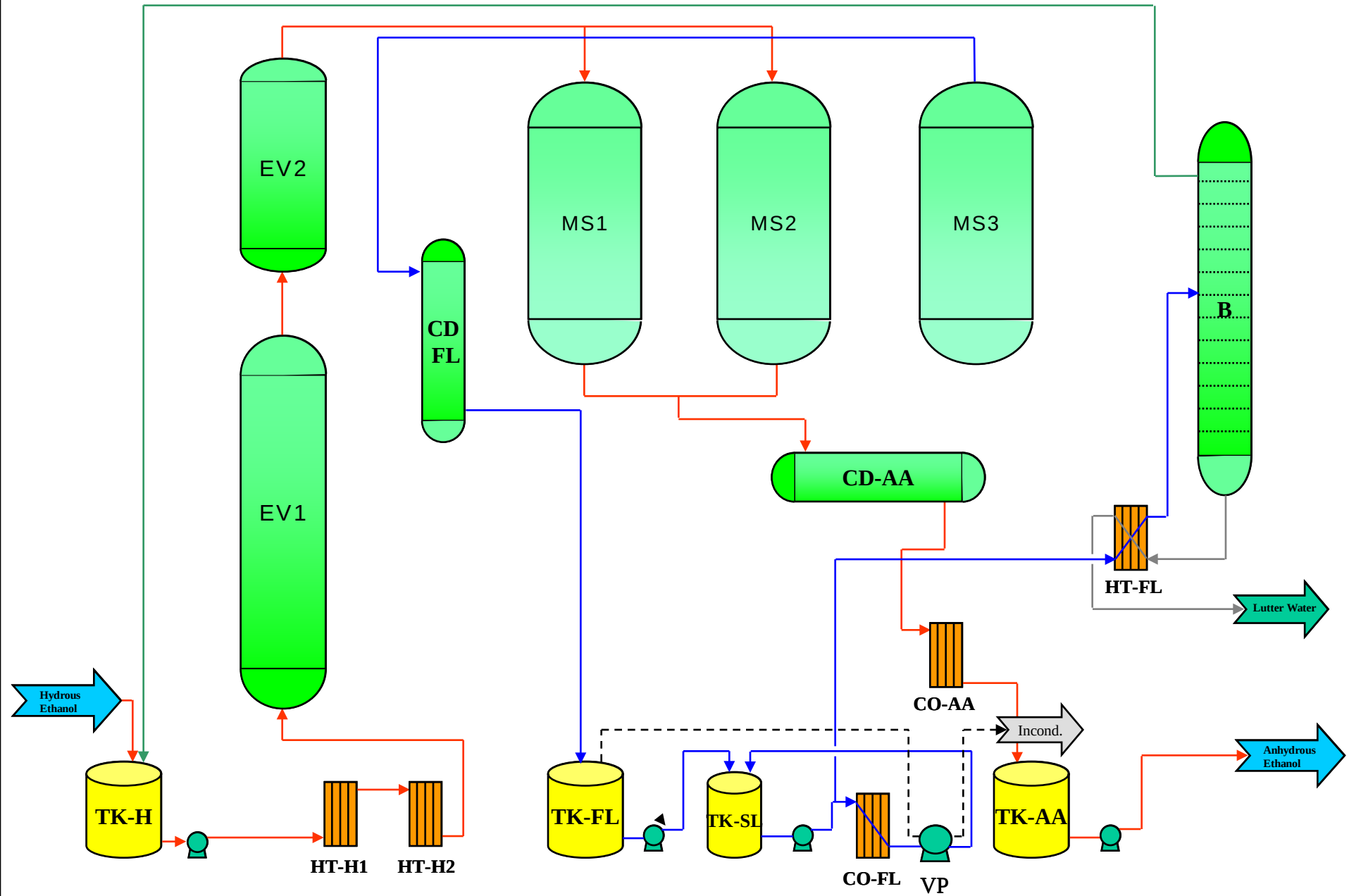


ETAPAS DE PROCESSO











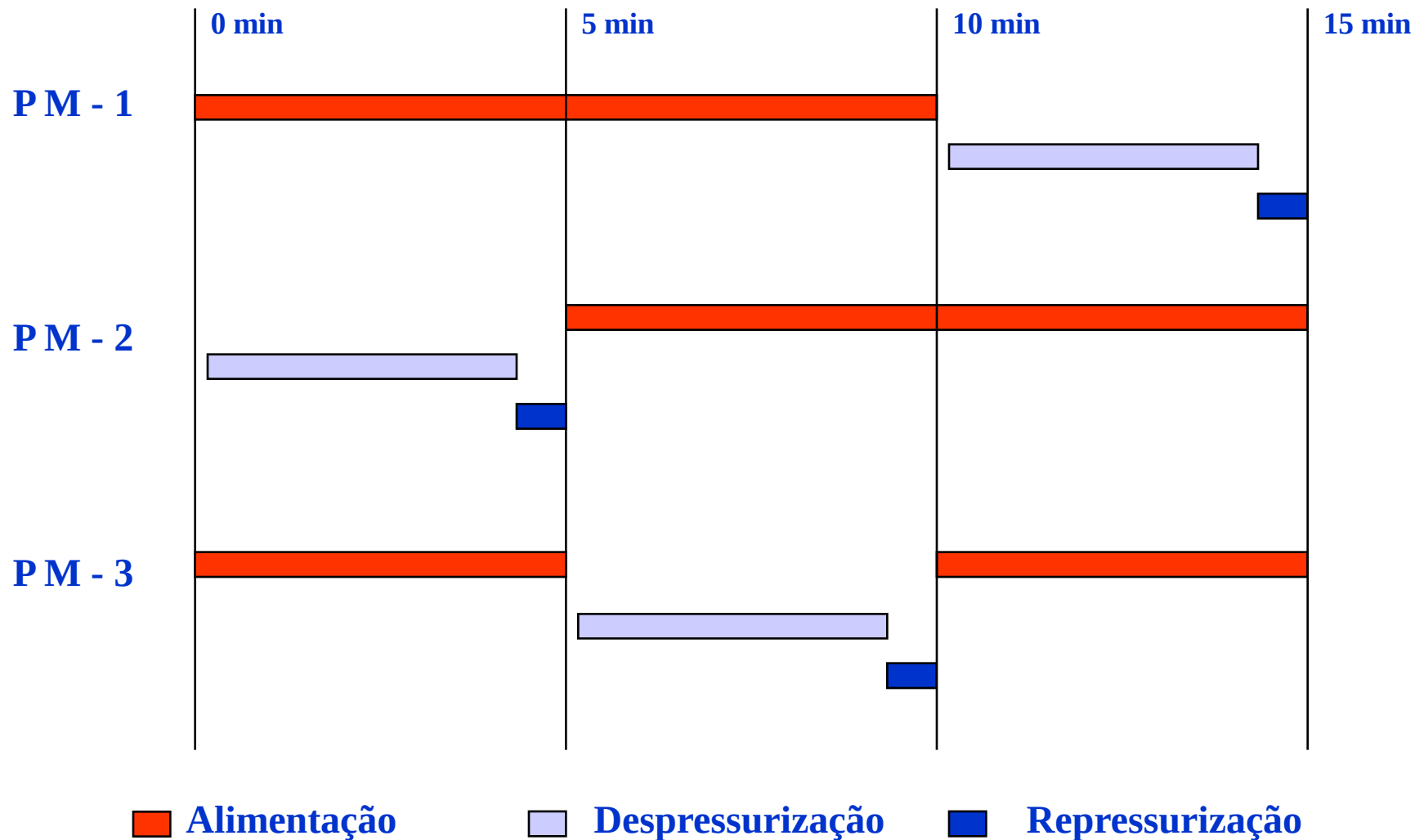
São Manoel

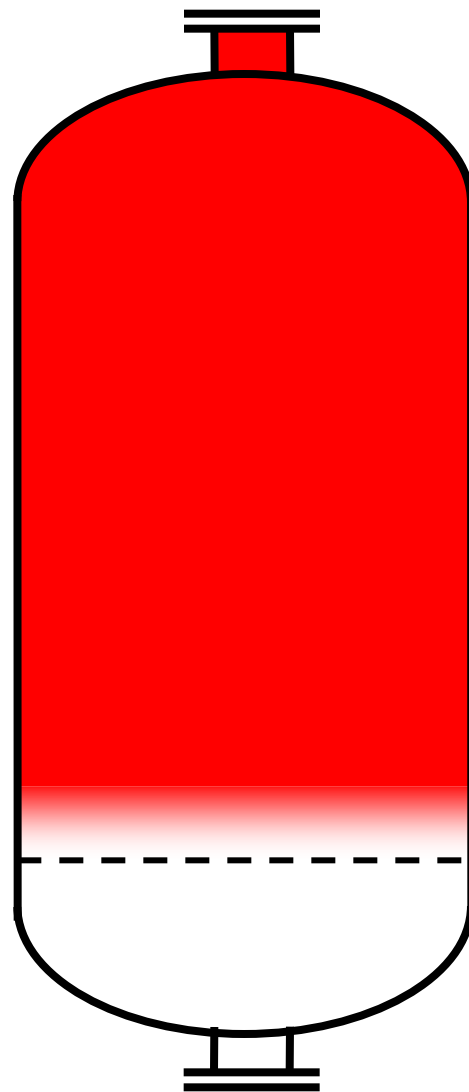
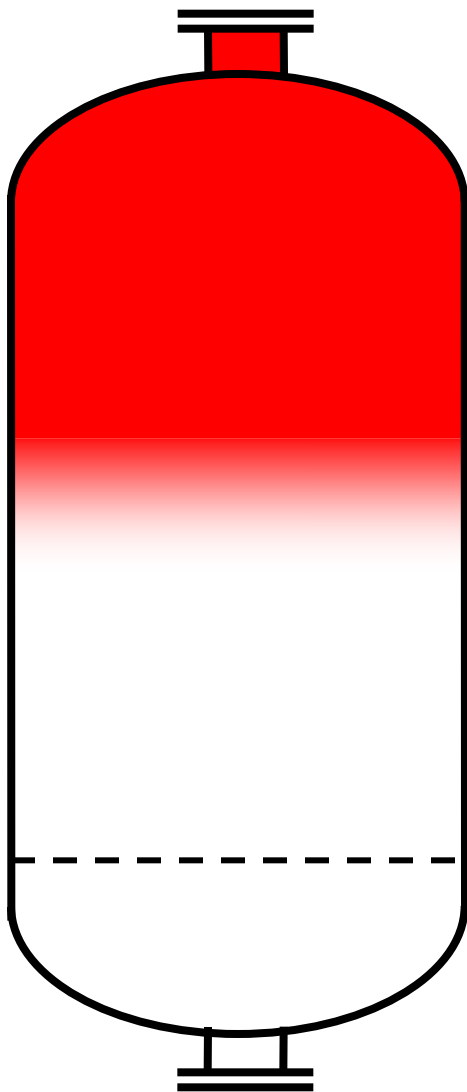
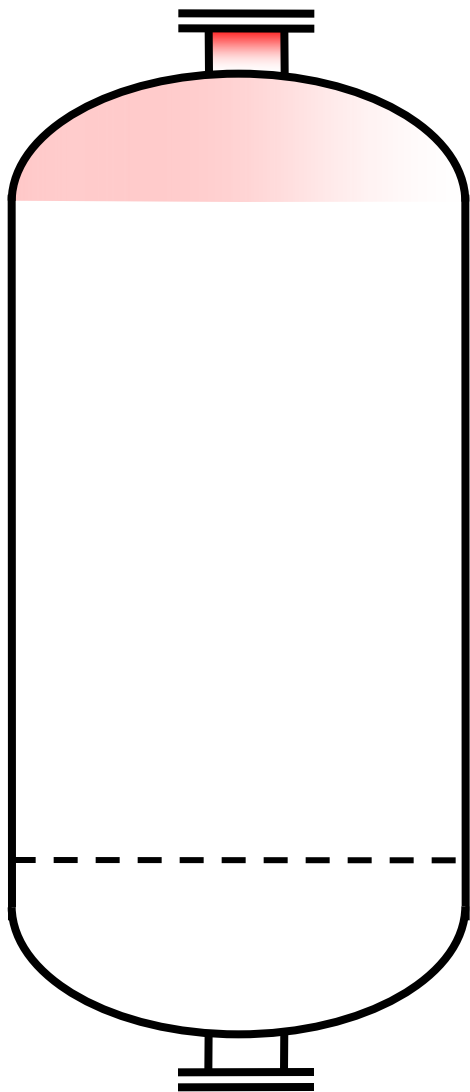
CICLO DE OPERAÇÃO

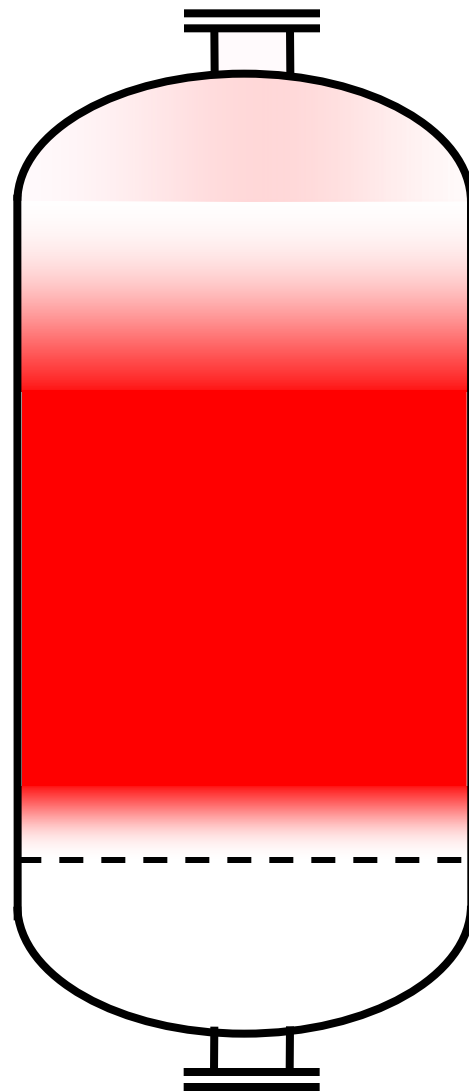
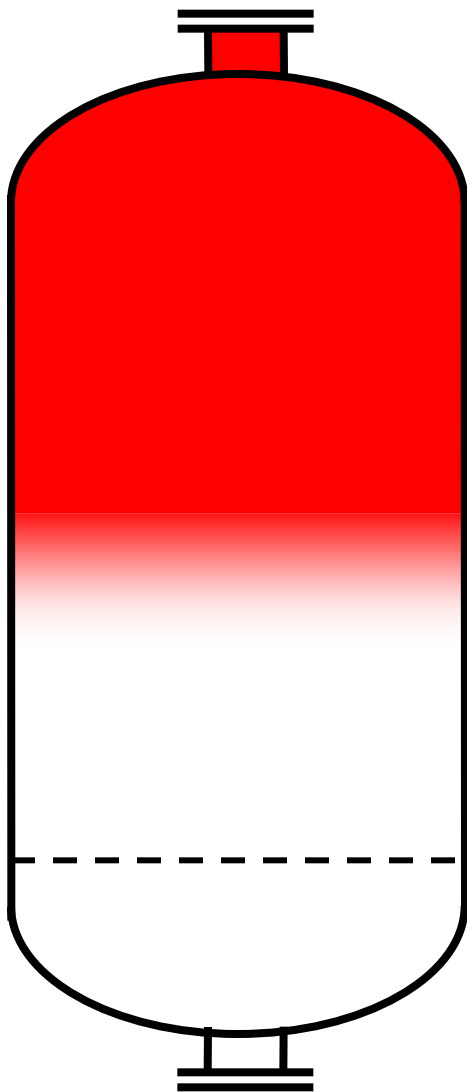
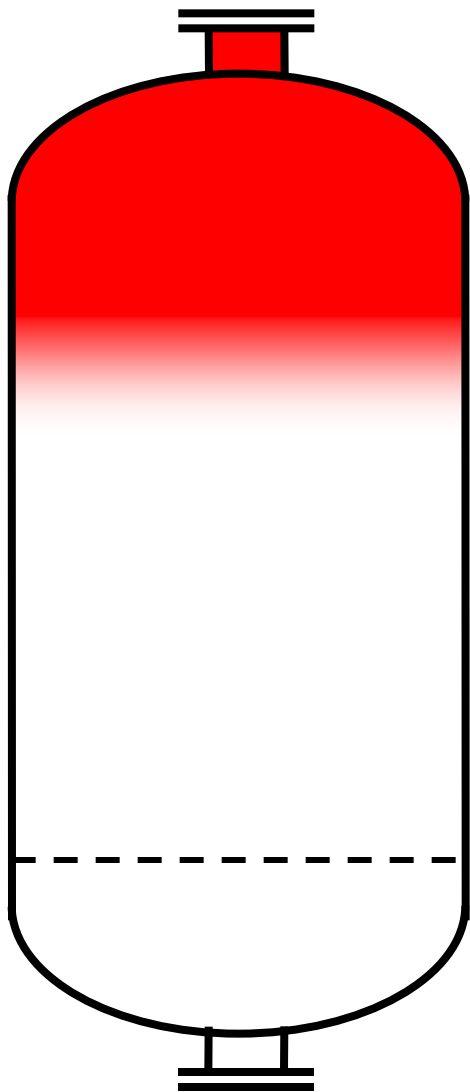
Identificação dos tempos:

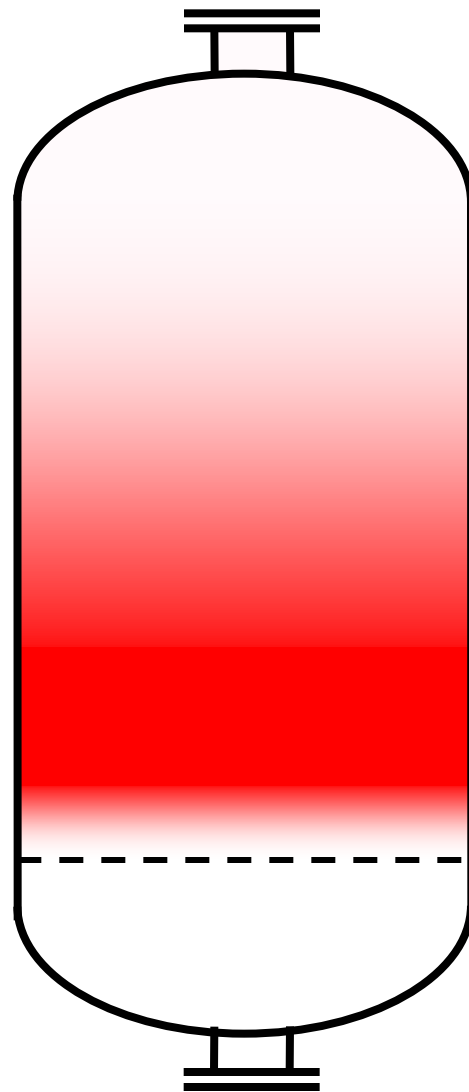
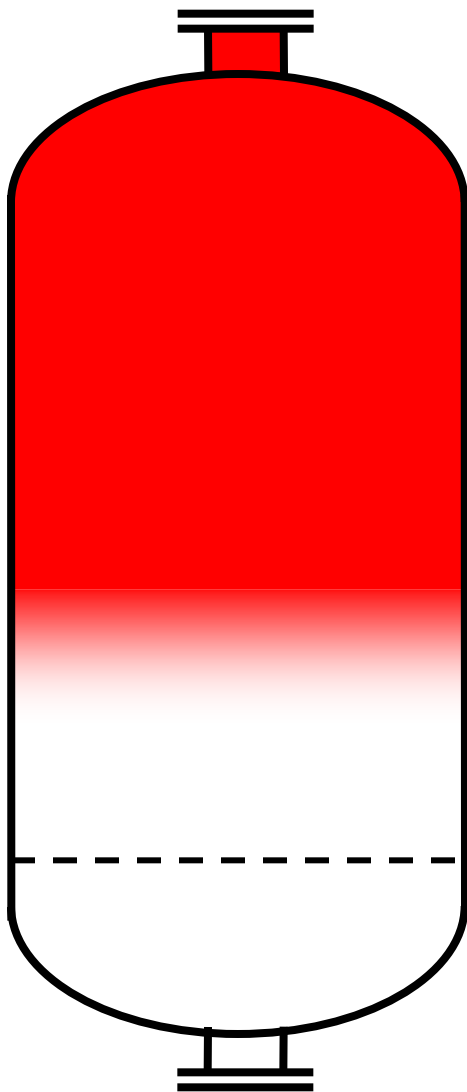
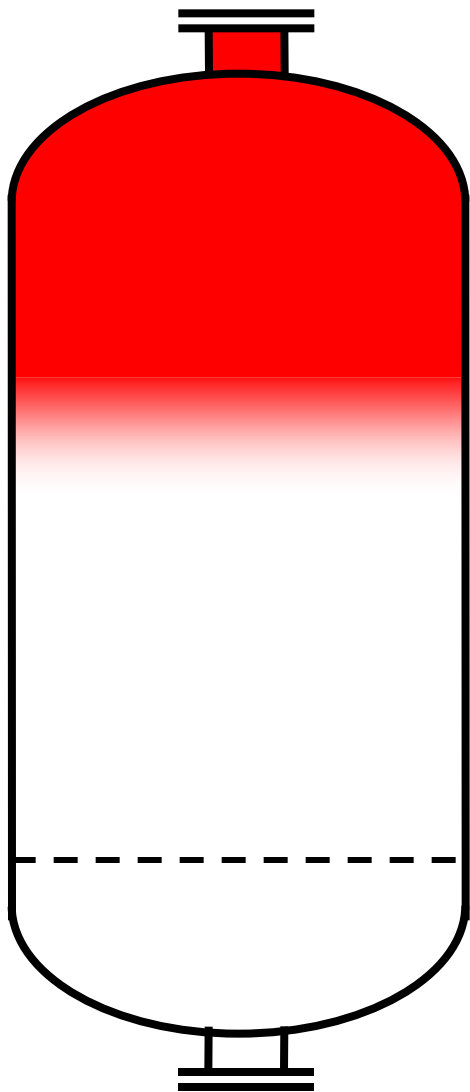
- **Alimentação e Produção:**
 - Tempo destinado a alimentar o vaso com álcool hidratado, produzindo álcool anidro.
- **Regeneração:**
 - Tempo destinado à remoção da água retida na resina ao final do tempo de alimentação e produção por meio de vácuo.
- **Repressurização:**
 - Tempo destinado a repressurização do leito para que saia da condição de vácuo e vá para a pressão de operação.

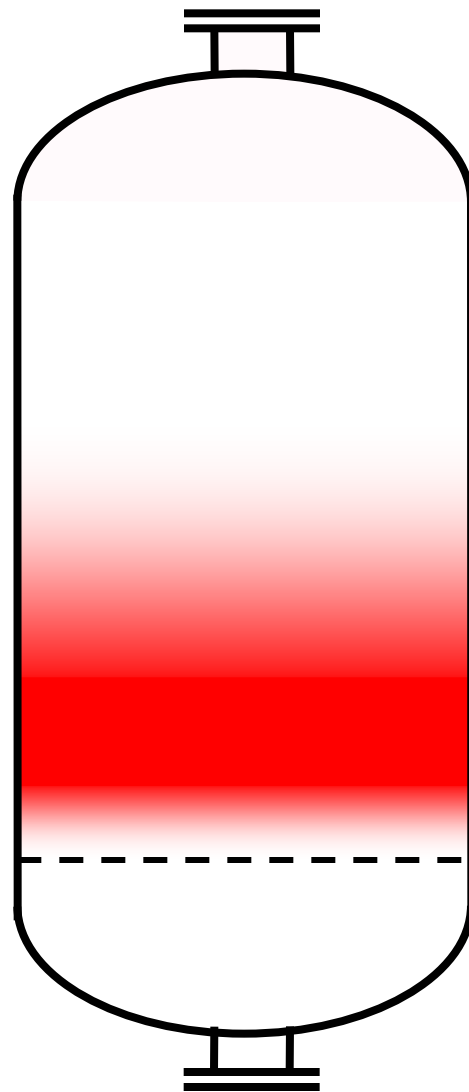
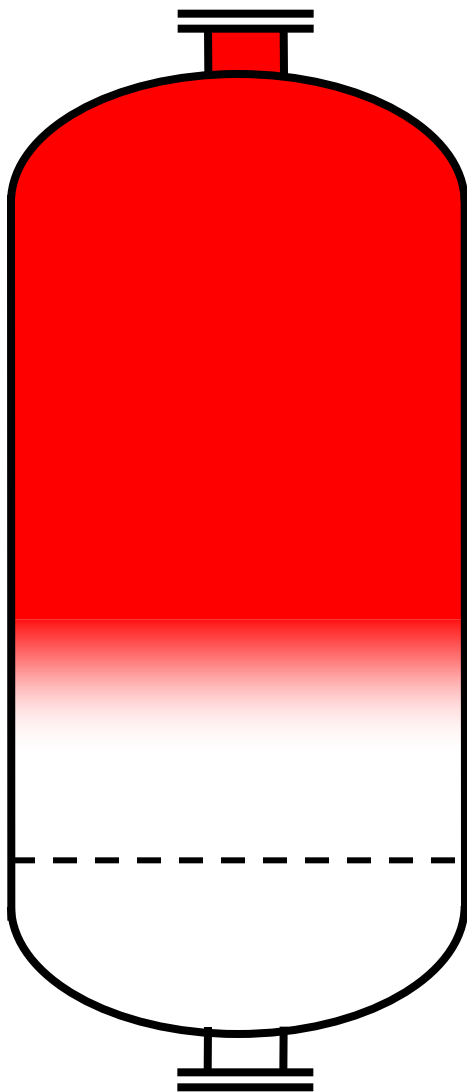
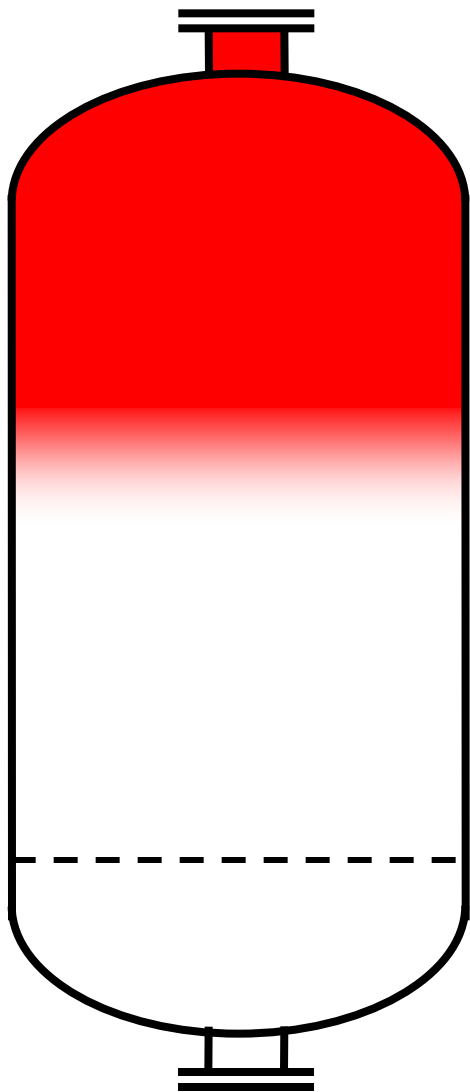
CICLO OPERACIONAL - 900 segundos 3 vasos

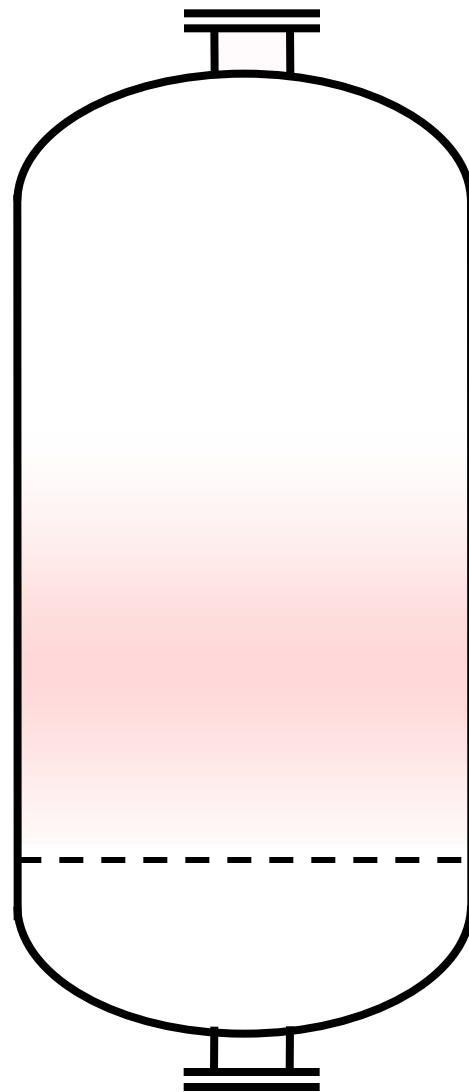
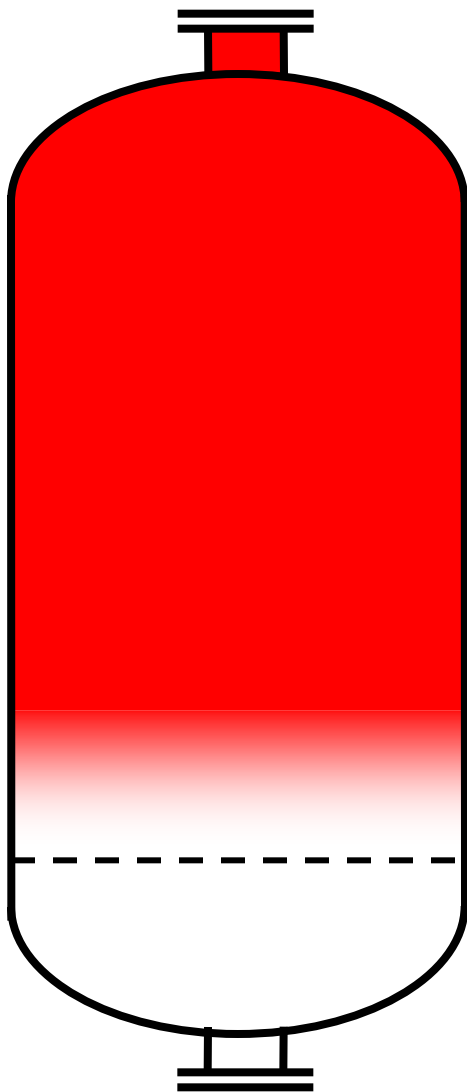
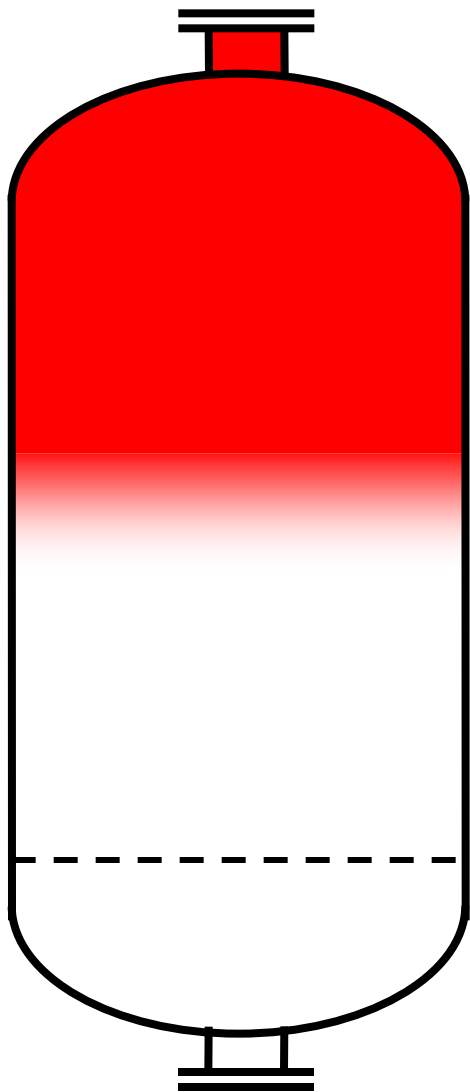


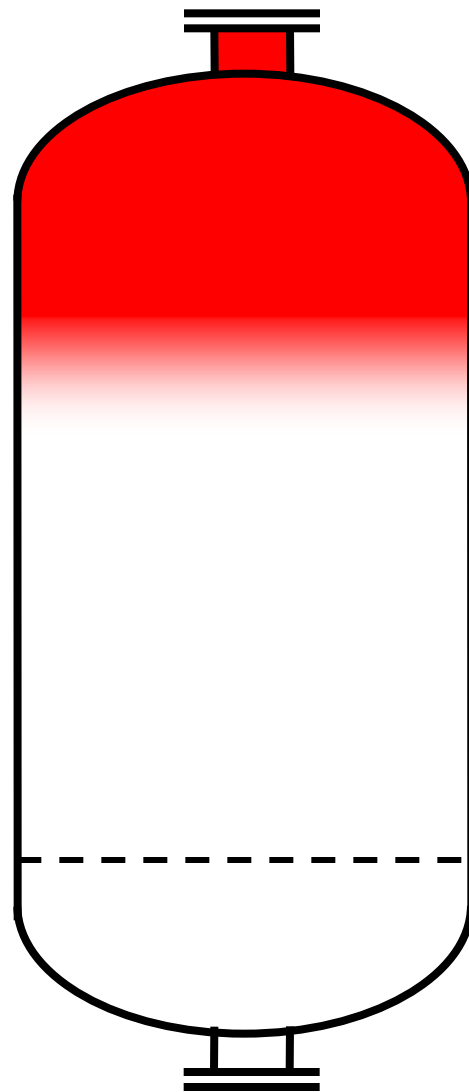
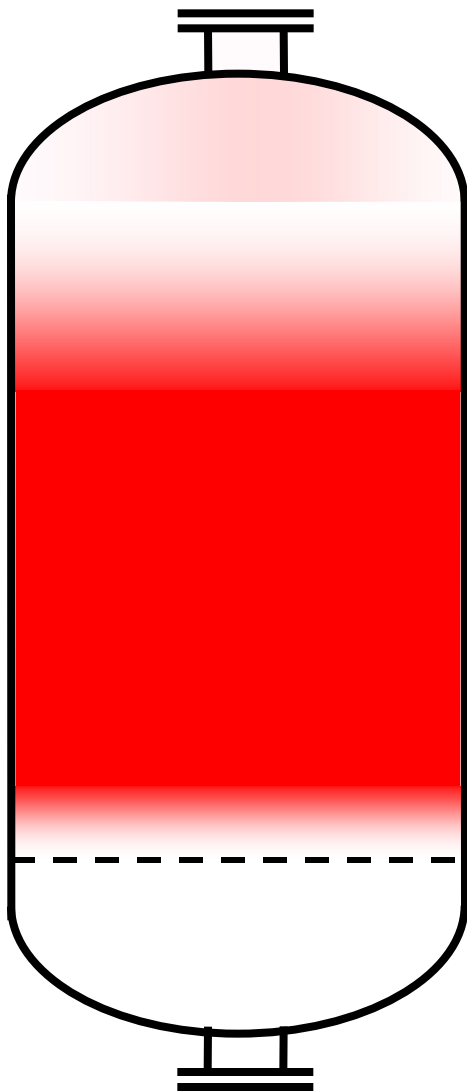
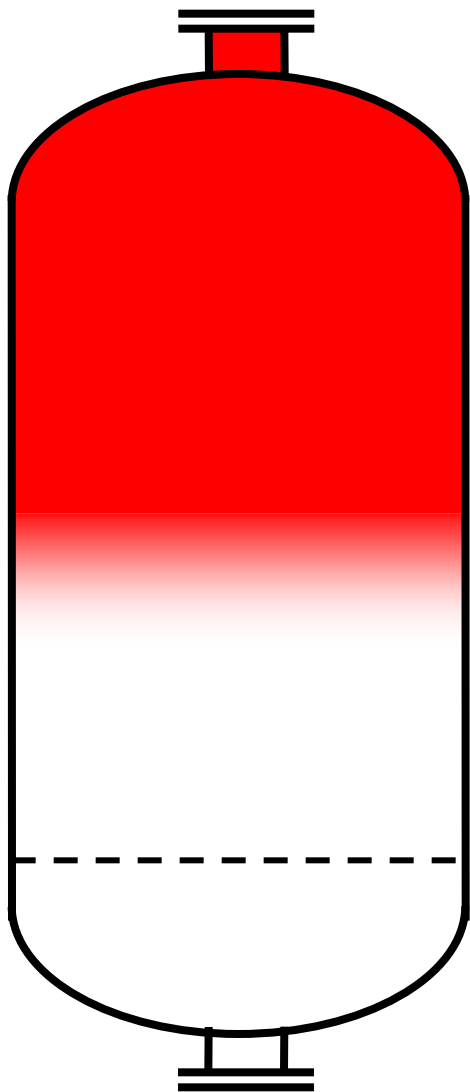


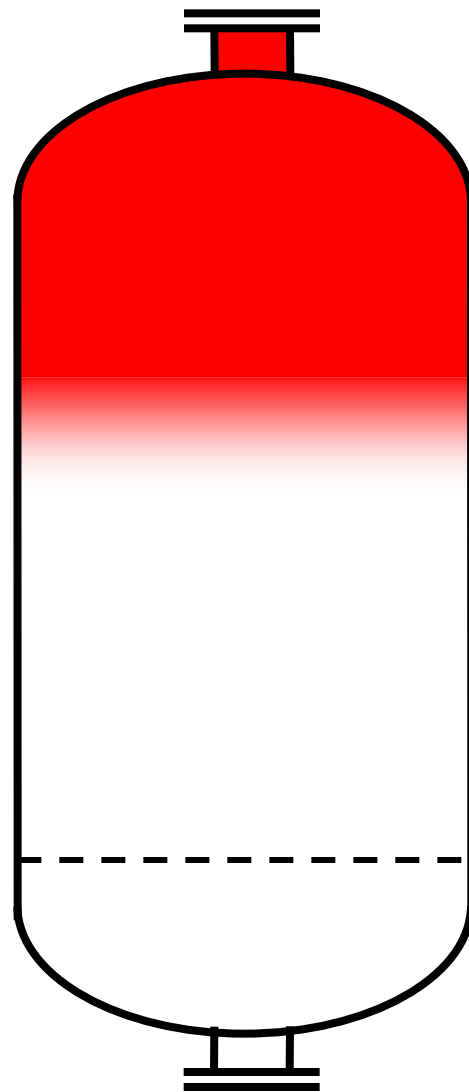
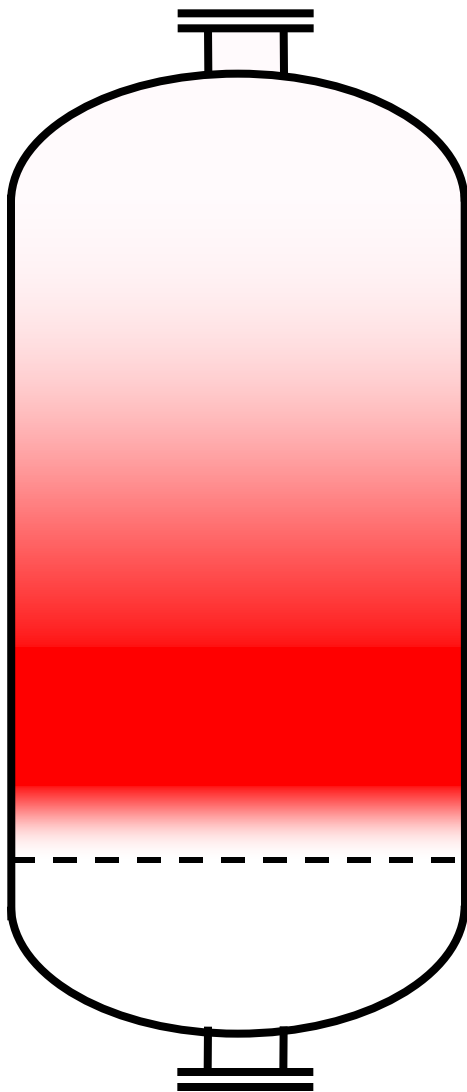
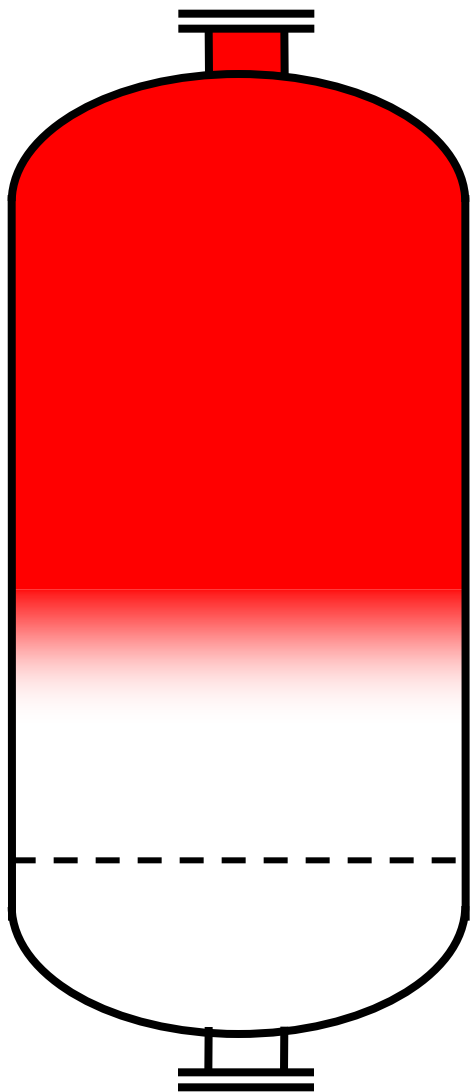


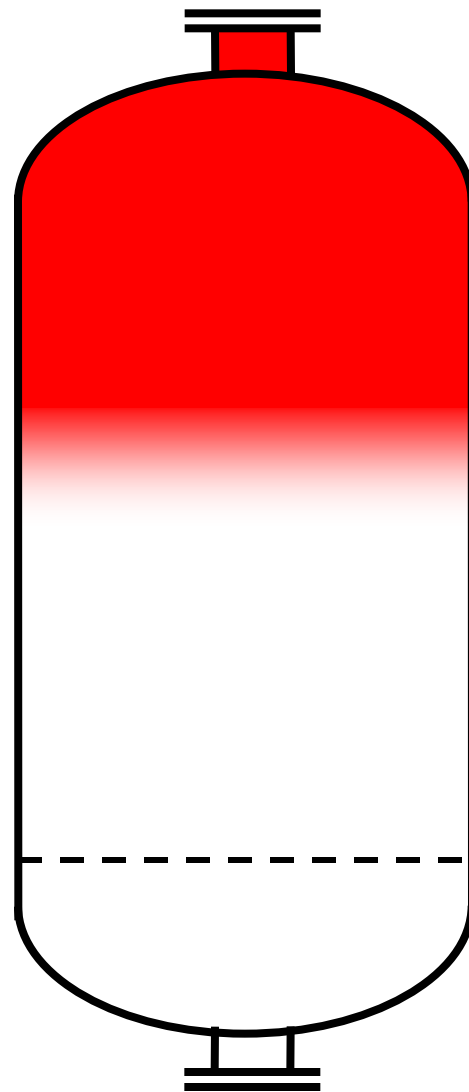
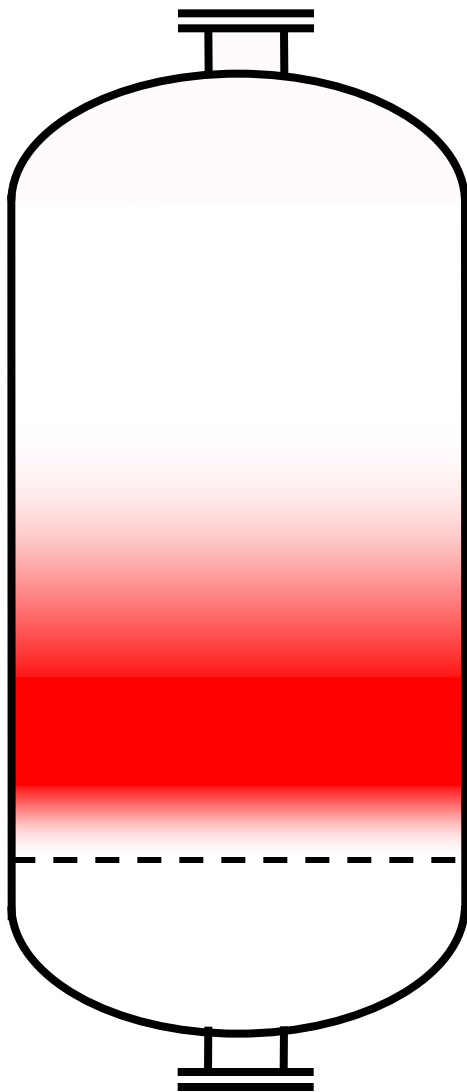
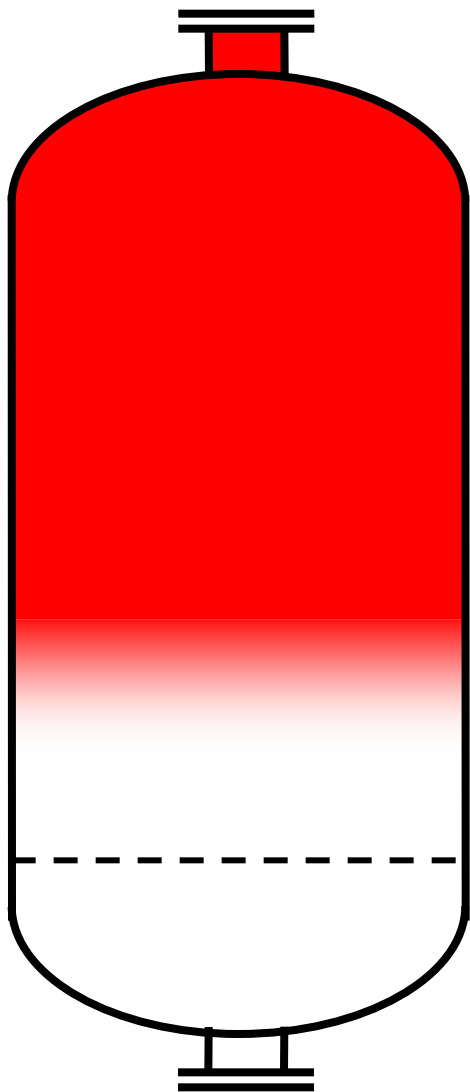


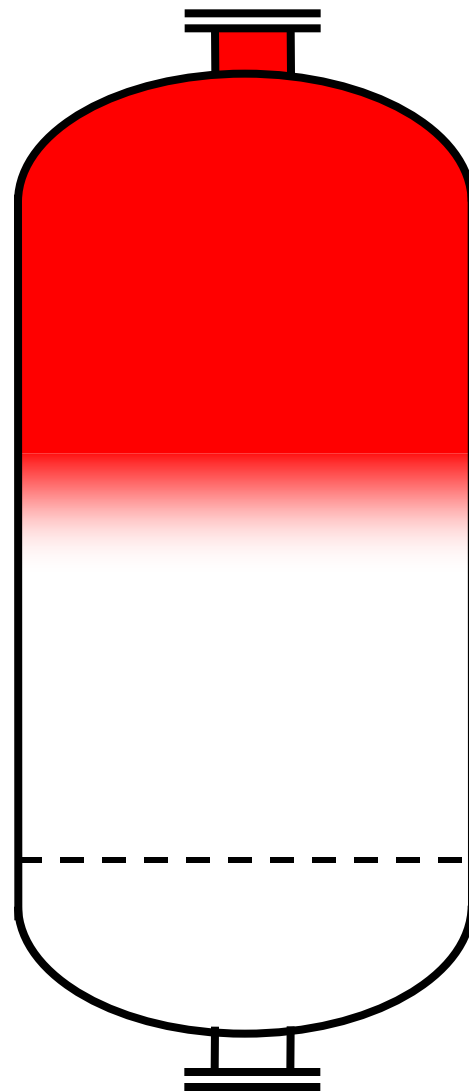
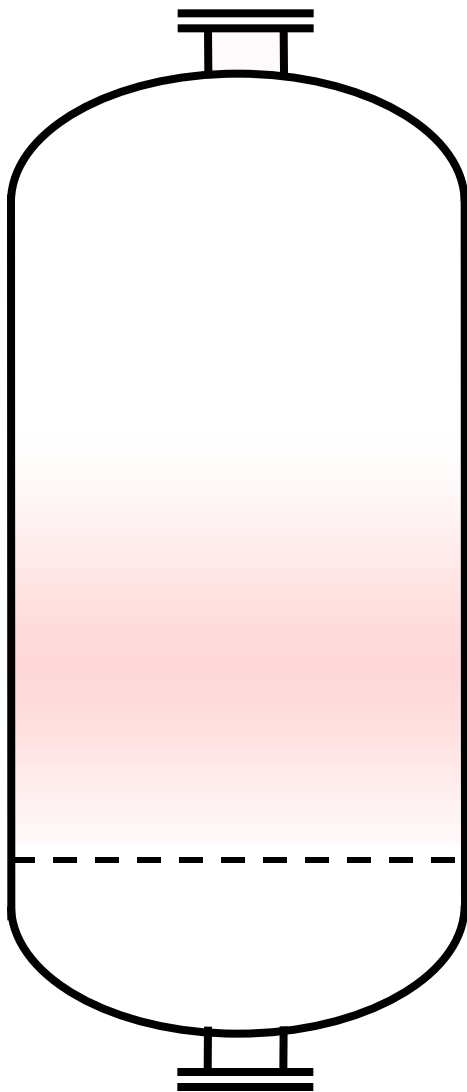
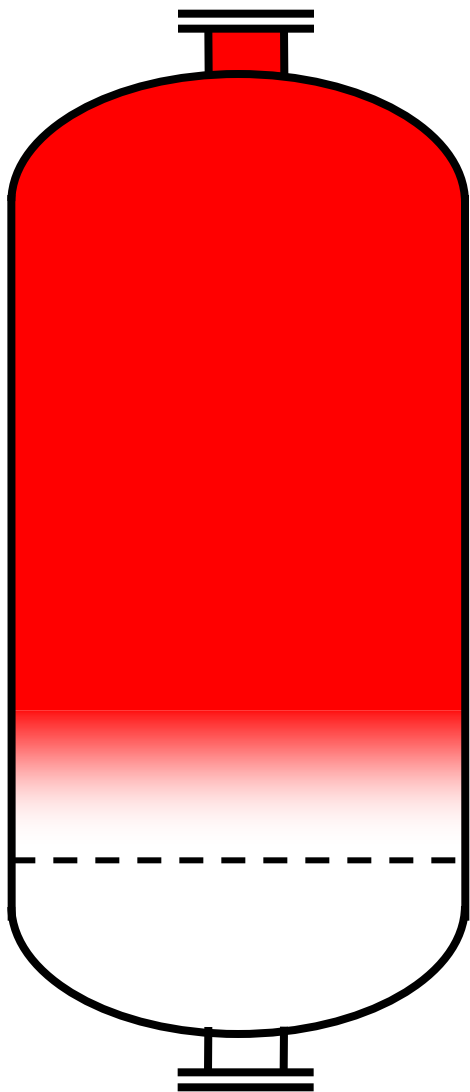


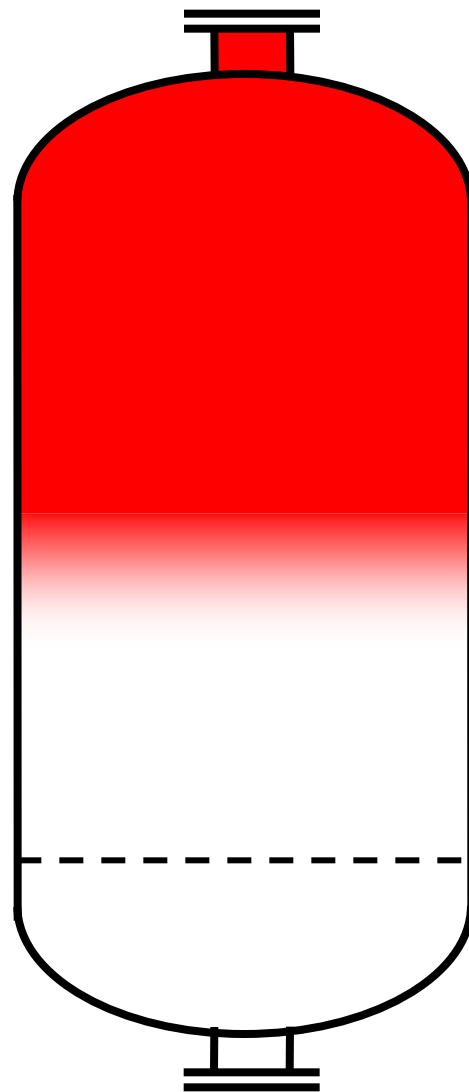
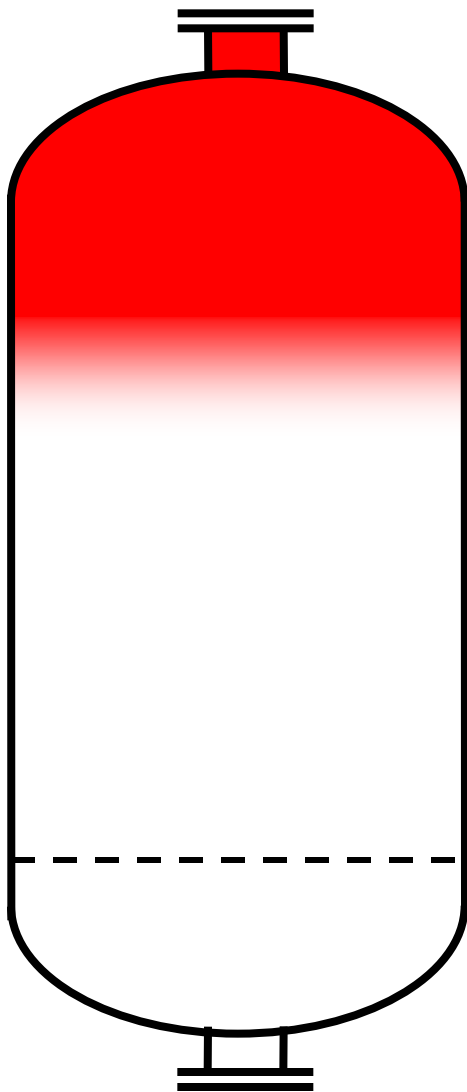
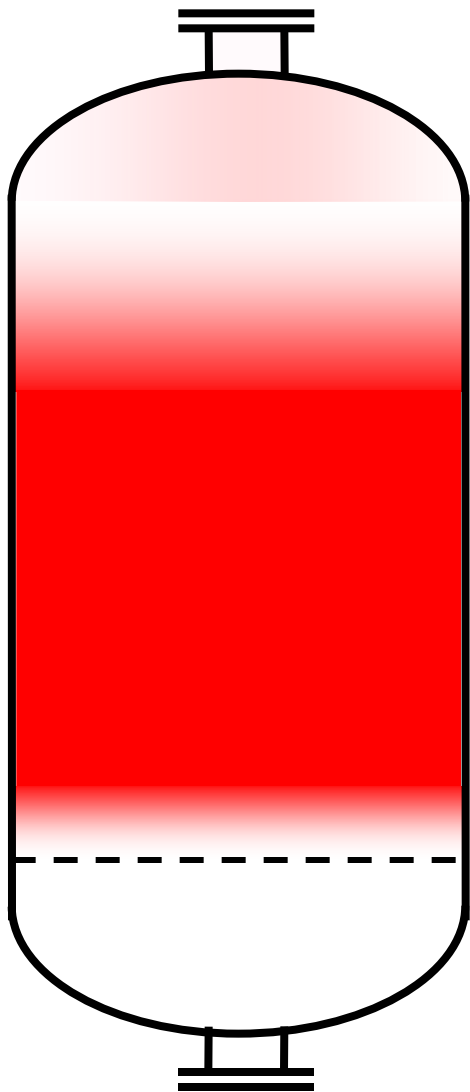


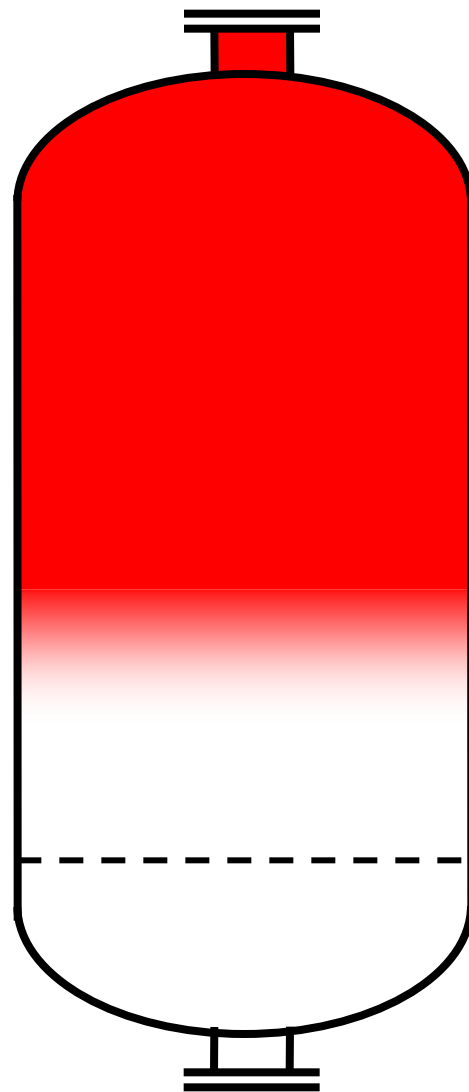
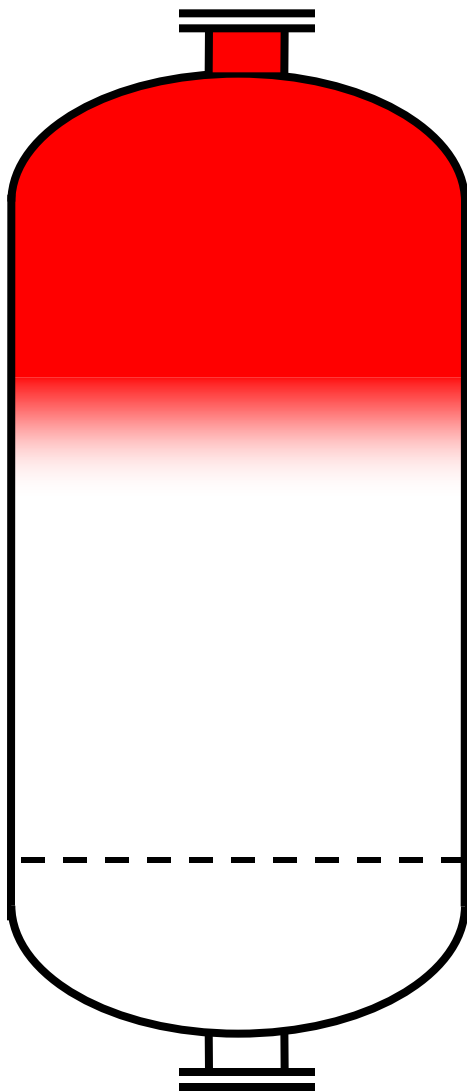
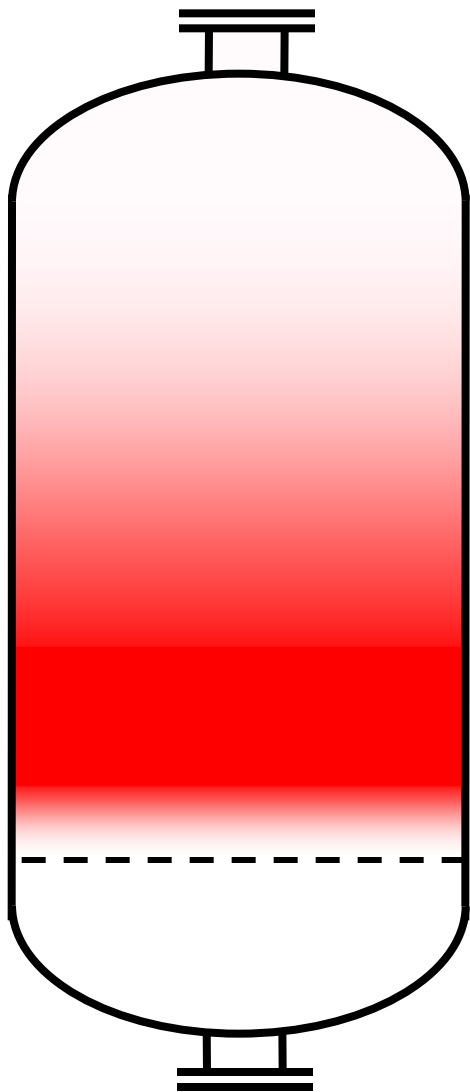


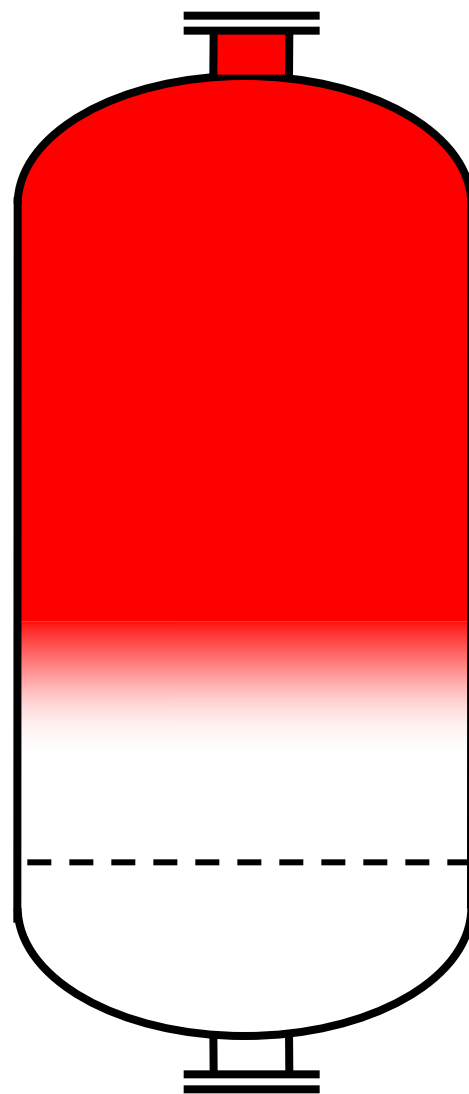
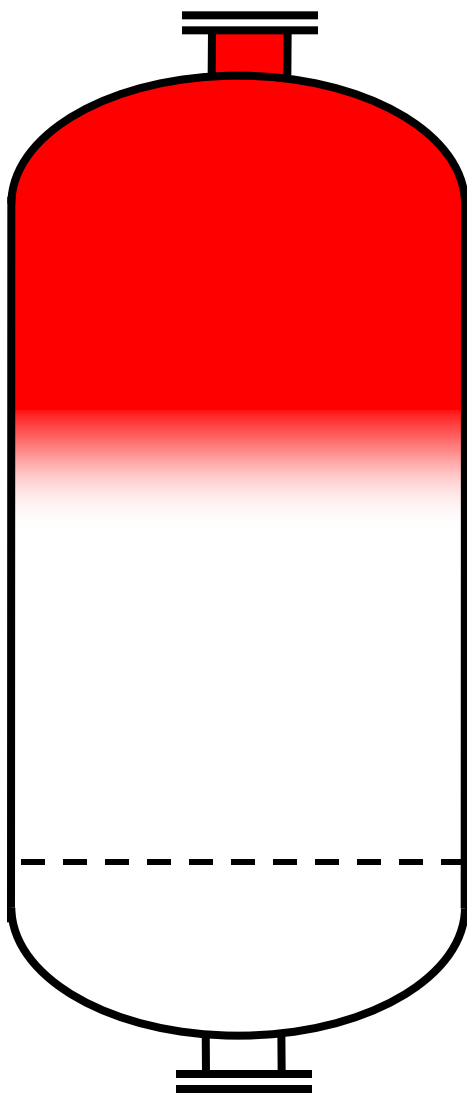
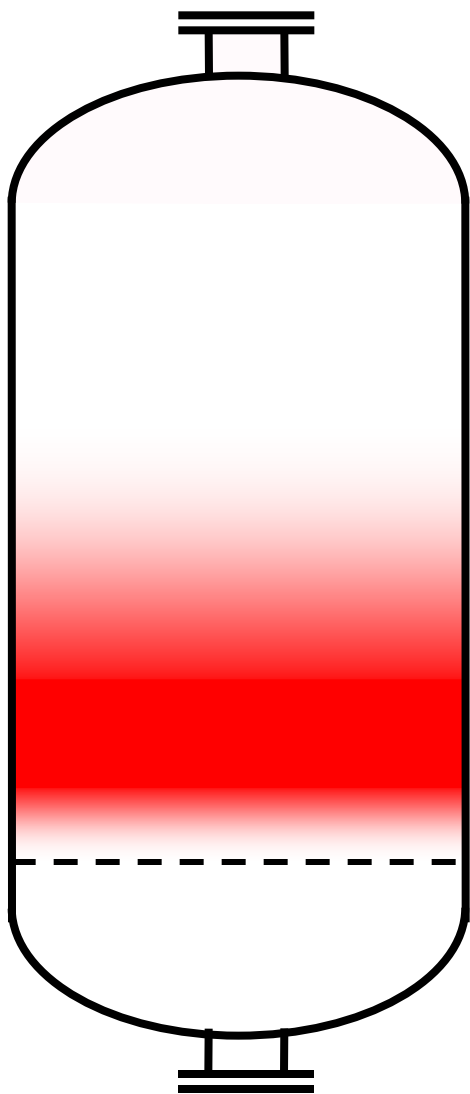


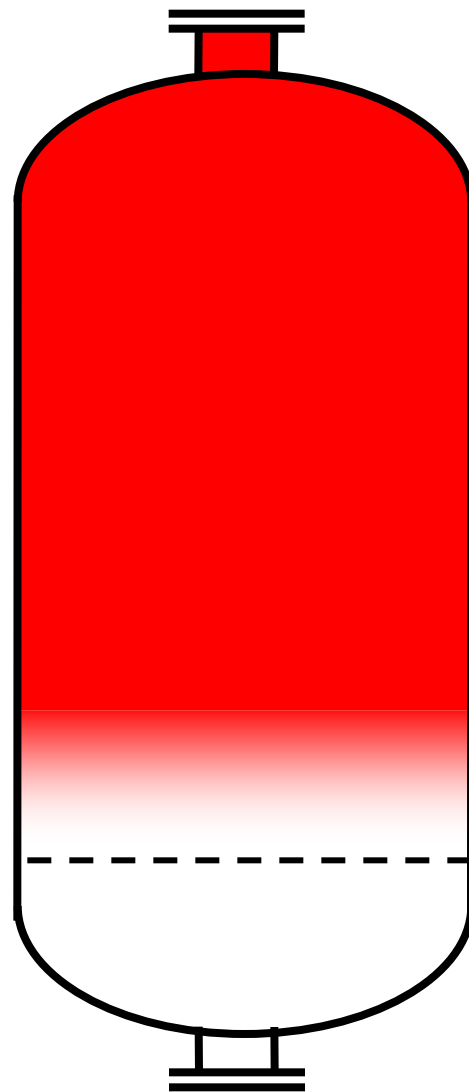
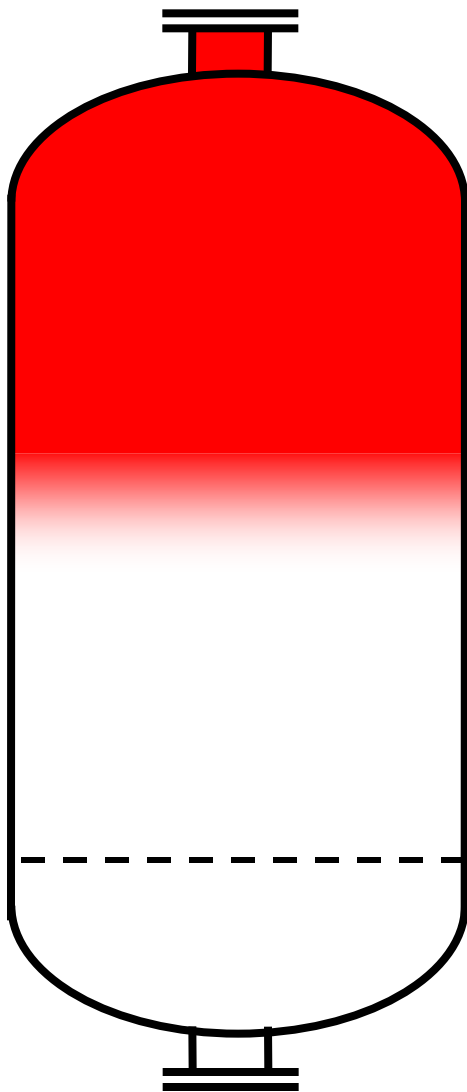
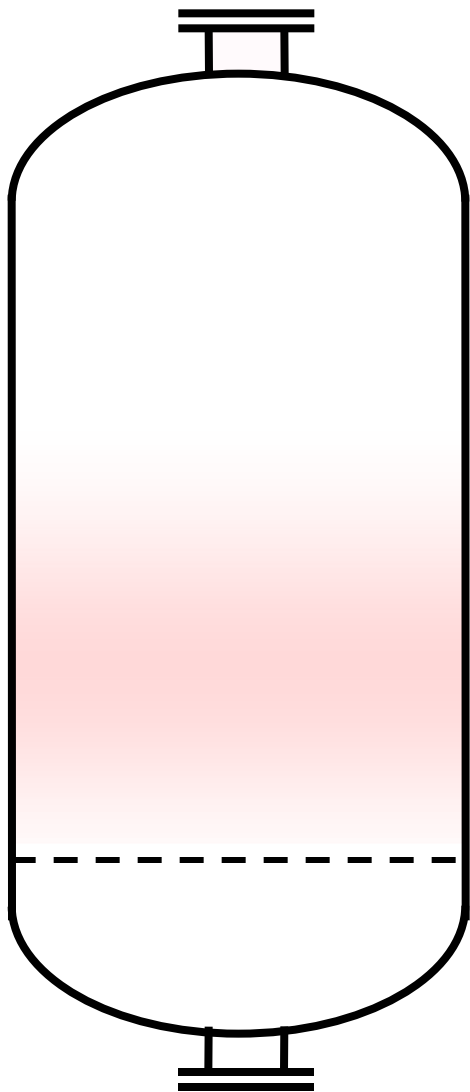














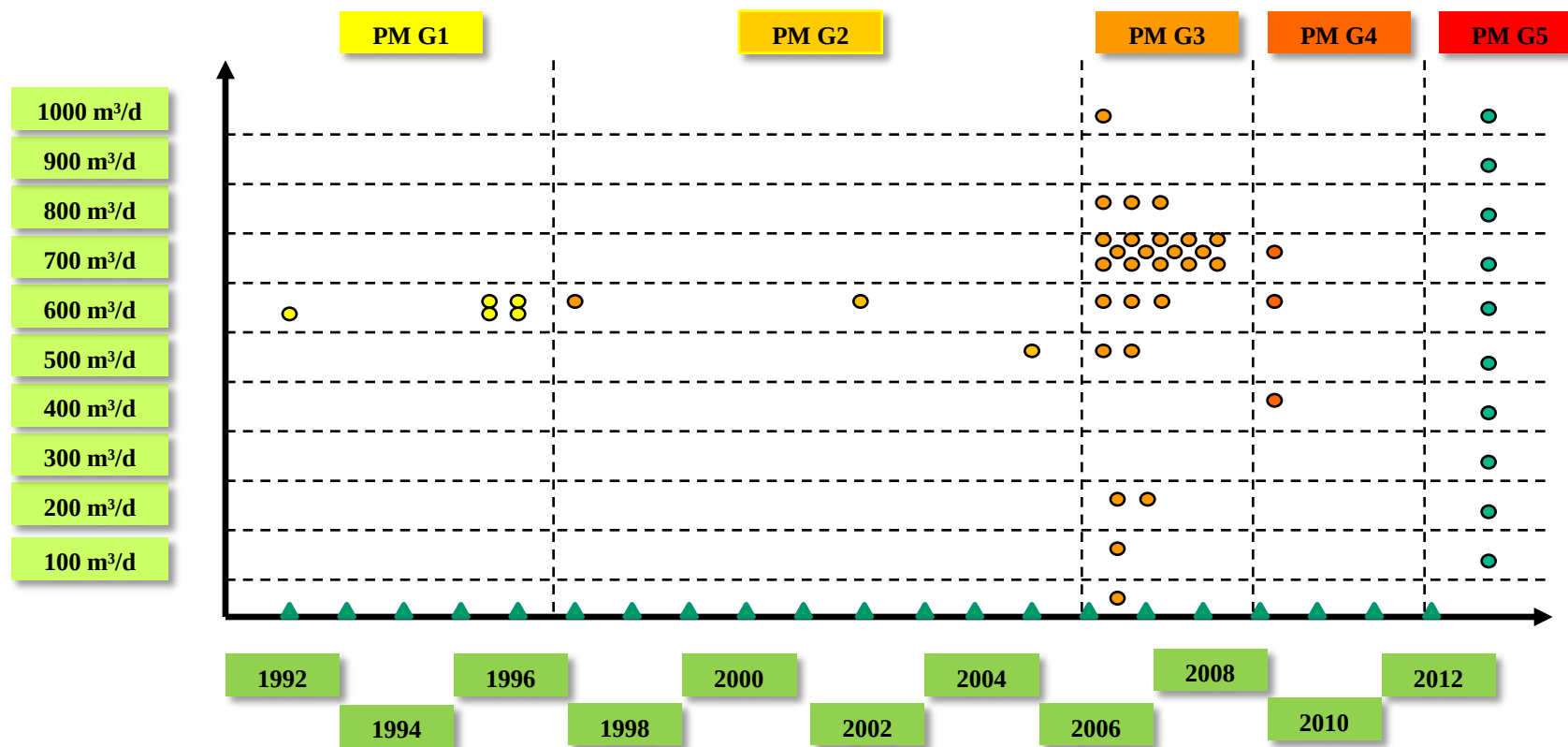
HISTÓRICO SIDPEM

- **1992 - 1ª Geração SIDPEM / Usina da Pedra**
Projeto Codistil / K-Engineering / Zeochem
- **1996 – Revisão e Consolidação Projeto**
- **1997 á 2004 - 2ª Geração - Início otimização**
Redução Consumo Vapor, Água , Eficiência Resina
- **2005 á 2008 - 3ª Geração - Processo otimizado**
35 unidades (Usina São Manoel - 2008)
- **2009 á 2012 - 4ª e 5ª Geração – Revisão Lay Out / Pequenas**
Melhorias Vácuo, Evaporação
- **Novo estudo: Otimização c/ Membrana Molecular**



HISTÓRICO SIDPEM

1ª Geração → **2ª e 3ª Geração** → **4ª e 5ª Geração**
(1992) *Evolução Processo* (2005 – 2008) *Evolução Lay Out* (2010 – 2012)
Otimização Processo





PRINCIPAIS PROBLEMAS INICIAIS

Operacionais e Projetos

- **Consumo de vapor direto**
- **Sistema de Vácuo com Chiller**
- **Consumo de Energia Kwh/L E.A**
- **Eficiência da desidratação da Zeólita**
- **Volume Alto de resinas nos vasos**
- **Controle de Valvulas despressurização e Repressurização**
- **Efeito dunas excessivos nos vasos**
- **Muita quebra de Zeólitas**
- **Alta reposição de zeólitas g/ m³ E. A**
- **Pouca Regeneração Térmica**
- **Estrutura Complexa de Sustenção Prédio**
- **Pouca Flexibilidade Dimensional**



São Manoel

MELHORIAS DE PROJETOS - 3ª GERAÇÃO USM

Bomba de vácuo com ejetor sem chiller

Ejetor



Chiller





São Manoel

MELHORIAS DE PROJETOS - 3ª GERAÇÃO USM

Uma única Válvula de rampa (controle fino) para despressurização na entrada do condensador de flegma e Alimentação dos vasos / Preservar Vida Útil Resina





São Manoel

MELHORIAS DE PROJETOS 3ª GERAÇÃO

**Integração Térmica com Trocadores à placas
Regeneração Anidro x Hidratado / Flegma x Flegmaça**





São Manoel

OTIMIZAÇÃO OPERACIONAL USINA SÃO MANOEL

Instalação de uma
torre exclusiva para a
Peneira Molecular





São Manoel

OTIMIZAÇÃO OPERACIONAL USINA SÃO MANOEL

Separou a água dos
Condensadores de
Flegma e Etanol
Anidro





São Manoel

OTIMIZAÇÃO OPERACIONAL USINA SÃO MANOEL

Foi colocado Dessuper para
Baixar a temperatura de vapor
direto para a condição ideal de
projeto á 183° C





OTIMIZAÇÃO OPERACIONAL USINA SÃO MANOEL

Foi diminuído a tempo de campanhas dos vasos (Antes o ciclo era de 960 segundos e passou para 900 segundos)

Válvulas		Abre		Fecha		Abre		Fecha		Habilita
OCV-310		0	seg	630	seg	0	seg	0	seg	
OCV-311		640	seg	915	seg	0	seg	0	seg	
OCV-312		0	seg	640	seg	930	seg	960	seg	
OCV-313		905	seg	960	seg	0	seg	0	seg	
OCV-314		320	seg	950	seg	0	seg	0	seg	
OCV-315		0	seg	275	seg	0	seg	0	seg	
OCV-316		290	seg	960	seg	0	seg	0	seg	
OCV-317		265	seg	320	seg	0	seg	0	seg	
OCV-318		0	seg	310	seg	640	seg	960	seg	
OCV-319		320	seg	595	seg	0	seg	0	seg	
OCV-320		0	seg	320	seg	610	seg	960	seg	
OCV-321		585	seg	640	seg	0	seg	0	seg	

Tempo Total 960 seg	Tempo Corrente 0 seg	Automático	Manual	Manual
------------------------	-------------------------	------------	--------	--------

Intertravamentos



São Manoel

OTIMIZAÇÃO OPERACIONAL USINA SÃO MANOEL

Foi diminuído a tempo de campanhas dos vasos (Antes o ciclo era de 960 segundos e passou para 900 segundos)

Válvulas	Abre	Fecha	Abre	Fecha	Habilita
OCV-310	0 seg	600 seg	0 seg	0 seg	
OCV-311	610 seg	865 seg	0 seg	0 seg	
OCV-312	0 seg	600 seg	885 seg	900 seg	
OCV-313	870 seg	900 seg	0 seg	0 seg	
OCV-314	300 seg	900 seg	0 seg	0 seg	
OCV-315	10 seg	265 seg	0 seg	0 seg	
OCV-316	285 seg	900 seg	0 seg	0 seg	
OCV-317	270 seg	300 seg	0 seg	0 seg	
OCV-318	0 seg	300 seg	600 seg	900 seg	
OCV-319	310 seg	565 seg	0 seg	0 seg	
OCV-320	0 seg	300 seg	585 seg	900 seg	
OCV-321	570 seg	600 seg	0 seg	0 seg	

Tempo Total 900 seg	Tempo Corrente 852 seg	Automático	Manual	Automático
------------------------	---------------------------	------------	--------	------------

ILUMINAÇÃO

Intertravamentos



São Manoel

OTIMIZAÇÃO OPERACIONAL USINA SÃO MANOEL

Foi instalado um tanque pulmão de Flegma para bombeamento contínuo para coluna B para estabilizar o processo de retificação





São Manoel

OTIMIZAÇÃO OPERACIONAL USINA SÃO MANOEL

Foi instalado By Pass na bomba de Vácuo, para poder lavar o filtro sem parar o processo da Peneira para aumentar a disponibilidade operacional.





OTIMIZAÇÃO OPERACIONAL USINA SÃO MANOEL

OUTRAS MELHORIAS:

- Aumento e estabilidade da pressão de Escape ($1,5 \text{ kgf/cm}^2$)
- Derivação do Etanol Hidratado do refluxo da coluna B (Aumento do Graduação do Hidratado que vai para a Peneira de $92,8 \text{ INPM}$ para $93,5$ à 94 INPM)
- Aumento da Pressão de entrada e saída dos vasos (Entrada era $2,3$ á $2,5 \text{ kgf/cm}^2$ passou para $2,5$ á $2,7 \text{ kgf/cm}^2$ e Saída era $2,5 \text{ kgf/cm}^2$ e passou para $2,7$ á $2,8 \text{ kgf/cm}^2$)
- Substituição de todas as sedes de válvulas manuais de EPDM para NEOPRENE
aumento da disponibilidade operacional
- Ajuste no tempo de repressurização com o tempo de pressurização (Redução Ciclo)



CONDIÇÕES PRIMORDIAIS OPERAÇÃO

1. Pressão:

Vapor Direto 7 à 10 Kgf/cm² -> 183° C

Vapor Escape 1,5 Kgf/cm² -> 135° C

1.1 – Pressão vapor alcoólico (2,5 à 3,5 Bar)

**Quanto menor a pressão
maior volume zeólita**

1.2 – Operação de Partida

- Ideal iniciar o processo com Etanol Anidro quando houver mix resina nova e velha no vaso (Desidrata a resina velha por deslocamento)*
- Partida lenta com Etanol Hidratado evitar choque Térmico*

2. Despressurização: *tem que ser lenta para não explodir zeólita (Rampa)*



REPOSIÇÃO E MANUTENÇÃO ZEÓLITAS

➤ **Consumo Zeólitas - Início UASM** **32 g/m³** **Consumo médio** **14 g/m³**

Consumo Atual UASM **1,4 g/m³** safra 100 kg de zeólitas

➤ **Problemas com zeólitas: pH, Soda e Vapor**

• **Vapor Alcoólico Supercrítico**

Impede a desidratação, zeólita tem afinidade por H₂O gasosa

• **Vapor Alcoólico Saturado**

Contém partículas H₂O, esse vapor com alta velocidade funciona como meteoritos causando ataque e destruição das zeólitas, aumentando a reposição (consumo)

pH ETOH Hidratado faixa 4,5 á 6,0

pH < 4,5 → destrói zeólita

pH > 8,0 → empedramento





São Manoel

REPOSIÇÃO E MANUTENÇÃO ZEÓLITAS

Vida Útil Resina = 8 anos

Dedini: Recomenda a cada 2 a 3 safras fazer o peneiramento



Quando Peneirar ?

- 1 kg pó repor 1,5 kg resina nova
- Excesso cacos vistos por cima ou por baixo
- Entupimento telas filtro flegma bomba vácuo



*Peneira Vibratória Tela menor
diâmetro zeólitas (UASM < 2,5 mm)*

Usina São Manoel - 5 SAFRAS

Não foi preciso peneirar



REPOSIÇÃO E MANUTENÇÃO ZEÓLITAS

- *Fazer o máximo vácuo nos vasos: ideal 24 horas/vaso*
- *Secar resina no máximo antes de abrir*
- *Não peneirar dia de chuva*
- *Ideal secar o fundo vaso com ar comprimido ou N₂, evitar saturação no armazenamento durante entressafra*
- *Enchimento nos vasos zeólita, utilizar funil sem fundo com pano, para evitar quebra na reposição*
- *Adicionar máximo resina nova no fundo.*

✓ Carregamento:

- *Supervisão durante o Carregamento (tambores e big-bags)*



Procedimento Inadequado

Descarte Resina: Legislação Ambiental

- *Analisar antes*
- *Enterrar Resina*
- *Incineração*



CONSUMOS ESPECIFICOS DA PENEIRA MOLECULAR

- *Consumo Resina: 100 -120 kg/safra - (1,4 g/m³)*
- *Consumo Vapor: Alta (10 kg/cm²/183°C) – 0,04 Kg/ L E.A*
Baixa (1,5 kg/cm²/135°C) – 0,050 kg / L E.A
- *Consumo Energia Elétrica: 3,0 Kwh/m³ E.A*
- *Consumo Água: 25 á 30 L / L E.A*
- *Consumo Ar Comprimido: 7 kg/cm² / min 50 N m³/h*



CUSTOS EFETIVOS DA PENEIRA MOLECULAR

➤ **Custo Operacional:** (Próprio Destilador / Planta 100 % Automatizada)

➤ **Custo Manutenção:** R\$ 1,10 / m³

Limpeza / Isolamento / Pintura

Bombas Vácuo / Centrífugas

Vedação Válvulas de Controle e On-Off

Sedes Válvulas manuais

➤ **Custo Insumos:** 14 g / m³ Resina 11,00 R\$ / Kg

A cada 10 anos vida útil da resina – R\$ 825.000,00

➤ **Investimentos:** Base 2012 - R\$ 12,00 / m³ Anidro

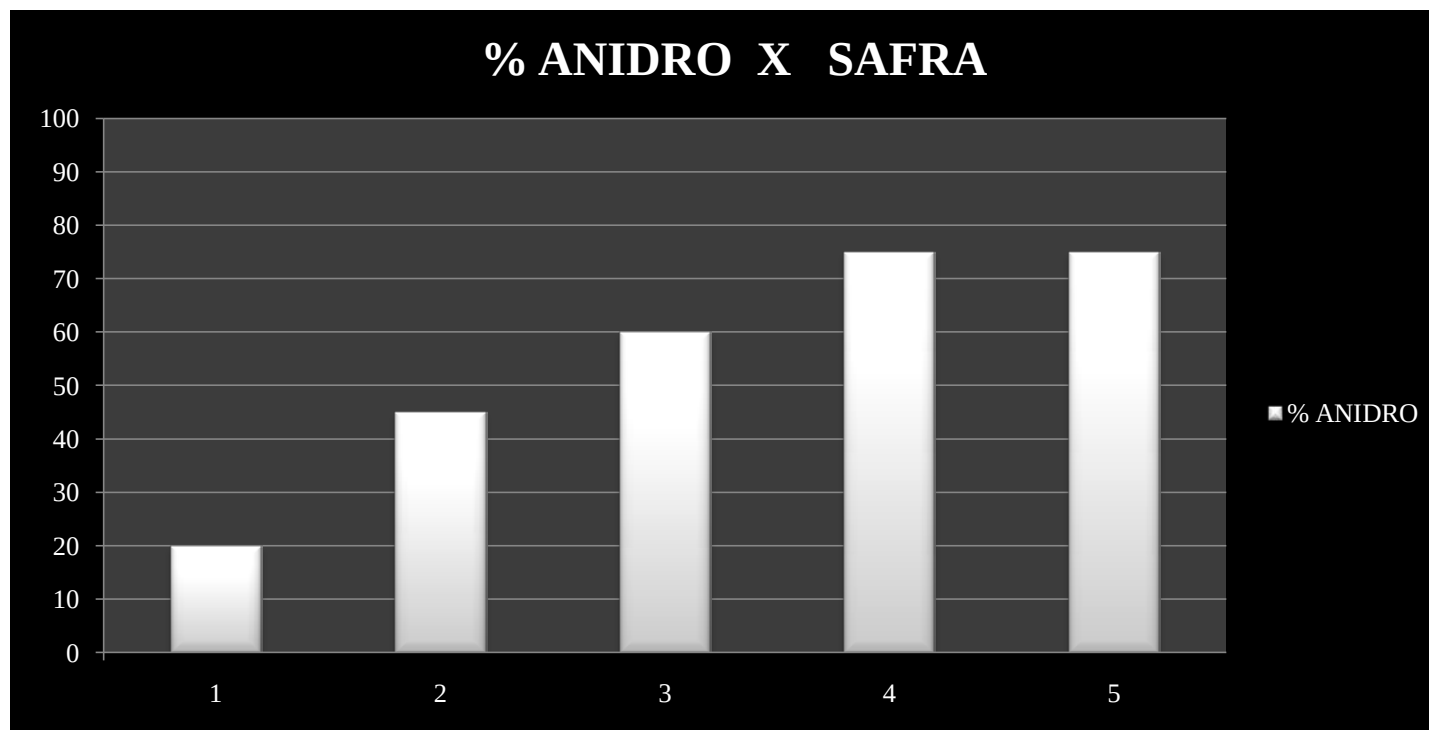
500 m³ / dia - R\$ 6.000.000,00 5ª GERAÇÃO SIDPEM





São Manoel

EVOLUÇÃO PRODUÇÃO % – 5 SAFRAS





São Manoel

Etanol Anidro Exportação - TIPO A2 COPERSUCAR



São Manoel

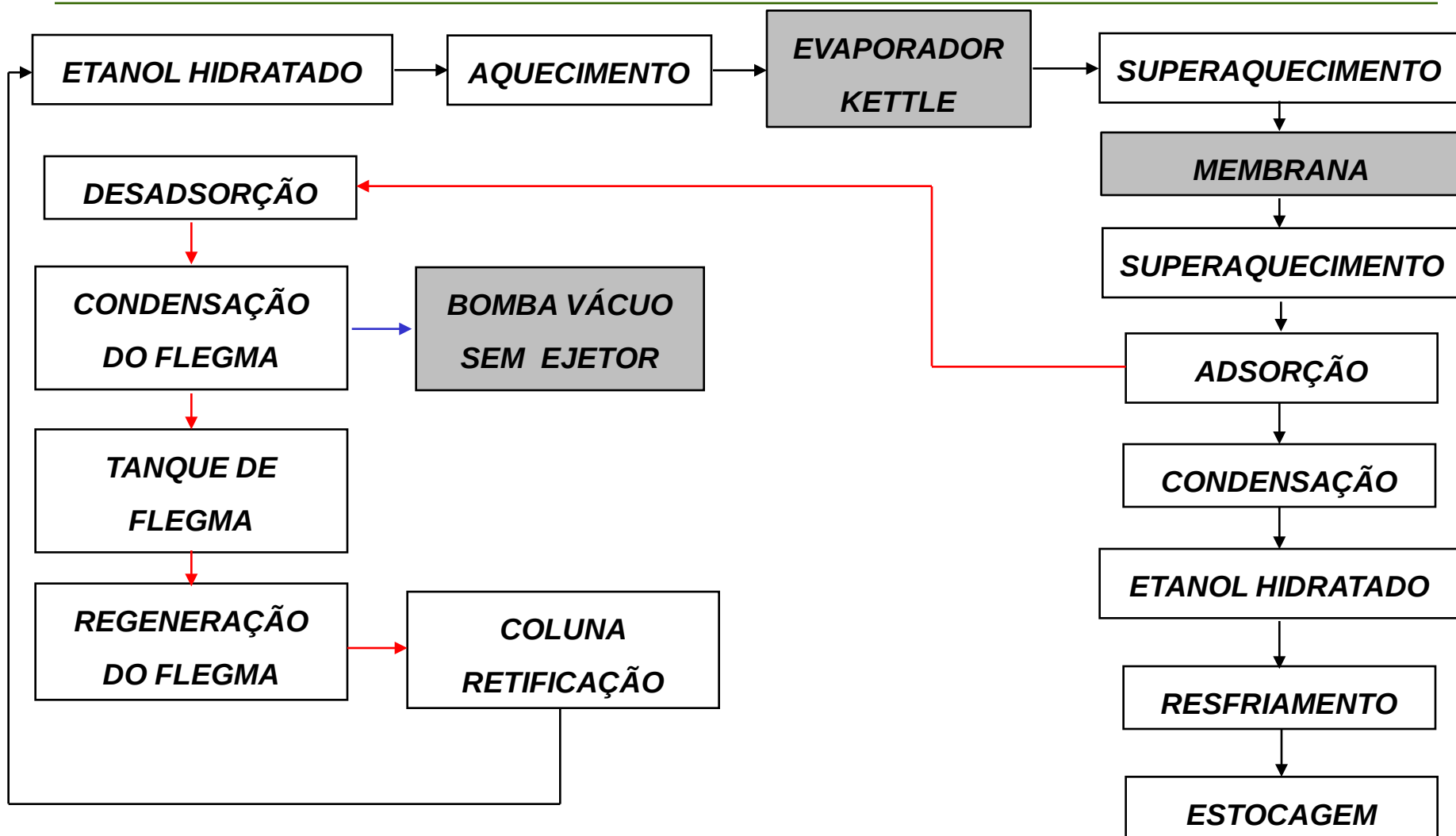
Certificado de Análises

Nº: 26 /2010

Tipo de Álcool:	Etanol Industrial Anidro A2			
Nº do Tanque:	9			
Data da Coleta:	28/10/2010			
Data da Emissão:	28/10/2010			
Volume (litros):	9.567.00			
Nº do Lacre de Entrada:	3920650			
Nº do Lacre da Contra - prova Usina:	3920661			
Análise		Especificações	Resultado	
Massa Específica (20°C)	Kg/m3	Máx.790,3	790,3	IN LAB IT.031
Teor Alcoólico (20°C)	% m/m	Min. 99,7	99,70	IN LAB IT.031
Teor de Etanol	% m/m	Min. 99,0	99,72	CTC-LA-MT2-035 v01
Teor de água	% m/m	Máx.0,300	0,08	ASTM E 203
Acidez total	mg/L	Máx.30	7,70	IN LAB IT.020
Condutividade	uS/m	Máx. 500	23	IN LAB IT.019
pH	-	6,5 à 9,0	6,5	IN LAB IT.022
Sulfato	mg/Kg	Máximo 4	<1	NBR 10894
Cloretos	mg/Kg	Máximo 1	<1	ASTM D 4929B
Cobre	mg/Kg	Máximo 0,07	<0,05	ASTM D 1688
Enxofre	mg/Kg	Máximo 10	2	ASTM D 5453
Aspecto		Límpido	LI	IN LAB IT.021
Cor visual	-	Incolor	Incolor	IN LAB IT.024
Alcalinidade		Negativa	negativo	ASTM D 1613
Odor e Sabor		Característico	Característico	ASTM D 1296
Material Não Volatil	mg/L	Máximo 30	5	ASTM D 1353
Gomas	mg/L	Máximo 50	10	ASTM D 381
Metanol	mg/L	Máximo 300	9,00	IN LAB IT.104
Alcoois Superiores	mg/L	Máximo 1000	351	CTC-LA-MT2-012 v02



PRÓXIMO PASSO: OTIMIZAÇÃO PROCESSO SIDPEM





FUTURO - ESTUDO PENEIRA MOLECULAR OTIMIZADA

3ª Geração SIDPEM

- *Produção 500 m³/dia nominal (600 m³/dia)*
- *Etanol Anidro 99,7 / 99,8 INPM*

3ª Geração SIDPEM Otimizada com Membrana

- *Produção 720 m³/dia (aumento de 20 %)*
- *Etanol Anidro 99,7 / 99,8 INPM pouca variação no consumo H₂O / E.E / VAPOR*





São Manoel

OBRIGADO !

Cristiano Azeredo

Usina Açucareira São Manoel S/A

(14) 3812-1442

cazeredo@saomanoel.com.br