

**UNIVERSIDADE SANTA CECÍLIA**

**ENGENHARIA QUÍMICA**

PRODUÇÃO DE ANIDRIDO FTÁLICO

Felipe de Lara Rocha 140381

Prof° Flávio Nelson Pereira

Santos-SP

Junho/2025

AGRADECIMENTOS

Meus sinceros agradecimentos primeiramente à minha família: Meus pais, que me apoiaram desde o início nessa jornada que foi a escolha de querer trabalhar como engenheiro químico, assim como minha irmã que sempre esteve comigo quando precisei. Agradeço muito o professor orientador deste projeto, caríssimo professor Flávio Nelson Pereira, por todos os esforços em tornar esse trabalho o melhor possível, assim como a todo corpo docente da Engenharia Química da Unisanta que tive o prazer de conhecer e ter aulas com. Meus agradecimentos também aos companheiros de sala de aula que me ajudaram muito quando faltava alguma informação técnica ou quando apenas precisava de algum apoio moral. Sempre lembrarei de quem me ajudou a chegar onde cheguei, onde quer que seja.

**ÍNDICE**

INTRODUÇÃO................................................................................................ 04

DESCRITVO DO PROCESSO....................................................................... 08

BALANÇO DE MASSA................................................................................... 09

LISTAGEM DAS LINHAS................................................................................14

CÁLCULO DE PROPRIEDADES FÍSICO-QUÍMICAS................................... 16

DIMENSIONAMENTO DAS TUBULAÇÕES.................................................. 20

DIMENSIONAMENTO DOS EQUIPAMENTOS.............................................. 22

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS............................................................. . 51

INTRODUÇÃO

Nesta unidade industrial, serão produzidas 520 t/dia de anidrido ftálico a 99,8% de pureza (assim como os subprodutos anidrido maleico e naftoquinona) a partir da oxidação do naftaleno gasoso com oxigênio e catalizador em leito fluidizado.

Além da parte escrita deste trabalho e memorial manual de cálculo, foram utilizadas para fins de facilitar a parte mais repetitiva do processo (assim como agilizar qualquer parte necessária de correção de erros) várias planilhas de apoio. Através dessas em repositório público, o trabalho pode permanecer acessível e atualizado mesmo após anos, e será disponibilizado aqui para efeito de estudos de origens dos resultados mostrados na maior parte das tabelas utilizadas de apoio e demonstração. Abaixo, segue o link para se utilizar na URL e o QR Code para facilitar o acesso.

A qr code on a white background

AI-generated content may be incorrect.

**IMPORTANTE**: Em caso de qualquer divergência de conteúdo, considerar sempre o conteúdo das planilhas.

DESCRITIVO DO PROCESSO

Conta-se com um vaso de armazenamento do naftaleno líquido V-01 a 200°C (para mantê-lo líquido, precisa ser armazenado a 200°C e pressão atmosférica através de uma serpentina que utiliza vapor d’água para aquecimento) disponibilizado à corrente 01 para a bomba B-01 e transportado à fornalha F-01, para a geração do naftaleno gasoso necessário à oxidação no reator de leito fluidizado R-01. Em paralelo, a corrente de ar disponibilizada pelo compressor C-01 será aquecida pelo trocador TC-01 (através do vapor de caldeira) a uma temperatura de 240°C e enviada ao R-01 após misturar-se com o naftaleno da corrente 03.

Após aquecimento do naftaleno líquido na corrente 01 da F-01, com calor fornecido por vapor d’água, a corrente 03 de saída da fornalha misturar-se-á com o ar aquecido da corrente 04 na entrada do R-01.

No R-01, com catalizador dióxido de vanádio suportado em sílica gel e trabalhando a uma temperatura de 263°C, ocorrem espontaneamente cinco reações, com aproximadamente 100% de conversão na reação do naftaleno com o ar em excesso, gerando (o total de naftaleno) de 70% a 85% de anidrido ftálico, de 6% a 10% de anidrido maleico e os gases dióxido de carbono e monóxido de carbono das combustões total (15%) e parcial (5%) do naftaleno que também ocorrem paralelamente:

(anidrido ftálico)

(anidrido maleico)

(naftoquinona)

(dióxido de carbono)

(monóxido de carbono)

Como as reações são extremamente exotérmicas, faz-se necessário o resfriamento constante do R-01 através de uma serpentina contendo sal fundido, em ciclo fechado movimentado pela bomba B-02 para retorno à entrada da serpentina na base do reator após ser resfriado no trocador TC-02 por meio da água da torre de resfriamento TR-01. Nessa etapa, temos menor custo ao escolher colocar ar como reagente em excesso.

A corrente 06, contendo anidrido ftálico, anidrido maleico, naftoquinona, monóxido de carbono e gases atmosféricos, passará por resfriamento pré-condensação no TC-03 para estar a uma temperatura de saturação para melhor aproveitamento no condensador CS-01 (funcionando como um condensador parcial), onde serão separados os componentes fundíveis e os não fundíveis (como gases leves), sendo os não fundíveis enviados a um sistema externo de tratamento de gases.

Os não fundíveis, na corrente 09 (majoritariamente contendo os anidridos e a naftoquinona), serão enviados à coluna de destilação CL-01, onde o anidrido maleico será extraído pelo topo, condensado pela água da TR-01 e armazenado no tanque TQ-01 como primeiro subproduto.

Através da destilação da CL-01, a corrente de topo sairá a uma temperatura de 191°C na corrente 18 e passará por um condensador de topo TC-04, escoando em seguida ao vaso de acumulação V-02 para evitar cavitação da bomba B-03 que vem em seguida, enviando parte do fluxo pela corrente 10 ao TQ-01 passando pela válvula LV-01 de controle de nível do V-02 e pela válvula LV-05 de controle de nível do TQ-01. Outra parte do escoamento bombeado pela B-03 seguirá como refluxo à CL-01 pela corrente 17, passando pela válvula de controle de vazão FV-01.

No fundo da CL-01, a corrente de base passa pelo refervedor TC-05 e é encaminhado à segunda coluna de destilação CL-02 (corrente 11), para purificação do anidrido ftálico a ser coletado pelo topo a partir da remoção das impurezas pelo fundo.

Na saída de topo da CL-02 (corrente 12), a corrente de ar com 99,8% de pureza de anidrido ftálico será condensada no trocador TC-06, onde uma parte da corrente líquida retorna à CL-02 como refluxo e o restante é armazenado no TQ-02 para posterior envase, sendo vendido como produto líquido.

Na corrente da base da CL-02 (corrente 13), a naftoquinona (junto a demais impurezas em forma de subprodutos pesados) será armazenada no tanque TQ-03, de onde poderá ser vendida.

Para o sistema de refrigeração do processo, temos água de torre de resfriamento na TR-01 com saída de fundo ligada à bomba B-07, escoando a água fria aos seguintes equipamentos:

* TC-06 para condensação total da corrente 16, passando pela válvula de controle de fluxo FV-06;
* TC-04 para condensação total da corrente 18, passando pela válvula de controle de fluxo FV-05;
* CS-01 para condensação parcial da corrente 07, passando pela válvula de controle de fluxo FV-08;
* TC-03 para condensação total da corrente 06, passando pela válvula de controle de fluxo FV-09;

Após passar pelos equipamentos resfriamento de fluido quente, a água da torre retornará aquecida à TR-01 para fechar o ciclo.

A diagram of a machine

AI-generated content may be incorrect.

BALANÇO DE MASSA

Considerando uma produção de 520 toneladas diárias de anidrido ftálico a 99,8% de pureza (ou 21666,67kg/h), teremos o seguinte balanço de massa com reação:

Como temos uma conversão de 70% do naftaleno em Anidrido Ftálico e a corrente 1 (com 100% de naftaleno na composição) representa todo o abastecimento de naftaleno no sistema, temos:

Tendo o restante do naftaleno convertendo-se em anidrido maleico (C4H2O3) e naftoquinona (C10H6O2), teremos a seguinte proporcionalidade e vazão de saída de reator:

Aplicando as quantidades em cada reação dos subprodutos, calculamos a quantidade de oxigênio consumido:

Como temos apenas 21% de oxigênio no ar que alimenta o reator e este precisa de um excesso de 80%:

Logo, na entrada do reator, considerando no ar 79% de gás nitrogênio e 21% de gás oxigênio, teremos:

Com o balanço de massa da estequiometria feita nas reações de produto e subprodutos, temos seguinte vazão e percentuais na corrente 6:

|  |  |  |
| --- | --- | --- |
| **Substância** | **%mássica (em %)** | **Vasão (em kg/h)** |
| Gás oxigênio | 8,86 | 31.347,23 |
| Gás nitrogênio | 75,03 | 265.331,93 |
| Anidrido Ftálico | 6,13 | 21.797,45 |
| Anidrido Maleico | 1,04 | 3.689,19 |
| Naftoquinona | 0,09 | 330,44 |
| Dióxido de Carbono | 8,01 | 28.342,33 |
| Monóxido de Carbono | 0,83 | 2.927,93 |
| **Total** | **100,00** | **353.635,72** |

No CS-01, haverá a separação e serão condensados o anidrido ftálico (C8H4O3), anidrido maleico (C4H2O3) e naftoquinona (C10H6O2), enviados à corrente 09, e os que irão ao tratamento de gases pela corrente 08:

A diagram of a chemical plant

AI-generated content may be incorrect.

Se as porcentagens de Anidrido Maleico se aproximam de 14,36% na corrente 09, 97,4% na corrente 10, 0,014 na corrente 12 e 0% na corrente 13, através do BMP do anidrido obtemos as vazões:

Para cumprir com a vazão diária de 520 t/dia de anidrido ftálico a 99,8% de pureza, a corrente 16 precisará de uma vazão de 21666,67kg/h:

Com uma razão de refluxo ideal de 6,83 na CL-01, temos:

Com uma razão de refluxo ideal de 6,83 na CL-02, temos:

Exercendo o cálculo para todas as linhas utilizando a planilha de apoio (assim como utilizando o solver para cálculo de vasão da linha 06 para que fossem geradas as 520 toneladas diárias de anidrido ftálico a 99,8%, como visível nas células destacadas em verde, utilizadas como objetivo e número móvel de tentativa e erro), temos as seguintes vazões totais e individuais (separadas por reagentes e produtos):

* Reagentes:

|  |  |  |  |  |
| --- | --- | --- | --- | --- |
|  | kg/h | kg/h | kg/h | kg/h |
| Linhas | Vazão | Naftaleno | Oxigênio | Nitrogênio |
| 1 | 026.931,21 | 026.931,21 | 000.000,00 | 000.000,00 |
| 2 | 337.890,54 | 000.000,00 | 070.957,01 | 266.933,53 |
| 3 | 026.931,21 | 026.931,21 | 000.000,00 | 000.000,00 |
| 4 | 337.890,54 | 000.000,00 | 070.957,01 | 266.933,53 |
| 5 | 364.821,76 | 026.931,21 | 070.957,01 | 266.933,53 |
| 6 | 355.770,34 | 000.000,00 | 031.536,45 | 266.933,53 |
| 7 | 355.770,34 | 000.000,00 | 031.536,45 | 266.933,53 |
| 8 | 329.929,00 | 000.000,00 | 031.536,45 | 266.933,53 |
| 9 | 025.841,34 | 000.000,00 | 000.000,00 | 000.000,00 |
| 10 | 003.806,76 | 000.000,00 | 000.000,00 | 000.000,00 |
| 11 | 022.034,58 | 000.000,00 | 000.000,00 | 000.000,00 |
| 12 | 021.666,66 | 000.000,00 | 000.000,00 | 000.000,00 |
| 13 | 000.367,92 | 000.000,00 | 000.000,00 | 000.000,00 |
| 14 | 000.457,98 | 000.000,00 | 000.000,00 | 000.000,00 |
| 15 | 052.649,98 | 000.000,00 | 000.000,00 | 000.000,00 |
| 16 | 074.316,64 | 000.000,00 | 000.000,00 | 000.000,00 |
| 17 | 026.000,16 | 000.000,00 | 000.000,00 | 000.000,00 |
| 18 | 029.806,92 | 000.000,00 | 000.000,00 | 000.000,00 |
| 19 | 150.496,19 | 000.000,00 | 000.000,00 | 000.000,00 |
| 20 | 000.894,05 | 000.000,00 | 000.000,00 | 000.000,00 |
| 21 | 001.261,97 | 000.000,00 | 000.000,00 | 000.000,00 |
| 22 | 172.530,78 | 000.000,00 | 000.000,00 | 000.000,00 |

* Produtos e subprodutos:

|  |  |  |  |  |  |  |
| --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- |
|  | kg/h | kg/h | kg/h | kg/h | kg/h | kg/h |
| Linhas | Vazão | Anidrido Ftálico | Anidrido Maleico | Naftoquinona | Dióxido de Carbono | Monóxido de carbono |
| 1 | 026.931,21 | 000.000,00 | 000.000,00 | 000.000,00 | 000.000,00 | 000.000,00 |
| 2 | 337.890,54 | 000.000,00 | 000.000,00 | 000.000,00 | 000.000,00 | 000.000,00 |
| 3 | 026.931,21 | 000.000,00 | 000.000,00 | 000.000,00 | 000.000,00 | 000.000,00 |
| 4 | 337.890,54 | 000.000,00 | 000.000,00 | 000.000,00 | 000.000,00 | 000.000,00 |
| 5 | 364.821,76 | 000.000,00 | 000.000,00 | 000.000,00 | 000.000,00 | 000.000,00 |
| 6 | 355.770,34 | 021.797,45 | 003.711,46 | 000.332,43 | 028.513,42 | 002.945,60 |
| 7 | 355.770,34 | 021.797,45 | 003.711,46 | 000.332,43 | 028.513,42 | 002.945,60 |
| 8 | 329.929,00 | 000.000,00 | 000.000,00 | 000.000,00 | 028.513,42 | 002.945,60 |
| 9 | 025.841,34 | 021.797,45 | 003.711,46 | 000.332,43 | 000.000,00 | 000.000,00 |
| 10 | 003.806,76 | 000.085,57 | 003.708,42 | 000.012,77 | 000.000,00 | 000.000,00 |
| 11 | 022.034,58 | 021.711,88 | 000.003,04 | 000.319,66 | 000.000,00 | 000.000,00 |
| 12 | 021.666,66 | 021.623,33 | 000.003,04 | 000.040,29 | 000.000,00 | 000.000,00 |
| 13 | 000.367,92 | 000.088,56 | 000.000,00 | 000.279,37 | 000.000,00 | 000.000,00 |
| 14 | 000.457,98 | 000.000,00 | 000.000,00 | 000.000,00 | 000.000,00 | 000.000,00 |
| 15 | 052.649,98 | 052.544,68 | 000.007,39 | 000.097,91 | 000.000,00 | 000.000,00 |
| 16 | 074.316,64 | 074.168,01 | 000.010,43 | 000.138,20 | 000.000,00 | 000.000,00 |
| 17 | 026.000,16 | 000.584,42 | 025.328,49 | 000.087,25 | 000.000,00 | 000.000,00 |
| 18 | 029.806,92 | 000.669,99 | 029.036,90 | 000.100,03 | 000.000,00 | 000.000,00 |
| 19 | 150.496,19 | 148.292,16 | 000.020,77 | 002.183,26 | 000.000,00 | 000.000,00 |
| 20 | 000.894,05 | 000.215,19 | 000.000,00 | 000.678,86 | 000.000,00 | 000.000,00 |
| 21 | 001.261,97 | 000.303,75 | 000.000,00 | 000.958,22 | 000.000,00 | 000.000,00 |
| 22 | 172.530,78 | 170.004,05 | 000.023,81 | 002.502,92 | 000.000,00 | 000.000,00 |

CÁLCULO DE PROPRIEDADES FÍSICO-QUÍMICAS

Para fins de demonstração geral do cálculo utilizado em todas as linhas do processo de produção do anidrido ftálico, utilizaremos de exemplo o cálculo de viscosidade dinâmica, densidade, calor específico e condutividade térmica das linhas 1 (para fluidos líquidos) e 3 (para fluidos gasosos), já que a única diferença entre os cálculos dessas linhas, que não possuem misturas, e as demais é a etapa de média ponderada, multiplicando o resultado da respectiva parte da mistura para a propriedade físico-química em questão pela razão entre a vasão mássica dessa parte da mistura e a vasão mássica total da linha. Para as demais linhas, disponibilizamos a planilha de apoio.

* Linha 1 – Estado líquido:

Viscosidade dinâmica:

Densidade:

**∴**

**∴**

Condutividade Térmica:

**∴**

* Linha 3 – Estado gasoso:

Viscosidade dinâmica:

Densidade:

**∴**

Calor Específico:

Condutividade Térmica:

**∴**

Exceções:

* Corrente 02 com propriedades estimadas diretamente pelo Perry 5ª edição, como viscosidade dinâmica (0,015 cP – pg. 213), calor específico (0,25 BTU/(lb°F) – pg. 138) e condutividade térmica (0,023 W/(m.K) – pg. 217)
* Corrente 04 com propriedades estimadas diretamente pelo Perry 5ª edição, como viscosidade dinâmica (0,235 cP – pg. 213), calor específico (0,26 BTU/(lb°F) – pg. 138) e condutividade térmica (0,042 W/(m.K) – pg. 217)
* Corrente 06 com condutividade da água estimada pelo Perry 5ª edição, página 217
* Corrente 07 com viscosidade do oxigênio estimada pelo Perry 5ª edição, página 213
* Corrente 08 com viscosidades estimadas pelo Perry 5ª edição, página 213; Reid página 256
* Corrente 10 com calor específico estimado através do trabalho de Projetos Químicos II Produção de anidrido ftálico/2001
* Corrente 11 com calor específico estimado através do Reid, página 140

DIMENSIONAMENTO DAS TUBULAÇÕES

Através da tabela schedule e do roteiro de cálculo padrão de dimensionamento de tubulações, ambos disponíveis no livro Projetos Químicos e Petroquímicos (do professor Flávio Nelson), estimamos a velocidade real, o número da classificação Schedule de cada tubo e seus respectivos diâmetros internos, nominais e externos que serão utilizados no restante dos cálculos necessários para o dimensionamento dos equipamentos requeridos pelo processo produtivo do anidrido ftálico.

Inicialmente, calcula-se o diâmetro interno através da fórmula (página 86 do livro Projetos Químicos e Petroquímicos):

Para estimar as velocidades recomendadas, devemos respeitar os limites superiores e inferiores da tabela da página 87. Uma vez que o balanço de massa disponibiliza as vazões mássicas e a estimativa das propriedades físicas nos trás as vazões volumétricas através das densidades médias de cada linha, é possível obter a vazão em m³/h, converter para gpm e assim chegar ao diâmetro interno para conseguirmos estimar com auxílio da tabela da página 226 os diâmetros nominais, externos e as velocidades reais.

Para agilizar os cálculos, uniformizar e evitar erros, foi utilizada uma planilha manual, gerando os seguintes resultados de velocidades e diâmetros:

|  |  |  |  |  |  |  |  |
| --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- |
|  | m³/h | ft/s | ft/s |  | in | in | ft/s |
| Linhas | Vazão volumétrica | velocidade recomendada | velocidade adotada | Schedule | Dint | Dnominal | velocidade real |
| 1 | 000.031,292 | 3 a 5 | 4,0 | 10S | 3,749 | 4,00 | 3,51 |
| 2 | 142.538,604 | 65 a 170 | 140,0 | XS | 42,766 | 40,00 | 160,03 |
| 3 | 003.018,087 | 65 a 170 | 65,0 | 10S | 9,133 | 9,00 | 66,93 |
| 4 | 128.105,840 | 65 a 170 | 140,0 | XS | 40,543 | 40,00 | 143,83 |
| 5 | 136.088,503 | 65 a 170 | 140,0 | XS | 41,787 | 40,00 | 152,79 |
| 6 | 158.968,743 | 65 a 170 | 160,0 | XS | 42,247 | 45,00 | 141,02 |
| 7 | 120.824,058 | 65 a 170 | 130,0 | XS | 40,860 | 40,00 | 135,65 |
| 8 | 148.401,541 | 65 a 140 | 140,0 | XS | 43,637 | 45,00 | 131,65 |
| 9 | 000.018,210 | 3 a 5 | 4,5 | 40S | 2,696 | 3,00 | 3,63 |
| 10 | 000.003,109 | 2,5 a 3,5 | 2,5 | 40S | 1,495 | 2,00 | 1,40 |
| 11 | 000.016,790 | 3 a 5 | 4,0 | 5S | 2,746 | 3,00 | 3,35 |
| 12 | 000.015,736 | 3 a 5 | 4,0 | 5S | 2,658 | 3,00 | 3,14 |
| 13 | 000.000,264 | 1,5 a 2,5 | 1,5 | 10S | 0,562 | 0,50 | 1,90 |
| 14 | 000.000,231 | 2 a 4 | 3,0 | 40S | 0,372 | 0,38 | 2,95 |
| 15 | 000.038,238 | 3 a 5 | 4,0 | 40S | 4,144 | 4,00 | 4,29 |
| 16 | 055.259,141 | 65 a 140 | 130,0 | 60 | 27,633 | 30,00 | 110,30 |
| 17 | 000.021,234 | 3 a 5 | 5,0 | 40S | 2,762 | 3,00 | 4,24 |
| 18 | 011.121,986 | 65 a 140 | 130,0 | 5S | 12,397 | 12,00 | 138,74 |
| 19 | 069.998,229 | 65 a 140 | 130,0 | ST | 31,101 | 30,00 | 139,71 |
| 20 | 000.282,035 | 65 a 140 | 130,0 | 40S | 1,974 | 2,00 | 126,66 |
| 21 | 000.000,906 | 2 a 4 | 2,0 | 10S | 0,902 | 0,75 | 2,89 |
| 22 | 000.131,466 | 2 a 4 | 3,0 | 10S | 8,872 | 8,00 | 3,69 |

DIMENSIONAMENTO DOS EQUIPAMENTOS

**Fornalha**

A diagram of a liquid

AI-generated content may be incorrect.

Na fornalha F-01, onde teremos a passagem de fase de líquido para gasoso do naftaleno a ser utilizado como reagente, o intuito não é detalhar seu funcionamento ou dados que veremos em outros equipamentos, como altura, diâmetro, entre outros, mas sim o calor que deverá ser fornecido ao naftaleno através da queima de combustível. Assim, calcula-se o calor fornecido através da entalpia de vaporização, a 400°C:

Tanques

|  |  |
| --- | --- |
| A diagram of a building  AI-generated content may be incorrect. | A diagram of a tank  AI-generated content may be incorrect. |

Para o cálculo de volume dos tanques, considera-se a vazão volumétrica das entradas (em m³/h) para um tempo de serviço de segurança de dois dias ininterruptos de operação sem descarga. Para economia de material na montagem do tanque, a altura deve equivaler ao diâmetro. Considerando essas adaptações do roteiro de cálculo, temos a equação:

|  |  |
| --- | --- |
| **V-01** | **TQ-01** |
|  |  |
| **TQ-02** | **TQ-03** |
|  |  |

Já para os vasos de acúmulo de Anidrido maleico e ftálico, V-02 e V-03, utiliza-se um tempo máximo de 2 horas sem descarga como referência:

|  |  |
| --- | --- |
| **A diagram of a flowchart  AI-generated content may be incorrect.** | **A diagram of a flowchart  AI-generated content may be incorrect.** |
| **V-02** | **V-03** |
|  |  |

**Compressor**

A drawing of a machine

AI-generated content may be incorrect.

Para o dimensionamento do compressor C-01, este trabalho embasa-se em uma planilha auxiliar de cálculo de head politrópico, rendimento e rotação. As tabelas a seguir demonstram as propriedades e dados da entrada, da saída e os resultados principais de forma superficial, porém a planilha que demonstra o roteiro de cálculo de forma integral ficará disponível nos anexos.

1. Entradas:

|  |  |  |  |  |  |
| --- | --- | --- | --- | --- | --- |
| **Composto** | **Cp(kcal/kg°C)** | **MW(kg/kmol)** | **Y(%/100)** | **Tc[°C]** | **Pc[atm-a]** |
| **Mistura** | 0,51 | 28,84 | 1 | 475,25 | 40 |
| **O2** | 0,51 | 32 | 0,21 | 475,25 | 40 |
| **N2** | 0,51 | 28 | 0,79 | 475,25 | 40 |

|  |  |
| --- | --- |
| **n[kmol/h]** | **PvH2O[atm]** |
| 933,8146046 | 0,031271981 |
| **Cv[kcal/(kmol°C)]** | **Y(H2O)** |
| 12,7224 | 0 |
| **k [Cp/Cv]** | **Tr[°C]e** |
| 1,156102622 | 0,398383218 |
| **Ve[Nm³/h]** | **Pr[atm-a]e** |
| 18949,76885 | 0,025 |
| **Ve[Am³/h]** | **Q[Kg/h]** |
| 18739,8333 | 26931,213197026 |

1. Saídas:

|  |  |
| --- | --- |
| **Ve[10³Aft³/min]** | **Pr[atm-a]s** |
| 11,02984946 | 0,0775 |
| **Rendimento[η]** | **Ps[Atmg]** |
| 0,746707887 | 2,1 |
| **Ts(adiabático)[°C]** | **Ts [°C]** |
| 74,21085034 | 92,6858257 |
| **Hpoli [ft]** | **Hpoli[η=100%]** |
| 261377,937 | 254496,2136 |
| **ρ [kg/m³]** | **W(Lb/min)** |
| 1,421970409 | 990,097943 |
| **BHP [hp]** | **BHP (η=100%) [hp]** |
| 10502,25129 | 10225,74138 |
| **Ua[ft/s]** | **Nst(η=100%)[Estágios]** |
| 984,3600751 | 20,42587133 |
| **U[ft/s]** |  |
| 885,9240676 |  |
| **Nst[Estágios]** | **Arredondamento** |
| 20,97819858 | 21 |
| **Ureal(Arred.)[ft/s]** | **Ureal(η=100%)** |
| 885,4640815 | 873,7298007 |
| **N[RPM]** | **N(η=100%)[RPM]** |
| 6336,602333 | 6252,628886 |
| **Ns(Vel. Especif.)** | **Ns(η=100%)** |
| 7,473660391 | 7,523679025 |
| **Ds(Dia. Especif.)** | **Ds(η=100%)** |
| 4,422393296 | 4,392992511 |

**Reator de leito fluidizado**

Diagram of a machine with a diagram

AI-generated content may be incorrect.

O reator de leito fluidizado R-01, assim como seu sistema de resfriamento da reação exotérmica através da serpentina que sai na corrente 14, também são calculados pela planilha auxiliar que inclui o balanço de massa e as propriedades físicas, e é calculado com auxílio de propriedades físico-químicas (como, por exemplo, o λb) estimadas por Fogler, página 725 e pelo trabalho de conclusão de curso Produção de Anidrido Ftálico – Unisanta/1999. Segue o roteiro de cálculo para dimensionamento:

1. Porosidade no ponto de mínima fluidização:  
     
   Eq. 12-107 – Página 723

1. Velocidade mínima de fluidização:  
   Eq. 107-108 – Página 724

1. Difusividades de reagente (Da) e produto (Db):

1. Tamanho da bolha:  
   Eq. 109 – Página 724
2. Velocidade de ascensão da bolha:  
   Eq. 111 – Página 724
3. Volume de catalisador nas bolhas:  
   Página 725 – 0,01>λb>0,001 **∴**  λb=0,005 e =0,6
4. Fração do leito ocupada pelas bolhas:  
   Eq.114 página 725
5. Volume de catalisador na fase particulada:  
   Eq.116 página 725
6. Coeficientes de transferência:  
   Eq.112-113 página 724  
     
   Para os reagentes:

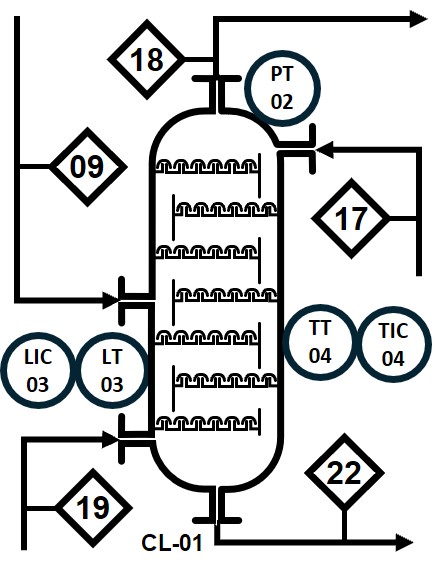
Para os produtos:

1. Cálculo da altura do leito fluidizado:

Adotando uma altura de 5 metros de leito em descanso, com εm=0,52 e dte=1m, temos:

1. Tempo de residência no leito:

**Colunas de destilação**



Depois da geração do anidrido ftálico e subprodutos maleico e naftoquinona (assim como separação dos gases que irão para tratamento), as colunas de destilação separarão os produtos para serem armazenados nos tanques. Para a CL-01 e CL-02, o cálculo de altura, diâmetro, número de pratos teóricos e reais e condições de operação que serão utilizados posteriormente no balanço de energia para o ciclo de resfriamento apoiar-se-á em outra planilha de apoio, também disponibilizada para consulta, através do método de FUGK.

Segue as entradas, condições de operação e demais dimensionamentos da CL-01:

|  |  |  |  |  |  |  |  |
| --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- |
| **DADOS** | | | | | **Eq. De Antoine (Pvi)** | | |
| **%molar→ ↓Componente** | **Resíduo (bi)** | **Feed (zi)** | **Destilado (di)** | **ρL [kg/m³]** | **Ai** | **Bi** | **Ci** |
| **Ftálico** | 0,985000 | 0,843000 | 0,022500 | 1451,27 | 3,10762 | 1249,606 | -159,288 |
| **Maleico** | 0,000138 | 0,143000 | 0,974000 | 1230,00 | 3,79916 | 1431,009 | -101,093 |
| **Naftoquinona** | 0,014500 | 0,013000 | 0,033560 | 1420,00 | 4,35651 | 1683,026 | -40,454 |

|  |  |  |  |  |  |
| --- | --- | --- | --- | --- | --- |
| **P [kPa]** | **qfeed [1-λ]** | **R (em Rmín)** | **t(E0) [m]** | **μF [cP]** | **F [kmol/h]** |
| 141,855 | 1 | 2 | 0,5 | 0,38343 | 183,34 |

Através do Solver da planilha de apoio, estima-se as temperaturas de topo, alimentação e fundo:

|  |  |  |
| --- | --- | --- |
| **Fenske NTEÓRICO** | **. Underwood . [θ] [Rmín]** | |
| **14,1942** | **2,0000000** | **4,477608772** |

|  |  |  |  |
| --- | --- | --- | --- |
| **R [f(Rmín)]** | **Gilliland NESTÁGIOS** | **Hmín [m]** | **N [pratos]** |
| **8,9552** | **19,9042** | **20,1911** | **37** |

|  |  |  |
| --- | --- | --- |
| **Kirkbride** | | |
| **NR [f(NS)]** | **NS [estágios]** | **NR [estágios]** |
| **9,76870825** | **3,528742643** | **34,47125736** |
| **Alimentação no 34° prato (a partir do topo)** | **4 estágios de stripping (3 pratos + 1 refervedor)** | **34 estágios de retificação** |
|  |
|  |
|  |
| **ρB [kg/m³]** | **ρZ [kg/m³]** | **ρD [kg/m³]** |  |
| **1450,751914** | **1425,297922** | **1244,55425** |  |
| **MWv(B)** | **MWv(F)** | **MWv(D)** |  |
| **148,084524** | **140,832** | **104,08448** |  |
| **ρV [kg/m³]** | **uV [m/s]** | **Vf(R,D) [kg/h]** |  |
| **2,822394886** | **0,987741954** | **269,2747231** |  |
| **ρV(TOPO) [kg/m³]** | **QV [m³/s]** | **DCOLUNA [m]** |  |
| **2,408943589** | **3,231859216** | **2,0411** |  |

CL-02:

|  |  |  |  |  |  |  |  |
| --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- |
| **DADOS** | | | | | **Eq. De Antoine (Pvi)** | | |
| **%molar→ ↓Componente** | **Resíduo (bi)** | **Feed (zi)** | **Destilado (di)** | **ρL [kg/m³]** | **Ai** | **Bi** | **Ci** |
| **Ftálico** | 0,240694 | 0,985355 | 0,998000 | 1451,27 | 3,10762 | 1249,606 | -159,288 |
| **Maleico** | 0,000000 | 0,000138 | 0,000140 | 1230,00 | 3,79916 | 1431,009 | -101,093 |
| **Naftoquinona** | 0,759306 | 0,014507 | 0,001860 | 1420,00 | 4,35651 | 1683,026 | -40,454 |

|  |  |  |  |  |  |
| --- | --- | --- | --- | --- | --- |
| **P [kPa]** | **qfeed [1-λ]** | **R (em Rmín)** | **t(E0) [m]** | **μF [cP]** | **F [kmol/h]** |
| 141,855 | 1 | 2 | 0,5 | 0,38343 | 183,34 |

Através do Solver da planilha de apoio, estima-se as temperaturas de topo, alimentação e fundo:

|  |  |  |
| --- | --- | --- |
| **Fenske NTEÓRICO** | **. Underwood . [θ] [Rmín]** | |
| **6,0243** | **0,1900000** | **1,875769515** |

|  |  |  |  |
| --- | --- | --- | --- |
| **R [f(Rmín)]** | **Gilliland NESTÁGIOS** | **Hmín [m]** | **N [pratos]** |
| **2,8137** | **10,9326** | **7,6039** | **12** |

|  |  |  |
| --- | --- | --- |
| **Kirkbride** | | |
| **NR [f(NS)]** | **NS [estágios]** | **NR [estágios]** |
| **3,10458411** | **3,167190548** | **9,832809452** |
| **Alimentação no 9° prato (a partir do topo)** | **4 estágios de stripping (3 pratos + 1 refervedor)** | **9 estágios de retificação** |
|  |
|  |
|  |
| **ρB [kg/m³]** | **ρZ [kg/m³]** | **ρD [kg/m³]** |  |
| **1427,025678** | **1450,751863** | **1451,182302** |  |
| **MWv(B)** | **MWv(F)** | **MWv(D)** |  |
| **155,6025903** | **148,1381552** | **148,0115791** |  |
| **ρV [kg/m³]** | **uV [m/s]** | **Vf(R,D) [kg/h]** |  |
| **716,8968369** | **0,045417282** | **536,3114575** |  |
| **ρV(TOPO) [kg/m³]** | **QV [m³/s]** | **DCOLUNA [m]** |  |
| **710,9109154** | **0,031016664** | **0,9325** |  |

**Trocadores de calor**

Para o dimensionamento dos trocadores de calor, utilizamos o método de Kern, disponibilizado roteiro de cálculo na íntegra na planilha de apoio. A planilha segue a planilha de cálculos tal como um livro, etapa por etapa da esquerda para a direita, de cima para baixo. Levando isso em conta, eis os resultados da aplicação do método para os trocadores em questão:

* TC-01

|  |  |  |  |  |  |  |  |  |
| --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- |
|  | **Inserção de dados** | | | | | | | |
| **Qtrocador [kcal/h]** | **Fluído quente** | | | | **Fluído frio** | | | |
| **W [kg/h]** | **Cp [kcal/(kgK)]** | **Te [°C]** | **Ts [°C]** | **W [kg/h]** | **Cp [kcal/(kgK)]** | **te [°C]** | **ts [°C]** |
|  | 50045,70818 | 1 | 254 |  | 337890 | 0,25 | 25 | 240 |
| **Passes (casco)** | **Trocador** | | **Rd(req.) [h.ft²°F/BTU]** | **Tubo [in]** |  |  | **Pitch [in]** |  |
| **Fluído 1** | **Fluído 2** | **BWG** | **Ltrocador [ft]** | **B [in]** |
| 1 | Vapor | Orgânico Leve (Líq.) | 0,02 | 1 | 14 | 33,45 | 5/4T | 9 |
| **Localização:** | Casco | **Tubos** | **Água de resfriamento nos tubos?** | | |  |  |  |
| **v [ft/s]** |  | 160,0000 | Não | | |  |  |  |
| **ρ [Lb/ft³]** | 5,73E-05 | 0,148 |  |  |  |  |  |  |
| **μ [cP]** | 0,02 | 0,015 |  |  |  |  |  |  |
| **k [BTU/(h.ft²°F)** | 0,33 | 0,023 |  |  |  |  |  |  |

Após a etapa da transcrição, a tabela faz uma homogeneização das unidades, pois há várias formas de preencher essa tabela. Após o processo, as unidades da maior parte dos cálculos são convertidos ao sistema americano de unidades através de constantes dentro das próprias células.

|  |  |  |  |  |  |  |  |  |
| --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- |
|  | **Transcrição e homogeneização dos dados** | | | | | | | |
| **Qtrocador [kcal/h]** | **Fluído quente** | | | | **Fluído frio** | | | |
| **W [kg/h]** | **Cp [kcal/(kgK)]** | **Te [°C]** | **Ts [°C]** | **W [kg/h]** | **Cp [kcal/(kgK)]** | **Te [°C]** | **Ts [°C]** |
| **12.711.609,879** | **50.045,708** | **1** | **254** | **254** | **337.890,000** | **0,25** | **25** | **240** |
| **50.410.009,670** | **110.331,900** | **1** | **489,2** | **489,2** | **744.919,938** | **0,25** | **77** | **464** |
|  |  |  |  |  | **Tabelados** | | | |
| **LMDT [°C]** | **LMDT [°F]** | **P** | **R** | **Ft** | **Rd [h.ft²°F/BTU]** | **Ud [BTU/(h.ft²°F)]** | **rd [h.ft²°F/BTU]** | **ud [BTU/(h.ft²°F)]** |
| **282,527** | **508,549** | **0,938864629** | **1,68790698** | **1,0000000** | **0,001** | **135** | **0,001** | **135** |
| **Uc [BTU/(h.ft²°F)]** | **Ud [BTU/(h.ft²°F)]** | **A [ft²]** | **di [in]** | **a't [in²]** | **a''t [in²]** | **Ntubos / passe** | **Passes (tubos)** | **Tubos** |
| **156,0693642** | **37,86816269** | **2617,638** | **0,834** | **1,092** | **0,5236** | **97** | **2** | **194** |
| **Passes (tabela)** | **Tubos** | **Nreal** | **Dcasco [in]** | **Dotl do feixe [in]** | **Deq(casco) [in]** | **Dcasco [ft]** | **Bmax [ft]** | **Bmin [ft]** |
| **2** | **1** | **230** | **23,25** | **21,5** | **0,72** | **0,060000** | **23,25** | **4,65** |

|  |  |  |
| --- | --- | --- |
| **Uc [BTU/(h.ft²°F)]** | **Rd** | **Status (Rd)** |
| **43,50358535** | **0,0034208** | **Aprovado** |

|  |  |
| --- | --- |
| **Rating** | |
| **Tubos:** | **Casco:** |
| **B [in]** | **C' [in]** |
| **2,5** | **0,25** |
| **At [ft²]** | **As [ft²]** |
| **0,872083333** | **0,100911458** |
| **Gt [Lb/(hft²)]** | **Gs [Lb/(hft²)]** |
| **854184,3528** | **1093353,542** |
| **Ret** | **Res** |
| **1635421,833** | **1355396,953** |
| **Prt** | **Prs** |
| **0,394565217** | **0,146666667** |
| **hi [BTU/(h.ft²°F)** | **ho [BTU/(h.ft²°F)** |
| **53,17403248** | **2287,051174** |
| **hio [BTU/(h.ft²°F)** | **N chicanas** |
| **44,34714309** | **159** |
| **ft** | **fs** |
| **7,42106E-05** | **0,00084191** |
| **∆Pt [psi]** | **∆Ps [psi]** |
| **6,12402066** | **7,471160799** |
| **Status (∆Pt)** | **Status (∆Ps)** |
| **Aprovado** | **Aprovado** |

Por fim, o rating determina Reynolds, Prandt, coeficiente de película, perda de carga e outros componentes importantes do dimensionamento que podem impactar o resto do cálculo dos outros equipamentos, tubulações, balanço de energia e até de massa.

Para os demais reatores, a exemplo deste, os dimensionamentos de mesma origem serão resumidos, porém continuam na integra em planilhas separadas no material de apoio.

* TC-02

Trocador 1-2 resfriador do sal fundido utilizado na refrigeração do R-01, com sal fundido no casco e água da torre de resfriamento nos tubos, com tubos 1’’ BWG 14, pitch triangular de 5/4’’. Propriedades encontradas no arquivo Trocador TC-02.

|  |  |
| --- | --- |
| **Rating** | |
| **Tubos:** | **Casco:** |
| **B [in]** | **C' [in]** |
| **9** | **0,42** |
| **At [ft²]** | **As [ft²]** |
| **0,1194375** | **0,3478125** |
| **Gt [Lb/(hft²)]** | **Gs [Lb/(hft²)]** |
| **14714783,88** | **2902911,485** |
| **Ret** | **Res** |
| **422593,9999** | **5536385,54** |
| **Prt** | **Prs** |
| **4,18830045** | **0,019237016** |
| **hi [BTU/(h.ft²°F)** | **ho [BTU/(h.ft²°F)** |
| **1366,217998** | **4461,95037** |
| **hio [BTU/(h.ft²°F)** | **N chicanas** |
| **1139,42581** | **44** |
| **ft** | **fs** |
| **0,000104963** | **0,000646201** |
| **∆Pt [psi]** | **∆Ps [psi]** |
| **0,329376774** | **0,461481969** |
| **Status (∆Pt)** | **Status (∆Ps)** |
| **Aprovado** | **Aprovado** |

* TC-03

Trocador 1-5 resfriador do sal fundido utilizado na refrigeração do R-01, com sal fundido no casco e água da torre de resfriamento nos tubos, com tubos 1’’ BWG 14, pitch triangular de 5/4’’. Propriedades encontradas no arquivo Trocador TC-02.

|  |  |
| --- | --- |
| **Rating** | |
| **Tubos:** | **Casco:** |
| **B [in]** | **C' [in]** |
| **9** | **0,42** |
| **At [ft²]** | **As [ft²]** |
| **0,112233333** | **0,5053125** |
| **Gt [Lb/(hft²)]** | **Gs [Lb/(hft²)]** |
| **15659313,93** | **704060,0421** |
| **Ret** | **Res** |
| **449719,9662** | **786307,8424** |
| **Prt** | **Prs** |
| **4,18830045** | **0,441426497** |
| **hi [BTU/(h.ft²°F)** | **ho [BTU/(h.ft²°F)** |
| **1366,217998** | **236,7840218** |
| **hio [BTU/(h.ft²°F)** | **N chicanas** |
| **1139,42581** | **44** |
| **ft** | **fs** |
| **0,000103303** | **0,000932659** |
| **∆Pt [psi]** | **∆Ps [psi]** |
| **0,917800814** | **0,333324254** |
| **Status (∆Pt)** | **Status (∆Ps)** |
| **Aprovado** | **Aprovado** |

* TC-04

|  |  |
| --- | --- |
| **Rating** | |
| **Tubos:** | **Casco:** |
| **B [in]** | **C' [in]** |
| **9** | **0,42** |
| **At [ft²]** | **As [ft²]** |
| **0,140291667** | **0,2625** |
| **Gt [Lb/(hft²)]** | **Gs [Lb/(hft²)]** |
| **12006497,89** | **113550,1714** |
| **Ret** | **Res** |
| **344814,7122** | **4820,708059** |
| **Prt** | **Prs** |
| **4,18830045** | **1,41328** |
| **hi [BTU/(h.ft²°F)** | **ho [BTU/(h.ft²°F)** |
| **1366,217998** | **224,5638923** |
| **hio [BTU/(h.ft²°F)** | **N chicanas** |
| **1139,42581** | **25** |
| **ft** | **fs** |
| **0,000110578** | **0,002430353** |
| **∆Pt [psi]** | **∆Ps [psi]** |
| **0,067372473** | **0,002577745** |
| **Status (∆Pt)** | **Status (∆Ps)** |
| **Aprovado** | **Aprovado** |

* TC-05

|  |  |
| --- | --- |
| **Rating** | |
| **Tubos:** | **Casco:** |
| **B [in]** | **C' [in]** |
| **7** | **0,25** |
| **At [ft²]** | **As [ft²]** |
| **0,633862069** | **0,282552083** |
| **Gt [Lb/(hft²)]** | **Gs [Lb/(hft²)]** |
| **523437,7023** | **11260,39245** |
| **Ret** | **Res** |
| **429503,1914** | **13959,16419** |
| **Prt** | **Prs** |
| **0,73689** | **0,146666667** |
| **hi [BTU/(h.ft²°F)** | **ho [BTU/(h.ft²°F)** |
| **36,55071023** | **212,2862177** |
| **hio [BTU/(h.ft²°F)** | **N chicanas** |
| **30,48329233** | **50** |
| **ft** | **fs** |
| **0,000104528** | **0,001990034** |
| **∆Pt [psi]** | **∆Ps [psi]** |
| **1,805284849** | **0,013931434** |
| **Status (∆Pt)** | **Status (∆Ps)** |
| **Aprovado** | **Aprovado** |

* TC-06

|  |  |
| --- | --- |
| **Rating** | |
| **Tubos:** | **Casco:** |
| **B [in]** | **C' [in]** |
| **15** | **0,42** |
| **At [ft²]** | **As [ft²]** |
| **0,436041667** | **1,0171875** |
| **Gt [Lb/(hft²)]** | **Gs [Lb/(hft²)]** |
| **29714840,79** | **73060,90942** |
| **Ret** | **Res** |
| **853380,7582** | **162384,8433** |
| **Prt** | **Prs** |
| **4,18830045** | **8,299537309** |
| **hi [BTU/(h.ft²°F)** | **ho [BTU/(h.ft²°F)** |
| **2299,096891** | **50,54388543** |
| **hio [BTU/(h.ft²°F)** | **N chicanas** |
| **1917,446807** | **23** |
| **ft** | **fs** |
| **8,76676E-05** | **0,001254618** |
| **∆Pt [psi]** | **∆Ps [psi]** |
| **0,981496014** | **0,618977675** |
| **Status (∆Pt)** | **Status (∆Ps)** |
| **Aprovado** | **Aprovado** |

* TC-07

|  |  |
| --- | --- |
| **Rating** | |
| **Tubos:** | **Casco:** |
| **B [in]** | **C' [in]** |
| **5** | **0,25** |
| **At [ft²]** | **As [ft²]** |
| **0,38675** | **0,277777778** |
| **Gt [Lb/(hft²)]** | **Gs [Lb/(hft²)]** |
| **5096,425337** | **48,88228849** |
| **Ret** | **Res** |
| **1626,269793** | **60,59787829** |
| **Prt** | **Prs** |
| **1,884735202** | **0,146666667** |
| **hi [BTU/(h.ft²°F)** | **ho [BTU/(h.ft²°F)** |
| **0,315518528** | **12,57922722** |
| **hio [BTU/(h.ft²°F)** | **N chicanas** |
| **0,263142453** | **86** |
| **ft** | **fs** |
| **0,000436205** | **0,005533401** |
| **∆Pt [psi]** | **∆Ps [psi]** |
| **0,000116074** | **4,40731E-06** |
| **Status (∆Pt)** | **Status (∆Ps)** |
| **Aprovado** | **Aprovado** |

* CS-01

|  |  |
| --- | --- |
| **Rating** | |
| **Tubos:** | **Casco:** |
| **B [in]** | **C' [in]** |
| **7** | **0,42** |
| **At [ft²]** | **As [ft²]** |
| **0,098583333** | **0,245** |
| **Gt [Lb/(hft²)]** | **Gs [Lb/(hft²)]** |
| **12687895,89** | **1452123,837** |
| **Ret** | **Res** |
| **364383,787** | **1592035,6** |
| **Prt** | **Prs** |
| **4,18830045** | **0,514604956** |
| **hi [BTU/(h.ft²°F)** | **ho [BTU/(h.ft²°F)** |
| **1633,232497** | **220,400601** |
| **hio [BTU/(h.ft²°F)** | **N chicanas** |
| **1362,115902** | **50** |
| **ft** | **fs** |
| **0,000109025** | **0,000816821** |
| **∆Pt [psi]** | **∆Ps [psi]** |
| **0,222540115** | **8,612584667** |
| **Status (∆Pt)** | **Status (∆Ps)** |
| **Aprovado** | **Aprovado** |

**Bombas**

Com os dados obtidos nas etapas de balanço de massa, definição de propriedades físicas de cada linha e de dimensionamento das tubulações, já torna-se possível dimensionar as bombas. Na planilha de apoio, as tabelas seguem o roteiro de cálculo sugerido pelo livro Processos Químicos e Petroquímicos páginas 96 a 143, como é também possível acompanhar através do resumo superficial abaixo nas tabelas.

|  |  |  |  |  |  |  |  |
| --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- |
|  |  |  | m | m | m | m | m |
| Linhas | Re | f(Darcy) | L | Leq | Lw | ΔZ | Pbomba |
| 1 | 273059,2347 | 0,007903 | 8 | 0 | 0,036372 | 0 | 9,6969826 |
| 10 | 121031,5692 | 0,008879 | 28 | 0 | 0,19036 | 8 | 9,1475214 |
| 11 | 427480,8638 | 0,007433 | 20 | 0 | 0,103751 | 8 | 10,51833 |
| 12 | 170086,0633 | 0,008450 | 12 | 0 | 0,06216 | 8 | 8,4839872 |
| 13 | 11722,41272 | 0,012950 | 12 | 0 | 0,208542 | 6 | 7,7081831 |
| 14 | 9991,072811 | 0,013326 | 8 | 0 | 0,4627 | 0 | 5,7212112 |
| 21 | 26805,25041 | 0,011236 | 8 | 0 | 0,186882 | 12 | 13,709086 |
| 22 | 1255190,686 | 0,006461 | 14 | 0 | 0,028701 | 12 | 14,454577 |
| 23 | 273059,2347 | 0,007903 | 8 | 0 | 0,036372 | 5 | 45,303883 |
| 24 | 9366,630761 | 0,013483 | 56 | 0 | 1,21506 | 4 | 11,756962 |
| 25 | 177455,7589 | 0,008399 | 8 | 0 | 0,02339 | 6 | 6,9867276 |
| 26 | 345669,2126 | 0,007651 | 8 | 0 | 0,034635 | 6 | 6,4833172 |
| 27 | 2485609,74 | 0,005940 | 2 | 0 | 0,001057 | 1 | 11,466637 |
| 28 | 2485609,74 | 0,005940 | 142 | 0 | 0,075039 | 12 | 22,540619 |

Na folha onde estão as Linhas, é possível acompanhar a parte do cálculo separada em sucção e recalque, de modo que o Pbomba conclua o processo de achar o Psucção e Precalque que serão utilizados para cálculo de AMT e BHP, já na aba Equipamentos na planilha por já não ser da parte onde o cálculo é separado nas duas frentes paralelas.

|  |  |  |  |  |  |  |
| --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- |
|  |  | **AMT (m)** | **NPSHd (m)** | **BHP (hp)** | **Motor (hp)** | **Rendimento(%)** |
| B-01 | 26931,213 | 35,6069 | 8,84358258 | 5,82994203 | 10 | 50 |
| B-02 | 457,98 | 3,2729748 | 11,7569105 | 0,00911304 | 1 | 60 |
| B-03 | 29806,922 | 2,1607939 | 6,85542142 | 0,39156568 | 1 | 50 |
| B-04 | 172530,78 | 3,9362461 | 8,81133045 | 4,12879164 | 15 | 50 |
| B-05 | 74316,644 | 2,1607939 | 4,08172756 | 0,97627816 | 2 | 50 |
| B-06 | 1261,9716 | 6,0009033 | 10,7990864 | 0,04604053 | 1 | 50 |
| B-07 | 10723545 | 11,073982 | 13,1545766 | 481,310239 | 400 | 50 |

Com auxílio da tabela 17.3 da página 159 do livro de Processos Químicos e Petroquímicos, calculamos o motor nominal que deve ser utilizado de acordo com o BHP estimado no dimensionamento da bomba.

Inicialmente, o cálculo desconsiderou os acessórios e curvas, medindo apenas as alturas e distâncias.

Abaixo, segue as medições sem escala adotadas no cálculo de perda de carga para dimensionamento das bombas.

* B-01

Diagram of a diagram of a flow diagram

AI-generated content may be incorrect.

* B-02

Diagram of a diagram of a machine

AI-generated content may be incorrect.

* B-03

OBS.: Medições semelhantes à B-05

A diagram of a flowchart

AI-generated content may be incorrect.

* B-04

OBS.: Medições semelhantes à B-06

Diagram of a diagram of a chemical plant

AI-generated content may be incorrect.

* B-07

A diagram of a machine

AI-generated content may be incorrect.

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

FLOGER, H.S. Elementos de Engenharia das Reações Químicas 3ª ed. LTC, 1998

KERN, R. Useful Properties of Fluids for Piping Design New York, McGrawhill, 1974

MCCABE, W.L.; SMITH J.C.; HARRIOT, P. Unit Operations of chemical engineering 5ª ed. New York, mc Grawhill, 1993

PEREIRA, F.N.; SEGUIM M.C. Projetos Químicos e Petroquímicos Santos-SP, Comunicar, 2010

PEREIRA, F.N. Apostila de Operações Unitárias 2 Santos-SP

PERRY, R.; GREEN, D. Chemical Engineers Handbook 7ª ed. New York, McGrawhill, 1997

REID, R.; PROUSNITZ, J.; POLING, B. The Properties of Gases and Liquids 4ª ed. New York, Mc Grawhill, 1987.