

## Projeto de um sistema hidráulico para um laminador de encruamento de uma linha de zincagem

### Project for a hydraulic system of skin-pass mill in a galvanizing line

DOI:10.34117/bjdv8n5-268

Recebimento dos originais: 21/03/2022

Aceitação para publicação: 29/04/2022

#### **Nuno Miguel de Matos Torre**

Especialista em engenharia e gerenciamento de manutenção

Instituição: UBM-RJ

Endereço: Rua Ver. Pinho de Carvalho, nº267 - Barra Mansa / RJ

E-mail: nuno\_torre@hotmail.com

#### **Vinicius gomes da silva**

Engenharia mecânica

Instituição: UBM-RJ

Endereço: Rua Ver. Pinho de Carvalho, nº267 - Barra Mansa / RJ

E-mail: vinicius.gs1997@hotmail.com

#### **Tiago Brandao Costa**

Doutor em engenharia metalúrgica

Instituição: UFF -EEIMVR, UBM - RJ

Endereço: AV. Dos Trabalhadores, n 420, sala c63, Vila Santa Cecília - Volta Redonda - RJ; Rua Ver. Pinho de Carvalho, n 267 - Barra Mansa / RJ

E-mail: tiagobrandao@id.uff.br

#### **Fernando da silva santos**

Mestre em materiais

Instituição: UBM-RJ

Endereço: Rua Ver. Pinho de Carvalho, nº267 - Barra Mansa / RJ

E-mail: fernandogssantos@gmail.com

### **RESUMO**

O processo de zincagem por imersão é quente é um dos mais usados na indústria para proteger o aço contra a corrosão atmosférica. Tem grande aplicabilidade, desde a fabricação de telhas, tubos, até chapas para estampagem automobilística e peças estruturais para a indústria civil. O objetivo do presente trabalho foi desenvolver um sistema hidráulico para um laminador de encruamento, com a finalidade de melhorar o seu desempenho operacional e minimizar os gastos com energia. Para a especificação do sistema hidráulico, considerou-se as vazões necessárias para a operação de todos os cilindros hidráulicos, disponibilizando-as em três organogramas de funcionamento. Optou-se pelo maior consumo de vazão para a elaboração do projeto. No cálculo efetuado para o sistema de potência considerou-se uma pressão máxima de 210 kgf/cm<sup>2</sup>, para uma vazão de 419 l/min, sendo consideradas bombas de deslocamento positivo com 250 cm<sup>3</sup> para 1800 rotações por minuto. Para a especificação do motor elétrico considerou-se um rendimento de 80%, resultando num motor de 175 kW. Os resultados possibilitaram a escolha da bomba e do motor através dos catálogos dos fabricantes. Verificou-se que sistemas hidráulicos projetados com bombas de deslocamento positivo variável, possuem

baixo consumo de energia, com maior confiabilidade operacional, além de reduzir gastos com manutenções e inspeções. A diagnose das varáveis de processo via PLC nos possibilita a visualização remota, indústria 4.0.

**Palavras-chave:** zincagem, laminador de encruamento, sistema hidráulico.

## ABSTRACT

Hot dip galvanizing line is one of the most effective and economical processes employed to protect steel against atmospheric corrosion. The product from these lines cover a wide variety of applications and markets, since fabrication of roofing tiles, tubes, even plates for automotive stamping and structural parts for civil industries. This work has a purpose of developing a temper mill hydraulic system in a galvanizing line, in order to improve their operational performance, decreasing consume of electrical energy, and have the possibility of been monitored through PLC. For the hydraulic system specification, flow rates for each operation of hydraulic cylinders were considered, making them available in three operating charts. The highest flow consumption, was assumed for the project specification. For the power unit system was stipulated the maximum pressure of 210 kgf/cm<sup>2</sup> and a flow rate of 419 l / min, considering positive displacement pumps with 250 cm<sup>3</sup> for 1800 rpm. For the electric motor specification, an efficiency of 80% was considered, resulting in a 175 kW motor. The results enabled the specification of pump and electric motor through the manufacturers' catalogs. Noticed that hydraulic systems designed with positive variable displacement pumps, have lower energy consumption, with greater operational reliability, besides maintenance and inspection reduction costs.

**Keywords:** galvanizing line, skin-pass mill, hydraulic system.

## 1 INTRODUÇÃO

O aço revestido com zinco, conhecido como aço galvanizado é um dos materiais mais comercializados, usado na indústria automotiva, construção naval, agrícola e mineração. Outra aplicação relevante é na indústria de energia elétrica, em estruturas de transmissão e distribuição de energia ( Rodger, Bartlett e Atrens 2017). Essa vasta aplicação é justificada pelo fato do zinco possibilitar a proteção ao aço contra à corrosão, que é uma das questões mais desafiadores para a indústria de manufatura (Sinha e Anand 2020).

Uma linha de zincagem que opera com um laminador de encruamento, a torna diferenciada das demais, uma vez que consegue alcançar propriedades mecânicas na chapa zincada.

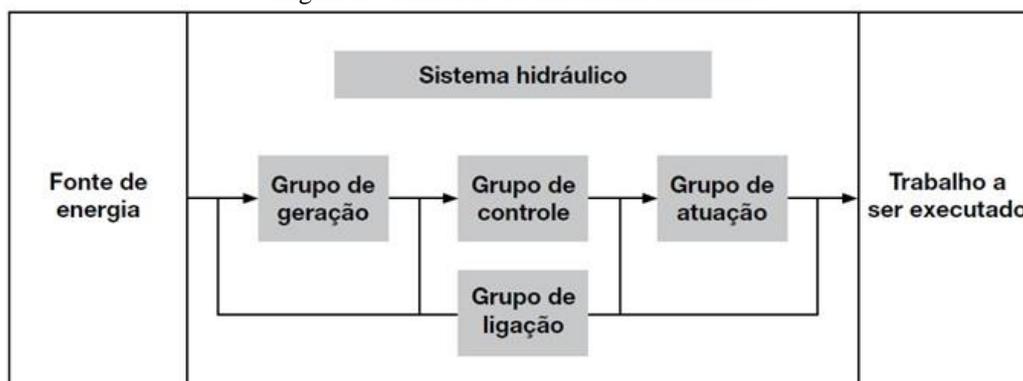
A operação do laminador de encruamento é efetuada através de blocos hidráulicos que provocam esforços mecânicos nos seus cilindros de trabalho, através da aplicação de uma pressão hidráulica variável. Assim, um sistema hidráulico de alta precisão se torna de supra importância. O presente trabalho tem como objetivo elaborar um estudo para o sistema hidráulico de um laminador de encruamento, com baixo custo de energia,

possibilidade de diagnose via PLC e atendimento às normas vigentes - NR12 e NR13, considerando as seguintes premissas: unidade de potência, unidade de recirculação e filtragem, banco de acumuladores, banco de válvulas, e cilindros hidráulicos.

### 1.1 SISTEMA HIDRÁULICO DE UM LAMINADOR DE ENCRUAMENTO

O equipamento hidráulico é projetado de acordo com a norma técnica ISO-4413. As suas condições funcionais estão associadas a: geração, controle e aplicação de potência hidráulica. Um sistema hidráulico possui os seguintes componentes: fonte de energia (motor elétrico), grupo de geração (transforma potência mecânica em hidráulica, bombas hidráulicas), grupo de controle (comandos e válvulas), grupo de atuação (cilindros e motores) e grupo de ligação (conexões, tubos e mangueiras). Cada componente hidráulico está associado a um TAG de modo a ser identificado no diagrama hidráulico. Na Figura 1 é ilustrado os conteúdos de um sistema hidráulico.

Figura 1 - Conteúdo de um sistema hidráulico.



Fonte: Tecnologia Hidráulica Industrial – catálogo Park.

A seguir são ressaltados os requisitos que foram levados em consideração na elaboração do presente projeto. Alto grau de confiabilidade operacional; Garantia da vida útil dos componentes; Grau mínimo de contaminação; Manutenção fácil, rápida e econômica; Baixo consumo de energia; Elevado índice de segurança operacional; Não agressividade ao meio ambiente.

Para a realização do projeto devem-se considerar os seguintes equipamentos: reservatório, bombas, válvulas, cilindros e motores. Seguidamente, um breve resumo sobre os equipamentos será apresentado.

#### 1.1.1 Bombas

As bombas são como máquinas operatrizes que conferem energia ao fluido com a finalidade de transportá-lo por escoamento de um ponto para outro, obedecendo às condições do processo. A bomba é provavelmente o componente mais importante e menos compreendido no circuito hidráulico. Sua função é converter a energia mecânica em energia hidráulica, deslocando o fluido hidráulico no circuito. As bombas são feitas em vários tamanhos e formas, mecânicas e manuais, com diversos mecanismos de bombeamento e para diversas aplicações. Todas as bombas, entretanto, são classificadas em uma de duas categorias básicas:

Turbobombas (bombas centrífugas ou deslocamento dinâmico) ou bombas volumétricas (deslocamento positivo). Cabe ressaltar que as bombas turbobombas não são utilizadas com frequência em projetos de sistemas hidráulicos. Diante disso o foco foi dado às bombas volumétricas. Essas bombas podem ser classificadas em bombas alternativas e bombas rotativas. Nas bombas volumétricas ou de deslocamento positivo, a saída do fluido é independente da pressão, com exceção de perdas e vazamentos, praticamente todas as bombas são necessárias para transmitir força hidráulica a um equipamento industrial, ou maquinaria de construção e em aviação, são do tipo hidrostático. Para um bom funcionamento deste equipamento, algumas considerações devem ser levadas em conta. Deve-se garantir: a velocidade correta do fluido; a pressão desejada; temperatura adequada; instalação do reservatório positivamente montado, ou seja, acima da linha de centro da bomba  $NPSH_{Disponível} > NPSH_{Requerido}$ ; evitar restrições na linha de sucção da bomba; efetuar o dimensionamento correto das tubulações e acessórios de sucção, levando em consideração a pressão e vazão máxima de trabalho do sistema (Parker Hannifin, 2001).

### 1.1.2 Acumuladores

Os acumuladores hidráulicos desempenham uma gama muito grande de funções no sistema, tais como: manter a pressão, desenvolver o fluxo e/ou absorver choques no sistema. Se a bomba num circuito hidráulico falha, o acumulador pode ser usado para manter a pressão do sistema, de modo a que o material que está sendo processado não seja danificado. Nesta aplicação, o volume do acumulador é muitas vezes usado para completar o ciclo da máquina. A pressão do gás (nitrogênio seco), que está presente no acumulador, é a sua pré-carga. Quanto maior a pré-carga, menor é a quantidade de líquido que o acumulador retém. Contudo, isto não significa que o volume útil é diminuído.

Para o projeto utilizou-se acumuladores do tipo bexiga, uma vez têm uma melhor velocidade de resposta. Os acumuladores de bexiga devem ser especificados de acordo com a norma ISO-5596 e são classificados como vasos de pressão, logo terão de atender à norma regulamentadora NR13, possuindo bloco de segurança, válvula de bloqueio e de drenagem individual (Bosch Rexroth 2013).

Os acumuladores devem ter a possibilidade de serem reparados pela parte superior retirada da bexiga - “*Top Repair*”, de modo a facilitar o seu acondicionamento e levando a uma condição segura de manutenção.

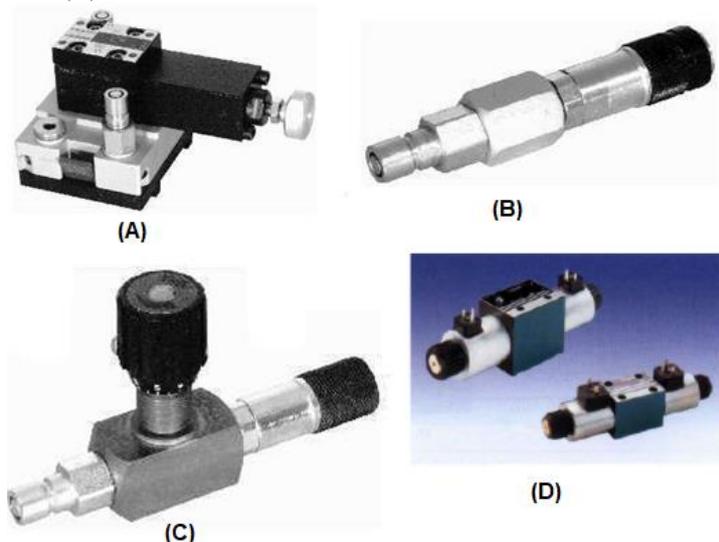
### 1.1.3 Válvulas controladoras

A pressão máxima do circuito hidráulico pode ser controlada com o uso de uma válvula limitadora de pressão normalmente fechada. Com a via primária da válvula conectada à pressão do sistema, e a via secundária conectada ao tanque, o carretel no corpo da válvula é acionado por um nível predeterminado de pressão, e neste ponto as vias primária e secundária são conectadas, e o fluxo é desviado para o atuador hidráulico (Júnior 2011). Uma válvula de retenção consiste basicamente no corpo da válvula, vias de entrada e saída, e um assento móvel que é preso por uma mola (Júnior 2011).

As válvulas de retenção são aparentemente pequenas quando comparadas aos outros componentes hidráulicos, mas elas são componentes que servem às funções importantes e muito variadas. Já a válvula controladora de fluxo tem como finalidade reduzir a vazão em uma linha do circuito. Ela desempenha a sua função por ter uma restrição maior que a normal do sistema. Para vencer a restrição é necessária uma pressão maior provocando o desvio do fluxo para outra parte do circuito, ou promovendo a abertura da válvula limitadora de pressão deslocando o fluxo para o reservatório. São utilizadas quando se deseja controlar a velocidade em determinados atuadores (Júnior 2011).

Por fim, destaca-se as válvulas direcionais, são usadas para controlar a direção e sentido do fluxo do fluido em um circuito. Através desse controle, podem-se obter movimentos desejados dos atuadores (cilindros, motores, osciladores hidráulicos, etc.), de tal forma que, seja possível efetuar o trabalho exigido. Para o projeto hidráulico selecionou-se válvulas controladoras, de modo a proporcionarem o mínimo de sobre pressão, operação suave sem choque, e menor perda de carga (Bosch Rexroth 2013). Na Figura 2 é apresentado os tipos de válvulas, (A) válvula limitadora de pressão, (B) válvula de retenção, (C) válvula controladora de fluxo e (D) válvulas direcionais.

Figura 2 - Tipos de válvulas, (A) válvula limitadora de pressão, (B) válvula de retenção, (C) válvula controladora de fluxo e (D) válvulas direcionais.



Fonte: (Bosch Rexroth 2013)

#### 1.1.4 Cilindros hidráulicos

Um atuador hidráulico é um dispositivo mecânico capaz de converter a energia hidráulica em energia mecânica, com o intuito de gerar movimento. O fluido hidráulico é a fonte principal de energia em um atuador hidráulico, o seu movimento pode ser controlado alterando a quantidade do fluido hidráulico no seu interior.

O mecanismo básico é a conversão da energia de um sistema. Um óleo hidráulico pressurizado, é um fluido que não pode ser “ainda mais comprimido”. Quando uma extremidade recebe pressão, o fluido multiplica a pressão e é capaz de convertê-lo em um movimento mecânico. É por isso que eles são capazes de gerar grande força. As concepções mais comuns são os atuadores lineares não rotativos que consistem em pistão, cilindro, câmara de avanço e câmara de retorno. A maioria do processo deste mecanismo acontece dentro do cilindro, nele estão contidos o pistão e o fluido. Os cilindros hidráulicos são projetados e construídos de maneira a proporcionar o maior tempo médio entre falhas – MTBF, e têm as dimensões padronizadas de camisa e êmbolo conforme norma ISO-3320. Os cilindros hidráulicos são considerados a partir dos seguintes dados: Diâmetro do pistão; Diâmetro da haste; Comprimento do curso; Pressão de trabalho (Fox e McDonald s.d.).

#### 1.1.5 Filtros

Para qualquer sistema hidráulico apenas é indicada a utilização de filtragem absoluta. Todo filtro absoluto deve indicar o seu índice beta para um grau de filtração

definido. Este índice veio auxiliar no entendimento da eficiência de filtração de um elemento filtrante. A relação *Beta* é a razão entre quantidade de partículas antes e depois do filtro, iguais ou maiores do que a classificação da média do elemento, que dá-se pela equação 1:

$$\beta \times (c) = \frac{N^{\circ} \text{ de partículas a montante } \times \mu\text{m } (c) \text{ ou maiores}}{N^{\circ} \text{ de partículas a jusante } \times \mu\text{m } (c) \text{ ou maiores}}, (1)$$

## 2 DESENVOLVIMENTO

### 2.1 MATERIAIS E MÉTODOS

Para ser efetuado o projeto do sistema hidráulico do laminador de encruamento foram determinados os seguintes cálculos: o cálculo da vazão necessária para o funcionamento do sistema hidráulico: Para este cálculo é necessário considerar todos os cilindros a serem utilizados no processo e a sua velocidade de atuação. Considerou-se três bancos de válvulas, Alta Pressão (ver Quadro 1), Média Pressão e Mesa Hidráulica, cada um com os seus cilindros correspondentes a cada funcionalidade. Os dados do diâmetro da camisa, haste e o curso de cada cilindro são fundamentais para o cálculo da vazão. As equações utilizadas para a vazão necessária para o projeto, são apresentadas a seguir - Equações 2 a 8.

$$\text{Tempo total} = \frac{\text{curso}}{\text{velocidade}} [\text{s}], (2)$$

$$\text{Vazão} = \frac{\text{volume total}}{\text{tempo}} \times 60 [\text{l/min}], (3)$$

$$\text{Área maior} = \frac{\pi D^2}{4} [\text{mm}^2], (4)$$

Onde D é o diâmetro maior (camisa do cilindro).

$$\text{Área menor} = \pi \times \frac{(D^2 - d^2)}{4} [\text{mm}^2], (5)$$

Onde d é o diâmetro menor (haste do cilindro).

$$\text{volume maior} = \text{Curso} \times \text{área Maior} [\text{mm}^3], (6)$$

$$\text{volume menor} = \text{Curso} \times \text{área Menor} [\text{mm}^3], (7)$$

$$\text{volume total} = \text{volume Maior} \times \text{número de cilindros} [\text{mm}^3], (8)$$

Quadro 1 – Cálculos nos cilindros do Bending –Banco de Válvulas Alta Pressão

| Cilindros do Bending |                           |              |   |                      |                             |
|----------------------|---------------------------|--------------|---|----------------------|-----------------------------|
| Diâmetro haste       | 50 mm                     |              |   |                      |                             |
| Diâmetro camisa      | 120 mm                    |              |   |                      |                             |
| Curso                | 70 mm                     |              |   |                      |                             |
| Velocidade           | 17 mm/s                   |              |   |                      |                             |
| Tempo total          | 4,12 s                    |              |   |                      |                             |
| Vazão                | 92,29 l/min               |              |   |                      |                             |
| Vazão Necessária     | 64,60 l/min               |              |   |                      |                             |
| Área Maior           | 11309,73 mm <sup>2</sup>  | n° cilindros | 8 | Volume Total - Maior | 6333450,79 mm <sup>3</sup>  |
| Área Menor           | 9346,24 mm <sup>2</sup>   |              |   |                      | 6,33 litros                 |
| Volume Maior         | 791681,35 mm <sup>3</sup> |              |   | Volume Total -Menor  | 5233893,361 mm <sup>3</sup> |
| Volume Menor         | 654236,67 mm <sup>3</sup> |              |   |                      | 5,23 litros                 |

Fonte: Autores

a) Cálculo da pressão necessária para o sistema hidráulico:

Para o cálculo das condições de força, estipulou-se valores de pressão entre 210kgf/cm<sup>2</sup> a 120kgf/cm<sup>2</sup>, de modo a atender um range forças previamente estabelecido por um engenheiro de produção, que será disponibilizada através dos cilindros de trabalho do laminador. (Hydac 2013) O Quadro 2 indica a força aplicada através do laminador de encruamento na chapa zincada, de modo a poder providenciar as propriedades mecânicas predefinidas.

$$P = F/A \text{ [kgf / cm}^2\text{]}, \text{ (8)}$$

Onde P é a pressão, F a força, e A a área.

Quadro 2 – Diagrama de Forças

| Possíveis variações do sistema em relação a pressão |        |                     | Possíveis variações de carga - PushUp |            |        |             | Possíveis variações de carga - Bending Positivo |    |            |        |             |         |
|-----------------------------------------------------|--------|---------------------|---------------------------------------|------------|--------|-------------|-------------------------------------------------|----|------------|--------|-------------|---------|
|                                                     |        | Unidade             |                                       | 1 cilindro |        | 2 cilindros | Unidade                                         |    | 1 cilindro |        | 8 cilindros | Unidade |
| Pressão 1                                           | 210    | Kgf/cm <sup>2</sup> | F1                                    | 238,2      | Ftotal | 476         | T                                               | F1 | 23,7       | Ftotal | 190         | T       |
| Pressão 2                                           | 200    | Kgf/cm <sup>2</sup> | F2                                    | 226,8      | Ftotal | 454         | T                                               | F2 | 22,6       | Ftotal | 181         | T       |
| Pressão 3                                           | 180    | Kgf/cm <sup>2</sup> | F3                                    | 204,1      | Ftotal | 408         | T                                               | F3 | 20,4       | Ftotal | 163         | T       |
| Pressão 4                                           | 170    | Kgf/cm <sup>2</sup> | F4                                    | 192,8      | Ftotal | 386         | T                                               | F4 | 19,2       | Ftotal | 154         | T       |
| Pressão 5                                           | 160    | Kgf/cm <sup>2</sup> | F5                                    | 181,5      | Ftotal | 363         | T                                               | F5 | 18,1       | Ftotal | 145         | T       |
| Pressão 6                                           | 150    | Kgf/cm <sup>2</sup> | F6                                    | 170,1      | Ftotal | 340         | T                                               | F6 | 17,0       | Ftotal | 136         | T       |
| Pressão 7                                           | 140    | Kgf/cm <sup>2</sup> | F7                                    | 158,8      | Ftotal | 318         | T                                               | F7 | 15,8       | Ftotal | 127         | T       |
| Pressão 8                                           | 130    | Kgf/cm <sup>2</sup> | F8                                    | 147,4      | Ftotal | 295         | T                                               | F8 | 14,7       | Ftotal | 118         | T       |
| Pressão 9                                           | 120    | Kgf/cm <sup>2</sup> | F9                                    | 136,1      | Ftotal | 272         | T                                               | F9 | 13,6       | Ftotal | 109         | T       |
| Vazão Total                                         | 302,76 | l/min.              |                                       |            |        |             |                                                 |    |            |        |             |         |
| Possíveis variações de carga - Balance Positivo     |        |                     |                                       |            |        |             |                                                 |    |            |        |             |         |
|                                                     |        |                     |                                       | 1 cilindro |        | 4 cilindros | Unidade                                         |    |            |        |             |         |
|                                                     |        |                     | F1                                    | 8,4        | Ftotal | 34          | T                                               |    |            |        |             |         |
|                                                     |        |                     | F2                                    | 8,0        | Ftotal | 32          | T                                               |    |            |        |             |         |
|                                                     |        |                     | F3                                    | 7,2        | Ftotal | 29          | T                                               |    |            |        |             |         |
|                                                     |        |                     | F4                                    | 6,8        | Ftotal | 27          | T                                               |    |            |        |             |         |
|                                                     |        |                     | F5                                    | 6,4        | Ftotal | 26          | T                                               |    |            |        |             |         |
|                                                     |        |                     | F6                                    | 6,0        | Ftotal | 24          | T                                               |    |            |        |             |         |
|                                                     |        |                     | F7                                    | 5,6        | Ftotal | 22          | T                                               |    |            |        |             |         |
|                                                     |        |                     | F8                                    | 5,2        | Ftotal | 21          | T                                               |    |            |        |             |         |
|                                                     |        |                     | F9                                    | 4,8        | Ftotal | 19          | T                                               |    |            |        |             |         |

Fonte: Próprio autor

b) Reservatório hidráulico: O projeto do reservatório é realizado de modo a poder dissipar adequadamente o calor do fluido sob todas as condições de trabalho. É construído de forma a evitar a entrada de contaminantes - blindado. Sua capacidade se dá através do cálculo de 7 vezes a vazão da bomba (máxima do sistema).

c) Unidade de Potência: A especificação das bombas é efetuada através do range de vazão e pressão determinadas anteriormente, sendo catalogadas. A unidade de potência possui dois conjuntos moto-bomba, sendo um para operação e outro para “stand-by”. As bombas especificadas são do tipo pistões axiais com compensador de pressão, com dreno externo e com rotâmetro – tipo turbina, com retenção para isolamento do retorno do fluido (Diagnose da condição operacional das bombas).

Cada bomba é montada no motor através de um acoplamento de ligação com janela de inspeção, permitindo a visualização do conjunto de acoplamento.

As válvulas de sucção das bombas principais possuem um sensor elétrico de modo a não permitir a partida da bomba com a válvula fechada.

Para determinar o modelo de Bomba a ser utilizado no projeto, considerou-se o coeficiente de 1,72 para uma rotação de 1800 r.p.m, e uma pressão máxima de 210 Kg/cm<sup>3</sup>. Previu-se filtros de pressão absolutos para o sistema -  $\beta_6 > 200$ , com indicação de sujidade elétrica e óptica (Hydac 2013).

d) Unidade de Recirculação e Filtragem: Todo o sistema hidráulico gera calor e contaminação, assim se faz necessário existir uma unidade de recirculação e filtragem, onde iremos manter óleo fresco – temperatura entre 45 a 65 graus, e limpo – sem contaminantes. Para a unidade de recirculação e filtragem, o grau de filtração e o nível máximo de contaminação, devem ser compatíveis com os requisitos do componente hidráulico mais sensível do projeto – para este caso a servo-válvula, assim sendo o nível de contaminação exigido conforme norma ISO é: 16/14/11 – NAS 5 (Hydac 2013). Os filtros considerados para este sistema hidráulico são absolutos  $\beta_3 \geq 1000$ , tendo a indicação de sujidade elétrica e óptica, conforme norma ISO16889. Os conjuntos de filtros devem ser instalados em locais de fácil acesso e com espaço suficiente para a troca dos seus elementos filtrantes, sem que haja necessidade de desligar o sistema ou desmontar componentes e/ou tubulações adjacentes. O tempo de recirculação e filtragem deve ser efetuada entre  $\geq 10$  e  $\leq 15$  minutos, para a capacidade total do reservatório. Assim calcula-se a bomba necessária à aplicação, neste caso considerou-se o coeficiente de 1,72 para uma rotação de 1800 r.p.m.

e) Banco de acumuladores hidráulicos: Posteriormente estipulou-se quantos acumuladores seriam necessários para suprir o sistema hidráulico. Os acumuladores compensam 30% da capacidade da vazão do sistema – em torno de 129 litros, para este projeto. Um acumulador de 100 litros dá em torno 30 litros, 5 acumuladores dão cerca de 150 litros de compensação.

f) Tubulações: Especificou-se os diâmetros das tubulações de: sucção, recalque, retorno, alívio e dreno das bombas principais.

Para o bom funcionamento de um sistema hidráulico, as velocidades de fluxo através das tubulações hidráulicas terão que ser consideradas conforme: sucção de bombas: máxima velocidade de 1m/s; Demais tubulações: máxima velocidade de 4,5 m/s. Previu-se tomadas de pressão para os pontos principais do circuito tais como: entrada e saída de cilindros, entrada e saída de bombas, válvulas controladoras e blocos hidráulicos (S.A. s.d.).

## 2.2 RESULTADOS E DISCUSSÃO

### 2.2.1 Organogramas do sistema hidráulico

Ao se calcular a vazão necessária para cada cilindro, estipula-se um organograma de funcionamento hidráulico, de modo que, se consiga visualizar quantos cilindros operam ao mesmo tempo, definindo-se assim a vazão máxima de trabalho que é utilizada no sistema. Estipulou-se três organogramas de simultaneidade de operação dos cilindros hidráulicos, onde se verificou que a condição de maior utilização de vazão foi o quadro número 3.

Nos Quadros 3, 4 e 5 são mostrados os resultados considerando 3 Simulações de Vazão para o Sistema Hidráulico.

Quadro 3 – Simulação 1

| Laminador em operação                             |                  |
|---------------------------------------------------|------------------|
| Banco Alto                                        |                  |
| Cilindro travamento do conjunto superior          | 36,82 l/min      |
| Cilindros do <i>Bending</i>                       | 64,60 l/min      |
| Cilindros do <i>Ballance</i>                      |                  |
| Banco Media                                       |                  |
| Cilindros do travamento dos cilindros de trabalho | 3,77 l/min       |
| Cilindros do travamento dos cilindros de encosto  | 5,89 l/min       |
| Cilindros do carro do cilindro de encosto         | Fora de Operação |
| Cilindros do carro do cilindro de trabalho        | Fora de Operação |
| Cilindros do carro de troca rápida                | Fora de Operação |
| Mesa                                              |                  |
| Cilindro PUSH UP                                  | 238,16 l/min     |
| Total da vazão necessária                         | 349,24 l/min     |

Fonte: Autores

Quadro 4 – Simulação 2

| Laminador em operação                             |                  |
|---------------------------------------------------|------------------|
| Banco Alto                                        |                  |
| Cilindro travamento do conjunto superior          | 36,82 l/min      |
| Cilindros do <i>Bending</i>                       | Fora de Operação |
| Cilindros do <i>Ballance</i>                      | 18,17 l/min      |
| Banco Media                                       |                  |
| Cilindros do travamento dos cilindros de trabalho | 3,77 l/min       |
| Cilindros do travamento dos cilindros de encosto  | 5,89 l/min       |
| Cilindros do carro do cilindro de encosto         | Fora de Operação |
| Cilindros do carro do cilindro de trabalho        | Fora de Operação |
| Cilindros do carro de troca rápida                | Fora de Operação |
| Mesa                                              |                  |
| Cilindro PUSH UP                                  | 238,16 l/min     |
| Total da vazão necessária                         | 302,81 l/min     |

Fonte: Autores

Quadro 5 – Simulação 3

| Laminador em operação                             |                  |
|---------------------------------------------------|------------------|
| Banco Alto                                        |                  |
| Cilindro travamento do conjunto superior          | Fora de Operação |
| Cilindros do <i>Bending</i>                       | Fora de Operação |
| Cilindros do <i>Ballance</i>                      | Fora de Operação |
| Banco Media                                       |                  |
| Cilindros do travamento dos cilindros de trabalho | Fora de Operação |
| Cilindros do travamento dos cilindros de encosto  | Fora de Operação |
| Cilindros do carro do cilindro de encosto         | 73,63 l/min      |
| Cilindros do carro do cilindro de trabalho        | 47,12 l/min      |
| Cilindros do carro de troca rápida                | 47,12 l/min      |
| Mesa                                              |                  |
| Cilindro PUSH UP                                  | Fora de Operação |
| Total da vazão necessária                         | 167,87 l/min     |

Fonte: Autores

Considerando as vazões necessárias, verifica-se que com o laminador em operação, utilizando os cilindros hidráulicos do “Bending”, será necessária uma maior vazão que estaria em torno de 349,24 l/min. Aplicando um fator de correção de 20% à vazão calculada, considera-se a vazão necessária de 419 l/min.

### 2.2.2 Unidade de potência

Conforme descrito na seção 2.1, determinou-se os cálculos para a unidade de potência, onde considerou-se uma pressão máxima de 210 kgf/cm<sup>2</sup>. À vazão de 419 l/min, acrescentou-se 20% acima do calculado, totalizando uma vazão necessária de 430 l/min. Considerou-se bombas de deslocamento positivo com 250 cm<sup>3</sup> para 1800 r.p.m.. Assim sendo, o modelo determinado foi 250A4VSODR/30R-PPB do fabricante (Rexroth s.d.). Para a especificação do motor elétrico considerou-se um rendimento de 80%, de acordo com o coeficiente descrito de 1,72 para 1800 r.p.m., obtendo-se uma potência de 171,02 kW. Consultando o catálogo da fabricante WEG, obteve-se a seguinte especificação de motor: Fator de segurança 175KW x 4p 220/380/480Vx3F 60Hz 132CV - Carcaça 315S/M IPW 55, Cx ligação B3T, isolamento F.

### 2.2.3 Unidade de recirculação e filtragem

A unidade de recirculação foi projetada segundo as Normas ISSO, descritas na seção 2.1. Calculou-se a vazão da bomba do sistema - 238,39 l/min, para um reservatório de 3000 litros, sendo aplicado um coeficiente de 1,72 para uma rotação de 1800 rpm. O modelo selecionado foi PVV5-1X/139RB15 da fabricante Bosch Rexroth. O tempo de recirculação e filtragem deve ser efetuado entre  $\geq 10$  e  $\leq 15$  minutos, para a capacidade

total do reservatório, tendo-se calculado a bomba para o tempo de 12,5 minutos. Para o motor elétrico considerou-se um rendimento de 70% - pressão baixa de 10 kgf/cm<sup>2</sup>, para uma potência igual a 5,66 kW. A descrição do motor é observada no catálogo WEG, e apresentada conforme: Fator de segurança 7,5KW x 4p 220/380/480Vx3F 60Hz; 10CV - Carcaça 90L; IPW 55, Cx ligação B3T, isolamento F.

#### **2.2.4 Cilindro hidráulico do “Push-up” – controle de força do sistema**

O controle efetivo do posicionamento dos cilindros hidráulicos do “*push-up*”, se dá através de uma escala magnética inserida, permitindo que o operador tenha um controle efetivo do condicionamento de posição, através de um ajuste preciso de carregamento de forças de laminação por “lado do laminador”. E por fim, determinou-se as tubulações para as unidades de recirculação e filtragem e unidade de potência.

#### **2.2.5 Tubulações**

Para as unidades de recirculação e filtragem e unidade de potência obteve-se os seguintes resultados: Aspiração bomba: 3”, adotando 2 vezes o diâmetro da tubulação da bomba para não gerar cavitação – 6” (DN150) e compressão - 1 ½ “ (DN40).

### **3 CONSIDERAÇÕES FINAIS**

Através deste trabalho, observou-se a importância de manter os sistemas hidráulicos bem monitorados e atualizados, uma vez que o mercado é dinâmico e a demanda por produtos mais especializados com preços atrativos aumenta cada vez mais.

O consumo de energia é algo muito importante a ser considerado na especificação de um projeto, assim, considerou-se bombas de deslocamento varável positivo, onde há maior confiabilidade operacional e baixo consumo de energia, resultando num menor número de manutenções e inspeções periódicas.

O meio empresarial objetiva cada vez mais a monitorização de todos os seus meios, de modo a se tornar mais competitivo e depender "menos do homem e mais da máquina" - indústria 4.0, e redução de custo com menor margem de erro.

A segurança e o meio ambiente também foi algo que se levou em consideração, uma vez que estes itens são primordiais na execução de um projeto.

## REFERÊNCIAS

- Bosch Rexroth. “Apostila Hidráulica.” Volta Redonda, 2013
- Fox, R W, e A T McDonald. Introdução à Mecânica dos Fluidos. 5<sup>a</sup>. Rio de Janeiro: LTC, s.d.
- Hannifin, Parker. “Tecnologia Hidráulica Industrial.” Apresentação M2001 - 2 BR. s.d.
- Hydac. “Manual de Filtragem.” 2013.
- Júnior, Ezequiel Costa. “Hidráulica Básica.” Treinamento CSN, 2011.
- Rexroth, Bosch. “Catálogo A4VS0 Séries 10, 11 e 30 RE 92050/04.09.” s.d.
- S.A., Schneider. “Manual de Hidráulica Básica Industrial.”
- Sinha, Amit Kumar, e Ankush Anand. “Development of an alternative for corrosive resistant galvanized steel compatible for laser welding.” Materials Today: Proceedings, 2020.
- Rodger, J, S. Bartlett, e A Atrens. “Corrosion of the galvanizing of galvanized-steel electricity transmission towers.” Materials Corrosion 68 (2017): 902 - 910.
- WEG, Motores. “Catálogo.”