

21496-56

UNIVERSIDADE DE CAXIAS DO SUL
CENTRO DE CIÊNCIAS EXATAS E TECNOLOGIA
DEPARTAMENTO DE ENGENHARIA MECÂNICA

MELHORAMENTO NOS PROCESSOS DE
TESTE E DE MONTAGEM
DA VÁLVULA DE DRENAGEM

Relatório de Estágio Supervisionado II,
apresentado como requisito parcial à
conclusão do curso de Tecnologia em
Automatização industrial
Orientador: Prof. Carlos Roberto Cauduro

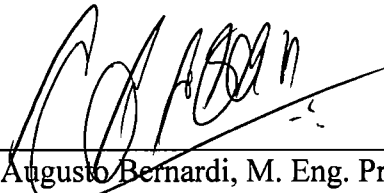
VALDERES ANTONIO VANASSI

Caxias do Sul, dezembro de 2005

**MELHORAMENTO NOS PROCESSOS DE
TESTE E DE MONTAGEM
DA VÁLVULA DE DRENAGEM**

VALDERES ANTONIO VANASSI

ESTE TRABALHO DE ESTÁGIO DO CURSO DE TECNOLOGIA EM
AUTOMATIZAÇÃO INDUSTRIAL FOI APROVADO




Prof. Cesar Augusto Bernardi, M. Eng. Produção
Coordenador de Estágio Supervisionado em Automatização Industrial II

CONCEITO FINAL:

COMISSÃO EXAMINADORA:



Prof. Dr. Carlos Roberto Cauduro
Orientador de Estágio



Prof. Ricardo Leal Costi, M. Eng. Elétrica



Prof. Daniel Notari, M. Ciência da Computação

RESUMO

Neste trabalho de conclusão é proposta a modificação de um processo utilizado para o teste de um produto denominado Válvula de Drenagem com os objetivos de melhorar a qualidade e diminuir o esforço dos operadores. O conceito do funcionamento da válvula consiste no deslocamento linear de uma tampa de vedação. O deslocamento é gerado pelo efeito termodinâmico de um gás refrigerante existente no interior de um diafragma, que é explicado no capítulo 2. O processo antigo de teste era dividido em duas partes, onde primeiro era feita medição da carga de gás por amostragem em laboratório, que não garantia uma boa inspeção e por último era verificado visualmente a contração do diafragma a uma temperatura de 4,4°C. No novo processo foi feita melhoria no fluxo das peças durante a seqüência das operações com instalação de cilindros pneumáticos para substituir movimentos manuais e calha para o transporte das peças entre operações. Também foram substituídas avaliações visuais por medições através de instrumentos como célula de carga.

Este trabalho compreende também a substituição de um movimento manual por um cilindro pneumático numa operação de montagem da válvula.

Palavras-chave: válvula de drenagem, controle de qualidade, medição de força

Áreas do conhecimento: refrigeração, ar condicionado, automatização

ÍNDICE

| | Página |
|---|-----------|
| LISTA DE FIGURAS | 5 |
| LISTA DE TABELAS | 7 |
| ÍNDICE DE SIGLAS..... | 8 |
| GLOSSÁRIO..... | 9 |
| INTRODUÇÃO..... | 10 |
| 1 CARACTERIZAÇÃO GERAL DO ESTÁGIO..... | 11 |
| 1.1 OBJETIVOS | 11 |
| 1.1.1 Objetivo Geral..... | 11 |
| 1.1.2 Objetivos específicos..... | 11 |
| 1.2 JUSTIFICATIVA DO TRABALHO..... | 12 |
| 1.3 AMBIENTE DO TRABALHO..... | 12 |
| 1.3.1 A Empresa..... | 12 |
| 1.3.2 Principais Tecnologias da Empresa..... | 13 |
| 1.4 LIMITES DO TRABALHO..... | 13 |

| | | |
|----------|---|-----------|
| 2 | FUNDAMENTAÇÃO TEÓRICA..... | 14 |
| 2.1 | O PRODUTO..... | 14 |
| 2.1.1 | Construção e Aplicação do Produto..... | 14 |
| 2.1.2 | Efeitos causados por carga inadequada de gás..... | 19 |
| 2.1.3 | Causas da Carga Inadequada de gás..... | 20 |
| 2.1.4 | Especificações básicas de deslocamento..... | 21 |
| 2.2 | MÉTODOS PARA A INSPEÇÃO DE CARGA E DE DESLOCAMENTO..... | 22 |
| 2.2.1 | Inspeção visual do deslocamento..... | 22 |
| 2.2.2 | Inspeção Total Através da Força do Diafragma..... | 22 |
| 2.3 | CÉLULA DE CARGA..... | 23 |
| 2.3.1 | O que é a Célula de Carga..... | 23 |
| 2.3.2 | Princípio de Funcionamento da Célula de Carga..... | 24 |
| 2.3.3 | Alguns Tipos e Aplicações de Células de Carga..... | 25 |
| 2.4 | MONTAGEM DA VEDAÇÃO..... | 26 |
| 2.4.1 | Descrição do método antigo..... | 26 |
| 2.4.2 | Montagem com auxílio de pneumática..... | 27 |
| 3 | DESENVOLVIMENTO DO TRABALHO..... | 28 |
| 3.1 | PROPOSTA DE AUTOMATIZAÇÃO..... | 28 |
| 3.2 | TESTES DA CARGA DE GAS E DE DESLOCAMENTO..... | 28 |
| 3.2.1 | Conceito do novo método de teste de carga..... | 28 |
| 3.2.2 | Alguns cálculos do sistema..... | 29 |
| 3.2.3 | Tecnologia utilizada para medição..... | 30 |

| | | |
|-----|---|-----------|
| 3.3 | NOVO MÉTODO DE MONTAGEM DA VEDAÇÃO..... | 35 |
| 3.4 | ALTERAÇÃO DO FLUXOGRAMA..... | 36 |
| 3.5 | INFORMAÇÕES DO PROJETO..... | 36 |
| | CONCLUSÃO..... | 37 |
| | REFERÊNCIAS BIBLIOGRAFICAS..... | 38 |
| | ANEXO A – CURVA PRESSÃO X TEMPERATURA DOS GASES..... | 40 |

LISTA DE FIGURAS

| | Página |
|--|--------|
| Figura 2.1 - Componentes da válvula de drenagem..... | 15 |
| Figura 2.2 - Curva Pressão x Temperatura de alguns gases | 16 |
| Figura 2.3 - Parâmetros de carga da válvula..... | 17 |
| Figura 2.4 - Estados dos fluidos termodinâmicos..... | 18 |
| Figura 2.5 - Transformação isobárica..... | 19 |
| Figura 2.6 - Transformação isocórica..... | 19 |
| Figura 2.7 - Transformação isotérmica..... | 19 |
| Figura 2.8 - Detalhes de funcionamento da válvula | 20 |
| Figura 2.9- Soldas da válvula de drenagem | 22 |
| Figura 2.10- Rachadura no diafragma | 22 |
| Figura 2.11- Posições de avanço e recuo da vedação | 22 |
| Figura 2.12- Inspeção visual | 23 |

ÍNDICE DE SIGLAS

| | | |
|------------------------------------|------------------------------|--------------------------|
| PSI | Libras por polegada quadrada | <i>Pound Square Inch</i> |
| K | Graus Kelvin (temperatura) | |
| °C | Graus Celsius (temperatura) | |
| kPa | Quilo pascal (pressão) | |
| kgf | Quilogramas força (força) | |
| P, P ₁ , P ₂ | Pressão | |
| T, T ₁ , T ₂ | Temperatura | |
| V | Volume | |

GLOSSÁRIO

Célula de carga: Transdutor usado para a medição de força

Condensação: Mudança do estado gasoso para líquido de uma substância

Drenagem: Escoamento provocado de um líquido para fora de um recipiente

Ergonomia: Trata dos movimentos e da postura do corpo de forma a protegê-lo de lesões ocasionadas pelo trabalho.

Estamparia: Processo de fabricação de componentes metálicos através da moldagem prensada de fitas metálicas

Galvanoplastia: Processo de tratamento superficial de componentes metálicos para a proteção contra a corrosão.

Pneumática: Tecnologia que usa a energia do ar comprimido para gerar trabalho.

INTRODUÇÃO

Este trabalho de estágio do Curso de Tecnologia em Automatização Industrial foi realizado através da disciplina de Estágio Supervisionado II durante o segundo semestre letivo de 2005 na empresa *Invensys Appliance Controls*. O estágio foi desenvolvido junto às áreas de engenharia e produção da empresa.

Os dados para o desenvolvimento do trabalho foram extraídos de instruções de engenharia e desenhos já existentes na empresa. As dificuldades encontradas com o método antigo também serviram como orientação.

No presente relatório é apresentada uma descrição da empresa, suas tecnologias aplicadas, bem como a área de desenvolvimento do estágio com sua justificativa. É também parte deste relatório a fundamentação teórica, que vai dar suporte ao desenvolvimento do trabalho e à escolha de processos adequados. Esta parte do trabalho não consiste apenas no detalhamento de pesquisas feitas a respeito de tecnologias e equipamentos disponíveis, mas também mostrar o que há de mais moderno em relação às tecnologias que serão aplicadas.

Um capítulo específico apresenta o trabalho propriamente desenvolvido, apresentando os comparativos entre cada tecnologia apresentada no capítulo anterior, bem como as razões da escolha dos métodos aplicados.

Finalmente são apresentados detalhes da implementação e uma conclusão dos resultados verificados com o trabalho.

CAPÍTULO 1

1 CARACTERIZAÇÃO GERAL DO ESTÁGIO

1.1 OBJETIVOS

1.1.1 Objetivo Geral

Desenvolver novos dispositivos para a realização dos testes de deslocamento e de carga do gás cloreto de etila no produto denominado Válvula de Drenagem. Também é objetivo a melhoria do processo de montagem de um componente denominado vedação.

1.1.2 Objetivos específicos

- Diminuir o manuseio humano durante as operações, utilizando equipamentos que permitam eliminar a fadiga do operador;
- Aumentar a confiabilidade do sistema, visto que na operação a ser substituída, a confiabilidade do teste de deslocamento depende muito da atenção do operador;
- Reduzir o custo das operações através da redução do tempo dedicado a executá-las.
- Pesquisar sobre sistemas de medição de carga;
- Evoluir no sentido de usar técnicas mais modernas e confiáveis no processo;
- Aplicar os conhecimentos adquiridos no curso de Automação Industrial;
- Testar com a finalidade de inspecionar a qualidade da carga de gás em relação à especificação;

1.2 JUSTIFICATIVA DO TRABALHO

- O produto a ser testado, válvula de drenagem, é aplicado em aparelhos de ar condicionado, e tem a função de fazer a drenagem da água gerada pela condensação no sistema do aparelho. A carga inadequada de gás no interior da válvula ou seu vazamento fazem com que o movimento do pino da válvula seja insuficiente ou nulo.
- Se o movimento inadequado não for detectado no teste, ele será detectado no recebimento do cliente, que neste caso é o fabricante do aparelho de ar condicionado. O defeito poderá também ser detectado após a instalação na residência do usuário. A detecção no cliente ou no usuário gera desgastes com penalidades impostas pelo cliente, despesas com devoluções, transporte e principalmente a insatisfação do cliente.
- Tendo em vista a melhoria da qualidade do produto, o crescimento tecnológico, a satisfação do cliente e a redução dos custos, justifica-se a melhoria dos processos dos testes de deslocamento e carga de gás.

1.3 AMBIENTE DO TRABALHO

1.3.1 A Empresa

A *Invensys Appliance Controls Ltda*, inicia sua história, por Frederick Robertshaw com a invenção de um aparelho denominado termostato. Em 1907 Mr. Robertshaw, funda a *House Service Utilities Manufacturing Company*, dando origem à *Robertshaw Controls Company*.

Em Maio de 1959, a *Robertshaw Fulton Controls do Brasil S/A* inicia suas atividades em Guarulhos, SP; em Maio de 1961 e inaugura uma nova fábrica para produção de termostatos em Caxias do Sul, RS; em Fevereiro de 1981 inicia suas atividades em Vacaria, também no RS e em Março de 2000 em Manaus, AM. Da fusão com outros grupos, em março

de 1999, surge o grupo *Invensys Appliance Controls Ltda*, detentor de tecnologia de ponta e ocupando a primeira posição no mercado global de controles. O grupo *Invensys* se estende pelos cinco continentes, atualmente com mais de 500 empresas, totalizando mais de 48 mil funcionários e no Brasil opera com quatro unidades: São Paulo, Caxias do Sul, Vacaria e Manaus. Com um parque industrial de 24.600 m² de área construída e empregando mais de 1.600 funcionários, fabrica toda linha de controles eletromecânicos, eletrônicos e componentes tubulares utilizados em refrigeração, e ar condicionado, cocção e lavanderia.

1.3.2 Principais Tecnologias da Empresa

As principais tecnologias aplicadas na manufatura são: estamparia, injeção de plásticos, tornearia, galvanoplastia, hidráulica, pneumática, mecânica e principalmente a tecnologia da aplicação dos gases de refrigeração. A empresa é líder nacional na fabricação de termostatos de refrigeração e tem importante participação no mercado de controles para máquinas lavadoras de roupa.

1.4 LIMITES DO TRABALHO

- A programação de CLP não foi de responsabilidade do autor.
- Definições termodinâmicas

CAPÍTULO 2

2 FUNDAMENTAÇÃO TEÓRICA

2.1 O PRODUTO

2.1.1 Construção e Aplicação do Produto

O produto denominado Válvula de Drenagem é produzido pela empresa Invensys Controls Ltda (www.invensys.com), denominado Válvula de Drenagem e é aplicado em aparelhos de ar condicionado. Sua construção consiste em um diafragma fabricado em bronze fosforoso; suporte e moldura estampados em latão com banho de estanho; um pino central torneado em latão com banho de estanho; disco e anel em aço inoxidável; e uma vedação injetada em material elastomérico, conforme figura 2.1.

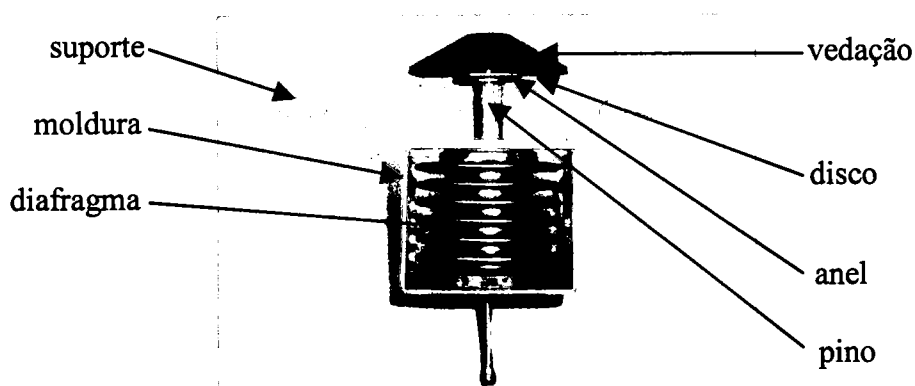


Figura 2.1 – Componentes da válvula de drenagem [Fonte: Invensys Controls]

A aplicação da válvula no aparelho de ar condicionado consiste em drenar, no momento oportuno, a água gerada por condensação no sistema. A água gerada pela

condensação é retida em uma bandeja na parte inferior do aparelho, e em determinadas situações é usada para melhorar o rendimento do aparelho. Porém, quando a temperatura ambiente externa está baixando a ponto de congelar a água retida, a válvula abre um dreno e permite o escoamento da água, evitando danos por excesso de gelo.

A operação da válvula de drenagem é baseada na variação da pressão do gás em função da variação da temperatura ambiente. Muitos tipos de gás refrigerante são usados em diferentes aplicações, onde cada gás possui uma curva de pressão em função da temperatura, e é esta curva que define a aplicação onde pode ser usado. A figura 2.2 mostra as curvas de alguns tipos de gás, com aplicações em temperaturas negativas e positivas. Para conhecer as curvas de outros inúmeros gases, vide anexo A.

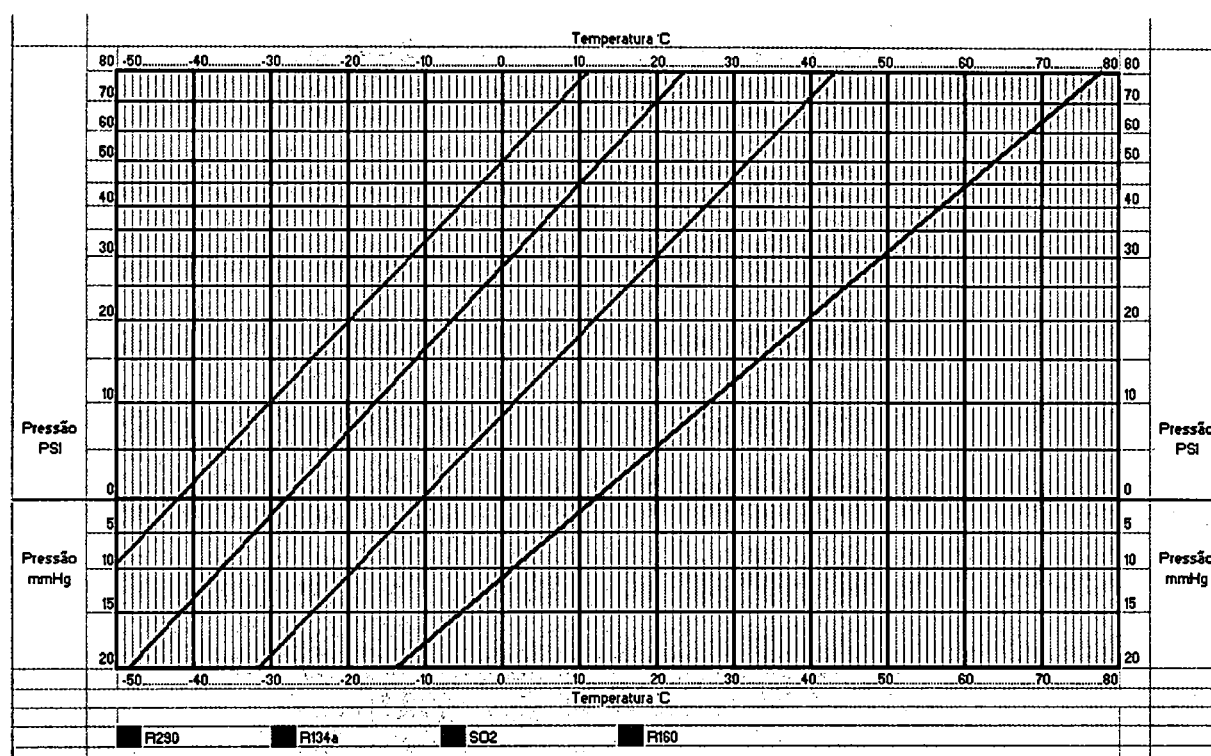


Figura 2.2 – Curva Pressão x Temperatura de alguns gases [Fonte: Matheson Gás Data Book, 1980]

Os exemplos de gás mostrados na figura 2.2, possuem aplicações como:

- R290 (propano): utilizado em controles de refrigeração de congeladores
- R134a (tetrafluoretano): utilizado em circuitos de refrigeração de refrigeradores

- SO₂ (dióxido sulfuroso): utilizado em controles de condicionadores de ar
- R160 (cloreto de etila): devido á sua curva estar localizada numa faixa de temperatura adequada, este é o gás utilizado na carga da válvula de drenagem. O gás R160 é também utilizado em diversas outras aplicações como: refrigeração industrial; anestesia local em medicina e odontologia; solvente para fosforosos; óleos; resinas e outros.

Para evitar o excesso de carga de gás no diafragma, fato que poderia gerar sua deformação, é necessário que os parâmetros de carga estejam regulados de forma que a carga seja feita totalmente na forma de vapor, e não líquido. Para isto, pressão e temperatura de carga devem estar ajustadas de forma que a coordenada, no gráfico da figura 2.3, esteja localizada abaixo da curva de saturação do gás. O gráfico da figura 2.3 mostra as posições em que o gás está nos estados líquido e vapor, bem como as condições da carga do gás R160 na válvula de drenagem, ou seja, temperatura de 45°C e pressão de 7,5 PSI.

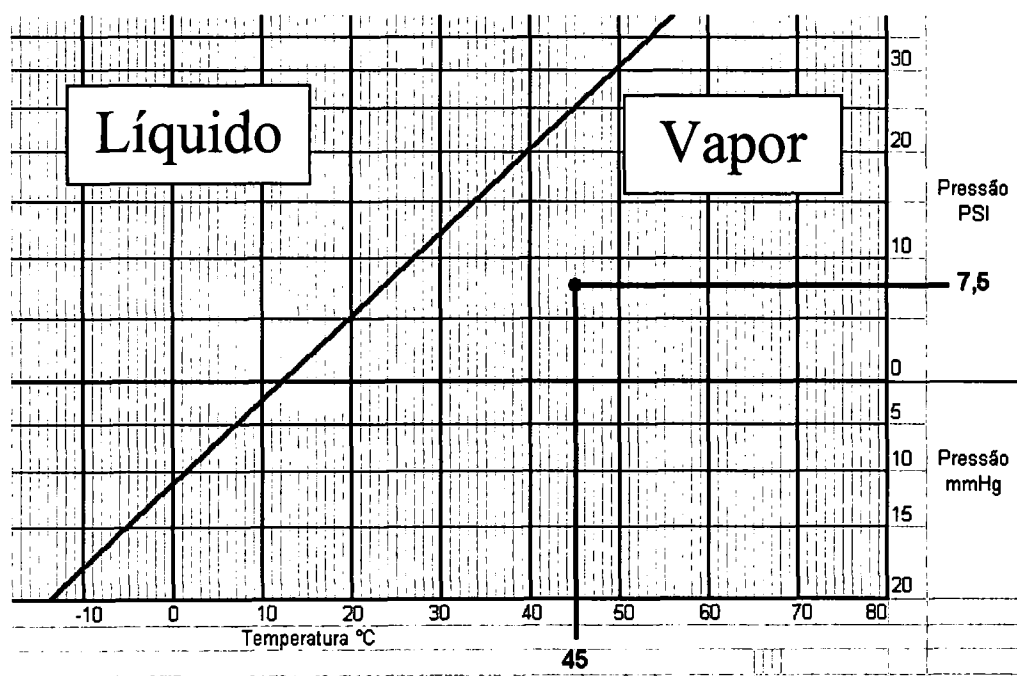


Figura 2.3 – Parâmetros de carga da válvula [Fonte: Invensys Controls]

Para compreender melhor os estados dos fluidos termodinâmicos, a figura 2.4 mostra seis situações diferentes onde:

- T = temperatura ambiente
- T_{sat} = Temperatura de saturação, onde o gás apresenta simultaneamente os estados de líquido e de vapor.
- P = pressão

Um fluido termodinâmico pode assumir o estado líquido diminuindo-se a temperatura ou aumentando-se a pressão. Este fluido pode assumir o estado de vapor aumentando-se a temperatura ou diminuindo-se a pressão. O caso número 3 na figura 2.4, representa posição da linha vermelha do gráfico da figura 2.3.

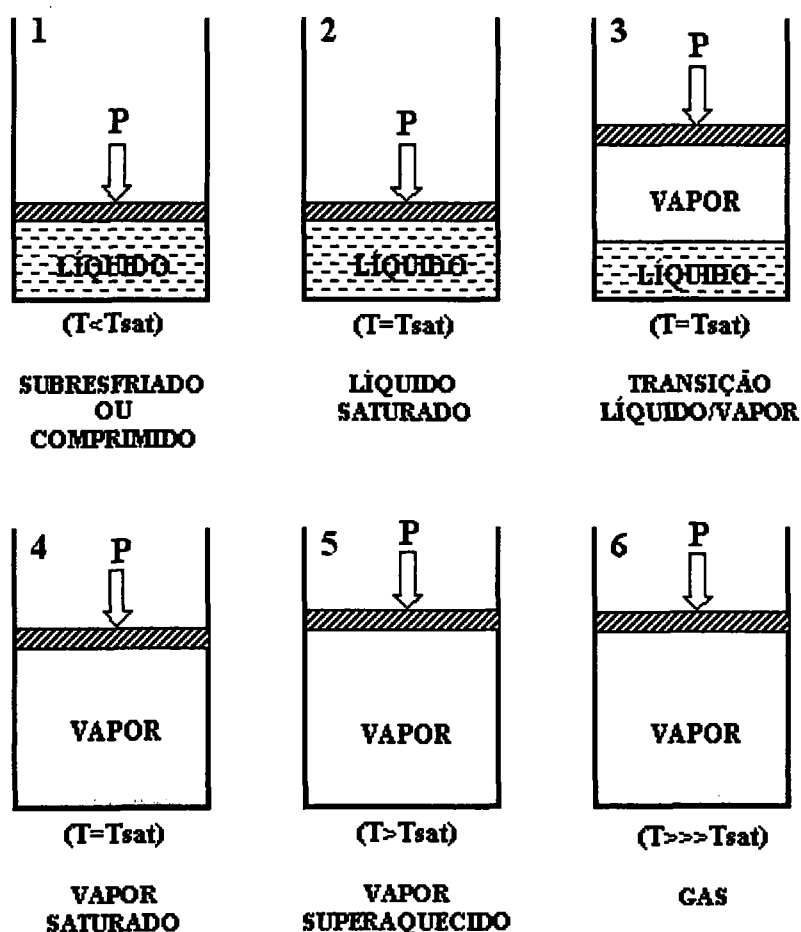


Figura 2.4 – Estados dos fluidos termodinâmicos [Fonte: Ashrae Handbook, 1985]

Os gráficos das figuras 2.5, 2.6 e 2.7 mostram as mudanças de estado através das transformações isobárica, isocórica e isotérmica onde:

P=pressão V=volume T= temperatura

- Transformação isobárica: Um gás muda do estado 1 para 2 com pressão constante

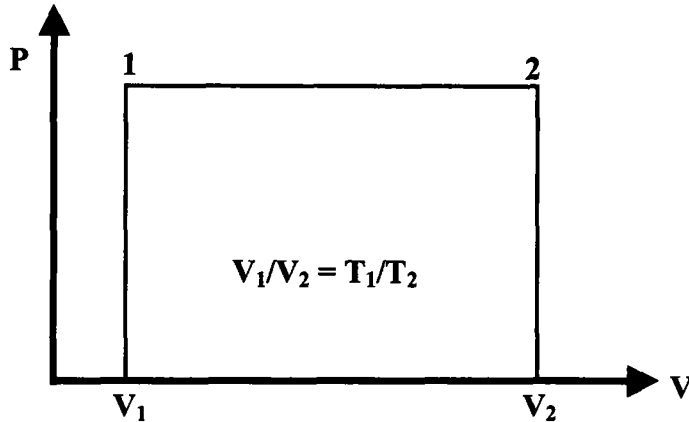


Figura 2.5 – Transformação isobárica [Fonte: Ashrae Handbook, 1985]

- Transformação isocórica: Um gás muda do estado 1 para 2 com volume constante

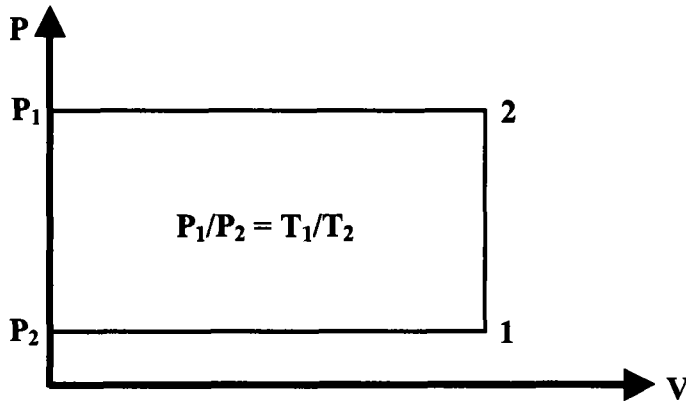


Figura 2.6 – Transformação isocórica [Fonte: Ashrae Handbook, 1985]

- Transformação isotérmica: Um gás muda do estado 1 para 2 em temperatura constante

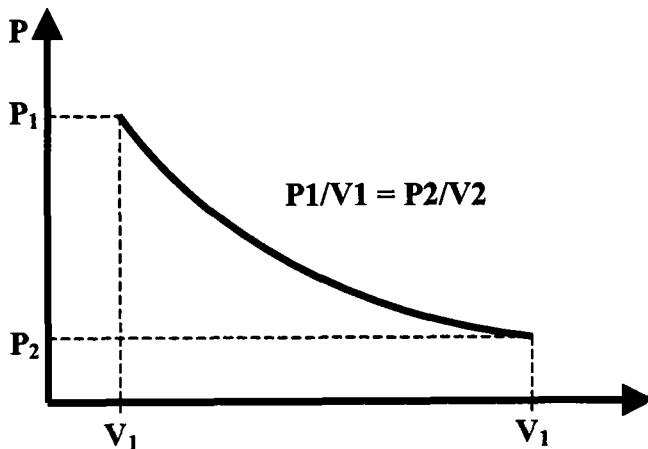


Figura 2.7 – Transformação isotérmica [Fonte: Ashrae Handbook, 1985]

Conforme especificações da empresa Invensys, a carga de gás na válvula de drenagem compreende parâmetros ajustados durante a operação como:

- Temperatura ambiente;
- Temperatura do botijão de gás;
- Temperatura do corpo do produto;
- Tipo de gás;
- Pressão de carga.

Os dois parâmetros que influenciam mais significativamente no resultado são a pressão de carga e a temperatura ambiente.

Devido ao conceito do funcionamento da válvula basear-se na pressão interna do diafragma, ocorre a influência da pressão barométrica no deslocamento do diafragma, isto é, quanto maior a altitude menor será a pressão barométrica, e em conseqüência maior será a força exercida pelo diafragma. Para neutralizar este efeito, é necessário, antes de executar a carga de gás, saber a altitude aproximada do local onde o produto será utilizado. Desta forma é possível fazer uma compensação de pressão durante a carga.

2.1.2 Efeitos causados por carga inadequada de gás

O funcionamento básico da válvula consiste em deslocar um elemento de vedação na direção de um orifício conforme a figura 2.8.

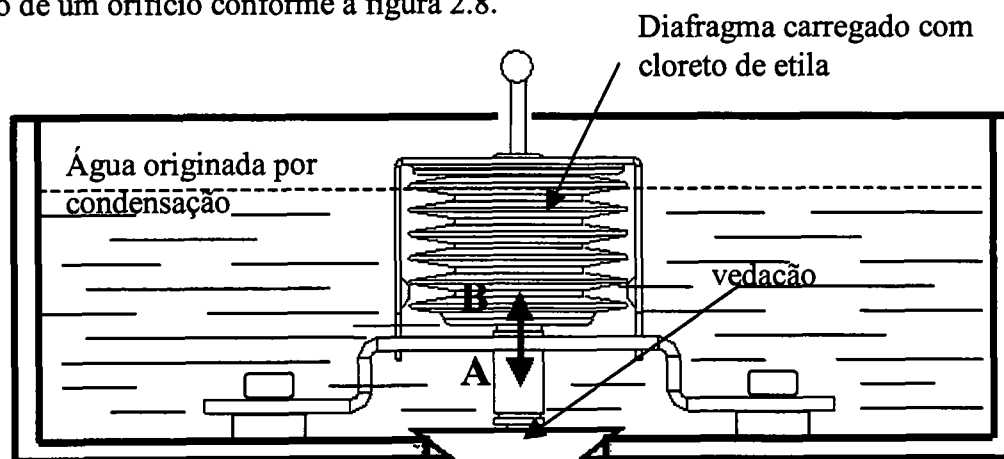


Figura 2.8 – Detalhes de funcionamento da válvula [Fonte: Invensys Controls]

A vedação é suportada por um pino, que é deslocado pelo diafragma nos sentidos A e B através da expansão ou da contração do diafragma. Este fenômeno é causado pela variação da temperatura ambiente, e de acordo com a empresa Invensys ocorre da seguinte forma:

- quando a temperatura aumenta, o gás tende a assumir o estado de vapor, causando aumento de pressão, e conseqüentemente o movimento de expansão no sentido A .
- quando a temperatura diminui, o gás tende a assumir o estado líquido, diminuindo a pressão, gerando contração no sentido B.

Os efeitos causados por uma carga inadequada no interior do diafragma são:

- deslocamento insuficiente da vedação, impossibilitando as funções de fechamento e abertura da válvula;
- pouca pressão de vedação;
- perda total ou parcial da função da válvula;

2.1.3 Causas da carga inadequada de gás

Vários fatores no processo ou nos componentes podem causar uma carga inadequada ou outras não conformidades, que são:

- Vazamento de gás pelas regiões de solda. Ver figura 2.9;
- Vazamento de gás através de rachaduras no diafragma. Ver figura 2.10;
- Impureza do gás, no cilindro onde está contido;
- Sistema de carga com defeito, permitindo a contaminação por ar;
- Vácuo insuficiente antes da carga;
- Pouca pressão de carga devido ao dispositivo desregulado;
- Contaminação por sujeira nos componentes;
- Contaminação por elementos de solda inadequados;
- Oxidação dos componentes antes da carga.

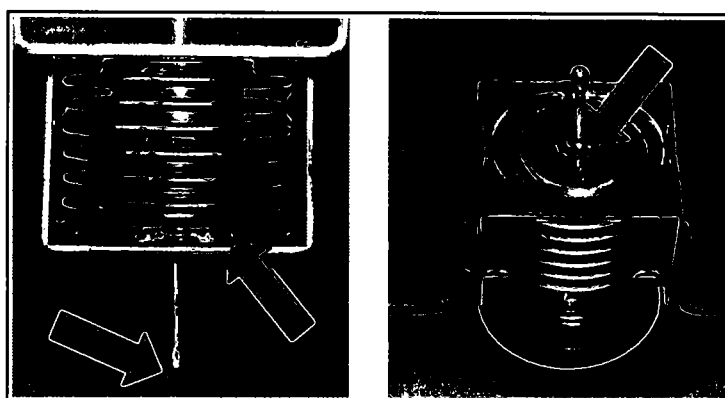


Figura 2.9 – Soldas da válvula de drenagem [Fonte: Invensys Controls]



Figura 2.10 – Rachadura no diafragma [Fonte: Invensys Controls]

2.1.4 Especificações básicas de deslocamento

Segundo a empresa Invensys, as especificações contidas no desenho do produto são:

- na temperatura de $4,4^{\circ}\text{C}$ o diafragma deve contrair até atingir um deslocamento mínimo de $5,1\text{mm}$ em relação ao batente da posição de avanço máximo, conforme mostrado na figura 2.11.
- na temperatura de $15,5^{\circ}\text{C}$ o diafragma deve voltar à posição estendida até atingir o batente de avanço máximo, conforme mostrado na figura 2.11.

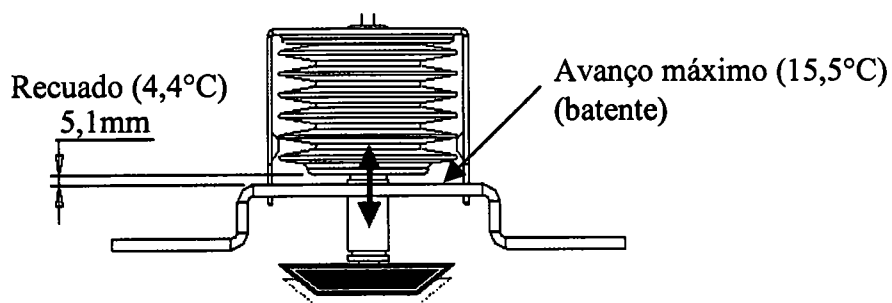


Figura 2.11 – Posições de avanço e recuo da vedação [Fonte: Invensys Controls]

2.2 MÉTODOS PARA A INSPEÇÃO DE CARGA E DE DESLOCAMENTO

2.2.1 Inspeção visual do deslocamento

Este tipo de inspeção era feita no método antigo, mergulhando a válvula em álcool a uma temperatura de $4,4^{\circ}\text{C}$, verificando visualmente o deslocamento de recuo do diafragma, conforme figura 2.12.

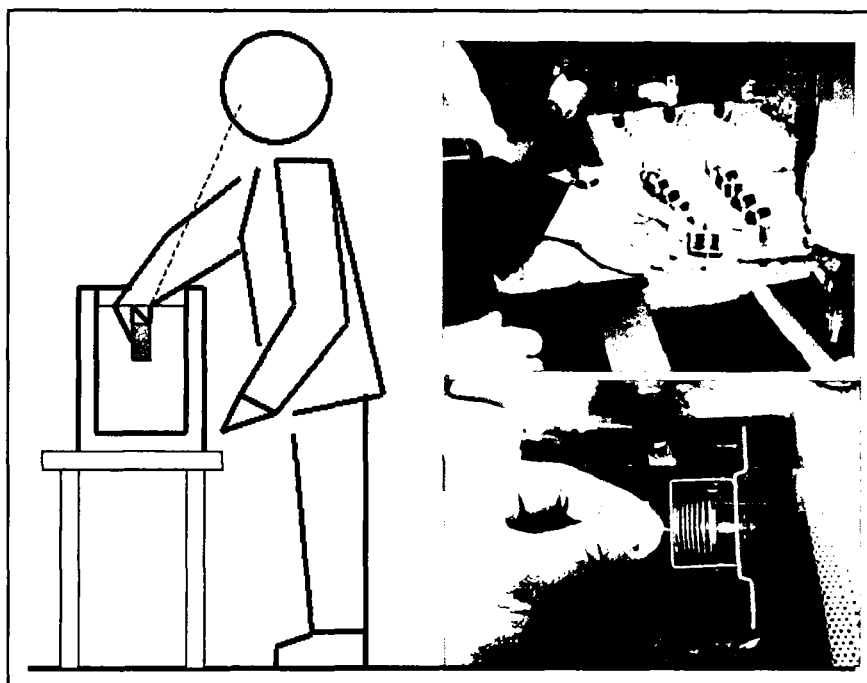


Figura 2.12 – Inspeção visual [Fonte: Invensys Controls]

Desvantagens deste método:

- Necessita mergulhar manualmente a válvula no banho de álcool;
- A verificação visual não garante a confiabilidade da inspeção, pois depende da atenção e da interpretação do operador.

A inspeção da carga era feita por amostragem em laboratório fora da linha de montagem e consistia em medir a força de deslocamento com o auxílio de um dinamômetro.

2.2.2 Inspeção Total Através da Força do Diafragma

Considerando que uma das funções da válvula de drenagem é de vedar um orifício através da força exercida pela vedação em um orifício, e as possíveis causas de vazamento ou

carga inadequada no diafragma são muitas, é importante o teste da carga do gás através da medição da força em 100% da produção. Este método é similar ao feito por dinamômetro, que consiste em comprimir o diafragma até um deslocamento especificado e comparar a força aplicada a uma força pré-determinada.

Vantagens do método de medição da carga do gás através da força:

- Precisão na leitura dos valores medidos;
- Possibilita a automatização da operação;
- Possibilita a medição de diferentes modelos, com diferentes especificações, mediante a regulação do equipamento;
- Confiabilidade nas respostas da inspeção.

Desvantagens do método de medição da carga através da força:

- Maior custo de implantação;
- Necessita mão-de-obra especializada para a instalação e manutenção.

HELFRICH (1994, pág. 252) mostra uma tabela com inúmeros modelos de transdutores, onde são indicadas aplicações específicas para cada um. O tipo de transdutor em que a aplicação é mais específica para medição de força é a célula de carga.

2.3 CÉLULA DE CARGA

2.3.1 O que é a Célula de Carga

É um conjunto transdutor baseado no conceito de extensômetro de resistência elétrica (*strain gage*) e vem sendo usado desde a Segunda Guerra Mundial nos mais variados ramos da engenharia, sendo hoje uma tecnologia bastante desenvolvida. (Fonte:Brochart pág.07).

A célula de carga substitui os medidores óticos quando a instalação é feita em locais de difícil acesso ou quando o ambiente é agressivo em relação à temperatura, poluição e

corrosão. Células de carga são sensores para a medição de força ou peso em tração ou compressão, aplicadas em balanças e outros sistemas de pesagem como:

- Pesagens industriais e comerciais;
- Pesagem em tanques, como medição de nível;
- Balanças de plataforma;
- Dinamômetros;
- Silos;
- Outros.

2.3.2 Princípio de Funcionamento da Célula de Carga

Células de carga são dispositivos classificados como transdutores. Transdutor é qualquer dispositivo que quando excitado, fornece resposta de saída proporcional à excitação de entrada. No caso da célula de carga a excitação de entrada é gerada por força, como mostra a figura 2.13.

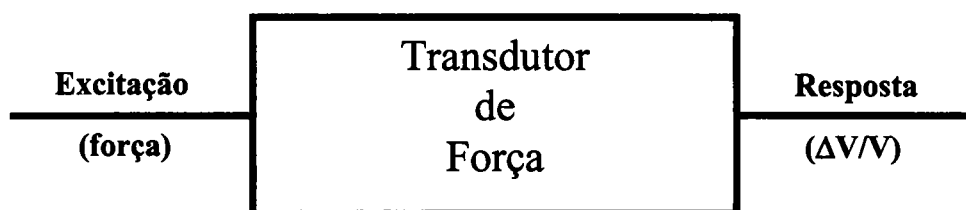


Figura 2.13 – Diagrama simplificado de transdutor [Fonte: Borchardt (1982, pág.11)]

A grandeza que se quer medir, no caso a força, é processada pelo transdutor que a transforma em uma grandeza de outra natureza, como uma saída elétrica. A célula de carga é formada por *strain gages* colocados em regiões deformáveis elasticamente e ligados em ponte de Wheatstone, conforme figura 2.14.

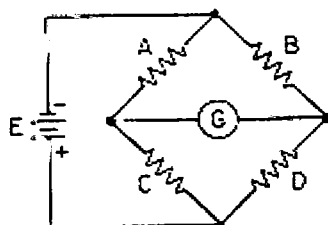


Figura 2.14: Circuito em ponte de Wheatstone [Fonte: Heldfrick (1994, pág. 257)]

A resistência elétrica de um fio de cobre ou de ferro varia quando submetido a uma deformação elástica. Assim, se um fio de comprimento λ e de resistência R sofre uma deformação elástica igual a $\Delta\lambda$, a resistência sofre alteração de ΔR . A variação relativa $\Delta R/R$ relaciona-se linearmente com a variação relativa do comprimento $\Delta\lambda/\lambda$, então o parâmetro $K = \frac{\Delta R/R}{\Delta\lambda/\lambda}$ é constante se a deformação se processa na região elástica do material. Portanto, este é o princípio de funcionamento da célula de carga, ou seja, o uso de extensômetro de resistência elétrica como elemento transdutor de sinal. A forma mais comum de construção do extensômetro de resistência elétrica é em forma de fita, conforme figura 2.15. O sinal de saída fornecido pela célula de carga é $(\Delta V/V)$ proporcional a $(\Delta R/R)$

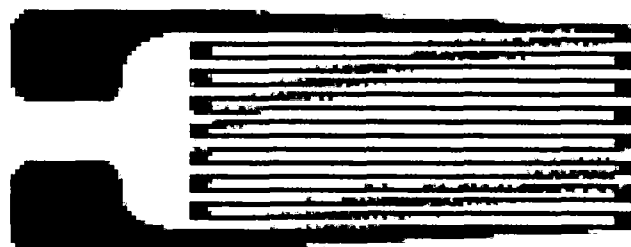


Figura 2.15 –Forma mais comum de Extensômetro [Fonte: Heltrick (1994, pág. 256)]

2.3.3 Alguns Tipos e Aplicações de Células de Carga

O modelo de célula de carga cilíndrica é aplicada em medição de força ou pesos de tração ou compressão como dinamômetros e balanças. Esta forma é mais usada em compressão, e sua forma pode ser vista na figura 2.16.

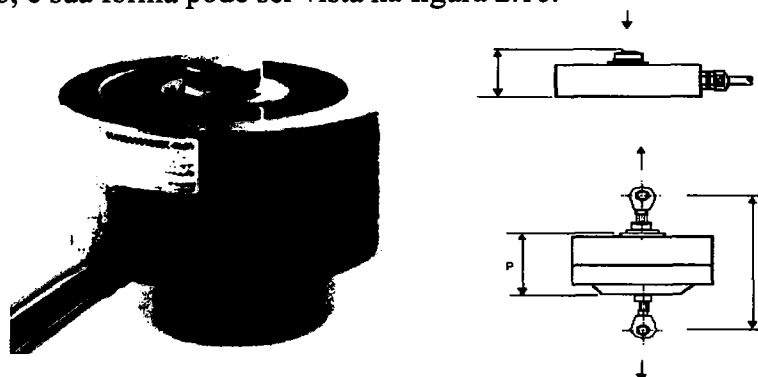


Figura 2.16- Forma e tipos de montagem de célula de carga com forma cilíndrica

[Fonte: Vishay Transducers www.aboutloadcells.com - acessado em 11/09/05 18:30]

O modelo de célula de carga em forma de S é aplicada em medição de força ou pesos de tração ou compressão como dinamômetros e balanças. Sua forma e exemplos de montagem podem ser vistos na figura 2.17.

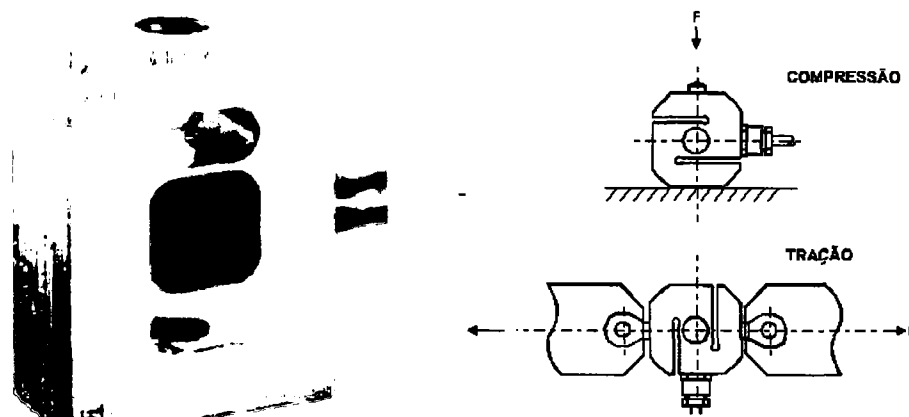


Figura 2.17- Forma e tipos de montagem de célula de carga em forma de S

[Fonte: Vishay Transducers www.aboutloadcells.com - acessado em 11/09/05 18:30]

A célula de carga do tipo apoio de tanque é selada hermeticamente e é aplicada exclusivamente para forças de compressão. É montada como apoio de reservatórios para controle de nível ou de peso. Sua forma é conforme figura 2.18.



Figura 2.18- Forma e montagem da célula de carga do tipo apoio de tanque

[Fonte: Vishay Transducers www.aboutloadcells.com - acessado em 11/09/05 18:30]

2.4 MONTAGEM DA VEDAÇÃO

2.4.1 Descrição do método antigo

A montagem da vedação sobre o pino central da válvula era feita com o auxílio de um dispositivo de acionamento manual conforme mostrado na figura 2.19. O operador colocava a

vedação em um assento localizado sobre o pino, conforme figura 2.20 e então acionava um eixo através de uma alavanca, empurrando a vedação contra o pino. A operação tinha uma produtividade de 390 peças por hora e causava fadiga ao operador devido aos movimentos repetitivos.



Figura 2.19- Dispositivo antigo de montagem da vedação [Fonte: O Autor]

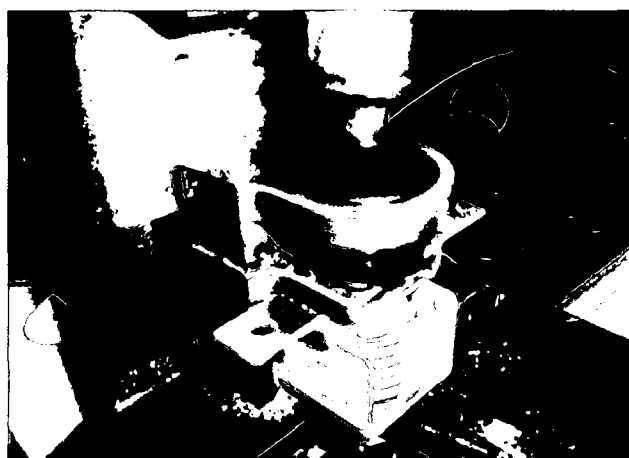


Figura 2.20- Detalhe do posicionamento da válvula e da vedação [Fonte: O Autor]

2.4.2 Montagem com auxílio de pneumática

O uso de cilindro pneumático na montagem da vedação sobre o pino foi considerada nas opções de melhoramento, por ser uma tecnologia simples, de fácil acesso, de baixo custo de instalação e manutenção. A força necessária para a montagem é de 3kgf, então pode ser usado um cilindro de dimensões pequenas, o suficiente para fornecer a força necessária e mais um percentual de segurança de 50%. Exemplo $3\text{kgf} + 50\% = 4,5\text{kgf}$. A válvula direcional para comandar o movimento do cilindro foi dimensionada de acordo com a capacidade do cilindro.

CAPÍTULO 3

3 DESENVOLVIMENTO DO TRABALHO

3.1 PROPOSTA DE AUTOMATIZAÇÃO

Este trabalho propõem agregar tecnologia em operações onde se faz necessária a melhoria na qualidade e a diminuição do esforço humano.

A proposta consiste no desenvolvimento dos seguintes dispositivos:

- dispositivo para teste do deslocamento do diafragma da válvula de drenagem. Na operação antiga a inspeção era feita visualmente, enquanto que no novo método foi utilizada para medição através de uma régua.
- dispositivo para testar a carga medindo a força do diafragma com célula de carga em 100% da produção. Antes a operação era feita por amostragem em laboratório.
- substituição de um dispositivo manual por um pneumático na operação de montagem da vedação.

3.2 TESTES DA CARGA DE GAS E DE DESLOCAMENTO

3.2.1 Conceito do novo método de teste de carga

O novo método consiste em medir a força do diafragma em um deslocamento pré-determinado de 1,5mm. O deslocamento especificado para o diafragma representa a posição

aproximada de atuação da válvula de drenagem na aplicação. A figura 3.1 representa o método implementado.

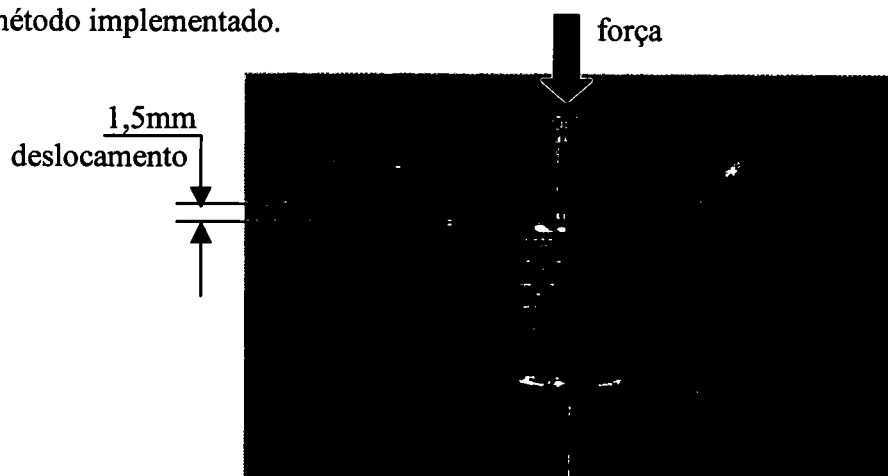


Figura 3.1- Esquema do novo método de teste de carga [Fonte: O Autor]

3.2.2 Alguns cálculos do sistema

Para compreender os cálculos, é necessário seguir os seguintes passos:

- Componentes do cálculo:

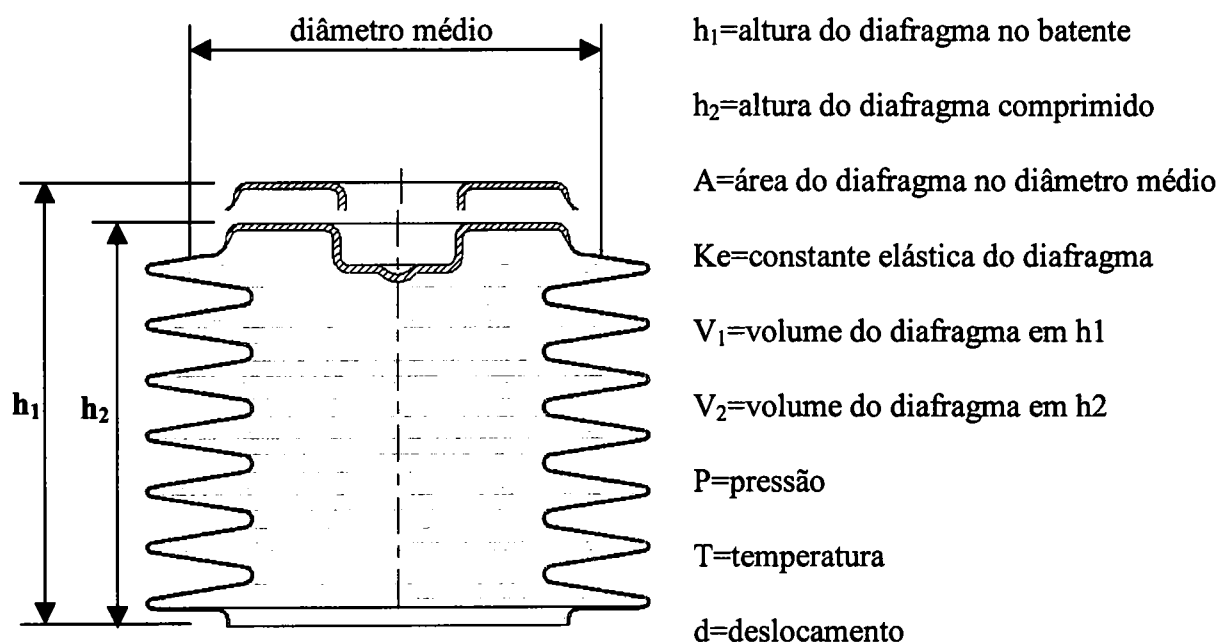


Figura 3.2- Detalhes do diafragma [Fonte: O Autor]

Onde os valores conhecidos são:

$$\begin{array}{lll}
 h_1 = 2,2\text{cm} & A = 4\text{cm}^2 & V_1 = 8,8\text{cm}^3 \\
 h_2 = 2,05\text{cm} & K_e = 2,14 \text{ kgf/cm} & V_2 = 8,2\text{cm}^3
 \end{array}$$

- Cálculo da pressão de carga P2 quando $T = 45^{\circ}\text{C}$

No capítulo 2 foi visto que $P_1/P_2 = T_1/T_2$, então $P_2/T_2 = P_1/T_1$

-pressão atmosférica em Caxias do Sul = 13,54 PSI (700mmHg), fonte Invensys.

$$P_1 = 2,5 \text{ PSI} + 13,54 = 16,04 \text{ PSIA}$$

$$T_1 = 15,5 + 273 = 288,5\text{K (kelvin)}$$

$$T_2 = 45 + 273 = 318 \text{ K}$$

$$P_1/T_1 = 0,056$$

$$P_2 = 0,056 \times 318 = 17,7 \text{ PSIA}$$

$$17,7 - 13,4 = 4,14\text{PSI}$$

$$P_2 = 28,5 \text{ kPa}$$

Conclui-se que a mínima pressão de carga deve ser de 4,14 PSI (28,5 kPa), então é correto carregar com 7,5 PSI (51,7 kPa) conforme processo existente, equivalente ao ponto D da figura 3.3. Este cálculo é aproximado, pois considera como gás ideal, o que não corresponde à realidade, pois o R-160 apresenta expoente isentrópico $K=1,125$ (COSTA,1975).

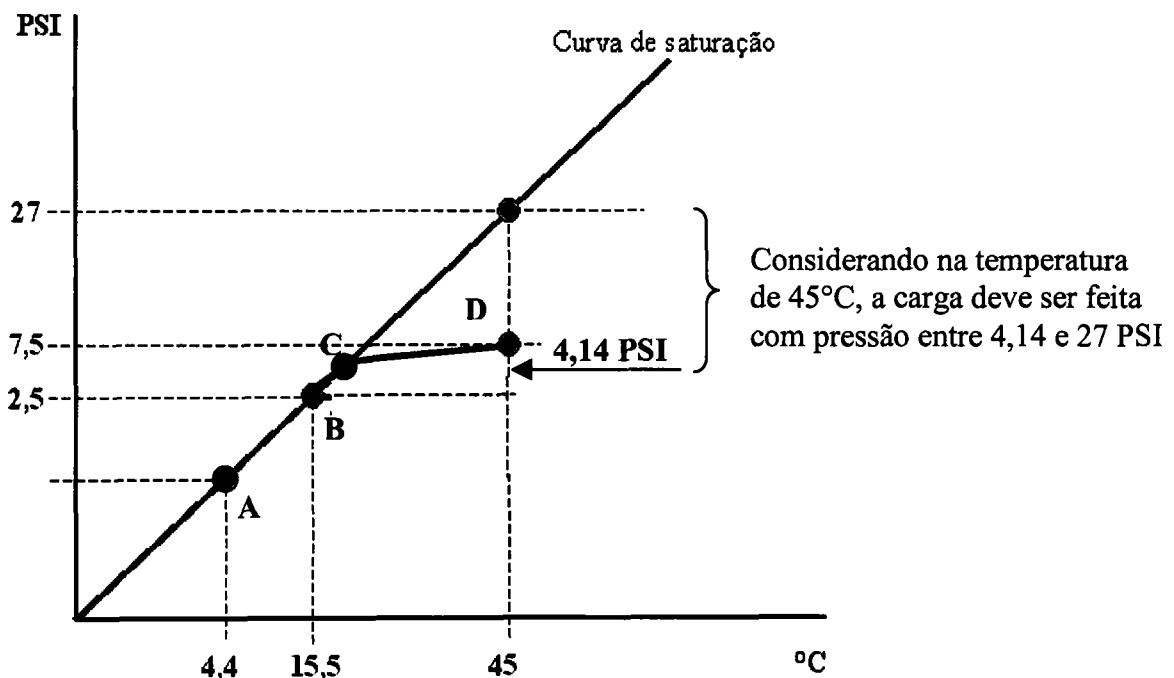


Figura 3.3- Gráfico P x T [Fonte: O Autor]

Entre os pontos A e B, correspondentes às temperaturas de trabalho 4,4 e 15,5°C, tem líquido e vapor ao mesmo tempo, sendo que esta é a região ideal de trabalho.

Como a carga é feita com pressão maior que 4,14 PSI (28,5kPa), é garantido que existe a mistura vapor e líquido saturados em 15,5°C (106,8kPa).

No ponto C sobre a linha, quando todo o gás passa para o estado de vapor, a curva muda sua trajetória. E este ponto é chamado de *break point* (ponto de quebra), e a partir deste ponto o gás não responde mais pela curva de saturação.

- Pressão e Força em h1 (diafragma estendido), quando T=15,5°C :

Considerando que a pressão quando T=15,5°C é de 2,5 PSI, então:

$$2,5 \text{ PSI} = 0,182 \text{ kgf/cm}^2$$

$$F = P.A$$

$$F = 0,182 \times 4$$

$$F = 0,73 \text{ kgf}$$

$$\boxed{F = 7,16 \text{ N}}$$

- Pressão e Força quando T=15,5°C, enquanto diafragma comprimido em h2 :

Embora o volume interno do diafragma tenha diminuído de V1 (8,8cm³) para V2 (8,2 cm³), a pressão continua a mesma (0,182kgf/cm²), pois a temperatura não foi alterada. Neste ponto ocorreu apenas o aumento da quantidade de líquido e a diminuição da quantidade de vapor. Então, no deslocamento de h1 para h2 não ocorrerá variação na força devido à pressão, mas devido à constante elástica do diafragma (Ke) e o seu deslocamento (d). Então:

$$\Delta F = K_e . d$$

$$\Delta F = 2,14 \text{ kgf} . 0,15 \text{ cm}$$

$$\Delta F = 0,32 \text{ kgf}$$

$$\boxed{\Delta F = 3,14 \text{ N}}$$

- Força total medida no teste em h2 quando $T=15,5^{\circ}\text{C}$

$$F_t = F + \Delta F$$

$$F_t = 0,73 + 0,32$$

$$F_t = 1,05 \text{ kgf}$$

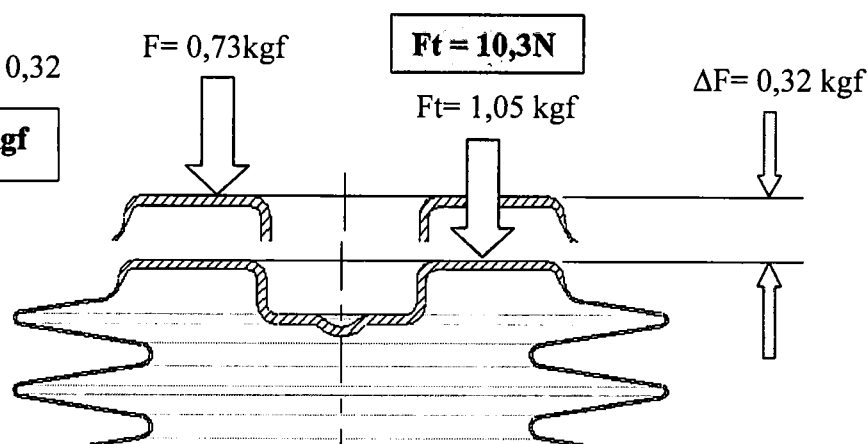


Figura 3.4- Forças do sistema [Fonte: O Autor]

3.2.3 Tecnologia utilizada para medição

A tecnologia escolhida para o novo método de teste consiste no uso de célula de carga para a medição da força do diafragma.

Um cilindro pneumático foi usado para sustentar e deslocar a célula de carga em direção à válvula de drenagem. Devido ao fato da força a ser medida no diafragma é de aproximadamente 1kgf em compressão, o modelo de célula de carga escolhido foi do tipo S, com código SB-5 do fabricante Panantec Ltda, com capacidade de 5kgf.

Alem do fato do modelo SB-5 ser adequado à operação, a escolha foi influenciada também pelo fato desta célula estar disponível na empresa, oriunda de um processo desativado. A figura 3.5 mostra o novo dispositivo.

A seqüência do teste acontece da seguinte forma:

- No momento em que é acionado, o cilindro desloca a célula de carga em direção à válvula de drenagem comprimindo o diafragma até o ponto pré-determinado. Neste momento é verificada a força do diafragma. Durante a medição da força, um jato de álcool é mantido sobre o diafragma para manter uma temperatura constante de $15,5^{\circ}\text{C}$, que é a temperatura especificada em desenho.

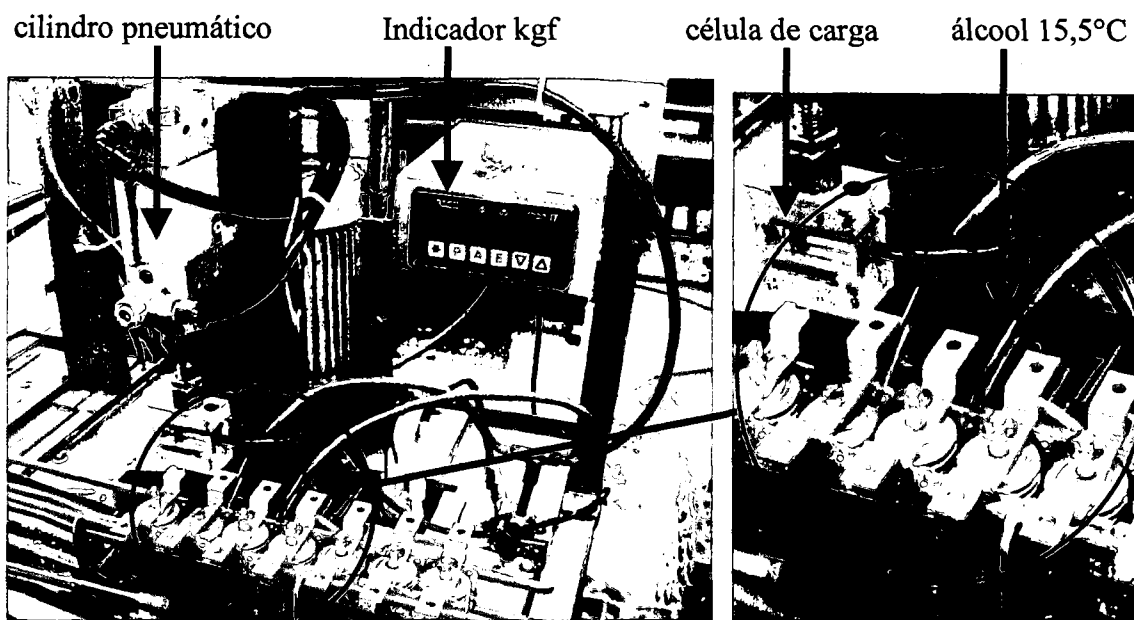


Figura 3.5- Novo dispositivo de teste da carga [Fonte: O Autor]

- A alimentação das peças na base do dispositivo é feita manualmente, pois o produto não pode ser submetido a alimentadores vibratórios ou similares, devido à vulnerabilidade do diafragma a amassamentos. Para o posicionamento da válvula de drenagem no dispositivo, foi desenvolvida uma base capaz de receber várias válvulas simultaneamente, conforme mostrado na figura 3.5. No lado esquerdo da base foi montada uma calha feita em barras de aço, conforme figura 3.6, servindo como um elemento condutor das peças na direção da próxima operação.

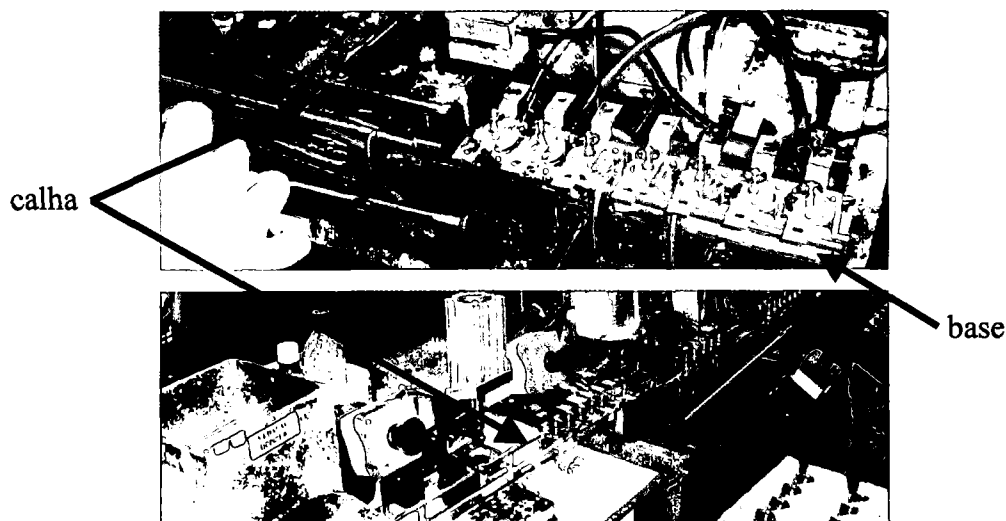


Figura 3.6- Posicionamento da válvula no dispositivo [Fonte: O Autor]

- Um CLP controla o valor informado pelo indicador. Se a força não estiver dentro do limite especificado, o cilindro permanece avançado impedindo a extração da peça rejeitada. A liberação somente acontecerá após a identificação da peça e o acionamento de um botão de liberação.
- Após realizada a medição da força, a válvula de drenagem passa pelo teste de deslocamento sob um jato de álcool a 4,4°C, conforme figura 3.6. Nesta temperatura o diafragma deve contrair 5,1mm, dimensão controlada através de uma peça de aço denominada régua, que fica localizada transversalmente no trajeto em que a válvula deve passar. Se a válvula passar por baixo da régua sem que o pino colida, significa que ocorreu o deslocamento mínimo de 5,1mm, mas se o pino colidir na régua, então não ocorreu o deslocamento mínimo e a válvula é rejeitada.

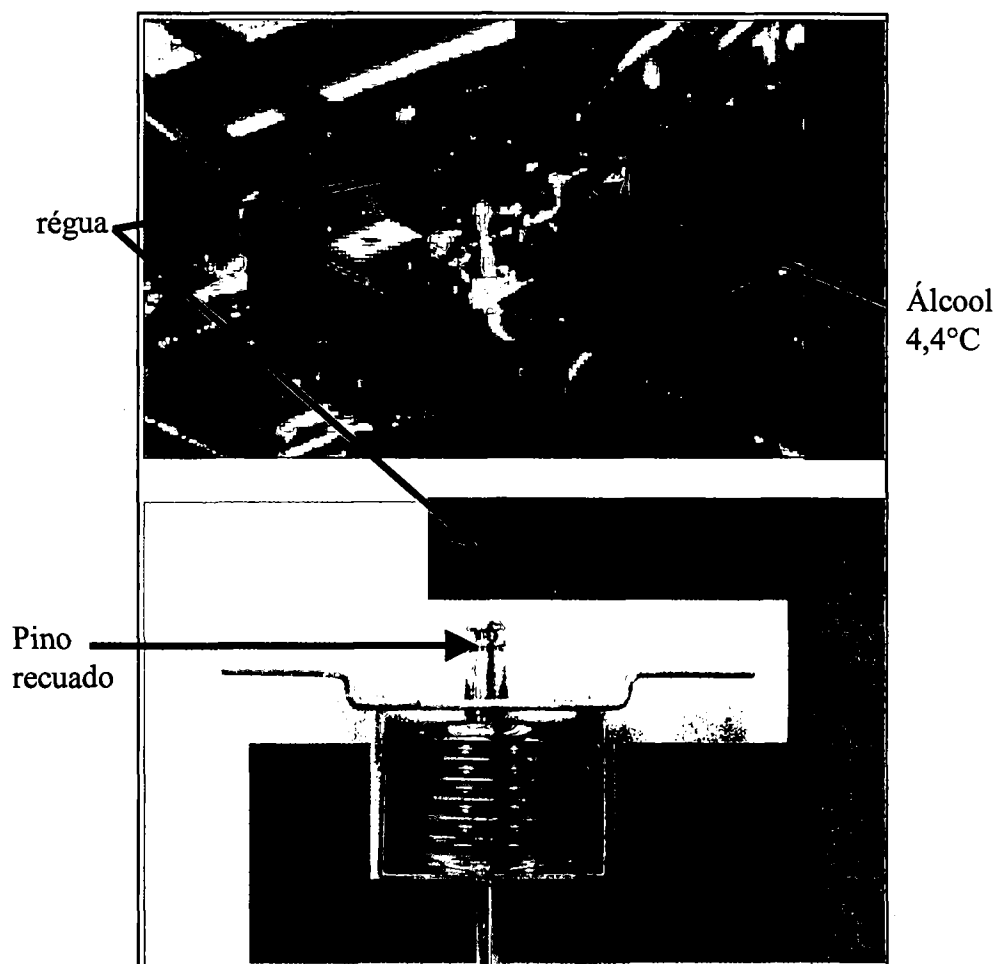


Figura 3.7- Dispositivo de teste de deslocamento [Fonte: O Autor]

- Um CLP controla o valor informado pelo indicador. Se a força não estiver dentro do limite especificado, o cilindro permanece avançado impedindo a extração da peça rejeitada. A liberação somente acontecerá após a identificação da peça e o acionamento de um botão de liberação.
- Após realizada a medição da força, a válvula de drenagem passa pelo teste de deslocamento sob um jato de álcool a 4,4°C, conforme figura 3.6. Nesta temperatura o diafragma deve contrair 5,1mm, dimensão controlada através de uma peça de aço denominada régua, que fica localizada transversalmente no trajeto em que a válvula deve passar. Se a válvula passar por baixo da régua sem que o pino colida, significa que ocorreu o deslocamento mínimo de 5,1mm, mas se o pino colidir na régua, então não ocorreu o deslocamento mínimo e a válvula é rejeitada.

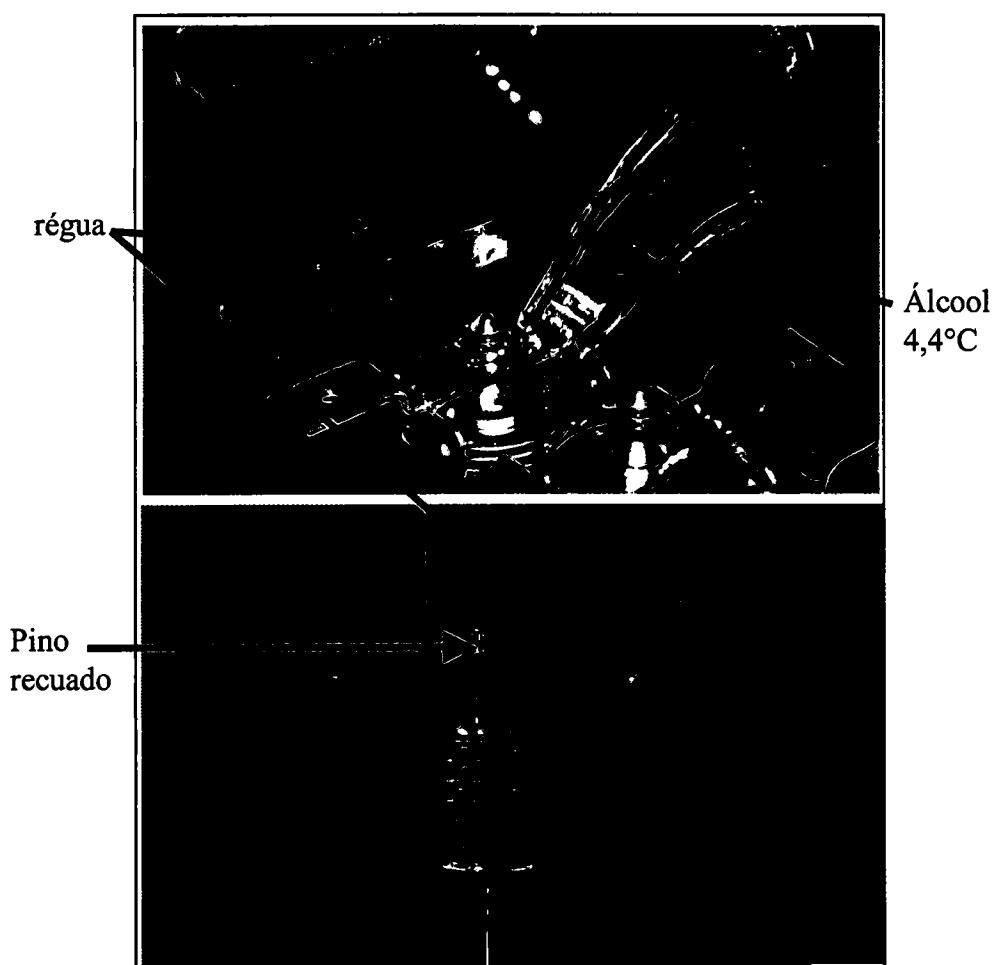


Figura 3.7- Dispositivo de teste de deslocamento [Fonte: O Autor]

3.3 NOVO MÉTODO DE MONTAGEM DA VEDAÇÃO

Para o desenvolvimento do novo dispositivo, foi adotado o mesmo conceito do dispositivo antigo, referente ao assento da vedação, ao assento da válvula no dispositivo e ao movimento vertical do eixo de montagem da vedação no pino.

A nova técnica usada na operação consiste na substituição do movimento manual no acionamento do eixo por um cilindro pneumático, conforme figura 3.7. A válvula direcional responsável pelo comando do cilindro pneumático é acionada por comando bimanual, através das botoeiras mostradas a figura 3.8.

A válvula de drenagem chega ao dispositivo conduzida pela mesma calha originada na operação de teste de força.

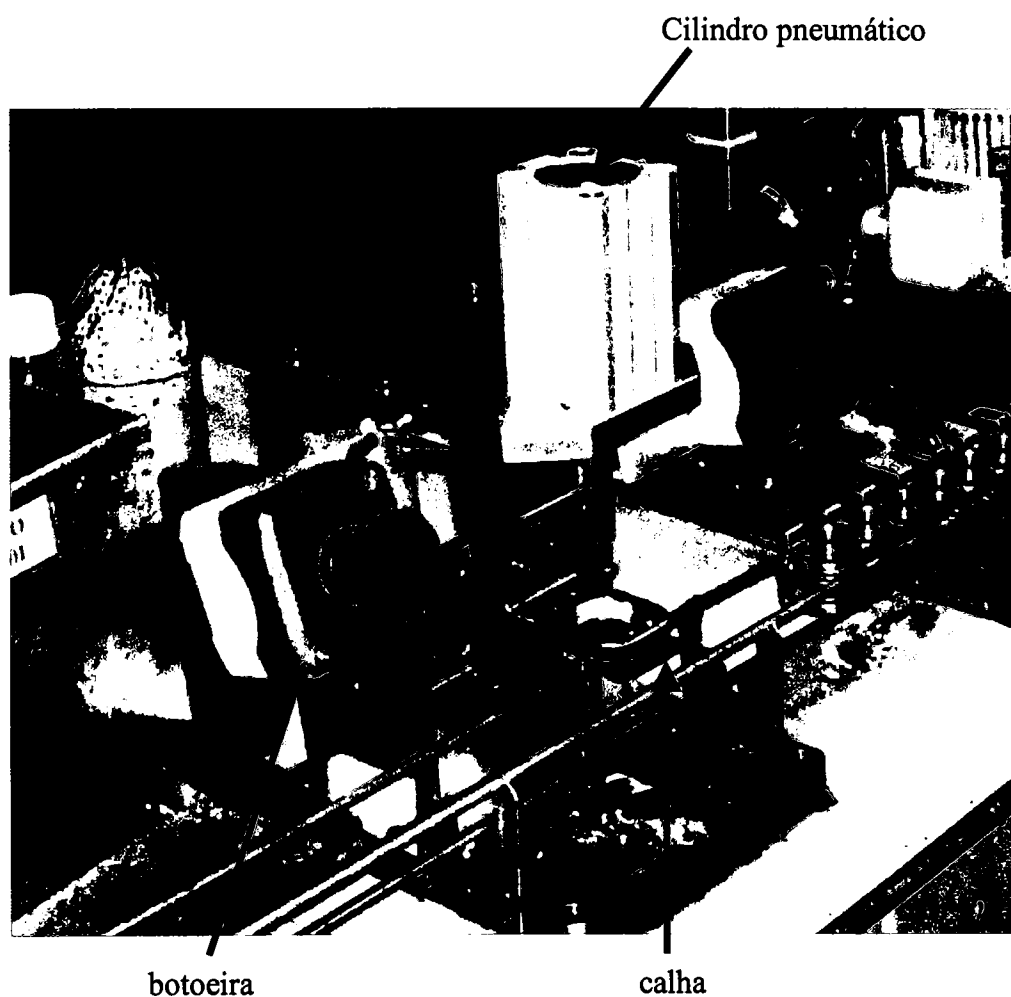


Figura 3.8- Novo dispositivo de montagem da vedação [Fonte: O Autor]

3.4 ALTERAÇÃO DO FLUXOGRAMA

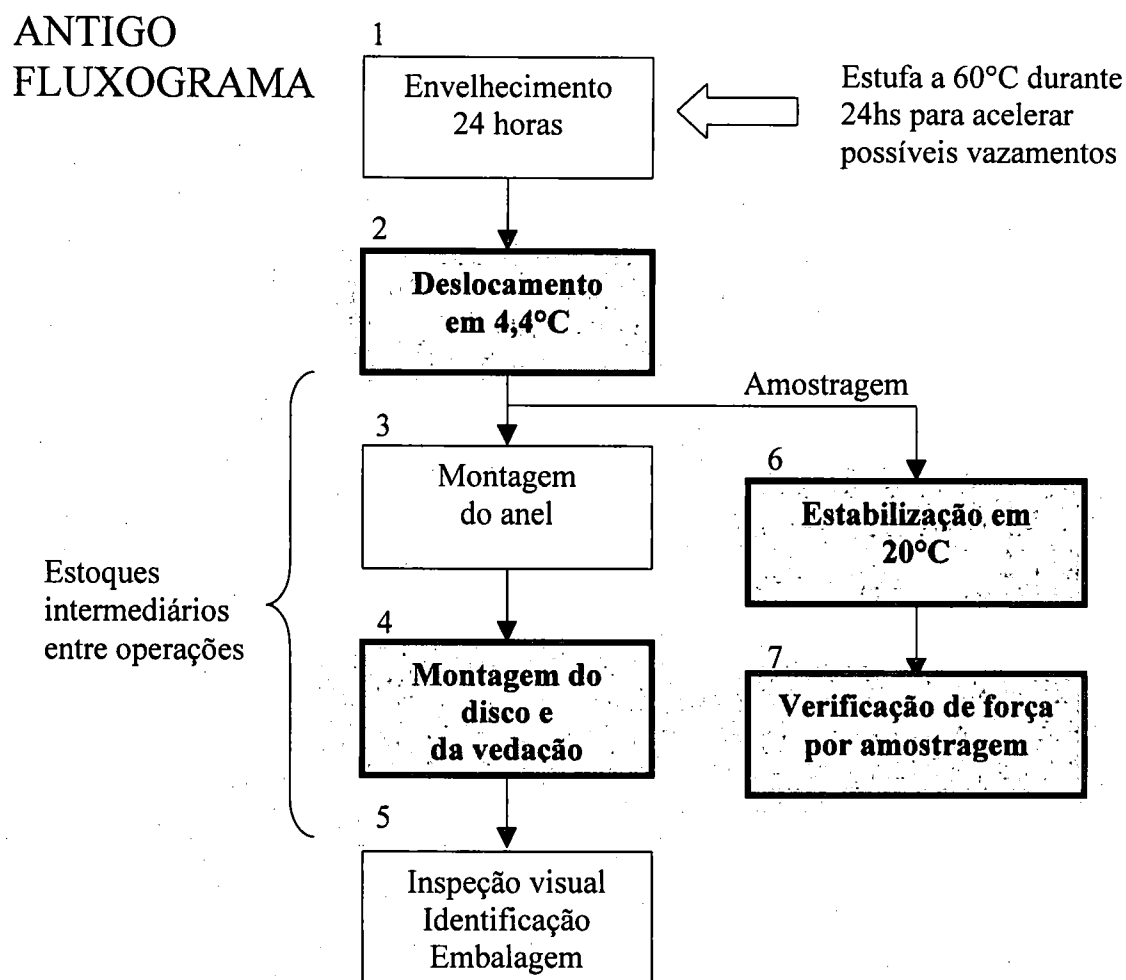


Figura 3.9- Parte do fluxograma antigo [Fonte: O Autor]

O fluxograma acima não mostra todas as operações do processo de montagem da válvula, mas sim a parte do processo onde estão inseridas as operações afetadas por este trabalho. A descrição das operações acima consiste em:

- Operação nº1: Envelhecimento da válvula durante 24 horas em temperatura de 70°C, para evidenciar possíveis vazamentos. Não foi modificada pelo trabalho.
- Operação nº2: Verificação visual do deslocamento em 4,4°C. Foi modificada pelo trabalho.
- Operação nº3: Montagem do anel de retenção. Não foi modificada pelo trabalho.
- Operação nº4: Montagem da vedação. Foi modificada pelo trabalho.

- Operação nº5: Operações finais não modificadas.
- Operação nº6: Preparação para a operação nº7 (inspeção feita por amostragem).
- Operação nº7: Verificação de força do diafragma em dinamômetro, feita numa amostragem de 2% da produção. Foi modificada pelo trabalho.
- Entre as operações 2, 3, 4 e 5 existiam estoques intermediários, que foram eliminados.
- No fluxograma, cada representação de uma flecha significa um transporte entre operações. A produtividade no final da linha de montagem método antigo era limitada pelas operações de teste de deslocamento e montagens de anel, disco e vedação.

NOVO FLUXOGRAMA

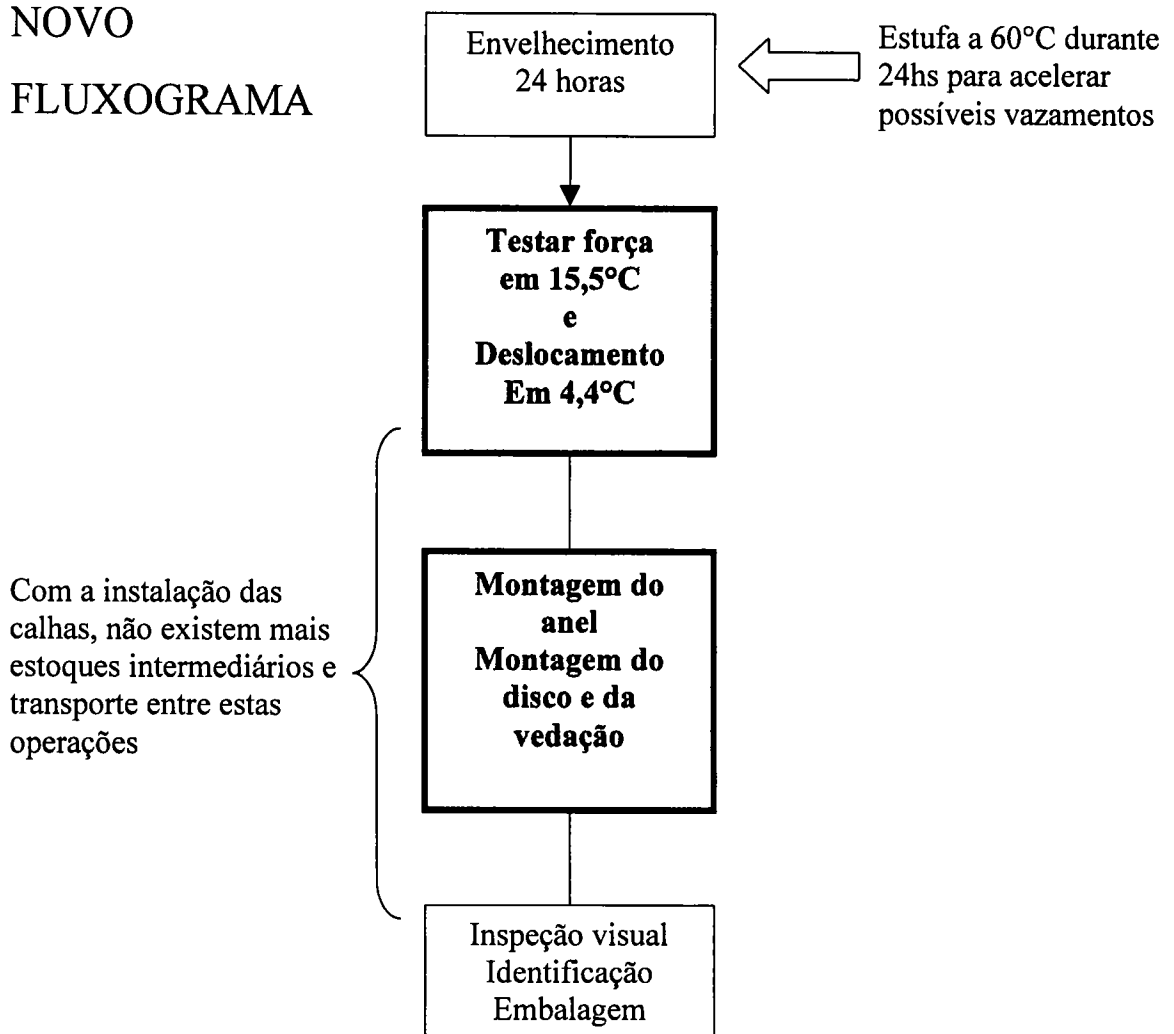


Figura 3.10- Parte do fluxograma novo [Fonte: O Autor]

No novo fluxograma foram unidas quatro operações em apenas duas, ou seja:

- Como não é mais necessário um operador exclusivo para o teste de deslocamento, a operação foi unida com o teste de força.
- Como ocorreu um ganho de produtividade na operação de montagem do disco e da vedação, foi incorporada a operação de montagem do anel.

3.5 INFORMAÇÕES DO PROJETO

- Custo de compra e instalação da Célula de Carga e CLP.....R\$3.600,00
- Custo de instalação de cilindro e válvula pneumática.....R\$ 330,00
- Outros custos como calhas, layout e outros.....R\$ 900,00
- Aumento de produtividade no final da linha de montagem, de 390 para 450 peças por hora, gerando redução de custo ao produto.
- Aumento da confiabilidade dos testes

CONCLUSÃO

As razões que levaram ao desenvolvimento dos novos processos, foram a preocupação com a ocorrência de problemas de funcionamento do produto principalmente após instalado na residência do consumidor e também o objetivo de melhorar a ergonomia das operações.

Considerando que no processo antigo o deslocamento do pino da válvula era avaliado visualmente sem qualquer método de medição, pode-se considerar que o novo processo é mais eficiente porque usa a régua como referência de altura. Devido à régua estar instalada na calha de transporte das peças para a próxima operação, não é mais necessária a existência de um operador específico para esta operação.

O teste da carga de gás no processo antigo era eficiente, mas a amostragem não era suficientemente representativa para detectar problemas de carga no lote de produção. No novo processo toda a produção é testada através da medição da força com célula de carga, garantindo 100% de inspeção sem agregar custo à operação, pois é feita pelo mesmo operador do teste de deslocamento.

Quanto à operação de montagem da vedação, o novo método através de cilindro pneumático resultou não somente na melhoria da ergonomia da operação, mas também no aumento da produtividade.

Os novos processos foram implementados na linha de montagem em setembro de 2005 e os documentos oficiais do processo serão atualizados até novembro de 2005.

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

BORCHARDT, Ildon. **Extensômetros de Resistência Elétrica**. Porto Alegre: *Editora da UFRGS*, 1982

HELDFRICK, Albert. **Instrumentação Moderna**. New Jersey: *Englewood Cliffs*, 1990

AMERICAN SOCIETY OF HEATING, REFRIGERATING AND AIR-CONDITIONING ENGINEERS, INC. **Ashrae Handbook**. Atlanta: *Tullie Circle* , 1985

BRAKER, William. **Matheson Gás Databook**. USA: *Sacaucus*, 1980

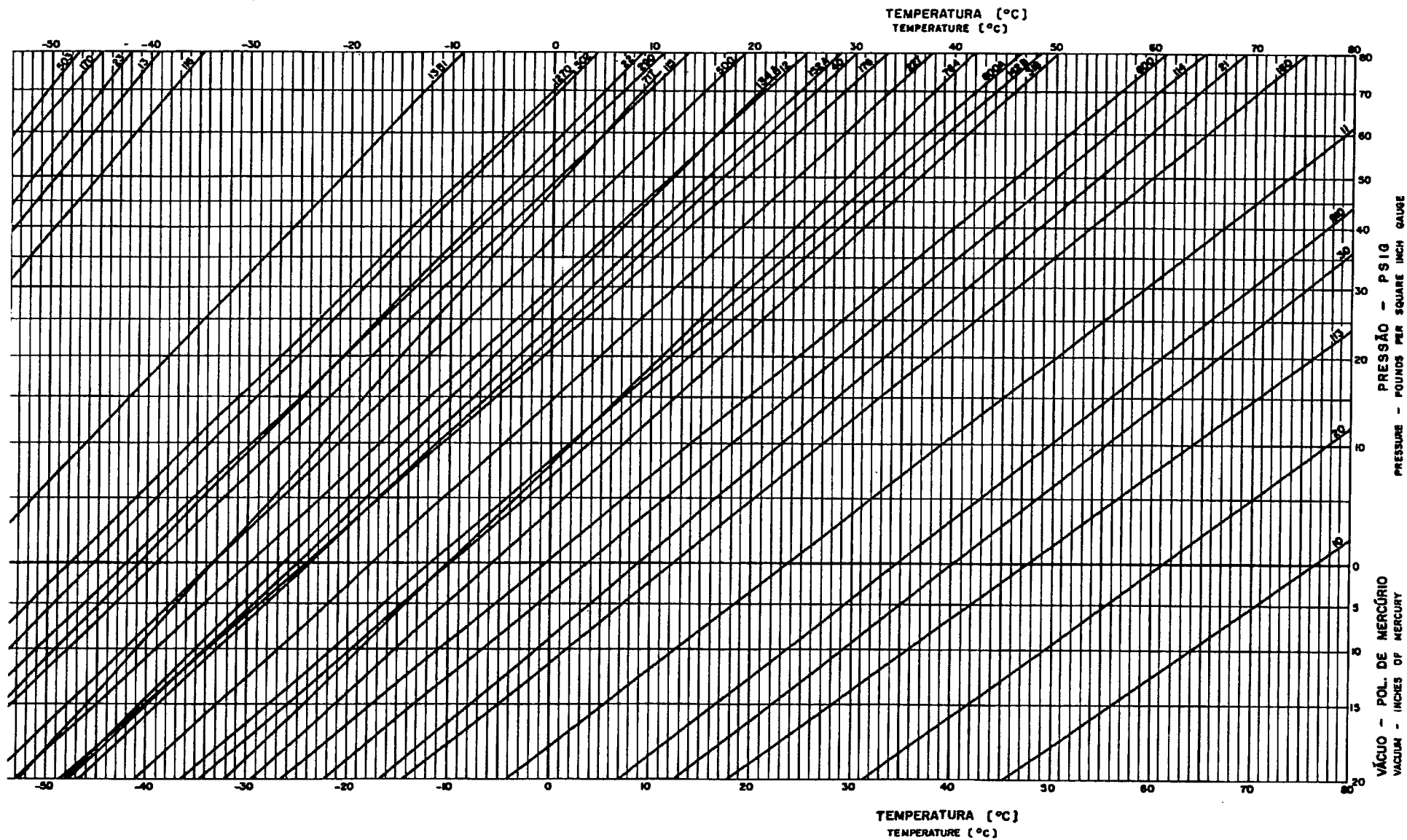
DA COSTA, Ennio Cruz. **Física Industrial**. Porto Alegre: PUC, Emma, 1975

INVENSYS CONTROLS, site institucional corporativo do grupo. Disponível em <http://www.invensys.com/business_products> acessado em 17/08/2005 às 20:00hs

PANENTEC LTDA, Células de Carga, Indicadores e Aplicações . Disponível em <<http://www.panantec.com.br/products>> acessado em 29/08/2005 às 21:30hs

VISHAY TRANSDUCERS, Transdutores e Células de Carga. Disponível em <<http://www.aboutloadcells.com/products/index>> acessado em 11/09/05 às 18:30hs

CURVAS DE PRESSÃO DE VAPOR x TEMPERATURA
 VAPOR PRESSURE x TEMPERATURE CURVES



CURVAS DOS PRINCIPAIS GASES