

MARINHA DO BRASIL
CENTRO DE INSTRUÇÃO ALMIRANTE GRAÇA ARANHA
ESCOLA DE FORMAÇÃO DE OFICIAIS DA MARINHA MERCANTE

ANA LUIZA OTTONI MEIRELLES

O CONTROLE AUTOMÁTICO DE CALDEIRA

RIO DE JANEIRO
2015

ANA LUIZA OTTONI MEIRELLES

O CONTROLE AUTOMÁTICO DE CALDEIRA

Trabalho de Conclusão de Curso apresentado como exigência para obtenção do título de Bacharel em Ciências Náuticas do Curso de Formação de Oficiais de Máquinas da Marinha Mercante, ministrado pelo Centro de Instrução Almirante Graça Aranha.

Orientador: José Adilson Reis

ANA LUIZA OTTONI MEIRELLES

O CONTROLE AUTOMÁTICO DE CALDEIRA

Trabalho de Conclusão de Curso apresentado como exigência para obtenção do título de Bacharel em Ciências Náuticas do Curso de Formação de Oficiais de Máquinas da Marinha Mercante, ministrado pelo Centro de Instrução Almirante Graça Aranha.

Data da Aprovação: ____/____/____

Orientador: José Adilson Reis

Assinatura do Orientador

NOTA FINAL: _____

RIO DE JANEIRO
2015

DEDICATÓRIA

Dedico este trabalho de conclusão de curso a minha família e aos amigos que fiz nessa escola, que hoje considero parte da minha família.

AGRADECIMENTOS

Agradeço primeiramente aos meus pais por todo esforço despendido em minha educação e na formação de meu caráter, dos quais tenho muito orgulho. Gostaria, também, de agradecer a este incrível centro de instrução e a todos aqueles que fazem parte dele, proporcionando não só uma formação acadêmica valorosa, mas também um crescimento pessoal e profissional.

RESUMO

Caldeiras são equipamentos que, para que funcionem no mais perfeito estado, precisam ser continuamente monitorados. Além dos equipamentos e dispositivos inerentes a caldeira que devem estar funcionando conforme o manual indica, suas variáveis precisam ser controladas de perto para evitar qualquer desperdício de materiais, como combustíveis e água, que a cada ano estão mais escassos e conseqüentemente mais caros para o armador. Para o operador e tripulantes a bordo dos navios, ter a caldeira funcionando adequadamente significa ter mais segurança na operação e de quaisquer falhas de equipamentos que podem causar danos catastróficos. Este trabalho apresenta os instrumentos que permitem realizar esse controle, bem como apresenta as características das caldeiras mais comuns usadas atualmente. Em seguida, relaciona os instrumentos de controle com o funcionamento das caldeiras, expondo os sistemas de monitoramento de variáveis. Ainda que atualmente os sistemas estão quase totalmente automatizados, o operador ainda tem importante papel na operação das caldeiras. Os sistemas apenas apresentam e detectam os erros, cabe ao operador decidir quais serão as ações a serem tomadas para continuar os procedimentos.

Palavras-chave: Caldeira. Instrumentação. Automação. Controle. Sistemas;

ABSTRACT

Boilers are machines that require continuous monitoring in order to operate properly. Including the equipment and dispositive related to them that must be working as the manual indicates, its variables need to be controlled all the time to avoid any unnecessary waste, like fuel or water, that are increasingly scarce and consequently more expensive. To the operator and the whole crew on board, having the boiler working properly means more safety on operation and any equipment fails, that can cause catastrophic damage. This paper presents the instruments that allows the operator to control the equipment, and also presents the characteristics of the most used boilers nowadays. Then, it relates the instruments with the boiler operation, exposing the monitoring systems. Although the systems are almost completely automatized, the operator still has an important role on operating the boiler, as he is the one to take the final decisions when the system detects errors.

Keywords: Boiler. Instrumentation. Automation. Control. Systems;

LISTA DE ILUSTRAÇÕES

Figura 1	Símbolos gráficos para instrumentos ou funções	16
Figura 2	Tipos de conexões	17
Figura 3	Força exercida sobre uma área	19
Figura 4	Referenciais para medição de pressão	20
Figura 5	Tipos de tubos de Bourdon	21
Figura 6	Manômetro de diafragma	22
Figura 7	Modelos de manômetros de diafragma	22
Figura 8	Manômetros de fole	23
Figura 9	Modelos de células extensométricas	24
Figura 10	Células capacitivas	25
Figura 11	Termômetro bimetálico	26
Figura 12	Circuito de termopar com duas junções	27
Figura 13	Placa de orifícios	30
Figura 14	Caldeira combinada aquatubular e flamatubular	33
Figura 15	Esquema de uma caldeira aquatubular	37
Figura 16	Funcionamento de uma caldeira flamatubular	38
Figura 17	Funcionamento da caldeira de recuperação	39
Figura 18	Controle de combustão simplificado com acionador independente	41
Figura 19	Sistema de controle de combustão com analisador de oxigênio	42
Figura 20	Malhas de controle de nível	44
Figura 21	Controle de temperatura a um elemento	46
Figura 22	Controle de temperatura a dois elementos	47
Figura 23	Controle de temperatura a três elementos	48
Figura 24	Controle de temperatura no preaquecedor de ar	49
Figura 25	Controle de pressão na câmara de combustão	50

SUMÁRIO

1	INTRODUÇÃO	10
2	FUNDAMENTOS DA INSTRUMENTAÇÃO	12
2.1	Classificação de instrumentos usados em malhas de controle	13
2.2	Instrumentos mais comuns	14
2.3	Símbolos gráficos e identificação dos instrumentos	15
2.3.1	símbolos gráficos usados em plantas de instrumentação	15
2.3.2	identificação dos instrumentos	16
2.4	Instrumentos de pressão	18
2.4.1	referenciais para medição de pressão	18
2.4.2	sensores e medidores baseados na deformação elástica dos materiais	19
2.4.3	sensor e transmissor baseado na capacitância elétrica	22
2.5	Instrumentos de temperatura	24
2.5.1	sensores e medidores bimetálicos	24
2.5.2	sensor termopar	25
2.5.3	sensor de termorresistência	26
2.5.4	transmissor de temperatura	26
2.6	Instrumentos de nível	27
2.6.1	visor de nível	27
2.6.2	sensores e medidores por pressão diferencial	27
2.7	Instrumentos de vazão	28
2.7.1	placas de orifício	28
2.7.2	medidores de vazão	29
2.8	Elemento final de controle	29
3	FUNDAMENTOS DE CALDEIRA	30
3.1	Tipos de caldeira	30
3.1.1	classificação	30
3.1.2	vantagens e desvantagens	31
3.2	Componentes de uma caldeira	32
3.3	Funcionamento	34
4	AUTOMAÇÃO APLICADA NA CALDEIRA	38

4.1	Controle de combustão	38
4.2	Controle de nível e vazão	41
4.3	Controle de temperatura	43
4.3.1	controle de temperatura do vapor superaquecido	43
4.3.2	controle de temperatura no preaquecedor de ar	46
4.4	Controle de pressão	47
4.4.1	controle de pressão na câmara de combustão	47
4.4.2	controle de pressão simplificado	48
4.5	Sistema de segurança	48
5	CONSIDERAÇÕES FINAIS	51
	REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS	52

1 INTRODUÇÃO

Nos últimos anos, a tecnologia da automação vem sendo cada vez mais importante na medida em que novos problemas surgem ainda mais complexos. Os componentes de um sistema de automação evoluíram progressivamente com os anos, desde os primeiros sistemas baseados em controle automático, mecanizado (como as primeiras linhas de montagem do século XX) até os sistemas baseados nas tecnologias atuais como a microeletrônica. O campo de atuação da automação foi expandido, rompendo os limites do ambiente inicial, na medida em que novos tipos de processos foram surgindo e hoje é possível observar aplicações da automação em sistemas desde gerência de informação e negócios em tempo real até sistemas críticos no campo médico, por exemplo. Com o crescente avanço da tecnologia, e a atual necessidade de troca informação em todos os níveis, sistemas de automação modernos passam de simples automações de processos e equipamentos para automação de negócios, lidando com grandes quantidades de informação relevante. Questões como confiabilidade e segurança são fundamentais nesse sentido, e constituem um dos muitos desafios enfrentados pela automação atual.

A cada dia, a área de automação vem crescendo continuamente, assim como qualquer indústria que visa agilizar e automatizar suas tarefas. Para se realizar a automação, pode-se utilizar Controladores Lógicos Programáveis (CLP) que são equipamentos destinados à execução de tarefas de intertravamento, temporização, contagem, operações matemáticas, controle em malha aberta ou fechada e supervisão em máquinas e processos de médio e grande porte, controlando instalações diversas, reduzindo o espaço necessário para equipamentos e facilitando significativamente atividades de reprogramação de instalação e manutenção, aumentando a confiabilidade nos resultados finais.

Este crescimento tecnológico é de suma importância para as empresas que vem buscando a cada dia melhorar a segurança de seu pessoal e de seu material, visto que os sistemas de controle minimizam os acidentes devido a falhas de equipamentos.

O rápido crescimento industrial exigiu do ser humano a mesma velocidade para adaptar-se à sua forma de controlar a produção. A automação dos processos com o auxílio da instrumentação surgiu como forma de facilitar não só para fins lucrativos, mas, também com

o intuito de minimizar riscos e tornar o trabalho menos árduo, o que é extremamente necessário no caso de caldeiras devido à alta periculosidade e os cuidados exigidos.

2 FUNDAMENTOS DA INSTRUMENTAÇÃO

A automação industrial está presente no dia-a-dia das sociedades modernas. Automação consiste na aplicação de técnicas mecânicas ou computadorizadas a fim de reduzir o uso de mão-de-obra em processos de produção.

A bordo dos navios, o controle das condições dos fluidos referente a temperatura, pressão, vazão, nível e teor de umidade, constitui uma tarefa rotineira aos oficiais de serviço. Para isso, os instrumentos de medição estão presentes para facilitar essa tarefa, informando com precisão as condições necessárias para o funcionamento normal das máquinas, proporcionando maior segurança e controle as operações.

Para o completo entendimento deste trabalho, faz-se necessário definir alguns termos:

- a) Variável manipulada: agente físico que recebe a ação do controlador e altera o meio controlado;
- b) Variável controlada: agente físico que se deve manter em um valor desejado;
- c) Variável secundária: variável mais próxima da variável controlada e que instantaneamente interfere na mesma;
- d) Variável de entrada: valor emitido pelo elemento de ajuste do *setpoint* para o controlador;
- e) Valor de referência (*setpoint*): valor com que se deseja manter a variável (valor desejado);
- f) Sistema: conjunto de elementos dinamicamente relacionados, onde as informações de entrada influenciarão as informações de saída;
- g) Processo: conjunto sequencial de procedimentos que visam atingir uma meta;

- h) Controle: processo de um sistema em que o valor de saída é continuamente comparado com o valor de referência (valor desejado), de modo com que o processo de comparação atue na entrada do sistema para que seja atingido o valor desejado na variável controlada;
- i) Sensor: elemento de um instrumento de medição que detecta o valor da variável;
- j) Malha de controle: combinação de instrumentos interligados que medem e/ou controlam uma variável;

2.1 Classificação de instrumentos usados em malhas de controle

O instrumento medidor ou sistema de medição pode ser do tipo pneumático, hidráulico, mecânico, elétrico, eletrônico ou qualquer das combinações anteriores, como por exemplo eletromecânico. Cada sistema de medição possui os dispositivos básicos, para correta execução de diversas funções. São eles:

- Elemento primário: cria as condições da variável a ser medida;
- Detector: detecta a variável a ser medida e converte o parâmetro em um sinal mecânico;
- Conversor: converte o sinal de saída do detector por um sinal que será usado pelos elementos de controle do processo;
- Amplificador: aumenta a magnitude do sinal da variável detectada
- Indicador: mostra o valor medido da variável de processo

2.2 Instrumentos mais comuns

Os instrumentos mais comuns podem ser observados na tabela abaixo:

	Pressão	Temperatura	Vazão	Nível
Sensores	Bourdon	Bimetal	Orifício	Flutuador
	Fole	Termorresistência	Volumétrico	Pressão
	Diafragma	Termopar	Turbina	Radar
	Capacitivo	Radiação	Magnético	Ultrassom
	<i>Strain gauge</i>		Ultrassom	
	Piezoelétrico		Coriolis	
Indicadores Locais	Manômetro	Termômetro		
Visores (<i>gauges</i>)			Rotâmetro	Visor
Transmissores			Pulsos	
	Pneumáticos 3-15 psig (0,2-1,0 kg/cm ²)			
	Analógicos 4-20 mA 1-5 volts			
	Controladores digitais, Protocolos HART e <i>Fieldbus</i>			
Controladores	Pneumáticos locais e de painel			
	Eletrônicos analógicos			
	Eletrônicos digitais multimalhas			
Registradores	Pneumáticos locais e de painel			
	Eletrônicos analógicos			
	Eletrônicos digitais multimalhas			
Totalizadores			Computadores	
Sistemas	SDCD – Sistema Digital de Controle Distribuído			
	SCADA – <i>Supervisory Control and Data Acquisition</i>			
	CLP – <i>Programmable logic controller</i>			

Tabela 1 – instrumentos mais utilizados

2.3 Símbolos gráficos e identificação dos instrumentos

A Norma ISA S5.1 (*Instrumentation Symbols and Identification*) estabelece uma padronização para os instrumentos e sistemas de controle em equipamentos e processos industriais por meio de códigos de identificação alfanuméricos, abreviaturas, símbolos, elementos gráficos, blocos de função e linhas de conexão que deverão ser usados nos diagramas de malhas de controle de projetos de instrumentação, facilitando a interpretação do processo.

2.3.1 símbolos gráficos usados em plantas de instrumentação

A tabela a seguir mostra os símbolos gerais para instrumentos ou funções programadas.

Localização Tipo	Principal	Campo	Auxiliar
Instrumentos discretos			
Instrumentos compartilhados			
Computador de processo			
Controlador programável			

Figura 1 – Símbolos gráficos para instrumentos ou funções

Os símbolos a seguir são usados de acordo com a natureza do sinal transmitido. Todas as linhas que interligam os instrumentos devem ser mais finas do que as das tubulações de processo.

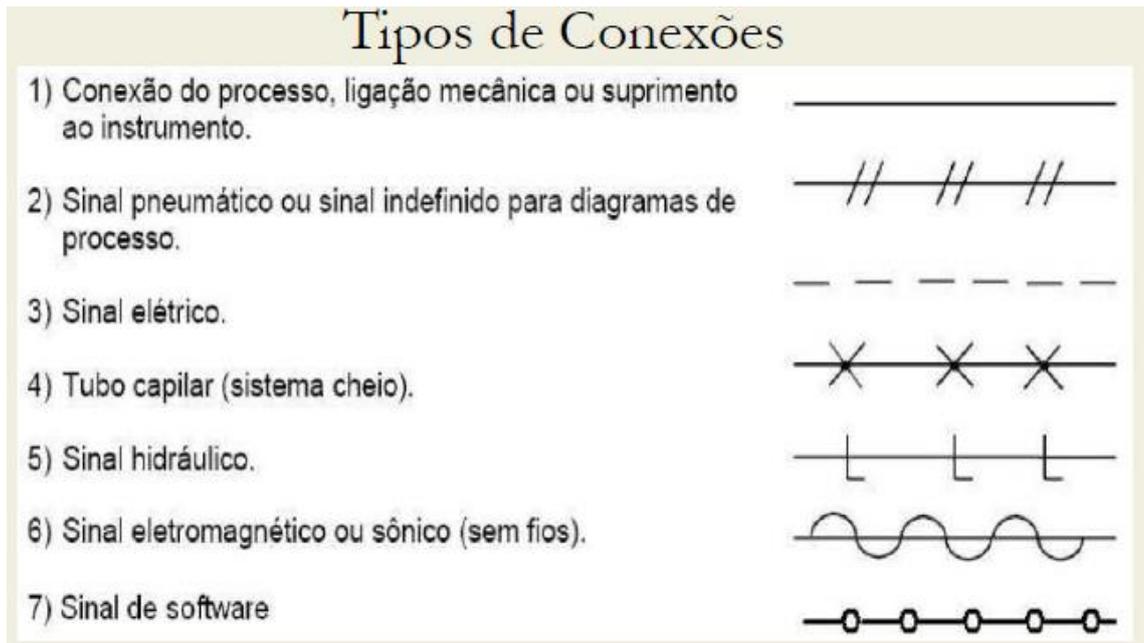


Figura 2 – Tipos de conexões

2.3.2 identificação dos instrumentos

A identificação ocorre da seguinte maneira: o 1º grupo de letras indica a variável medida, sendo a 1ª letra a variável medida e a 2ª letra a modificadora. O 2º grupo de letras indica a função do instrumento, sendo a 1ª letra a função passiva ou de informação, a 2ª letra a função ativa ou de saída e a 3ª letra a modificadora.

Exemplos:

LT – transmissor de nível

CIT – controlador e indicador de temperatura

1º GRUPO DE LETRAS			2º GRUPO DE LETRAS		
LETR	VARIÁVEL MEDIDA		FUNÇÃO		
A	1ª Letra	Modificadora	Passiva ou de Informação	Ativa ou de Saída	Modificadora
A	Análise		Alarme		
B	Chama				
C	Condutividade elétrica			Controlador	
D	Densidade	Diferencial			
E	Tensão		Sensor		
F	Vazão	Razão			
G	Escolha do usuário		Visão direta		
H	Manual				Alto
I	Corrente elétrica		Indicador		
J	Potência	Varredura			
K	Temporização	Taxa variação com o tempo		Estação de controle	
L	Nível		Lâmpada piloto		Baixo
M	Umidade	Instantâneo			Médio, Intermediário
N	Escolha do usuário				
O	Escolha do usuário		Orifício de restrição		
P	Pressão		Conexão para teste		
Q	Quantidade	Integração, Totalização			

R	Radiação		Registrador		
S	Velocidade, Freqüência	Segurança		Chave	
T	Temperatura			Transmissor	
U	Multivariável		Multifunção		
V	Vibração, Análise mecânica			Válvula, Damper	
W	Peso, Força		Poço ponta de prova		
X	Não classificada	Eixo dos X	Não classificada	Não classificada	Não classificada
Y	Estado, Presença, Seqüência de eventos	Eixo dos Y		Relé, Conversor Solenóide	
Z	Posição, Dimensão	Eixo dos Z		Acionador, Atuador, Elemento final de controle.	

Tabela 2 – Norma ISA 5.1

2.4 Instrumentos de pressão

A pressão pode ser definida como a relação entre a força exercida em uma superfície e a área da superfície em que a força é aplicada.

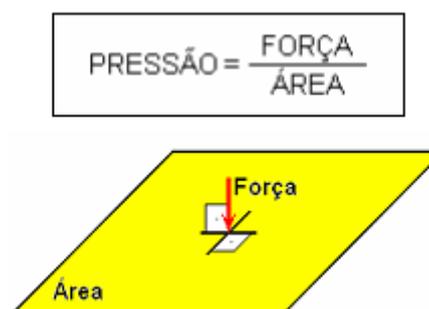


Figura 3 – Força exercida sobre uma superfície

2.4.1 referenciais para medição de pressão



Figura 4 – Referenciais para medição de pressão

- Pressão atmosférica: pressão medida na atmosfera terrestre medida por um barômetro;
- Pressão absoluta: pressão positiva a partir do vácuo perfeito;
- Pressão manométrica: pressão medida a partir da pressão atmosférica;
- Vácuo: pressão negativa em relação a pressão atmosférica;
- Pressão diferencial: resultado da diferença entre duas pressões medidas em pontos diferentes.

2.4.2 sensores e medidores baseados na deformação elástica dos materiais

Estes tipos de medidores de pressão usam, basicamente, o princípio da Lei de Hooke para operação. Dentro da zona elástica, a tensão é proporcional a deformação e a deflexão é então proporcional à pressão aplicada.

Os três tipos de medidores básicos deste tipo são: tubos de bourdon, manômetros de diafragma e manômetros de fole.

Os **manômetros de Bourdon** funcionam da seguinte forma:

- O tubo achatado possui duas extremidades: uma fixa e outra fechada e livre;
- A extremidade fechada se movimenta se a pressão aplicada ao manômetro for superior à pressão externa;
- O movimento da extremidade fechada causa articulação do conjunto formado por alavancas e engrenagens;
- Esse movimento das alavancas e engrenagens é transmitido ao ponteiro indicador que, por sua vez, registra pressão sobre uma escala graduada.

Conforme pode ser observado na figura abaixo, existem três tipos de tubos de Bourdon: podem ser constituídos com tubo em forma de C, espiral ou helicoidal.



Figura 5 – Tipos de tubos de Bourdon

Os **manômetros de diafragma** são constituídos por um disco flexível com área relativamente grande e ótima vedação. Os discos geralmente são construídos com material elástico e, para se obter flexibilidade são construídos com ondulações concêntricas em seu

perfil. Acoplado à superfície do diafragma existe um pequeno êmbolo ou uma mola, que é calibrada e é capaz de indicar uma determinada faixa de pressão. Acoplada à mola ou êmbolo, por meios mecânicos, pode-se ter um ponteiro ou dispositivo que indique a deformação sofrida pelo diafragma.

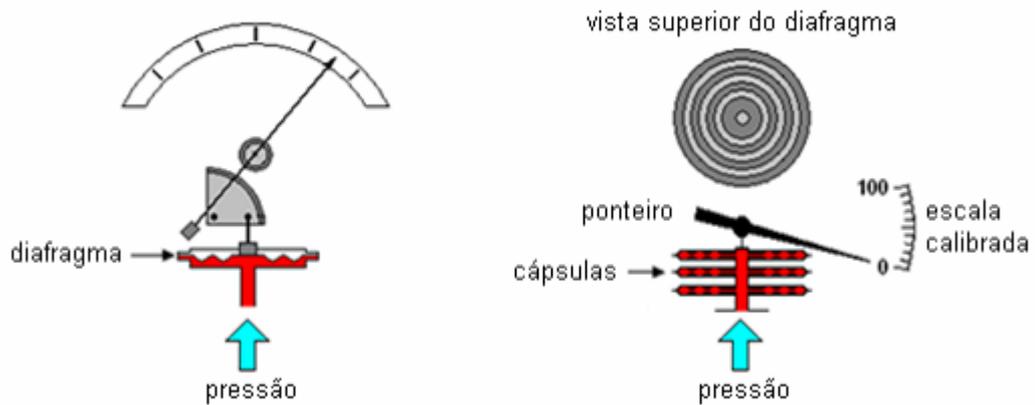


Figura 6 – manômetro de diafragma



Figura 7 – modelos de manômetros de diafragma

Os **manômetros de fole** possuem um elemento elástico, geralmente formado a partir de um tubo de parede fina, sem costura, com corrugações na sua parede externa. Eles podem ser bastante sensíveis, porém esse tipo de manômetro é indicado para medição de pressões baixas.

Na figura abaixo, são mostrados dois tipos de manômetros de fole: o tipo simples e o tipo com mola.

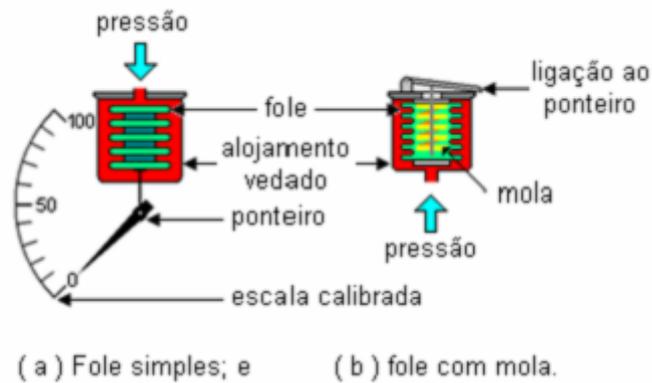


Figura 8 – manômetros de fole

2.4.3 sensor e transmissor baseado na capacitância elétrica

Esses medidores utilizam a variação de resistência elétrica em função da variação do comprimento ou da área da seção transversal do condutor elétrico para indicar a pressão.

São também chamados de **células extensométricas**, pois o elemento de detecção de pressão é construído de tal forma que quando for submetido a uma pressão, sofrerá um estiramento proporcional à pressão aplicada.

O princípio físico deste tipo de sensor pode ser facilmente entendido por meio da seguinte equação:

$$R = \rho \times \frac{L}{A}$$

Onde:

ρ é a resistividade do condutor;

L é o comprimento do condutor; e

A é a seção transversal do condutor.

A equação acima nos mostra que a resistência elétrica de um condutor é diretamente proporcional ao seu comprimento e inversamente proporcional à seção transversal.

Quando a célula extensométrica sofre um estiramento por pressão (força ou aceleração), o valor de sua resistência elétrica sofre alteração proporcional ao estiramento sofrido, pois o comprimento e a área da seção transversal do condutor são alterados.



Figura 9 – modelos de células extensométricas

O sensor que usa o princípio da capacitância elétrica é denominado medidor de pressão capacitivo e seu funcionamento consiste na diferença de pressão entre as câmaras de alta e baixa pressão, que produzem uma força no diafragma isolador que é transmitida pelo líquido de enchimento. Essa força atinge o diafragma sensor provocando sua deformação e alterando o valor das capacitâncias formadas pelas armaduras fixas e móvel. Um circuito eletrônico mede essa alteração e gera um sinal proporcional à variação da pressão aplicada à câmara da cápsula de pressão diferencial capacitiva.

Esse tipo de medidor tem como principal vantagem a ausência de alavancas, molas ou êmbolos acoplados a ponteiros, como ocorre em manômetros de fole, de diafragma e de Bourdon. Portanto, ele não apresenta defeitos mecânicos devido a partes móveis.

No entanto, a célula capacitiva tem como desvantagem a exposição a condições adversas de funcionamento, como altas temperaturas provenientes do próprio processo e a falta de linearidade entre a capacitância e a distância das armaduras graças à deformação não-linear de sua armadura móvel, porém esses efeitos podem ser compensados por meio de circuitos eletrônicos.

A figura abaixo apresenta alguns detalhes da construção da célula capacitiva e um modelo comercial deste sensor:

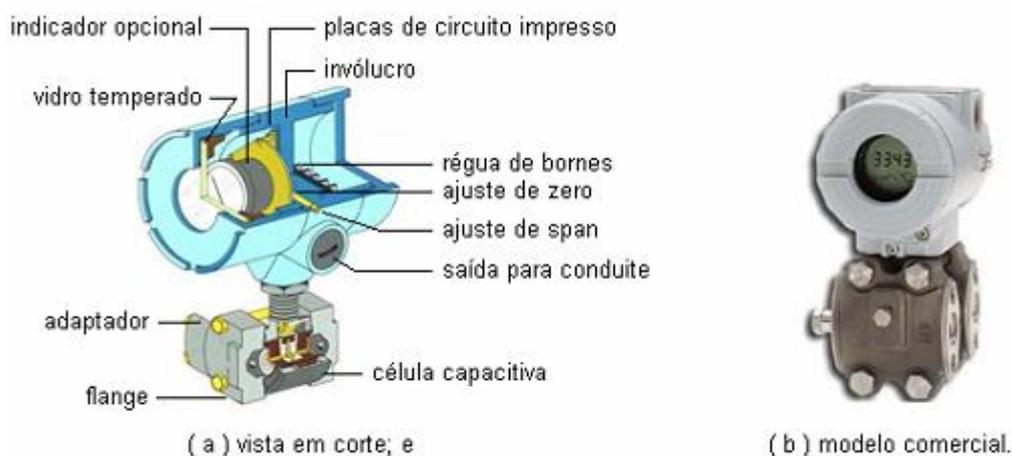


Figura 10 – células capacitivas

2.5 Instrumentos de temperatura

A temperatura é comumente definida como o grau de agitação de moléculas que constituem um corpo. Quanto maior a agitação das moléculas, maior a temperatura do corpo. É normalmente medida por termômetros e pirômetros.

As unidades mais comuns de temperatura são **Kelvin (K)**, **Celsius (°C)** e **Fahrenheit (°F)**.

2.5.1 sensores e medidores bimetálicos

Os medidores bimetálicos utilizam o princípio da diferença de coeficiente de dilatação térmica de dois metais com características físicas distintas, ou seja, uma das ligas tem um alto coeficiente enquanto a outra tem um baixo coeficiente.

Quando expostas a altas temperaturas, as duas ligas metálicas se dilatam, mas uma se dilata mais que a outra devido ao coeficiente ser maior, causando uma deflexão.

Uma das extremidades da liga é presa e a outra extremidade é solta. A extremidade solta, ao ocorrer a deflexão, indica a temperatura em uma escala graduada através de um ponteiro preso à espira ou a mola que se desloca de acordo com o movimento desta.

As ligas bimetálicas são soldadas ou encravadas, podendo ser enroladas na forma helicoidal ou espiral, conforme a figura abaixo.

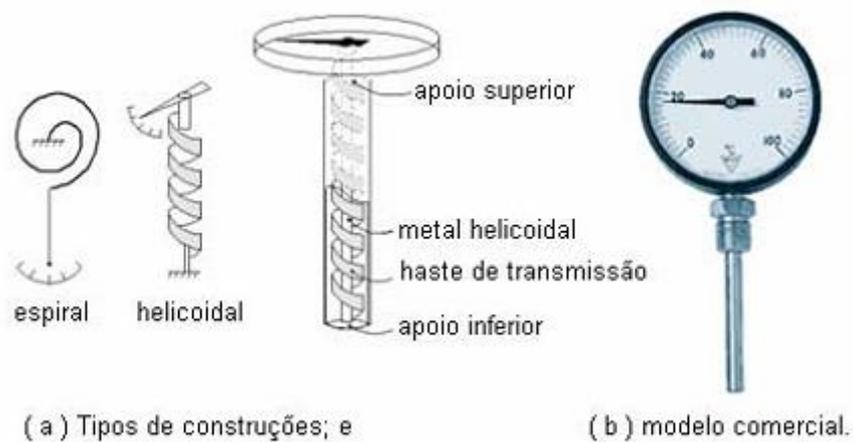


Figura 11 – termômetro bimetálico

2.5.2 sensor termopar

O termopar consiste na junção de dois ou mais materiais metálicos diferentes, que pode ser feito por solda ou fusão dos dois materiais. O funcionamento do termopar baseia-se no efeito termoelétrico, descoberto por Seebeck em 1822, que produz uma voltagem de circuito aberto V_0 , quando duas junções são mantidas em temperaturas diferentes. Para isso as junções J1 e J2 devem ser mantidas em temperaturas diferentes.

A figura abaixo pode ilustrar melhor esse processo:

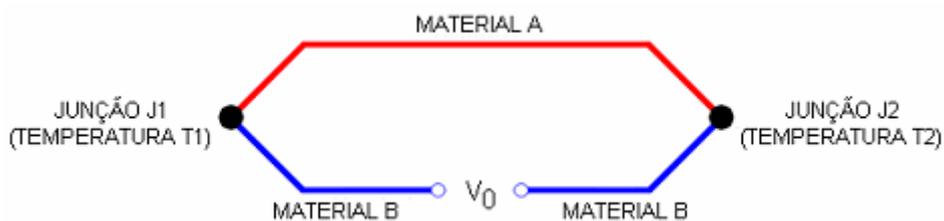


Figura 12 – circuito de termopar com duas junções

A diferença de potencial V_0 é determinada pela diferença de temperaturas $T_1 - T_2$ entre as junções. Esse potencial é proporcional a temperatura medida pelo instrumento.

Existem diversas combinações metálicas usadas por medidores termopar, as quais recebem uma letra que indica o tipo do termopar, cada um com suas características físicas e faixa de funcionamento. Assim, tem-se, por exemplo: termopar tipo E (cromel – níquel e cromo com constantan – cobre e níquel), tipo J (ferro com constantan – cobre e níquel) e tipo K (cromel e alumel – níquel e alumínio).

2.5.3 sensor de termorresistência

As termorresistências baseiam-se na propriedade da alteração da resistência elétrica dos metais de acordo com a temperatura.

Para esse fim, os fios normalmente são compostos por platina (Pt100) e níquel (Ni120), cujos nomes se referem a medida da resistência, em ohms, a temperatura de 0°C (100 ohms e 120 ohms, respectivamente).

Em comparação com os termopares, as termorresistências apresentam algumas vantagens como maior estabilidade e precisão, porém com maior custo e superaquecimento, devido à baixa resistência.

2.5.4 transmissor de temperatura

A função dos transmissores de temperatura é converter a informação dos instrumentos medidores de temperatura (termopares e termorresistências) em sinais padronizados de transmissão, analógicos ou digitais, fazendo as compensações necessárias na medição.

2.6. Instrumentos de nível

A medição de nível tem como função a indicação ou controle de quantidades de materiais sólidos e líquidos armazenados em tanques ou recipientes diversos, podendo ser abertos ou fechados.

Os diversos princípios físicos utilizados na medição de nível são: vasos comunicantes, tempo de propagação de onda, capacitância, pressão hidrostática e pressão diferencial.

2.6.1 visor de nível

O princípio dos vasos comunicantes é usado para o funcionamento do visor de nível, proporcionando uma maneira fácil de realizar medição e ao mesmo tempo com alta confiabilidade. Nos diagramas, é indicado pelas letras LG (*level gage*). É um instrumento usado como indicador local em vasos de processos, mesmo que exista um transmissor que envie informações para a sala de controle. São instalados lateralmente e externamente ao tanque, para permitir sua fácil retirada para limpeza e manutenção.

2.6.2 sensores e medidores por pressão diferencial

O princípio utilizado em medidores por pressão diferencial é bastante simples: mede-se a pressão na parte superior e a pressão na parte inferior do vaso ou tanque e então calcula-

se a diferença entre elas, por meio de um transmissor de pressão diferencial. Em consequência, o volume e o nível são proporcionais a essa pressão diferencial medida.

2.7 Instrumentos de vazão

A medição da vazão consiste basicamente na medição da quantidade de fluido em movimento em relação a um período de tempo e é muito importante a bordo dos navios para verificação do rendimento do processo. Ela permite que estabeleçamos relações corretas dos materiais em processo, para controle da qualidade da produção e controle de custo.

2.7.1 placas de orifício

A medição de vazão por placas de orifício é baseada no método indireto da perda de carga variável, o mesmo usado pelo tubo de Pitot e do tubo de Venturi.

É o dispositivo de fluxo mais utilizado, devido ao seu baixo custo de fabricação e instalação, apesar de provocar a maior perda de carga dentre os outros instrumentos de vazão. Fornecem leituras precisas e, quando usadas com coeficientes de correção, podem ser muito precisas como a maioria dos instrumentos de medição de vazão.

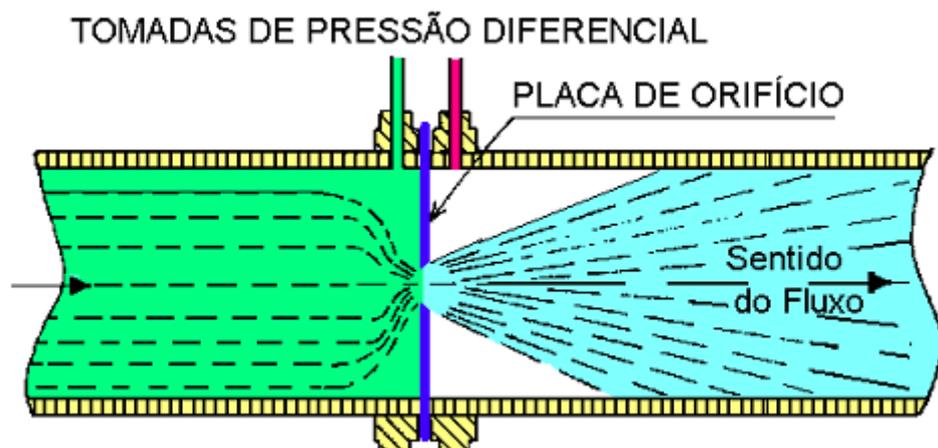


Figura 13 – Placa de orifício

2.7.2 medidores de vazão

Existem muitas outros instrumentos capazes de medir a vazão de fluidos líquidos ou gasosos. Dentre esses numerosos dispositivos, empregam-se diversos métodos, dos quais podemos citar o método direto, o método indireto, gravimétrico, volumétrico e alguns outros.

O método direto consiste na determinação do volume ou peso morto do fluido que atravessa uma seção num dado intervalo de tempo. Os principais dispositivos que utilizam esse método são de deslocamento positivo do fluido e disco nutante.

O método indireto exige que seja determinada a carga, a diferença de pressão ou velocidade em diversos pontos numa dada seção transversal. Os dispositivos mais comuns que utilizam esse método são o tubo de pitot, as placas de orifício, o tubo de venturi e o rotâmetro.

2.8 Elemento final de controle

O Elemento final de controle é um dispositivo que modifica o valor da variável manipulada em função do sinal da unidade de controle. Sua importância pode ser comparada à do sensor (elemento primário), do transmissor e do controlador.

De forma geral, o elemento final de controle é uma válvula de controle, que podemos definir como sendo um dispositivo capaz de regular a vazão de um fluido de controle que escoar através de uma tubulação, por meio do posicionamento de uma peça móvel que altera a área livre de passagem do fluido e modifica o valor da variável controlada.

A válvula de controle depende do sinal do controlador, que pode ser de natureza pneumática, elétrica, eletrônica ou hidráulica. O funcionamento pode ser descrito da seguinte maneira: um sinal é emitido pelo controlador e atua no servo motor da válvula, deslocando a

peça móvel, de modo a abrir ou fechar totalmente a válvula, podendo também mantê-la em qualquer posição de seu curso, proporcionalmente ao sinal de comando.

3 FUNDAMENTOS DE CALDEIRA

A caldeira é um equipamento auxiliar que é considerado um gerador de vapor para diversas utilidades a bordo. No entanto, atualmente as caldeiras de propulsão tem caído em desuso em detrimento dos modernos MCPs (motores de combustão principal), equipados com reguladores de velocidade que permitem uma maior precisão para sua finalidade. Podemos citar como exemplos de finalidades de vapor o fornecimento de vapor auxiliar ou óleo térmico para a cozinha, para diversos aquecedores do navio, para o apito, para o convés, vapor principal para turbinas de propulsão e turbo geradores, entre outros.

Um gerador de vapor pode ser definido como um trocador de calor que, a partir da energia térmica do combustível, produz vapor, sendo constituído de diversos componentes que permitem que seja alcançado o maior rendimento térmico possível.

3.1 Tipos de Caldeira

As caldeiras podem ser classificadas em diversos aspectos, porém neste trabalho serão apresentadas as seguintes classificações: quanto à posição relativa das câmaras de combustão e água (**aquatubular** ou **flamatubular**) e, ainda, **caldeiras elétricas**.

3.1.1 classificação

Em caldeiras aquatubulares (*water tube boiler*), a água circula por dentro dos tubos que constituem o trocador de vapor, ao passo que os gases da combustão oriundos da fornalha passa por fora dos tubos.

Já nas caldeiras flamatubulares, os gases passam por dentro de tubos, que ficam imersos em um cilindro contendo água, no qual a água é evaporada, formando a mistura água-vapor no interior desse cilindro.

Além das caldeiras aquatubulares e flamatubulares, existem as caldeiras combinadas aquatubular e flamatubular (*oil fired and exhaust gas boiler*) para navios, construídas de forma a economizar espaço na praça de máquinas e com objetivo principal de geração de vapor para máquinas auxiliares e demais consumidores de vapor no navio.

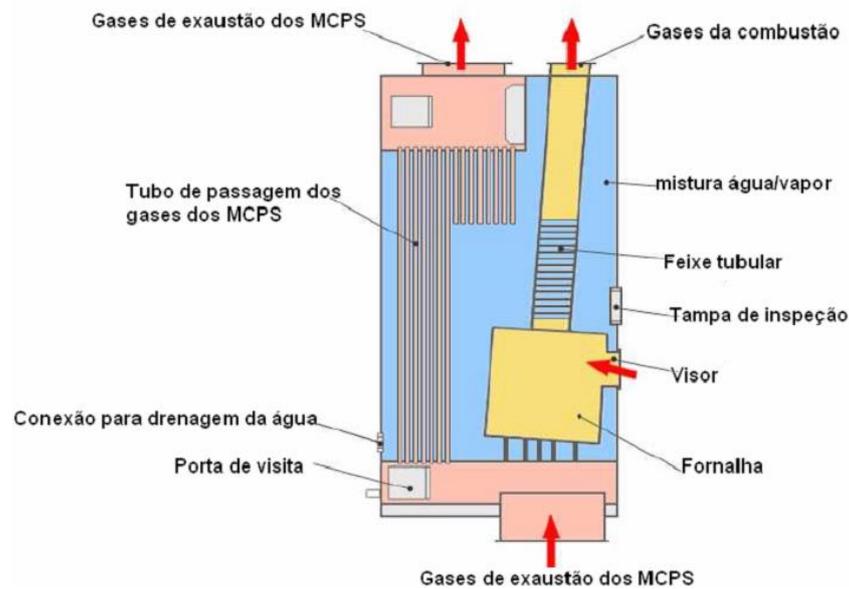


Figura 14 – caldeira combinada aquatubular e flamatubular

A caldeira elétricas consiste basicamente num sistema no qual a água que se encontra em um vaso de pressão é aquecida por meio de eletrodos ou resistências elétricas blindadas imersas diretamente no líquido. A água é aquecida pela passagem da corrente elétrica diretamente através dela, que se aquece por efeito Joule.

3.1.2 vantagens e desvantagens

Comparando uma caldeira aquatubular com uma caldeira flamatubular, primeiramente podemos observar a diferença de pressão em que o vapor é produzido. Numa caldeira

flamatubular, a pressão máxima de vapor vai de 12 a 13 bar (com 1 tubo de fogo), de 26 a 27 bar (com 2 tubos de fogo) e 30 bar (com 3 tubos de fogo). Já numa caldeira aquatubular, a pressão máxima de geração de vapor é maior, variando dentro de uma faixa de 30 a 165 bar, dependendo do tipo de circulação usada (natural ou forçada).

No entanto, apesar da pressão de vapor numa caldeira flamatubular ser menor, ela possui maior facilidade de manutenção e operação e aceita grandes variações de carga rapidamente, até 3,5 vezes maior do que uma aquatubular de mesmo porte.

Podemos citar como desvantagens da caldeira flamatubular os sérios problemas de incrustações no lado dos gases, a necessidade de manutenção constante e sua dificuldade em ser realizada, além de não produzir vapor superaquecido e demorar mais a produzir vapor devido à grande capacidade de água.

Além de ter uma pressão máxima de produção de vapor maior, a caldeira aquatubular possui grande capacidade de produção de vapor (varia entre 40 e 100 t/h), rapidez de funcionamento e se adapta bem a diferentes tipos de combustível.

Porém, em comparação com as caldeiras flamatubulares, necessita de maior espaço e maior custo, são muito sensíveis a variações de carga, demandam grandes exigências com a água de alimentação devido à alta pressão e tem manutenção complexa.

As vantagens da caldeira elétrica consistem em ausência de poluição ambiental, resposta rápida a variações no consumo de vapor e manutenção simples. Como desvantagem, o elevado custo de operação em razão dos custos de energia elétrica precisa ser citado, apesar disso implicar em geradores mais potentes e de tamanho maior em navios.

3.2 Componentes de uma caldeira

Em qualquer tipo de caldeira empregada para certa utilidade, existem acessórios e componentes dispostos de maneira a proporcionar uma geração de vapor com maior economia e melhor rendimento possível. Os componentes comuns às caldeiras são:

- a) **Fornalha**, que é o principal equipamento para queima de combustível. É onde ocorre a atomização e vaporização do combustível e a conservação de uma queima contínua da mistura. Deve satisfazer alguns requisitos, como ter um volume apropriado ao tipo e à quantidade de combustível que se deseja queimar e altura compatível com a circulação de água nos tubos;
- b) **Caldeira**, que constitui um reservatório fechado que contém a água da qual o vapor será produzido;
- c) **Trocador de calor**, que é a área em que ocorrerá a troca de calor necessária para a geração de vapor;
- d) **Sopradores de fuligem**, instalados tanto em caldeiras aquatubulares como em flamatubulares, para efetuar a remoção de fuligem e cinza depositados sobre os tubos vaporizadores, superaquecedores e economizadores, pois esses depósitos diminuem a transmissão de calor do combustível para a água da caldeira e conseqüentemente sua eficiência térmica;
- e) **Economizador**, uma serpentina ou feixe tubular onde passa a água de alimentação a fim de aproveitar também o calor dos gases residuais da combustão e em seguida, ir ao tubulão já pré-aquecida, representando uma economia de energia;
- f) **Pré-aquecedor de ar**, similar ao economizador, utiliza os gases residuais da combustão para aquecer o ar de alimentação das chamas;
- g) **Reaquecedor**, assim como o **superaquecedor**, usado para elevar a temperatura do vapor proveniente de estágios intermediários de uma turbina;
- h) **Grelhas**, que são utilizadas para amparar o material dentro da fornalha, podem ser fixas, rotativas ou inclinadas;
- i) **Cinzeiro**, que consiste no local onde se depositam as cinzas e outros resíduos provenientes da combustão que caem da fornalha;

- j) **Retentor de fuligem**, que funciona basicamente separando a fuligem resultante da queima não estequiométrica do combustível, antes que eles saiam pela chaminé;
- k) **Ventiladores**, que movimentam o ar de combustão até a câmara de combustão e os gases da câmara de combustão até a chaminé. Podem ser de dois tipos: os de **tiragem forçada**, que capturam o ar atmosférico e o envia pelos dutos da caldeira para os queimadores e os de **tiragem induzida**, que fica instalado na saída da caldeira, succionando os gases de combustão de dentro da câmara, conduzindo-os até a chaminé;
- l) **Válvulas de segurança**, que funcionam como um dispositivo que alivia a pressão dentro do tubulão ao dar saída ao vapor, caso ela ultrapasse a pressão máxima admitida pelas condições de segurança operacional;
- m) **Válvulas**, que podem ter diversas funções, como interromper o fluxo de um fluido ou regular sua passagem;
- n) **Canalizações internas e conexões externas para água de alimentação** que adentra a caldeira e para o **vapor** que é retirado da caldeira;
- o) **Acessórios e instalações** a fim de **controlar o funcionamento da caldeira e salvaguardar a mesma de avarias**, produzidas por falhas como excesso de pressão de vapor, água baixa, água alta, falha de chama, falta de combustível, entre outros.

3.3 Funcionamento

O funcionamento da caldeira aquatubular ocorre de modo diferente ao da caldeira flamatubular, portanto, cada caldeira será tratada separadamente neste capítulo para melhor entendimento.

No caso da caldeira aquatubular, a circulação pode ocorrer de duas formas: pela **circulação natural** ou pela **circulação forçada**.

Em caldeiras de **circulação natural**, o vapor é gerado a partir da diferença de densidade da água circulando nos tubos que interligam os tubulões, nos quais a mais fria, de maior densidade, flui no sentido descendente (*downcomers*) e a mais quente, na fase de vapor úmido, com menor densidade, flui no sentido ascendente (*risers*).

A **circulação natural** pode ainda acontecer de forma **livre**, por meio da ação da gravidade ou **acelerada**, no caso em que a água de alimentação, que entra na forma de líquido sub resfriado (significa que está em temperatura inferior à de saturação para a pressão de entrada) entra pelos tubulões superiores através dos tubos mais distantes da fornalha, que se encontram mais frios e desce para os inferiores. A mistura quente água-vapor sobe para o tubulão inferior através dos tubos geradores, que estão mais expostos ao calor que irradia da fornalha. Por esse método, é possível acelerar o processo de circulação da água no feixe tubular da caldeira. Atualmente nos navios mercantes, a circulação acelerada é a mais utilizada.

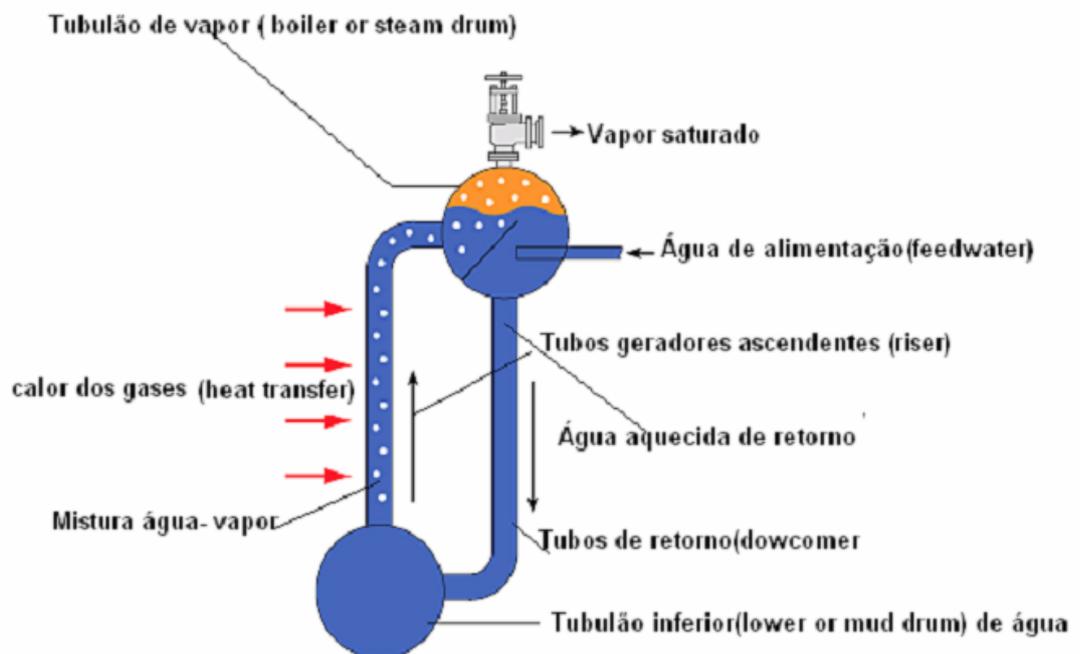


Figura 15 – esquema de uma caldeira aquatubular

No entanto, a circulação deficiente de água nas caldeiras aquatubulares pode acarretar alguns problemas, como superaquecimento, que em casos extremos pode levar a uma ruptura dos tubos. Para resolver esse problema, surgiram as caldeiras de **circulação forçada**. A

diferença dessas caldeiras é que elas apresentam bombas externas, dependendo da vazão exigida, ou seja, da demanda de vapor para que seja forçada a circulação de água ou vapor, independentemente da diferença de densidade.

Caldeiras de **circulação forçada**, que podem ser denominadas caldeiras de **circulação positiva**, não precisam de grandes tubulões, geram vapor rapidamente, possuem tamanho reduzido e tem pouca formação de incrustações devido à circulação forçada. Porém o custo de manutenção é bem maior pois exigem paradas constantes e, ainda, tem problemas nas bombas de circulação ocasionados pela alta pressão em que operam.

Caldeiras **flamatubulares**, também chamadas caldeiras de **tubos de fumaça** operam através da troca de calor dos gases quentes vindos da combustão na fornalha, que circulam no interior dos tubos imersos em um tubulão cilíndrico, onde a água a ser evaporada está contida. A fornalha se localiza apenas de uma lado, enquanto do outro lado encontra-se uma chapa plana que fecha a caldeira.

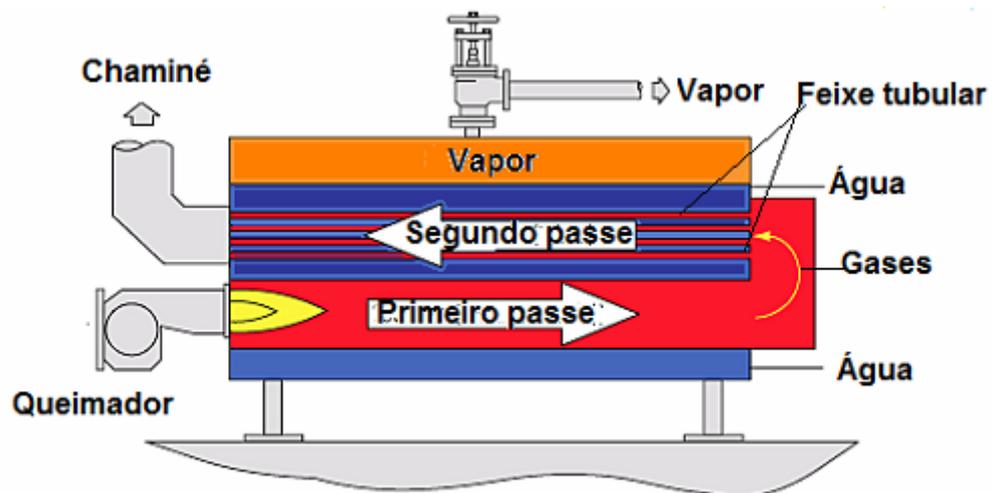


Figura 16 – funcionamento de uma caldeira flamatubular

Existem também as **caldeiras de recuperação**, muito utilizadas em navios com objetivo de fornecer vapor para máquinas auxiliares e outros consumidores quando o navio está navegando. A energia que produz vapor é oriunda dos gases de descarga dos MCPs que atravessam a caldeira e aquece a água para a sua evaporação.

Um tipo de sistema muito usual em navios petroleiros é o que utiliza a **caldeira de recuperação** como **economizador**, depois que acontece a parada na caldeira auxiliar, no qual o vapor é produzido como saturado para as máquinas auxiliares no evaporador ou superaquecido no superaquecedor para os turbo-geradores após a água da caldeira ser pré-aquecida no economizador.

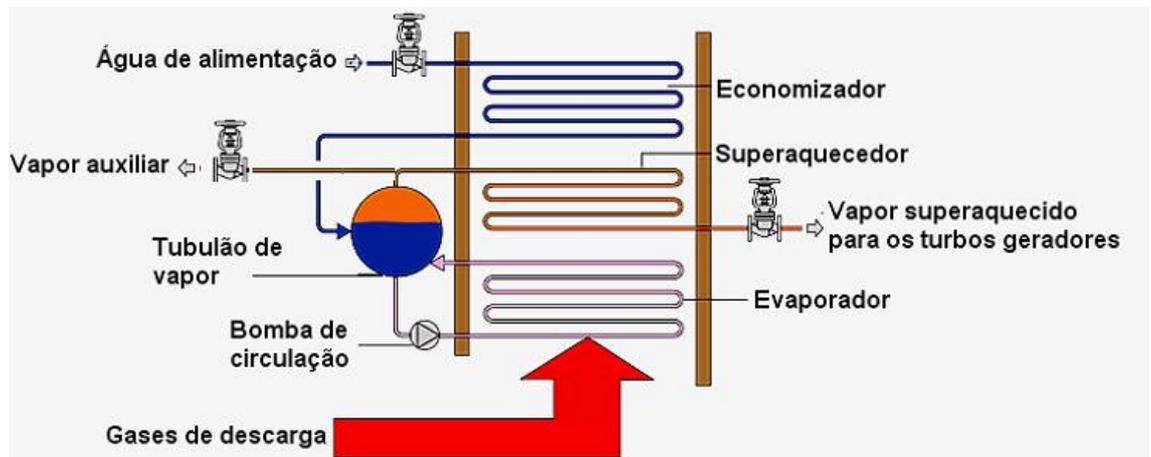


Figura 17 – funcionamento da caldeira de recuperação

4 AUTOMAÇÃO APLICADA NA CALDEIRA

Manter todas as variáveis dentro das faixas requeridas para máxima eficiência e rendimento de geração de vapor é essencial para otimizar a produção e evitar desperdícios de água e de combustível. Para isso, a automação proporciona todas as condições para manter os equipamentos funcionando corretamente sem que o operador esteja o tempo todo monitorando localmente.

4.1 Controle de combustão

O controle de combustão em uma caldeira tem por objetivo principal manter constante a pressão de geração de vapor e para isso, a vazão de ar e de combustível serão monitoradas. Para uma combustão eficiente, o excesso de ar dentro da caldeira deve estar dentro de uma faixa para evitar combustão incompleta, observada pela formação de fuligem. O controle deverá agir também para evitar que a vazão de combustível ocorra de forma mais rápida que o da vazão de ar, no caso de uma súbita elevação de carga.

Existem diversos tipos de malhas de controle, que variam de acordo com o tipo de combustível queimado, da demanda de consumidores e até mesmo de acordo com as peculiaridade do sistema de combustível utilizado.

O controle de excesso de ar é considerado o maior responsável pela segurança operacional, pois evita o aumento da vazão de óleo sem o necessário aumento da vazão de ar, num momento em que a demanda cresce, e vice-versa, em caso da queda na demanda. O controle de excesso de ar pode ser obtido também de forma manual, por meio de atuação no controle de ar, ou de modo automático, usando um analisador de oxigênio em linha, que irá modificar o sinal de vazão de ar.

Uma malha de controle de combustão completa pode ser dividida em submalhas, como **controle principal de pressão** e **controle da queima**.

- **Controle de pressão** - em caldeiras submetidas a pequenas variações de pressão, uma malha simples a um elemento é comumente adotada. Em caso de caldeiras submetidas a maiores oscilações de demanda, uma malha de controle a dois elementos é mais adequada para uso de modo a minimizar variações de pressão.
- **Controle de queima** – um controlador mestre gera e envia um sinal a um sistema capaz de alterar a taxa de liberação de calor, variada pela mudança simultânea da vazão de ar e de combustível, a fim de manter a pressão no valor desejado.

A regulagem automática da combustão requer o controle de três grandezas, que são o consumo de combustível, o consumo de ar para combustão e extração dos gases formados. Esse controle visa manter o suprimento de calor da fonte de calor, de acordo com a demanda; assegurar que o consumo de combustível seja o mínimo para alcançar a máxima eficiência e manter as condições de operação na fornalha nos parâmetros satisfatórios.

A figura abaixo ilustra um sistema de controle de combustão simplificado com acionamento independente, ou seja, sem acionadores mecânicos. Neste sistema, o controlador de pressão atua diretamente na válvula de combustível, ao passo que no *damper* de ar, a atuação é feita através da estação automático/manual, que aumenta consideravelmente a flexibilidade operacional, permitindo que a válvula de combustível e o *damper* sejam acionados de modo independente quando o sistema estiver sendo controlado manualmente e também permite que a relação ar/combustível seja facilmente variada por meio do controlador de pressão.

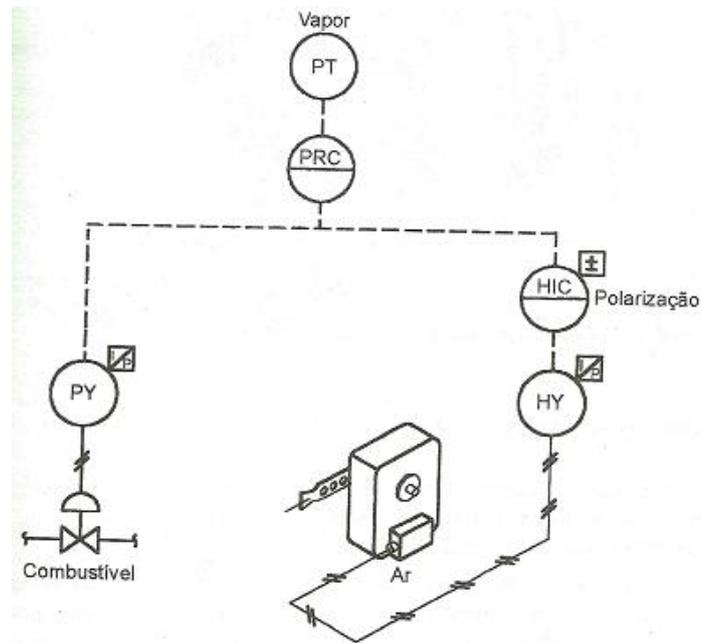


Figura 18 – controle de combustão simplificado com acionador independente

Outro tipo de malha de controle muito comum é o sistema com analisador de oxigênio, que mede a porcentagem de oxigênio nos gases da combustão de modo contínuo e enviará à saída do controlador (ARC), e, após comparar com o ponto de ajuste, irá atuar no relé da razão (FY), que então variará o sinal de vazão do ar enviado ao controlador (FIC) e ao seletor de sinal baixo (FY), ajustando automaticamente o excesso de ar desejado. Porém, nesses sistemas, os analisadores de oxigênio deverão ter sua influência limitada, para serem usados apenas para ajustes finos e evitar grandes problemas no controle da combustão em caso de defeitos no sistema de análise.

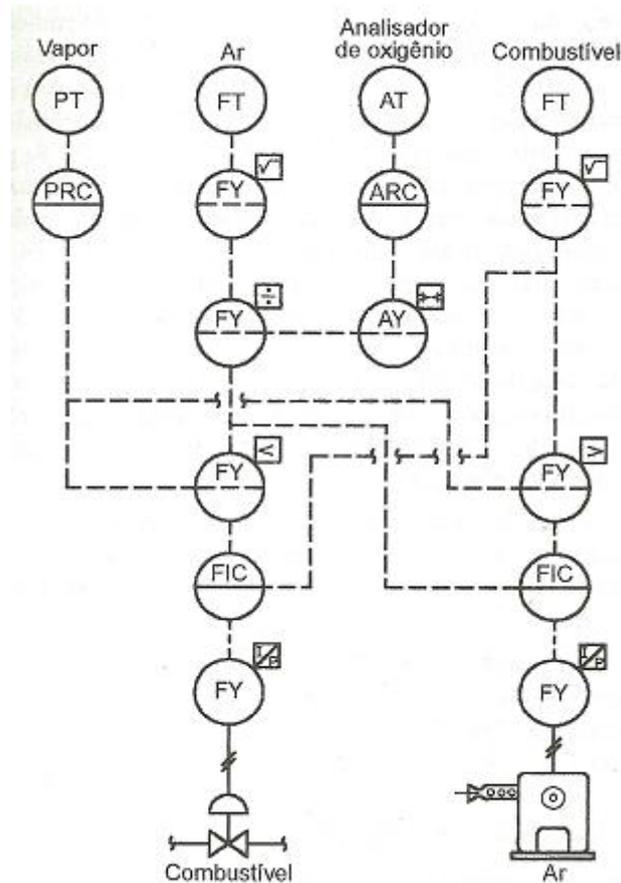


Figura 19 - sistema de controle de combustão com analisador de oxigênio

4.2 Controle de nível e vazão

O controle de nível em uma caldeira é importante para o funcionamento adequado dos equipamentos e dispositivos contidos numa caldeira, além de:

- Possíveis inundações nos equipamentos de separação de umidade devido aos arrastes causados por nível muito elevado;
- Superaquecimento, causado por nível muito baixo de água e reduzida circulação;
- Em caso de aumento brusco na demanda de vapor, pode ocorrer a chamada “expansão”, que consiste em formação intensa de vapor na massa líquida devido à

queda brusca de pressão no tubulão e ocorrendo o oposto, a “contração”, no momento de queda brusca na demanda de vapor. Ambos os fenômenos dificultam o controle de nível na caldeira, pois atrapalham a medição.

O principal instrumento usado nas malhas de controle de nível é a **válvula de controle de nível (LV)**, que atuam indiretamente regulando a vazão de água de alimentação adicionada ao tubulão superior para manter o nível dentro da faixa de valores desejados. Por isso, o controle de nível e vazão estão intimamente relacionados, pois para controlar o nível é preciso controlar a vazão.

A complexidade das malhas de controle aumenta ao passo que a capacidade da caldeira aumenta, pois os limites de variação de nível serão mais estreitos. Para caldeiras de pequeno porte, a malha de controle de nível a um elemento é o mais comum, ajustando a vazão de água de alimentação partindo apenas da medição de nível (LT), sendo as “ações” tomadas pelo controlador de nível (LRC). Por ser muito sensível aos efeitos da “contração” e “expansão”, não é recomendado para uso em caldeiras que estejam sujeitas a grandes oscilações de carga.

A malha de controle de nível a dois elementos além de usar a medição do nível, usa também a vazão do vapor (FT) como um antecipador, pois variações na demanda de vapor são as principais causas de perturbação no nível. Assim, a malha pode manter a vazão de água proporcional a vazão de vapor e, ao mesmo tempo, corrigir as eventuais diferenças a partir da medição do nível.

Em casos de caldeiras com variações excessivas na demanda de vapor, um sistema ainda mais sofisticado é a malha de controle de nível a três elementos. A medição contínua da vazão de água de alimentação (FT) permite que ela esteja sempre sendo corrigida para manter o nível na faixa requerida. Assim como a malha de controle de nível a dois elementos, o controlador de nível usa a ação proporcional e integral para neutralizar os efeitos da “expansão” e “contração”.

A figura abaixo mostra os três tipos de malha apresentados acima:

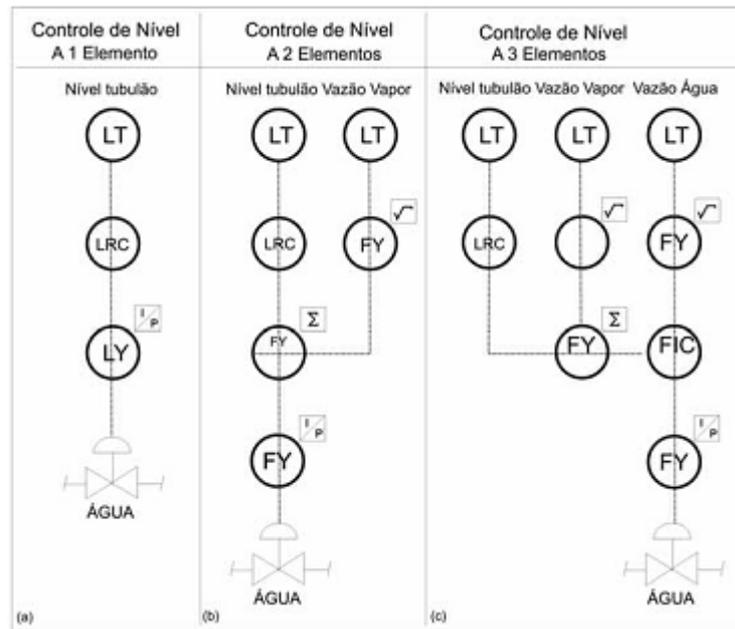


Figura 20 – malhas de controle de nível

4.3 Controle de temperatura

4.3.1 controle de temperatura do vapor superaquecido

Alguns sistemas requerem vapor numa temperatura acima de sua temperatura de saturação. Para atender esse requisito, muitas vezes as caldeiras utilizam superaquecedores, que podem ser classificados como de **radiação** e de **convecção**.

Em superaquecedores radiantes, o aquecimento do vapor é feito com o calor de radiação fornecido pela chama do queimador e a temperatura de saída do vapor é inversamente proporcional ao aumento da carga pois ao passo que a quantidade de vapor a ser aquecido aumenta em cargas mais altas, a quantidade de calor radiando da chama permanece constante.

No caso dos superaquecedores convectivos, o aquecimento do vapor é feito pela transferência do calor dos gases que circulam por fora dos tubos, para o vapor que circula dentro dos tubos. Diferente dos superaquecedores radiantes, a temperatura de saída do vapor sobe com o aumento da carga da caldeira.

Para evitar variações de temperatura em decorrência da variação de carga, superaquecedores radiantes e convectivos podem ser combinados em série pois os dois tipos

de superaquecedores geram variações de maneira inversa, facilitando o controle da temperatura do vapor superaquecido numa caldeira.

Em caldeiras que produzem vapor superaquecido, um sistema de dessuperaquecimento deve ser instalado, pois a relação pressão x temperatura só vale para vapor saturado. Para vapor superaquecido, a temperatura final do vapor será função de outras variáveis, que são pressão do vapor, excesso de ar de combustão, tipo de combustível, tipo de superaquecedor, temperatura e volume dos gases aos quais o superaquecedor está submetido.

Dessuperaquecedores industriais normalmente operam através da adição de água atomizada no vapor superaquecido, que irá resfriar o vapor a fim de diminuir seu grau de superaquecimento.

Em aplicações convencionais, a temperatura do vapor superaquecido pode ser controlada por uma **malha simples com realimentação negativa** (controle de temperatura a um elemento) e nos casos em que a temperatura é crítica, deverá ser usado um **controle com realimentação combinado com controle em cascata** (controle de temperatura a dois elementos), ou até **controle antecipativo com realimentação combinado com controle em cascata** (controle de temperatura a três elementos).

A figura abaixo apresenta o controle de temperatura a um elemento, no qual o controle de temperatura (TRC) irá atuar diretamente na válvula de adição de água de dessuperaquecimento (TV) para manter a temperatura do vapor superaquecido no valor desejado (*setpoint*).

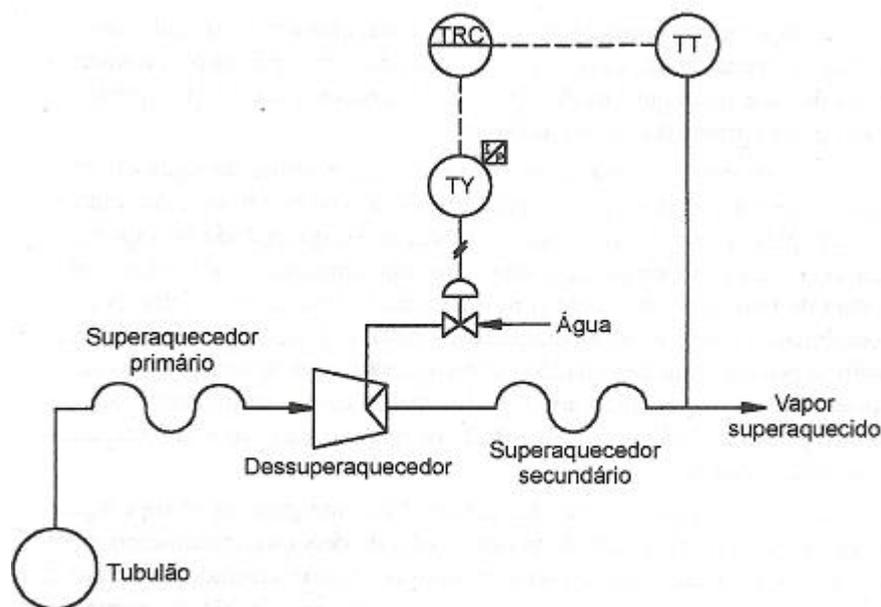


Figura 21 – controle de temperatura a um elemento

A figura seguinte mostra o controle de temperatura a dois elementos, onde são utilizados dois controladores de temperatura. O controlador principal (TRC) controla a temperatura na saída do superaquecedor secundário e atua no ponto de ajuste do controlador secundário (TIC), que atua na válvula de adição de água de dessuperaquecimento (TV) para manter a temperatura na saída do dessuperaquecedor no *setpoint* recebido do controlador principal (TRC). O controle de temperatura a dois elementos permite manter a temperatura do vapor superaquecido gerado na caldeira em uma faixa mais estável se comparado com o controle de temperatura a um elemento, pois o controlador secundário (TIC) tem uma boa velocidade de resposta e corrige a vazão da água de dessuperaquecimento, mantendo a temperatura do vapor na saída do dessuperaquecedor de acordo com o ponto de ajuste fornecido pelo controlador principal (TRC).

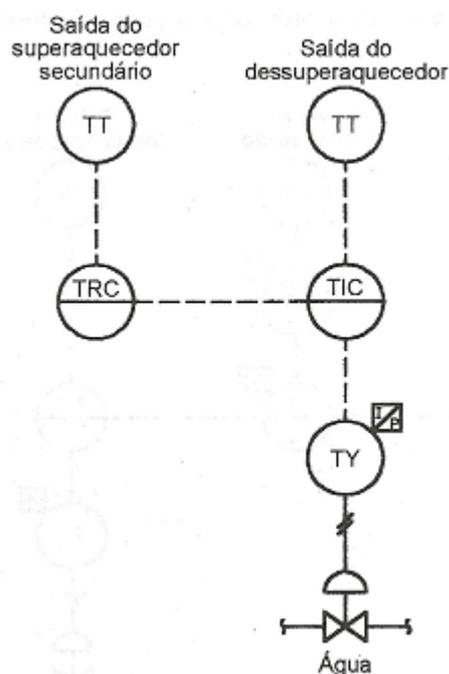


Figura 22 – controle de temperatura a dois elementos

Para o controle de temperatura a três elementos, são utilizados dois controladores de temperatura e um subtrator. O controlador principal (TRC) controla a temperatura na saída do dessuperaquecedor secundário e altera o sinal enviado ao subtrator (TY); o subtrator calcula a diferença entre este sinal e o sinal de vazão do ar de combustão enviado pelo transmissor de vazão (FT) e envia a resultante ao controlador secundário (TIC) como ponto de ajuste. O controlador secundário (TIC) atua na válvula de adição de água de dessuperaquecimento e ao

mesmo tempo corrige sua vazão em função do sinal do controlador principal (TRC) e das variações da vazão do ar de combustão medidas pelo transmissor de vazão, de forma a manter a temperatura na saída do dessuperaquecedor de acordo com o ponto de ajuste recebido pelo subtrator (TY).

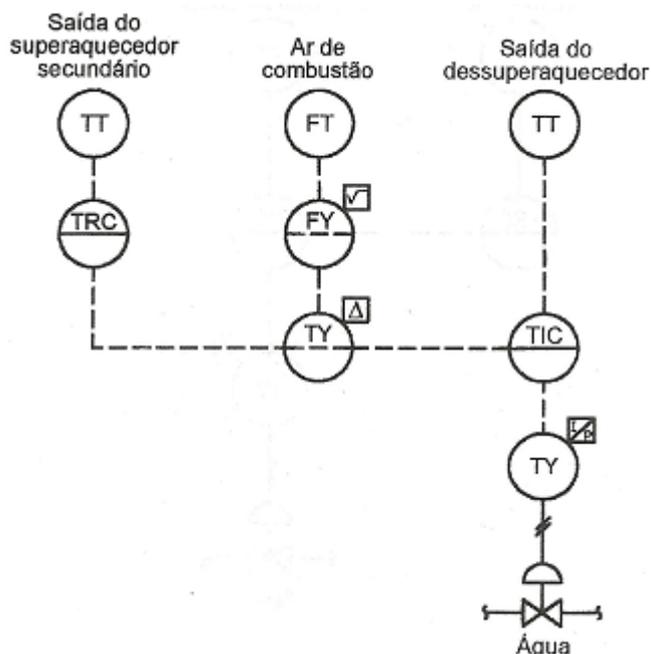


Figura 23 – controle de temperatura a três elementos

4.3.2 controle de temperatura no preaquecedor de ar

Com objetivo de aumentar o rendimento em uma caldeira, utiliza-se do pré-aquecimento do ar de combustão, feito com um preaquecedor de ar. Para controlar a temperatura do ar, é necessário controlar a quantidade de calor transferida dos gases para o ar de combustão, ou seja, é um tipo de controle indireto.

O controle deve garantir que a temperatura dos gases após a passagem pelo preaquecedor não atinja valores muito mais baixos que os mínimos especificados, para que não ocorra condensação da umidade presente nesses gases e consequente corrosão na rede.

A figura abaixo ilustra o tipo de malha de controle normalmente utilizados em caldeiras equipadas com preaquecedor de ar do tipo regenerativo, com preaquecimento inicial por meio de vapor de baixa pressão.

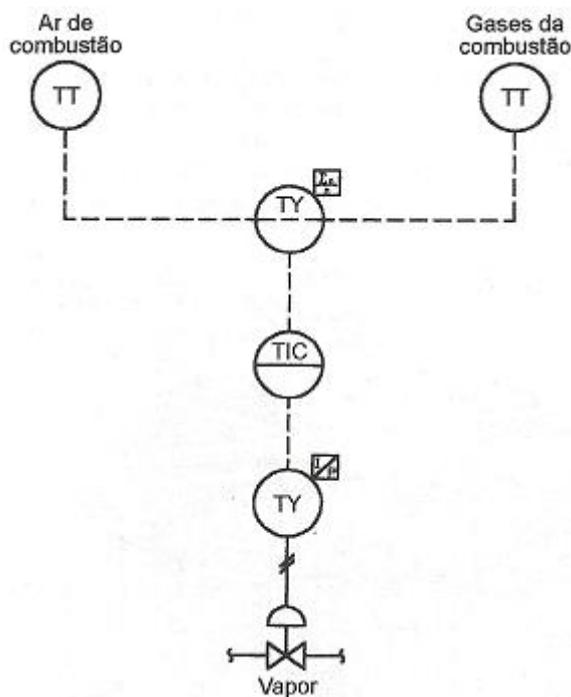


Figura 24 – controle de temperatura no preaquecedor de ar

A temperatura do ar de combustão, após a passagem pelo preaquecedor que utiliza vapor de baixa de pressão, e a dos gases da combustão, após a passagem pelo preaquecedor de ar regenerativo. A média das duas temperaturas é então calculada no TY e o sinal enviado ao TIC, que a seguir atua na válvula de preaquecimento do ar de combustão.

4.4 Controle de pressão

4.4.1 controle de pressão na câmara de combustão

A pressão na câmara de combustão precisa ser controlada de forma precisa, pois afeta diretamente a vazão do ar que circula pela caldeira e participa da própria combustão.

Para realizar o controle da pressão, é preciso controlar a vazão de ar de combustão que entra na fornalha, o que significa que o controle é feito de forma indireta na malha de controle de combustão. Neste caso, indicadores de pressão (PI) medem e indicam nas salas de controle para que seja possível acompanhar o processo.

Para caldeiras com tiragem balanceada, malhas de controle específicas permitem que a pressão na câmara de combustão seja mantida ligeiramente negativa, como mostrado no tópico a seguir.

4.4.2 controle de pressão simplificado

Para explicar o funcionamento desta malha de controle, podemos observar a figura abaixo.

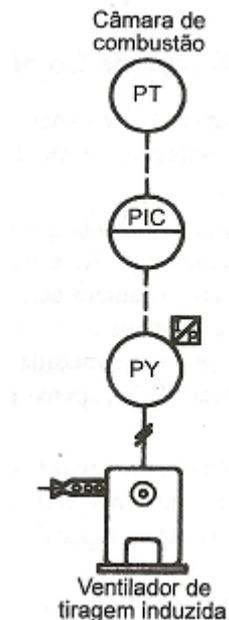


Figura 25 – controle de pressão na câmara de combustão

O transmissor de pressão (PT) mede a pressão na câmara de combustão e envia um sinal com o valor da saída ao controlador de pressão (PIC), que irá comparar esse sinal com o valor do ponto de ajuste e atuar no *damper* de entrada do ventilador de tiragem induzida, a fim de manter a pressão na câmara de combustão no ponto de ajuste fornecido pelo operador.

4.5 Sistema de Segurança

Caldeiras de grande porte e que operam com altas pressões estão sujeitas a grandes danos em caso de falhas operacionais em seus sistemas de controle e equipamentos. Por isso, a operação da caldeira só deve ser iniciada depois que todas as variáveis e condições mínimas estejam dentro dos limites estabelecidos. Além disso, a operação deve ser interrompida imediatamente caso ocorra qualquer anormalidade dessas variáveis. As condições e variáveis dependem de vários fatores, como o arranjo dos dispositivos detectores em um sistema de segurança, do tipo e capacidade da caldeira, pressão de operação, tipo de combustível utilizado, dentre outros.

Os dispositivos comumente utilizados para detectar se as variáveis estão dentro dos limites estabelecidos e as condições estão sendo atingidas são os **detectores de chama, pressostatos, chaves de nível, termostatos**, etc. Como elementos finais, as **válvulas solenóides** são as utilizadas em sistemas de segurança.

A partir do momento em que são estabelecidas as variáveis e fatores que serão considerados críticos, a sequência de ações, forma de atuação e demais detalhes relacionados ao sistema de segurança serão definidos.

Nos circuitos mostrados abaixo, os itens que irão integrar o sistema de segurança serão os seguintes: nível e pressão do tubulão superior, falha de chama, vazão do ar de combustão, pressão do combustível, pressão do vapor de atomização, entre outros.

Existem três tipos de sistemas de segurança, que diferem entre eles de acordo com seu nível de automação. São eles:

- a) **Sistema manual** – nesse sistema, o operador irá executar toda a sequência de procedimentos, ou seja, quase não há automação presente. Ele verifica se as variáveis críticas estão dentro dos limites especificados antes de iniciar a operação da caldeira. Em seguida, faz a purga, acionando o *damper* de ar e controlando o tempo de purga. Após completar o tempo de purga, ele reduz a vazão do ar de combustão para as condições de limite de acendimento, verificando novamente as variáveis críticas e acende a tocha, colocando-a na câmara através da porta de visita, até o queimador se acender. Após todo o processo ter ocorrido de maneira correta, o operador pode

colocar o sistema de controle no modo automático. Alarmes são instalados para alertar o operador sobre a ocorrência de qualquer anormalidade no funcionamento da caldeira.

- b) **Sistema semi-automático** – inicialmente, o operador irá acionar o programa de purga manualmente através da chave de partida. Após a purga, ele irá iniciar o programa de acendimento ao acionar manualmente a chave de ignição da caldeira. O circuito de segurança pode ser estruturado com **relés** ou com **sistemas digitais** e ocorre basicamente na mesma ordem do sistema manual.
- c) **Sistema automático** – da mesma maneira que o sistema semi-automático citado acima, pode ser estruturado com **relés** ou **sistemas digitais**. Nesse sistema, a única ação que o operador precisa fazer é acionar a chave de partida para iniciar o procedimento de partida da caldeira. A purga e acendimento são, então, comandados automaticamente.

Para facilitar a condução da caldeira pelo operador, **alarmes** são instalados para alertá-lo que devem ser tomadas providências, antes que o sistema de segurança atue. Devem atuar de maneira independente do sistema de segurança, aumentando a confiabilidade e segurança do equipamento.

5 CONSIDERAÇÕES FINAIS

Este trabalho teve como objetivo ilustrar as características das caldeiras mais usadas a bordo de navios mercantes e seus equipamentos e dispositivos, que facilitam a vida do operador a bordo. Para tal, foram detalhadas cada componente essencial para o funcionamento das caldeiras, os diferentes tipos de caldeiras, com suas respectivas vantagens e desvantagens e utilizações mais comuns.

Para detalhar o funcionamento de cada sistema, foi preciso expor todos os instrumentos usados e que, quando combinados, se tornam uma complexa malha de controle que permite que as mais importantes variáveis sejam controladas para manter o bom funcionamento da caldeira. Foram apresentados, então, os sistemas de controle e monitoramento de variáveis de uma caldeira, explicando o funcionamento dos sistemas mais comuns e do sistema de segurança.

Após ter desenvolvido todo o conteúdo, conclui o objetivo do trabalho que é mostrar a importância da automação em um dos sistemas mais importantes, que é caldeira, responsável pela produção de vapor a bordo.

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

BEGA, E. A.. **Instrumentação Aplicada ao Controle de Caldeiras**. 3ed, Rio de Janeiro: Editora Interciência, 2003

LEITE, Nilson Ribeiro; MILITÃO, Renato de Abreu. **Produção Acadêmica – Tipos e Aplicações de Caldeiras**. Escola Politécnica da Universidade de São Paulo.

NOGUEIRA, Luiz Augusto Horta. **Eficiência Energética no Uso de Vapor**. Rio de Janeiro: Eletrobrás, 2005

OLIVEIRA, Francisco Diocélio Alencar de. **Automação**. 1ed, Rio de Janeiro: DPC, 2001

OLIVEIRA, Thiago Souza de; SOARES, Wanderley Pedro Rodrigues. **Produção Acadêmica – Caldeiras de recuperação**. Escola Politécnica da Universidade de São Paulo. Depto. De Engenharia Mecânica. São Paulo, 2008.

VIDAL, Carlos Rogério dos Santos. **Instrumentação de controle**. 1ed, Belém: DPC, 2011

ZIGMANTAS, Paulo Vitor de Matos. **Caldeiras**. 1ed, Belém: DPC, 2011