

CENTRO UNIVERSITARIO DO SUL DE MINAS – UNIS/MG

ENGENHARIA MECÂNICA

GUILHERME CARNEIRO DE CASTRO

N. CLASS.	M621.18
CUTTER	C 355c
ANO/EDIÇÃO	2012

**CONVERSÃO DE UM GERADOR DE VAPOR A OLÉO BPF PARA LENHA DE
EUCALIPTO**

Varginha

2012

GUILHERME CARNEIRO DE CASTRO

**CONVERSÃO DE UM GERADOR DE VAPOR A OLÉO BPF PARA LENHA DE
EUCALIPTO**

Trabalho de Conclusão de Curso apresentado ao curso de Engenharia Mecânica do Centro Universitário do Sul de Minas – UNIS/MG como pré-requisito para a obtenção do grau de Engenheiro Mecânico, sob a orientação do Prof. Me. Luiz Carlos Vieira Guedes.

Varginha

2012

Grupo Educacional UNIS

GUILHERME CARNEIRO DE CASTRO

**CONVERSÃO DE UM GERADOR DE VAPOR A OLÉO BPF PARA LENHA DE
EUCALIPTO**

Monografia apresentada ao curso de Engenharia Mecânica do Centro Universitário do Sul de Minas – UNIS/MG como pré-requisito para a obtenção do grau de bacharel pela Banca examinadora compostas pelos membros:

Aprovado em / /

Prof. Me. Luiz Carlos Vieira Guedes

Prof. Me. Alexandre de Oliveira Lopes

Prof. Esp. Erik Vitor da Silva

OBS.:

Dedico este trabalho aos meus familiares a
minha esposa e meu Filho que muito me
incentivaram para concluir este sonho.

AGRADECIMENTOS

Agradeço a Deus por tudo que me proporcionou até hoje, por acreditar que posso ser muito mais que penso e ir mais longe do que imagino. Agradeço aos meus familiares a minha esposa e meu Filho que compartilharam os prazeres e dificuldades desta jornada, aos professores que exerceram a mais bela e complexa arte da inteligência que é educar, aos amigos de trabalho e as amizades cultivadas no convívio universitário.

RESUMO

Este trabalho foi desenvolvido em parceria com a Empresa x Ltda – da cidade de São Leopoldo (RS), teve por finalidade demonstrar a conversão de um gerador de vapor a óleo BPF para lenha de eucalipto demonstrando o comparativo da queima do óleo e da lenha como combustíveis de caldeiras. Neste estudo foram levados em conta os diferentes aspectos relativos aos combustíveis tais como custos, vantagens, desvantagens e agressão ao meio ambiente. Houve também a necessidade de novos investimentos a partir da compra de novos equipamentos para adaptação no gerador já existente. Foi levada em conta pela empresa a busca por equipamentos que minimizem as agressões ao meio ambiente, a partir de fontes renováveis.

Palavras-chave: Gerador de vapor, combustíveis, custos.

ABSTRACT

This work was developed in partnership with x Company Ltd. the city of São Leopoldo (RS), aimed to demonstrate the conversion of a steam generator for the BPF eucalyptus firewood demonstrating the comparative burning oil and wood as fuel for boilers. This study took into account different aspects such as the fuel costs, advantages, disadvantages and harm to the environment. There was also the need for new investment from the purchase of new equipment to adapt the existing generator. She was taken into account by the company to search for equipment that minimize damage to the environment, from renewable sources.

Keywords: *steam generator, fuel, costs.*

LISTAS DE FIGURAS

Figura 1 - Gerador de vapor	10
Figura 2 - Máquina a Vapor de Heron de Alexandria.....	10
Figura 3 - Máquina a Vapor de Thomas Newcomen	11
Figura 4 - Máquina a Vapor de James Watt.....	12
Figura 5 - Indústria de petróleo	13
Figura 6 - Circulação de Gases nos Geradores Flamotubular.....	14
Figura 7 - Gerador de vapor Flamotubular.....	15
Figura 8 - Gerador de vapor Aquotubular.....	15
Figura 9 - Circulação de Gases no Gerador Aquotubular	16
Figura 10 - Costado	17
Figura 11 - Queimador	18
Figura 12 - Tanque de Serviço	18
Figura 13 - caldeira e fornalha.....	19
Figura 14 - fornalha com grelha.....	20
Figura 15 - Multiciclone.....	20
Figura 16 - Lavadores de gases.....	22

SUMÁRIO

1 INTRODUÇÃO	9
2 GERADOR DE VAPOR.....	10
2.1 Definições de um gerador de vapor	10
2.2 Histórico de um gerador de vapor.....	10
2.3 Seleção de um gerador de vapor	12
2.4 Aplicações de um gerador de vapor	12
2.5 Classificação de um gerador de vapor	13
2.6 Tipos de Gerador de Vapor.....	14
2.6.2 Gerador de Vapor Aquotubular.....	15
2.7 Viabilidades de Instalação.....	16
2.8 Combustão	16
3 MATERIAIS E MÉTODOS.....	17
3.1 Equipamento antes da adaptação.....	17
3.1.1 Costado.....	17
3.2 Equipamento após a adaptação	19
3.2.1 Costado acoplado a Fornalha	19
3.3 Identificações dos Combustíveis	22
3.3.1 Combustível A – Óleo BPF.....	22
3.3.2 Combustível B – Lenha.....	23
3.3.3 Eucalipto.....	23
3.4 Vantagens e desvantagens entre o óleo BPF e a Lenha	23
4 RESULTADO E DISCULSÃO	25
4.1 Custo dos componentes para adaptação	25
4.1.1 Valor estimado do equipamento para adaptação no Gerador de Vapor.	25
4.1.2 Outras despesas	25
4.2 Análises de custo dos Combustíveis.....	25
4.2.1 Custo do Combustível A	25
4.2.2 Custo do Combustível B.....	25
4.3 Resultado Final.....	26
5 CONCLUSÃO.....	27
REFERÊNCIAS	28

1 INTRODUÇÃO

A busca por melhorias nos sistemas energéticos existentes e a procura por novas fontes de produção de energia têm sido cada vez mais expressivas. A crise energética ocorrida no Brasil em 2001 evidenciou o descompasso entre essa demanda e a oferta de recursos (ARAÚJO, 2001) e, por isso, essa conturbada fase ofereceu ao país a oportunidade de realizar novos investimentos no setor energético.

Muitas pesquisas vêm sendo desenvolvidas, nesse sentido, cujo interesse comum é o de associar a busca pela produtividade energética e garantir a sustentabilidade, reduzindo ao máximo os impactos ao meio ambiente.

Para que uma caldeira inicie seu processo de geração de vapor se faz necessária uma fonte de energia empregada. Portanto os combustíveis são um fator de grande importância, fazendo com que a redução do custo final influa muitas vezes na escolha do modelo do equipamento. Atualmente encontramos várias fontes de alimentação de caldeiras tais como: a biomassa, na forma de resíduo de madeira, lenha, óleo BPF, o gás GLP e algumas o gás natural.

Existem hoje centenas de caldeiras funcionando a óleo combustível, ao qual o mesmo atingiu um nível de preço tal, que é vantajosa a busca de outra solução. Uma vez o preço do petróleo não vai cair e que a conservação da energia tem seus limites.

Também há muitas dúvidas no setor industrial acerca da capacidade de irradiação das chamas geradas em cada caso, fazendo crer que os mais radiantes são bem mais eficientes, sem levar em conta a quantidade de energia gerada. Um fator importante nos dias atuais que devemos atentar é a emissão de gases que esta queima resultará isso devido à preocupação gerada pelas graves conseqüências que os gases do efeito estufa têm provocado ao meio ambiente.

Desta forma foi realizado um estudo envolvendo custo benefício, leis ambientais e viabilidade da instalação, por um cliente X e após melhor conclusão, foi adaptada em um gerador a óleo BPF uma fornalha para queima de lenha.

2 GERADOR DE VAPOR

2.1 Definições de um gerador de vapor

Entende-se por sistema gerador de vapor (caldeira), o conjunto de equipamentos, tubulações e acessórios destinados a produção de vapor saturado ou superaquecido a diversas pressões de trabalho, utilizando-se da energia térmica. (PERAGALLO 1995, p.80)

Esta definição abrange todos os tipos de geradores de vapor, sejam os que vaporizam água, mercúrio, vapor de óxido de difenil – vapor de água ou fluidos de altas temperaturas, bem como as unidades mais simples de geração de vapor, comumente denominadas caldeiras de vapor conforme PERAGALLO.

Figura 1 - Gerador de vapor



Fonte: Steammaster

2.2 Histórico de um gerador de vapor

A utilização do vapor é um dos meios mais comuns para a transferência de energia. Seu uso é antigo e o primeiro indício da utilização do vapor se dá por volta do primeiro século da era cristã, onde um estudioso chamado Heron de Alexandria, construiu uma espécie de turbina a vapor, chamada eolípila. (PERA 1995, p.151)

Figura 2 - Máquina a Vapor de Heron de Alexandria.



Fonte: Apostila Geração e Distribuição de Vapor – UNIS MG

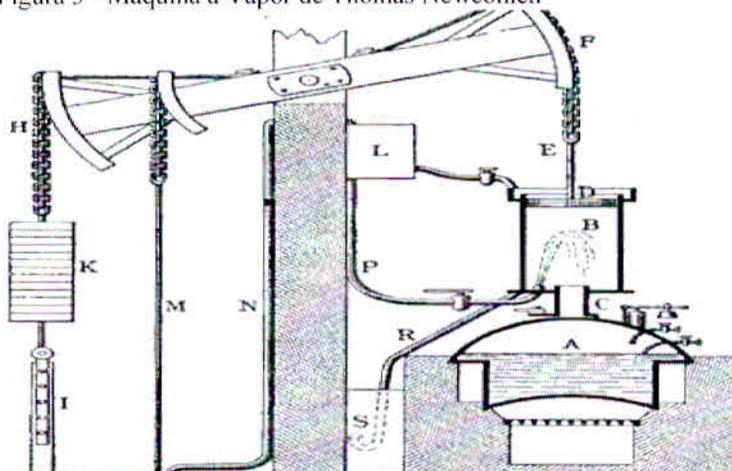
Seu projeto era composto por uma esfera de metal e dois bicos, colocados em posições opostas. O funcionamento consiste no aquecimento da água colocada no interior da esfera que produzia o vapor, que por sua vez se expandia, escapando pelos bicos, fazendo a esfera girar, mas nenhum trabalho útil era produzido por esse movimento. Portanto, não havia nenhuma utilidade prática para esse projeto.

Muitos séculos mais tarde, a máquina a vapor foi a primeira maneira eficiente de produzir energia independentemente da força muscular do homem, do animal e da força do vento e das águas correntes. Sua invenção e uso foi uma das bases tecnológicas da Revolução Industrial.

Foi somente no século XVII, que o físico francês Denis Papin usou esse princípio para bombear água. O equipamento bastante rudimentar que ele inventou, era composto de um pistão dentro de um cilindro que ficava sobre uma fonte de calor e no qual se colocava uma pequena quantidade de água.

O primeiro gerador de vapor utilizado para fins industriais foi projetado por volta de 1698 por Thomas Savery e aperfeiçoada em 1712 por Thomas Newcomen e John Calley. Foi o primeiro equipamento dotado de manômetro de pressão, visor de nível, válvula de segurança e boca de visita. [...] (Apostila Geração e Distribuição de Vapor)

Figura 3 - Máquina a Vapor de Thomas Newcomen

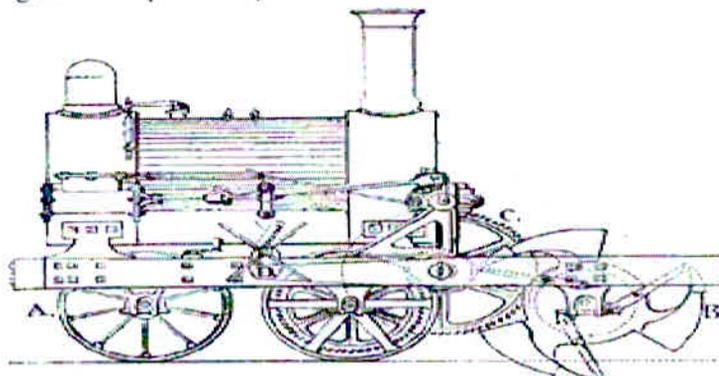


Fonte: Apostila Geração e Distribuição de Vapor – UNIS MG

Nessa máquina, o vapor gerado por um gerador era utilizado para a movimentação da haste ligado a um balancim que levanta um êmbolo, criando vácuo que retirava água de poços de minas inundados.

Em 1782, um construtor de instrumentos escocês chamado James Watt projetou e patenteou a máquina rotativa de ação dupla, prendendo o êmbolo do pistão a uma manivela ou um conjunto de engrenagens para produzir movimento rotativo e permitiu que essa máquina pudesse ser usada para impulsionar mecanismos, girar rodas de carroças ou pás para movimentar navios. [...] (Apostila Geração e Distribuição de Vapor)

Figura 4 - Máquina a Vapor de James Watt



Fonte: Apostila Geração e Distribuição de Vapor – UNIS MG

No fim do século XVIII, as máquinas a vapor produzidas por Watt forneciam energia para fábricas, moinhos e bombas na Europa e na América.

No início do século XIX o aparecimento das caldeiras, que podiam operar com altas pressões e que foram desenvolvidas por Richard Trevithick na Inglaterra e por Oliver Evans nos Estados Unidos, tornou-se a base para a revolução dos transportes uma vez que elas podiam ser usadas para movimentar locomotivas, barcos fluviais e, depois, navios. [...] (Apostila Geração e Distribuição de Vapor)

2.3 Seleção de um gerador de vapor

Segundo PERA, Selecionar um gerador de vapor é estabelecer qual o equipamento mais indicado para satisfazer a uma determinada instalação industrial, seja para calafetação, seja para geração de energia elétrica.

A seleção toma em consideração vários fatores entre eles estão, disponibilidade de energia elétrica, características da energia, Pressão e temperatura do vapor, variação e demanda do vapor, Eficiência térmica desejável, custo de instalação, operação e manutenção espaço disponível, Amortização do investimento. (PERA 1990, p.16)

2.4 Aplicações de um gerador de vapor

O gerador de vapor é aplicado em vários setores industriais e o vapor gerado pelo equipamento, é aplicado nas mais diversas formas, tais como:

- a) **Indústria de bebidas:** nas lavadoras de garrafas, tanques de xarope, pasteurizadores.
- b) **Indústrias madeireiras:** no cozimento de toras, secagem de tábuas ou lâminas em estufas, em prensas para compensados.
- c) **Indústria de papel e celulose:** no cozimento de madeira nos digestores, na secagem com cilindros rotativos, na secagem de cola, na fabricação de papelão corrugado.
- d) **Indústrias de laticínios:** na pasteurização, na esterilização de recipientes, no aquecimento de tanques de água.
- e) **Frigoríficos:** nas estufas para cozimento, nos digestores, nas prensas para extração de óleo.
- f) **Indústria de petróleo e seus derivados:** nos trocadores de calor, nas torres de fracionamento e destilação, nos fornos, nos vasos de pressão, nos reatores e turbinas.

Figura 5 - Indústria de petróleo



Fonte: O autor

O gerador de vapor também é utilizado para geração de energia elétrica, onde o vapor produzido é injetado em turbinas que por sua vez movimentam um gerador de energia elétrica, mas este gerador de vapor é projetado para produzir vapor superaquecido, pois este tipo de vapor não danifica as turbinas.

2.5 Classificação de um gerador de vapor

Os geradores de vapor podem ser classificados de acordo com a classe de pressão:

Formalmente a Norma Regulamentadora (NR-13.1.9) [...] as caldeiras são classificadas em 3 (três) categorias, conforme segue:

- a) caldeiras da categoria A: são aquelas cuja pressão de operação é igual ou superior a 1960 kPa (19.98 kgf/cm²);
- b) caldeiras da categoria C: são aquelas cuja pressão de operação é igual ou inferior a 588 kPa (5.99 kgf/cm²) e o volume interno é igual ou inferior a 100 (cem) litros;
- c) caldeiras da categoria B são todas as caldeiras que não se enquadram nas categorias anteriores. [...] (NR-13, 2003)

A posição dos gases quentes provenientes da combustão e da água que é utilizada para a geração do vapor.

2.6 Tipos de Gerador de Vapor

Atualmente, podemos classificar as caldeiras em dois tipos básicos:

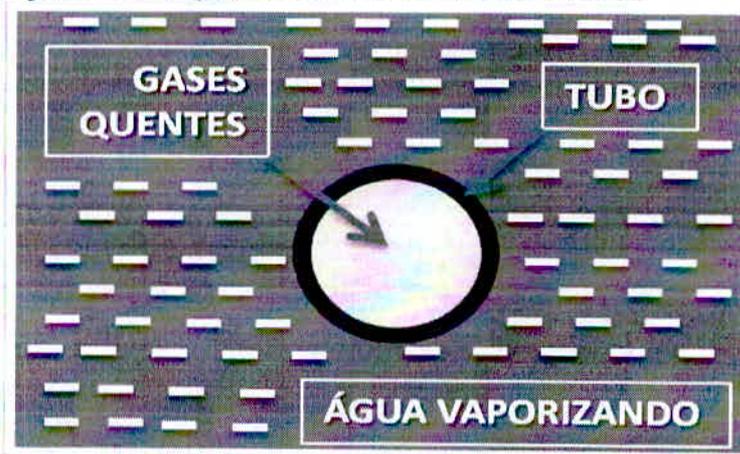
- Gerador de Vapor Flamotubulares
- Gerador de Vapor Aquotubular

2.6.1 Gerador de Vapor Flamotubulares

Os geradores de vapor flamotubulares se caracterizam pela circulação dos gases de combustão pelo interior dos tubos do feixe tubular até a saída pela chaminé. [...]” (PERAGALLO, 1995).

Segue abaixo descrição do funcionamento.

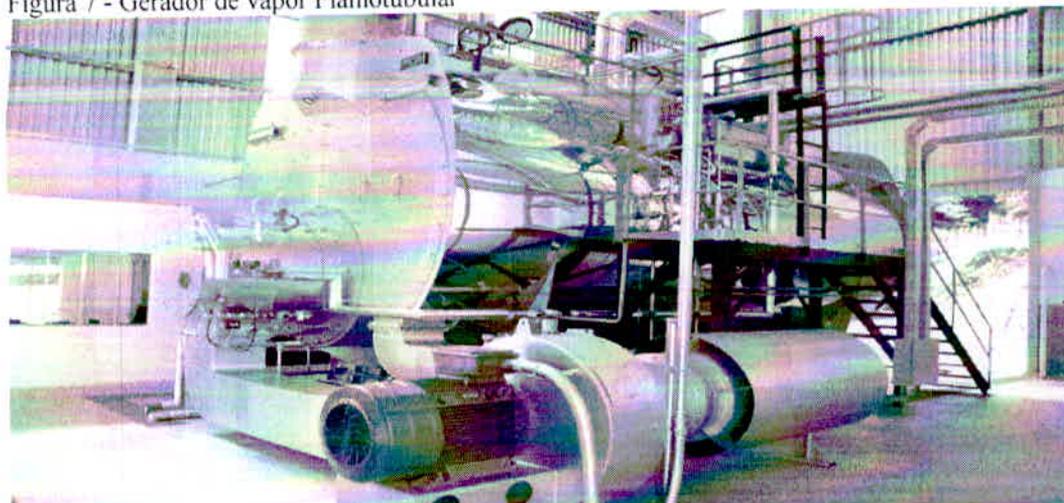
Figura 6 - Circulação de Gases nos Geradores Flamotubular



Fonte: O autor

Segue abaixo um gerador de vapor Flamotubular.

Figura 7 - Gerador de vapor Flamotubular



Fonte: Steammaster

2.6.2 Gerador de Vapor Aquotubular

Ao contrário dos geradores de vapor flamotubulares, os geradores de vapor aquotubulares caracterizam-se pela circulação externa dos gases de combustão nos tubos, que no seu interior são conduzidos a massa de água e vapor [...] (PERAGALLO 1995)

Para Peragallo (1995): “O emprego deste tipo de gerador resulta inevitável quando necessária a obtenção de grandes capacidades e elevadas pressões de vapor.”

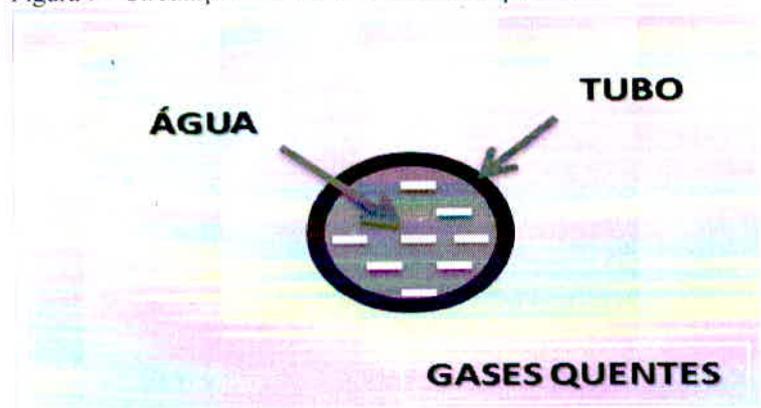
Figura 8 - Gerador de vapor Aquotubular



Fonte: Steammaster

Segue abaixo descrição do funcionamento.

Figura 9 - Circulação de Gases no Gerador Aquotubular



Fonte: O autor

2.7 Viabilidades de Instalação

“Ao instalar uma nova fábrica, comprar novos equipamentos ou simplesmente alugar uma máquina, isto é, ao fazer um novo investimento, uma empresa deve fazer uma análise de viabilidade do mesmo. [...]” (CASAROTTO, 2000)

“Para se efetuar uma análise econômica de um investimento, é necessário um perfeito levantamento dos custos e das receitas adicionais, decorrentes deste investimento. [...]” (CASAROTTO, 2000)

“[...] quer o investimento seja uma expansão da empresa, ou uma nova fábrica, uma nova linha de produção ou simplesmente um novo equipamento, devem ser analisados os efeitos adicionais, medidos em termos de custos e receitas. [...]” (CASAROTTO, 2000)

2.8 Combustão

Combustão é uma reação química na qual o oxigênio toma parte, ocorrendo, simultaneamente, uma intensa liberação de energia em forma de calor e luz, resultando, em especial, no desprendimento de calor. Denominam-se fumos os produtos resultantes da combustão. Os combustíveis são, geralmente, ricos em carbono e hidrogênio, podendo ocorrer também a presença de enxofre em pequena quantidade. A característica mais importante dos combustíveis é o poder calorífico, que é a quantidade de energia desprendida na combustão completa de uma unidade de massa ou volume, a pressão constante. O petróleo é uma das fontes combustíveis mais utilizadas atualmente, sendo o óleo combustível um de seus derivados. Outro combustível utilizado em escala industrial é a lenha, que apresenta em sua composição elementar carbono, hidrogênio, oxigênio, nitrogênio e quantidade variável de água. Aqui consideramos a lenha como sendo a madeira de eucalipto seca ao ar com teor de umidade de 20%, por ser esta a utilizada pela empresa [...]. (Laércio Caetano, 2004)

3 MATERIAIS E MÉTODOS

Este estudo, desenvolvido em parceria com a Empresa X- da cidade de São Leopoldo (RS), teve por finalidade realizar um comparativo antes e após a adaptação de uma fornalha no equipamento que passou a ser abastecido de óleo BPF para lenha de eucalipto.

3.1 Equipamento antes da adaptação

3.1.1 Costado

Caldeira, marca Steiger, modelo ATA-8, com capacidade de 1000kg/hora ,pressão máxima de trabalho 12 kg/cm²

Combustível: óleo BPF.

Figura 10 - Costado



Fonte: Steammaster

O gerador de vapor era composto dos seguintes componentes:

- Queimador

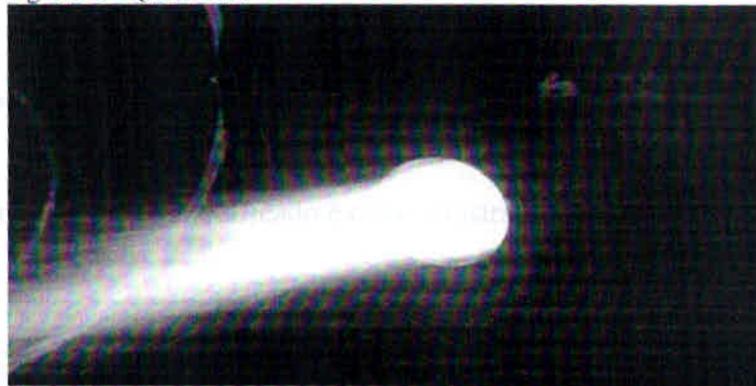
Um queimador é um equipamento que mediante o processo de combustão, tem por fim realizar a transformação de energia química de um combustível em calor. O combustível pode ser líquido ou gasoso.

Além de providenciar o calor numa caldeira ou qualquer outro dispositivo de aquecimento, o queimador controla também a temperatura de saída e pressão da caldeira e é

essencial que a queima de combustível seja eficiente para que o consumo de combustível seja reduzido.

Para além destas funções, o queimador tem também um papel preponderante na estabilização de chama, ele deve também garantir que não haverá retorno de chama e nem seu deslocamento.

Figura 11 - Queimador



Fonte: Steammaster

- Tanque de Serviço

O tanque de serviço ficam geralmente próximos ao equipamento utilizado para aquecer o combustível. Têm baixa capacidade e têm como função armazenar e aquecer os combustíveis líquidos e físcosos facilitando assim sua utilização antes da queima.

Figura 12 - Tanque de Serviço



Fonte: Steammaster

Após a conversão do equipamento foram eliminados o tanque de serviço e o queimador a óleo.

3.2 Equipamento após a adaptação

Não houve nenhuma alteração quanto à capacidade de produção e PMTA do equipamento depois de modificado.

3.2.1 Costado acoplado a Fornalha

Equipamento depois de modificado é como mostrado na foto abaixo.

Figura 13 – caldeira e fornalha



Fonte – Steammaster

Componentes utilizados após a conversão do gerador de vapor e suas características.

- Fornalha com grelha

Local da caldeira onde acontece a combustão do combustível.

Na fornalha a grelha é o elemento que suporta o combustível em combustão, ao mesmo tempo em que distribui o ar primário. Este dispositivo garante também a remoção periódica da cinza acumulada.

Figura 14 - fornalha com grelha



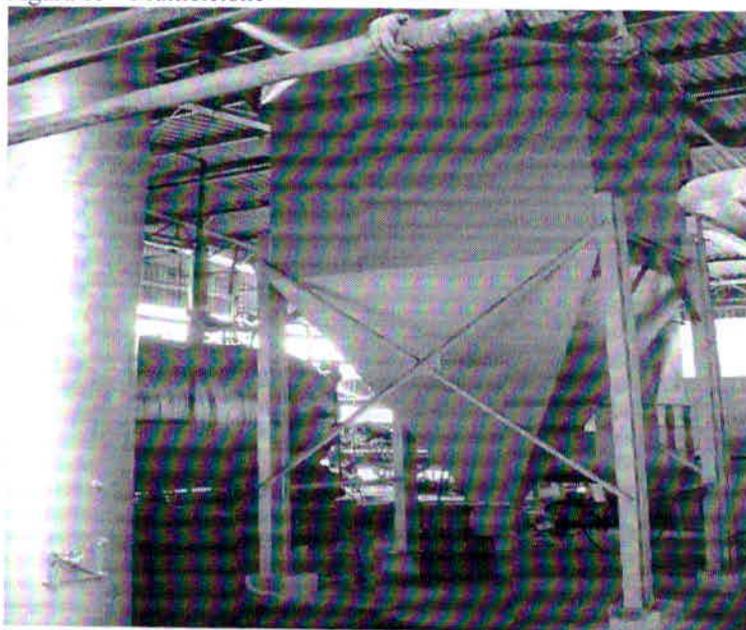
Fonte: Steammaster

- Multiciclone

Objetivo: Reter o material particulado dos gases de combustão numa eficiência de até 99%, quando operado nas condições normais de vazão e temperatura para qual foi projetado, conforme as determinações técnicas do gerador.

Funcionamento: Os gases, ao entrarem no filtro, obedecem a uma trajetória helicoidal, em função do posicionamento dos tubos de saída por onde são aspirados. Essa forma de trajetória, pelo princípio da força centrífuga, obriga as partículas de pó mais pesadas, a se dirigirem à periferia (paredes dos ciclones) e, por gravidade, se depositarem na parte inferior do filtro, onde são recolhidos em recipientes.

Figura 15 - Multiciclone



Fonte: Steammaster

Vantagens:

Grande capacidade de separação ocupa pouco espaço, construção robusta, apresenta desgaste mínimo e baixo custo de manutenção.

A eficiência varia em função do tamanho das partículas de acordo com a tabela abaixo e serão obtidas com a vazão máxima de gases.

* Valores superiores a este, a combustão não está em níveis normais.

Tabela 1 - Tamanho da Partícula x Eficiência do Multiciclone

Tamanho	Eficiência
Menor que 0,0052 mm	40,0%
De 0,0052 a 0,0070 mm	84,0%
De 0,0070 a 0,0105 mm	96,0%
De 0,0105 a 0,0150 mm	98,0%
De 0,150 a 0,0210 mm	98,5%
Maior que 0,0210 mm	99,0%

Fonte: Steammaster.

A porcentagem de separação total é calculada relacionando as porcentagens por frações da tabela acima e a distribuição real granulométrica dos gases de combustão, com uma tolerância de mais ou menos 5%.

- Lavadores de gases / Chaminé

Os lavadores de gases foram desenvolvidos para que as emissões gasosas estejam dentro dos padrões exigidos pelos órgãos ambientais.

São fabricados totalmente em aço inoxidável. A bomba de circulação e pressurização foi especialmente desenvolvida para bombeamento de fluido agressivo e com sólidos em suspensão.

Os lavadores de gases de combustão utilizam por princípio de funcionamento três fases que são:

- Na primeira fase a partícula absorve água ou é envolvida por gotas de água, aumenta de peso e volume;

- Na segunda fase estas partículas são impactadas contra uma corrente de água e são captadas por esta corrente;
- Na terceira fase as partículas que escaparam da impactação passam por um vortex e são impelidas a uma parede com corrente de água;

Os gases limpos passam por um separador de gotas e são lançados através da chaminé na atmosfera

Figura 16 - Lavadores de gases



Fonte: Cliente

- Demais componentes

Ventiladores, Exaustores e Pré Aquecedor de ar, roscas extratoras de cinzas, etc.

3.3 Identificações dos Combustíveis

3.3.1 Combustível A – Óleo BPF

Entende-se por óleos combustíveis tipo 1A (BPF - baixo ponto de fluidez) os óleos produzidos a partir de frações pesadas resultante do processo de craqueamento do petróleo e que são utilizados como fonte de energia em fornos, caldeiras, aquecedores. Os óleos combustíveis tipo 1A (BPF) são constituídos de hidrocarbonetos e possuem uma elevada massa molecular representados pela família das parafinas, naftênicos e aromáticos.

3.3.2 Combustível B – Lenha

A lenha é provavelmente o energético mais antigo usado pelo homem e continua tendo grande importância na matriz energética brasileira, participando com cerca de 10% da produção de energia primária. A lenha pode ser de origem nativa ou de reflorestamento. Ela chega a representar até 95% da fonte de energia países em desenvolvimento. Nos países industrializados, a contribuição da lenha chega a um máximo de 4%.

As novas tecnologias de conversão da lenha em combustíveis líquidos, sólidos e gasosos de alto valor agregado, têm, atualmente, grande interesse mundial e recebem importante quantidade de recursos para suas pesquisas e desenvolvimentos. A combustão ou queima direta é a forma mais tradicional de uso da energia da lenha. Cerca de 40% da lenha produzida no Brasil é transformada em carvão vegetal. O setor residencial é o que mais consome lenha (29%), depois do carvoejamento. O setor industrial vem em seguida com cerca de 23% do consumo. As principais industriais consumidoras de lenha no país são alimentos, bebidas, cerâmicas e papel e celulose.

3.3.3 Eucalipto

Originário da Austrália e da Indonésia, o eucalipto é hoje uma das principais fontes de matéria-prima para produzir papel. Pertence ao gênero *Eucalyptus*, que reúne mais de 600 diferentes espécies. Em território brasileiro, o eucalipto encontrou ótimas condições de clima e solo para se desenvolver, com crescimento mais rápido que nos demais países e alto índice de produtividade. Hoje, as florestas plantadas de eucalipto cobrem 4,8 milhões de hectares no Brasil segundo dados da Associação Brasileira de Produtores de Florestas Plantadas (ABRAF).

3.4 Vantagens e desvantagens entre o óleo BPF e a Lenha

Na fumaça produzida pelos equipamentos de queima, a presença de fuligem, formada de compostos parcialmente oxidados, é mais intensa na queima do óleo combustível. A produção de ácidos derivados dos anidridos de enxofre aparece como sério problema, na queima do óleo B.P.F., uma vez que o teor deste elemento no óleo combustível é da ordem de

2%, em massa. Já a queima da lenha originou fuligem e também sílica no decantador de partículas no processo de exaustão.

Nota-se que, apesar de o óleo BPF ter um poder calorífico superior ao da lenha, o primeiro representa maior custo operacional para a empresa, tendo em vista o seu próprio custo e que sua utilização requer um sistema de lavagem da fumaça. Isso porque o óleo B.P.F. apresenta em sua composição 2,12% de enxofre que são responsáveis pela formação dos compostos de enxofre durante o processo de combustão. Estes, por sua vez, podem reagir com o vapor d'água e produzir H_2SO_3 e H_2SO_4 , causando problemas de poluição atmosférica. Uma de suas vantagens é a de não formar resíduos sólidos, enquanto que a lenha produz, em média, de 1 a 2% de cinzas, que precisam ser removidas da fornalha a intervalos periódicos. De acordo com cálculos estequiométricos, a queima de uma tonelada do óleo produz cerca de 64,925 kg do ácido. Já a madeira agride menos o meio ambiente por ser isenta de enxofre, gerando durante sua queima uma fumaça com menor teor de fuligem e produtos sulfurados, sendo, portanto, menos agressiva. Outro aspecto a ser considerado, é que apesar da lenha exigir maior utilização de mão-de-obra, bem como maior espaço físico para armazenamento, é o combustível mais barato, tanto por tonelada quanto por unidade de energia gerada, representando uma economia da ordem de 76,67% em relação ao óleo BPF. A isto, ainda, soma-se o fato da lenha ser um recurso energético renovável.

4 RESULTADO E DISCUSSÃO

4.1 Custo dos componentes para adaptação

4.1.1 Valor estimado do equipamento para adaptação no Gerador de Vapor.

Tabela 2 - Custo do equipamento

ITEM	QUANT.	DESCRIÇÃO	PREÇO UNIDADE	SUB. TOTAL
1	1	Fornalha e componentes.	R\$ 155.000,00	R\$ 155.000,00

Fonte: Cliente

4.1.2 Outras despesas

- Transporte – R\$ 23.400,00
- Nova casa de caldeira – R\$ 78.000,00
- Montagem – R\$ 17.000,00
- Total de outras despesas – R\$ 118.400,00
- Total do valor gasto – R\$ 273.400,00

4.2 Análises de custo dos Combustíveis

Com relação ao consumo de combustível, a caldeira a óleo consumia, em média, 76,50 kg/hora do óleo combustível B.P.F. e já a caldeira a lenha³, um m³ de lenha/hora ou 620 kg de lenha/hora.

4.2.1 Custo do Combustível A

O custo médio do óleo pago pela empresa no período do estudo foi de R\$ 0,895/kg, com um custo/hora de R\$ 68,46, implicando em uma despesa mensal de R\$ 49.291,20 levando em conta que o equipamento funciona vinte e quatro horas por dia.

É gasto também com Consumo de Energia Elétrica que varia na faixa de R\$ 361,60 por mês para o funcionamento do tanque de serviço citado nos componentes do equipamento a óleo.

4.2.2 Custo do Combustível B

Já o valor pago pela lenha ficou em torno de R\$ 35,00/m³, com um custo hora de R\$ 35,00, implicando em uma despesa mensal de R\$ 25.200,00 levando em conta que o equipamento funciona vinte e quatro horas por dia. Consideramos a lenha como sendo a madeira de eucalipto seca ao ar com teor de umidade de 20%, por ser esta a utilizada pela empresa. Neste caso, o custo operacional adicional da empresa, relativo à mão-de-obra para transporte da lenha e um operador para alimentação da fornalha gira em torno de R\$ 2.800,00/mês, já incluídos todos os encargos.

4.3 Resultado Final

Tabela comparativa de consumo de combustível para alimentação e funcionamento do gerador de vapor antes e depois da adaptação.

Tabela 3 – Comparativo entre os combustíveis.

Descrição	Óleo BPF (antes)	Lenha (depois)
Combustível	R\$ 49.291,20	R\$ 25.200,00
Energia	R\$ 361,60	-
Mão de obra para alimentação	-	R\$ 2.800,00
Total	R\$ 49.652,8	R\$ 28.000,00

5 CONCLUSÃO

Baseando-se nos dados coletados acima vimos que o cliente obteve resultados satisfatório, e com pouco mais de doze meses o mesmo conseguiu o retorno do investimento aplicado em sua indústria.

A lenha mostrou ser uma solução tecnicamente correta para substituição do óleo BPF, pode-se observar também que ambos possuem diferentes vantagens e desvantagens ao serem aplicados em um gerador de vapor.

Entre eles, soma-se o fato da lenha de eucalipto ser um recurso energético renovável.

Conclui-se que após a conversão do equipamento notou-se que as vantagens do uso da lenha foram bem maiores tanto economicamente como ambientalmente em relação ao óleo BPF.

REFERÊNCIAS

- ARAÚJO, J. L. R. H. A Questão do Investimento no Setor Elétrico Brasileiro: Reforma e Crise. In: XXIX Encontro Nacional da ANPEC, 2001, Salvador. **Anais...** Salvador: 2001.
- PERA, Hildo. **Geradores de Vapor de Água**. São Paulo Escola Politécnica da Universidade de São Paulo, Departamento de Engenharia Mecânica 1966.
- PERAGALLO TORREIRA, Raul. **Geradores de Vapor**. São Paulo. Libris, 1995.
- STEAMMASTER. **Caldeiras**. Descrição de produtos. Disponível em: <http://www.caldeiras.com/> >Acesso em: 30/08/2012
- CAETANO, Laércio; DUARTE JUNIOR, Luis Antonio . Faculdade de Engenharia de Ilha Solteira, FEIS, Universidade Estadual Paulista, UNESP. Disponível em: www.abcm.org.br/xi_creem/resumos/TE/CRE04-TE01.pdf. >Acesso em: 17/06/2012**
- ABRAF | Bracelpa - Associação Brasileira de Celulose e *Papel*
<<http://www.bracelpa.org.br/bra2/?q=node/136> >Acesso em: 30/08/2012
- ALISUL INDÚSTRIA DE ALIMENTOS. São Leopoldo, RS, 2012.
- BRASIL. Ministério do trabalho e emprego. **NR-13: Caldeiras e vasos de pressão** . Brasília, 1978.