



# Máquinas Térmicas: Geradores de Vapor

Jurandir Itizo Yanagihara



## Geradores de Vapor

- Forno
- Caldeira
- Superaquecedores
- Economizadores
- Aquecedores de Ar
- Dispositivos de Controle e Segurança
- Tiragem



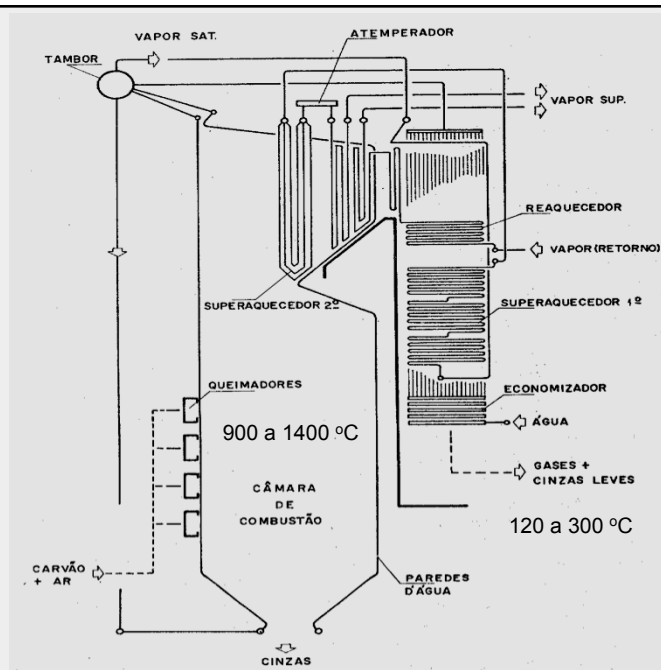
## Gerador de Vapor

Usina : 65 MW

Vapor: 230 t/h

Pressão: 160 bar

Temp. vapor: 540 °C

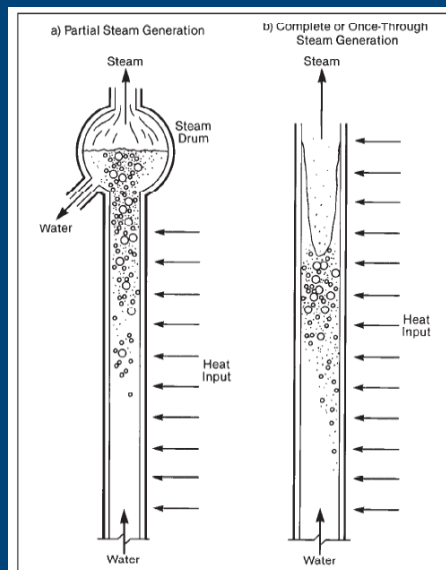


Maquinas Termicas – Geradores de Vapor

Jurandir Itizo Yanagihara



## Processo de Geração de Vapor

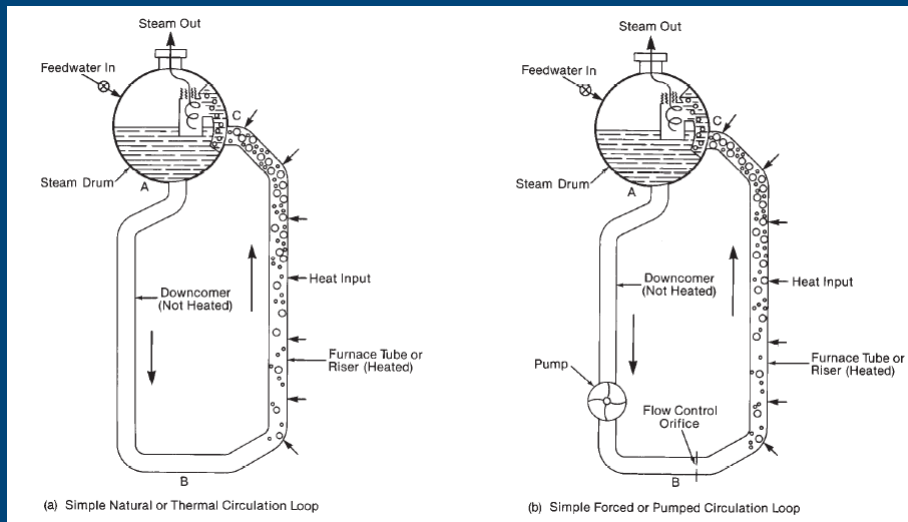


Maquinas Termicas – Geradores de Vapor

Jurandir Itizo Yanagihara



## Processo de Geração de Vapor

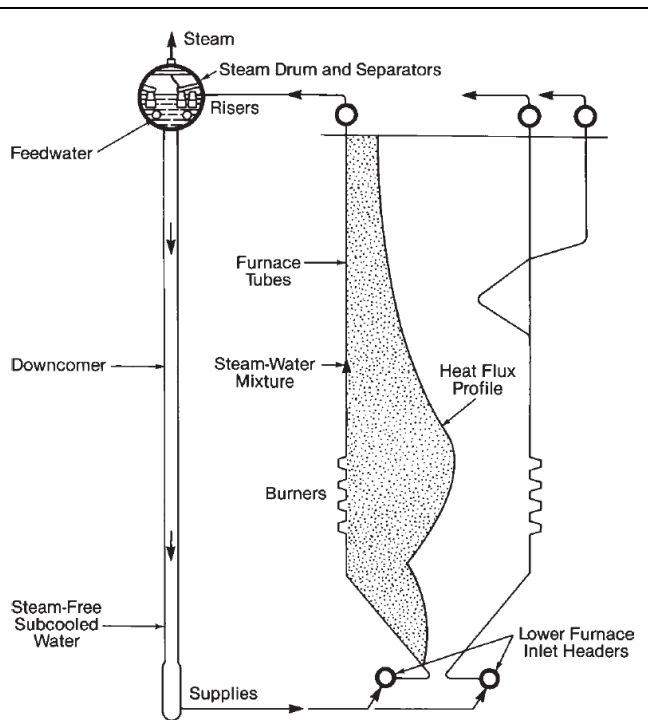


Maquinas Termicas – Geradores de Vapor

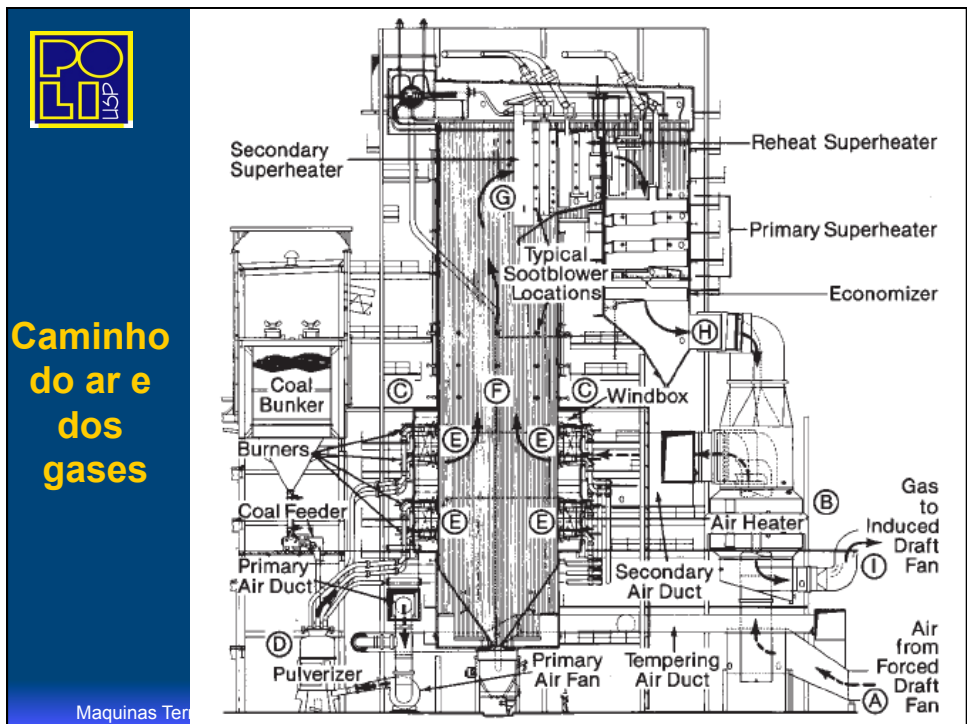
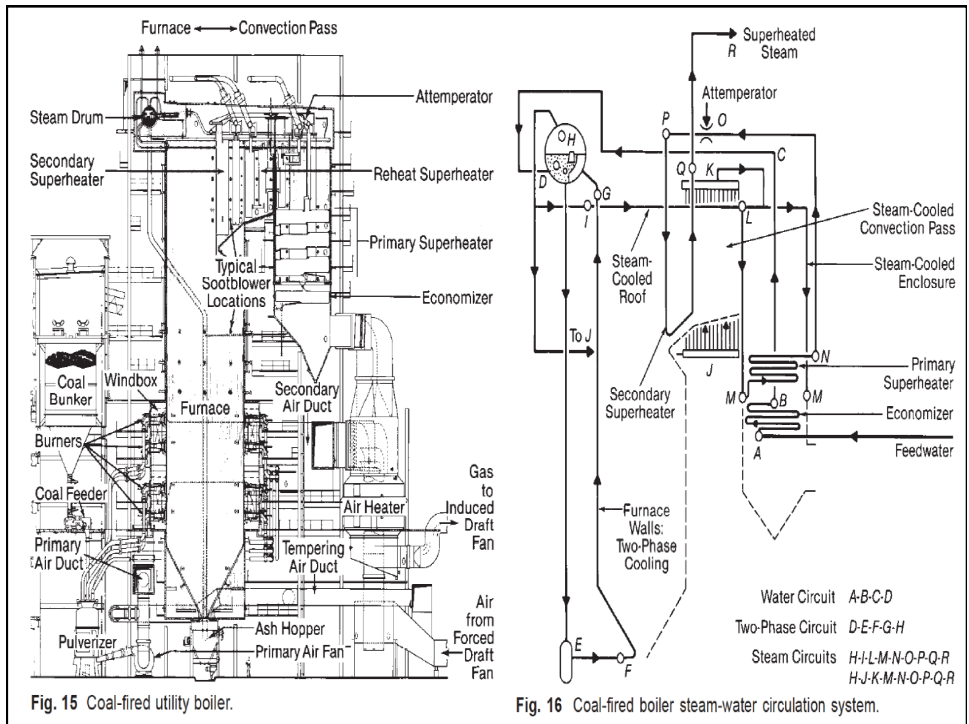
Jurandir Itizo Yanagihara



## Diagrama de Circulação de Água e Indicação de Fluxo de Calor



Maquinas Termicas – Geradores de Vapor





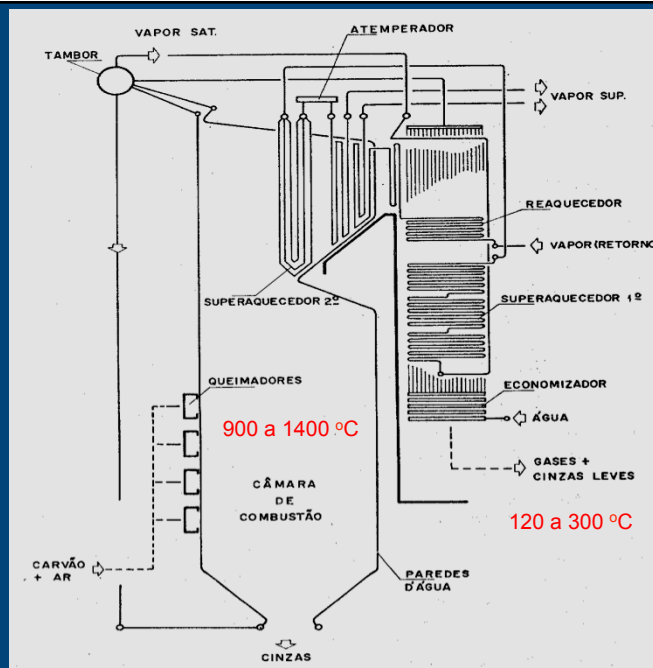
## Gerador de Vapor

Usina : 65 MW

Vapor: 230 t/h

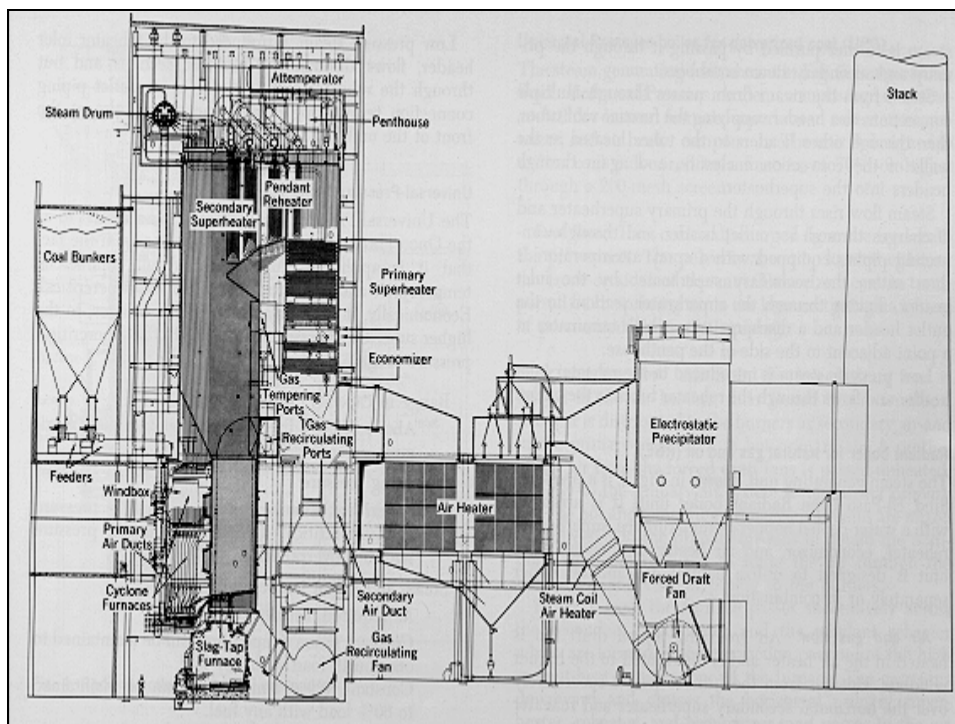
Pressão: 160 bar

Temp. vapor: 540 °C



Maquinas Termicas – Geradores de Vapor

Jurandir Itizo Yanagihara





## GV Usina Termelétrica - Redding (28 MWe)

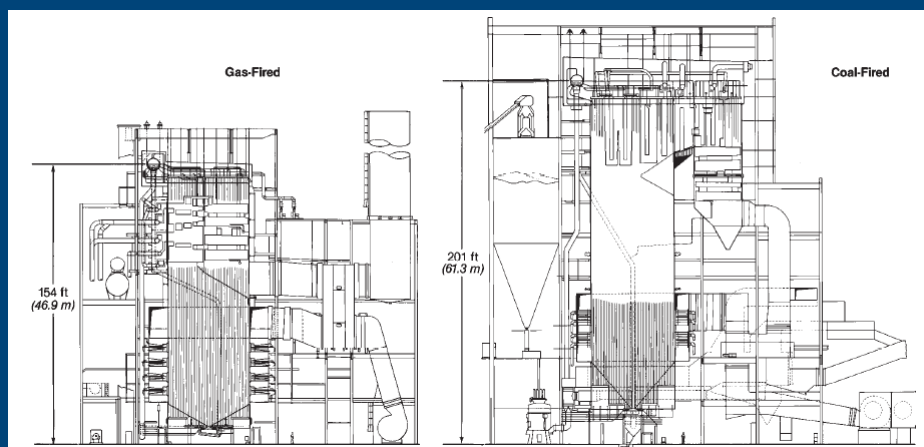


Maquinas Termicas – Geradores de Vapor

Jurandir Itizo Yanagihara



## Comparação GV : Gás e Carvão



Maquinas Termicas – Geradores de Vapor

Jurandir Itizo Yanagihara

## Video GV Biomassa CBC BFB – Blubbling Fluidized Bed

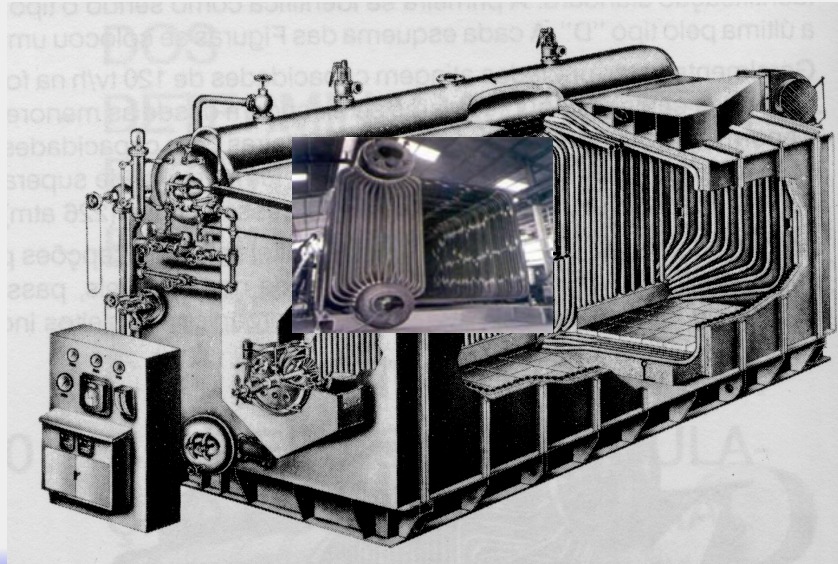


### Caldeira

- Parte do gerador de vapor onde ocorre a mudança de fase da água (líquido para vapor).
- Tipos: aquotubulares e flamotubulares.
- Aquotubulares: água circula por dentro dos tubos de pequeno diâmetro, dispostos na forma de paredes d'água ou de feixes tubulares. Podem ser de pequeno, médio ou grande porte.
- Flamotubulares: água circula ao redor do feixe de tubos, e os gases de combustão, por dentro. Tem uso limitado às instalações de pequeno porte (pressão máxima de 15 bar e vazão máxima de 15 t/h de vapor saturado).



## Esquema de caldeira aquotubular

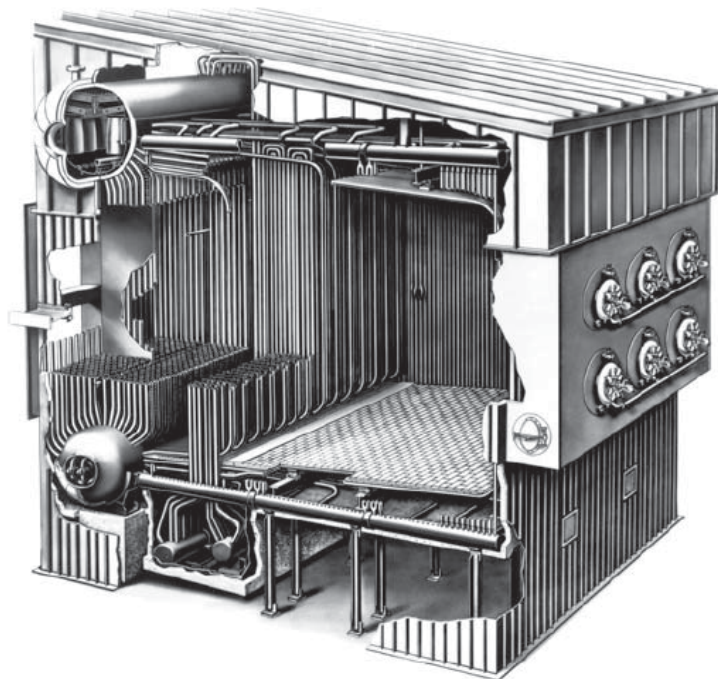


Maquinas Termicas – Geradores de Vapor

Jurandir Itizo Yanagihara



## Esquema de caldeira aquotubular



Maquinas Termic





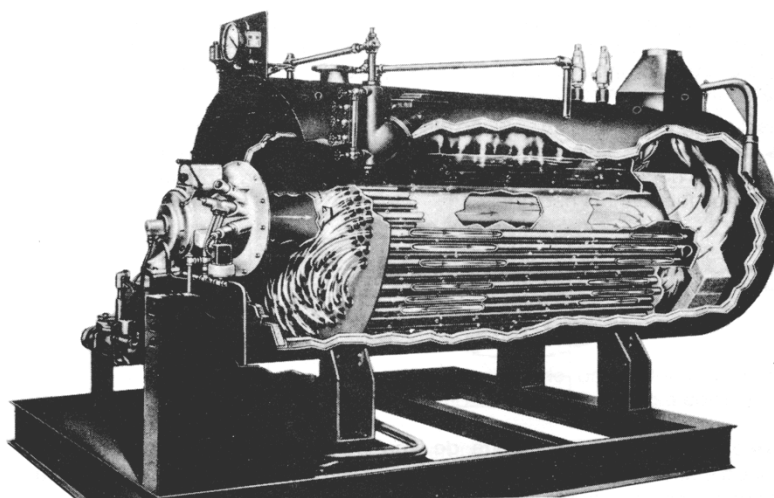
Fornalha de uma caldeira aquotubular compacta. As paredes mostradas na foto recebem calor da chama por radiação. Os gases quentes contornam a fornalha na parte traseira e passam pelo banco de tubos de convecção, atrás da parede do lado esquerdo da fotografia.



Maquinas Termicas – Geradores



### Esquema de caldeira flamotubular



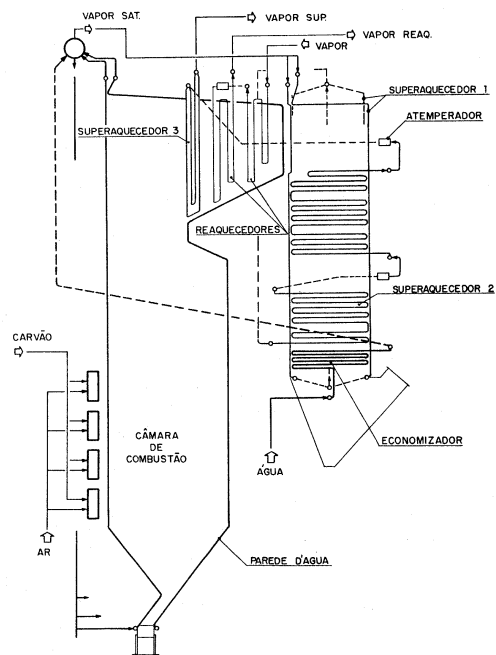
Maquinas Termicas – Geradores de Vapor

Jurandir Itizo Yanagihara

## Video BC Caldeira Flamotubular

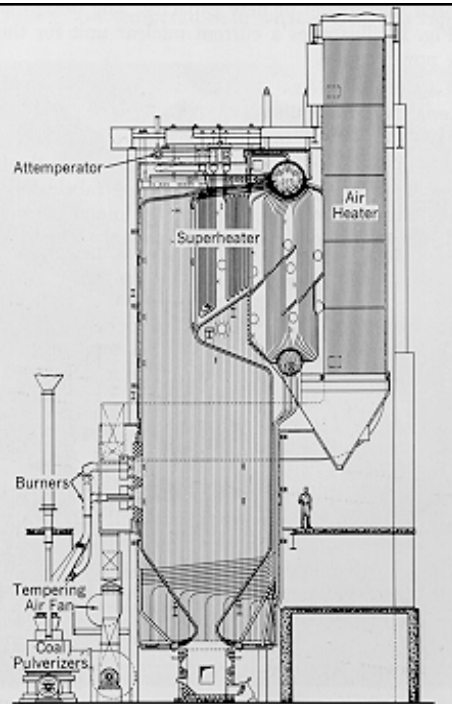


**Caldeira aquotubular  
de circulação natural,  
projetada para  
operação em usinas  
termelétricas**





**Caldeira aquotubular de circulação natural, projetada para operação em usinas termelétricas (6,5 MPa e 480 C)**



Maquinas Termicas – Geradores de Vapor



## **Seleção de caldeiras de usinas termelétricas**

- Escolha do combustível (disponibilidade, custo, análise técnica, tendência futura).
- Condições do vapor e do calor fornecido.
- Água de alimentação (fonte, temperaturas).
- Limitações geográficas (altitude, condições climáticas, condições do solo, acesso para serviços e construção).
- Condições locais (restrições ambientais, legislação local, limitação de espaço).
- Tipo e custo da energia para acionamento de equipamentos auxiliares.
- Nível de experiência do pessoal para operação e manutenção, custo da mão-de-obra.
- Garantias de fornecimento.

Maquinas Termicas – Geradores de Vapor

Jurandir Itizo Yanagihara



## Requisitos do vapor

- Turbinas a vapor operam com pressões de entrada entre 10 MPa e 25 MPa e temperaturas de entrada ao redor de 550 C.
- Manutenção da temperatura do vapor na entrada da turbina constante.
- Pressão constante para qualquer carga.
- Reaquecimento é benéfico, mas deve ser feita uma análise de custos dos equipamentos extras.



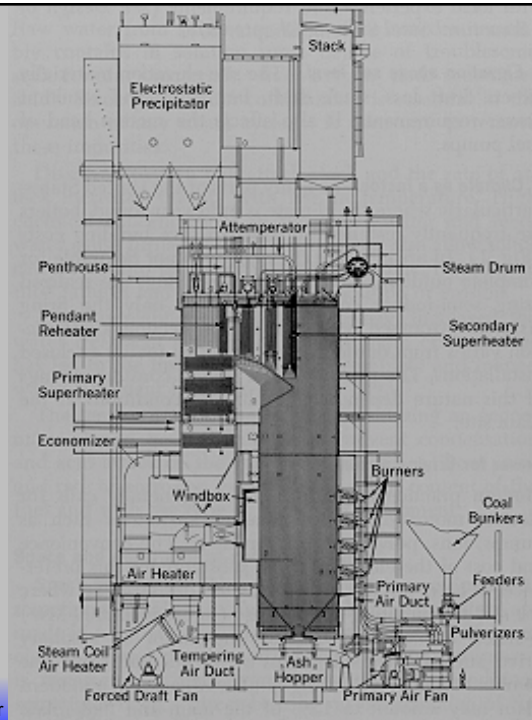
## Condições da água

- Oxigênio dissolvido corrói o aço, sendo que essa taxa é proporcional à temperatura. O material corroído é carregado pela tubulação e pode danificar superaquecedores e turbinas.
- A água de alimentação deve entrar no economizador a temperatura alta o suficiente para não provocar condensação e corrosão ácida na face do tubo em contato com o gás.



## Caldeira radiante para carvão pulverizado

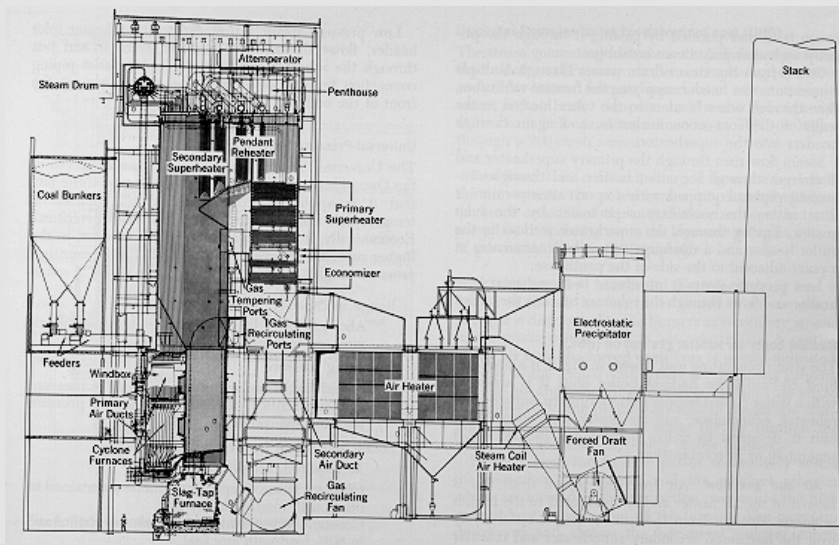
Maquinas Termicas – Geradores de Vapor



## Caldeira radiante com queimador ciclônico

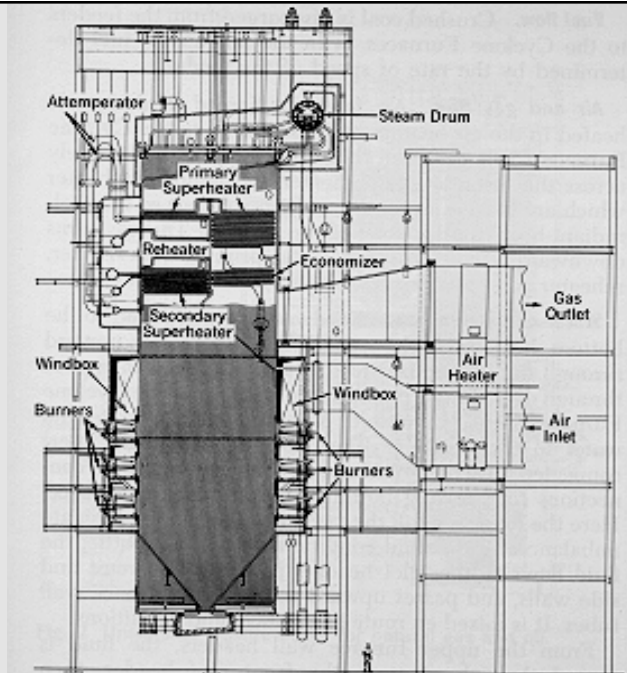
Maquinas Termicas – Geradores de Vapor

Jurandir Itizo Yanagihara





## Caldeira radiante para gás natural e óleo



Maquinas Termicas – Geradores de Vapor

Jurandir Itizo Yanagihara



## Superaquecedores

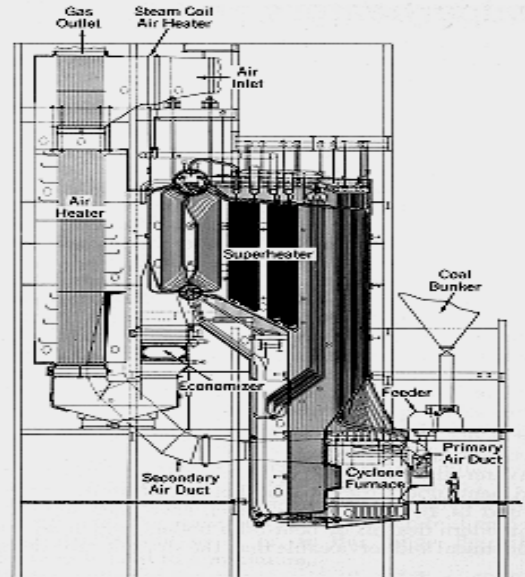
- Feixes tubulares determinados a elevar a temperatura do vapor proveniente do tambor da caldeira e são localizados de modo a melhor aproveitar o calor disponível nos gases de combustão (temperaturas mais altas => mais próximas da câmara de combustão).
- Superaquecedores: convectivos ou radiantes.

Maquinas Termicas – Geradores de Vapor

Jurandir Itizo Yanagihara



## Superaquecedores convectivos

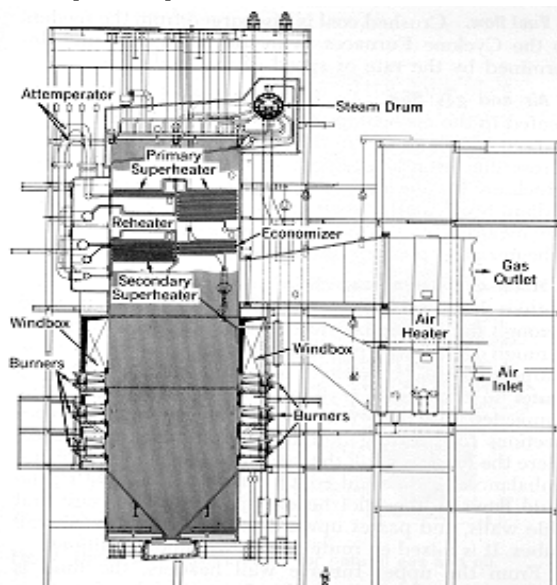


Maquinas Termicas – Geradores de Vapor

Jurandir Itizo Yanagihara



## Superaquecedores radiantes



Maquinas Termicas – Geradores de Vapor

Jurandir Itizo Yanagihara

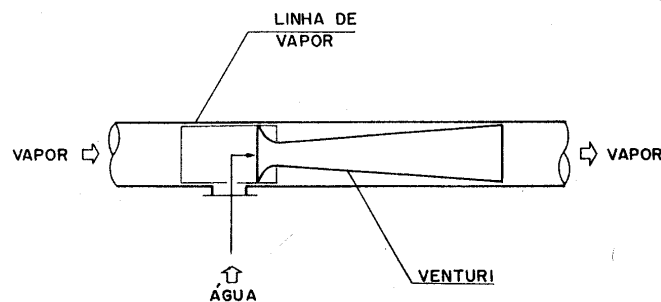


## Controle da temperatura

- A temperatura do vapor superaquecido é muito sensível a variações das condições de operação da caldeira (carga => fluxo de vapor => fluxo de gases de combustão => temperatura do vapor superaquecido).
- Controle permanente da temperatura final do vapor superaquecido => atemperador => injeta água líquida no vapor superaquecido.



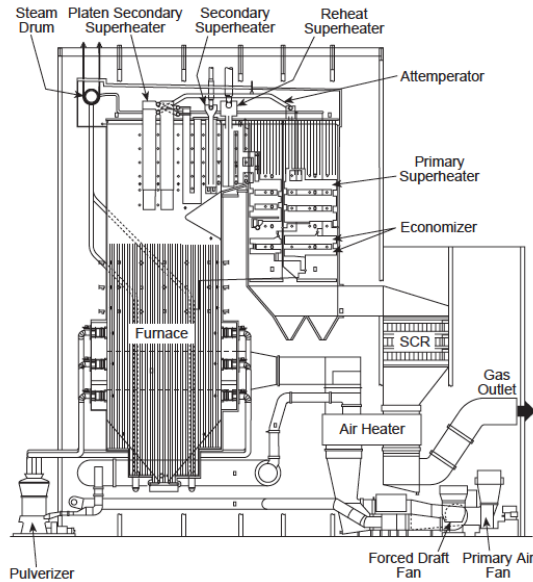
## Atemperador







## Economizadores e Preaquecedores de Ar

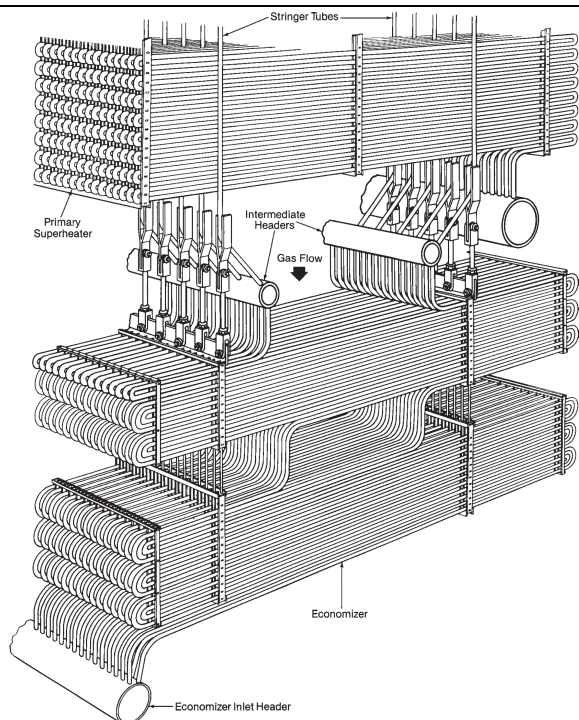


Maquinas Termicas – Geradores de Vapor

Jurandir Itzo Yanagihara



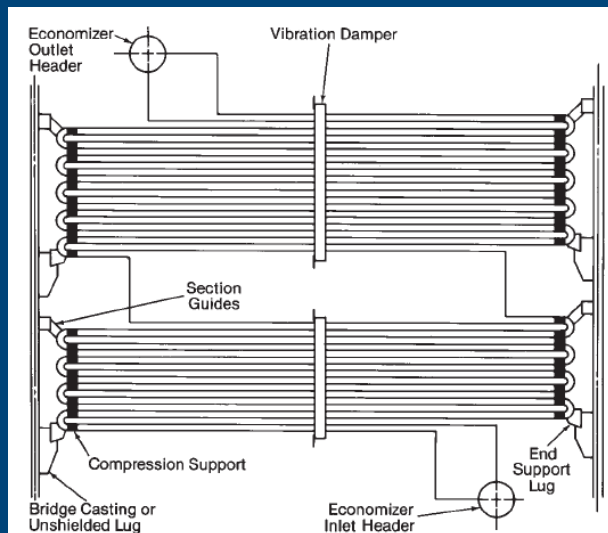
## Superaquecedores e Economizadores



Maquinas Termicas – Geradores de



## Economizador

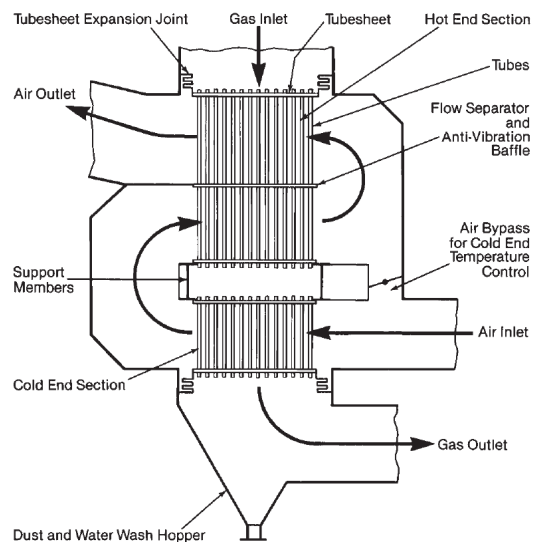


Maquinas Termicas – Geradores de Vapor

Jurandir Itizo Yanagihara



## Aquecedores de ar recuperativos

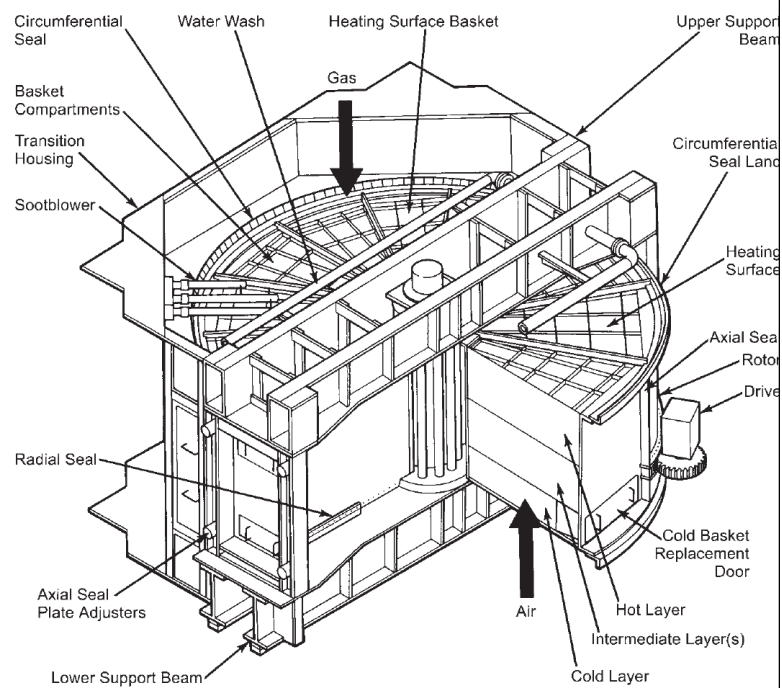


Maquinas Termicas – Geradores de Vapor

Jurandir Itizo Yanagihara



## Aquecedores de ar regenerativos



Maquinas Te



## Preaquecedor de ar regenerativo



Maquinas Termicas - Geradore



## Tiragem : movimentação dos gases

- Tiragem natural (aspiração da chaminé) => câmara de combustão trabalha em depressão. Inviável em geradores de vapor envolvendo grandes feixes tubulares e dispositivos complementares que provocam grandes perdas de carga.
- Tiragem mecânica ou artificial (chaminé e ventiladores) => pode ser forçada, induzida ou balanceada (depende onde ficam os ventiladores).



## Ventilador axial de passo variável em teste

