

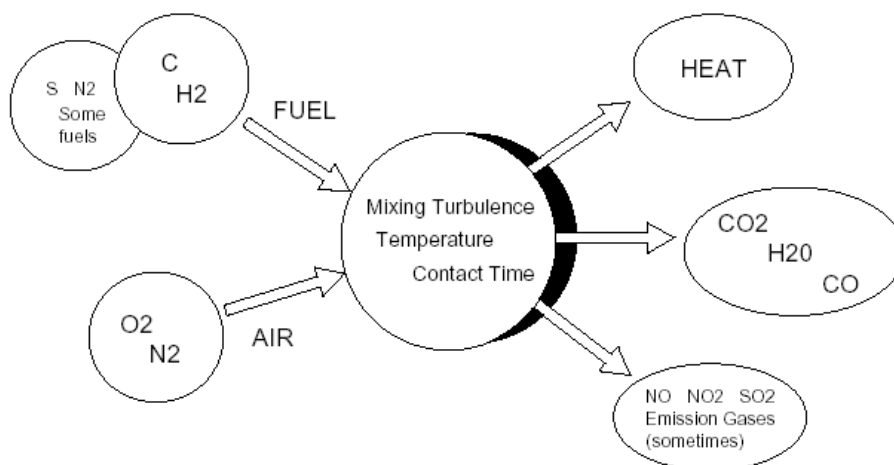


Máquinas Térmicas: Fornalhas

Jurandir Itizo Yanagihara



Combustão





Fornalha

- Converte energia química do combustível em energia térmica.
- De acordo com o tipo e a qualidade do combustível disponível, a queima pode ser em suspensão, em grelha, ou em leito fluidizado. As fornalhas com queima em grelha ou em leito fluidizado são de pequeno e médio porte.
- Queima em suspensão (queimadores): combustíveis líquidos e gasosos em geral (óleo, gás natural, gás de processo) ou pequenas partículas sólidas em suspensão (carvão pulverizado, serragem, casca de arroz, etc.).
- Queima em grelha ou leito fluidizado: carvão mineral, carvão vegetal, bagaço de cana, lenha, lixo urbano, etc...



Câmara de Combustão - Projeto

- Volume apropriado ao tipo e à quantidade de combustível a ser queimado.
- Altura compatível com a circulação de água nos tubos e tempo de queima do combustível.
- Disposição dos queimadores para evitar contato direto da chama com os tubos d'água.
- Dimensões apropriadas para a grelha, no caso de queima de combustíveis sólidos.
- Forma da câmara para favorecer a queima e garantir o fluxo regular dos gases de combustão.
- Temperaturas compatíveis com o equipamento e com o próprio combustível que se deseja queimar.



Volume da Fornalha

- Volumes pequenos => combustão parcial, com a presença de combustível não queimado nos gases que deixam a fornalha.
- Volumes grandes => baixa temperatura, por representarem maior superfície de irradiação => pode dificultar processo de ignição.
- Carga térmica volumétrica = Q/V [kW/m³]
 - Caldeiras aquotubulares (óleo ou gás): 200 – 800 kW/m³
 - Caldeiras flamotubulares (óleo ou gás): 450 – 1200 kW/m³
 - Caldeiras aquotubulares (carvão pulverizado): 100 – 300 kW/m³
 - Caldeiras de biomassa - grelhas inclin. (lenha): 250 – 400 kW/m³
 - Caldeiras de biomassa - grelhas móveis (lenha): 250 – 600 kW/m³



Combustíveis - Poder Calorífico

Combustível	PCI (kJ/kg)	tEP
Óleo combustível	43.800	0,99
Lenha (base seca)	16.000	0,36
Carvão fóssil (SC)	19.000	0,43
Bagaço de cana	9.400	0,21
Gás natural	51.800	1,18



Combustível a ser utilizado

- Deve ser abundante e de custo razoável.
- Condições de fornecimento e custos do combustíveis variam com as condições de mercado => queimadores que possibilitem a utilização de mais de um combustível para evitar parada de operação imprevista.
- Combustíveis fósseis: óleo combustível, gás natural, carvão mineral (triturado, pulverizado), turfa, etc.
- Combustíveis alternativos: carvão vegetal, lenha, bagaço de cana, madeira, casca de arroz, etc.



Teor de Enxofre e Teor de Cinzas

- O enxofre, combinado com água, forma ácido sulfúrico => ataca as partes mais frias da unidade geradora de vapor
- Teores de enxofre
 - Carvão brasileiro => ao redor de 4%
 - Óleo combustível => ao redor de 6%
 - Óleo BTE (baixo teor de enxofre) => menos de 1%
- A cinza (carvão fóssil), dependendo da temperatura da câmara de combustão, pode fundir e se aglomerar junto às superfícies de aquecimento da caldeira, ou obstruir a passagem do ar de combustão (no caso de grelhas).
- Teores de cinza
 - Carvão brasileiro (SC) => ao redor de 40%
 - Carvão europeu / americano => ao redor de 5%



Queima de óleo combustível

- Aquecimento do óleo para corrigir viscosidade e permitir bombeamento e nebulização.
- Nebulização para assegurar uma combustão estável, eficiente e com baixas emissões.
- Tamanho das gotas entre 10 e 200 μm . Bons queimadores produzem 85% das gotas com diâmetro inferior a 50 μm .
- Tipos de queimadores (nebulizadores): de pressão direta, com retorno de óleo, com fluido auxiliar, com copo rotativo.



Queimadores de pressão direta

- Nebulização mecânica: óleo é comprimido na faixa de 5 a 30 bar e ganha movimento de rotação ao passar pelos bicos injetores.
- Ângulo do cone do jato: 45° a 80°.
- Queimador garante perfeita nebulização para carga constante mas é ruim para carga variável.
- Não é possível trabalhar com cargas inferiores a 40% sem substituição do bico injetor.

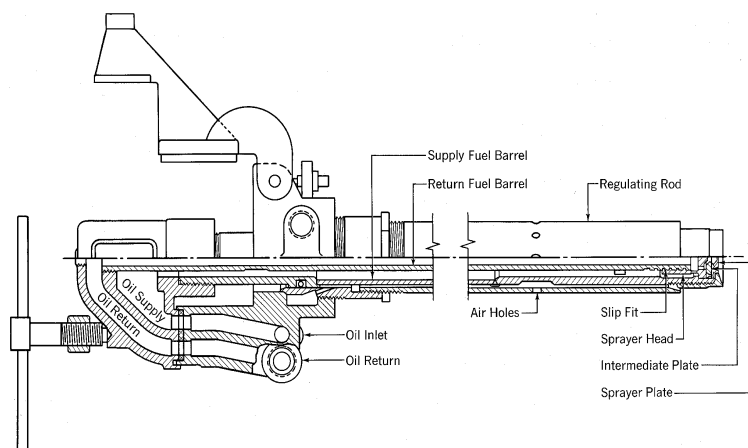


Queimadores com retorno de óleo

- Movimento de rotação do líquido é obtido com pressões (na bomba) e vazões (nos canais tangenciais) altas e constantes.
- Variação de capacidade do queimador controlada pelo quantidade de óleo de retorno.
- Pressão de retorno é proporcional à capacidade de queima.
- Pode operar com carga entre 10 e 15 % do valor máximo.



Queimadores com retorno de óleo





Queimadores com fluido auxiliar

- Operam com vapor, ar comprimido ou ar a baixa pressão; a partir de 20% da carga máxima.
- Vapor: pressão do óleo menor que 7 bar; baixo consumo de vapor; pressão do vapor entre - 50 kPa e + 150 kPa em relação à pressão do óleo.
- Ar comprimido: pressão do óleo menor que 1,5 bar; pressão do ar entre 0,5 e 1,5 bar; vazão de ar de 25 a 50% da vazão de óleo.
- Ar a baixas pressões (10 kPa): névoa uniforme.

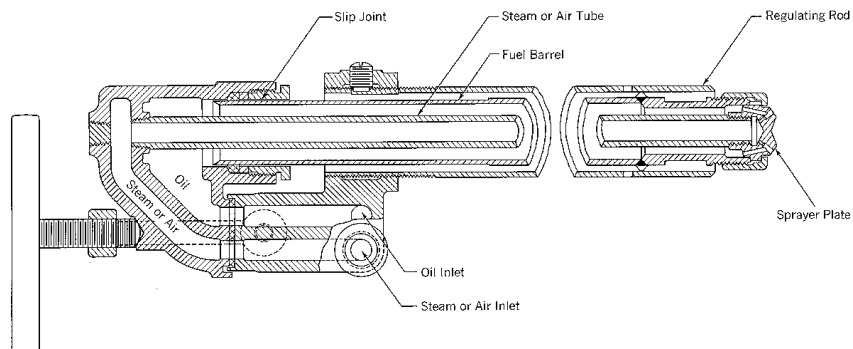


Maquinas Termicas - Fornoalha

Jurandir Itizo Yanagihara



Queimadores com fluido auxiliar

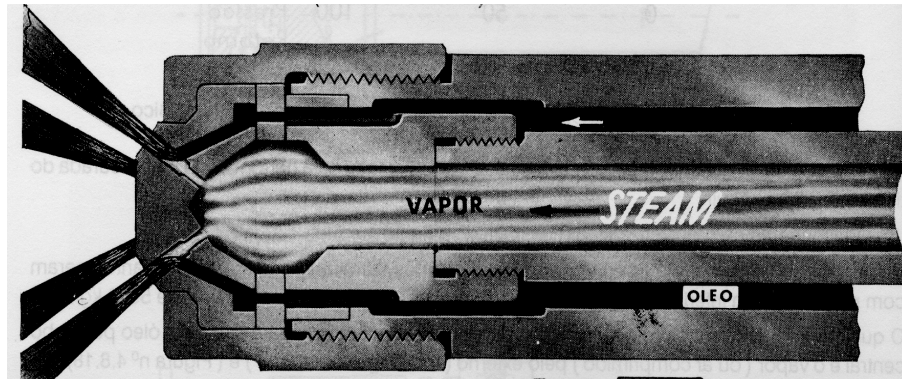


Maquinas Termicas - Fornoalha

Jurandir Itizo Yanagihara



Queimadores com fluido auxiliar

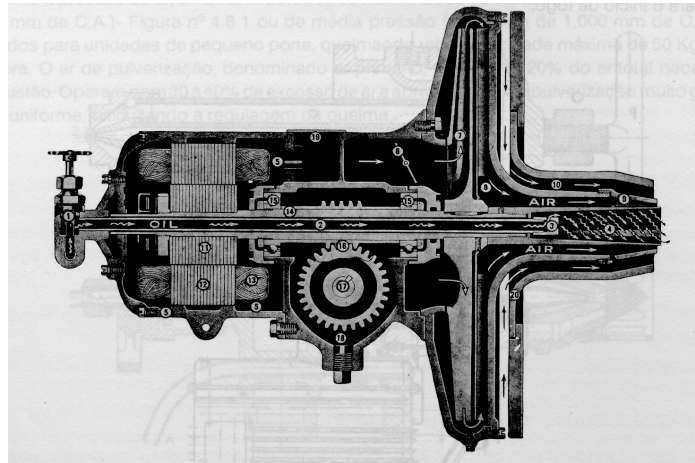


Queimadores com copo rotativo

- Copo cônico com alta rotação (3000 rpm) forma um filme que se desagrega e forma gotículas.
- Ar primário, lançado no lado externo do copo, tem ação complementar de nebulização.
- Consumo de ar varia entre 10 e 25% do ar total de combustão (complementado pelo ar secundário).
- Permite trabalhar com carga de 20% do valor máximo.



Queimadores com copo rotativo



Maquinas Termicas - Fornalha

Jurandir Itizo Yanagihara



Queima de carvão pulverizado

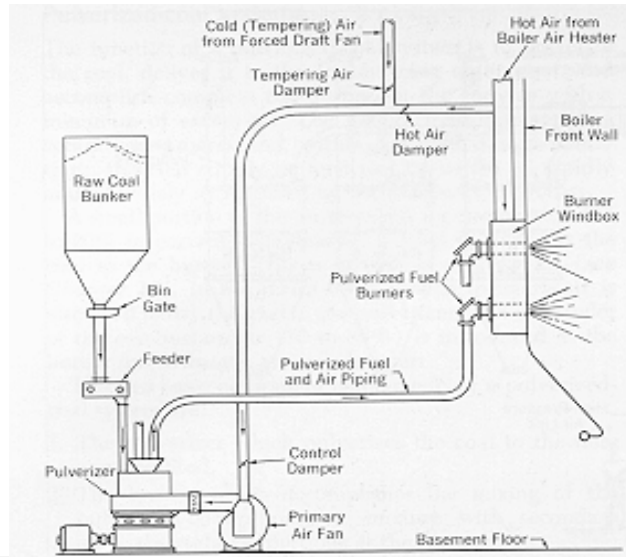
- Muito utilizado em plantas termelétricas (USA).
- Queimadores impõem movimento de rotação na mistura carvão pulverizado-ar primário; muitos tem dutos para combustível auxiliar (óleo, gás).
- Ar primário (ar quente): velocidade de 15 a 25 m/s (para arrastar o combustível e evitar eventual retorno de chama).
- Permite operação com carga de 40% acima do valor máximo.

Maquinas Termicas - Fornalha

Jurandir Itizo Yanagihara



Moagem e transporte de carvão pulverizado



Maquinas Termicas - Fornalha

Jurandir Itizo Yanagihara



Moagem e transporte de carvão pulverizado

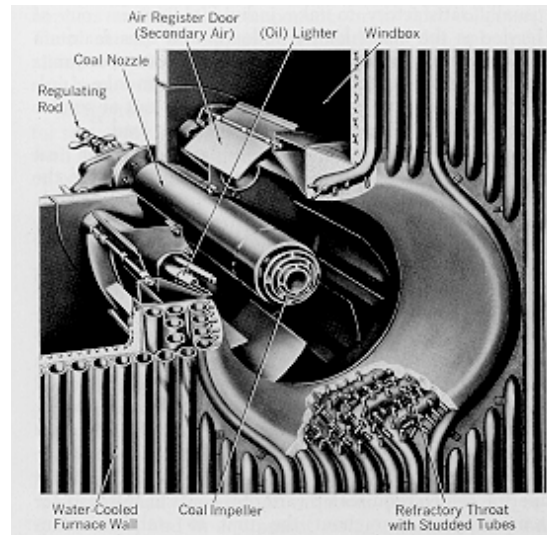
- 70 a 90 % do carvão com granulometria menor que $75 \mu\text{m}$ (% maior acarreta maiores custos).
- Ar utilizado na queima é pré-aquecido: parte desse ar (primário) é utilizado para transporte.
- Equipamentos adicionais necessários para:
armazenamento, dosagem e moagem do carvão; remoção das cinzas arrastadas com os gases de combustão.

Maquinas Termicas - Fornalha

Jurandir Itizo Yanagihara



Queimador de carvão pulverizado

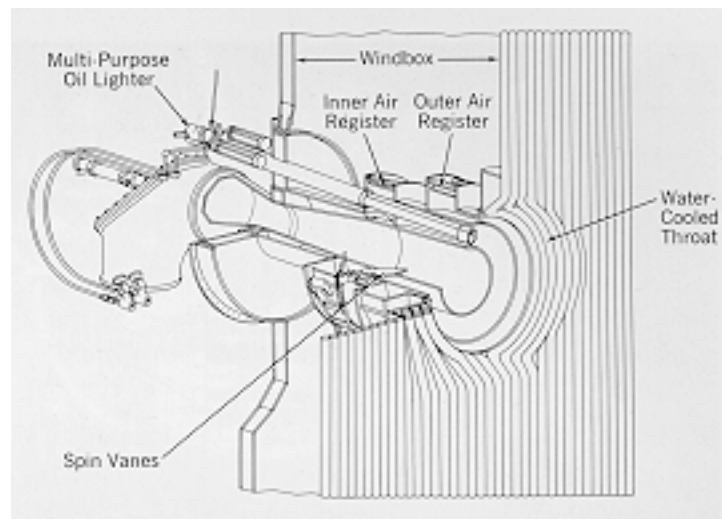


Maquinas Termicas - Fornoalha

Jurandir Itizo Yanagihara



Queimador de carvão pulverizado

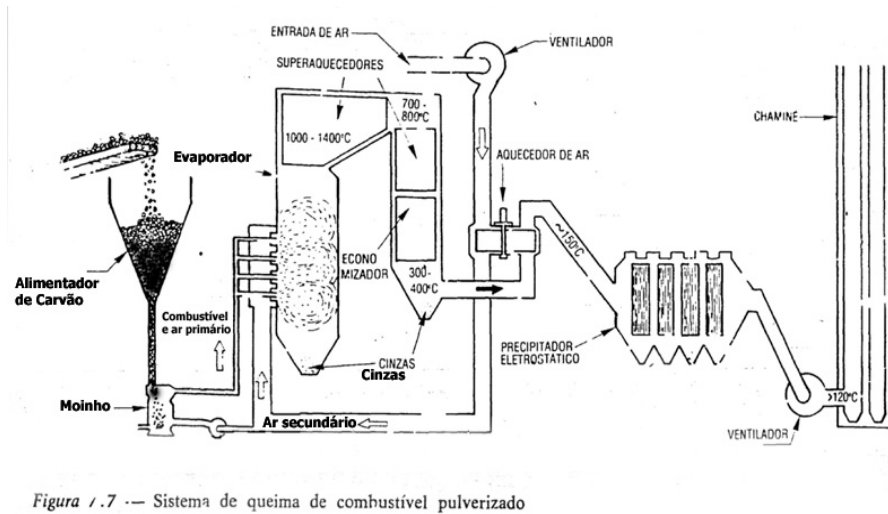


Maquinas Termicas - Fornoalha

Jurandir Itizo Yanagihara



Sistema de queima de carvão pulverizado

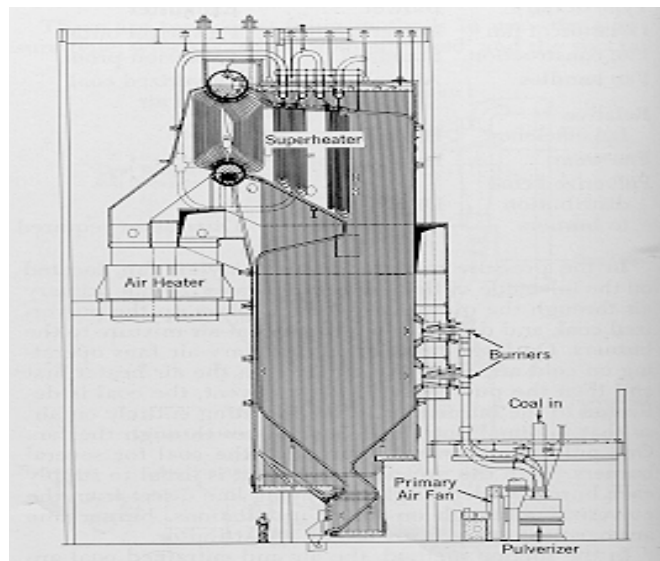


Maquinas Termicas - Forno

Jurandir Itizo Yanagihara



GV com queima de carvão pulverizado



Maquinas Termicas - Forno

Jurandir Itizo Yanagihara



Fornalha de carvão pulverizado de fundo seco

- Cargas térmicas entre 170 e 230 kW/m³.
- Temperatura da combustão não deve ficar próxima à de fusão das cinzas.
- Cinzas: parte cai por gravidade ao fundo da fornalha (remoção mecânica) e parte é arrastada pelos gases de combustão (remoção mecânica ou por precipitadores eletrostáticos).



Fornalha de carvão pulverizado de fundo úmido

- Chama é lançada para baixo (tempo e percurso para combustão completa no fundo da câmara).
- Volume das câmaras é menor: temperaturas superiores às de fusão das cinzas (1540 °C)
- Cinzas no fundo da câmara na fase líquida.
- Pouca cinza é arrastada com os gases.



Queimador ciclônico

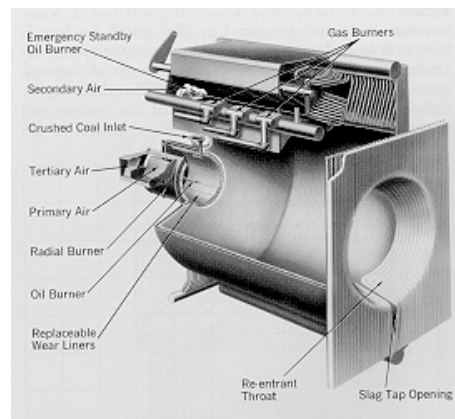
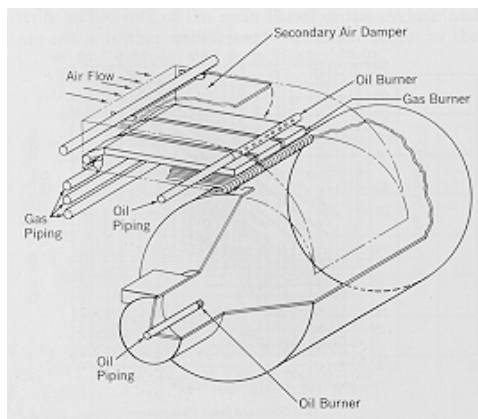
- Projetada para queimar carvão triturado (com granulometria inferior a 12 mm), pode queimar carvão pulverizado, gás, óleo, cavaco (madeira).
- Ar secundário (70% do ar total) é introduzido tangencialmente a altas velocidades (100 m/s).
- Câmaras pequenas, altas temperaturas (1600^o), altas cargas térmicas (5000 kW/m³).

Maquinas Termicas - Fornalha

Jurandir Itizo Yanagihara



Queimador ciclônico

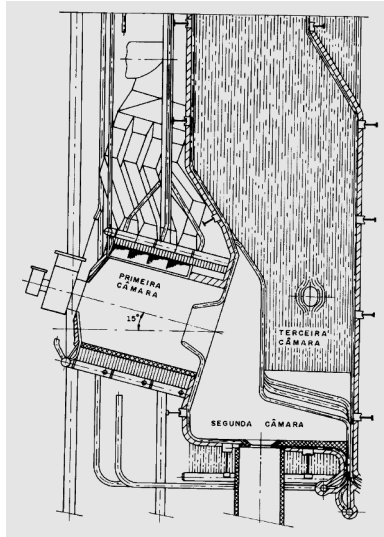


Maquinas Termicas - Fornalha

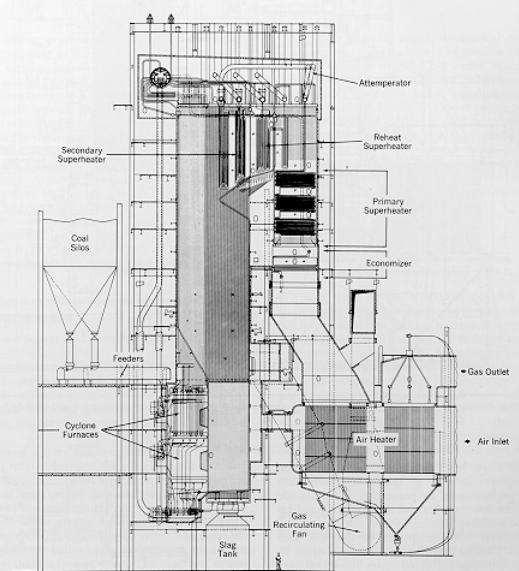
Jurandir Itizo Yanagihara



GV com queimador ciclônico



Maquinas Termicas - Fornalha



Jurandir Itizo Yanagihara



Queimado de Sólidos - Leito Fixo

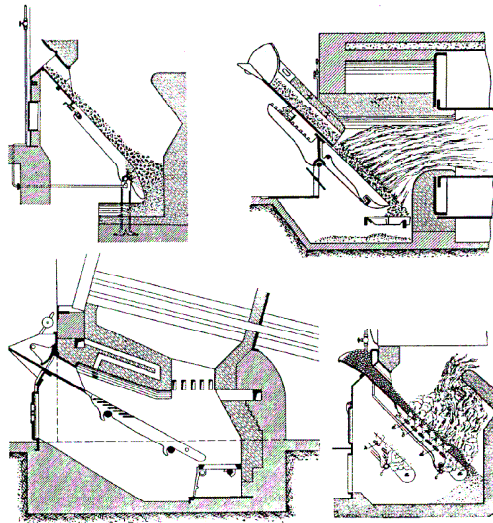
- O combustível é apoiado numa grelha (leito fixo) que atua como um reservatório de calor mantendo a combustão e promovendo a ignição.
- A transferência de calor é feita por radiação da superfície quente do leito e por convecção dos gases quentes.
- A remoção das cinzas é feita por baixo através das barras da grelha ou removendo-se as cinzas e borra da grelha.
- São empregados em unidades pequenas e médias, com carvão até 12 t/h e em unidades maiores com bagaço de cana até aproximadamente 100 t/h.
- Vantagens: não são necessários equipamentos sofisticados para pulverização do combustível sólido ou limpeza dos gases de combustão.
- Desvantagens: ocupa volume na fornalha e exige manutenção constante da grelha.

Maquinas Termicas - Fornalha

Jurandir Itizo Yanagihara



Grelha Fixa (Biomassa - Madeira)

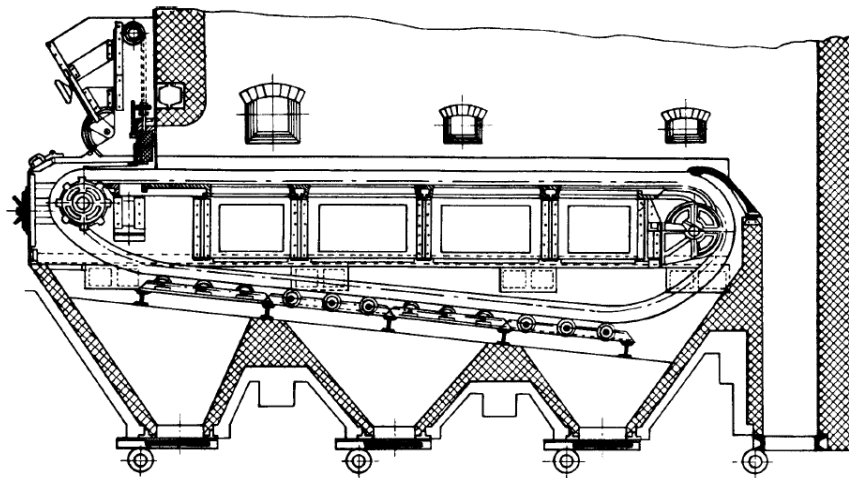


Maquinas Termicas - Fornalha

Jurandir Itizo Yanagihara



Grelha em esteira rotativa (carvão)



Maquinas Termicas - Fornalha

Jurandir Itizo Yanagihara