XVI.- HOGARES MECÁNICOS

pfernandezdiez.es

Introducción	*581*
Hogar mecánico de carga superior con alimentación a granel	*582*
Hogar mecánico de carga superior con alimentador distribuidor	*583*
Hogares mecánicos con alimentación inferior	*584*
- Hogar mecánico con descarga lateral de la ceniza	*584*
- Hogar mecánico con alimentación del combustible a granel por gravedad	*586*
Parrillas mecánicas planas	*589*
Combustión del carbón	*589*
Alimentadores distribuidores	*590*
Parrillas para alimentadores distribuidores	*591*
Sistema de reinyección de carbono	*592*
Sistema de aire comburente.	*593*
Características del carbón a utilizar	*594*
Selección de la parrilla	*595*
Evacuación de la ceniza	*596*
Combustión de cortezas, maderas y otros combustibles de biomasa en parrillas mecánicas planas	*597*
Alimentadores distribuidores de cortezas	*597*
Parrillas para cortezas (combustión de biomasa)	*598*
Sistema de aire comburente	*600*
Tamaño de la parrilla	*602*
Parrilla vibratoria refrigerada por agua	*602*
Evacuación de la ceniza	*602*
Emisiones	*603*
Referencias	*606*

XVI.1.- INTRODUCCIÓN

Los hogares mecánicos se diseñan para que el combustible se alimente mediante una parrilla, en la que se quema con $aire_{comburente}$ ascendente, que pasa a través de la misma. La parrilla se ubica en el hogar de la caldera y está diseñada para evacuar los residuos o cenizas de la combustión, que quedan tras el proceso;esta tecnología se desarrolla para quemar un amplio rango de combustibles en aplicaciones industriales, en pequeñas centrales termoeléctricas y en plantas de cogeneración. El campo de los combustibles utilizados se extiende desde todos los tipos de carbones, hasta desechos de bagazo, cáscaras de almendras y arroz, basuras, etc.

Los modernos sistemas de combustión en hogares mecánicos se componen de:

- Un sistema de carga o alimentación de combustible

- Una parrilla, estacionaria o móvil, que soporta la masa en combustión del combustible y admite a su través la mayor parte del $aire_{comburente}$

- Un sistema de $aire_{secundario}$ *que completa la combustión y limita las emisiones contaminantes a la atmósfera*

- Un sistema de descarga de cenizas

Estos componentes están integrados en el diseño del hogar mecánico, para:

- Optimizar la combustión y recuperación de calor

- Minimizar el $combustible_{inquemado}$*, las emisiones atmosféricas y el coste*

Una instalación requiere la correcta selección del tipo y tamaño del hogar mecánico, teniendo en cuenta $\begin{cases} \text{- el combustible a utilizar} \\ \text{- las características de la carga y capacidad que se pretenden atender con la unidad proyectada} \end{cases}$

Hay dos tipos generales de alimentación de carga en hogares mecánicos, $\begin{cases} \text{- superior} \\ \text{- inferior} \end{cases}$

- En los hogares mecánicos de carga superior, el combustible se suministra sobre la parrilla mediante cargadores, mientras que el $aire_{comburente}$ *se alimenta desde la parte inferior de la parrilla; se subdividen en dos grupos con* $\begin{cases} \text{- alimentación a granel} \\ \text{- alimentador distribuidor} \end{cases}$

- En los hogares mecánicos de carga inferior, el $\begin{cases} \text{- combustible} \\ \text{- } aire_{comburente} \end{cases}$ *se suministran desde la parte inferior de la parrilla del hogar*

Hogar mecánico de carga superior con alimentación a granel.- El combustible se alimenta continuamente por uno de los extremos de la superficie de la parrilla y se desplaza horizontalmente, con el movimiento de ésta, conforme se va quemando. La ceniza residual tras la combus-

tión, se descarga por el extremo puesto al de alimentación. El $aire_{comburente}$ se introduce por la parte inferior de la parrilla a través del lecho combustible que está ardiendo.

Hogar mecánico de carga superior con alimentador distribuidor.- Se introduce la parte principal del $aire_{comburente}$ por debajo de la parrilla, mientras que el combustible se distribuye uniformemente en toda la superficie de la misma. La fracción más fina del combustible arde en suspensión y cae sobre el flujo ascendente de $aire_{comburente}$; el resto del combustible, más pesado, arde sobre la superficie de la parrilla y la ceniza residual resultante del proceso de combustión se evacúa por el extremo de descarga de la parrilla. Los sistemas de *parrilla/alimentador* del hogar mecánico pueden adoptar diversas configuraciones que dependen del fabricante.

La Tabla XVI.1 resume algunos diseños básicos de hogares mecánicos, según sea el combustible, la cantidad de calor liberada y la máxima capacidad disponible.

Tabla XVI.1.- Resumen de sistemas de hogar mecánico/parrilla

Tipo hogar mecánico		*Parrilla*		*Combustible*	*Régimen normal liberación calor* $10^3 Btu/ft^2h$, (MW_t/m^2)	*Capacidad vapor* $10^3 lb/h$, (kg/seg)
		Tipo	*Refrigeración*			
Alimentación inferior	*Retorta simple*	-		*Carbón*	*425 (1,34)*	*25 (3,15)*
	Retorta doble	-		*Carbón*	*425 (1,34)*	*30 (3,78)*
	Retorta múltiple	-		*Carbón*	*600 (1,89)*	*500 (63)*
Alimentación superior	*a granel*	*Vibrante*	*Agua*	*Carbón*	*400 (1,26)*	*125 (15,8)*
		Cadena sinfín		*Carbón*	*500 (1,58)*	*80 (10,1)*
		Alternativa		*Basuras*	*300 (0,95)*	*350 (44,1)*
	Con distribuidor	*Vibrante*	*Aire*	*Carbón*	*650 (2,05)*	*150 (18,9)*
				Madera	*1100 (3,47)*	*700 (88,2)*
			Agua	*Madera*	*1100 (3,47)*	*700 (88,2)*
		Parrilla sinfín		*Carbón*	*750 (2,37)*	*390 (49,1)*
				Madera	*1100 (3,47)*	*550 (69,3)*
				Combustibles derivados	*750 (2,37)*	*400 (50,4)*

Para una capacidad dada de vapor en la caldera, el régimen de combustión define el área plana de la parrilla y el hogar en el que se instala; consideraciones prácticas limitan el tamaño del hogar mecánico y los máximos regímenes de generación de vapor.

Para la combustión de carbón, la máxima generación de vapor es del orden de $\begin{cases} 350.000\ lb/h \\ 44,1\ kg/s \end{cases}$

Para madera o biomasa, de $\begin{cases} 700.000\ lb/h \\ 88,2\ kg/s \end{cases}$

En un hogar mecánico se pueden quemar casi todos los tipos de carbones; sobre parrilla se pueden quemar las basuras, madera, cortezas, posos, cáscaras, etc, solos o en combinación con el carbón, fuelóleo y gas natural.

El sistema *alimentador/distribuidor*, en combinación con diferentes tipos de parrillas, se uti-

liza para generar vapor entre $\begin{cases} 75.000 \div 700.000\ lb/h \\ 9{,}5 \div 88{,}2\ kg/s \end{cases}$; este sistema:

- *Responde rápidamente a los cambios en la demanda de vapor*
- *Tiene una buena capacidad de regulación de la carga*
- *Puede utilizar una amplia variedad de combustibles*

No es apropiado para combustibles bajos en volátiles, como la antracita y el coque de petróleo, a causa de los problemas derivados de la combustión final del C.

XVI.2.- HOGARES MECÁNICOS CON ALIMENTACIÓN INFERIOR

Hay dos tipos de hogar mecánico de alimentación inferior $\begin{cases} y\ descarga\ lateral\ de\ la\ ceniza \\ a\ granel\ por\ gravedad \end{cases}$

HOGAR MECÁNICO CON DESCARGA LATERAL DE LA CENIZA.- El carbón se alimenta desde una tolva a un canal central (retorta) mediante un tornillo o un empujador pisón.

En el caso de grandes unidades, el empuje del carbón se ayuda por medio de bloques empujadores o por un fondo deslizante de la retorta, que mueve el combustible hacia arriba y adentro de la retorta. Cuando el carbón se mueve hacia arriba, sobrepasa los bordes de la retorta y se distribuye sobre la superficie activa de la parrilla, de modo que queda expuesto al $aire_{comburente}$ y al calor radiante; entonces se produce el secado del combustible y a continuación comienza la destilación de las materias volátiles.

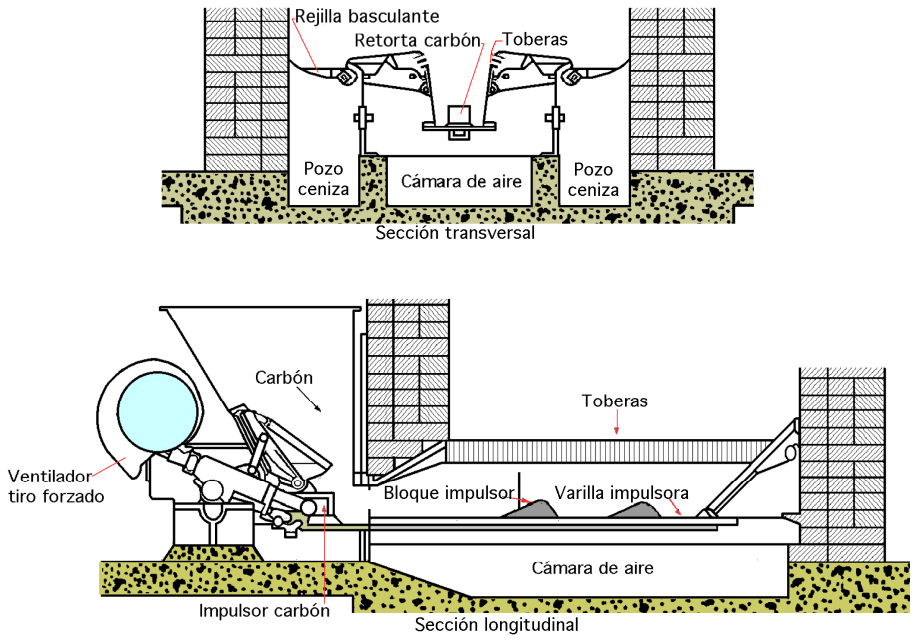


Fig XVI.1.- Vistas del hogar mecánico (transversal y horizontal) con alimentación inferior y de simple retorta con alimentación horizontal y descarga lateral de la ceniza

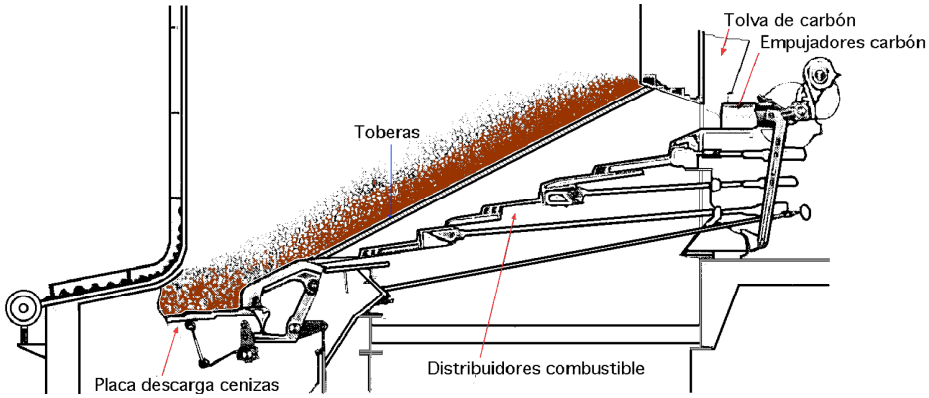


Fig XVI.2.- Hogar mecánico con alimentación inferior y doble retorta con descarga posterior de ceniza

Tabla XVI.2.- Características típicas de carbón para "hogar mecánico de alimentación inferior"

CARBÓN	*Parrilla estacionaria*	*Parrilla móvil*
Humedad	*0 a 10 %*	*0 a 10 %*
Materia volátil	*30 a 40 %*	*30 a 40 %*
Carbono fijo	*40 a 50 %*	*40 a 50 %*
Ceniza	*5 a 10 %*	*5 a 10 %*
Btu/lb (kJ/kg), como se quema, mínimo	*12500 (29075)*	*12500 (29075)*
Índice esponjamiento libre, máximo	*5*	*7*
*Temperatura ablandamiento ceniza, °F °(C) **	*2500 ** (1.371)*	*2500 ** (1.371)*
Tamaño del combustible, in (mm)	*1 (25,4) x 0,25 (6,4) máx. 20% a través de 0,25 (6,4)*	*Proporciones iguales en los rangos < 0,25 ; 0,25 a 0,5 ; 0,5 a 1,0 (< 6,4) ; (6,4 a 12,7) ; (12,7 a 25,4)*

** La temperatura de ablandamiento de la ceniza es aquí la temperatura a la cual la altura del botón fundido es la mitad de su anchura, bajo condiciones de atmósfera reductora.*

*** Por debajo de 2.500°F (1.371°C), la capacidad de la parrilla móvil se rebaja linealmente hasta el 70% de la que tiene para una temperatura de fusión de ceniza de 2.300°F (1.260°C).*

En parrillas estacionarias la capacidad se rebaja linealmente hasta el 70% de la correspondiente a una temperatura de fusión de 2.400°F (1.316°C).

Conforme el carbón se desplaza hacia los laterales o hacia la parte posterior de la parrilla, se completa la destilación de volátiles, liberándose el coque, que finaliza su combustión cerca de los bordes de la parrilla o del extremo de salida de la misma.

Para producir una turbulencia alta y reducir la generación de humo, se utiliza $aire_{secundario}$ de alta presión sobre el lecho de combustión, incrementándose la probabilidad de escorificación, con producción de grandes aglomerados de ceniza y diversas capas de escoria. Para reducir esta tendencia y agitar el combustible en el hogar mecánico de alimentación de carga inferior, se dispone de secciones alternadas de parrilla móvil y de parrilla estacionaria.

La Tabla XVII.2 detalla las especificaciones de carbón para parrillas estacionarias y parrillas móviles, aunque existen hogares mecánicos de alimentación inferior que pueden quemar satisfactoriamente carbones que están fuera de estas especificaciones.

Una reducción en el porcentaje de finos ayuda a mantener poroso el lecho de combustible.

Con un carbón apropiado, las unidades de simple y doble retorta se limitan a flujos de vapor que se sitúan entre $\begin{cases} 25.000 \div 30.000\ lb/h \\ 3{,}2 \div 3{,}8\ kg/s \end{cases}$, con unos valores de liberación de calor del orden de:

- *Con paredes refrigeradas por agua* $\begin{cases} 425.000\ Btu/ft^2 h \\ 1{,}34\ MW_t/m^2 \end{cases}$

- *Con paredes de refractario* $\begin{cases} 300.000\ Btu/ft^2 h \\ 0{,}95\ MW_t/m^2 \end{cases}$

Para unidades con múltiples retortas y descarga posterior de ceniza, parecidas a la de la Fig XVI.2, la capacidad de flujo de vapor puede llegar a 500.000 lb/h (63 kg/s), para unos valores de liberación de calor del orden de $\begin{cases} 600.000\ Btu/ft^2 h \\ 1{,}89\ MW_t/m^2 \end{cases}$, con inclinaciones de parrilla de $20^o \div 25^o$ respecto a la horizontal.

HOGAR MECÁNICO CON ALIMENTACIÓN DEL COMBUSTIBLE A GRANEL POR GRAVEDAD.- Los hogares mecánicos de carga superior con alimentación a granel se caracterizan porque el combustible se suministra por gravedad, sobre una parrilla ajustable que controla la altura del lecho.

Existen dos tipos básicos de estas características, que resultan idóneos para quemar carbones, los de parrilla $\begin{cases} \text{- vibrante refrigerada por agua} \\ \text{- móvil articulada o sinfín} \end{cases}$

El *sistema de combustión* combina un lecho de combustible que se mueve sobre la parrilla, y aire comburente que se introduce por la parte inferior de la misma, perpendicular al flujo de combustible, en las siguientes fases:

- Cuando el combustible entra en el hogar, la capa de carbón se calienta por radiación, desprende volátiles y promueve su ignición

- El carbón se continúa quemando conforme se desplaza a lo largo del hogar de la caldera

- El lecho de combustible decrece en espesor hasta que todo el combustible se ha quemado y la ceniza fría se descarga a un foso

Con este método de suministro y combustión del combustible, el aire bajo la parrilla se debe fragmentar a lo largo de ésta, ya que el aire requerido para la ignición, y combustión es muy diferente en las diversas zonas, produciéndose un bajo arrastre de ceniza por parte de los gases de combustión; si no se dispone de una amplia bóveda de ignición, este método es sensible a las características del combustible que afectan a la ignición. Los hogares mecánicos de carga superior con alimentación a granel requieren tolvas de carbón que no produzcan diferenciación alguna en el combustible, ya que en caso contrario, los finos podrían provocar una severa escorificación a lo largo de las paredes laterales.

En la Fig XVI.3 se muestra un hogar mecánico de carga superior con parrilla vibrante refrigerada por agua, en el que:

- La parrilla vibrante contiene una superficie de toberas adosadas, que están en contacto con un enrejado de tubos de agua conectados al sistema de refrigeración de agua de la caldera

- La estructura global se soporta mediante placas que permiten libertad de movimientos a la parrilla y a su enrejado tubular, respecto de la acción vibratoria que transporta el carbón, desde la alimentación del combustible hasta la descarga de la ceniza

- La vibración de la parrilla es intermitente y se ajusta para:
- *desplazar el combustible en el hogar*
- *controlar el espesor del lecho de ceniza*
- *descargar la ceniza según se precise*

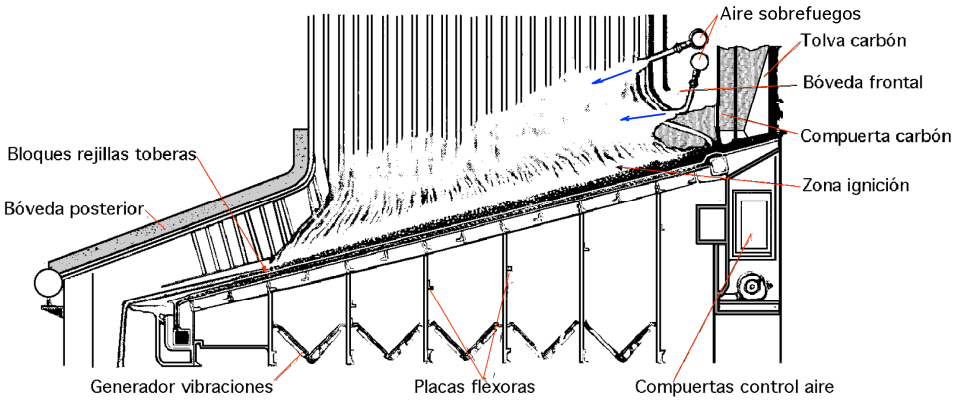


Fig XVI.3.- Hogar mecánico de parrilla vibrante, refrigerada por agua

Existe una bóveda posterior que cubre el último tercio de la parrilla, que ayuda a finalizar la combustión y dirige los gases con elevado $aire_{exceso}$ hacia la pared frontal, para que se mezclen con los gases ricos en volátiles, procedentes de la zona de ignición. Para la mayoría de los carbones resulta adecuada una bóveda frontal pequeña.

Si el contenido del combustible en materias volátiles es bajo, la ignición es inadecuada, por lo que para incrementar la radiación y ayudar a la ignición se añade refractario a la pequeña bóveda frontal. Para facilitar la turbulencia y la combustión, en estos hogares mecánicos de carga superior con alimentación a granel y parrilla vibrante refrigerada por agua, se inyecta $aire_{comburente}$ a alta presión a través de la bóveda frontal, hasta 30"wg , (7,5 kPa), aproximadamente. La refrigeración por agua del enrejado tubular hace que este tipo de hogar sea más flexible con combustibles líquidos y gaseosos, ya que el cambio a estos combustibles no requiere una protección especial de la parrilla; los regímenes de combustión liberan calor $\simeq \begin{cases} 400.000\ Btu/ft^2 h \\ 1{,}26\ MW_t/m^2 \end{cases}$

Los hogares mecánicos de carga superior con alimentación a granel con parrilla móvil articulada y los de parrilla de cadena, Fig XVI.4, son similares; ambos tipos corresponden a una configu-

ración sinfín, que pasa por las respectivas ruedas de accionamiento y de retorno, transportando el carbón sobre la parrilla a lo largo del hogar, desde la salida de la tolva hacia la descarga de ceniza, retornando el sinfín por la parte inferior de la parrilla.

- La parrilla articulada es una estructura continua que rodea a dos ruedas dentadas, de accionamiento y retorno

- La parrilla de cadena utiliza un enrejado de barras, que cuando quema antracitas facilita un mejor control de los finos de ceniza que pasan a través de la parrilla

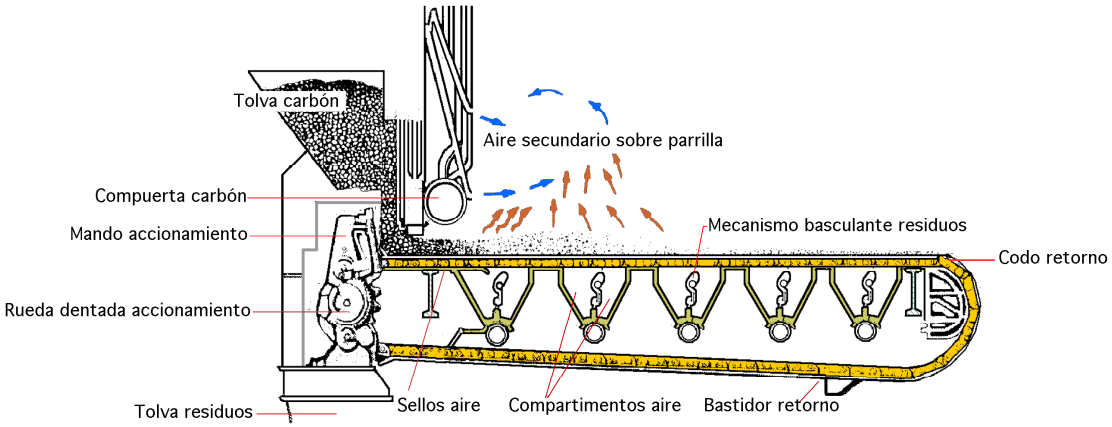


Fig XVI.4.- Hogar mecánico con parrilla de cadena

Estos hogares mecánicos de carga superior con alimentación a granel y parrilla móvil articulada o de cadena requieren más mantenimiento que las unidades de hogares mecánicos de carga superior con alimentación a granel y con parrillas vibrantes refrigeradas por agua. Pueden quemar un amplio grupo de combustibles sólidos, como turba, lignito, subbituminoso, bituminoso, antracita, menudos de coque, etc, utilizando bóvedas de hogar (frontal y posterior), que mejoran las condiciones de combustión mediante el calor de radiación hacia el lecho de combustible.

Cuando se queman antracitas o menudos de coque bajos en volátiles, la bóveda posterior dirige las partículas incandescentes de combustible y los gases de combustión hacia la parte frontal del hogar, en donde ayudan a la ignición del combustible entrante.

Los regímenes de combustión de hogares mecánicos de carga superior con alimentación a granel y con parrilla móvil, articulada o de cadena, varían según el tipo de combustible utilizado:

- *Los combustibles de menor* $\begin{cases} ceniza\ (8 \div 12\%) \\ humedad\ (10\%) \end{cases}$ *permiten una liberación de calor de* $\begin{cases} 500.000\ Btu/ft^2 h \\ 1{,}58\ MW_t/m^2 \end{cases}$

- *Los combustibles de mayor* $\begin{cases} ceniza\ (20\%) \\ humedad\ (20\%) \end{cases}$ *limitan la liberación de calor a* $\begin{cases} 425.000\ Btu/ft^2 h \\ 1{,}34\ MW_t/m^2 \end{cases}$

- *Para la antracitas con muy bajos volátiles la liberación de calor no supera los* $\begin{cases} 350.000\ Btu/ft^2 h \\ 1{,}1\ MW_t/m^2 \end{cases}$

Tabla XVI.3.- Características típicas de carbón para "hogar mecánico de alimentación superior"

CARBÓN	*Parrilla vibrante refrigerada por agua*	*Parrilla sinfín/cadena*
Humedad	*0 a 10 %*	*0 a 10 %*
Materia volátil	*30 a 40 %*	*30 a 40 %*
Carbono fijo	*40 a 50 %*	*el resto*
Ceniza	*5 a 10 %*	*6 a 20 %*
Btu/lb (kJ/kg), como se quema, Mínimo	*12.500 (29.075)*	*10.500 (24.423)*
Índice esponjamiento libre, máximo	-	*5*
*Temperatura ablandamiento ceniza, °F °(C) **	*2.300 (1.260)*	*2.100 (1.140)*
Óxido de hierro, % en ceniza, máx.	*20 %*	*20 %*
Tamaño del combustible, (") (mm)	*1 a 0,25 (25,4 a 19)* *máx. 40% a través de 0,25 (6,4)*	*1 a 0 (25,4 a 0)* *máx. 60% a través de 0,25 (6,4)*

**La temperatura de ablandamiento de la ceniza es aquí la temperatura a la cual la altura del botón fundido es la mitad de su anchura, en condiciones de atmósfera reductora.*

XVI.4.- PARRILLAS MECÁNICAS PLANAS

En un hogar mecánico de carga superior, con parrilla móvil y alimentador distribuidor, (hogar con parrilla mecánica plana), el carbón se esparce uniformemente dentro del hogar sobre toda la superficie de la parrilla. Las partículas de combustible finas ignicionan y queman en suspensión, mientras que las más gruesas caen sobre la parrilla y se queman en un lecho delgado en un proceso específico de combustión rápida. Como el combustible se ha esparcido por igual sobre la totalidad de la superficie activa de la parrilla, el $aire_{comburente}$ se distribuye uniformemente bajo la parrilla y a través de la misma.

Una parte del $aire_{comburente}$ total se admite a través de portillas situadas por encima del nivel de la parrilla, como $aire_{secundario}$

El hogar con parrilla mecánica plana es el sistema de hogar mecánico más versátil y utilizado

Combustión del carbón.- La Fig XVI.5 representa una caldera diseñada para quemar carbón bituminoso, equipada con un hogar mecánico de carga superior con parrilla móvil (parrilla mecánica plana) y con alimentador distribuidor. El hogar está construido con paredes rectas tipo membrana, refrigeradas por agua, lo que minimiza el refractario requerido; para quemar carbón en parrilla mecánica plana, no se suelen utilizar las bóvedas de combustión.

La instalación de un hogar mecánico de carga superior con alimentador distribuidor consta de:

- Unidades de alimentadores que se encargan de distribuir uniformemente el combustible sobre toda la parrilla

- Dispositivos de medida del flujo de aire

- Equipos de captación y reinyección de polvo

- Sistema de $aire_{comburente}$ que incluye ventiladores de tiro forzado en la cámara de aire que está debajo de la parrilla y en la parte superior del lecho de combustible

- Controles de combustión que coordinan el suministro de aire y combustible, según la demanda de vapor

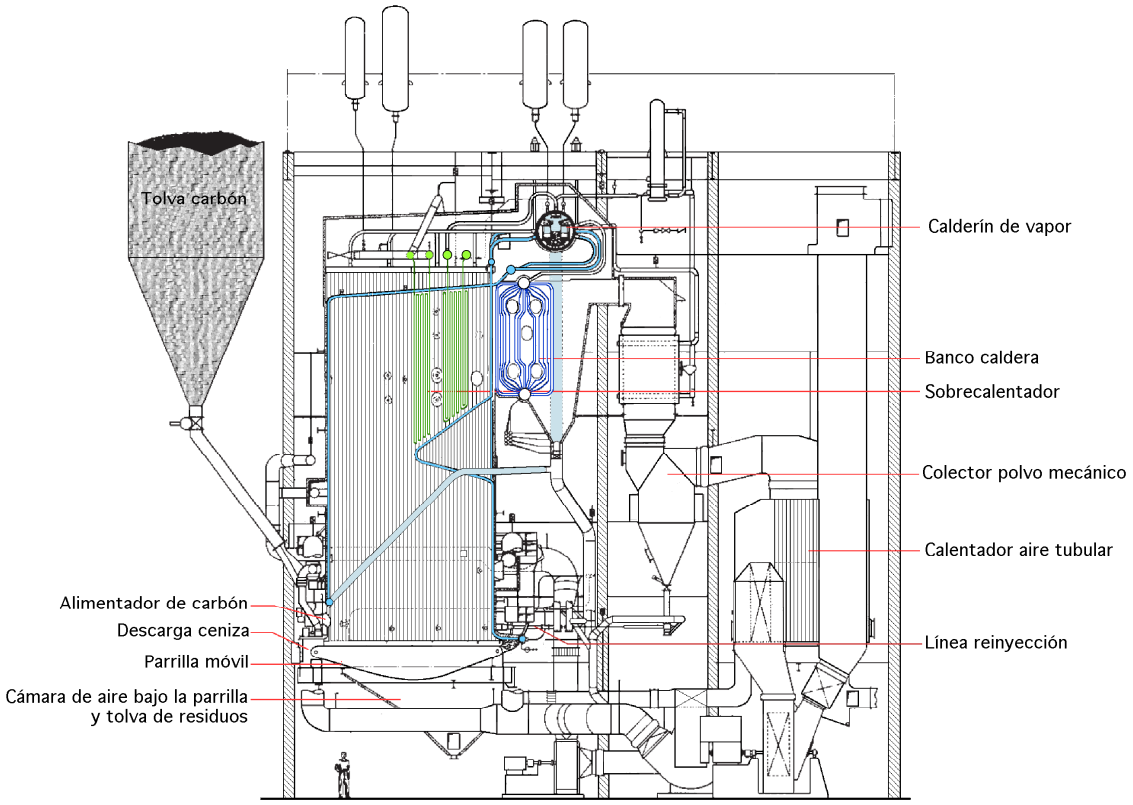


Fig XVI.5.- Caldera de hogar mecánico con distribuidor quemando carbón; capacidad 200.000 lb/h ó (36,5 kg/s) de vapor

Alimentadores distribuidores.- Tienen la capacidad de facilitar la carga de carbón mediante un dispositivo que lo impulsa en toda la profundidad de la parrilla, repartiéndolo uniformemente.

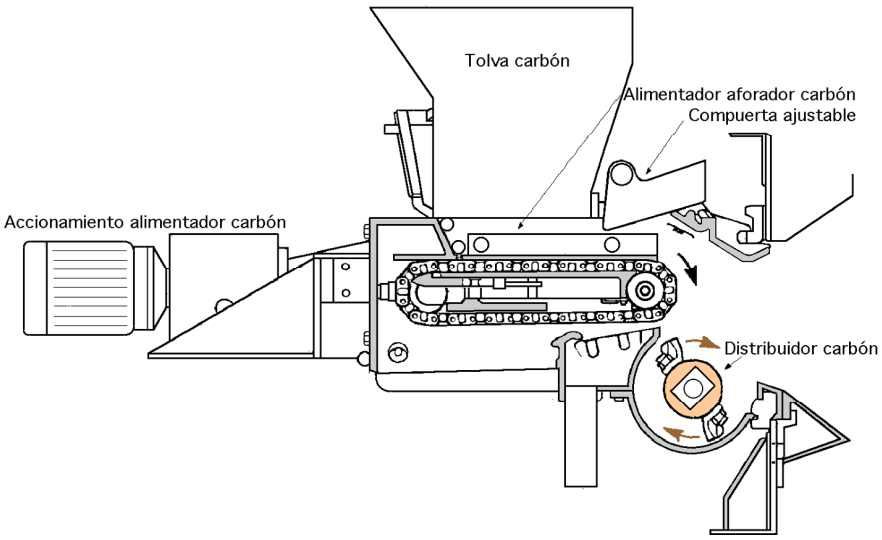


Fig XVI.6.- Alimentador de carbón tipo cadena para hogar mecánico Detroit OT

Los mecanismos alimentadores de carbón hacia el dispositivo cargador son de varios tipos, como los de gravedad, de placas oscilantes y de transportadores aforadores de cadena.

Los dispositivos distribuidores reparten el carbón dentro del hogar; incluyen los asistidos por inyección

de vapor o de aire, y los sistemas de rotores de subvoleo y sobrevoleo.

Los dispositivos asistidos por vapor o por aire se pueden emplear junto con los sistemas de rotores.

La Fig XVI.6 muestra un alimentador distribuidor en el que la cadena aforadora desplaza el carbón desde una pequeña tolva hasta caer en un rotor equipado con paletas curvadas y asistido por aire, para conseguir un reparto uniforme del carbón sobre la superficie de la parrilla; con este sistema se ha mejorado la capacidad de alimentación y distribución, con reducciones del $10 \div 15$ % en los NO_x

Parrillas para alimentadores distribuidores.- Al igual que en el hogar mecánico de carga superior con alimentación a granel, para quemar carbones de diversos rangos se han utilizado una extensa variedad de tipos de hogar mecánico de carga superior con parrilla móvil y alimentador distribuidor.

Las unidades de hogar mecánico de carga superior con parrilla $\begin{cases} - \textit{ estacionaria} \\ - \textit{ basculante} \end{cases}$, no se utilizan.

Las unidades más comunes incorporan un hogar mecánico de carga superior con alimentador distribuidor y parrilla $\begin{cases} - \textit{ móvil} \\ - \textit{ vibrante refrigerada por agua} \end{cases}$

La parrilla de la Fig XVI.7 cuenta con un sistema de medida de aire que elimina la necesidad de compartimentar la cámara de aire que está debajo de la parrilla, con vistas a lograr una buena distribución y un buen control del $aire_{comburente}$.

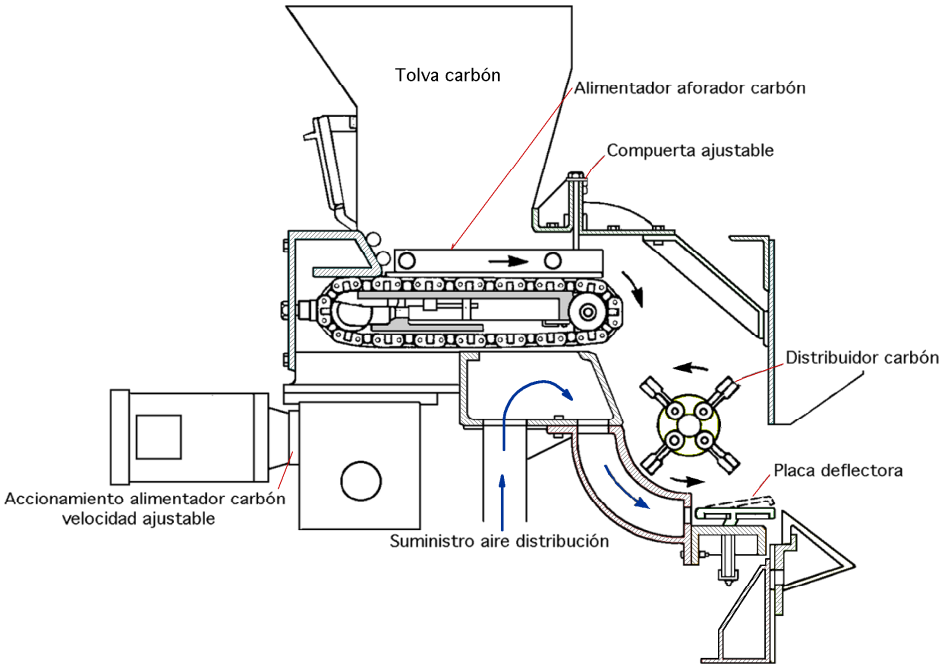


Fig XVI.7.- Alimentador de carbón de cadena para hogar mecánico Detroit UT

a) Este diseño cuenta en la parte frontal y en la posterior, con cierres de aire móviles y ajustables

b) La parrilla se soporta apoyada, por lo que requiere de una junta de expansión en su unión con el hogar refrigerado por agua, ya que éste es de construcción suspendida

c) La parrilla es un transportador móvil sinfín, que consta de una serie de eslabones que conforman una pareja de cadenas idénticas y paralelas, a los que están ligadas las barras de la parrilla, que son las que contienen los agujeros para dosificar el aire

d) Las barras de la parrilla están mecanizadas para que encajen con las barras adyacentes y así minimizar las posibles fugas de aire entre ellas

e) Las cadenas y barras deslizan sobre los carriles de la parrilla, sirviendo la zona de deslizamiento entre la parrilla y el carril como cierre para impedir una excesiva fuga de aire, que circunvale las toberas de admisión del $aire_{comburente}$

f) La parrilla se desplaza desde la parte posterior hacia el extremo en el que se encuentra la alimentación del combustible (parte frontal), con lo que se facilita una óptima configuración de la distribución de las partículas mayores de combustible y el máximo tiempo de residencia para el final de la combustión

g) La ceniza se transporta por el extremo de la parrilla y vierte a una tolva apropiada

La parrilla móvil tiene un diseño duradero, pero las partes móviles están sometidas a un desgaste no despreciable, que se minimiza manteniendo la velocidad de la parrilla por debajo de 40 ft/h (3,3 mm/s); el desgaste tiene dos facetas a resaltar:

- Limitar la utilización de la parrilla móvil en algunas aplicaciones como en el caso de combustibles con alto contenido en ceniza

- Reducir la liberación de calor por unidad de superficie de parrilla, y el aporte de calor a la entrada por unidad de anchura del hogar

Hay tipos de parrillas móviles, Fig XVI.6, similares a la parrilla sinfín, compuestas por un conjunto de eslabones de cadena, que forman un transportador sinfín. El $aire_{comburente}$ de admisión pasa a través de los huecos entre eslabones; la cámara de aire que está debajo de la parrilla está compartimentada para controlar el aire.

Las parrillas vibrantes refrigeradas por aire, parecidas a la de la Fig XVI.3, se utilizan en:

- Algunas aplicaciones de parrillas mecánicas planas
- Hogares mecánicos de carga superior con parrilla móvil y alimentador distribuidor

La aplicación de los hogares mecánicos de carga superior con alimentador distribuidor y parrillas vibrantes, es análoga a la de los hogares mecánicos de carga superior con alimentador distribuidor y parrillas móviles; la diferencia es que las primeras son más pequeñas.

Sistema de reinyección de C.- El alto grado de combustión en forma de lecho suspendido

que se produce en las parrillas mecánicas planas, da lugar a un arrastre de partículas de combustible que están parcialmente quemadas.

Para alcanzar la máxima eficiencia en la combustión, las partículas arrastradas (ceniza volante) se capturan en un colector de polvo y se devuelven al hogar para que completen la combustión. El sistema de manipulación de la reinyección es neumático, Fig XVI.5. Las partículas de C y algo de ceniza se capturan en el colector mecánico de polvo y se dirigen a una caja de recogida, en la que se inyecta aire como fluido de transporte, para conducir el material recogido hacia el hogar de la unidad generadora de vapor. A lo ancho de la unidad se disponen múltiples portillas, para mezclar el $C_{inquemado}$ uniformemente dentro de la zona de combustión y mejorar el acabado de la combustión.

En la reinyección no es conveniente llegar a niveles significativos de ceniza, ya que ello contribuye a la erosión de las superficies de la caldera y a una escorificación en la parrilla. El colector mecánico de polvo es muy eficiente en la captura de grandes partículas, como el $C_{inquemado}$ que está en las partículas arrastradas de mayor tamaño. La reinyección de $C_{inquemado}$ mejora la eficiencia de la caldera un $2 \div 4\%$.

Sistema de aire$_{comburente}$.- Las unidades con parrillas mecánicas planas operan con $aire_{exceso}$ del orden del 25%, medido a la salida del hogar.

El $aire_{comburente}$ se subdivide en tres: $\begin{cases} - \ aire_{primario} \ \ debajo\ de\ la\ parrilla \\ - \ aire_{secundario} \ \ encima\ de\ la\ parrilla \\ - \ aire\ del\ alimentador\ distribuidor \end{cases}$

Debido al alto grado de combustión que tiene lugar en el lecho suspendido, para completar la combustión y minimizar la cantidad de humos correspondiente se inyecta aire encima del lecho de combustible de la parrilla; esto implica que un $15 \div 20\%$ del aire total se utilice como $aire_{secundario}$, que se inyecta encima del lecho de combustible, a la presión de $\begin{cases} 15 \div 30\ wg \\ 3{,}7 \div 7{,}2\ kPa \end{cases}$, a través de una serie de pequeñas toberas, situadas en las paredes frontal y trasera, Fig XVI.8.

El proceso de combustión en parrillas mecánicas planas, con $\begin{cases} aire_{primario} \ \ (65\%\ bajo\ la\ parrilla)\ y \\ aire_{secundario} \ \ (35\%\ sobre\ la\ parrilla) \end{cases}$ es una forma de combustión escalonada y resulta efectiva para controlar la formación de NO_x; utilizando escalonamientos más profundos, se pueden alcanzar reducciones en los NO_x mayores. La unidad indicada en la Fig XVI.7 se ha diseñado para un $aire_{exceso}$ del 25%; el 35% de aire que se inyecta encima de la parrilla incluye cualquier tipo de aire que se requiera por los dispositivos alimentadores de carbón.

En las paredes frontal y posterior, por encima del nivel del alimentador distribuidor de carbón, se instala una fila de toberas de $aire_{secundario}$, Fig XVI.8, con lo que se consigue un mayor esca-

lonamiento del $aire_{comburente}$, retrasando su aporte hasta que los gases calientes del lecho de combustible hayan radiado algo de calor hacia las paredes de agua y rebajado su temperatura.

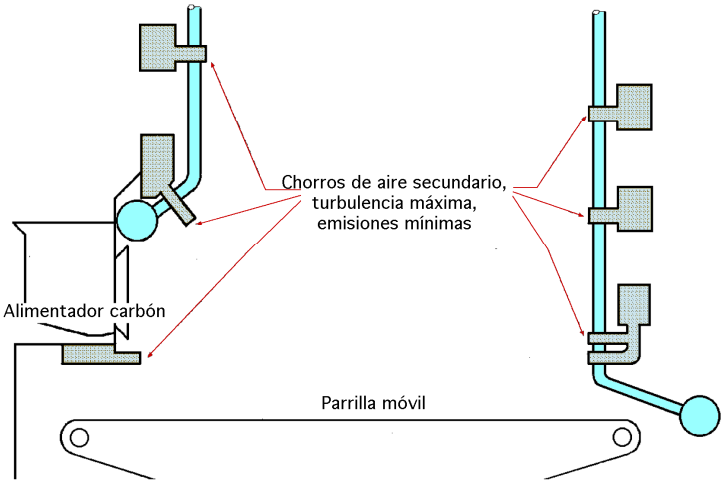


Fig XVI.8.- Sistema de $aire_{secundario}$ sobre el lecho, para hogar mecánico

El $aire_{secundario}$ se admite a través de toberas especialmente diseñadas, para conseguir una alta penetración y buena mezcla, y se diseña para una presión estática máxima de 30"wg (7,5 kPa)

Características del carbón a utilizar.- La tecnología del distribuidor para la alimentación y combustión del carbón es muy versátil, ya que los hogares mecánicos de carga superior con alimentador distribuidor pueden operar satisfactoriamente con todo tipo de carbones, desde el lignito hasta el bituminoso, considerando como poco apropiados los que tienen menos del 18% de materias volátiles.

Tabla XVI.4.- Características típicas del carbón para hogar mecánico de alimentación a granel con vistas a su utilización en sistemas alimentadores distribuidores

Humedad	*25 % máximo **
Materia volátil	*18 % mínimo*
Carbono fijo	*65 % máximo*
Ceniza	*15 % máximo*
Índice esponjamiento libre	*-no aplicable-*
*Temperatura ablandamiento ceniza *, mínima*	*2000°F (1093°C)*
Tamaño carbón, (") (mm)	*Máximo = 1,25 (31,8)* *Mínimo = 0,75 (19,1)* *Máx. 40 % a través de 0,25 (6,4)*

** Mayor humedad requiere $aire_{comburente}$ calentado*

*** Por debajo de 2500°F (1371°C), la capacidad de las parrillas móviles se rebaja linealmente hasta el 70% de la que tiene para una temperatura de fusión de ceniza de 2300°F (1260°C).*

En parrillas estacionarias se rebaja linealmente hasta el 70% de la correspondiente a una temperatura de fusión de 2400°F (1316°C)

Los carbones bituminosos arden fácilmente sobre parrilla móvil, sin necesidad de precalentamiento; no obstante, puede ser necesario un calentador de aire cuando se pretenda mejorar la eficiencia de la unidad, siendo la temperatura de diseño para el aire de 350ºF (177ºC). La utilización de

un calentador de aire restringe la selección de combustibles, tendiendo hacia los de menor contenido en Fe y mayor temperatura de fusión, para así evitar la aglutinación y escorificación en el lecho de la parrilla.

Para lignitos y carbones subbituminosos con alta humedad, resulta imprescindible el empleo de un calentador de aire en el intervalo de $\begin{cases} 350 \div 400^\circ F \\ 177 \div 204^\circ C \end{cases}$

En hogares mecánicos de carga superior con alimentador distribuidor, se pueden quemar carbones que tengan altos contenidos en ceniza; para mantener la velocidad de la parrilla dentro de límites razonables se reduce la liberación de calor.

La selección del carbón por tamaños es un problema en cualquier hogar mecánico; con un sistema alimentador distribuidor se consigue algo más de tolerancia en esta situación porque se pueden ajustar los regímenes del alimentador; en cualquier caso, la mayoría de los finos se queman siempre en suspensión y no en lecho.

Selección de la parrilla.- Las parrillas mecánicas planas en hogares mecánicos de carga superior con parrilla móvil y alimentador distribuidor, se diseñan para regímenes máximos de liberación de calor por unidad de superficie, del orden de $\begin{cases} 750.000\ Btu/ft^2 h \\ 2{,}4\ MW_t/m^2 \end{cases}$

Los hogares mecánicos de carga superior con parrilla vibrante y eliminador distribuidor se limitan a unos valores de liberación de calor del orden de $\begin{cases} 650.000\ Btu/ft^2 h \\ 2{,}05\ MW_t/m^2 \end{cases}$

La longitud activa de la parrilla se limita a la que pueda alcanzar el carbón enviado por el alimentador distribuidor; en parrillas $\begin{cases} \text{- } \textit{móviles, la máxima es de 21 ft (5,4 m)} \\ \text{- } \textit{vibrantes, la máxima es de 18 ft (5,5 m)} \end{cases}$

La anchura de la parrilla constituye un parámetro fundamental para:

- Obtener la superficie total de la misma, según las necesidades de diseño, ya que existe una limitación en la longitud

- Instalar los alimentadores distribuidores que sean necesarios

- Mantener un aporte de calor por unidad de anchura frontal de $\begin{cases} 13{,}5.10^6\ Btu/ft.h \\ 13\ MW_t/m \end{cases}$

El régimen de liberación de calor en una parrilla mecánica plana de $\begin{cases} 750.000\ Btu/ft^2 h \\ 2{,}4\ MW_t/m^2 \end{cases}$, se aplica también al caso de la reinyección del total de partículas procedentes de un colector mecánico de polvo; cualquier cifra mayor que la indicada $\begin{cases} \text{- } \textit{incrementa la escorificación} \\ \text{- } \textit{provoca un excesivo arrastre de combustible} \\ \text{- } \textit{aumenta el total de inquemados} \end{cases}$.

Cuando se emplea un tambor de accionamiento, la anchura de la parrilla es de 17 ft, (5,2 m).

Si se precisan capacidades superiores, que no se puedan alcanzar con la anchura anterior, se utilizaría un sistema de dos parrillas con una $\begin{cases} \text{- } anchura\ máxima\ de\ 34\ ft\ (10,4\ m) \\ \text{- } longitud\ de\ 21\ ft\ (6,4\ m) \end{cases}$

La máxima superficie de parrilla es de unos 700 ft^2 (65 m^2), que se corresponde para el caso de que se queme carbón, con una generación de vapor máxima de $\begin{cases} 390.000\ lb/h \\ 49,1\ kg/s \end{cases}$

Evacuación de la ceniza.- Cuando el sistema de ceniza en los hogares mecánicos con parrilla móvil y alimentador distribuidor, se ha dimensionado adecuadamente y la unidad opera correctamente, la ceniza que se descarga está fría y suelta, sin aglutinar. La ceniza que sale del hogar se descarga en una tolva y, posteriormente, se evacúa mediante un sistema convencional de transporte de ceniza, sin necesidad de molienda alguna.

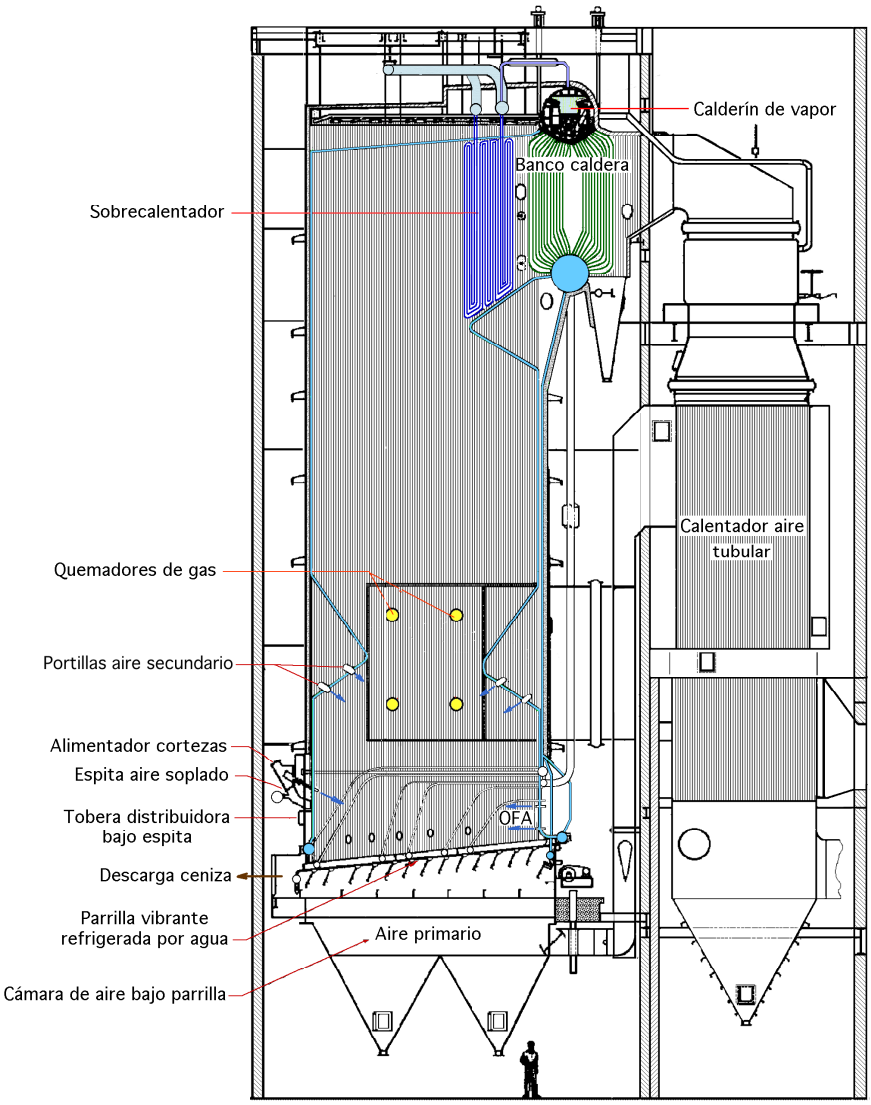


Fig XVI.9.- Caldera de hogar mecánico quemando cortezas de madera, dotada de hogar con zonas de combustión controlada (CCZ)

XVI.5.- COMBUSTIÓN DE CORTEZAS, MADERAS Y OTROS COMBUSTIBLES DE BIOMASA EN PARRILLAS MECÁNICAS PLANAS

La Fig XVI.9 representa una caldera equipada con hogar mecánico de carga superior con parrilla móvil y alimentador distribuidor, (parrilla mecánica plana), diseñada para quemar cortezas y residuos de madera, el hogar ofrece una zona de combustión controlada y está configurado con paredes membrana. La instalación comprende un conjunto de bocas de descarga sopladas por aire, que distribuyen el combustible uniformemente sobre la parrilla, y dosifican el $aire_{comburente}$; cuenta con:

- Ventiladores de tiro forzado, para proveer el aire $\begin{cases} \text{- bajo la parrilla } (aire_{primario}) \\ \text{- sobre el lecho } (aire_{secundario}) \end{cases}$

- Un colector mecánico de polvo (ceniza volante)

- Control de combustión, para coordinar el suministro de aire y combustible con la demanda de vapor

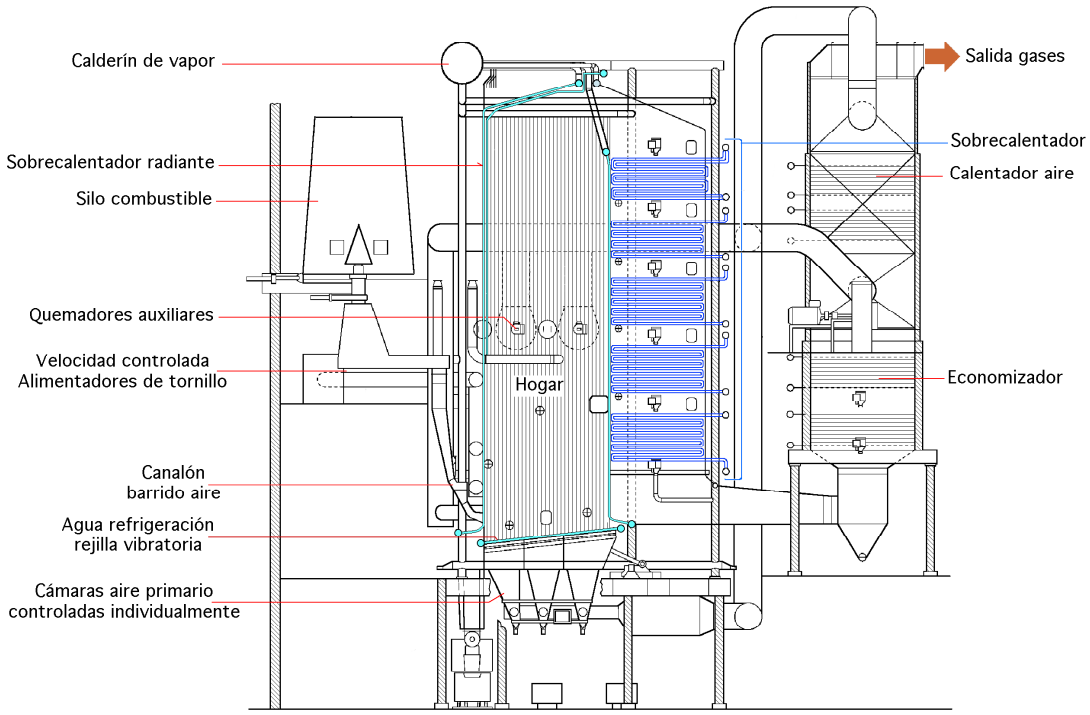


Fig XVI.10.- Caldera soportada por abajo quemando biomasa, dotada de parrilla vibrante

Alimentadores distribuidores de cortezas.- La Fig XVI.11 representa un sistema de alimentación para boca de descarga asistida por aire, (espita neumática); en su diseño hay que tener en cuenta los siguientes factores:

- La corteza se alimenta desde un silo dosificador mediante un canalón que llega a la entrada de la espita soplada por aire

- El aire de combustión a alta presión, del orden de 20"wg (4,4 kPa), se introduce a través de una superficie toroidal, transversal a la anchura de la boca de descarga

- Según la cantidad de corteza caída, el aire la impulsa hacia el interior del hogar a través de toda la profundidad de la parrilla

- Para repartir la corteza uniformemente a lo largo de la parrilla, el aire de distribución es pulsatorio, merced a $\begin{cases} \textit{cortatiros giratorios} \\ \textit{un distribuidor programado} \end{cases}$

- El flujo de salida de la espita neumática se diseña para conseguir trayectorias óptimas de las partículas de combustible

- A veces se suministran alimentadores mecánicos de cortezas, con características constructivas similares a las de los equipos de hogares que queman carbón; para alimentar las cortezas hay que instalar un número de espitas suficiente a todo lo ancho de la unidad, controlando su distribución sobre la parrilla

- Las cortezas se transportan a través de unos silos pequeños dosificadores, instalados en número mayor del que requiere el tipo de combustión diseñada

- El exceso de cortezas que no intervienen en la combustión se devuelven al almacenamiento

- Los silos dosificadores individuales están equipados con alimentadores de tornillo, que dosifican las cortezas conforme a la demanda de combustible requerido

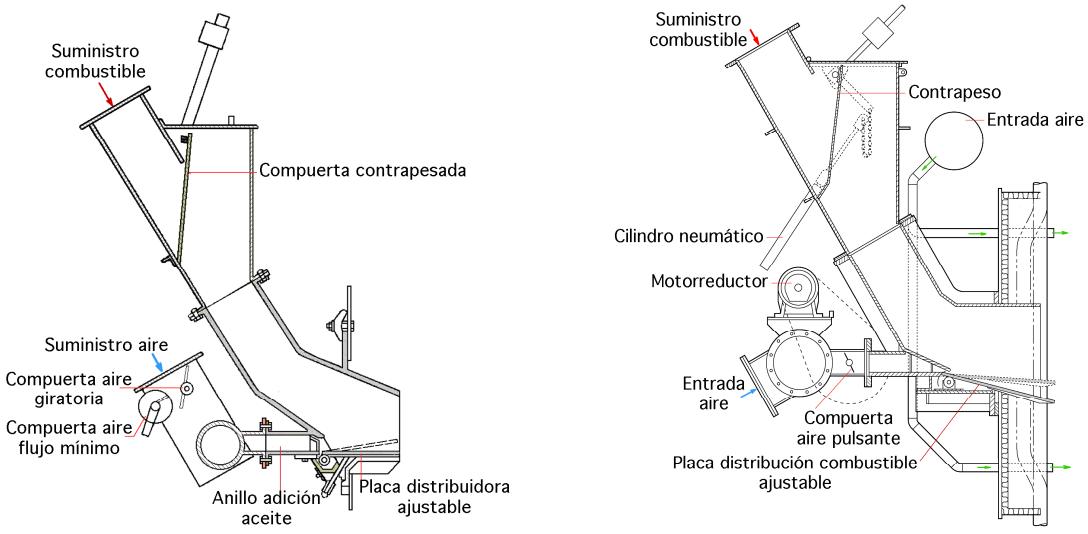


Fig XVI.11.- Distribuidores de combustible asistidos por aire

Existen otros sistemas de alimentación, como $\begin{cases} \textit{- silos grandes} \\ \textit{- tolvas con fondos giratorios} \end{cases}$, que han tenido éxito siempre que se utilizó un combustible de iguales características que las de diseño.

Parrillas para cortezas (combustión de biomasa).- Las cortezas son combustibles con un contenido alto en volátiles que, combinadas con los finos, se caracterizan por un alto grado de combustión en suspensión.

Una parrilla sinfín para combustión de cortezas es similar a la que se utiliza en la combus-

tión de carbón con distribuidor mecánico. Las cortezas se alimentan sobre el lecho de combustible y se distribuyen uniformemente sobre toda la superficie de la parrilla.

- Aunque el diseño corresponde a una parrilla refrigerada por aire, siempre es importante mantener una capa de ceniza sobre ella para proteger las barras frente a la radiación del hogar

- También se pueden emplear barras de parrilla de alta aleación, que tienen mayor resistencia a la degradación térmica

Cuando se queman *cortezas* con bajo contenido de cenizas, las parrillas funcionan de forma intermitente; la gran cantidad de volátiles y poca ceniza, permiten dimensionar las parrillas mecánicas para un régimen de liberación de calor que llega a $\begin{cases} 1.100.000\ Btu/ft^2 h \\ 3{,}47\ MW_t/m^2 \end{cases}$, con unas dimensiones $\begin{cases} \text{- anchura máxima 34 ft (10,4 m)} \\ \text{- profundidad 20 ft (6,1 m)} \end{cases}$, alcanzándose una capacidad máxima de $\begin{cases} 550.000\ lb/h \\ 69{,}3\ kg/s \end{cases}$ en vapor.

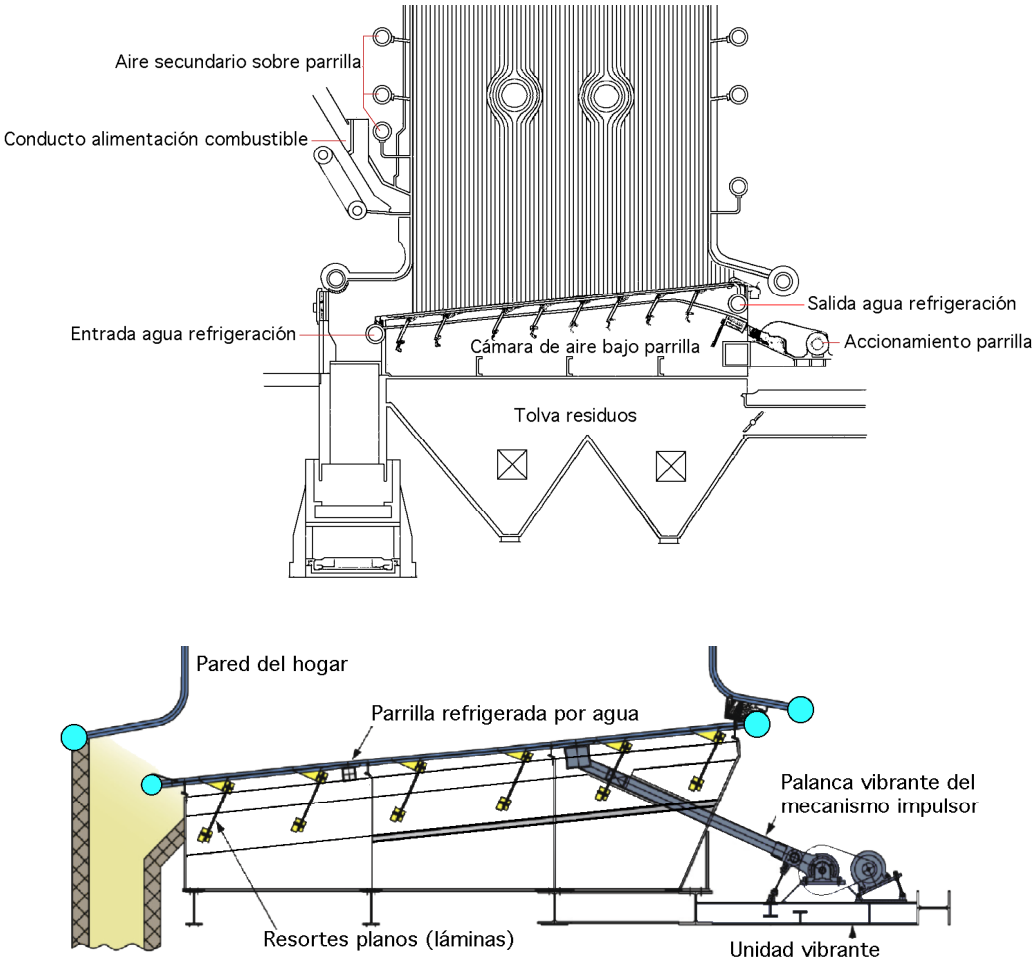


Fig XVI.12.- Hogar mecánico con parrilla vibrante refrigerada por agua, y detalles de la misma

La ceniza de las cortezas (fundamentalmente sílice) es muy abrasiva, lo que junto a la alta temperatura de exposición de las barras de la parrilla, da lugar a un elevado y costoso mantenimiento, por lo que algunos fabricantes de estos equipos, han vuelto a introducir hogares mecánicos

con parrilla vibrante refrigerada por agua o directamente por aire. La Fig XVI.12 muestra una versión refrigerada por agua, en la que la combustión no es muy diferente de la que caracteriza el proceso en la parrilla sinfín. Hay una serie de barras de parrilla con agujeros de canalización de aire, mecánicamente ligadas y soportadas por un emparrillado tubular refrigerado por agua.

Para mejorar esta refrigeración se usa un cemento especial conductor del calor, estando soportada la parrilla refrigerada por agua, por un conjunto de correas flexibles.

Para transportar la ceniza a la parrilla soportada por correas flexibles, se imprime un movimiento periódico de vaivén, suficiente para transportar y descargar la ceniza en la tolva de recogida; en la parrilla refrigerada por aire, el emparrillado de tubos de agua se sustituye por un emparrillado mecánico, cuyos componentes se refrigeran mediante un flujo de aire que sale por debajo de la parrilla.

Las ventajas de las parrillas refrigeradas por agua o aire, son: $\begin{cases} \text{- } simplicidad \\ \text{- } mínimo\ movimiento\ mecánico \\ \text{- } bajo\ mantenimiento \end{cases}$

Para la combustión de cortezas y residuos de madera el límite del régimen de liberación de calor por unidad de superficie de la parrilla es de $\begin{cases} 1.100.000\ Btu/ft^2 h \\ 3{,}47\ MW_t/m^2 \end{cases}$, siendo el vapor producido de $\begin{cases} 600.000 \div 700.000\ lb/h \\ 75{,}6 \div 88{,}2\ kg/s \end{cases}$

Sistema de aire$_{comburente}$.- Para las cortezas, maderas y la mayoría de los combustibles de biomasa, la combustión en hogares mecánicos requiere siempre un $aire_{exceso}$ del orden del 25%. La mayoría de los combustibles de biomasa son de $\begin{cases} \text{- } alto\ contenido\ en\ materias\ volátiles\ sobre\ base\ seca \\ \text{- } tamaños\ de\ gran\ heterogeneidad \\ \text{- } combustión\ en\ lecho\ suspendido \end{cases}$

En consecuencia, los sistemas de $aire_{comburente}$ se diseñan para facilitar más $aire_{secundario}$ que el que normalmente se utiliza en el caso de quemar carbón. Los modernos diseños permiten que las cantidades de aire debajo de la parrilla ($aire_{primario}$) y sobre el lecho ($aire_{secundario}$), sean un 50% del $aire_{total}$.

El diseño, la disposición del sistema de aire sobre el lecho ($aire_{secundario}$), y la geometría del hogar, juegan un papel importante en la combustión completa de los combustibles. La Fig XVI.9 muestra un diseño de hogar con recirculación y mezcla en la turbulencia de la parte inferior del hogar. Las grandes toberas de $aire_{secundario}$ dispuestas en varios niveles, proporcionan chorros de aire con alta energía que facilitan la penetración y la mezcla, mejorando así la combustión.

La Fig XVI.13a presenta un sistema de aire sobre el fuego rotativo horizontal diseñado para crear una zona de doble circulación de rotación dentro del horno; la Fig XVI.13b presenta un siste-

ma de chorros de aire con portillas dispuestas en un patrón entrelazado. Ambos sistemas requieren presiones de aire de menos de 20" wg (5 kPa), siendo el resultado un rendimiento de combustión excepcional y una distribución de gases uniforme a la salida de la sección de combustión; como la zona de aire altamente turbulento está situada muy por encima de la alimentación del combustible y del área de la rejilla, se producen menos ceniza y char en el horno.

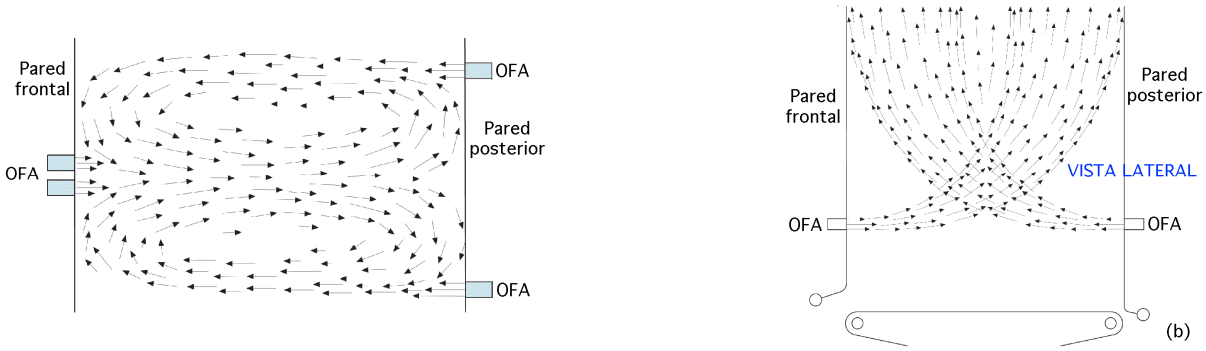


Fig XVI.13: a) Vista en planta del horno mostrando el sistema de aire de sobrecombustión rotativo horizontal
b) Vista lateral del horno mostrando el sistema de aire de un solo nivel con portillas de chorros de aire de precisión

Conforme varía la distribución de tamaños, se modifica el grado de las combustiones en suspensión y en lecho.

Una partícula de combustible que ignicione en suspensión, puede ser demasiado grande para completar su combustión y saldrá del hogar como pérdida por $C_{inquemado}$; algunos factores que influyen en las pérdidas por $C_{inquemado}$ son: $\begin{cases} - \textit{ el tamaño del combustible} \\ - \textit{ el régimen de liberación de calor} \\ - \textit{ el contenido de humedad} \\ - \textit{ la reinyección} \end{cases}$

Los hogares dimensionados para un régimen de liberación de calor máximo $\begin{cases} 18.000\ Btu/ft^2 h \\ 0{,}186\ MW_t/m^2 \end{cases}$, pueden controlar las pérdidas por $C_{inquemado}$, de modo que se sitúen entre un $1 \div 3\%$.

En algunas unidades que queman biomasa se pueden conseguir otras reducciones, mediante la reinyección del polvo o ceniza volante. Debido al elevado contenido en sílice y a la alta abrasividad de la ceniza volante de la madera y de las cortezas, los sistemas de reinyección de polvo no se utilizan con estos combustibles, por el alto coste del mantenimiento, a no ser que se instalen separadores de arena, (la unidad que se representa en la Fig XVI.9 no incorpora ningún sistema de reinyección de ceniza volante).

Como el contenido en C es mayor cuanto más grandes sean las partículas de ceniza volante, se suele utilizar un colector mecánico de polvo para separar y recoger la fracción de partículas de mayor tamaño y reducir la carga y el contenido de C en el colector, que tiene tendencia a producir incendios en el equipo de limpieza de humos.

Tamaño de la parrilla.- Para la combustión de maderas y cortezas con contenido de humedad:

- *Inferior al 50%, la superficie de parrilla conduce a una liberación de calor de* $\begin{cases} 1.100.000\ Btu/ft^2 h \\ 3,47\ MW_t/m^2 \end{cases}$

- *Del orden del 35%, la liberación de calor es de* $\begin{cases} 1.250.000\ Btu/ft^2 h \\ 3,94\ MW_t/m^2 \end{cases}$

Los hogares mecánicos de parrilla sinfín tienen limitaciones mecánicas que se pueden concretar en 20 ft (6,1 m) de profundidad equivalente de hogar y en 34 ft (10,4 m) de anchura. En general, las parrillas de hogares mecánicos son más largas que anchas, ya que este diseño es más barato; para una parrilla refrigerada por agua, la profundidad viene limitada por la operatividad del alimentador distribuidor para lograr un reparto uniforme de las cortezas sobre toda la profundidad de la parrilla, del orden de 26 ft (7,9 m) y anchura 34 ft (10,4 m).

Cuando se queman madera y cortezas, lo mejor para la combustión es precalentar el $aire_{comburente}$; para hacer frente a las variaciones estacionales de la humedad de estos combustibles, y al interés de quemarlos junto con lechadas, la temperatura del $aire_{comburente}$ es de 550ºF (288ºC), temperatura que constituye el límite para la *parrilla sinfín* refrigerada por aire, con barras de hierro dúctil.

La ***parrilla vibratoria refrigerada por agua*** puede soportar temperaturas del $aire_{comburente}$ de 650ºF (343ºC); en caso de necesidad se prefiere aire caliente, para el $aire_{primario}$ y para el $aire_{secundario}$.

Hay otros combustibles de biomasa como la paja, cáscaras de arroz, bagazo, huesos de melocotón, posos de café, restos de construcciones de madera, etc., que se pueden quemar en hogares mecánicos con parrilla móvil y alimentador distribuidor, siendo los criterios de dimensionado y utilización similares a los indicados para la madera.

Evacuación de la ceniza.- El contenido en ceniza de las maderas y cortezas es relativamente pequeño, predominando la sílice (ceniza muy abrasiva), por lo que hay que procurar utilizar:

- *Bajas velocidades*
- *Materiales resistentes a la abrasión*

La escoria recogida en la parte inferior del hogar cae dentro de una tolva desde la que se evacúa intermitentemente; la ceniza volante recogida en las tolvas y en los colectores mecánicos se evacúa continuamente debido a $\begin{cases} \text{- el contenido en C} \\ \text{- la tendencia a incendiarse} \end{cases}$. Para transportar el polvo a los silos de almacenamiento se utilizan sistemas de $\begin{cases} \text{- lodos húmedos} \\ \text{- gases inertes} \end{cases}$, prefiriéndose los sistemas húmedos por su resistencia a los incendios y menor contaminación atmosférica.

Emisiones.- La $\begin{cases} instalación\ de\ cualquier\ nuevo\ generador\ de\ vapor \\ remodelación\ y\ actualización\ de\ una\ unidad \end{cases}$ requieren siempre de una autorización medioambiental, por lo que es importante el predecir y controlar las diversas emisiones. La Tabla XVI.5 presenta algunos valores típicos de emisiones no controladas, propios de la combustión en hogares mecánicos que queman distintos tipos de carbón y madera/cortezas, valores que se pueden modificar como consecuencia de la composición del combustible y del tipo de equipo de la unidad. El NO_x se forma, como sabemos, a partir de la oxidación de los compuestos de N_2 que hay en el aire y en el combustible. Durante el proceso de combustión que tiene lugar en un hogar mecánico, la mayoría de los NO_x procede del N_2 que se encuentra en el combustible. La contribución debida a la oxidación del N_2 que se encuentra en el aire (NO_x térmico) es pequeña, debido a las relativamente bajas temperaturas del hogar mecánico.

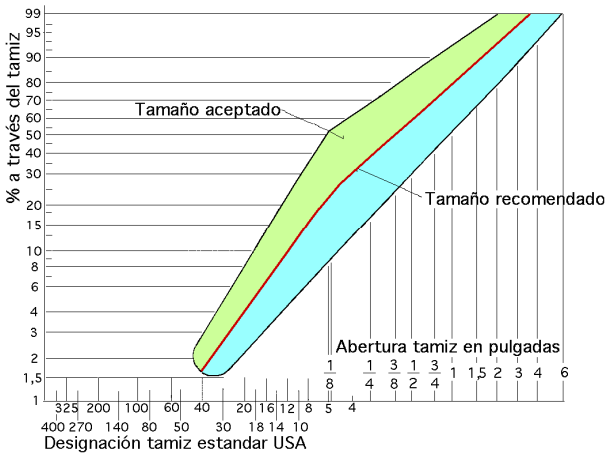
Las emisiones de NO_x se controlan de forma efectiva mediante una combustión escalonada, propia de la combustión en hogar mecánico o mediante el control de los niveles de $aire_{exceso}$.

Para la combustión en hogar mecánico con bajos NO_x, tanto de carbones como de cortezas/madera, el $aire_{exceso}$ es del 25%; para controlar los NO_x en los niveles más bajos de los indicados en la Tabla XVI.5, se emplea un $\begin{cases} -\ menor\ flujo\ de\ aire_{primario} \\ -\ mayor\ flujo\ de\ aire_{secundario} \end{cases}$

Tabla XVI.5.- Emisiones típicas no controladas para "hogar mecánico con distribuidor"

Combustible	*NO_2 lb/10^6 Btu*	*CO lb/10^6 Btu*	*Pérdidas $C_{inquemado}$ (% calor aportado)*	
			Con reinyección	*Sin reinyección*
Bituminoso	*0,35 a 0,50*	*0,05 a 0,30*	*0,5 a 2,0*	*3 a 6*
Subbituminoso	*0,30 a 0,50*	*0,05 a 0,30*	*0,5 a 1,5*	*3 a 5*
Lignito	*0,30 a 0,50*	*0,10 a 0,30*	*0,5 a 1,5*	*3 a 5*
Maderas/cortezas	*0,20 a 0,35*	*0,20 a 0,35*	*0,5 a 1,5*	*2 a 5*

Conversión aproximada: 1 lb/10^6 Btu = 1,230 mg/m^3N (gases secos con 6% de exceso de O_2, 350 m^3N/GJ)



Tamaño recomendado indicado por la línea en rojo. Tamaño aceptable encerrado en las zonas coloreadas

Fig XVI.14.- Dimensionado recomendado en hogar mecánico con distribuidor, quemando cortezas de madera

Otros parámetros que pueden contribuir al mismo tiempo a reducir la formación de los NO_x consisten en $\begin{cases} - \textit{ minimizar la cantidad de finos en el combustible} \\ - \textit{ utilizar aire}_{comburente} \quad \textit{a la temperatura ambiente} \end{cases}$

Muchos combustibles de desechos como la paja, y otros de tipo fibroso no madereros, tienen un alto contenido en N_2; los desechos comerciales, como la madera de demoliciones, están secos y queman a alta temperatura, produciendo elevados niveles de NO_x.

En la mayoría de los hogares mecánicos que queman carbón o biomasa, si estos combustibles contienen S, los gases de combustión contendrán SO_2, y para dimensionar y seleccionar el equipo de control, se puede suponer que todo el S pasa a SO_2. Las emisiones de CO y de compuestos orgánicos volátiles dependen de la eficiencia del proceso de combustión y de la cantidad y control de finos y de $aire_{exceso}$; normalmente, el CO se incrementa cuando se reducen los NO_x.

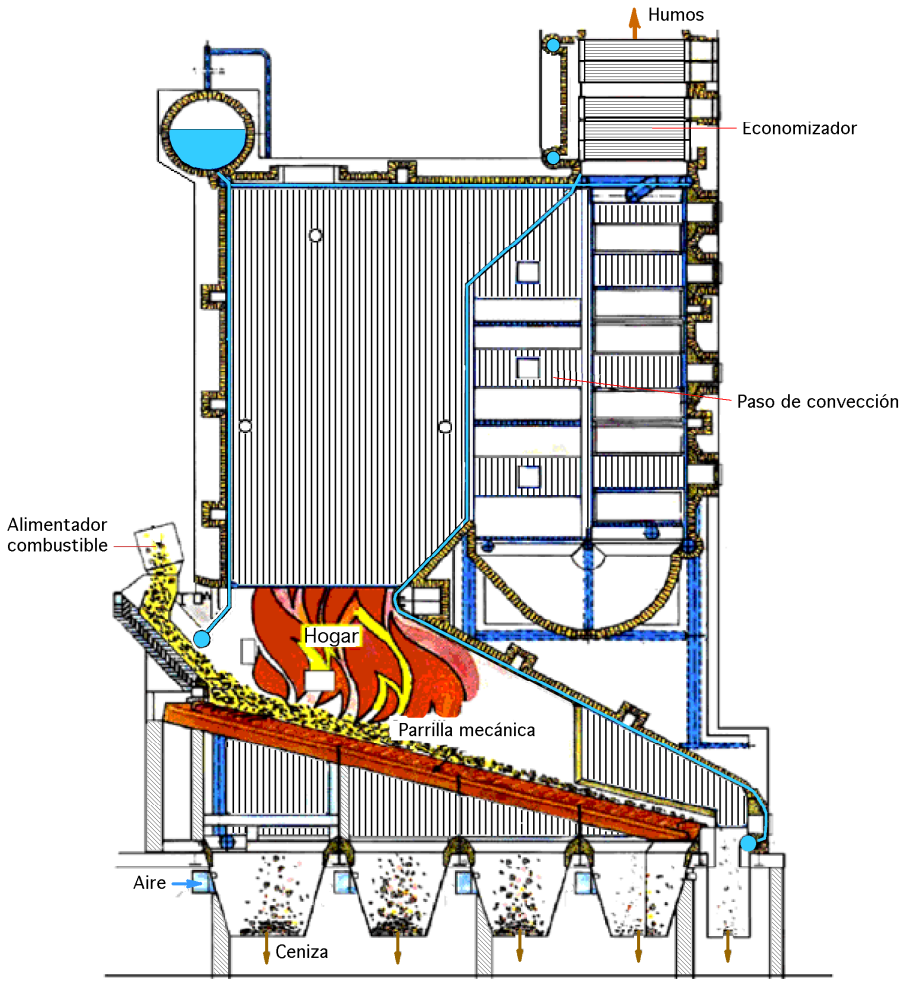


Fig XVI.15.- Diseño moderno de caldera de parrilla inclinada, para combustibles de bajo poder calorífico (bagazo), y alta humedad, combinando una alta eficiencia con la capacidad de proporcionar vapor vivo a alta presión y temperatura

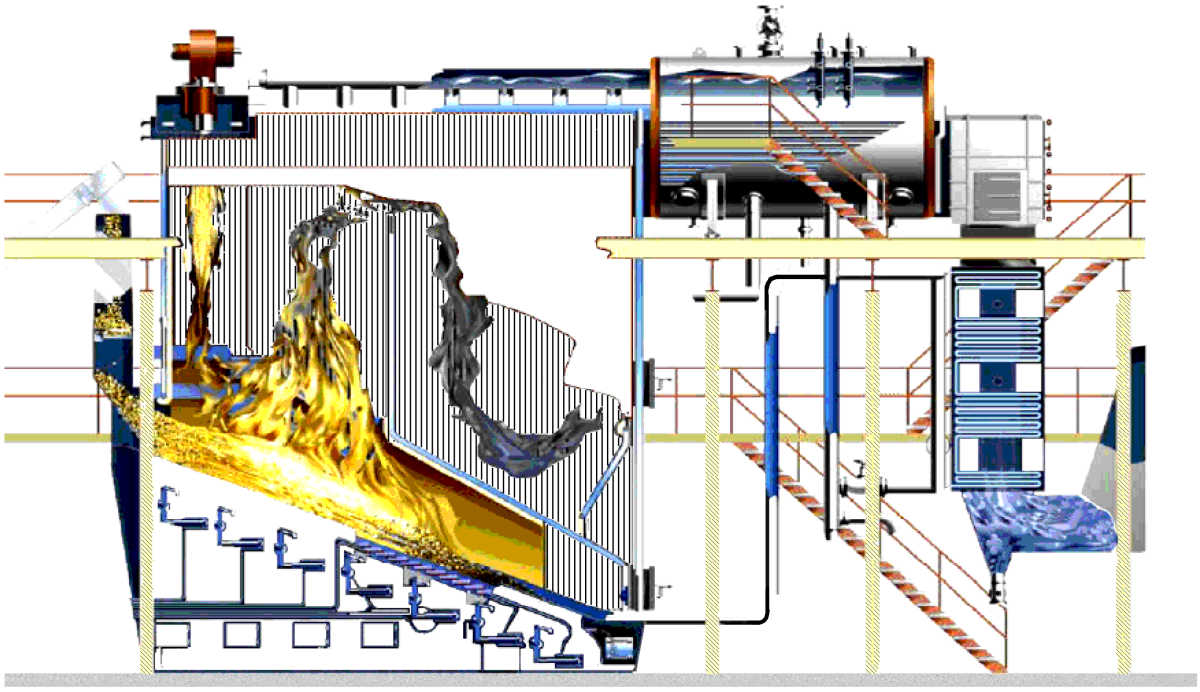


Fig XVI.16.- Caldera de parrilla inclinada, construida en Europa, para quemar residuos del aceite de palma (fibra y cáscaras)

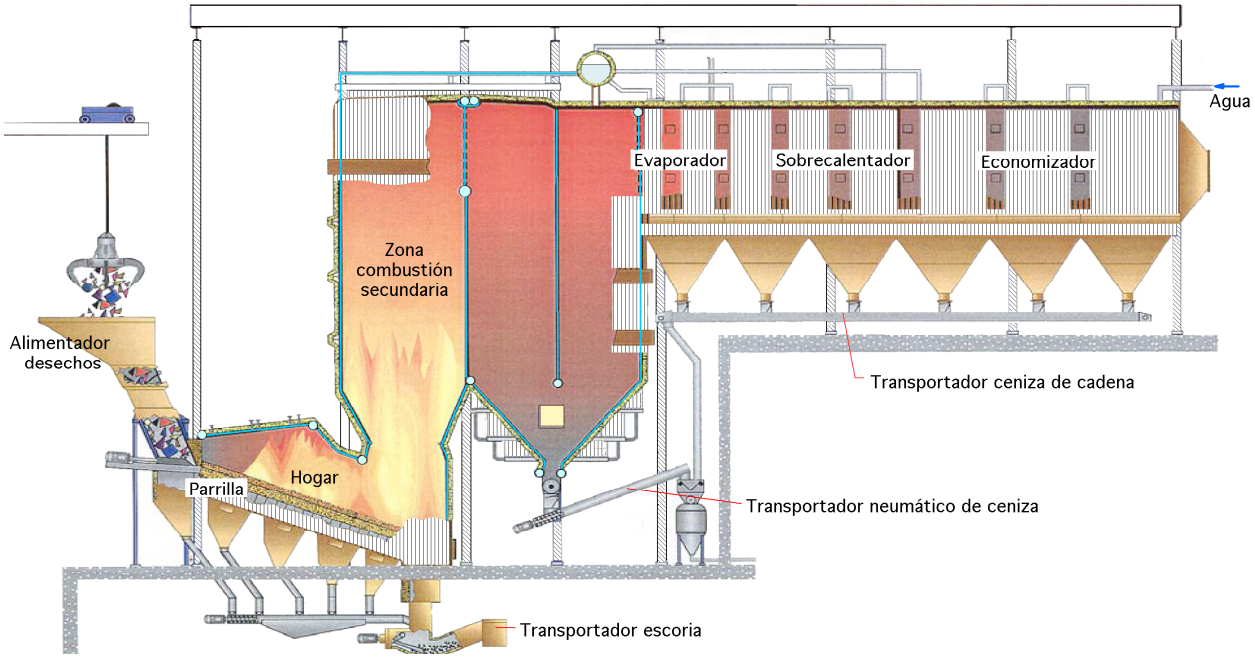


Fig XVI.17.- Caldera avanzada tipo (MSW), construida en Europa para futuras aplicaciones EFB

REFERENCIAS.- CAP XVI.- HOGARES MECÁNICOS

B&W.- STEAM: ITS GENERATION AND USE.- 40tth Edition, Chapter 15.- The Babcock&Wilcox Company.- Barberton, Ohio, USA.- 1992

Olle Nyström, Technical Expert Carl Bro International EC ASEAN Cogeneration Programme EUROPEAN EQUIPMENT APPLICABILITY AND COMPETITIVEPOSITIONIN ASEAN COGENERATION.- Cracovia, Polonia, Noviembre 23-24, 2004

BIOTECHNOLOGY FOR THE 21st CENTURY.- Werner Arber, Biozentrum der Universität Basel, Switzerland, Mathis Brauchbar, Locher, Brauchbar & Partner AG, Basel, Suiza

Olle Nyström.- BIOMASS APPLICATIONS ON THE ASEAN MARKET.- 25 February 2004.- Hilton City Hotel. Bruselas, Bélgica

Gittinger J.S., Arvan W.J.- CONSIDERATIONS FOR THE DESIGN OF RDF-FIRED REFUSE BOILERS.- Presented to: Power-Gen Europe '98, June 9-11, 1998, Milan, Italy

THE EVOLUTION OF RDF BOILER DESIGNS THROUGH THE STATE-OF-THE-ART SYSTEM AT PALM BEACH.-Technical Paper BR-1393.- Babcock & Wilcox, Barberton, Ohio, 1989.