

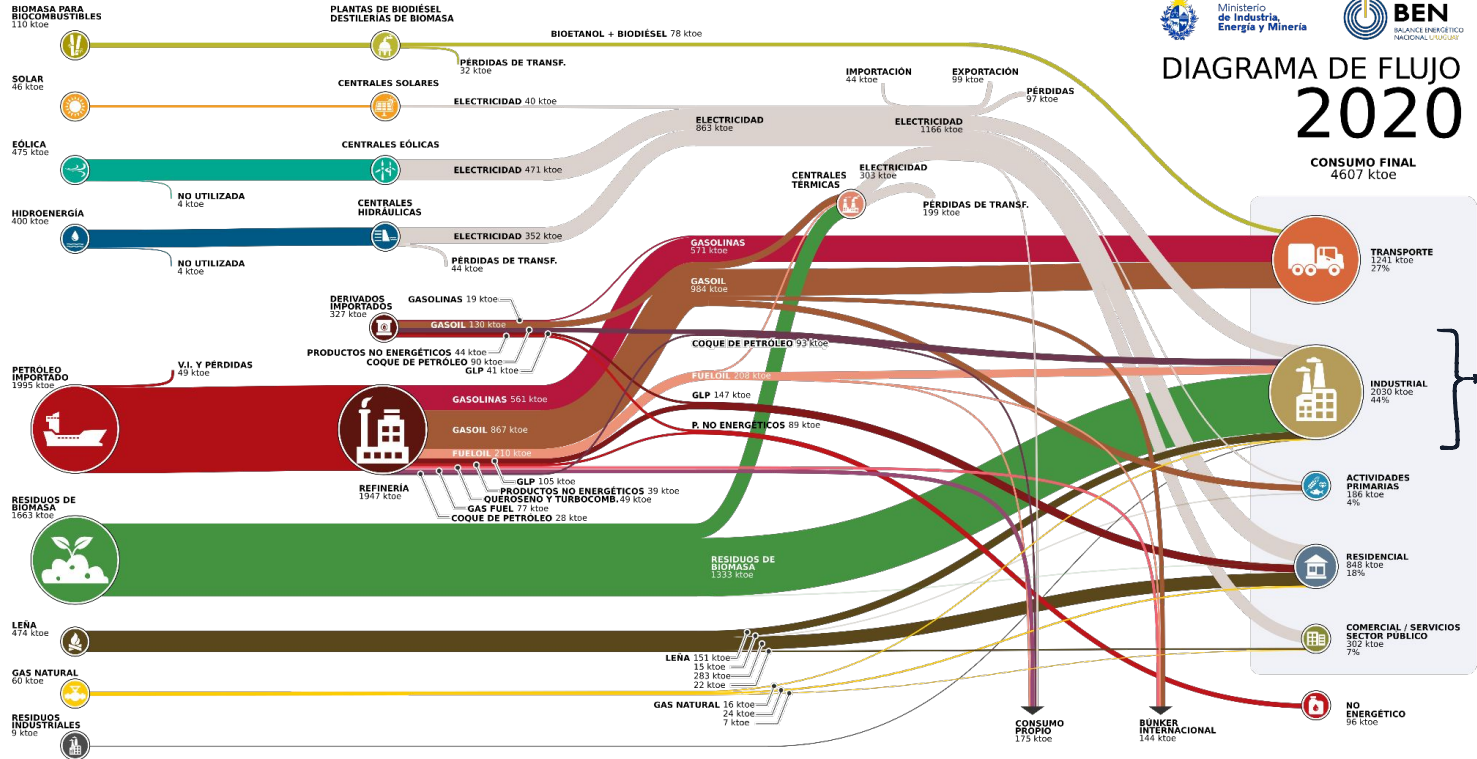


Sistemas de combustión

2024



Matriz energética del Uruguay



- Residuos BM
- FO
- Leña

NOTA: se representan los principales flujos energéticos

Consumos en la Industria (2016)

Consumo (ktep)



Usos	GN	LE	RB	SO	SG	GP	GA	KE	GO	FO	CP	CC	EE	OTROS	TOTAL
Iluminación													10,7		10,7
Generación de Vapor	1,4	123,2	26,8		0,6	0,7			0,1	37,1			0,3		190,3
Cogeneración de Vapor		4,5	847,8						0,0	11,8				1,6	865,6
Otros Equipos de Calor	2,9	11,7	20,3	0,1	0,0	0,1			1,0	9,0			0,4		45,6
Calor Directo	9,2	31,5	7,7		3,9	4,3		0,9	5,2	109,1	54,7	0,3	10,6		237,4
Fuerza Motriz							0,0		0,0				192,5	3,9	196,4
Frío de Proceso													26,6		26,6
Transporte Interno					0,4	0,3	0,1		10,1				2,8		13,7
Procesos Electroquímicos													3,9		3,9
Usos No Productivos	0,1	0,0	7,7	0,1	0,4	0,0	0,0	0,0	0,1	0,0			11,6		20,0
Total	13,5	171,0	910,4	0,2	5,3	5,5	0,1	0,9	16,5	166,9	54,7	0,3	259,4	5,5	1.610,3

• ktep: kilo toneladas equivalente de petróleo

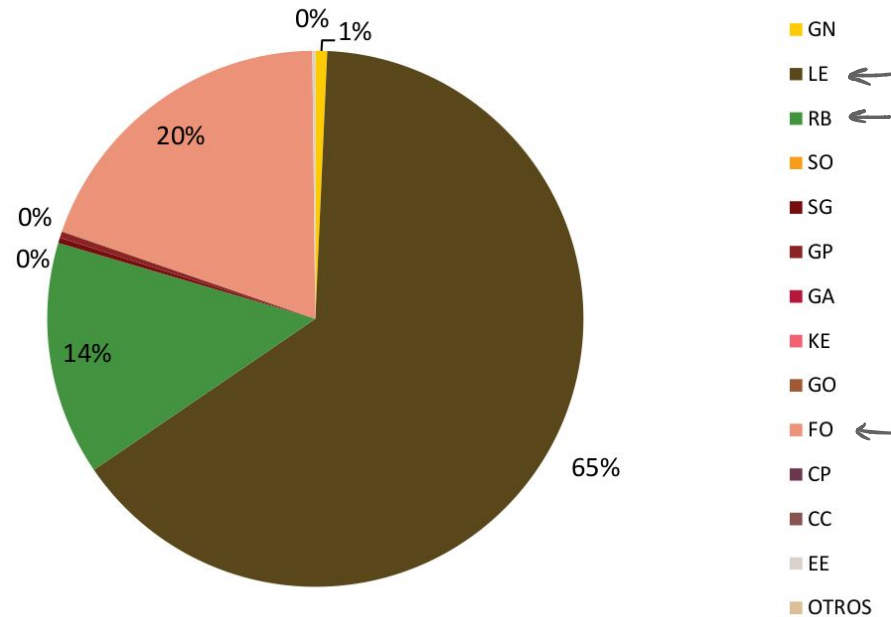
Consumos en la Industria (2016)

Sin plantas de Pulpa de Celulosa. Consumo (ktep)

Usos	GN	LE	RB	SO	SG	GP	GA	KE	GO	FO	CP	CC	EE	OTROS	TOTAL
Iluminación													6,6		6,6
Generación de Vapor	1,4	123,2	21,3		0,6	0,7			0,1	35,2			0,3		182,8
Cogeneración de Vapor		0,5	87,9						0,0					1,6	90,0
Otros Equipos de Calor	2,9	11,7	20,3	0,1	0,0	0,1			1,0	9,0			0,4		45,6
Calor Directo	9,2	31,5	6,8		3,9	4,3		0,9	5,2	15,0	54,7	0,3	10,6		142,4
Fuerza Motriz							0,0		0,0				96,0	3,9	99,9
Frío de Proceso													26,6		26,6
Transporte Interno					0,4	0,3	0,1		8,7				2,3		11,8
Procesos Electroquímicos													3,9		3,9
Usos No Productivos	0,1	0,0	7,7	0,1	0,4	0,0	0,0	0,0	0,1	0,0			8,1		16,4
Total	13,5	167,0	144,0	0,2	5,3	5,5	0,1	0,9	15,1	59,2	54,7	0,3	154,7	5,5	626,1

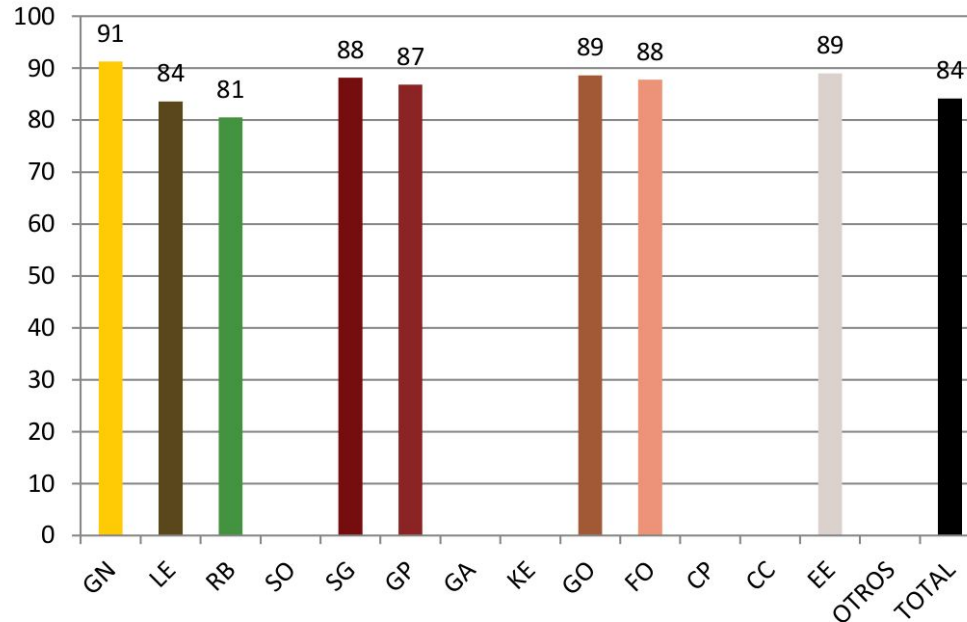
Consumos en la Industria (2016)

Generación de vapor por fuente



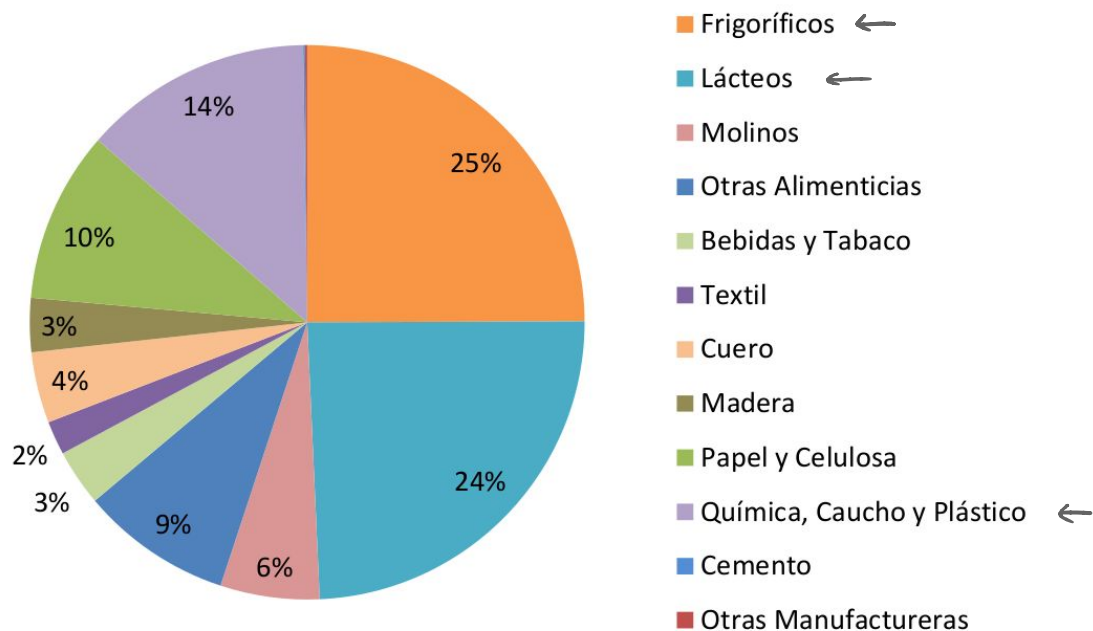
Consumos en la Industria (2016)

Rendimientos en la generación de vapor (PCI)



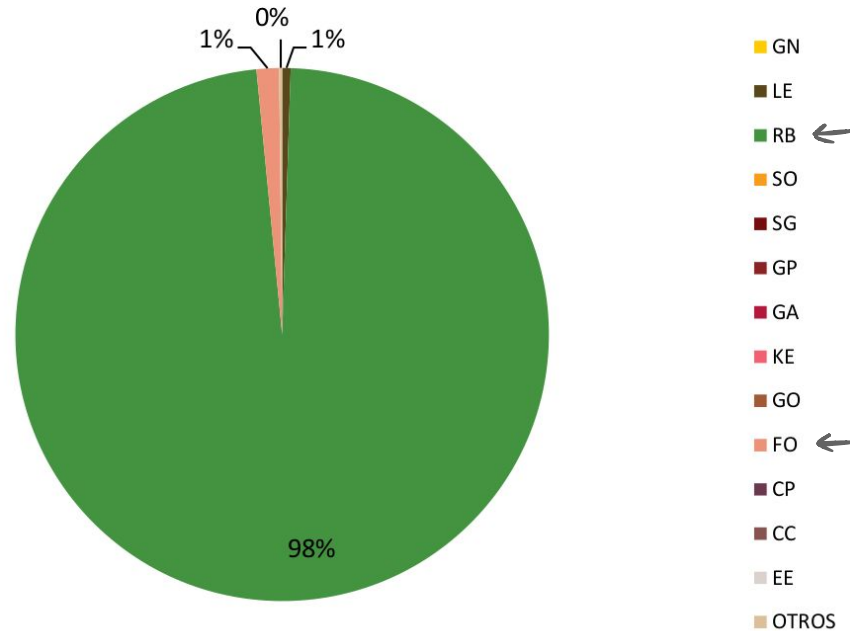
Consumos en la Industria (2016)

Generación de vapor por rubro



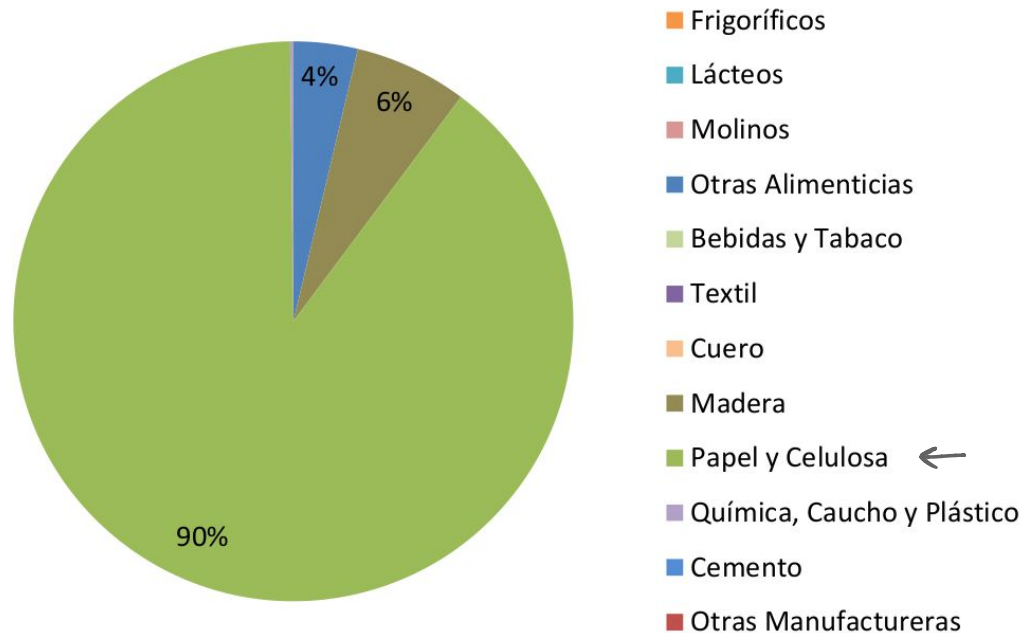
Consumos en la Industria (2016)

Co-generación de vapor por fuente

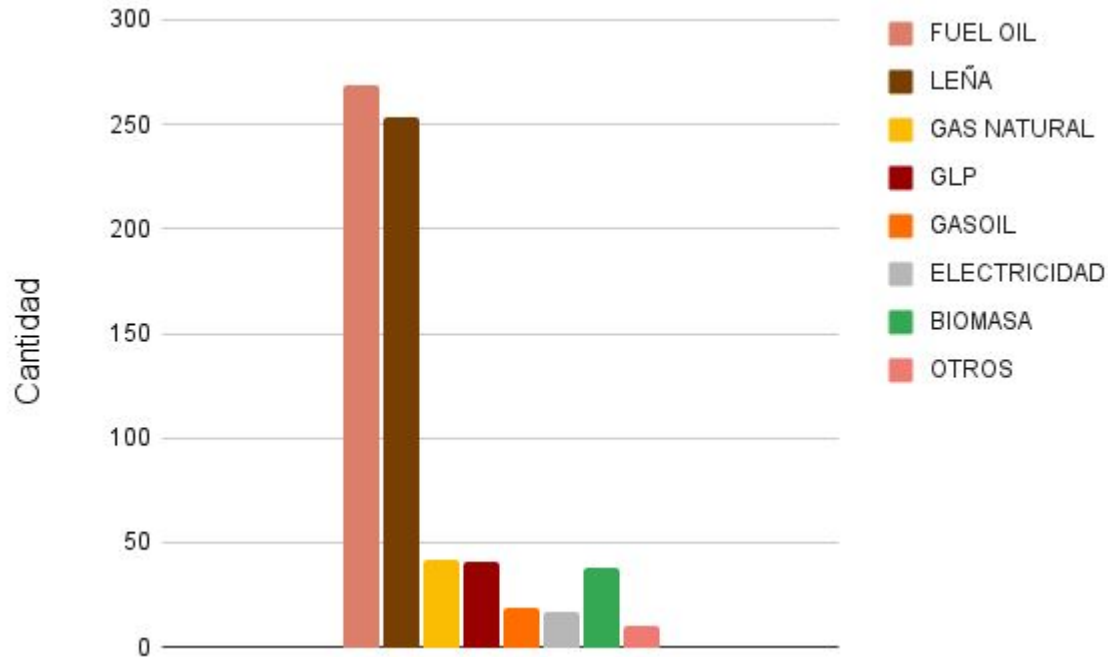


Consumos en la Industria (2016)

Co-generación de vapor por rubro



Cantidad de GV por tipo de combustible



Dos conceptos a resaltar

1. La generación (o cogeneración) de **vapor** es el uso que **mayor cantidad de energía consume** en las industrias (a nivel global)
2. Los principales combustibles que se utilizan para producir ese vapor son: **Licor negro, Leña (o chip), Fueloil, Residuos de biomasa** (otros).

A) Combustibles sólidos



1. Características como combustible
2. Combustión de biomasa
3. Sistemas de combustión
4. Cenizas

Propiedades de las biomásas

CHONS	Ash	H ₂ O
-------	-----	------------------

Biomasa	W	PCS	Ash	C	H	O	N	S	Aire q
	% bh	MJ/kg seco	% bs	% bs					Sm ³ /kg seco
Madera de Eucalipto	<53	19,5	0,4	52,3	5,9	41,4	0	0	1,11
Corteza de Eucalipto	<65	17,1	4,5	48,1	5,5	41,7	0,1	0,1	1,0
Madera de Pino	<55	20,0	0,3	49,3	6,0	44,1	0,3	<0,1	1,04
Cáscara de arroz	7 - 10	16,1	18,9	40,6	4,9	35,1	0,4	0,1	0,86
Bagazo de caña	50	17,3	3,1	41,3	5,8	49,1	0,6	0,1	0,82
Rastrojo de trigo	8 - 20	17,6	9,2	45,4	5,6	39,5	0,2	<0,1	0,97

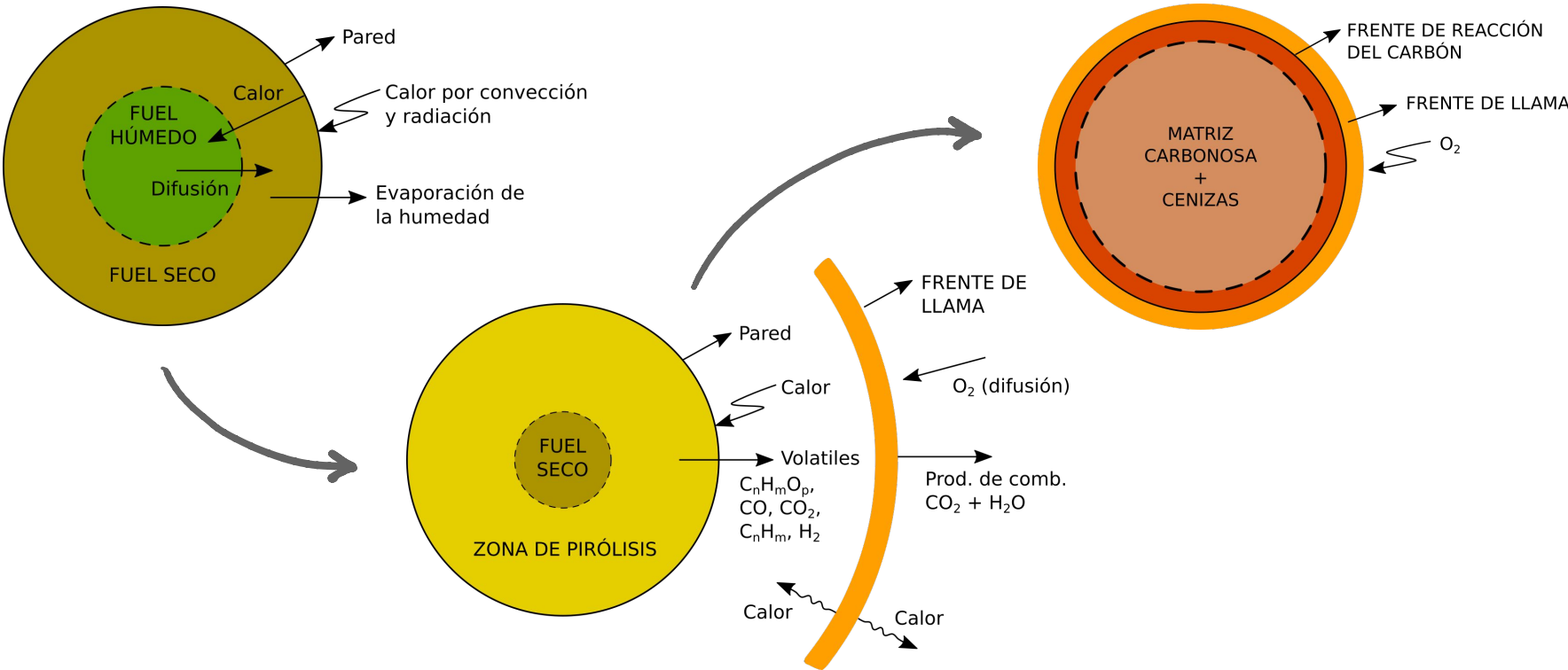
- Sm³: Metro cúbico de aire en condiciones standard (25°C y 1atm)

Combustión de biomasa

Modelo de etapas secuenciales de la combustión:

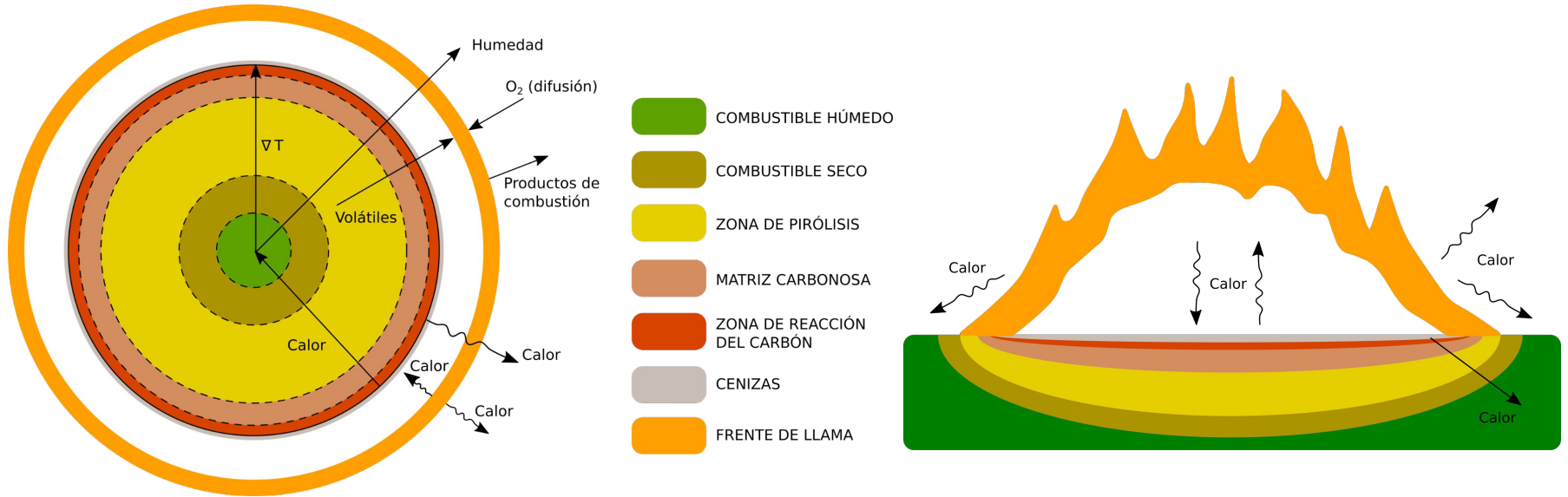
- Secado
- Pirólisis + Combustión de volátiles
- Gasificación + Combustión de matriz carbonosa

Combustión de biomasa



Combustión de biomasa

Etapas en simultáneo



Combustión de biomasa

Dificultades que implica quemar biomasa sólida:

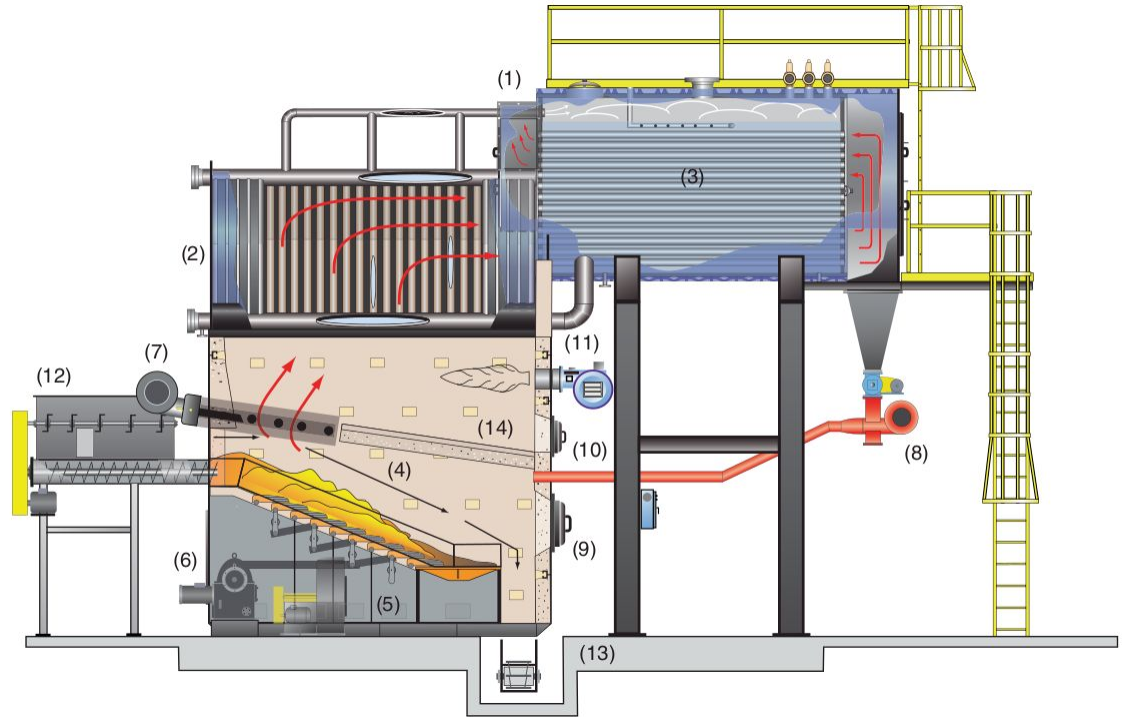
- Difícil pulverizar
- Contenido de humedad y cenizas
- Heterogeneidad en sus características físicas

El **sistema de combustión** debe compensar estos factores negativos con:

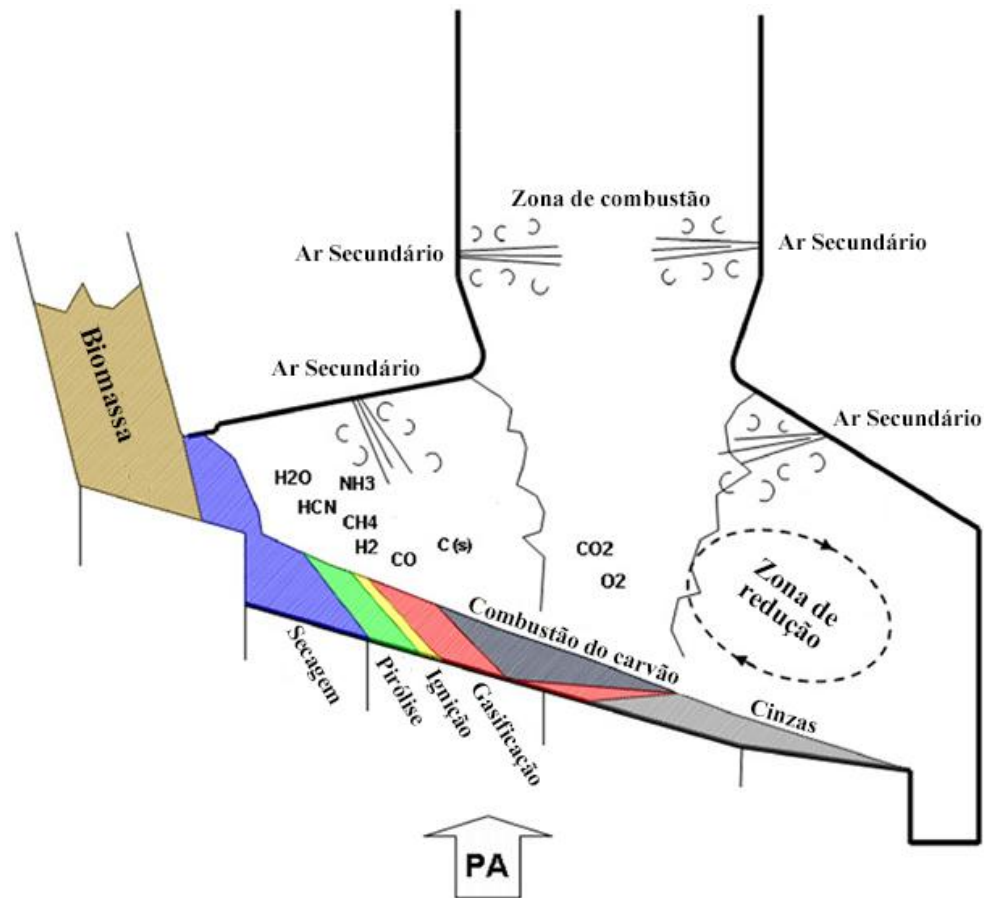
- Turbulencia
- Tiempo de residencia

Sistemas de combustión de biomasa

- 1) Lecho fijo (sobre parrilla)
- 2) Quema en suspensión
- 3) Gasógeno + CC
- 4) Lecho fluidizado



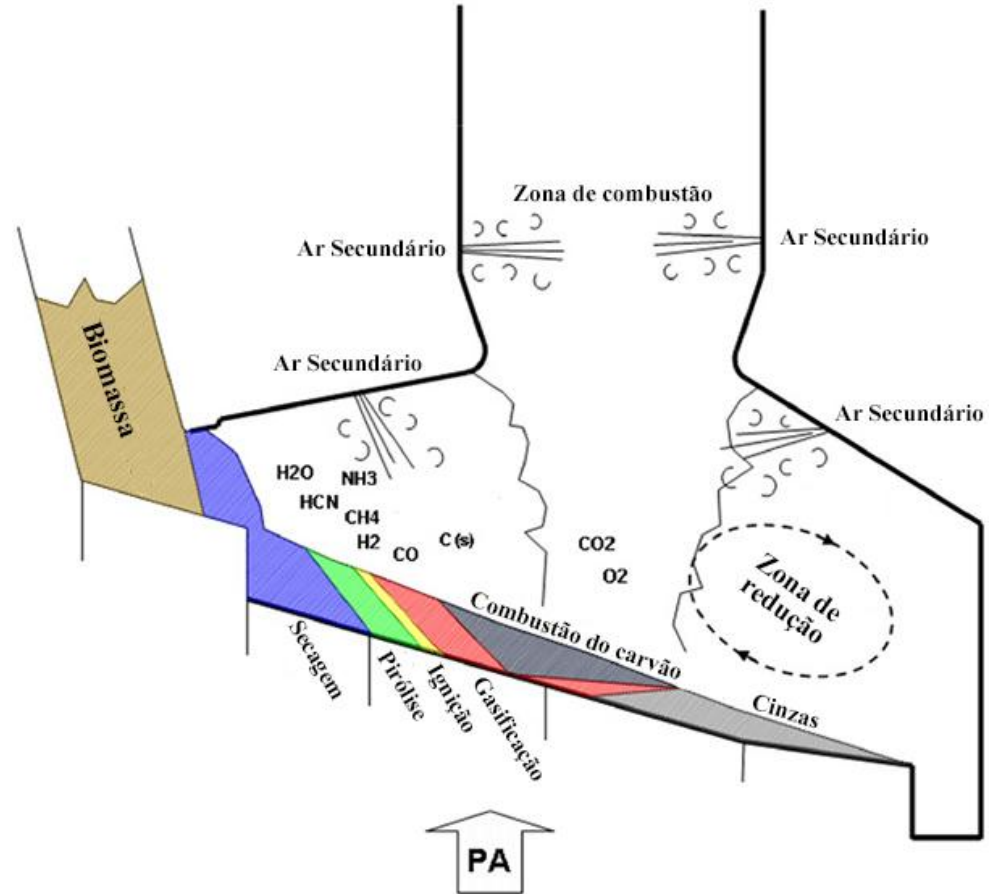
Lecho fijo



Lecho fijo

Componentes principais:

- Sistema de alimentação
- Parrilla
- Entradas de aire
- Descarga de cinzas



Lecho fijo

Alimentación:

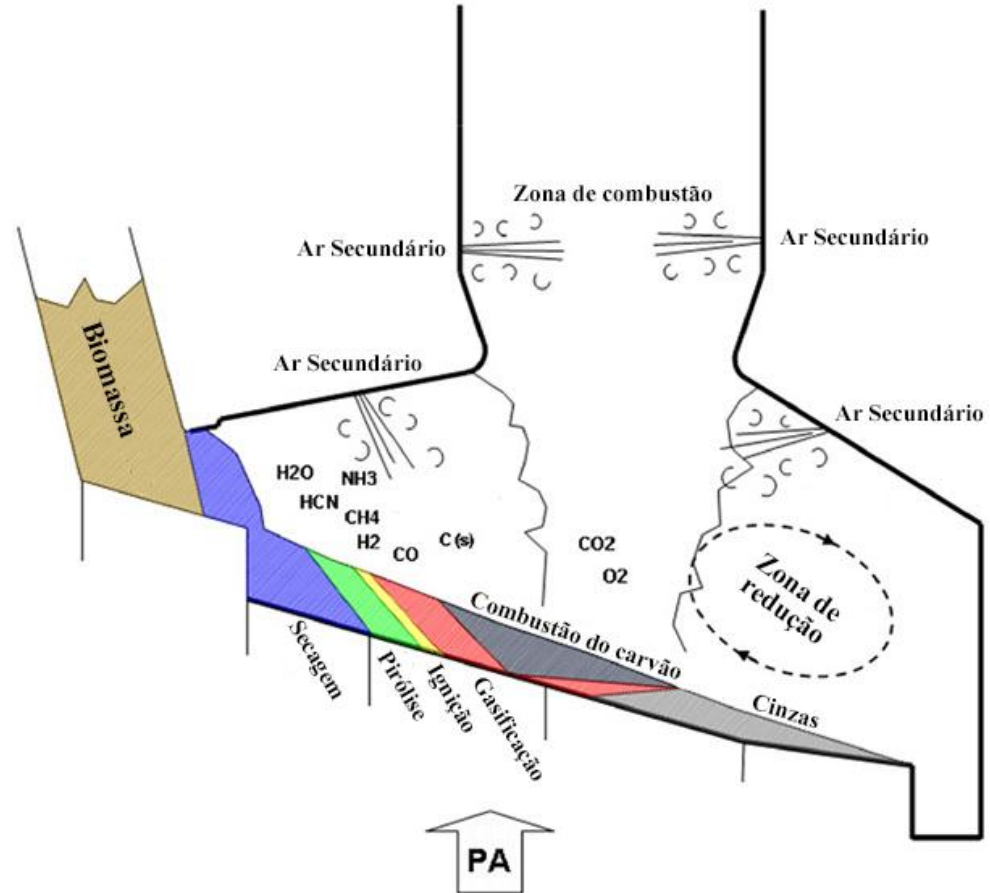
- Continua o discontinua
- Manual o automática

Parrilla:

- Fija o móvil
- Horizontal o inclinada
- Seca o refrigerada

Hogar:

- Seco o refrigerado



Lecho fijo

Sistema de alimentación:
Continuo y automático



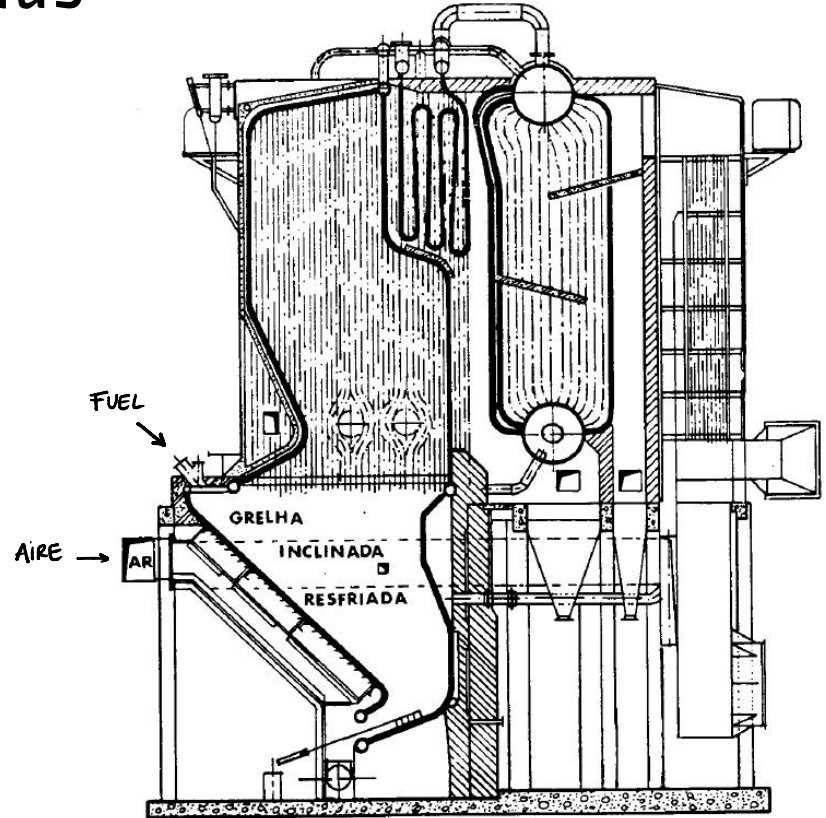
Lecho fijo

Sistema de alimentación:
Discontinuo y manual



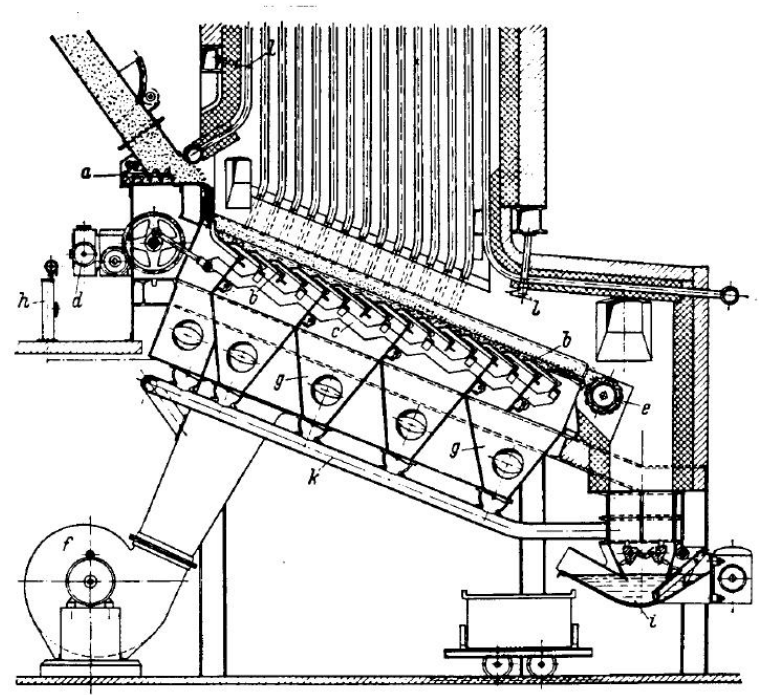
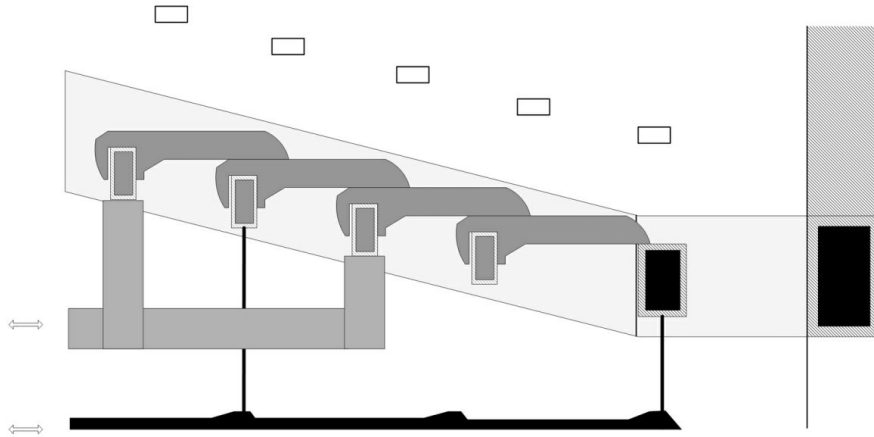
Lecho fijo. Tipos de parrillas

Parrilla inclinada



Lecho fijo. Tipos de parrillas

Parrilla reciprocante

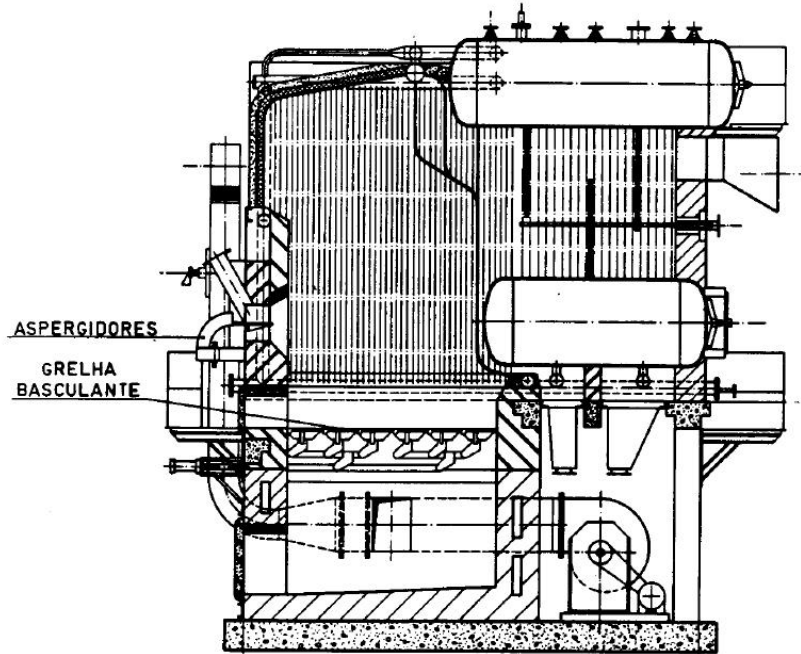


Lecho fijo. Tipos de parrillas

Parrilla reciprocante



Lecho fijo. Tipos de parrillas

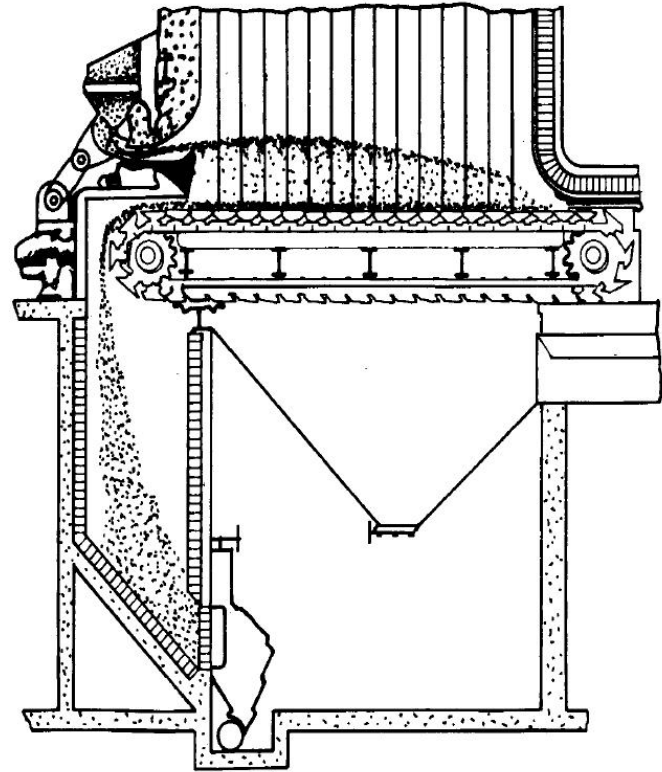
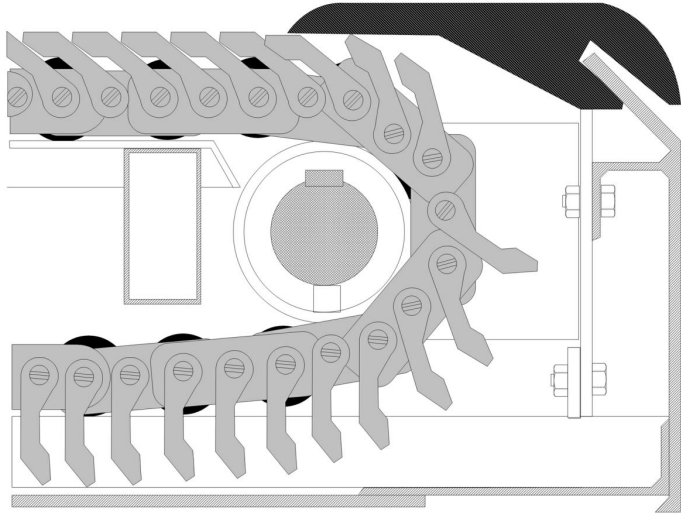


Parrilla basculante

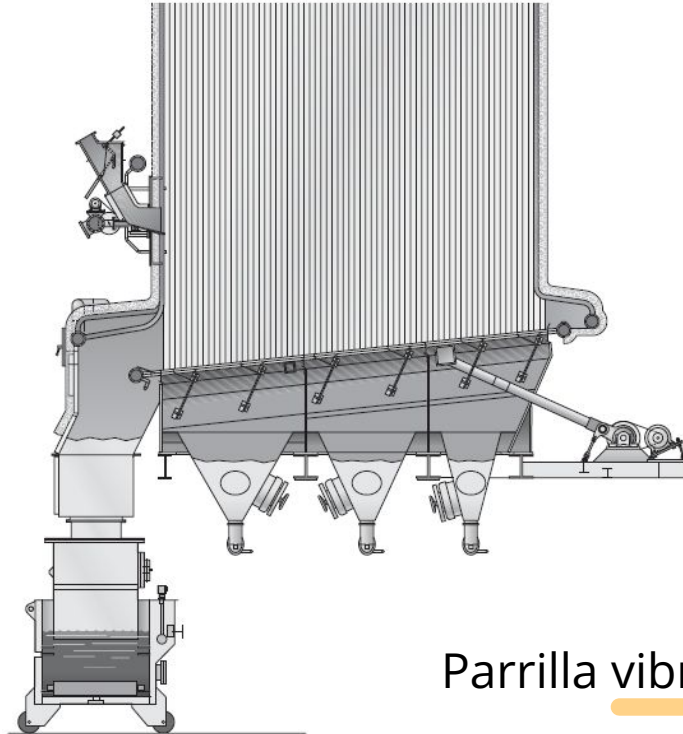


Lecho fijo. Tipos de parrillas

Parrilla rotativa



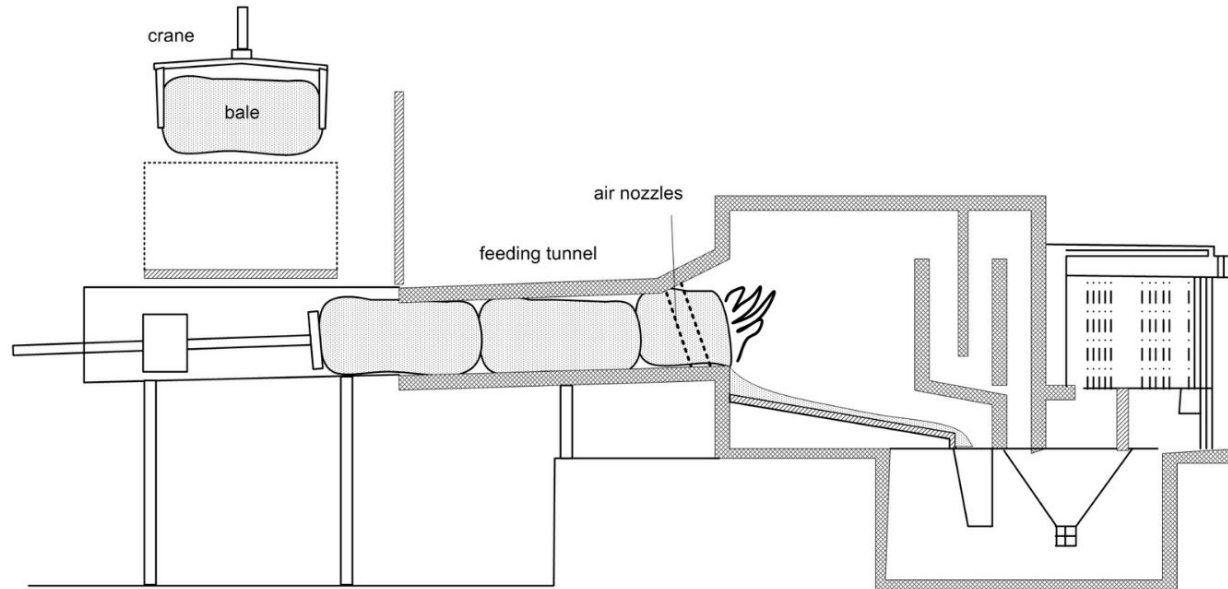
Lecho fijo. Tipos de parrillas



Parrilla vibrante

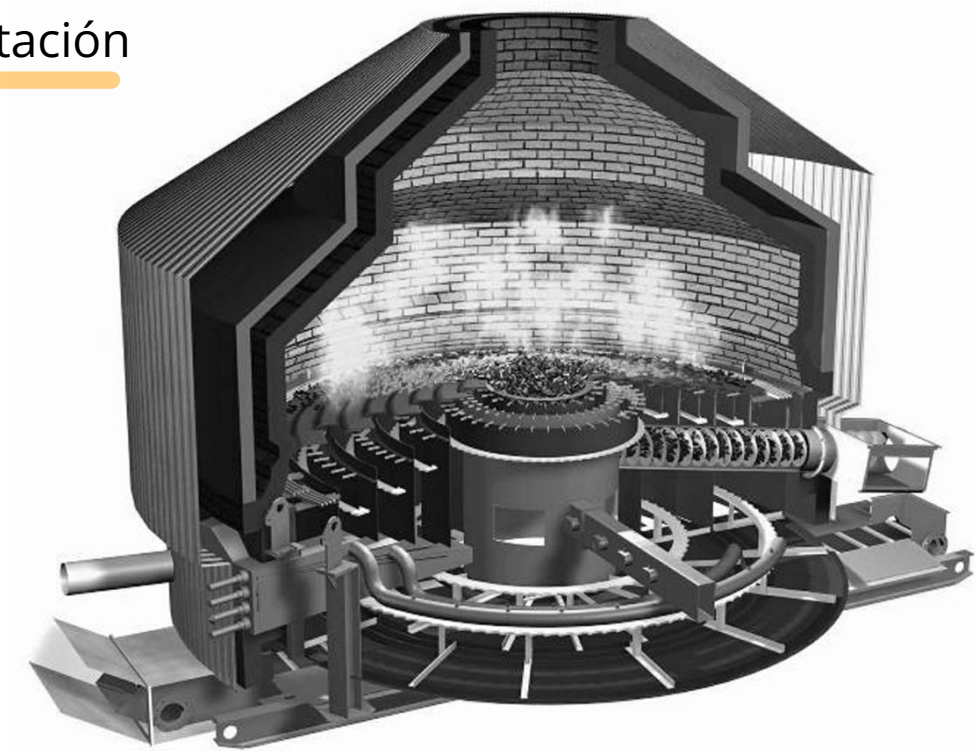
Lecho fijo. Tipos de parrillas

Quemador tipo cigarro

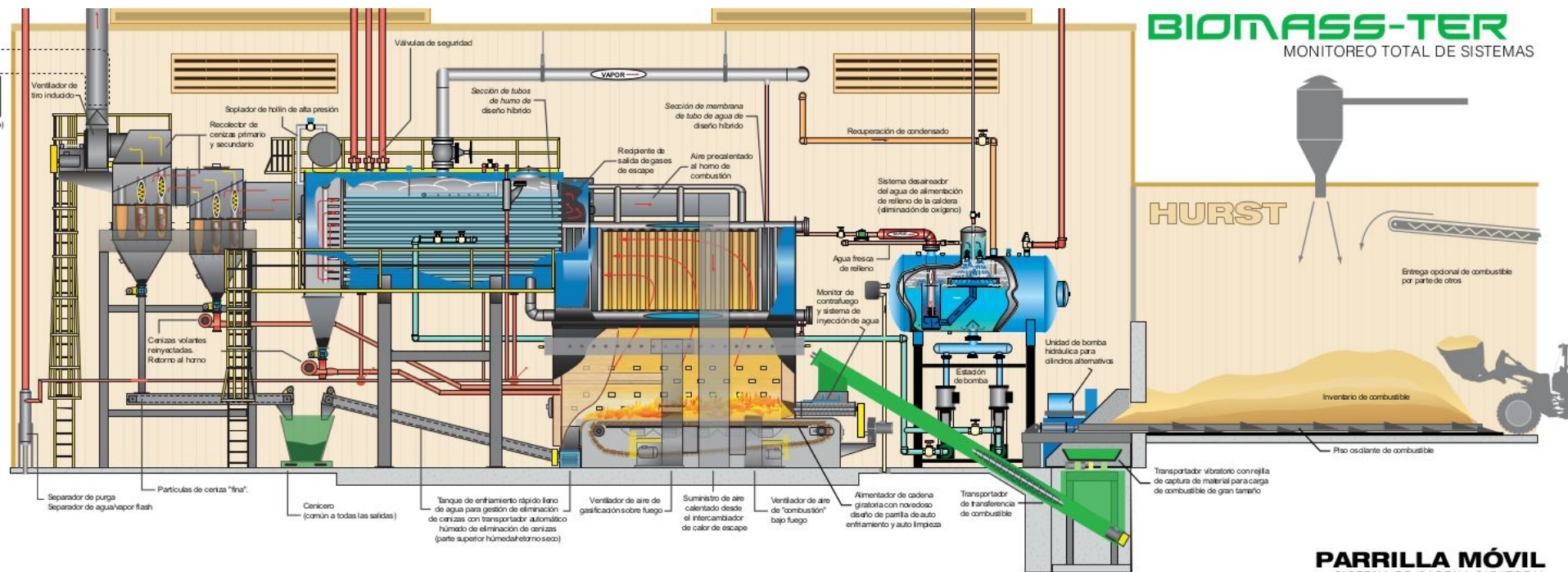


Lecho fijo. Tipos de parrillas

Parrilla de alimentación
inferior



Lecho fijo



PARRILLA MÓVIL
SISTEMA DE CADENA GIRATORIA

Lecho fijo

Fotos y videos

<https://www.youtube.com/watch?v=1NXFQZ-FjqY>

Quema en suspensión

Combustible de **tamaño y densidad** que permitan que una **corriente de aire** los **mantenga en suspensión** con velocidades razonables.

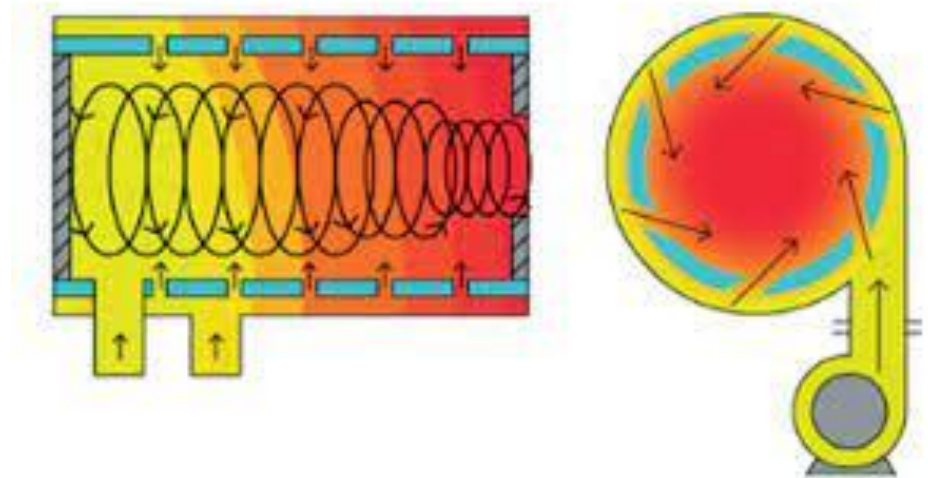
Por ejemplo: aserrín, polvo, cáscara de arroz

Quema en suspensión

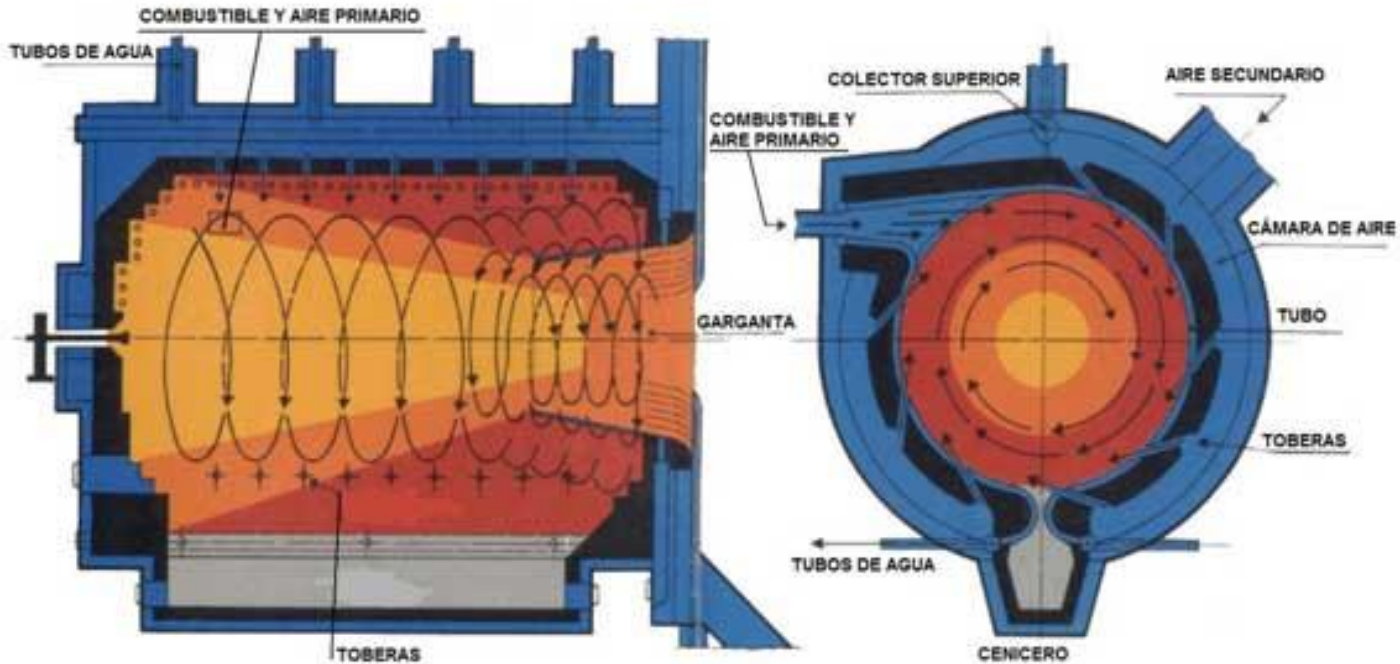
Combustible de **tamaño y densidad** que permitan que una **corriente de aire** los **mantenga en suspensión** con velocidades razonables.

Por ejemplo: aserrín, polvo, cáscara de arroz

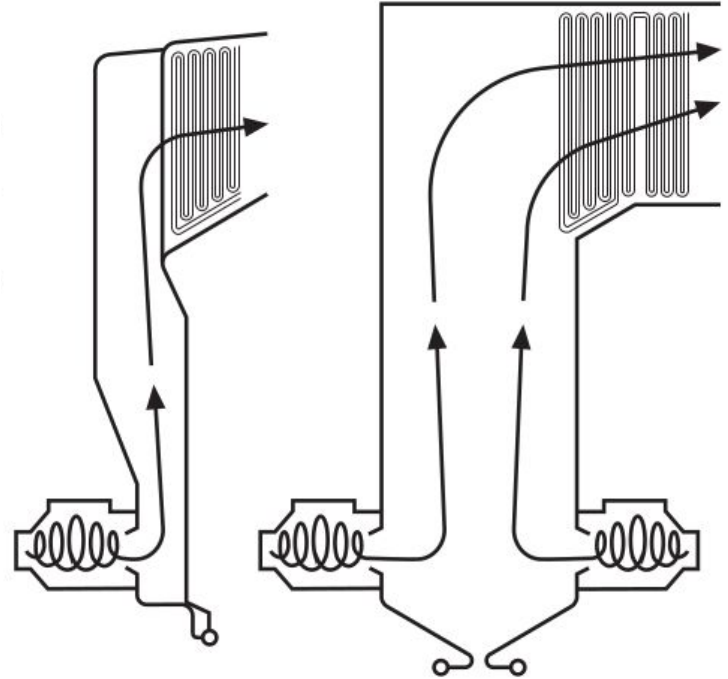
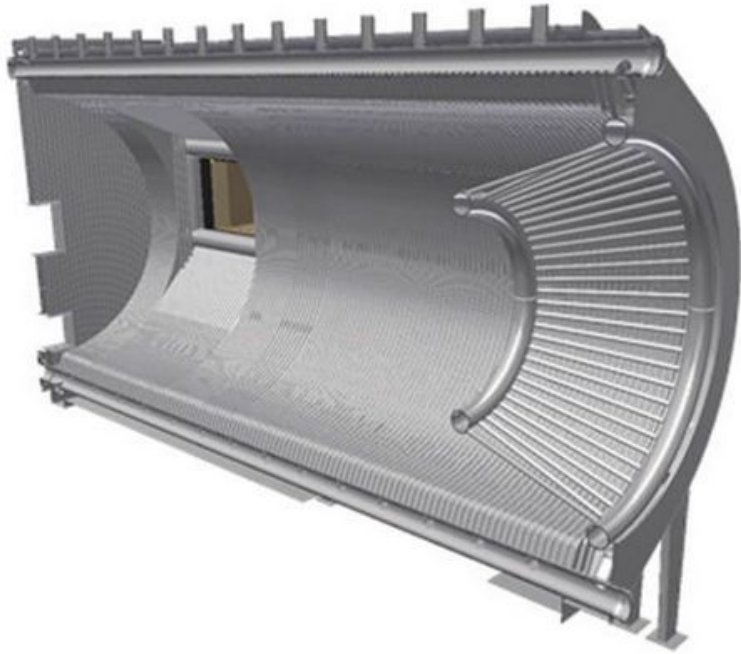
Cámara Torsional



Quema en suspensión

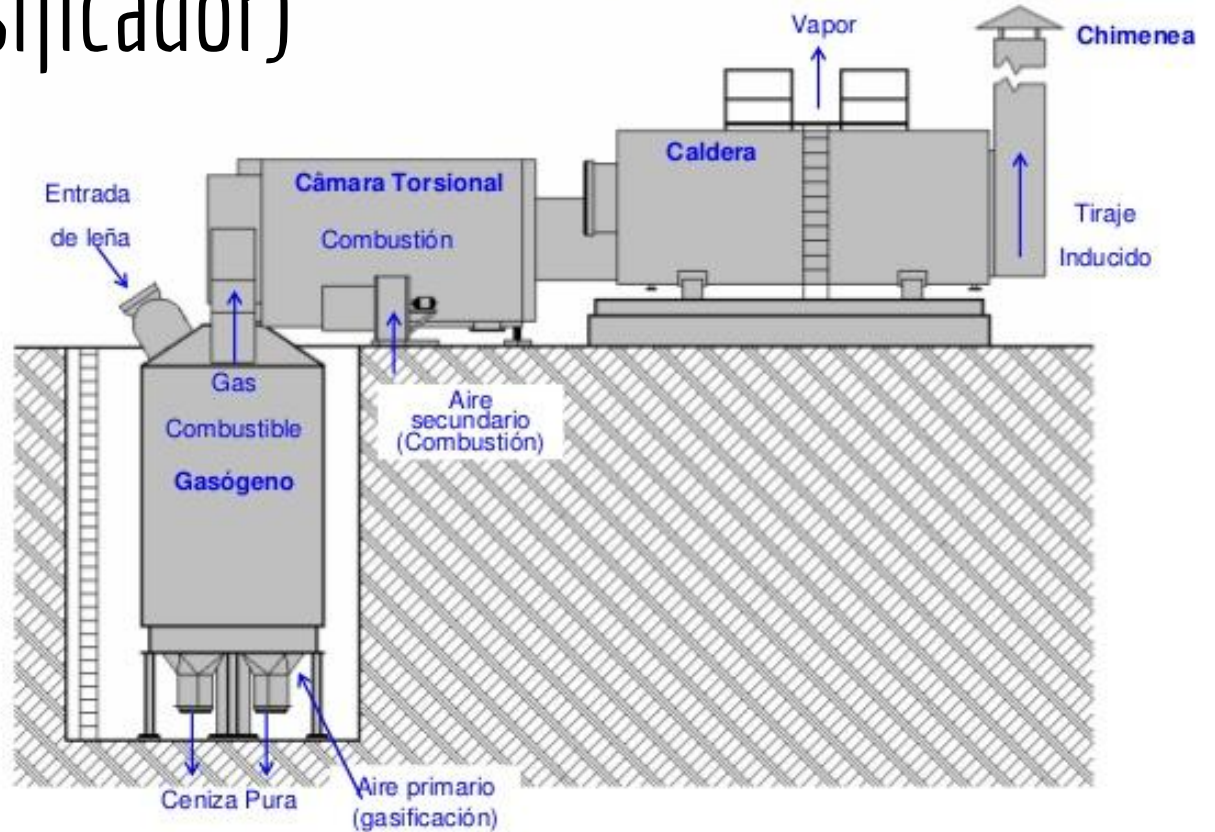


Quema en suspensión



Gasógeno (o gasificador)

Objetivo: Producir **gas de síntesis** ($\text{CO} + \text{H}_2$)



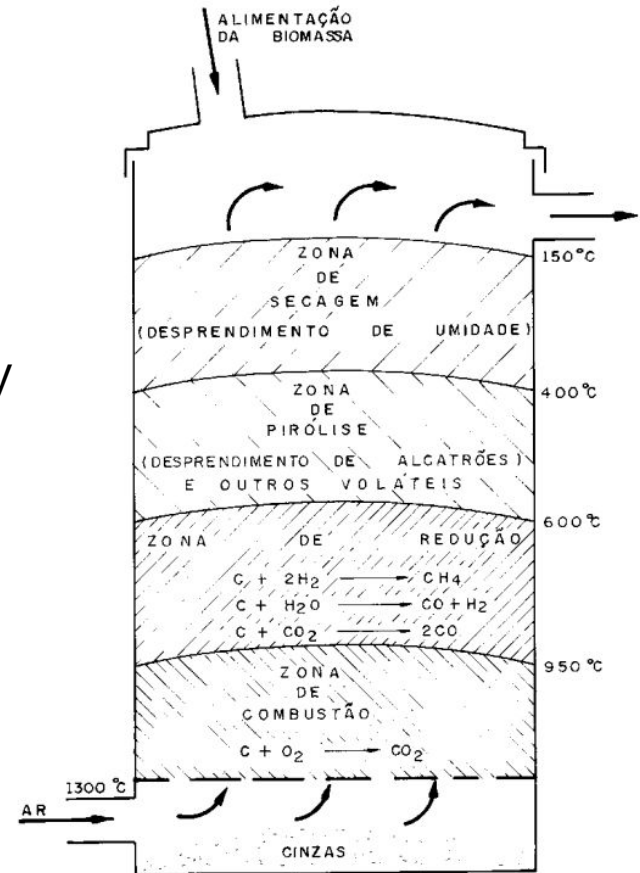
Gasógenos

Exceso de aire **negativo**: -40% aprox.

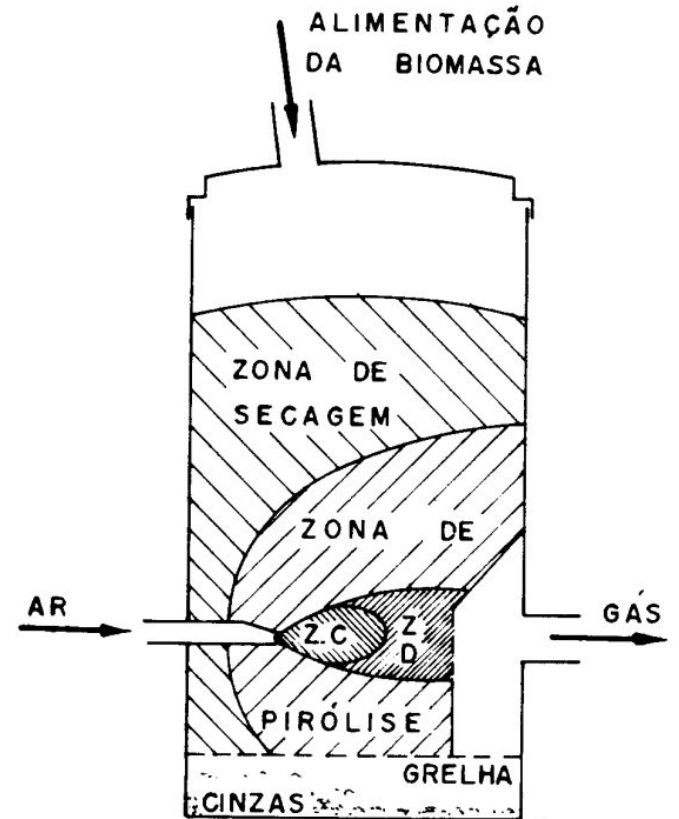
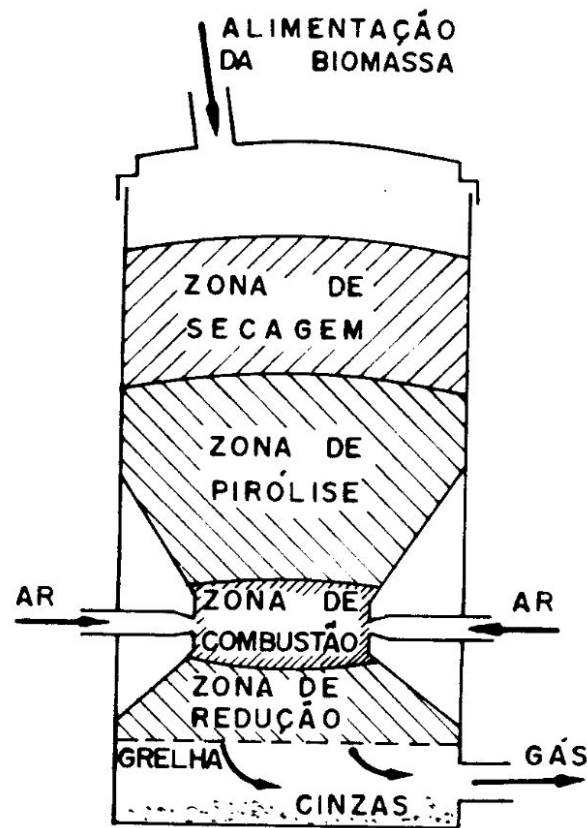
Camino de la partícula: **Secado**, **pirólisis**,
reducción de MC y **combustión** de la MC

Tipo **contracorriente** es el más usual en Uruguay

Para otras aplicaciones puede ser más
conveniente otro tipo (**concorriente o cruzado**)

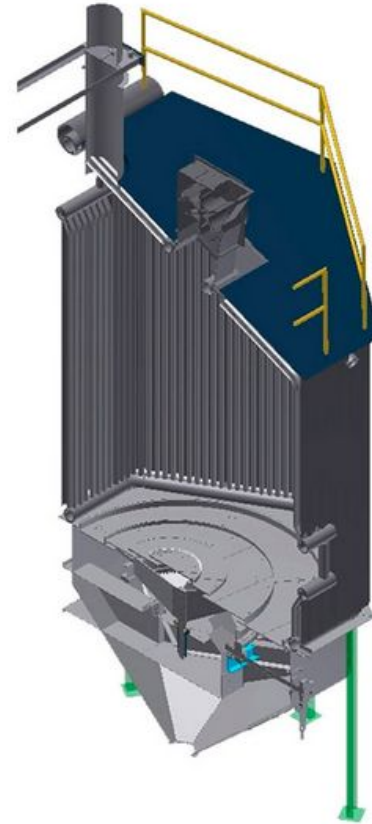
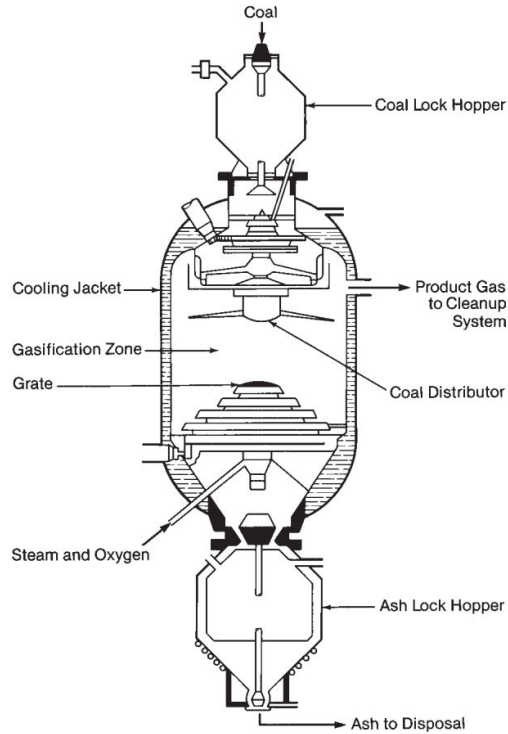


Gasógenos

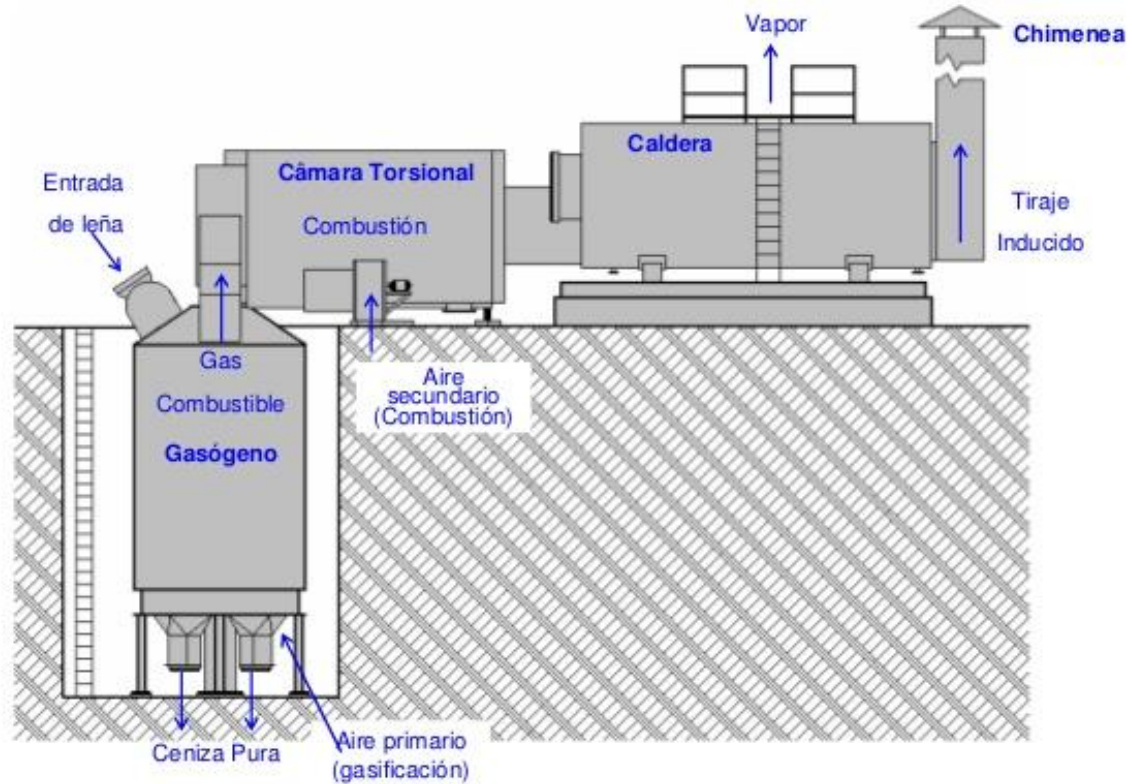


ZC = ZONA DE COMBUSTÃO
ZD = ZONA DE REDUÇÃO

Gasógeno contracorriente



Gasógeno + CT + GV



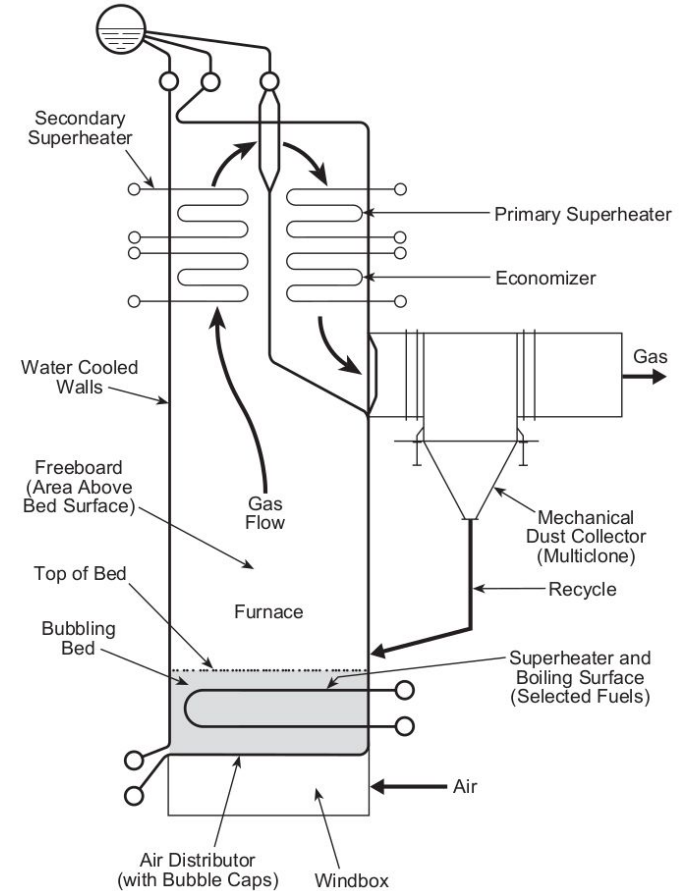
Gasógeno + CT + GV

Video de Berkes

https://www.youtube.com/watch?v=_TiD4z4moIM

Lecho fluidizado

1. Fenómeno de fluidización
2. Componentes principales de un sistema fluidizado
3. Ventajas y desventajas del lecho fluidizado
4. Aplicaciones industriales



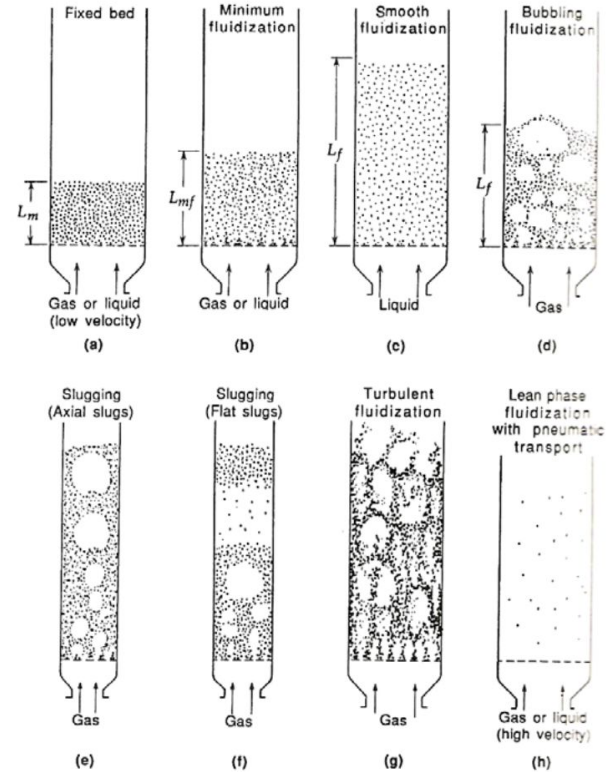
1. Fenómeno de la fluidización

La **fluidización** es un proceso por el cual una **corriente ascendente de fluido** (líquido, gas o ambos) se utiliza para **suspender partículas sólidas**. Desde un punto de vista macroscópico, la **fase sólida** (o fase dispersa) **se comporta como un fluido**, de ahí el origen del término fluidización.

- La **velocidad del fluido** debe ser lo suficientemente **alta** como para **suspender las partículas**, pero a la vez no tan elevada como para expulsar las partículas fuera del recipiente.
- Las partículas sólidas rotan en el lecho rápidamente, creándose un **excelente mezclado**.
- El **material que se fluidiza** es un **sólido** y el medio que fluidiza puede ser tanto líquido como **gas**.
- Las características y comportamiento de los lechos fluidizados dependen de las **propiedades del sólido y del fluido**.

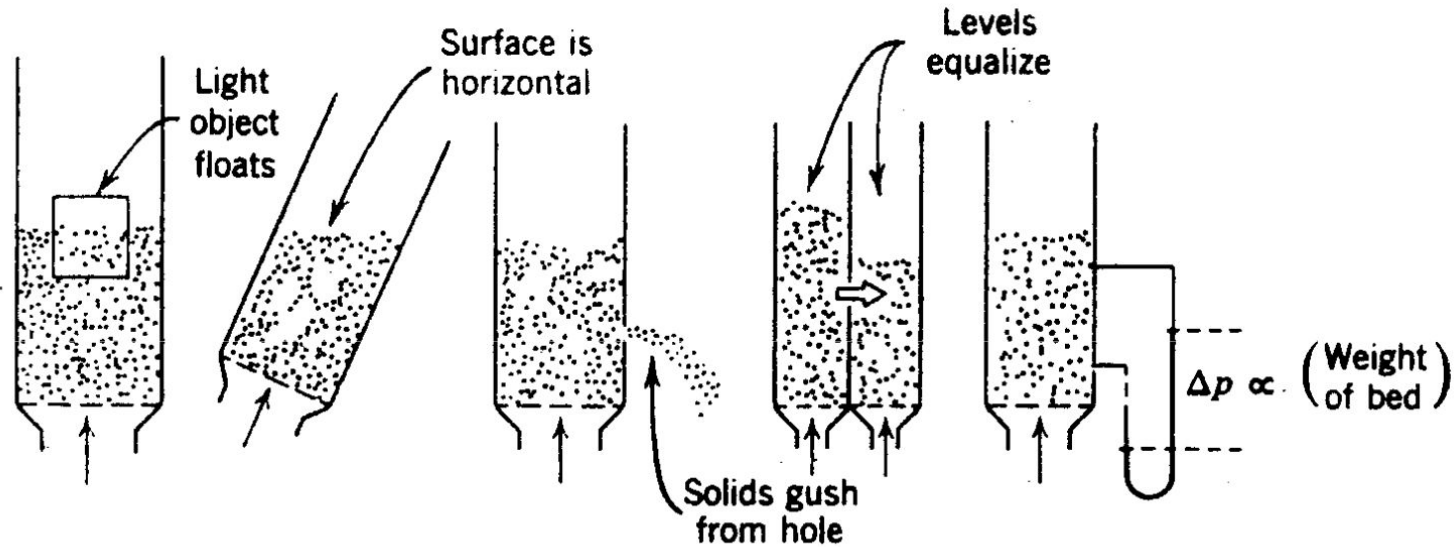
1. Fenómeno de la fluidización

- A. Lecho fijo
- B. Fluidización mínima (incipiente)
- C. Fluidización homogénea
- D. Lecho fluidizado burbujeante
- E. Slugging
- F. Lecho pistoneado
- G. Lecho fluidizado turbulento
- H. Transporte neumático



1. Fenómeno de la fluidización

Comportamiento similar a un fluido



2. Componentes principales del sistema

1. Columna
2. Distribuidor de gas
3. Soplador
4. Ciclón
5. Alimentador de material sólido

3. Ventajas del lecho fluidizado

- Elevado coeficiente de **transferencia de calor y masa** (gas-sólido y lecho-superficies inmersas)
- Elevada **superficie de contacto** sólido-gas (Ej: 1 m³ de partículas de 100 micras tiene un área superficial de 30.000 m²)
- Equipos **compactos**
- **Mejor distribución** de las partículas
- Mayor **homogeneización** del lecho (uniformidad axial de temperatura y composición)
- Sólidos presentan comportamiento similar a un fluido

3. Desventajas del lecho fluidizado

- **Erosión** de las paredes y los tubos con contacto con el lecho
- Generación de **partículas finas** debido al rozamiento
- **Arrastre de partículas** en la corriente de gas
- **Tiempo de residencia** de las partículas **no uniforme**
- Ciencia empírica, dificultad en la elección de correlaciones

4. Aplicaciones industriales

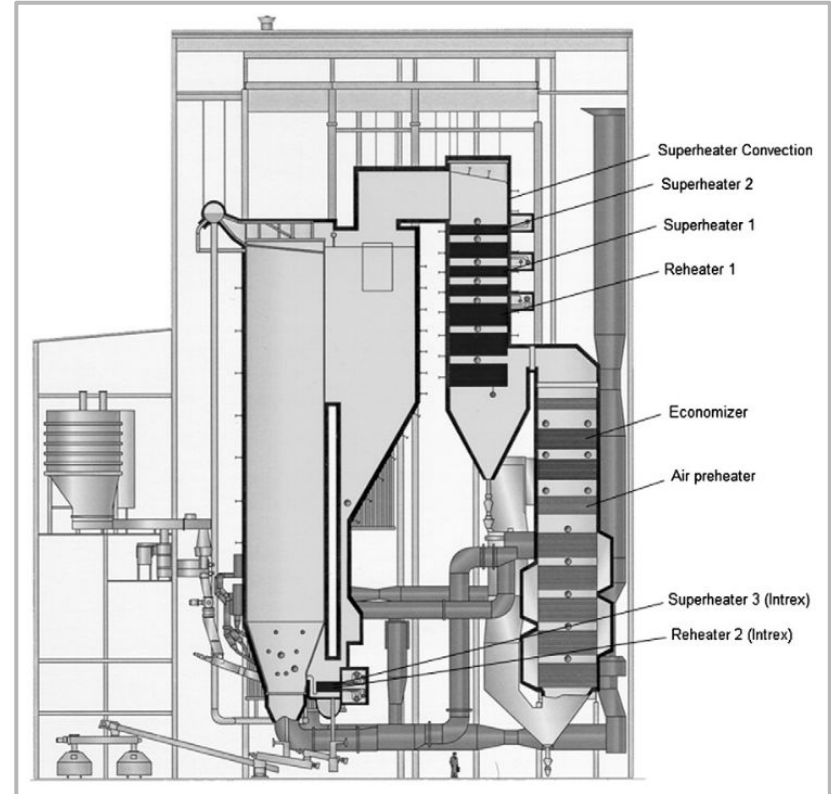
Montes del Plata

- Lecho de arena
- Combustible: corteza, finos (residuo del chipeco) y lodo primario (efluente)
- Producción de vapor: 65ton/h a 95bar y 455°C

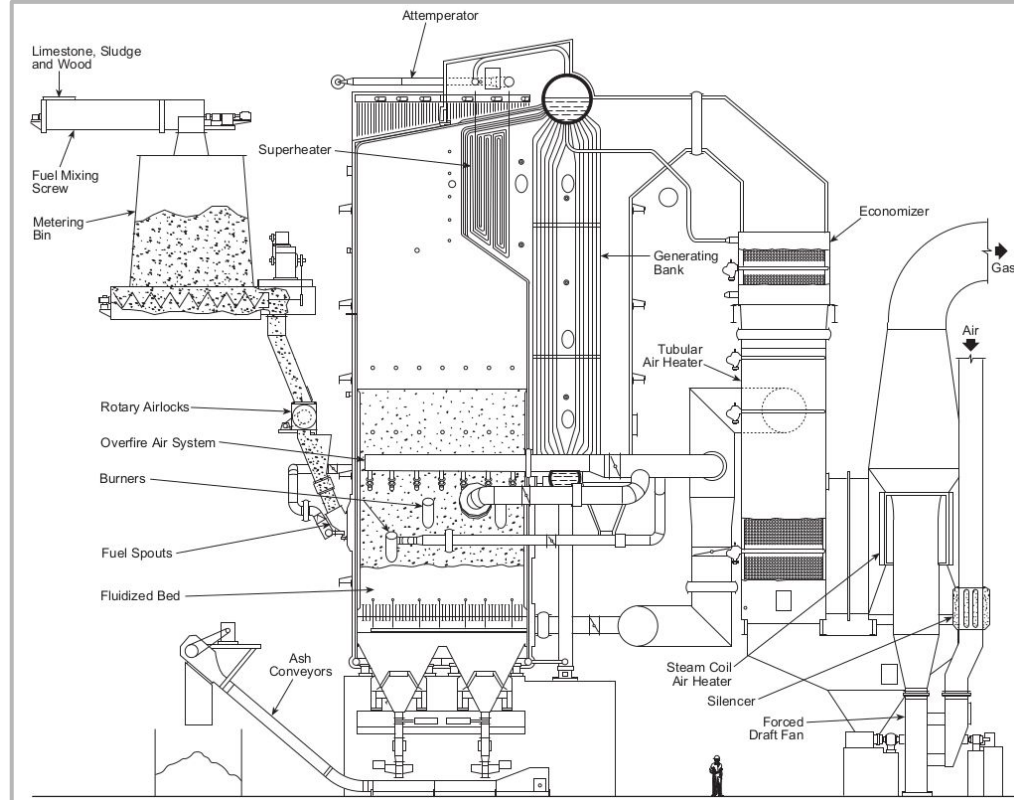


4. Aplicaciones industriales

Generador de vapor de **lecho fluidizado circulante** alimentado con biomasa

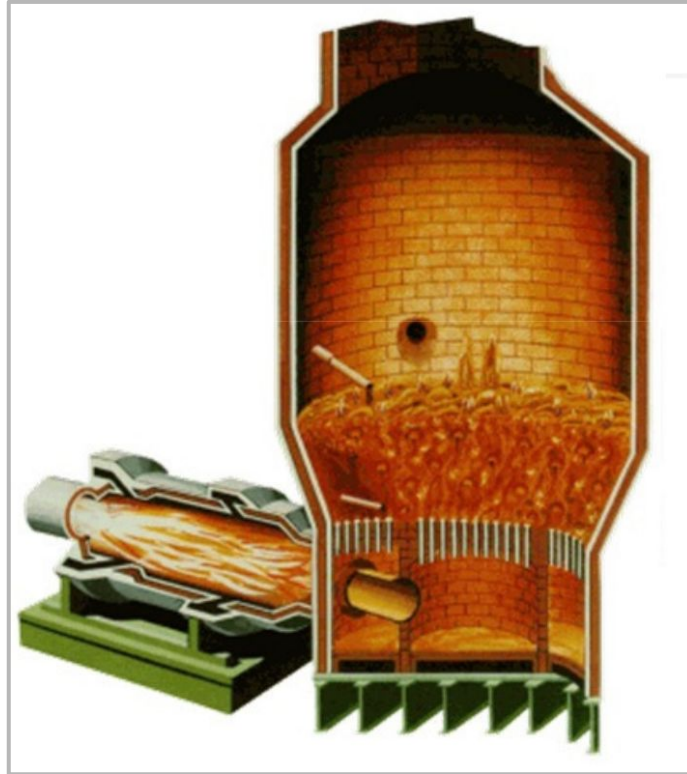


4. Aplicaciones industriales



4. Aplicaciones industriales

Incineración de sólidos



Cenizas



Cenizas

Las cenizas son el **residuo inorgánico** que resulta de la **combustión completa** de la biomasa.

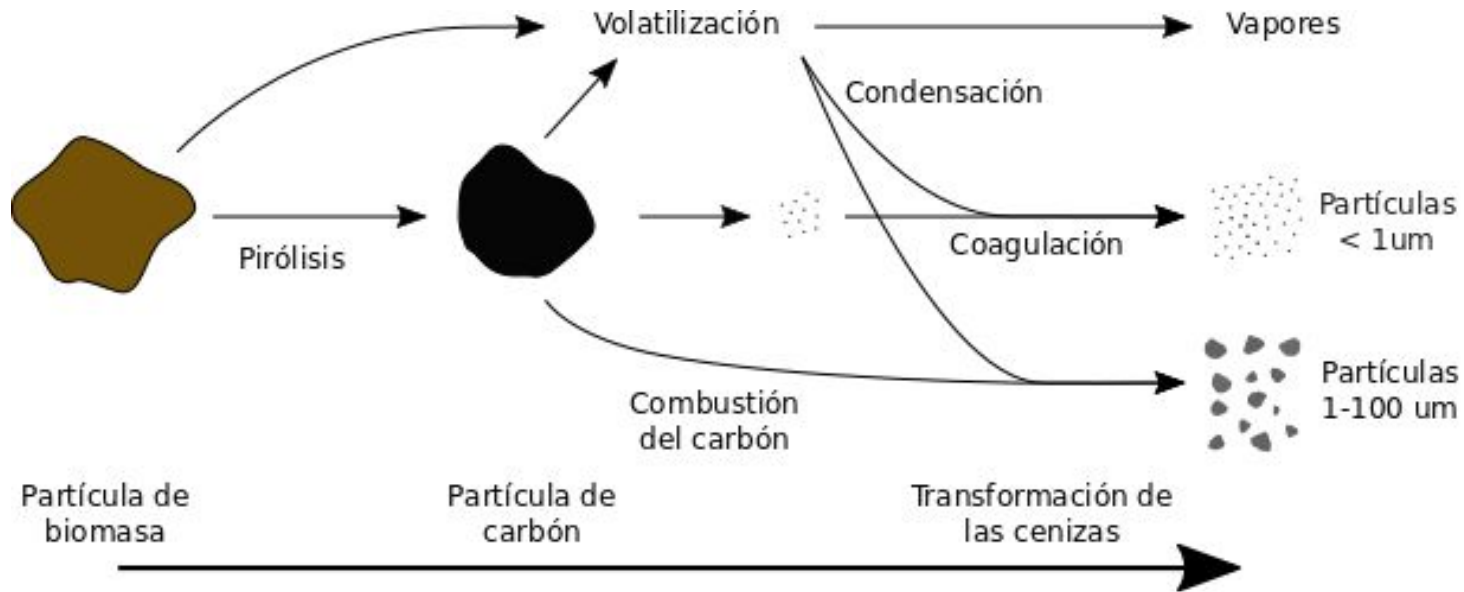
Principales problemas que generan las cenizas:

- Depositiones (fouling y slagging) genera resistencia térmica
- Aglomerados
- Corrosión
- Erosión
- Emisiones contaminantes (*fly ash*)



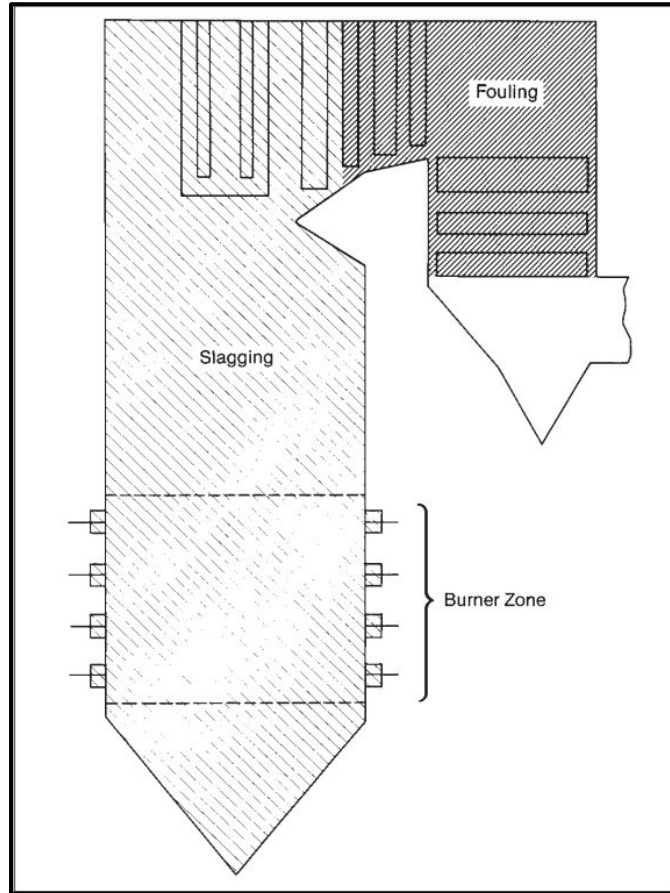
Cenizas

Formación y transformación de las cenizas durante la combustión

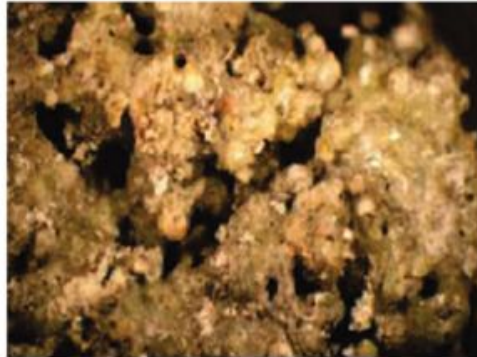
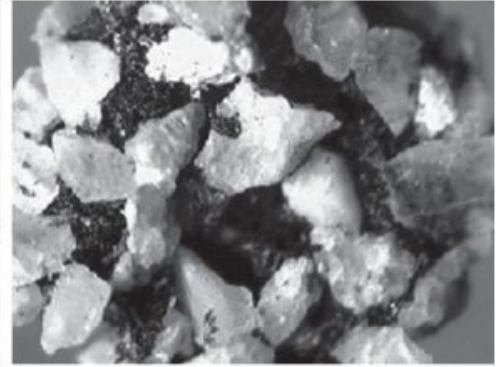
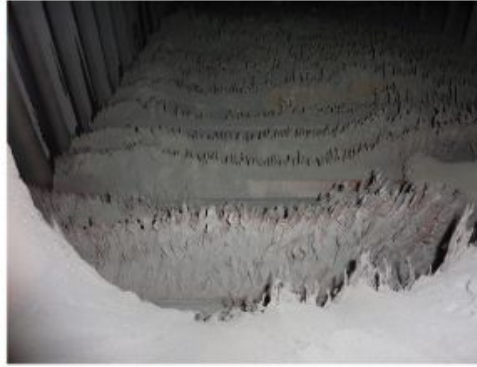
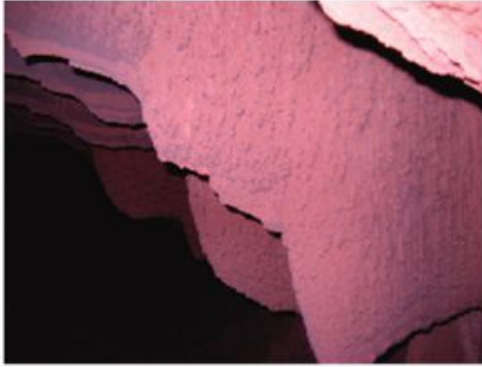


Cenizas

Fouling & Slagging

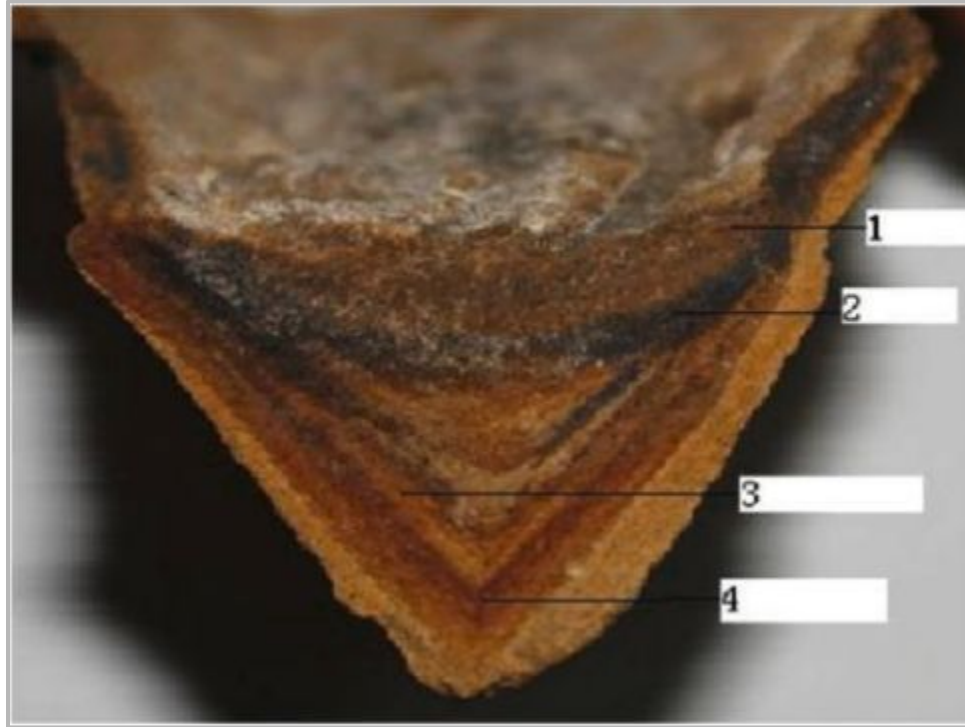


Cenizas

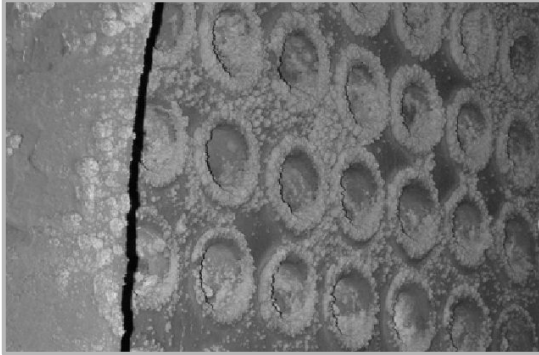


Cenizas

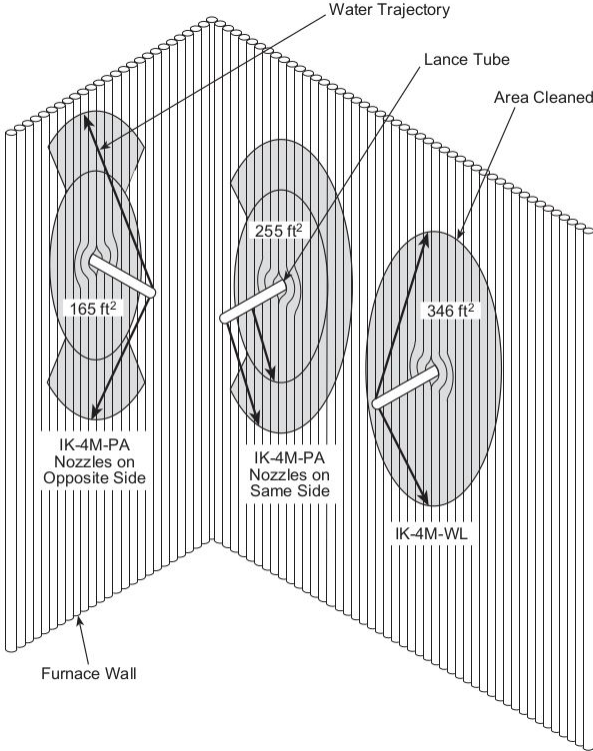
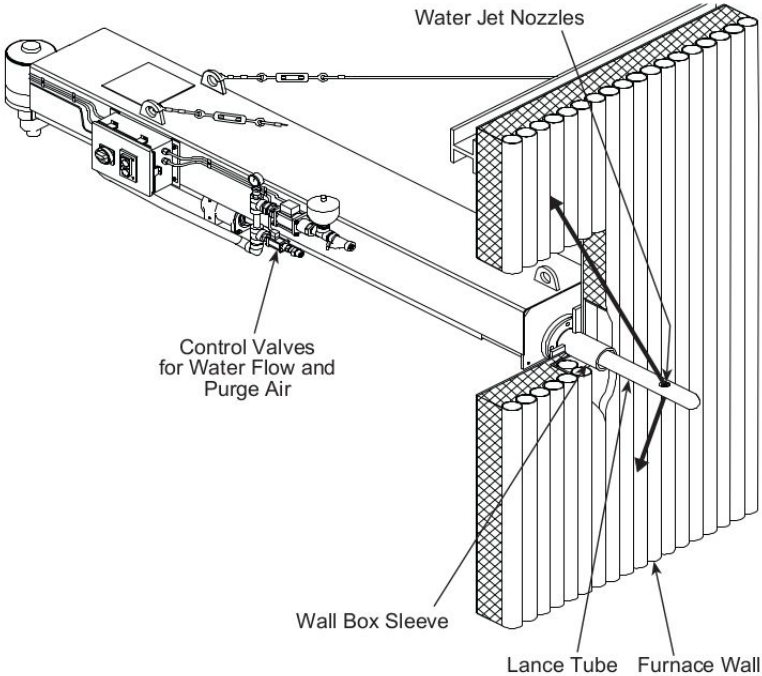
Slagging



Cenizas



Cenizas



Cenizas

Cepillado y aspirado

