





Mejora de combustión en calderas para cumplimiento de las normas sobre emisiones de particulado.



Contenido

	Pag.
1. Descripción general del problema	4
2. Variables que afectan la combustión, elevando las emisiones	5
2.1.1. Acumulación excesiva de biomasa sobre parrilla	6
2.1.2. Controlando acumulación excesiva de biomasa	7 - 8
2.2.1. Mala distribución de biomasa sobre parrilla	9
2.2.2. Optimización distribución de biomasa	10
2.2.3. Dispensor típico de biomasa	11 - 12
2.2.4. Solución distribución de biomasa	13
2.3.1. Conjunto alimentación y distribución biomasa	14
2.4.1. Mala distribución del aire pasando por la parrilla	15
2.5.1. Aire frío pasando por la parrilla	16
2.5.2. Pre-calentador típico	17



Mejora de combustión en calderas para cumplimiento de las normas sobre emisiones de particulado.



Contenido

	Pag.
2.6.1. Excesivo aire pasando por la parrilla	18
2.6.2. Solución al excesivo aire pasando por la parrilla	19
2.6.3. Datos para selección equipos controlando exceso de aire .	20
2.7.1. Deficientes aires de sobre-fuego	21 - 22
2.7.2. Daños en sobrecalentadores por deficientes aires de sobre-fuego.....	23
3. Conclusiones	24
Anexo 1. Calculando emisiones de particulado	25 - 28
Anexo 2. Problemas principales de los multi-ciclones verticales tradicionales	29 - 31
Anexo 3. Diferencias fundamentales de diseño en Multi-Ciclones ...	32 - 34
Anexo 4. Comparativo emisiones entre tipos Multi-Ciclones	35 - 36

1. Descripción general del problema

Las normas que limitan emisiones de particulado, son mas exigentes cada año, mientras que las tecnologías para combustión de biomasa y carbón triturado no han evolucionado suficientemente.

La mayoría de calderas quemando biomasa, actualmente en Latino América, reflejan diseños de los años 60, cuando se pensaba incinerar la biomasa sin preocupación por la eficiencia térmica o las emisiones de particulado.

Los países Nórdicos están liderando tecnologías nuevas para mejorar la eficiencia térmica y reducir las emisiones de particulado.

En Estados Unidos, también se están desarrollando tecnologías que mejoran la combustión, implementando sistemas de aire sobre-fuego muy eficientes.

Para mejorar la combustión en calderas existentes, con parrillas fijas, hogares pequeños, aires de sobre-fuego insuficientes, sin control de alimentación ni distribución adecuada de biomasa, se pueden realizar adecuaciones de bajo costo comparadas con la adquisición de nuevas calderas.

Estas adecuaciones son descritas a continuación.

2. Variables que afectan la combustión, elevando las emisiones

- Acumulación excesiva de biomasa sobre parrilla
- Mala distribución de biomasa sobre parrilla
- Mala distribución del aire pasando por la parrilla
- Aire frío pasando por la parrilla
- Excesivo aire pasando por la parrilla
- Deficientes aires de sobre-fuego

2.1.1. Acumulación excesiva de biomasa sobre parrilla

Muchas calderas quemando biomasa, presentan falta de control en la alimentación de combustible, pues no incorporan alimentadores con variadores de velocidad, que permitan ajuste fino y rápido de la cantidad de biomasa que llega al hogar.

Los operadores se ven obligados a atizar el combustible, buscando abrir paso al aire bajo parrilla, ocasionando **altas emisiones de particulado**.

La presión del vapor generado, sube y baja sin lograrse mantener constante.

La cogeneración, obviamente, se ve afectada por estas variaciones frecuentes en la generación de vapor.

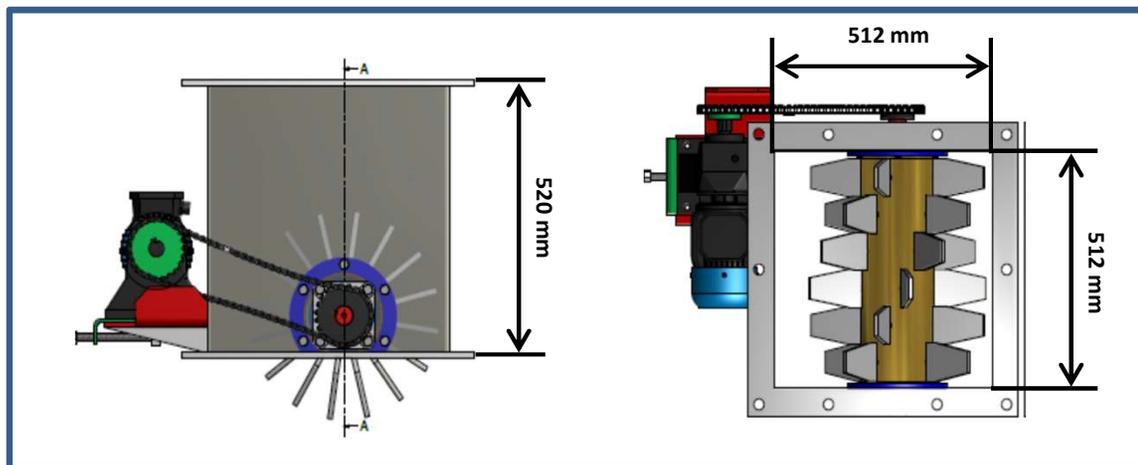


2.1.2. Controlando la acumulación excesiva de biomasa

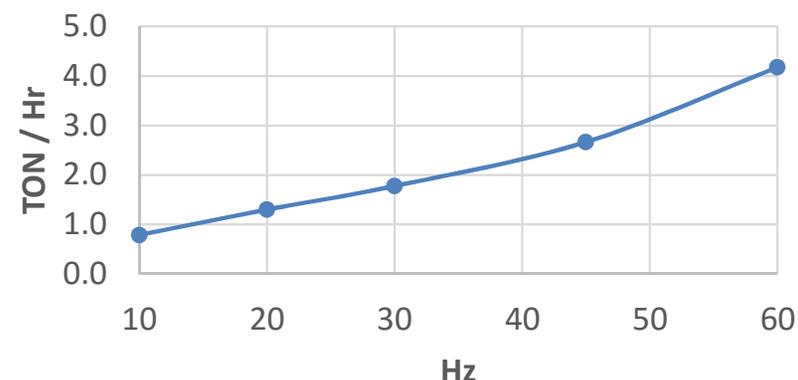
Instalando alimentadores diseñados para no atascarse con la biomasa, aun con altos niveles de humedad.

Incorporando moto-reductores que permitan variación de la velocidad según la frecuencia de alimentación.

Con bridas de conexión diseñadas para acoplarse a los ductos existentes.



Capacidad descarga



2.1.2. Controlando la acumulación excesiva de biomasa

En estas fotos podemos observar un diseño típico a la izquierda, donde existe un ingreso común a tres ductos, sin control preciso de cuanta biomasa llega a cada ducto. A la derecha podemos ver la misma caldera con tres alimentadores, que incorporan moto-reductores de velocidad variable.

Antes



Después



2.2.1. Mala distribución de biomasa sobre parrilla

Cuando la biomasa cae repetitivamente sobre la misma zona de la parrilla, se acumulan montículos por los que no logra pasar el aire bajo parrilla.

La capacidad para generar calor de una parrilla se mide con energía/área parrilla (btu/pie², kcal/m²).

Los montículos de biomasa sin quemar limitan la capacidad de generación del hogar al obstruir el paso de aire y por lo tanto la combustión en esa zona.

La mayoría de calderas instaladas incorporan algún sistema neumático para soplar la biomasa hacia el hogar. Otras ni siquiera tienen este sistema.

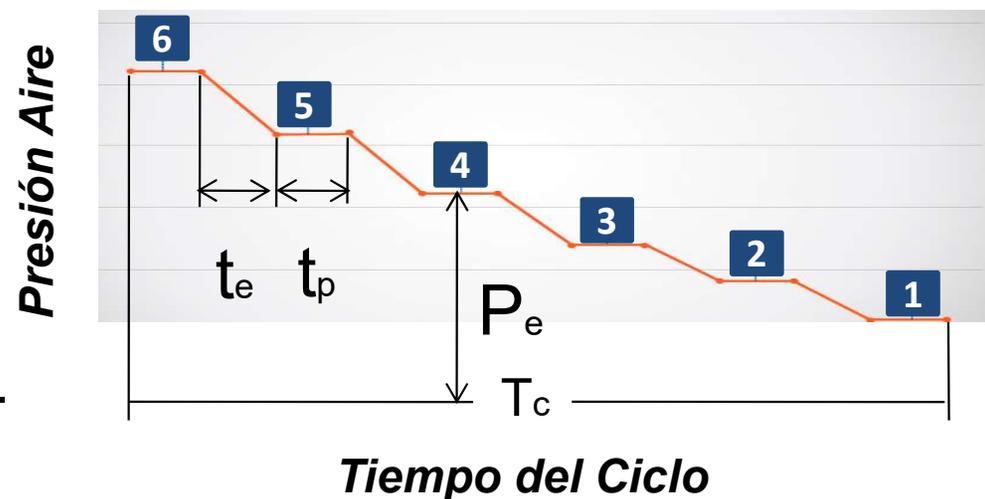


El control de un soplado variable, que arrastre la biomasa a distintas profundidades, es definitivo para lograr una distribución óptima.

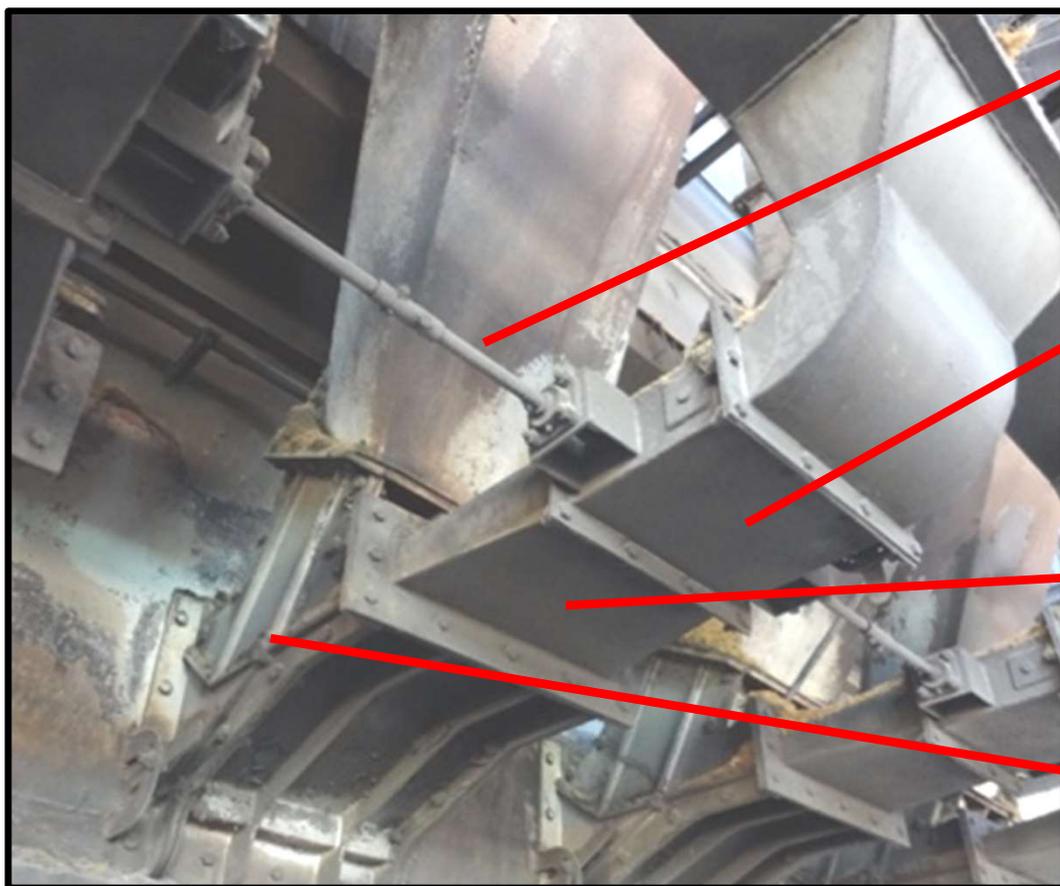
2.2.2. Optimización distribución de biomasa

La biomasa será lanzada a mayor o menor distancia dependiendo de la presión del aire detrás de cada boquilla

1. Controlar escalonadamente las presiones P_e detrás de las boquillas.
2. Controlar los tiempos t_p , de cada escalón.
3. Controlar los tiempos t_e entre escalones de presión



2.2.3. Dispersor típico de biomasa



Eje motriz provee rotación
simultanea a todas las válvulas

Válvulas tipo mariposa
rotan continuamente

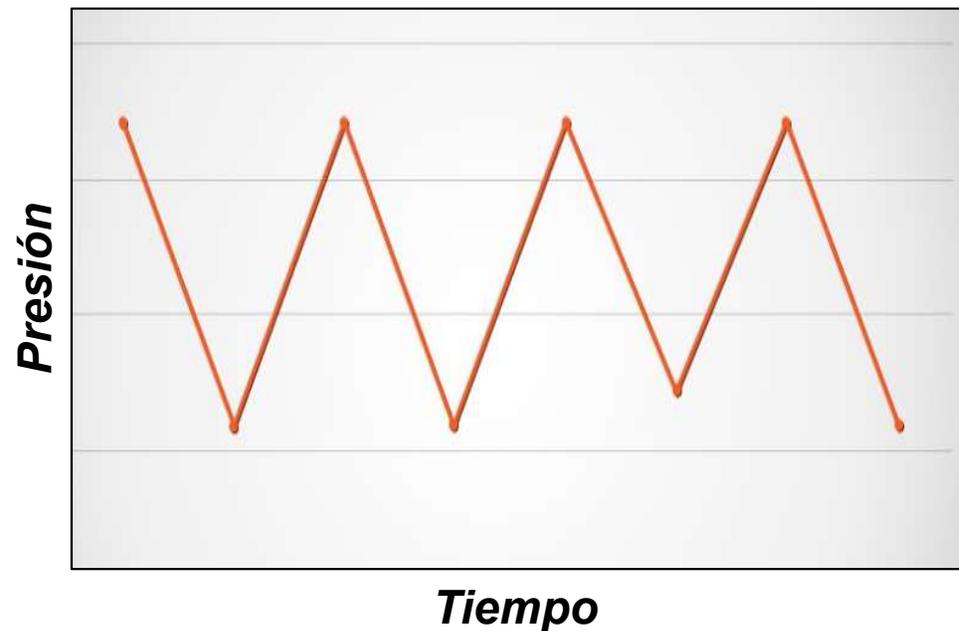
Ductos conectan las válvulas
mariposa a los distribuidores

Distribuidor

2.2.3. Dispersor típico de biomasa

Las válvulas mariposa rotando continuamente, producen una oscilación constante de la presión, sin detenerse en ningún valor por más de 2 segundos.

La gráfica refleja la variación de presión detrás de la boquilla cada vez que la mariposa rota 90° .



PROBLEMAS

1. *Biomasa se acumula en montículos limitando la combustión*
2. *Espacios destapados permiten el paso de aire que no se mezcla con la biomasa*

CONCLUSION :
COMBUSTION INEFICIENTE

ACUMULACIÓN

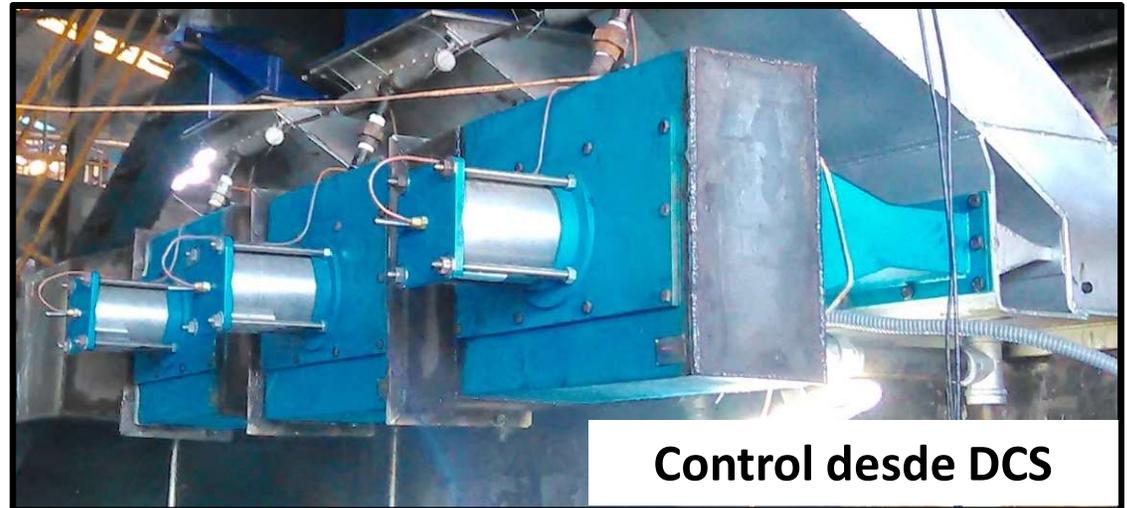


2.2.4. Solución distribución de biomasa

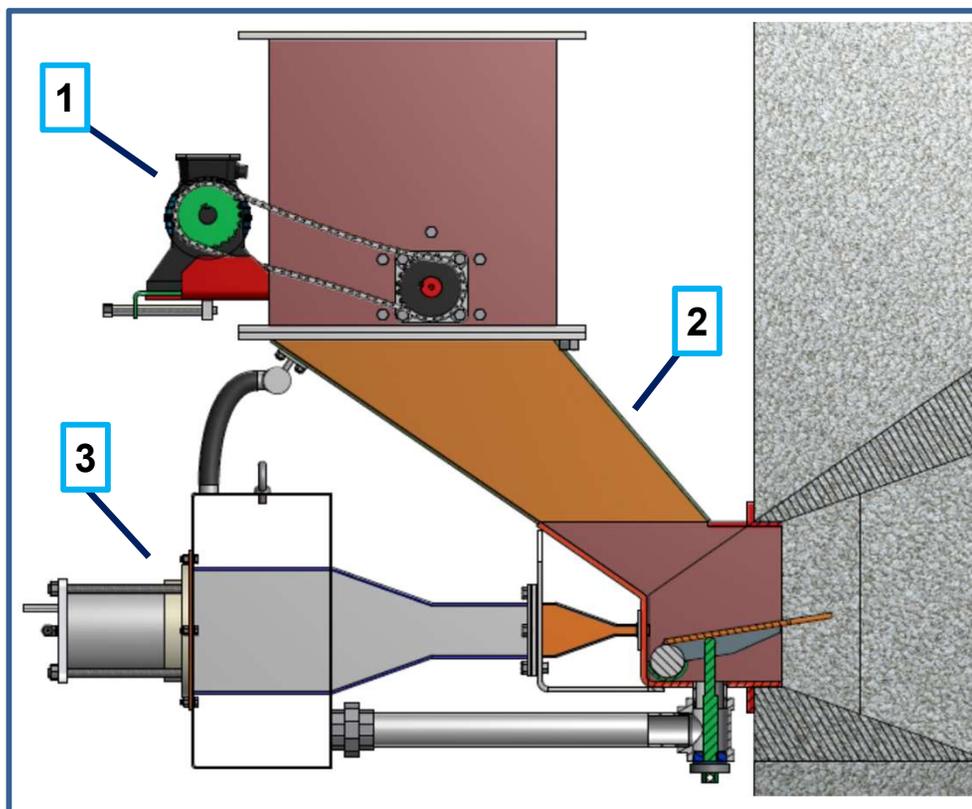
Utilizando válvulas de control que permitan variar las presiones detrás de las boquillas para soplado, se resuelve el problema descrito anteriormente.

Un tablero de control local, pre-programado con ciclos que varían escalonadamente las presiones detrás de cada boquilla, se logra este objetivo.

También puede realizarse este control desde un cuarto de control con un DCS.



2.3.1. Conjunto alimentación y distribución biomasa



Para mejorar los dos problemas de acumulación y mala distribución de biomasa sobre parrilla, es ideal una solución completa que incorpore los 3 elementos descritos en este dibujo.

El alimentador **1**, controla cuanta biomasa ingresa por cada distribuidor. El distribuidor **2**, dimensionado con paredes divergentes y un ángulo de caída generoso, permite la caída de la biomasa sin atascamientos.

La válvula de electro-neumática **3**, controlada por un PLC o un DCS, asegura una distribución uniforme de la biomasa sobre la parrilla.

Item	Descripción
1	Alimentador de biomasa
2	Distribuidor de biomasa
3	Válvula electro neumática para distribución de biomasa

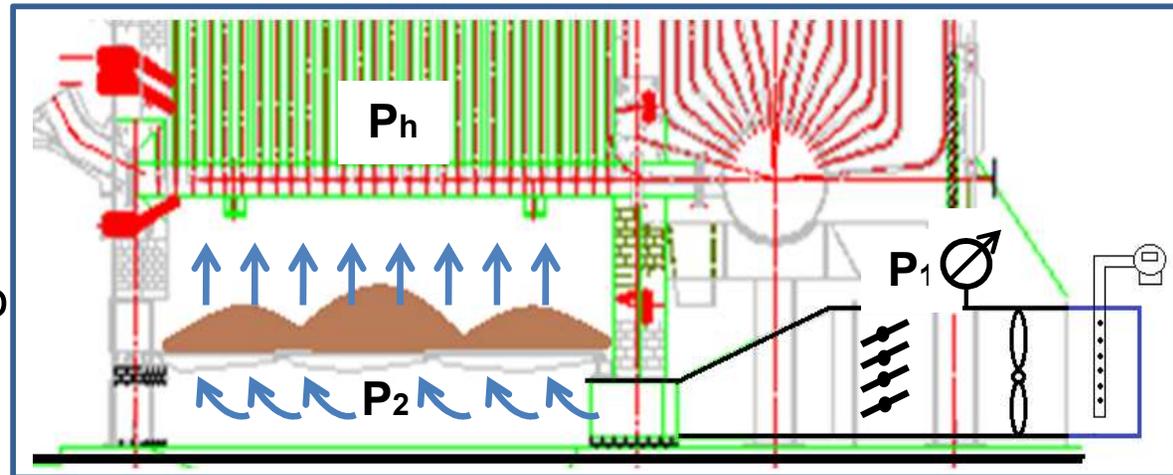
2.4.1. Mala distribución del aire pasando por la parrilla

La distribución del aire sobre parrilla depende del diferencial de presión $P_h - P_1$.

Este diferencial debe ser superior a 50 mmH₂O (2" H₂O)

La mayoría de calderas con parrilla fija (tipo pin-hole), operan con diferenciales muy por debajo de este valor.

Este problema lo ocasiona el diseño de las tablillas con demasiados orificios y/o orificios demasiado grandes.

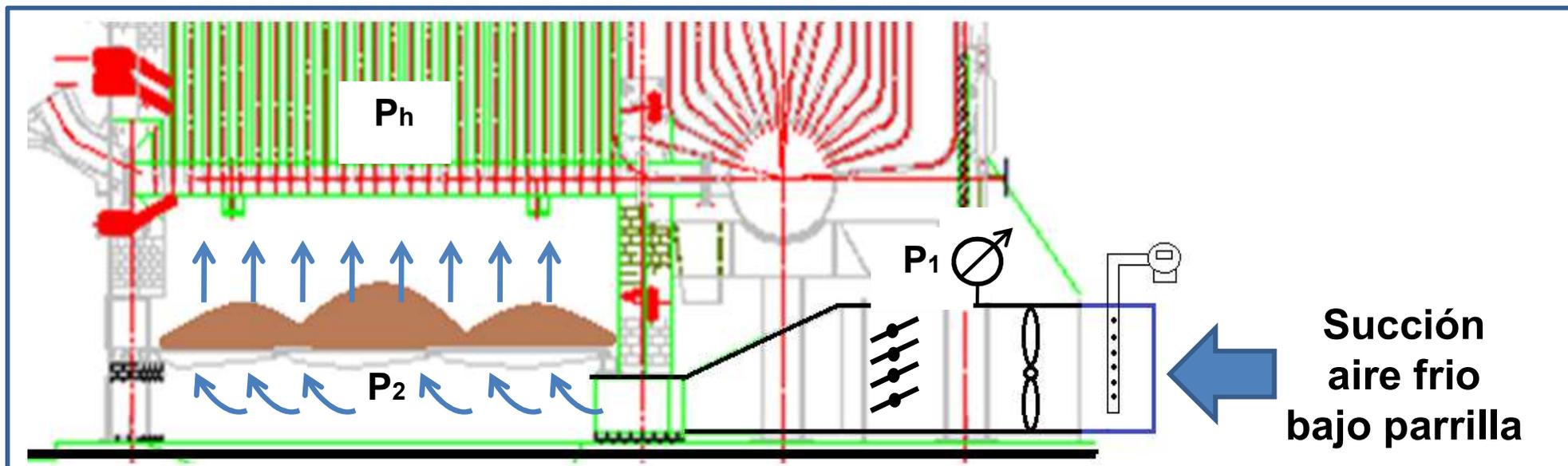


2.5.1. Aire frío pasando por la parrilla

La biomasa típicamente contiene altos niveles de humedad (35 – 60 %), que debe ser evaporada antes de iniciarse el proceso de combustión. Para lograr esto, el aire bajo parrilla debe ser pre-calentado por encima de 150 °C.

La mayoría de calderas instaladas operan con aire ambiente (20 - 35 °C), como resultado de esta deficiencia, la biomasa requiere mas tiempo depositada sobre la parrilla, hasta secarse completamente. Esto empeora el problema de acumulación descrito anteriormente.

Cuando los operadores ven que la presión de vapor comienza a caer, incrementan la alimentación de biomasa y la inyección de aire bajo parrilla. Esto empeora el problema de acumulación y **dispara las emisiones de particulado**.

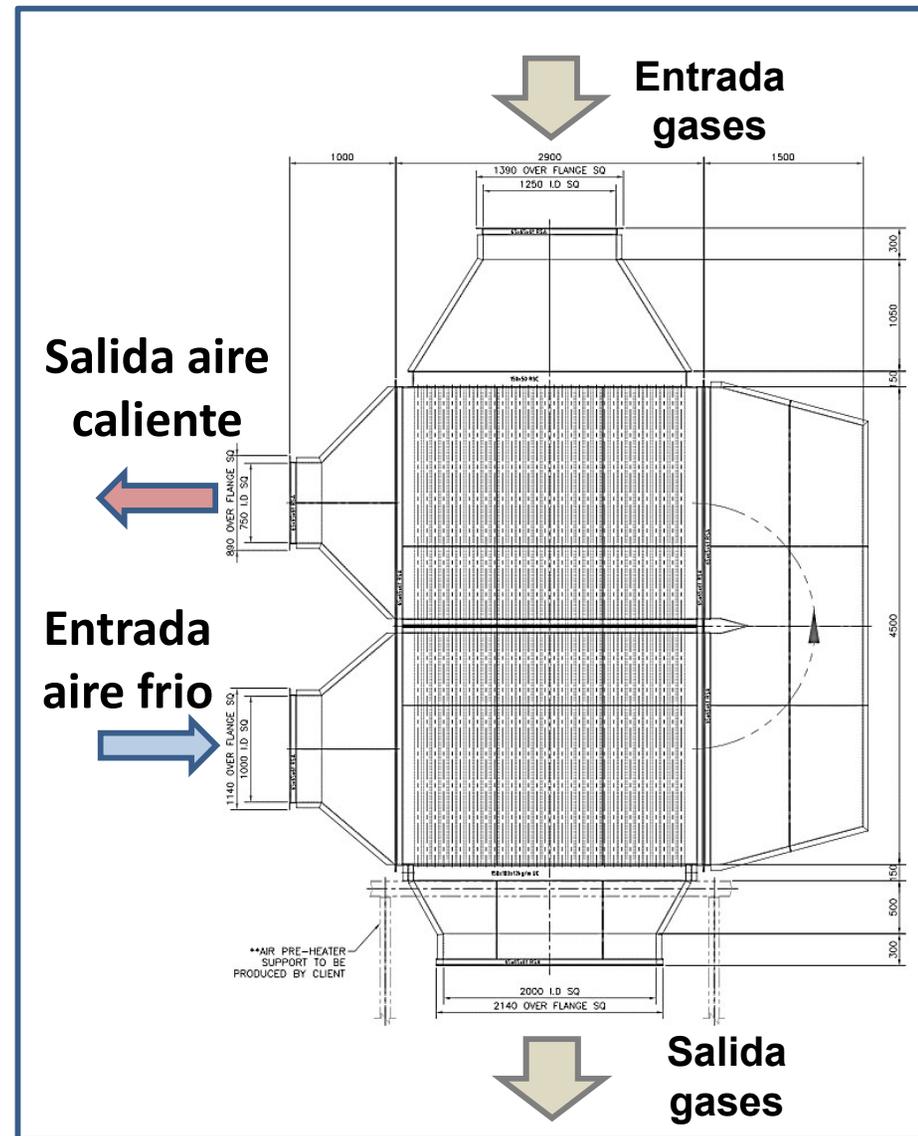


2.5.2. Pre-calentador típico

Este precalentador sirve para calentar el aire de 35 °C a 175 °C con los gases de una caldera que quema fibra y cascarilla de palma, generando 20 Ton/hr de vapor.

Datos típicos de diseño

Flue Gas flow	: 30,000 kg/hr
Flue Gas Exit Temperature	: 250°C
Cold Air flow	: 25,000 kg/hr
Cold Air Temperature	: 35°C
Combustion Air Temperature	: 175°C
Type of Air Preheater	: NONDIVIDED
No. of Passes	: Two(2)
Width of Air Preheater	: 2480 mm
Depth of Air Preheater	: 2480 mm
Height of Air Heater (Total)	: 4500mm
Air Preheater Heating Surface	: 920.26 m ²
Air Side Pressure Loss (pa)	: 333
Gas Side Pressure Loss (pa)	: 100
Air Preheater Tube Size	: 63.5 mm
Air Preheater Tube Quantity	: 1024 pcs.
Tube Material	: ASTM A 192



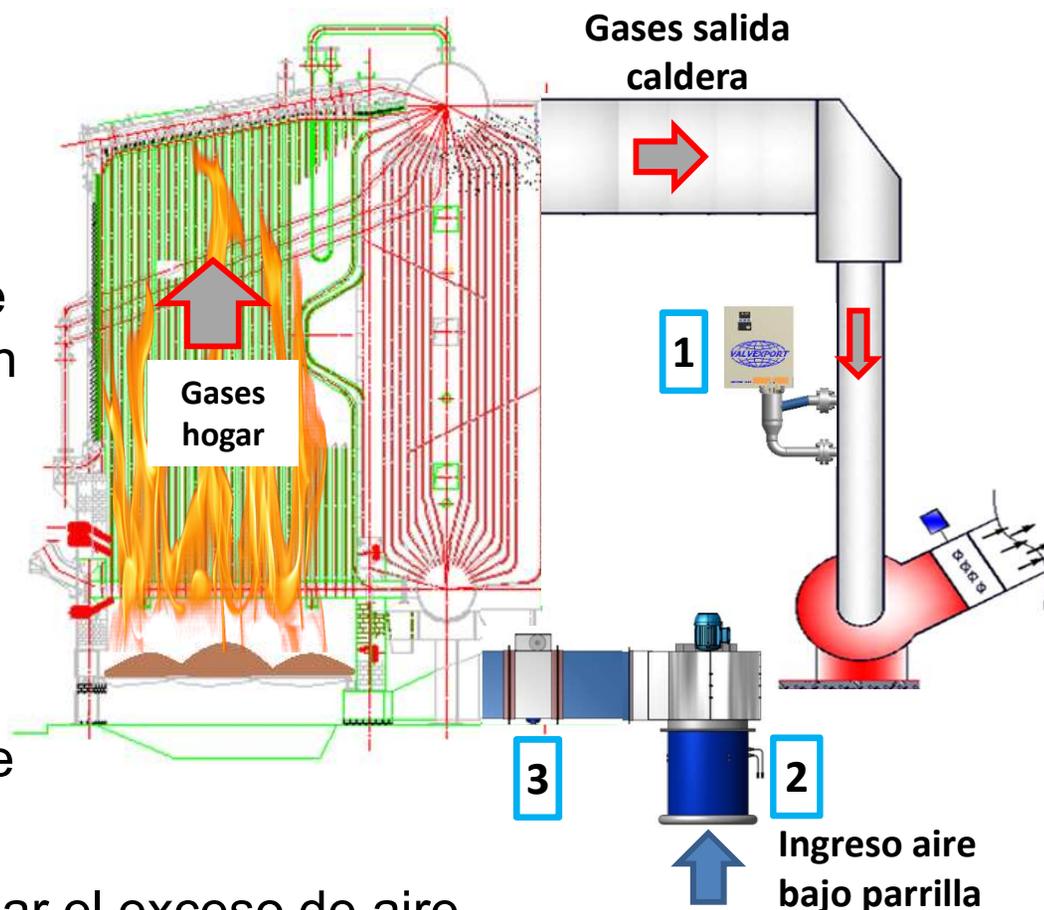
2.6.1. Excesivo aire pasando por la parrilla

La mayoría de los operadores de caldera utilizan mas aire del requerido para la combustión, puesto que es la decisión mas rápida y fácil, cuando empieza a decaer la presión del vapor generado.

El exceso de aire ideal, como porcentaje del aire estequiometrico, en calderas con parrilla fija, oscila entre un 30 y 40 %. Esto equivale a un nivel de oxigeno libre en los gases de salida, entre 5 y 6 %.

Típicamente encontramos calderas con niveles de oxigeno entre 8 y 12 %, lo cual equivale a 60 al 135% de exceso de aire.

Los equipos **1**, **2** y **3** permiten controlar el exceso de aire. La siguiente pagina explica la función de cada uno de ellos.



2.6.2. Solución excesivo aire pasando por la parrilla

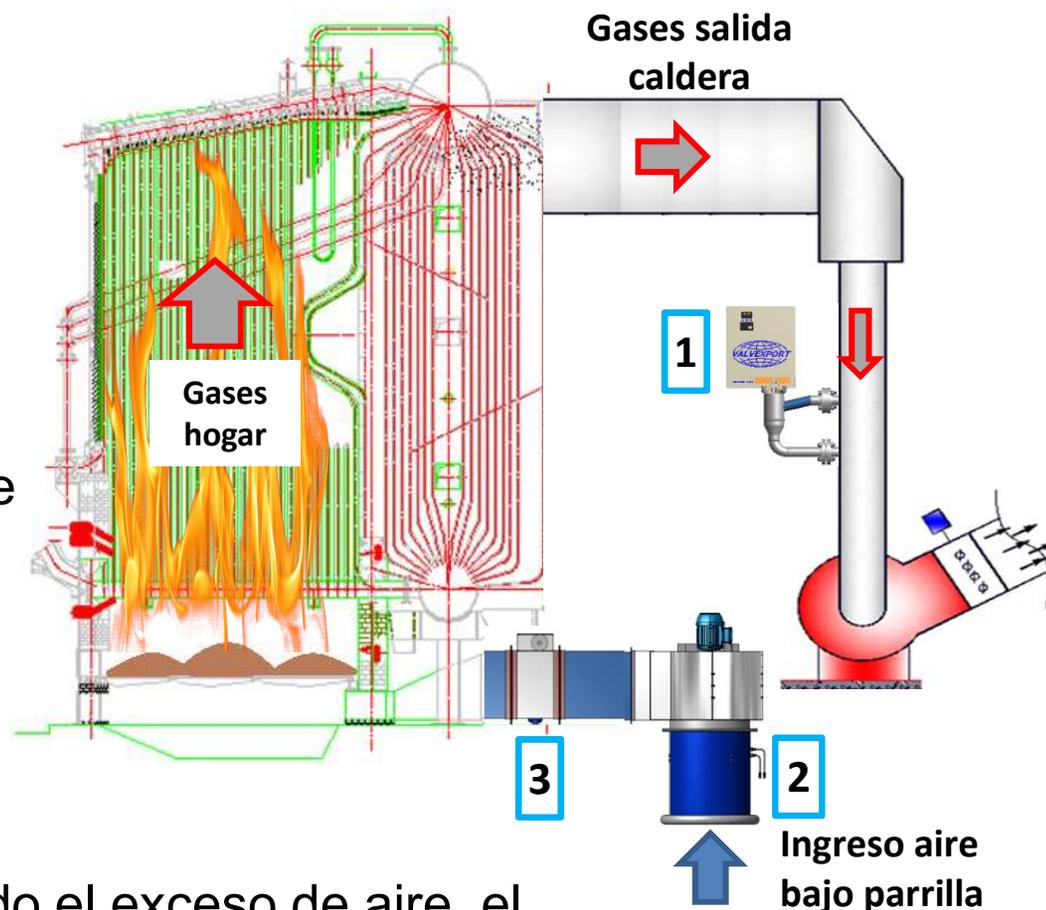
Excesos de aire superiores al 40 %, ocasionan los siguientes problemas:

1. Reducción eficiencia térmica
2. Excesivo arrastre de particulado

Para controlar el flujo de aire bajo parrilla se deben incorporar los siguientes equipos:

- 1 Analizador de O₂, para medición del oxígeno libre en los gases saliendo de la caldera.
- 2 Medidor de flujo aire entrando bajo parrilla.
- 3 Damper, para regular flujo de aire bajo parrilla.

El analizador indica el oxígeno, reflejando el exceso de aire, el damper, regula automáticamente la cantidad de aire ingresando. El medidor corrobora la cantidad de aire inyectada.



2.6.3. Datos para selección equipos controlando exceso de aire

Analizador O2 con sondas extractoras	Medidor de flujo con transmisor de presión	Damper con actuación neumática
		
<p>Se necesita conocer las dimensiones del ducto donde se va instalar, así como, la temperatura de los gases</p>	<p>Se necesita conocer el diámetro de ingreso al ventilador y los flujos máximo / mínimo.</p>	<p>Se necesita conocer las dimensiones del ducto y la caída de presión máxima para el flujo máximo.</p>

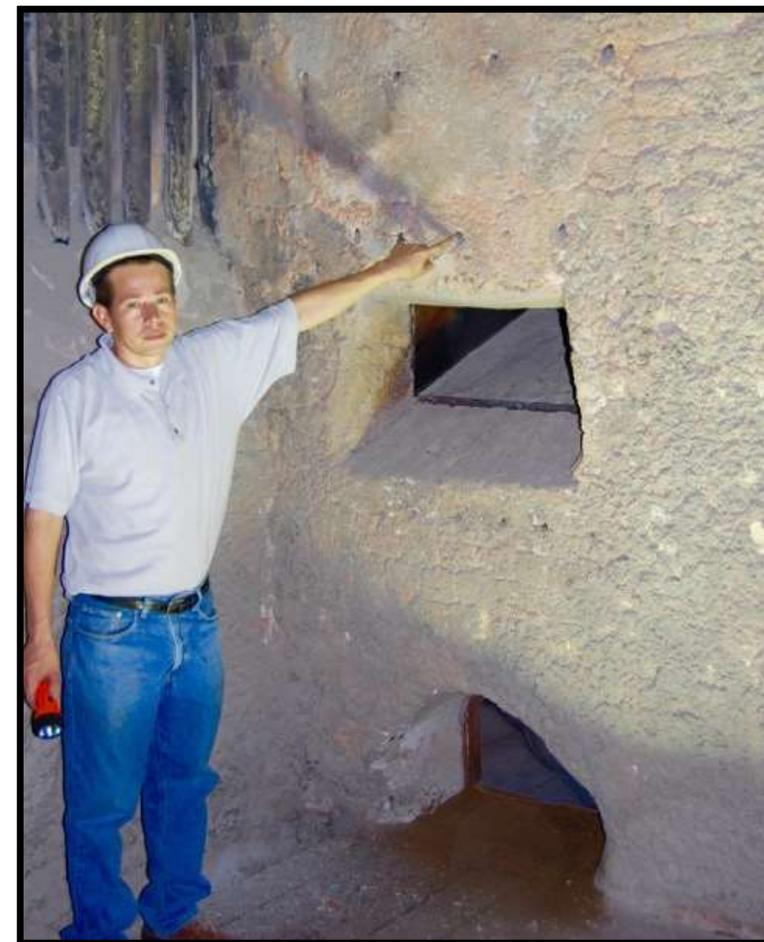
2.7.1. Deficientes aires de sobre-fuego

Del aire total para combustión de biomasa, el aire de sobre-fuego debe representar entre el 40 y el 50 %

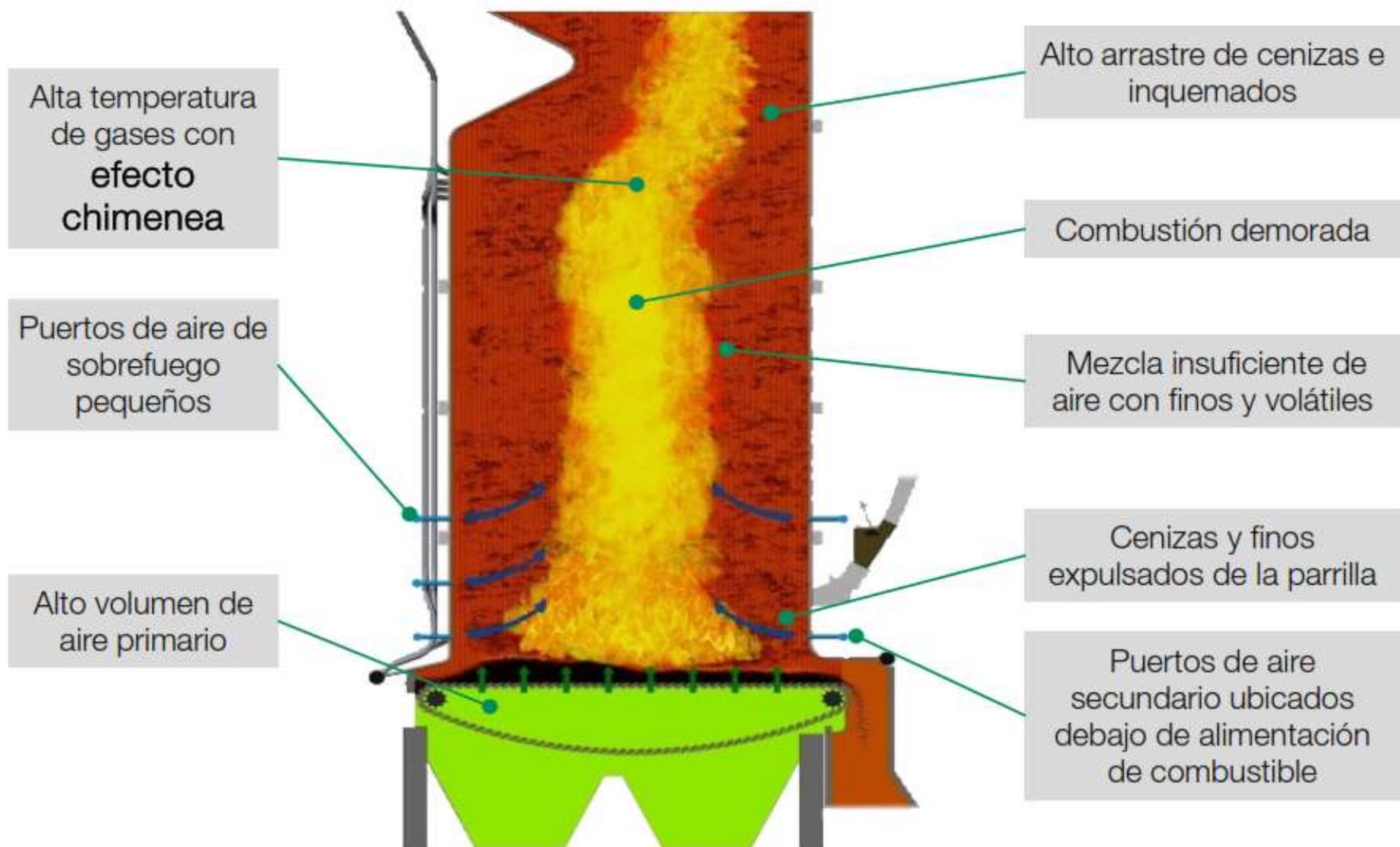
La gran mayoría de las calderas “pequeñas”, generando menos de 50 Ton/hr de vapor, incorporan sistemas para aire de sobre-fuego que inyectan menos del 20 % del aire total.

Además de aire insuficiente, es frío (aire ambiente) enfriando los gases de combustión que deben estar calientes para quemar las partículas en suspensión.

Como si estos dos problemas fueran pocos, se añade el problema de muchos orificios, muy pequeños (ver foto), generando múltiples jets de aire que no logran mezclarse bien con los gases ascendentes y por lo tanto no ayudan a terminar la combustión de las partículas en suspensión.



2.7.1. Deficientes aires de sobre-fuego



2.7.2. Daños en sobrecalentadores por deficientes aires de sobre-fuego

El efecto chimenea descrito anteriormente es ocasionado por la siguientes variables:

- Excesivas acumulaciones biomasa
- Altos excesos de aire
- Deficientes aires de sobre-fuego

Las altas llamas, concentradas en algunas zonas de la parrilla, son avivadas por los altos flujos de aire ascendiendo en el hogar.

Aires inyectados horizontalmente, por encima de la altura donde ingresa la biomasa, con suficiente momentum (MxV) para cruzar las llamas verticales, son necesarios para terminar la combustión de particulado dentro del hogar antes de llegar a los sobrecalentador.

SOLUCION: mejorar distribución de biomasa, reducir exceso de aire e incrementar aires de sobre-fuego con jets de alto momentum.



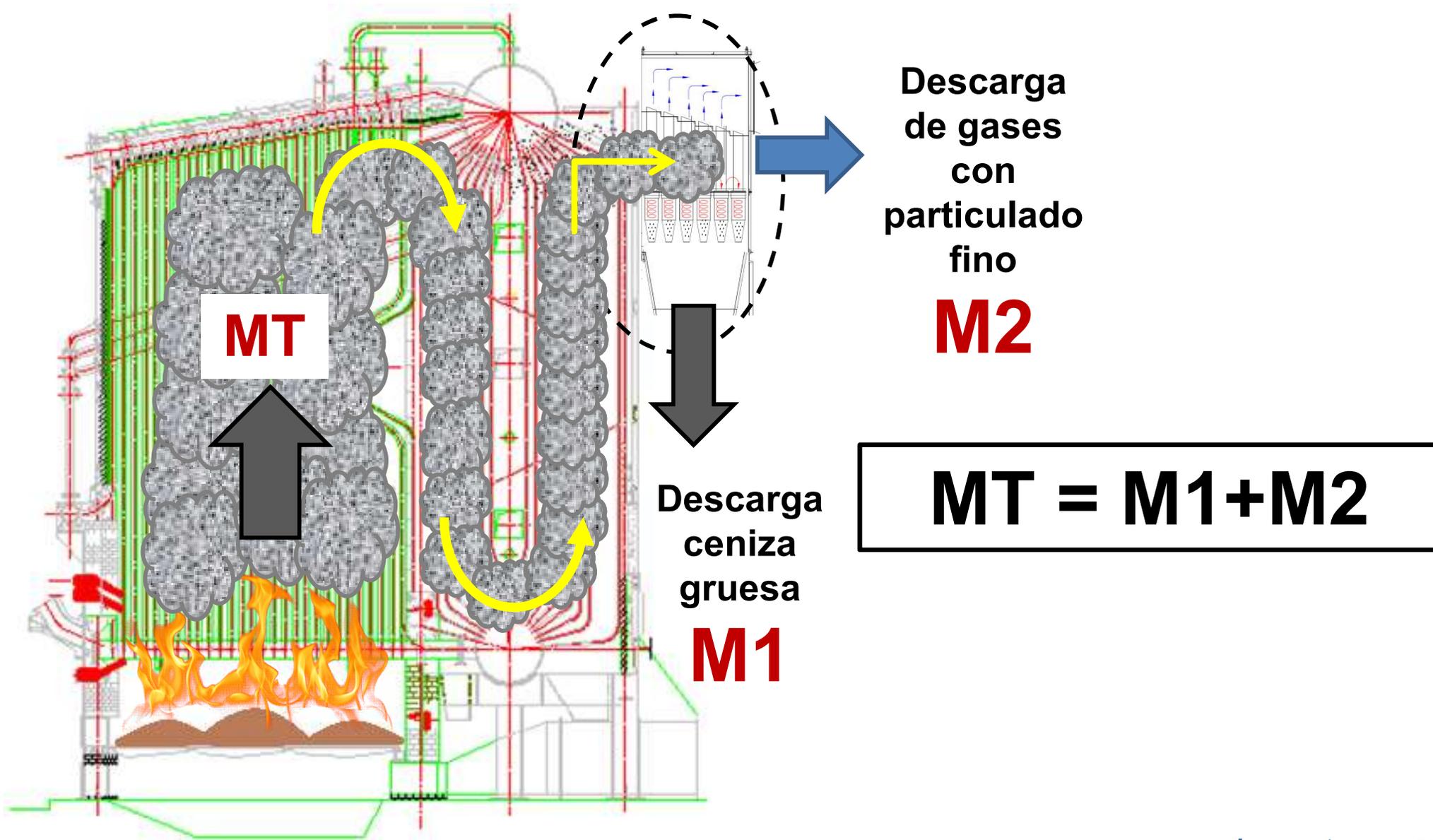
3. Conclusiones

1. La combustión de calderas para biomasa, puede ser mejorada implementando tecnologías que cuestan una fracción del valor de reposición con calderas nuevas.
2. El costo de los equipos para filtrado de particulado en los gases saliendo de una caldera, se reduce considerablemente al reducir el exceso de aire, la temperatura de los gases y la cantidad de particulado.
3. La implementación de estas tecnologías se puede realizar por etapas, dentro de los tiempos normales de parada para mantenimiento.
4. Las empresas que provean estas soluciones, deberán ofrecer soluciones integrales, suministrando los equipos, supervisando instalación y entregando al personal técnico de la planta.
5. El cambio cultural de los operadores, es fundamental para el éxito de este tipo de proyectos. ***Menos es mas!!***

Menos exceso de aire, mas eficiencia.

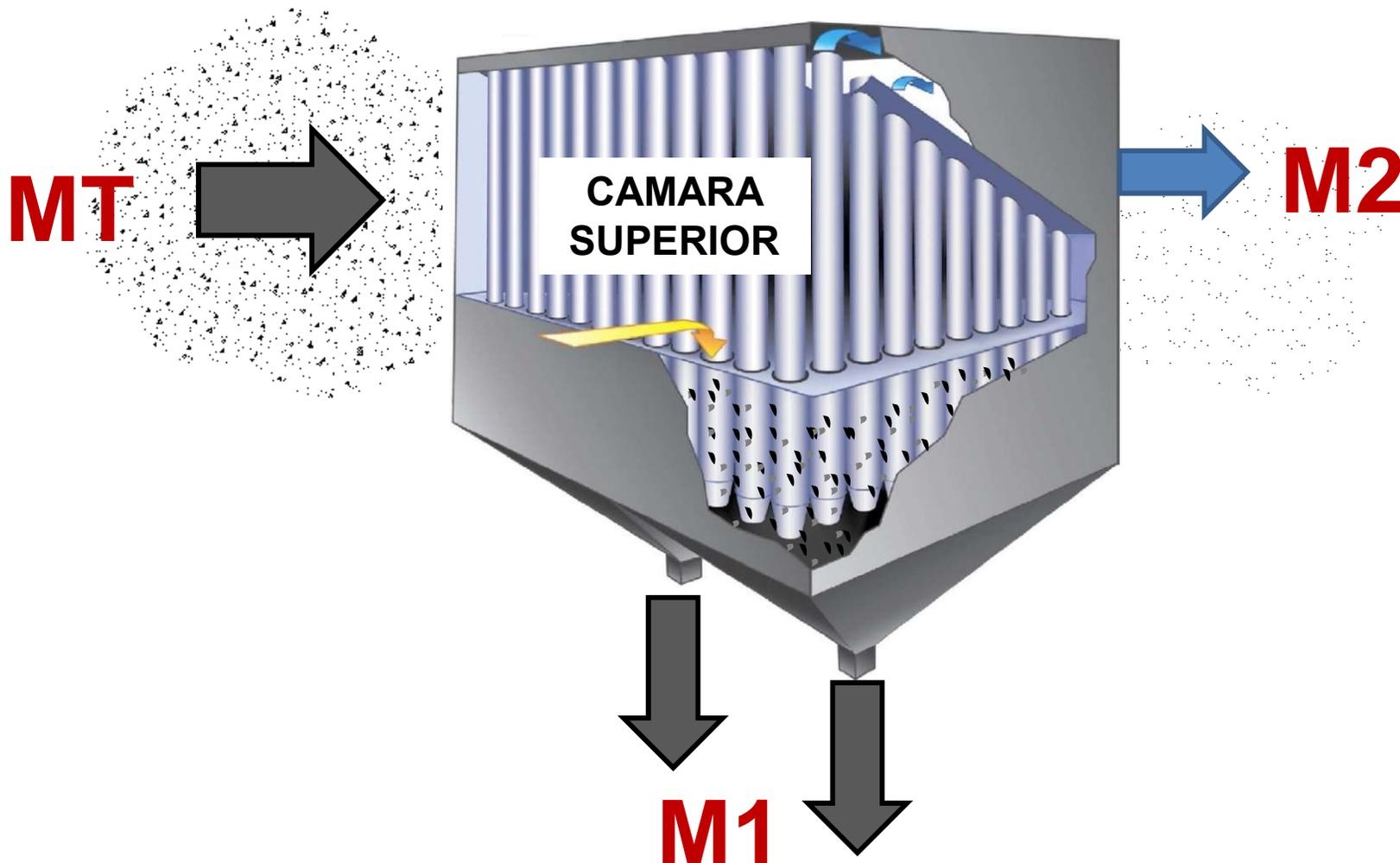
Menos biomasa alimentada, mayor eficiencia.

Anexo 1. Calculando emisiones de particulado



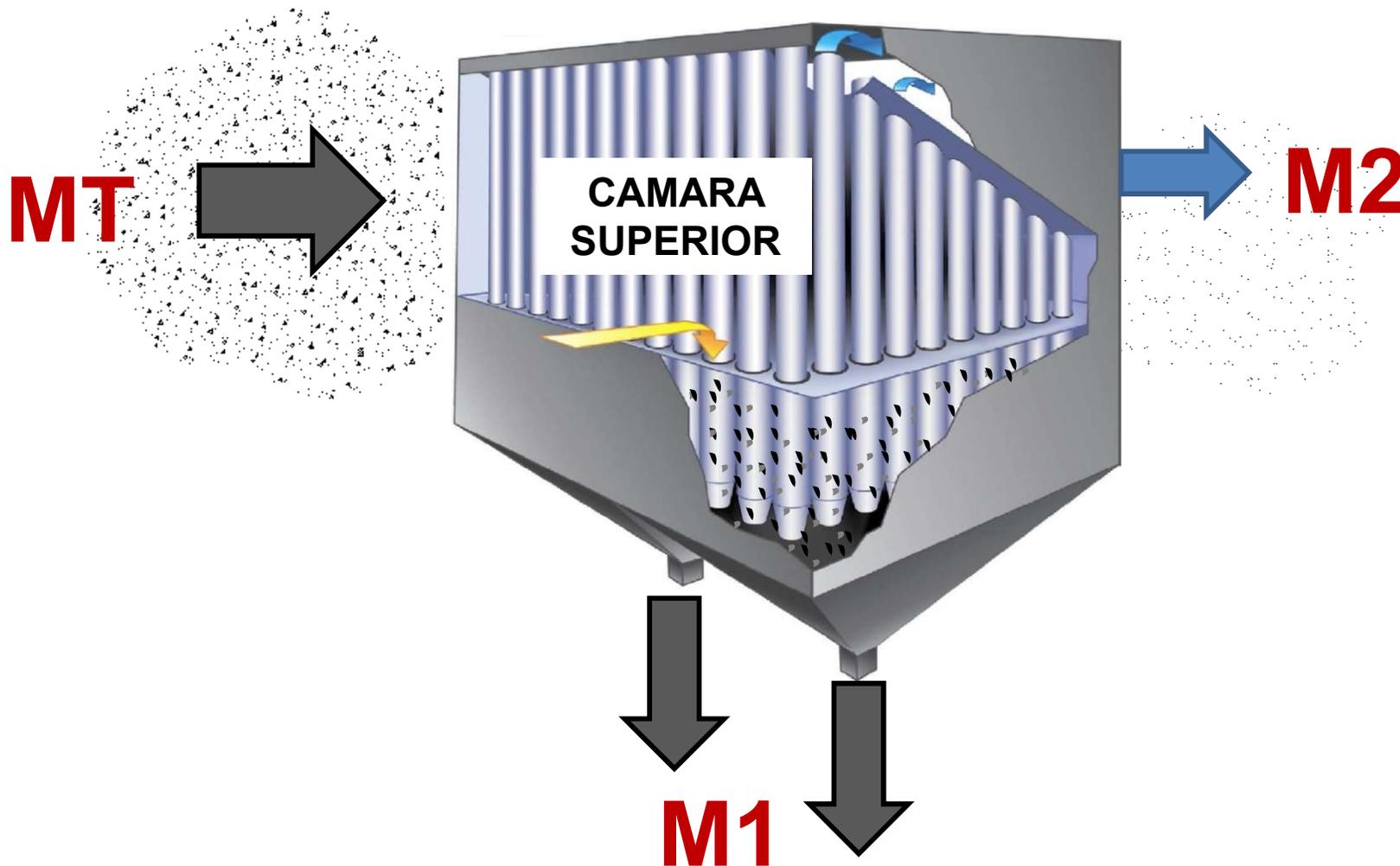
Anexo 1. Definiendo eficiencia del separador de particulado

$$\text{Eficiencia de recolección} = E_r = (M1/MT) * 100$$



Anexo 1. Calculando emisiones de particulado

$$\text{Emisiones de particulado} = M2 = (MT \times 100 - Er)/100$$



Anexo 1. Tabla de emisiones

Para visualizar el efecto que tiene la carga de particulado saliendo del hogar, por efecto de la mala combustión, presentamos la siguiente tabla.

Es evidente que la eficiencia del separador ciclónico impacta profundamente el resultado final.

Carga total de particulado entrando al separador ciclónico (MT) (mg/M3)	Emisiones (mg/M3) para varias eficiencias de recolección (Er)						
	60%	65%	70%	75%	80%	85%	90%
4000	1600	1400	1200	1000	800	600	400
3000	1200	1050	900	750	600	450	300
2000	800	700	600	500	400	300	200
1000	400	350	300	250	200	150	100
500	200	175	150	125	100	75	50

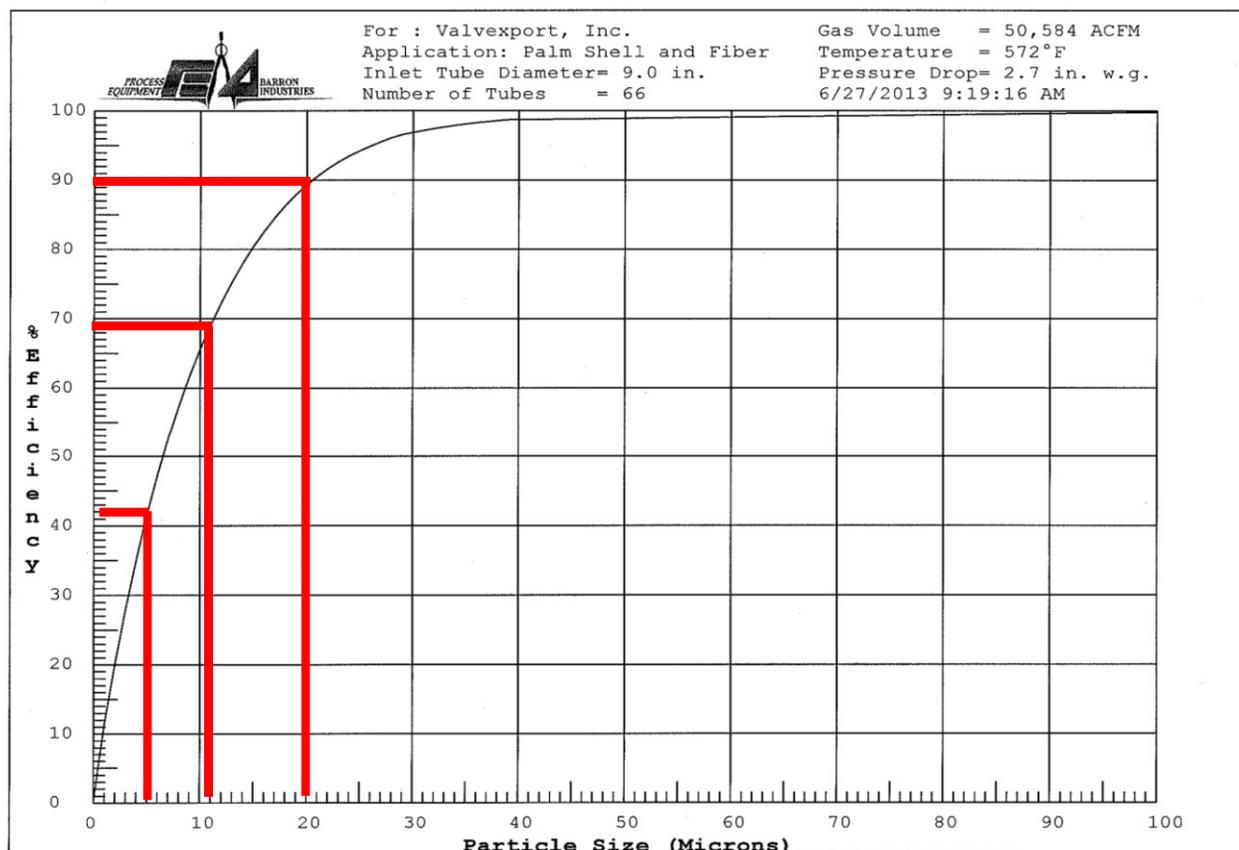
Anexo 2. Problemas principales de los multi-ciclones verticales

1. Las eficiencias de recolección caen dramáticamente para partículas menores a 20 μm . Las cenizas de la fibra normalmente son menores a este tamaño por lo tanto no se logra capturar mas del 70 u 80% del particulado, operando al flujo de diseño.
2. Cuando las calderas operan a menores flujos, este problema se empeora logrando capturar menos del 50%.
3. Problemas de mantenimiento, difíciles de identificar, afectan la eficiencia aun mas, cayendo las eficiencias por debajo del 20%.

Evidencia de lo anterior es que en muchos casos observamos columnas de humo negro, saliendo de la chimenea, mientras que los multi-ciclones verticales no descargan el particulado.

Anexo 2. Efecto del tamaño de particulado en la eficiencia

Esta curva corresponde al diseño de un multi-ciclón vertical típico de la marca Process Barron. Podemos observar que para particulado entre 5 y 11 μm las eficiencias típicas de recolección varían de 42 a 68%. El tamaño de partículas debe ser superiores a 20 μm para lograrse una recolección superior al 90%.



Datos operación:

Flujo

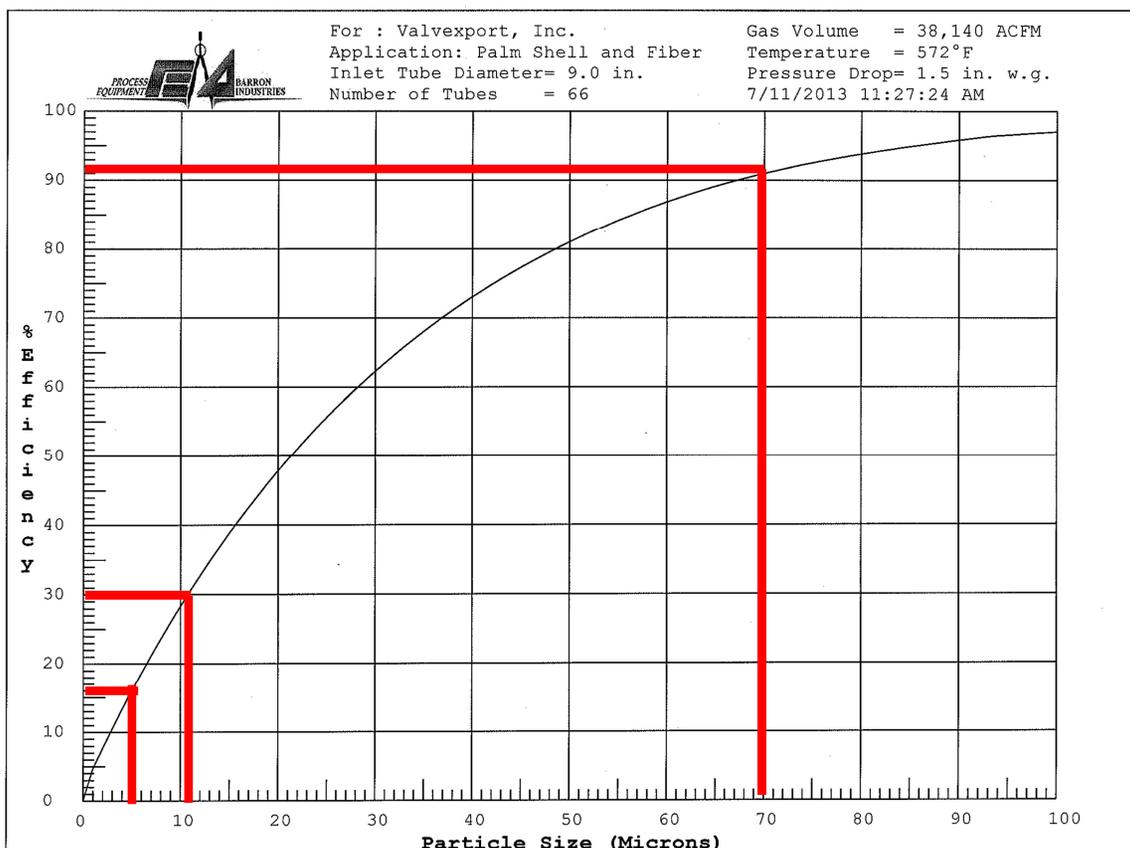
50,000 CFM

Caída presión

2.7 "H2O

Anexo 2. Efecto del flujo de gases en la eficiencia

Esta curva corresponde al diseño de un multi-ciclón vertical típico, de la marca Process Barron, podemos observar para la masa de particulado entre 5 y 11 μm las eficiencias típicas de recolección varían de 16 y 30%. El tamaño de partícula debe ser superiores a 70 μm para lograrse una recolección superior al 90%.



Datos operación:

Flujo

38,000 CFM

Caída presión

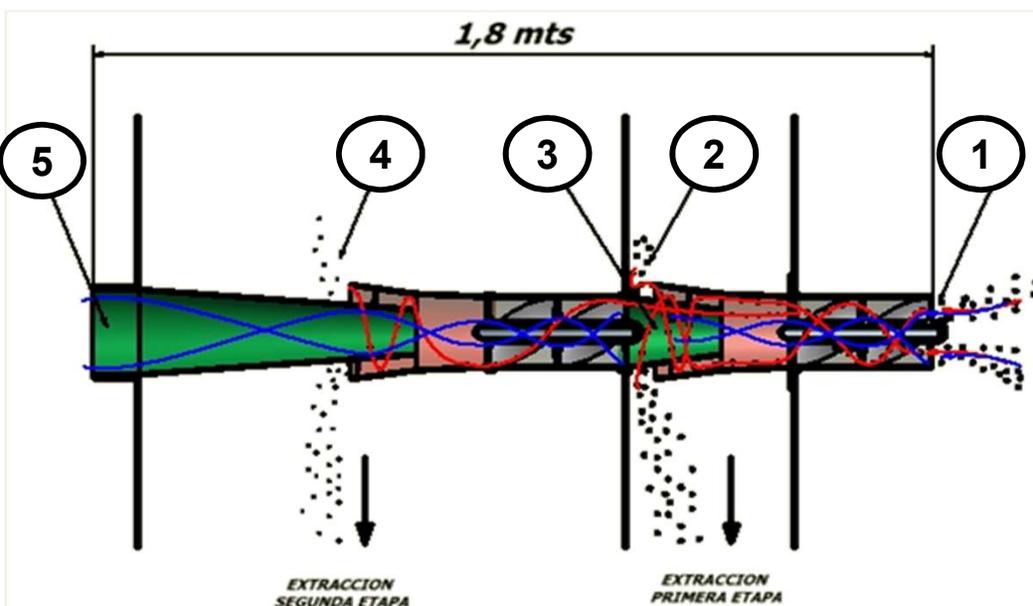
1.5 "H2O

Anexo 3. Diferencias fundamentales de diseño en Multi-Ciclones

El separador horizontal de dos etapas, no rota los gases 180 grados súbitamente, los rota gradualmente en dos etapas, utilizando la energía para la separación eficaz en lugar de perderla en ese giro.

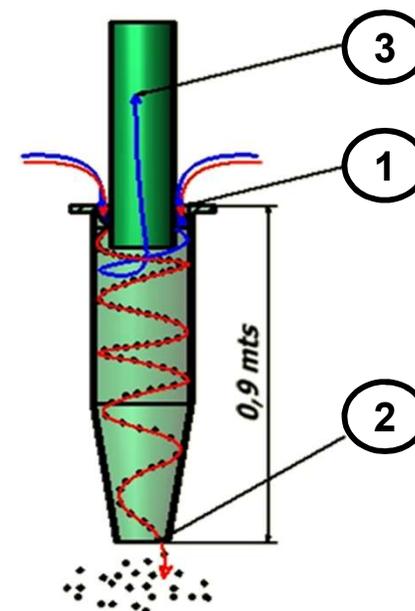
Adicionalmente, utiliza el flujo de extracción que oscila entre el 5 y 15% del flujo principal.

SEPARADOR HORIZONTAL HE-APS



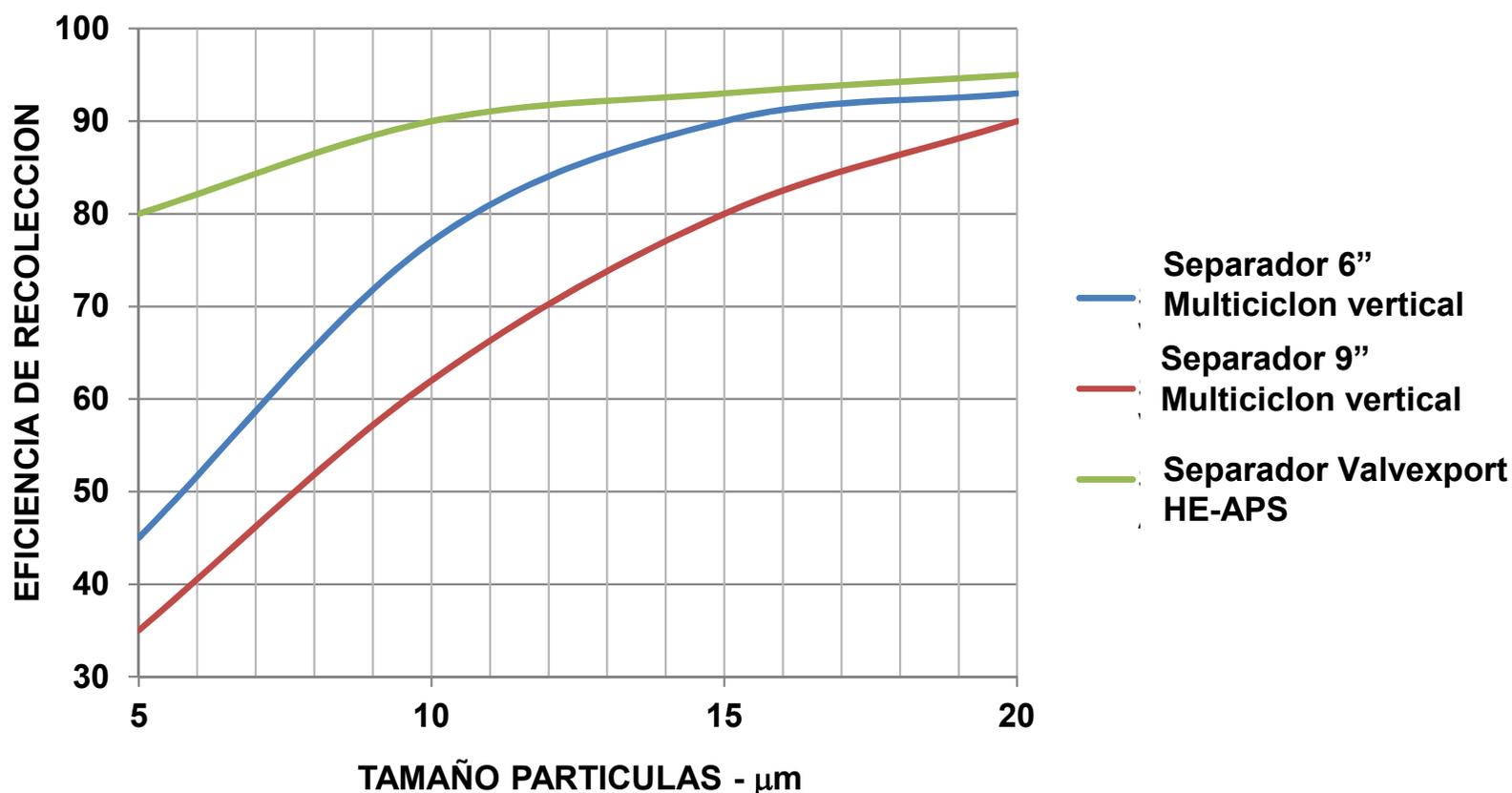
El separador ciclónico vertical recibe los gases con particulado por el punto 1, les imprime rotación con aletas de 30 a 45 % y logra la separación solo por fuerza centrífuga en una longitud de 90cms. Los gases deben dejar de rotar para ingresar al tubo de salida, después de girar en "U" perdiendo muchas presión para hacerlo.

SEPARADOR VERTICAL



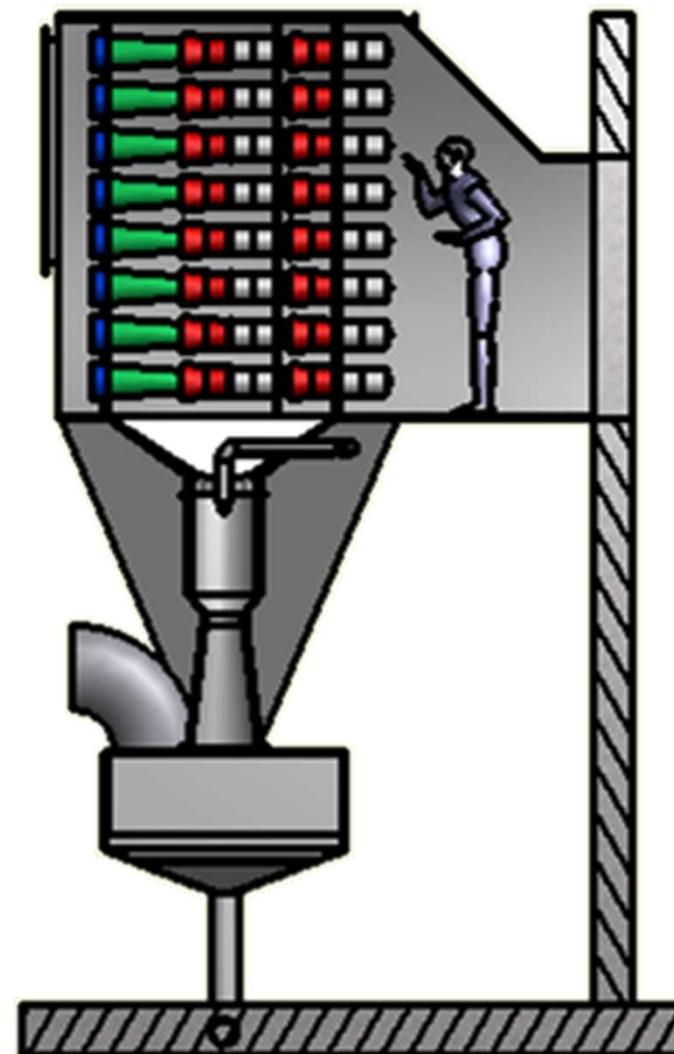
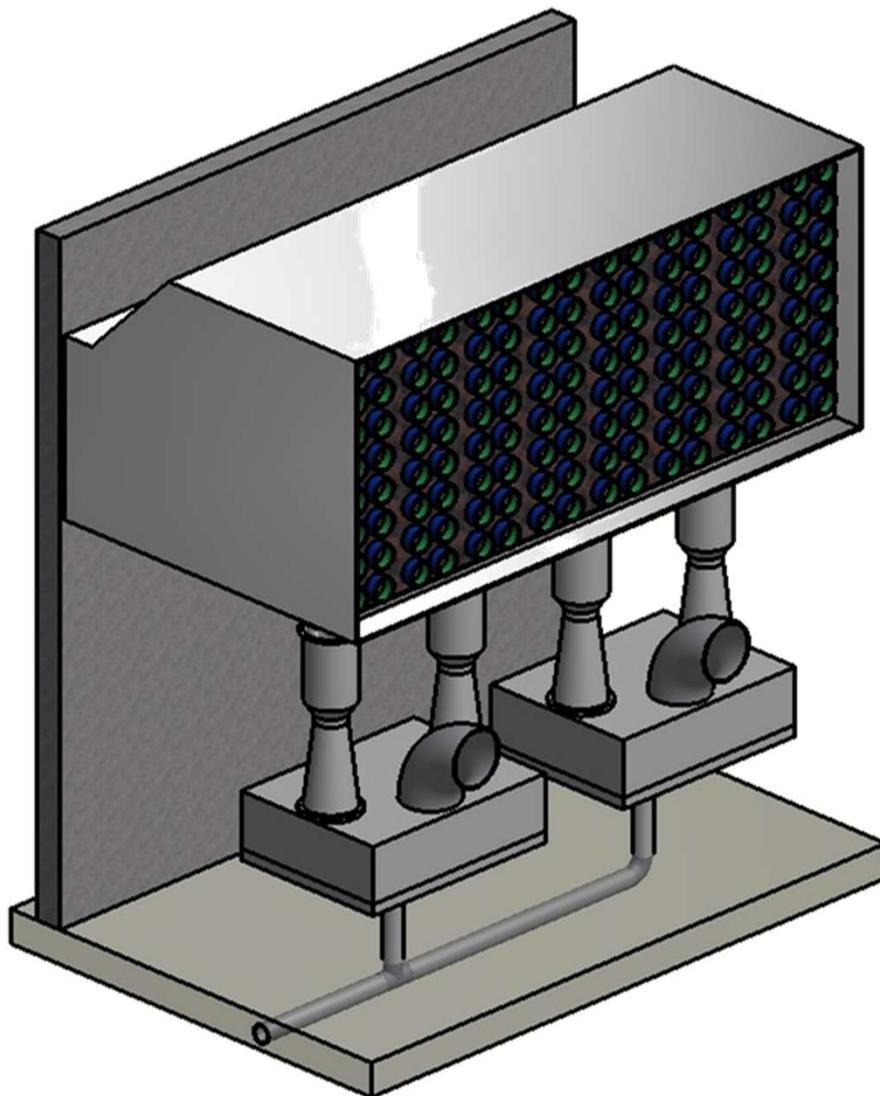
Anexo 3. Ventaja principal sistema HE-APS Multi-ciclón horizontal con extracción y lavado de cenizas

La grafica presenta la eficiencias típicas de los multiciclones verticales (curvas azul y roja), comparadas con la curva verde que corresponde a el sistema HE.APS. Podemos observar la gran diferencia de estas eficiencias, sobre todo en el rango 5 a 15 μm . Esto permite recolectar la mayor parte de las cenizas finas que hoy en día pasan derecho sin ser recolectadas.



ANEXO 3. Diseño propuesto

Multiciclón horizontal con extracción y lavado de cenizas



Anexo 4. Comparativo Tecnologías

#	Tecnología	Ventajas	Desventajas
1	Multi-Ciclón Vertical	Bajo costo inicial, bajo costo mantenimiento	Muy bajas eficiencias de recolección (50 a 70%)
2	Multi-Ciclón + filtro mangas	Cumplimiento norma, sin rompimiento de bolsas	Bolsas fallan con frecuencia, alto costo reposición
3	Scrubber (captura con agua)	Costo Inicial medio (1 a 2)	Eficiencias variables consumos de agua altos
4	Multi-Ciclón Vertical (De alta caída presión)	Mayor eficiencia que (1)	Alto consumo energético, eficiencia variable
5	Precipitador electrostático con Multi-ciclón vertical	Cumplimiento norma (sin falla electrónica)	Alto costo inicial, alto nivel técnico de operadores
6	Multi-ciclón axial con extracción de cenizas por eyectores tipo Venturi	Costo inicial menor a (2,4 y 5). Eficiencia mayor a (1 y 3). Cumple norma – 150 mg/m³. Permite control de eficiencias variando inyección de agua, consumiendo < 20% de (3).	No logra cumplir control de emisiones, para 50 mg/m³.

Anexo 4. Comparativo emisiones entre tipos multi-ciclones

Los separadores centrífugos logran retener porcentajes de particulado que dependen del flujo y de la distribución de tamaños de particulado. A continuación calculamos las emisiones basados en la carga de entrada.

PARAMETRO		MULTICICLON	
		HORIZONTAL HE-APS	VERTICAL
Flujo nominal (m3/Seg.)		25	25
Caída de presión a flujo nominal (PulgH2O).		2.8	2.7
Caída de presión a 75% del flujo nominal (PulgH2O)		1.6	1.5
Eficiencia promedio de recolección a flujo nominal en (%)		94	70
Eficiencia promedio de recolección al 75% del flujo nominal (%)		93	40
Emisiones con 2000 mg/M3 de carga de entrada (mg/M3)	Flujo nominal	120	600
	75% Flujo	140	1200



**Mejora de combustión en calderas para
cumplimiento de las normas sobre
emisiones de particulado.**



GRACIAS POR SU ATENCION

¿Preguntas?



Mejora de combustión en calderas para cumplimiento de las normas sobre emisiones de particulado.



Contactos

Ing. Jaime Gonzalez (jaimegonzalez@valvexport.com)

Miguel Gonzalez (miguelgonzalez@valvexport.com)

Nuestro representante para Guatemala y Honduras:



Eduardo Reyes (eduardor@cindustrial.com)

Carlos Reyes (carlosr@cindustrial.com)

**Pueden encontrarnos en el Stand # 5 y 6
de Comercializadora Industrial**