



Grupo EL ÁNGEL

Somos más que azúcar

AZÚCAR • ENERGÍA • INNOVACIÓN AGRÍCOLA • INMOBILIARIA

FUNCIONAMIENTO DE UNA CALDERA DE BIOMASA CON LECHO FLUIDIZADO

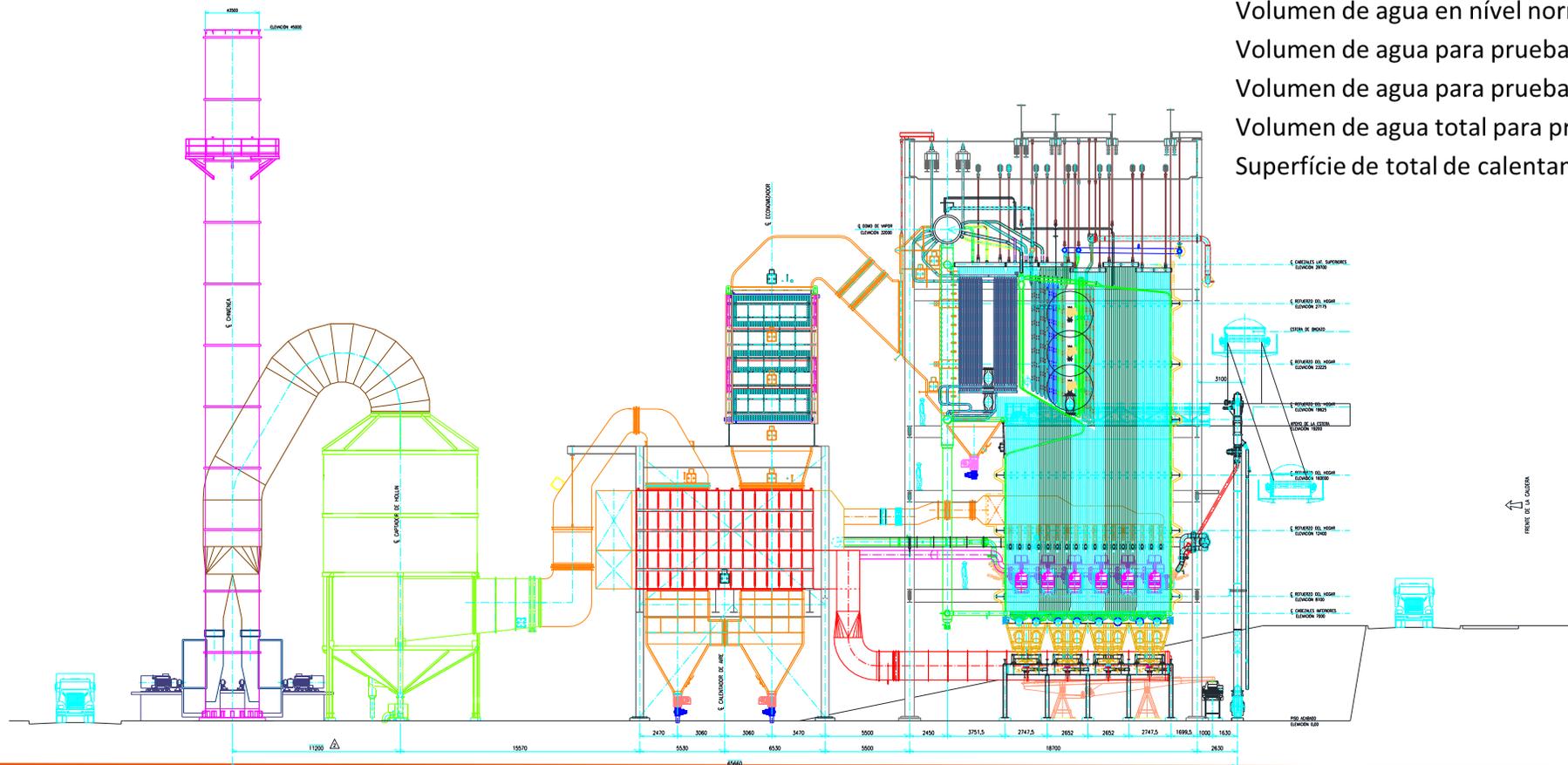


Grupo EL ÁNGEL
Somos más que azúcar

Ing. Yasser Chávez

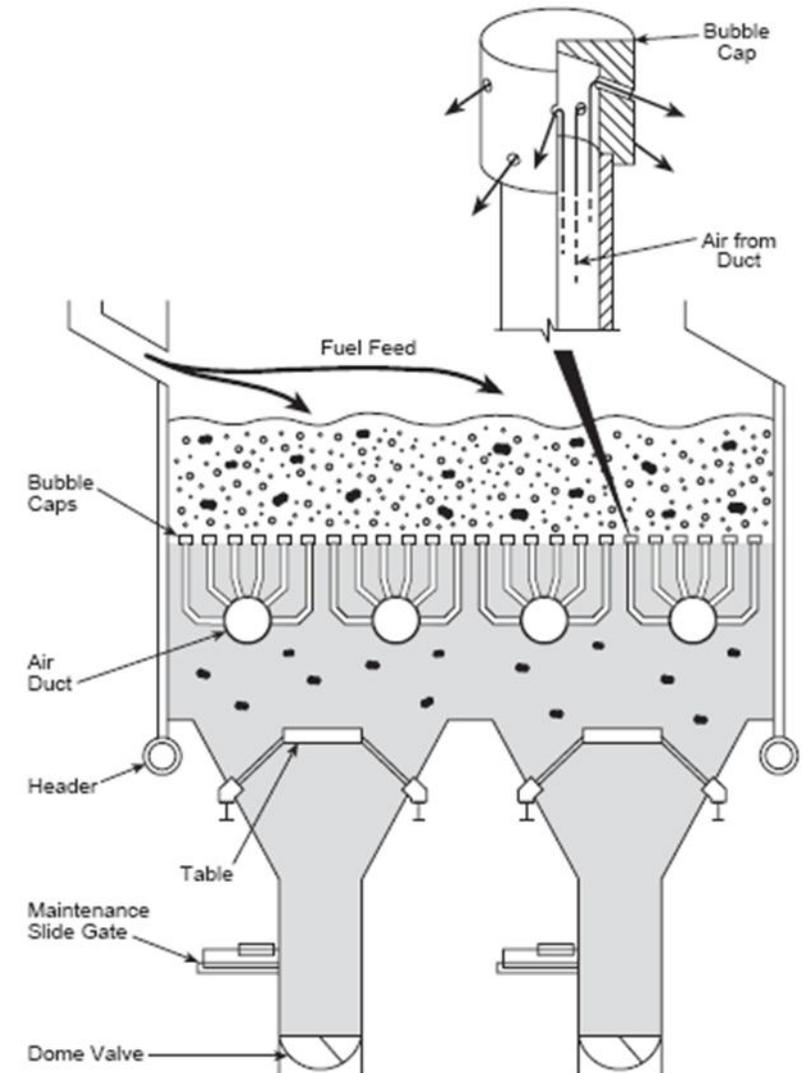
Características Generales

Producción Nominal de Vapor.....	235.000 kg/h
Presión de Operación.....	102,0 kgf/cm ² (g)
Máxima Presión de Trabajo Admisible (MAWP).....	119 kgf/cm ² (g)
Presión de Prueba Hidraulica.....	178,5 kgf/cm ² (g)
Temperatura del Vapor.....	545°C
Temperatura del Agua de Alimentación.....	210°C
Circulación de agua.....	Natural
Volumen de agua en nivel normal de operación.....	91,155 m ³
Volumen de agua para prueba hidrostática de la caldera.....	105,05 m ³
Volumen de agua para prueba hidrostática del sobrecalentador.....	29,67 m ³
Volumen de agua total para prueba hidrostática.....	134,72 m ³
Superficie de total de calentamiento.....	4.637 m ²

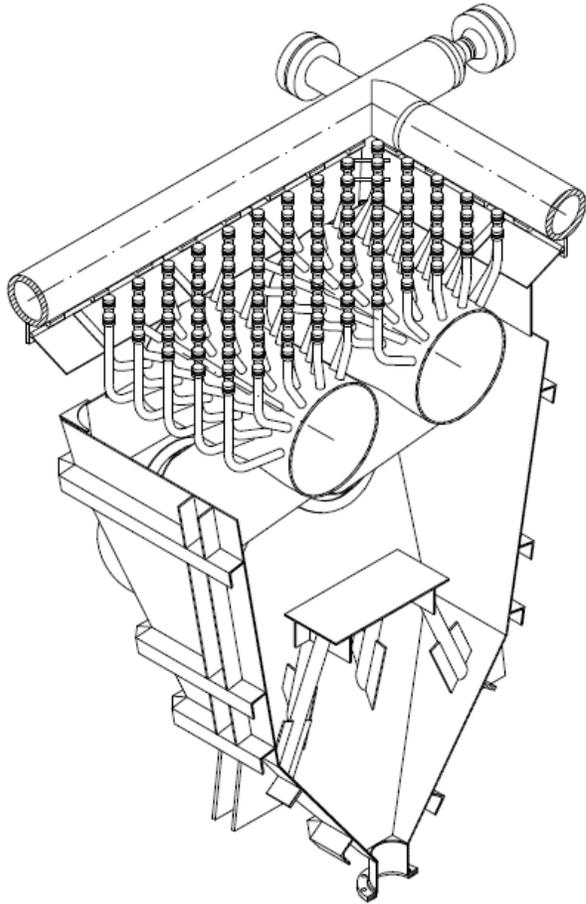


Combustión en lecho fluidizado

- En búsqueda del uso eficiente de la energía, la combustión con lecho fluidizado es una alternativa a considerar.
- Cualquier combustible, por ejemplo, carbón, petróleo o gas, se dispersa y se quema en un lecho fluidizado de partículas inertes.
- En la mayoría de las aplicaciones, la temperatura del lecho se mantiene en el rango de 750–1000 °C para que la combustión del combustible se complete sustancialmente y se evite la sinterización de partículas.



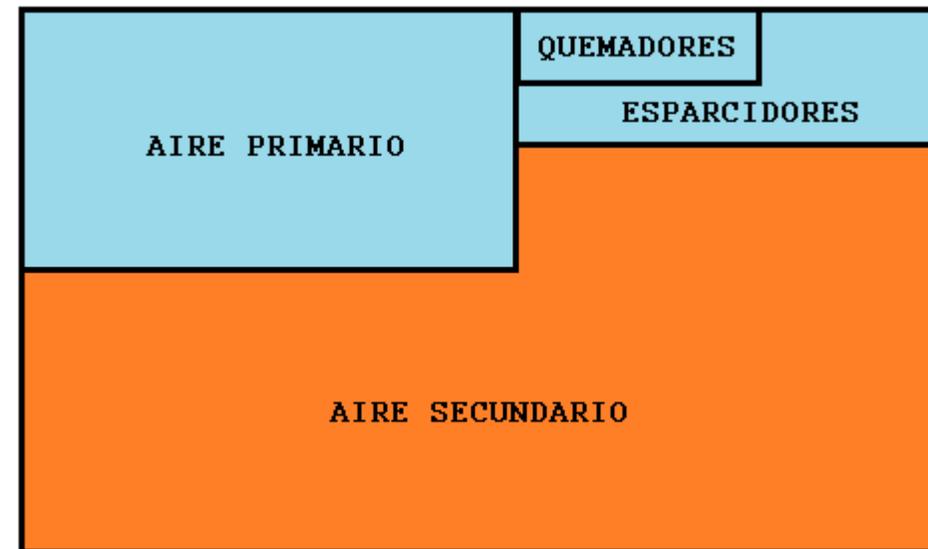
Bubble Caps



Funciones principales

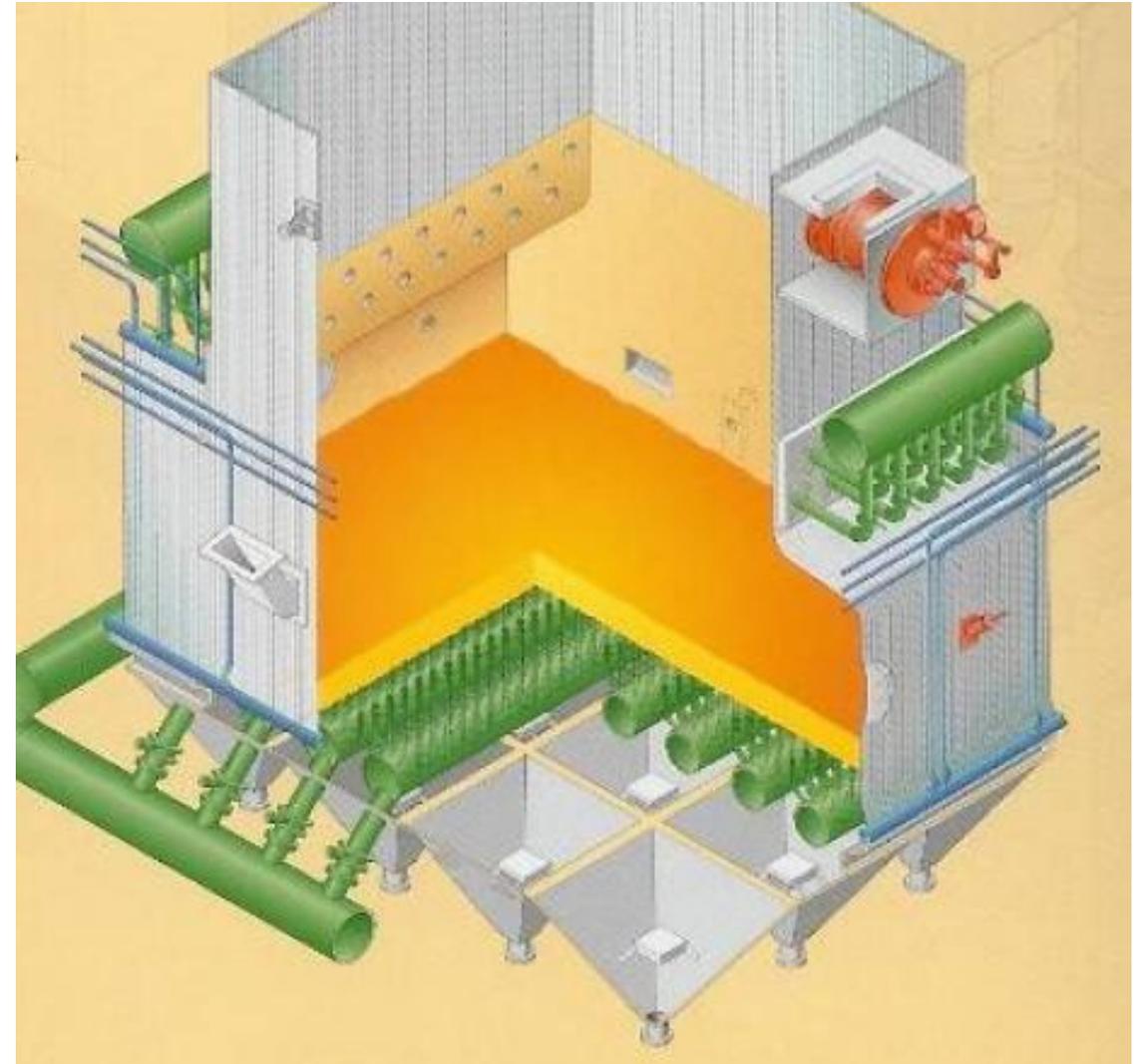
Control de la temperatura del lecho (controlar las emisiones de NOx y SO2 y limitar aglomeración del material del lecho):

- ✓ División de aire primario / secundario
- ✓ FGR (recirculación de gases)
- ✓ Distribución de combustible



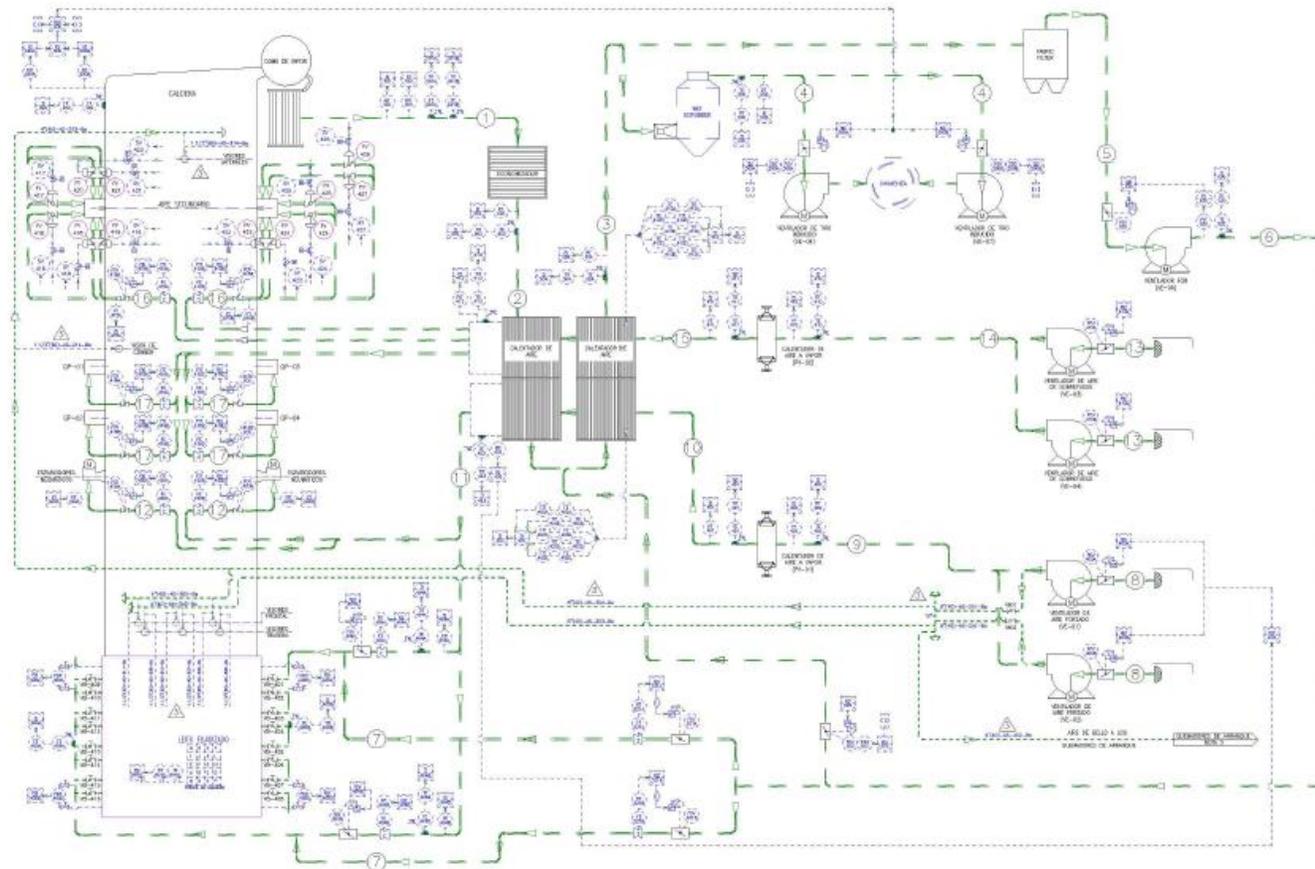
División de aire primario / secundario:

- ✓ Lecho trabaja sub-estequiométrico, obteniendo el gas con menor poder calorífico cuando se utiliza aire, en este caso la entrada se limita entre un 20% y un 40% del teóricamente necesario para una combustión completa
- ✓ Menos aire del lecho, reduce la temperatura
- ✓ Mas aire en el lecho, aumenta temperatura



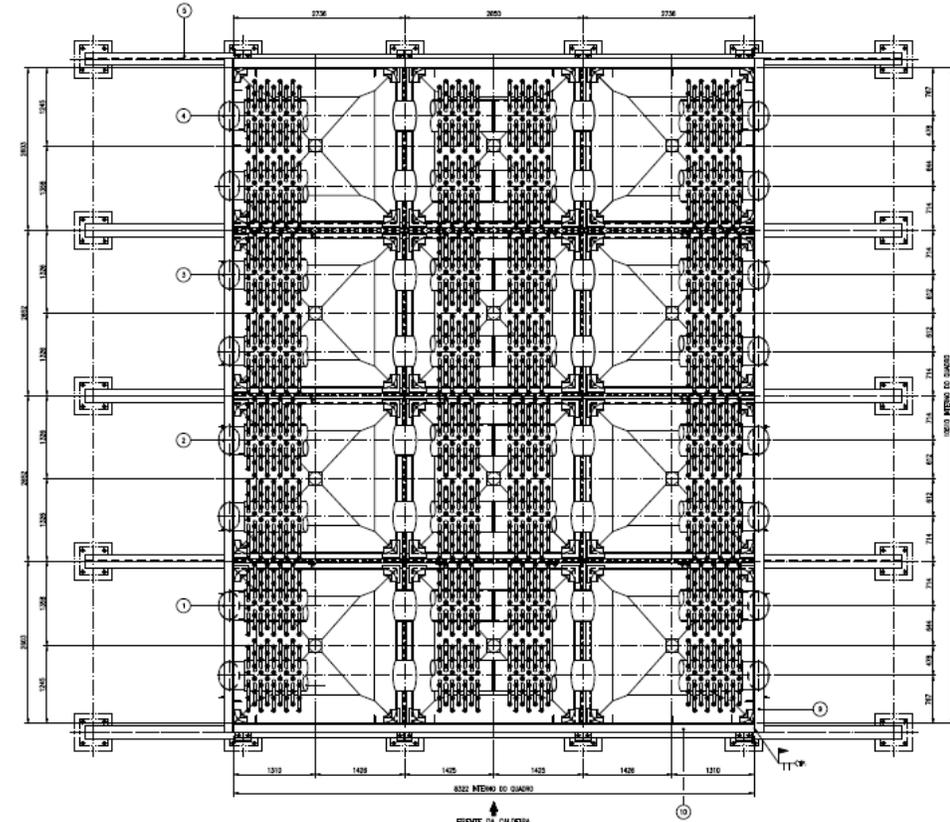
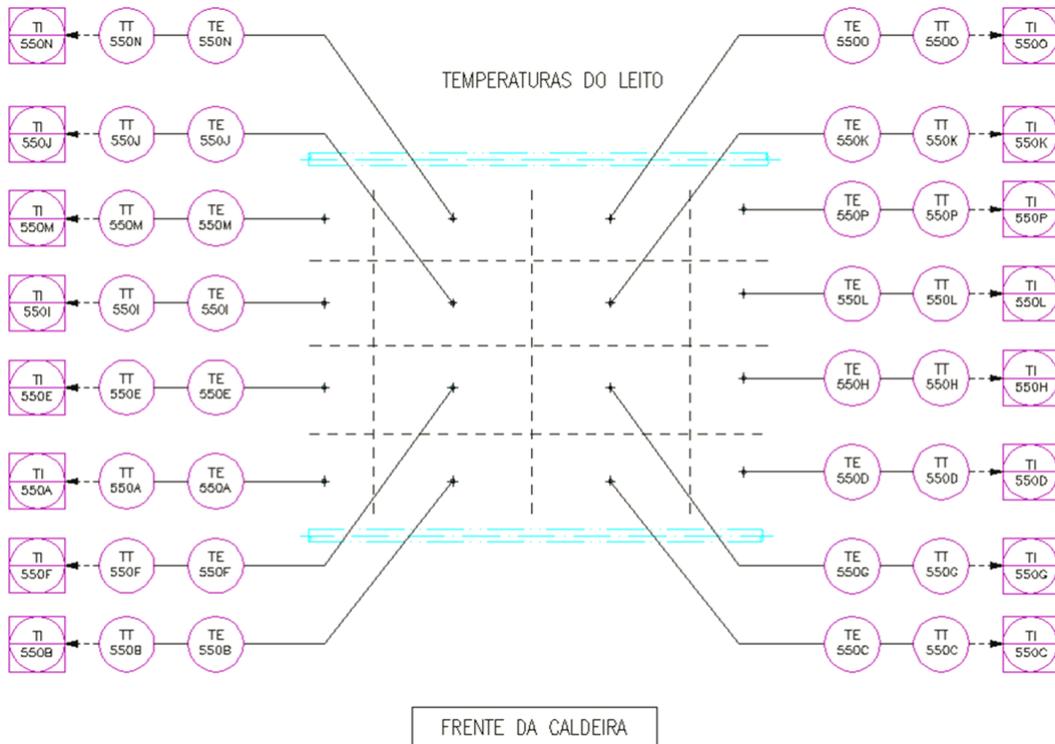
FGR (recirculación de gases):

- ✓ Adiciona FGR (gas baja temperatura y que no participa en la combustión)
- ✓ Temperatura del lecho responde más rápido a este mando.

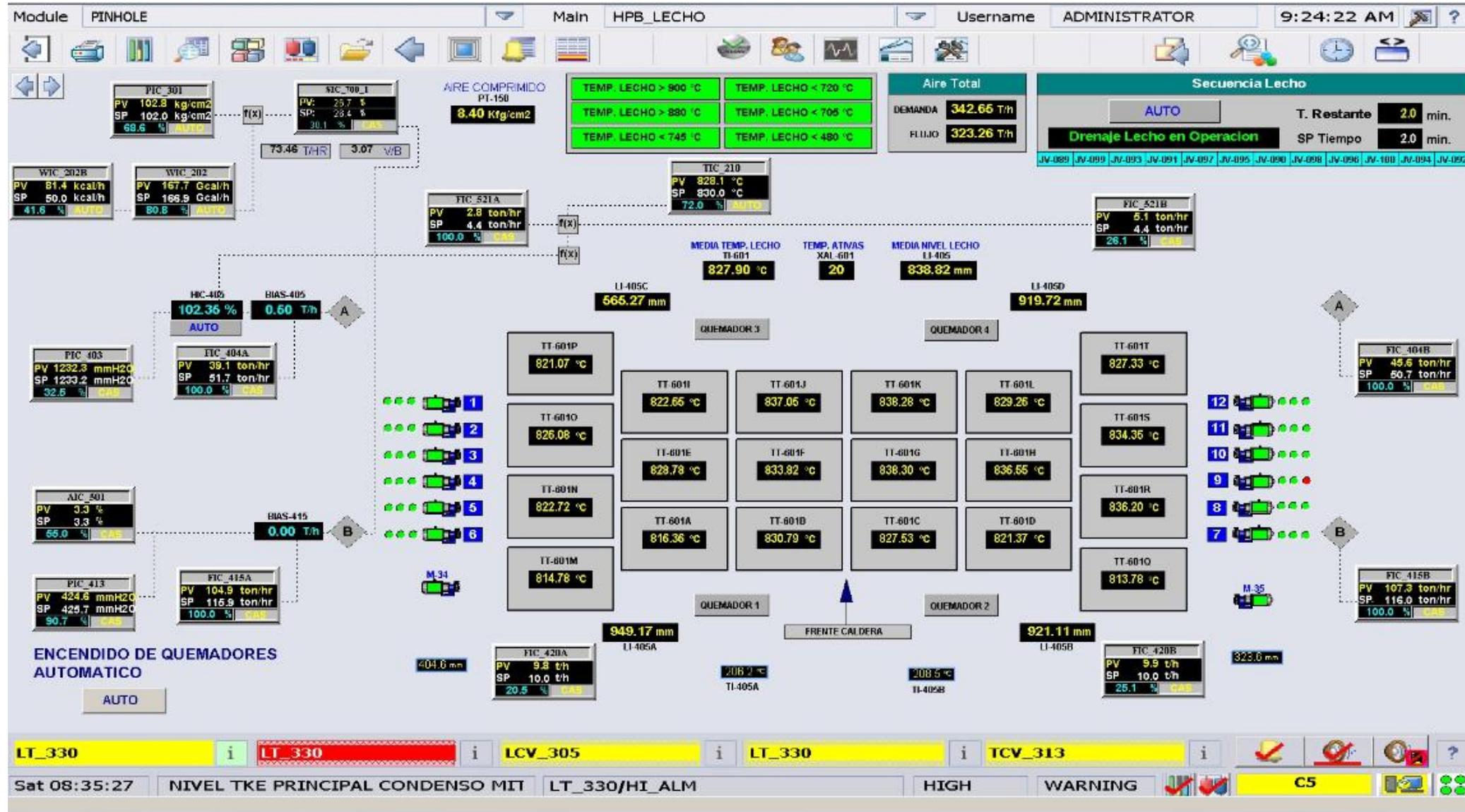


Distribución de combustible:

- ✓ Distribuir bien el combustible sobre el lecho ayuda a la uniformización de la temperatura.
- ✓ De lo contrario, dosificar en un punto localizado, puede tener región localizada alta temperatura (y regiones en las que el aire simplemente pasa sin reaccionar).



Distribución de combustible:



Control del volumen del lecho

- ✓ Esto se determina por el nivel, que a su vez se mide por delta P en el lecho.
- ✓ Volumen de la biomasa en el intervalo de 750 a 900 mmca

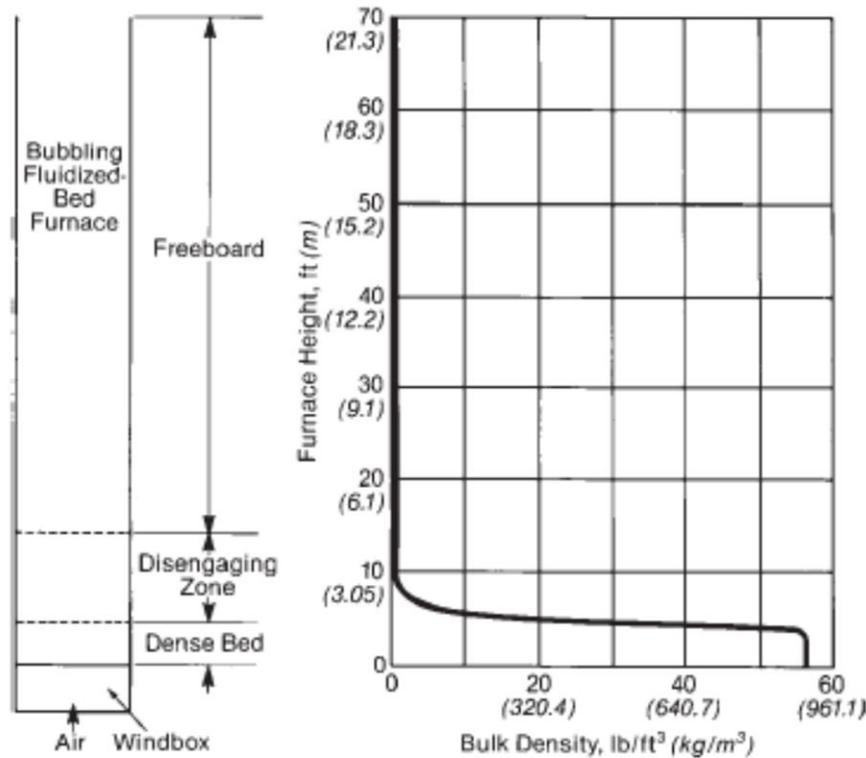
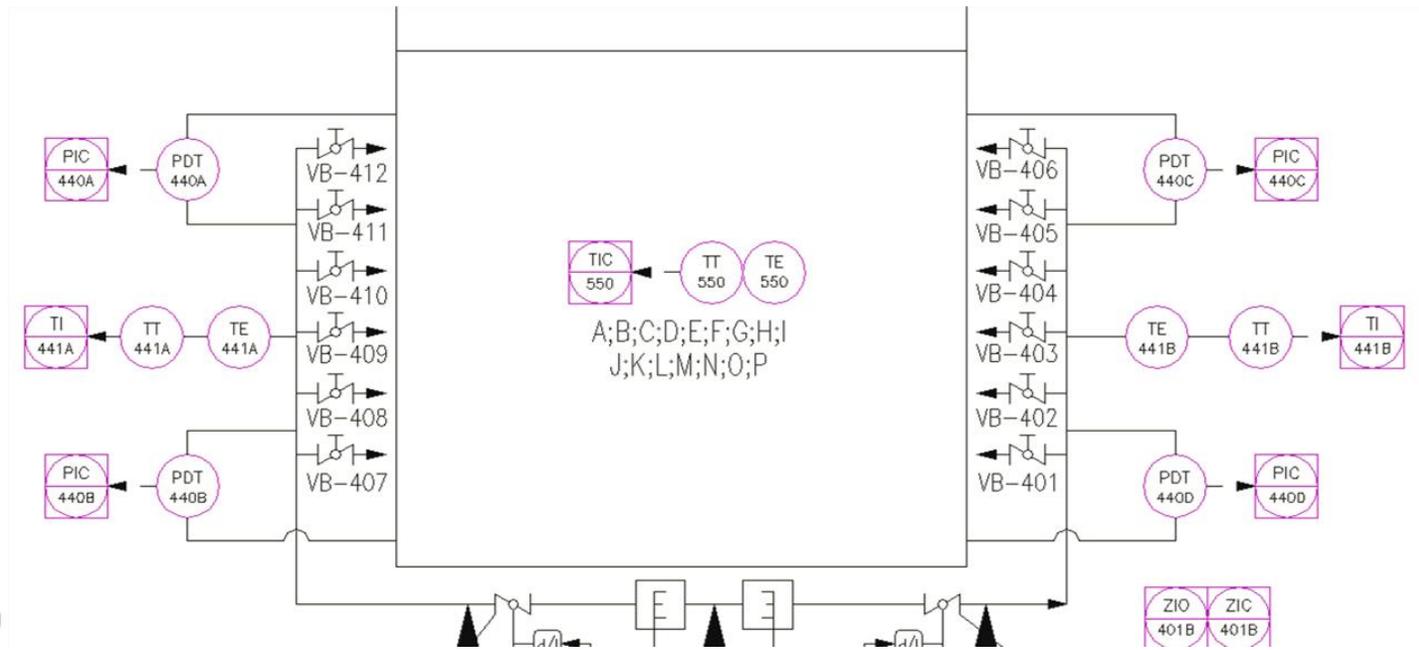
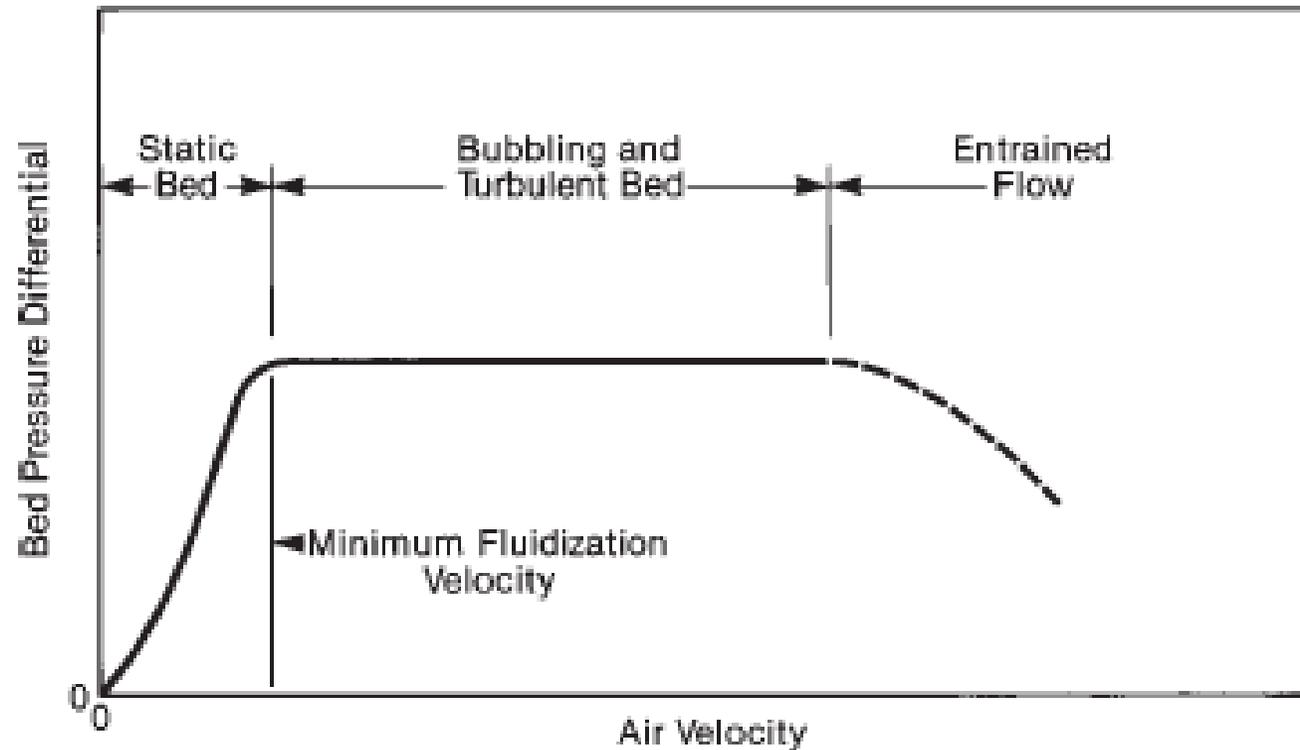


Fig. 4 Typical atmospheric pressure bubbling-bed furnace density profile.



Medición del Delta P del lecho

- ✓ Delta P de flujo de aire/gases a través del material del lecho



Controle del Delta P del lecho

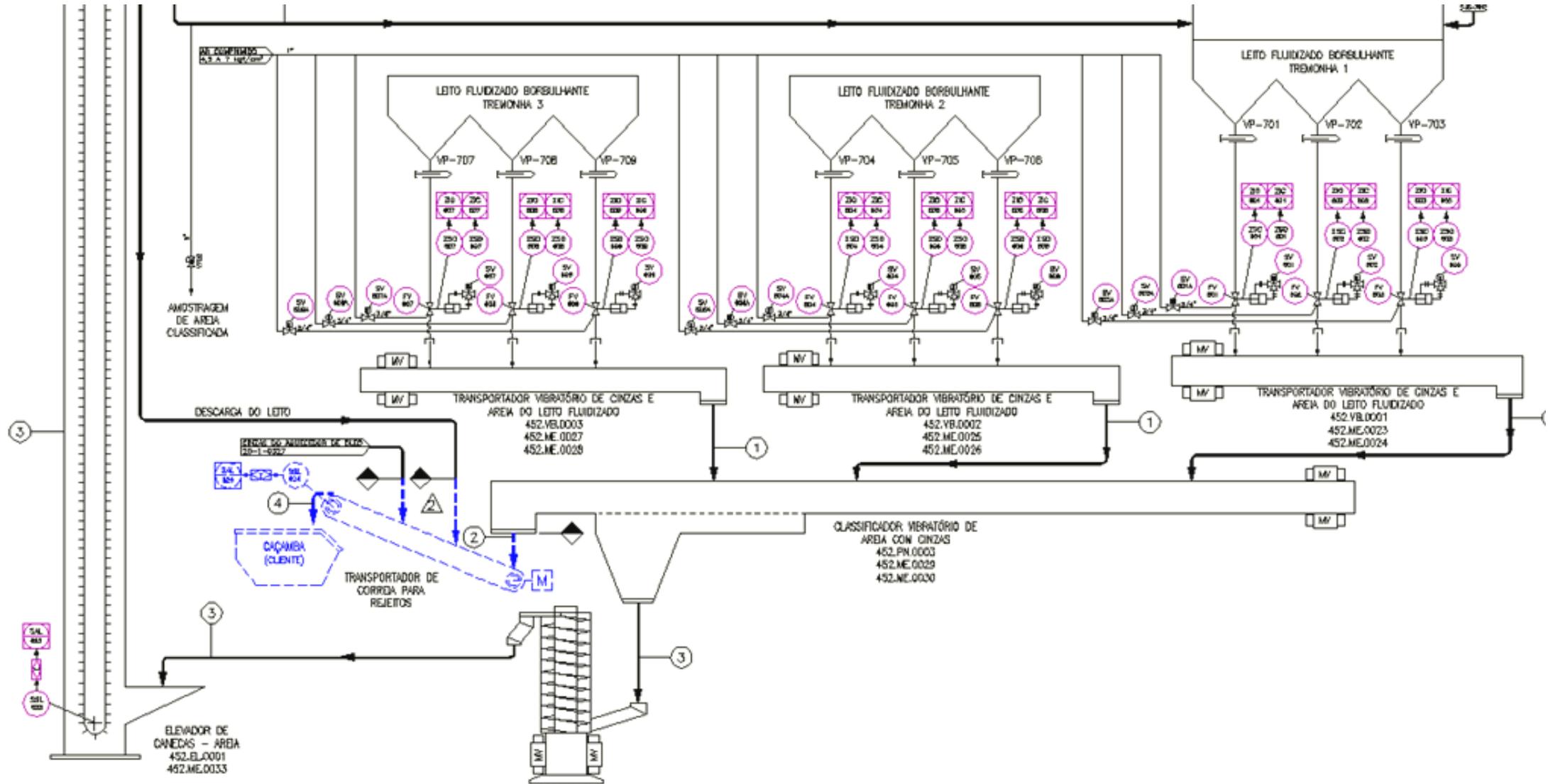
El delta P varia conforme el tiempo.

-  ✓ La acumulación de cenizas/residuos y aumento en el tamaño de las partículas debido la aglomeración aumenta delta P.
-  ✓ La pérdida de material del lecho debido a la rotura de las partículas debido a la abrasión (y arrastre junto con la corriente de gases) reduce delta P.

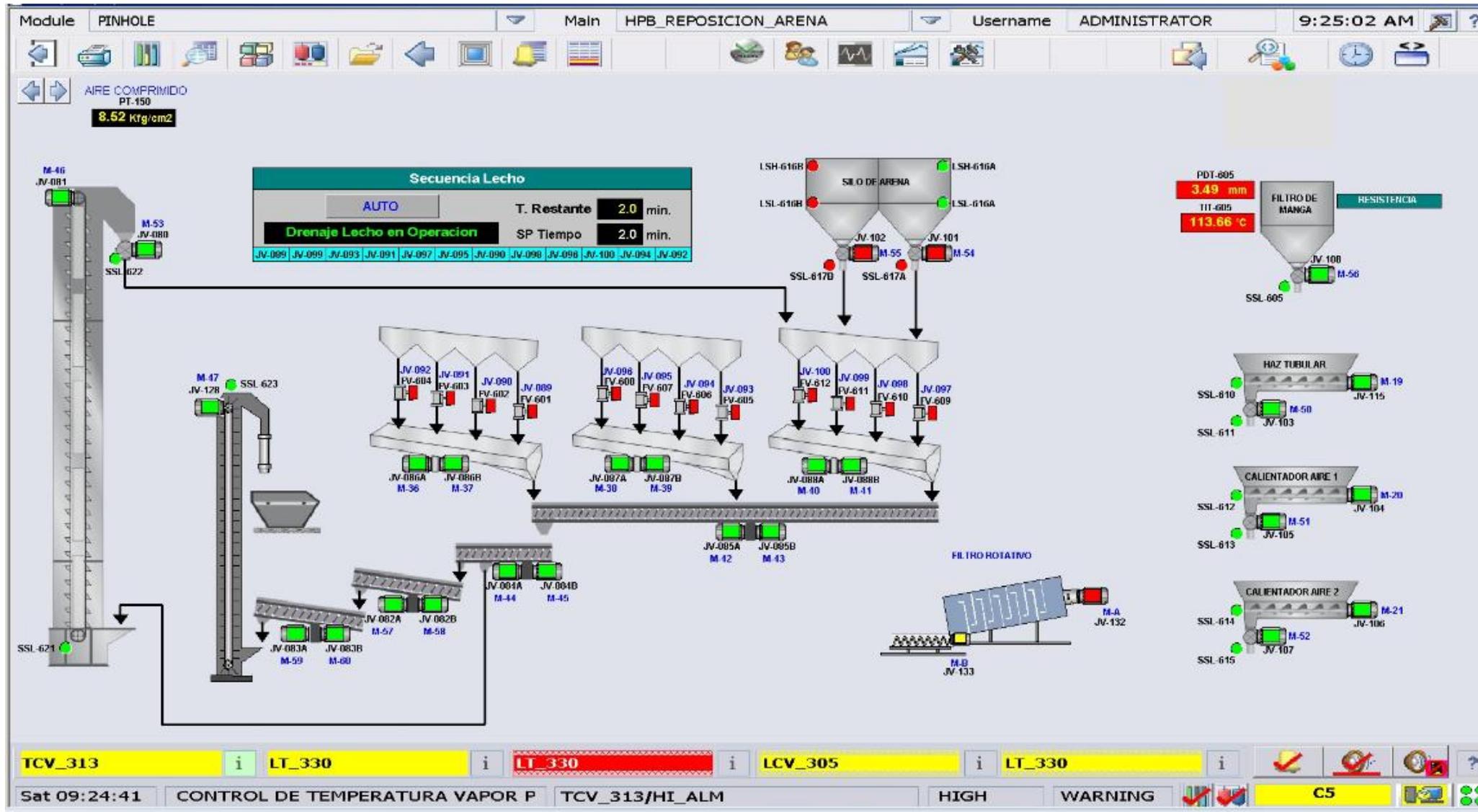
¿Como controlar?

- ✓ Drenar al lecho
- ✓ La sustitución del material inerte

Drenaje del lecho:



Drenaje del lecho



Válvula tipo guillotina



Transportador vibratorio



Drenaje y sustitución del material inerte

- ✓ La función de drenaje y sustitución también se usa para controlar el tamaño de partícula del material del lecho (**granulometría**) del material del lecho (la eliminación de material por encima del tamaño recomendado) para obtener una buena fluidización
- ✓ La tasa ideal de drenaje y reposición se determina en la fase de puesta en marcha.
- ✓ Generalmente, cuanto mayor es el contenido de la alcalinidad de combustible, mayor será la necesidad para el drenaje y la sustitución del material del lecho con el nuevo material de menor alcalinidad



Características de Arena para Lecho

Fe₂O₃/CaO	< 0,33
SiO₂/Al₂O₃	< 10
%Na₂O + % K₂O	< 3%
Forma	Sub-angular a esférico (esfericidad de 0,75 a 0,90)
Dureza	de 68 a 72 MOHS
Densidad específica	de 2,5 a 2,7
Temperatura de fusión	> 2280°F (1250°C)
Humedad	< 3%
Distribución	A arena debe pasar: 100% del primer tamiz (1400 microns) 50% del segundo tamiz (850 microns) 0% del segundo tamiz (500 microns)

- ✓ Volumen del lecho = 120 m³
- ✓ Volumen del silo = 50 m³

Arena utilizada en una Zafra (135 días) vs Arena Nueva

Customer ID		Arena A,Codigo: Z1718HP8	Arena B, Codigo: Z1819HPB
Lab Sample ID		18M02244-001	18M02244-002
Al2O3	%	11.8	17.4
CaO	%	4.53	5.51
Fe2O3(T)	%	5.65	7.15
K2O	%	9.999	1.228
MgO	%	3.39	2.18
MnO	%	0.20	0.18
Na2O	%	1.72	3.83
P2O5	%	2.343	0.183
SiO2	%	58.4	58.2
SO3	%	0.10	0.23
TiO2	%	0.48	0.72
LOI	%	0.30	2.20

Performance de Caldera de Lecho

	Salida General de Vapor				Água de Alimentación de la Caldera			Água del atemperador			Gases de Combustión	
	Temperatura (°C)		Presión (kgf/cm ²)	Caudal (ton/h)	Temperatura (°C)	Presión (kgf/cm ²)	Caudal (m ³ /h)	Temperatura (°C)	Presión (kgf/cm ²)	Caudal (m ³ /h)	Temperatura (°C)	Temperatura (°C)
Muestras	TIC-301	TIC-301	PIC-301	FIC-300	TIC-171	PT-200	LIC-200	TIT-150	Considerado (PI 208) deltaP 3,8kgf/cm ²	FIT 208	TI 501 entrada eco	TI 504 saída pré-ar
1	552.10	551.80	97.09	223.40	211	147.3	252	138.67	143.5	18.4	397	169.2
2	549.30	549.10	101.1	227.80	210	148.1	248.7	139.3	144.3	17.3	401.3	169.5
3	548.30	548.20	103.2	228.40	214	150.7	235.5	134.9	146.9	14.5	398.8	165.6
4	546.80	546.50	103.20	229.90	214	145.5	255.8	140	141.7	15.3	402	153.3
5	552.20	550.50	100.4	233.50	214	143.5	267.8	140.4	139.7	16	399.5	148.2
6	554.60	554.20	102.7	227.70	213	146.8	257.4	137.9	143	17.9	400.9	148.1
7	556.50	556.10	103.3	234.90	213	146.1	256.4	136.7	142.3	19	399.4	164.1
8	544.10	543.90	100.2	243.30	213	146.8	256.4	138.4	143	14.6	403.1	170.3
9	542.70	542.50	100.5	238.60	212	145.5	261.2	139.2	141.7	14.3	403.5	171.9
10	545.80	545.60	104.2	240.80	212	145.3	262.7	138.3	141.5	16.4	403.1	171.8
11	549.70	549.30	102.4	241.90	210	148.2	246.8	139.1	144.4	19.1	404.2	172.1
12	547.80	547.30	104.2	239.40	210	145.1	265.9	139.3	141.3	18.2	404.4	172.9
13	532.40	532.10	100.8	242.30	211	147.6	254.1	139.9	143.8	11.7	403.3	171.2
Promedio total	547.87	547.47	101.79	234.76	212.08	146.65	255.44	138.62	142.85	16.36	401.58	165.25

Performance de Caldera de Lecho

	AR TOTAL								FGR	
	Temperatura (°C)	Temperatura (°C)	Caudal de aire lecho (kg/h)	Caudal de aire 2º ario (kg/h)	Caudal de aire quemadores (kg/h)	Caudal de aire esparidores (kg/h)	Caudal total de aire (kg/h)	Temperatura (°C)	Caudal (t/h)	temperatura (°C)
Muestras	TIC 401 (ar leito)	TIC 411 (ar secundario)	vazão de ar leito	vazão de ar 2º ario	vazão de ar para quemadores	vazão de ar para esparidores	vazão total de ar (kg/h)	temperatura	FIC 521A FIC 521B	TI 520
1	94.28	91.01	107,900.00	208,200.00	8,100.00	21,700.00	345,900.00	92.24	6.20	171.4
2	95.68	91.58	106,500.00	209,200.00	8,100.00	19,800.00	343,600.00	93.09	4.10	172.5
3	95.64	93.19	110,700.00	209,300.00	8,100.00	18,100.00	346,200.00	94.10	4.6	171.8
4	51.93	35.64	109,300.00	207,500.00	8,100.00	18,100.00	343,000.00	41.69	4.8	171.7
5	51.25	35.07	109,100.00	210,100.00	8,100.00	18,300.00	345,600.00	41.03	5.8	169
6	51.88	35.75	109,800.00	211,900.00	8,100.00	18,500.00	348,300.00	41.69	6.7	164.8
7	96.40	91.22	110,700.00	209,800.00	8,100.00	19,300.00	347,900.00	93.16	6.2	165.3
8	98.95	95.58	110,100.00	208,400.00	8,100.00	18,000.00	344,600.00	96.83	5.1	169.7
9	99.59	96.43	110,000.00	210,500.00	8,100.00	18,000.00	346,600.00	97.60	4.6	172.8
10	99.52	94.64	110,100.00	207,900.00	8,100.00	18,100.00	344,200.00	96.46	5.9	175
11	100.30	73.62	110,200.00	209,800.00	8,100.00	18,000.00	346,100.00	83.50	5.5	176.7
12	99.73	68.02	110,700.00	207,400.00	8,100.00	18,600.00	344,800.00	79.91	5.2	177.3
13	95.56	69.96	110,000.00	206,300.00	8,100.00	18,000.00	342,400.00	79.53	6.2	177.3
Promedio total			109,623.08	208,946.15	8,100.00	18,653.85	345,323	79.29	5.45	171.95

Performance de Caldera de Lecho

Medición de CO

HORA 02:31:38 pm
FECHA 02/06/2019

COMBUSTIBLE
Bagazo

O2	6.5 %
CO	0 PPM
EFF	79.5 %
CO2	14.2 %
T-CHIM	88 °C
T-AMB	33.0 °C (1)
EA	44 %
NO	214 PPM
NO2	0 PPM
NOX	215 PPM
SO2	0 PPM
HC	0.03 %
CO(10)	0 PPM
NO(10)	162 PPM
NO2(10)	0 PPM
NOX(10)	162 PPM
SO2(10)	0 PPM

PRESION 80 Pa

NORMALIZACIÓN DE RESULTADOS DE ACUERDO A LA NORMA SALVADOREÑA					
NSO 13.11.02:11 - Ítem 7.6 (10% O ₂)					
Completar los campos en color amarillo para obtener resultados					
	% O ₂ Normalización	% O ₂ Medido	Coeficiente de normalización		
% Oxígeno	10.0	6.8	0.77		
			Resultado Normalizado	Límite de la Norma	
				En funcionamiento	Nuevas
	ppm	mg/m ³	mg/Nm ³	mg/Nm ³	mg/Nm ³
Dióxido de Azufre (SO ₂) - (mg/Nm ³)	1.0	2.62	2.03	N/A	Reportar
Monóxido de Carbono (CO) - (mg/Nm ³)	0.0	0.00	0.00	Reportar	Reportar
Óxidos de Nitrógeno (NO _x) - (mg/Nm ³)	218.0	409.84	316.83	1000	350
Partículas Totales Suspendidas (PTS) - (mg/Nm ³)		390.68	302.02	1000	400
			Resultado Normalizado	Límite de la Norma	
				En funcionamiento	Nuevas
	% Vol		% vol N	% vol N	% vol N
Dióxido de Carbono (% Vol)	13.9		10.75	Reportar	Reportar

Perdidas

- Perdidas por Gas Seco = 6.136%
- Perdidas debido a Combustible = 7.641%
- Perdidas debido al Agua = 14.156%
- Perdidas debido a la Humedad = 0.149%
- Perdidas por Carbón Inquemado = 0.154%
- Perdidas por superficies de Radiación = 0.293%

- **TOTAL DE PERDIDAS = 28.88%**

Eficiencia de la Caldera

- $(1 - \text{Perdidas}) / \text{Entradas} = 73.35\%$
- PCI base Seca = 4.047 kcal/kg
- PCI base Húmeda = 4.344 kcal/kg
- **Eficiencia PCI = 91.37 % (Base Húmeda)**





Grupo EL ÁNGEL

Somos más que azúcar

AZÚCAR • ENERGÍA • INNOVACIÓN AGRÍCOLA • INMOBILIARIA