

Planta de combustión de carbón en lecho fluidizado

INDICE

- Indice Pag 2
- Objetivos del proyecto Pag 3
- Proceso de Fluidización Pag 4
- Balances de Materia Pag 5
- Dimensionado de la soplante Pag 14
- Dimensionado del combustor del lecho fluidizado Pag 17
- Conclusiones Pag 18
- Analisis Económico del proyecto Pag 20
- Bibliografía Pag 22
- ANEXO I Pag 23
- ANEXO II Pag 24
- ANEXO III Pag 25

PROYECTO

Planta de combustión de carbón en lecho fluidizado

- Objetivos del Proyecto
- Diagrama de flujo de la instalación, con indicación de flujos y condiciones de operación.
- Tabla de flujo de componentes y flujos totales.
- Concentraciones de Oxígeno, monóxido de Carbono y Dióxido de Carbono en los humos.
- Coeficientes de exceso de aire.
- Emisiones de cenizas y carbono inquemado en los humos.
- Dimensionado de la soplante.
- Dimensionado del combustor de lecho fluidizado.
- Cálculos justificativos.

- Análisis económico del proyecto.

En el trabajo que presentamos a continuación, trata sobre el estudio matemático de una planta de combustión de carbón. Es conveniente generar primero la planta de forma matemática, de forma que se pueda investigar las distintas condiciones de operación sin correr riesgos a la hora de la construcción y manipulación de la planta en sí.

3

PROCESO DE FLUIDIZACIÓN

Imaginemos un lecho fluido dispuesto sobre una superficie porosa. Si un flujo de aire desde abajo tiene la suficiente presión, mantendrá las partículas del lecho en suspensión. Este es un lecho fluido, donde las partículas del mismo están en suspensión, pero no en circulación. El residuo se inyecta dentro del lecho en torno del sólido de manera uniforme. El aire que fluidiza al lecho se calienta hasta la temperatura de ignición del residuo y este se empieza a quemar (oxidar) dentro del lecho. La mayor parte de las cenizas permanece en el lecho, pero luego sale de la incineradora a través del equipo de control de la contaminación del aire. El calor que sube con los gases de combustión puede capturarse en una caldera o utilizarse para precalentar el aire de combustión. Una buena combustión requiere aire en exceso.

Tenemos como combustible carbón vegetal, y en la combustión va a emitir dióxido de azufre, óxido de carbono y partículas en suspensión.

Cuando la central utiliza carbón como combustible, hecho que ocurre en centrales pequeñas, se requiere carbón de bajo contenido en azufre para limitar las emisiones de Dióxido de azufre a la atmósfera.

Una buena combustión representa una buena oxidación de los componentes orgánicos: carbono e hidrógeno. Para conseguirlo, el aire, que contiene solo el 21% de Oxígeno en volumen, debe mezclarse perfectamente con el carbono y el hidrógeno del combustible. En un proceso homogéneo como este se requiere Tiempo, Turbulencia y Temperatura. Si se disminuye uno de estos tres factores debe de aumentarse los otros dos para conseguir igual grado de combustión.

4

BALANCES DE MATERIA

FLUJOS DEL PROCESO	
Flujo del Combustible	100 kg/h
Rechazo en el Ciclón	5 kg/h
Rechazo en el Filtro	3 kg/h

ANÁLISIS DEL COMBUSTIBLE	
Fracción Másica de <i>C</i>	0.6
Fracción Másica de <i>N</i>	0.05
Fracción Másica de <i>H</i>	0.1
Fracción Másica de <i>S</i>	0.003
Fracción Másica de <i>Cenizas</i>	0.1
Fracción Másica de <i>O</i>	0.147

Componente	% Peso	Nº Kmoles
C	60	4.995
N	5	0.356
H	10	9.922
S	0.3	0.009
O	14.7	0.459
Cenizas	10	–

Al principio suponemos que todo el C que introducimos en el combustor pasa a CO_2 . Así hacemos las reacciones que se producen dentro del combustor. En la siguiente tabla hallamos estequiometricamente los moles de producto y de O_2 que se generan en cada reacción. Ver **ANEXO I** para las corrientes.

REACCION	Kilomoles de O_2	Kilomoles de Producto
$C + O_2 \rightarrow CO_2$	4.995	4.995
$N + O_2 \rightarrow NO_2$	0.357	0.357
$S + O_2 \rightarrow SO_2$	9.35E-03	9.35E-03
$H + \frac{1}{4}O_2 \rightarrow \frac{1}{2}H_2O$	2.480	4.961
TOTAL	7.842	10.322

5

Para hallar todo los kilomoles de oxígeno teóricos restamos los que hemos obtenido ahora de los que ya teníamos antes para saber los que realmente teóricos tenemos.

$$n_{tO_2} = 7.842 - 0.459 = 7.383$$

Kmoles de O_{2t}

Ahora que ya sabemos los kilomoles de O_2 que tenemos sabemos que en aire hay una proporción de 79 % de N_2 y un 21% de O_2 podemos saber los kilomoles de aire y de N_2 .

$$7.373 \text{ kilomoles de } O_2$$

$$* \frac{100}{21}$$

$$= 35.156 \text{ Kmoles de aire teóricos}$$

$$35.156 \text{ Kilomoles de Aire} * \frac{79}{100}$$

$$= 27.773 \text{ Kmoles } N_2$$

en aire.

Sumamos ahora los kilomoles de producto mas los de N_2 para ver los totales en los humos:

$$27.733 + 10.322 = 38.095 \text{ Kmoles/Hora en los humos.}$$

Pasamos estos a litros, luego a metros cúbicos:

$$PV=nRT$$

$$V=38.095 * 0.082 * 273.15/1 = 853.274 \text{ litros} = 0.853 \text{ m}^3$$

Con la gráfica que viene en el guión nos quedamos con un 35 % de exceso de aire, 86´4 % de rendimiento, y con 1300 ppm de CO. El límite legal es de 1445 ppm para este tipo de industrias como veremos en el real decreto anexo posteriormente así que estamos dentro de la legalidad con un rendimiento óptimo.

[CO] 1300 ppm. Esto equivale a que 1.3 litros es un metro cúbico, como sabemos cuantos metros cúbicos tenemos:

$$1.3 \text{ litros} * 0.853 \text{ metros cúbicos} / 1 \text{ metro cúbico} = 1.109 \text{ litros de CO}$$

Aplicamos otra vez $PV=nRT$

$$n=PV/RT = 1 * 1.109 / 0.082 * 273.15 = 0.049 \text{ Kmoles/hora CO en humos.}$$

Ahora volvemos a hacer todos los cálculos pero ya suponemos que el C que existe pasa a CO y a CO_2 . Así recalculamos todo hasta que los valores se repitan, lo que quiere decir que el resultado obtenido es el bueno.

REACCION	Kilomoles de O_2	Kilomoles de Producto
$C + 1/2 O_2 = CO$	0.074	0.049
$C + O_2 \rightarrow CO_2$	4.946*	4.946
$N + O_2 \rightarrow NO_2$	0.357	0.357
$S + O_2 \rightarrow SO_2$	9.35E-03	9.35E-03
$H + \frac{1}{4} O_2 \rightarrow \frac{1}{2} H_2O$	2.480	4.961
TOTAL	7.817	10.322

$$*(4.995 - 0.049)$$

Para hallar todo los kilomoles de oxígeno teóricos restamos los que hemos obtenido ahora de los que ya teníamos antes para saber los que realmente teóricos tenemos.

$$n_{tO_2} = 7.813 - 0.459 = 7.358$$

Kmoles de O_{2t}

Ahora que ya sabemos los kilomoles de O_2

que tenemos sabemos que en aire hay una proporción de 79 % de N_2

y un 21% de O_2

podemos saber los kilomoles de aire y de N_2

.

7.358 kilomoles de O_2

$$* 100/21$$

= 35.038 Kmoles de aire teóricos

35.038 Kilomoles de Aire * $79/100$

= 27.679 Kmoles N_2

en aire.

Sumamos ahora los kilomoles de producto mas los de N_2 para ver los totales en los humos:

$$27.679 + 10.322 = 38.002 \text{ Kmoles/Hora en los humos.}$$

Pasamos estos a litros, luego a metros cúbicos:

$$PV=nRT$$

$$V=38.002 * 0.082 * 273.15/1 = 851.185 \text{ litros} = 0.851 \text{ m}^3$$

Con la gráfica que viene en el guión nos quedamos con un 86.4 % de rendimiento, y con 1300 ppm de CO. El límite legal es de 1445 ppm para este tipo de industrias como veremos en el real decreto anexo posteriormente así que estamos dentro de la legalidad con un rendimiento óptimo.

[CO] 1300 ppm. Esto equivale a que 1.3 litros es un metro cúbico, como sabemos cuantos metros cúbicos tenemos:

$$1.3 \text{ litros} * 0.851 \text{ metros cúbicos} / 1 \text{ metro cúbico} = 1.107 \text{ litros de CO}$$

Aplicamos otra vez $PV=nRT$

$$n=PV/RT = 1 * 1.107 / 0.082 * 273.15 = 0.049 \text{ Kmoles/hora CO en humos.}$$

Como vemos se repite el valor anterior por lo tanto los cálculos son correctos.

$$P.M \text{ CO} = 28.01$$

$$0.049 * 28.01 = 1.384 \text{ Kg/hora de CO}$$

Ahora vemos los Kg. de C que hay en CO:

$$(12.011 \text{ Kg. C} / 28.01 \text{ Kg. CO}) * 1.384 = 0.593 \text{ Kg. De C en CO}$$

Tenemos 60 Kg. de C con un rendimiento del 86.4% así que se queman 51.84 Kg. De C y 8.16 Kg. Pasan sin quemar.

Resto los Kg. de C menos los de C que tengo en CO y me da 51.247 Kg. de C en CO_2

$$(44.009 \text{ Kg } CO_2 / 12.011 \text{ Kg C}) * 51.247 = 187.771 \text{ Kg. } CO_2$$

$$(100/60) * 8.16 = 13.6 \text{ Kg. C sin quemar.}$$

$$\text{Coef. Exceso. Aire} = 1.35 = n_{O_2 \text{ real}} / n_{O_2 \text{ Teórica}}$$

$$7.358 * 1.35 = 9.933 \text{ Kmol/hora } O_2$$

$$9.933 - 7.358 = 2.575 \text{ Kmol/hora } O_2$$

exceso

$$35.038 * 1.35 = 47.301 \text{ Kmol/hora aire reales.}$$

$$27.679 * 1.35 = \text{Kmol/hora } N_2$$

reales

Si se quemas el 100 % del carbón tendríamos:

$$4.995 - 0.049 = 4.946 \text{ Kmol/hora } CO_2$$

8

$$4.946 * 44.009 = 217.668 \text{ Kg./hora } CO_2$$

$$0.049 * 28.010 = 1.384 \text{ Kg./hora } CO$$

$$0.357 * 46.004 = 16.419 \text{ Kg./hora } NO_2$$

$$0.009 * 64.062 = 0.599 \text{ Kg./hora } SO_2$$

$$4.961 * 18.015 = 89.368 \text{ Kg./hora } H_2O$$

TOTAL = 325.438 Kg./hora gases

Mas 10 Kg. de cenizas

$$37.368 * 28.012 = 1046.741 \text{ Kg./hora } N_2$$

$$2.575 * 31.998 = 82.404 \text{ Kg./hora } O_2$$

exceso

Sumando todo nos da el flujo de la corriente B al 100% = 1464.584 Kg./hora

Pero como solo se quema el 86.4% de carbón pues hallamos la corriente que realmente pasa por B:

$$1464 * 0.864 = 1279 \text{ Kg/ hora de flujo por B}$$

La corriente A si se quemase todo el Carbón:

$$9.933 * 31.998 = 317.824 \text{ Kg./hora } O_2$$

$$37.368 * 28.012 = 1046.741 \text{ Kg./hora } N_2$$

TOTAL = 1364.584 Kg./hora Aire por A

Pero como solo se quema el 86.4% de carbón pues hallamos la corriente que realmente pasa por A:

$$1364.584 * 0.864 = 1179 \text{ Kg./ hora Aire}$$

El balance dice que $A + G = B$

La corriente G= 100 Kg/hora, por lo tanto cuadra la corriente B.

$$C = 5 \text{ Kg./hora}$$

$$E = 3 \text{ Kg./hora}$$

$$D = B - C = 1279 - 5 = 1274 \text{ Kg./hora}$$

$$F = B - C - E = 1271 \text{ Kg./hora}$$

9

$$10 \text{ Kg./hora de Cenizas} * 0.864 = 8.64 \text{ Kg./hora Cenizas.}$$

$$0.9 * 5 = 4.5 \text{ Kg./hora Cenizas salen por C}$$

$$0.88 * 3 = 2.64 \text{ Kg./hora Cenizas salen por E}$$

$$8.64 - 4.5 - 2.64 = 1.5 \text{ Kg./hora Cenizas salen por F}$$

$$13.6 \text{ Kg./hora Carbón sin quemar} * 0.6 (\text{Frac. Másica del C}) = 8.16 \text{ Kg./hora de C en B}$$

$$\bullet * 5 = 0.5 \text{ Kg./hora de C en C}$$

$$0.12 * 3 = 0.36 \text{ Kg./hora de C en E}$$

$$8.16 - 0.5 - 0.36 = 7.3 \text{ Kg./hora de C sin quemarse salen por F}$$

Ahora ya nos limitamos a calcular todo el resto de números para completar el cuadro del balance, lo vemos corriente por corriente.

Corriente C:

$$0.6 * 0.1 = 0.06$$

$$0.05 * 0.1 = 0.005$$

$$0.1 * 0.1 = 0.01$$

$$0.003 * 0.1 = 0.0003$$

$$0.147 * 0.1 = 0.015$$

Donde el 0.1 corresponde a la fracción másica en el ciclón y los resultados a la fracción másica de C, N, H, S y O respectivamente.

Corriente E:

$$0.6 * 0.12 = 0.072$$

$$0.05 * 0.12 = 0.006$$

$$0.1 * 0.12 = 0.012$$

$$0.003 * 0.12 = 0.00036$$

$$0.147 * 0.12 = 0.018$$

Donde el 0.1 corresponde a la fracción másica en el filtro y los resultados a la fracción másica de *C*, *N*, *H*, *S* y *O* respectivamente.

Corriente B:

13.6 Kg Carbón dan 1279 Kg./hora de flujo en B.

10

$13.6/1279 = 0.0106$ y este número lo multiplico por todas las fracciones molares:

$$0.0106 * 0.6$$

$$0.0106 * 0.05$$

$$0.0106 * 0.1$$

$$0.0106 * 0.003$$

$$0.0106 * 0.147$$

$$0.0106 * 0.10$$

Lo mismo hago para el CO_2
:

188.066 Kg. CO_2
/ 1279 = 0.147 y este número lo multiplico por todas las fracciones molares.

Para el NO_2

14.186 Kg. NO_2
/ 1279 = 0.011 y este número lo multiplico por todas las fracciones molares.

Para el CO

1.195 Kg. CO / 1279 = $9.34E-04$ y este número lo multiplico por todas las fracciones molares.

Para el H_2O
:

77.214 Kg. H_2O
/ 1279 = 0.061 y este número lo multiplico por todas las fracciones molares.

Para el SO_2
:

0.518 Kg. SO_2

/ 1279 = 4.05E-04 y este número lo multiplico por todas las fracciones molares.

Para el N_2

:

904.384 Kg. N_2

/ 1279 = 0.707 y este número lo multiplico por todas las fracciones molares.

Para el O_2

:

71.197 Kg. O_2

/ 1279 = 0.056 y este número lo multiplico por todas las fracciones molares.

11

Para las Cenizas:

8.64 Kg. Cenizas/ 1279 = 6.75E-03 (cenizas del carbón que salen por los humos) + 0.0011 (cenizas del carbón que se pierden antes)= 7.81E-03 y este número lo multiplico por todas las fracciones molares.

Con todos estos datos ya somos capaces de construir el cuadro del balance:

12

A	B	C	D	E	F	G	Fracción Másica				
-	0.056	-	0.056	-	0.056	-	21% <i>O</i> ₂	0.711		79 % <i>N</i> ₂	
			0.707		0.709						
-	6.36E-03	0.06	6.41E-03	0.072	6.42E-03	0.6	C				
-	5.30E-04	0.005	5.34E-04	0.006	5.55E-04	0.05	N				
-	1.06E-03	0.01	1.07E-03	0.012	1.07E-03	0.1	H				
-	3.18E-05	3.00E-04	3.20E-05	3.6E-04	3.21E-05	0.03	S				
-	1.56E-03	0.0147	1.57E-03	0.018	1.57E-03	0.147	O				
-	7.81E-03	0.9	7.85E-03	0.88	7.86E-03	0.10	Cenizas				
-	0.147	-	0.148	-	0.148	-	<i>CO</i> ₂				
-	9.37E-04	-	9.38E-04	-	9.40E-04	-	<i>CO</i>				
-	0.011	-	0.012	-	0.011	-	<i>NO</i> ₂				
-	4.05E-04	-	4.06E-04	-	4.07E-04	-	<i>SO</i> ₂				
-	0.061	-	0.06	-	0.06	-	<i>H</i> ₂ <i>O</i>				
1179	1279	5	1274	3	1271	100	Flujo Kg/h				

13

Dimensionado de la Soplante.

Para calcular la potencia de la soplante, empleamos un Bernoulli, entre el punto 1 y 2 marcado en **ANEXO II**.

Para ello suponemos: 1.- Codos cerrados $90^\circ = 7 \text{ m}$.

2.- Tubería de acero lisa $f = 0$.

$$\left(\frac{u_1^2}{2g} + \frac{P_1}{\rho g} + h_1 + z_1 \right) = \left(\frac{u_2^2}{2g} + \frac{P_2}{\rho g} + (h_f)_T + z_2 \right)$$

$u_1 = u_2$! el término de velocidad se anula.

$$P_1 = P_2 = P_{\text{atm}} = 1 \text{ atm} = 1.013 \cdot 10^5 \text{ Pa.}$$

$$z_1 = 0 \text{ m. } z_2 = 14 \text{ m.}$$

Consideramos que $u_1 = 20 \text{ m/s}$.

Sabiendo que el caudal en nuestro caso es, $Q = 1179 \text{ Kg/h} = \text{m}$,

$$Q = m / t \quad ! \quad Q = (1179/3600) / 0.409 = 0.8 \text{ m}^3/\text{s.}$$

$$Q = u \cdot s = u \cdot \pi/4 \cdot D^2; 0.8 \cdot 4 = 20 \cdot \pi \cdot D^2 \quad ! \quad D = \sqrt{(3.2 / 62.83)} = 0.226 \text{ m.}$$

$$\text{Re}_{20^\circ \text{ C}} = D \cdot u \cdot \rho / \mu = (0.226 \cdot 20 \cdot 1.2058) / (1.813 \cdot 10^{-5}) = 300618.64 > 4000 \quad ! \quad \text{Turbulento.}$$

$$(\rho_{\text{aire}}, 20^\circ \text{ C}) = 1.2058 \text{ Kg/m}^3.$$

$$(\mu_{\text{aire}}, 20^\circ \text{ C}) = 1.813 \cdot 10^{-5} \text{ Kg/ms.}$$

$$(h_f)_T = (h_f)_{\text{lecho}} + (h_f)_{\text{ciclón}} + (h_f)_{\text{placa}} + (h_f)_{\text{filtro}} + (h_f)_{\text{tuberías}}.$$

$$(h_f)_{\text{tuberías}} = [4f \cdot (L + L_{\text{eq}}) / D] \cdot u^2 / 2g.$$

Pérdida carga lecho.

$$P_b = L_{\text{mfg}} (1 - m_f) \cdot (\rho_p - \rho_g) = 2856.23 \text{ Pa.}$$

$$P_b / \rho_g = 2856.23 / (0.409 \cdot 9.8) = 712.59 \text{ m de aire.}$$

14

$$(\rho_{\text{aire}}, 600^\circ \text{ C}) = 0.409 \text{ Kg/m}^3.$$

Pérdida carga placa distribuidora.

$$P_d = [(L_f / L_{\text{mf}}) - 1] \cdot P_b = [(0.35/0.22) - 1] \cdot 2856.23 = 1687.78 \text{ Pa.}$$

$$P_b / \rho_g = 1687.78 / (0.409 \cdot 9.8) = 421.08 \text{ m de aire.}$$

Pérdida carga ciclón.

$$(\rho_{\text{aire}}, 300^\circ \text{ C}) = 0.6164 \text{ Kg/m}^3.$$

$$P_c = 200 \text{ Pa} = 200 / (0.6164 \cdot 9.8) = 33.11 \text{ m de aire.}$$

Pérdida carga filtro.

$$P_f = 100 \text{ Pa} = 1000 / (0.6164 \cdot 9.8) = 165.54 \text{ m de aire.}$$

Pérdida carga tuberías.

$$Re_{20^\circ \text{ C}} = 300618.64 > 4000 ! \text{ Régimen turbulento.}$$

$$4f = 0.316 / Re^{0.25} = 0.0135.$$

$$(hf)_{\text{tubería } (20^\circ \text{ C})} = 4f (L / D) \cdot (u^2 / 2g) = 0.0135 \cdot (4 / 0.226) \cdot (400 / 19.6) = 4.88 \text{ m.}$$

$$Re_{300^\circ \text{ C}} = (D \cdot u) / \nu = (0.226 \cdot 20 \cdot 0.6164) / (2.9276 \cdot 10^{-5}) = 95167.65 > 4000 ! \text{ turbulento.}$$

$$(\rho_{\text{aire}}, 300^\circ \text{ C}) = 0.6164 \text{ Kg/m}^3.$$

$$(\nu_{\text{aire}}, 300^\circ \text{ C}) = 2.9276 \cdot 10^{-5} \text{ Kg/ms.}$$

$$4f = 0.316 / Re^{0.25} = 0.018.$$

$$(hf)_{\text{tubería } (300^\circ \text{ C})} = 4f (L + L_{eq}) / D \cdot (u^2 / 2g).$$

$$L_{eq} = 3 \cdot 7 = 21 \text{ m.}$$

$$L = 13.5 \text{ m.}$$

$$(hf)_{\text{tubería } (300^\circ \text{ C})} = 0.018 (13.5 + 21) / 0.226 \cdot (400 / 19.6) = 56.08 \text{ m.}$$

$$(hf)_T = 712.59 + 421.08 + 33.11 + 165.54 + 4.88 + 56.08 = 1393.28 \text{ m.}$$

Acudimos a la ecuación de Bernoulli:

$$(P_1 / \rho) + h_p = (P_2 / \rho) + (hf)_T + z_2.$$

$$15$$

$$(1.013 \cdot 10^5 / 1.2058 \cdot 9.8) + h_p = (1.013 \cdot 10^5 / 0.6164 \cdot 9.8) + 1393.28 + 14.$$

$$h_p = 9604.3 \text{ m aire.}$$

$$W = h_{p\text{mg}} = 9604.3 \cdot (1179/3600) \cdot 9.8 = 30825 \text{ w} = 41.91 \text{ cv} = 30.83 \text{ Kw.}$$

En vista de los resultados obtenidos y consultando la gráfica de la soplante, llegamos a las siguientes conclusiones:

Tenemos 2880 m³/h de caudal; el mayor rendimiento máximo se obtiene al 44% del caudal máximo según la gráfica; por lo tanto necesitamos:

2880 · 1/0.44 y obtenemos 6545 m³/h de caudal máximo de la soplante.

Para la altura, con esos mismos datos obtenemos 712.59m de altura de aire, siendo el 80% de la carga total !

la carga máxima será: $712.59 \cdot 1/0.80 = 890.73\text{m}$ aire.

Como el rendimiento máximo se da cuando se utiliza el 44% de la carga máxima:

$$41.91 \text{ cv} \cdot 100/44 = 95.25\text{cv}.$$

16

Dimensionado del combustor de lecho fluidizado.

Sabemos que:

$$Q = 0.8\text{m}^3/\text{s} = 2880\text{m}^3/\text{h}.$$

$$Q = u_s \cdot 1/4 \cdot D^2.$$

$$D = \sqrt[4]{Q \cdot 4 / u_s} = \sqrt[4]{0.8 \cdot 4 / 0.4} = 1.59\text{m}.$$

17

Conclusiones.

Una buena combustión requiere aire en exceso, ya que en las incineradoras éste sirve para controlar la temperatura, puesto que es capaz de absorber el calor de la reacción de combustión.

Una buena combustión representa una buena oxidación de los componentes orgánicos: carbono e Hidrógeno. Para conseguirlo, el aire que contiene sólo un 21% de oxígeno en volumen, debe mezclarse perfectamente con el carbono y el hidrógeno del combustible (residuo), para producir estequiometricamente dióxido de carbono y agua.

El aire, desgraciadamente, tiene un 79% de nitrógeno, que es inerte y entra en el proceso de combustión.

En un proceso homogéneo se requiere **Tiempo, Turbulencia y Temperatura.**

Si se disminuye uno de estos factores, deben aumentar los otros dos para conseguir el mismo grado de combustión completa.

Por eso, muy pocas reacciones de combustión son completas a la temperatura mínima teórica, o con la cantidad teórica de aire exactamente necesaria para proporcionar cantidades estequiométricas de oxígeno para el carbono e hidrógeno del combustible.

Cuando mejora la turbulencia (agitación) del reactor (quemador/incinerador) y aumenta el tiempo dado para que la reacción tenga lugar, disminuye la cantidad de aire en exceso (oxígeno) necesario en la reacción.

Si la combustión se compara con un triángulo isósceles, donde los tres lados son el tiempo, la temperatura y la turbulencia; la disminución de la longitud de uno de los lados requiere una compensación a través del aumento de los otros dos. ¡Esto es la combustión!.

Cuando la central utiliza carbón como combustible, hecho que ocurre en centrales pequeñas que abastecen plantas fabriles, se requiere el uso de carbón con muy bajo contenido de azufre para reducir a un mínimo la

emisión de SO₂.

Tenemos que tratar el carbón antes, ya que posee un porcentaje de humedad; con lo cual le consideramos ya seco.

El calor que sale con los gases de combustión puede capturarse en una caldera o utilizarse para precalentar el aire de combustión.

Para controlar la emisión de SO₂ y de monóxido de carbono recurrimos al decreto 833/75, 6 de Febrero; desarrollo de la ley sobre protección del ambiente atmosférico 38/72. VER **ANEXO III**

18

Emisión de SO₂.

Par cualquier potencia y tanto para instalaciones existentes como nuevas: 2400mg/Nm³ para las instalaciones que quemen hulla o antracita. Para las que empleen lignito, el

límite de emisión máximo será de 6000mg/Nm³. Nosotros suponemos que usamos lignitos para estar dentro de la ley.

Emisión de CO.

El contenido en CO en los gases de combustión, para cualquier potencia y combustible, no será superior a 1445ppm., que equivale a dos gramos termia o $4.8 \cdot 10^{-10}$ Kg/Joule.

19

Análisis económico del proyecto.

- Kg de carbón = **35pts.**

Kw/h que consume la soplante (100cv)

1cv = 0.763 Kw; el potencial de la soplante era de 100cv ! **73.6 Kw/h**

Precio de la soplante: $C_e = C \cdot s_n$.

$n = 0.8$; $s = 73,54$ Kw; $C_e = 13888 \cdot 200 = 2.777.722$ pts.

Precio del filtro: $C_e = C \cdot s_n$

$n = 0.6$; $s = \text{área en m}^2$; $C = 1000$.

$100 * 200 * 2.626 = 525.305$ Ptas.

(nuestro filtro recubierto de hierro)

Metros de tubería de acero $D = 0.25\text{m}$! metros totales de tubería requerida = **17.5m.**

- El 33% del carbón que introducimos lo sacamos como energía que vamos a vender a una industria.

Actualmente, están interesados en nuestro proyecto tres empresas reconocidas. En vista de las ofertas propuestas, elegiremos la que más nos convenga económicamente.

Sabemos que el poder calorífico del carbón (antracita) es: $32 \cdot 10^6$ J/Kg.

Como nosotros obtenemos un 86.4% de carbón quemado y tenemos 100 Kg/h !

$$32 \cdot 10^6 \text{ J/Kg} \cdot 100 \text{ Kg/h} \cdot 0.864 = 2.7648 \cdot 10^9 \text{ J/h.}$$

Como el 33% del carbón que introducimos, lo sacamos como energía !

$$2.7648 \cdot 10^9 \text{ J/h} \cdot 0.33 = \mathbf{9.1238 \cdot 10^8 \text{ J/h}}, \text{ siendo esta la energía producida por la planta.}$$

Como $w = \text{J/s}$, obtenemos 253440 w de energía. Los watos que consume nuestra instalación son 70056 y nos dan 253440, restando obtenemos

20

183384 w netos nuestros, es decir, 183.384 Kw.

Consultado en Iberdrola, el Kw/hora sale a 7.69 pesetas en tarifa de alta tensión.

$$183.384 \cdot 7.69 = \mathbf{1410.222 \text{ Pesetas que ganamos por hora.}}$$

21

Bibliografía.

Gestión de residuos tóxicos .Michael Lagrega.

Ed. Mc Graw Hill.

Ecología Industrial: Ingeniería Medioambiental Aplicada a la Industria y Empresa. Mariano Seoane Calvo.

Contaminación Atmosférica. J. A. Del Giorgio.

Todo sobre el Medioambiente. J.J. Lavilla, M^a José Meneéndez.

Fundamentos, Transferencia de Momento de Calor y Masa. Welly.

Ecoiuris. Normativa Medioambiental. Ministerio de Industria y Energía.

22

14