G. DIMENSIONADO Y CARACTERÍSTICAS DE EQUIPOS A CONSTRUIR Y COMPRAR

G.1. Dimensionado de la arandela del gasificador downdraft

La parte más importante del diseño del gasificador es la garganta. Para determinar el diámetro óptimo (d) de la garganta (parte inferior del cono) se utilizará la siguiente ecuación (Ec. G.1):

$$A = \pi \times \frac{d^2}{4} \qquad \text{(Ec. G.1)}$$

Despejando el término d , la ecuación queda como (Ec. G.2):

$$d = 2 \times \left(\frac{A}{\pi} \right)^{\frac{1}{2}} \qquad \text{(Ec. G.2)}$$

Donde A es el flujo de pelets (m_{pel}), dividido por la densidad de los mismos (θ) y multiplicado por la velocidad de los pelets en la zona de pirólisis (vf). En la siguiente Tabla G.1 se muestran los datos de la densidad y la velocidad [18].

Tabla G.1. Valores de la densidad y velocidad.

Nombre	Símbolo	Unidad	Valor
Densidad de los pelets	θ	g/m^3	1,1
Velocidad en la zona de pirólisis	vf	cm/s	0,035

Fuente: Elaboración propia.

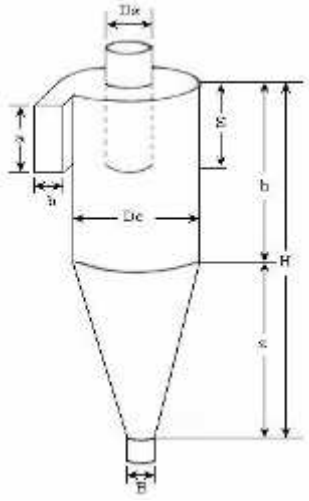
Reemplazando los valores de la Tabla G.1 en la ecuación (Ec. G.2), nos da un diámetro óptimo de:

$$d = 2 \times \left(\frac{\left(\frac{15}{1{,}1 \times 10^3 \times 0{,}035 \times 36} \right)}{(\pi)} \right)^{\frac{1}{2}} = 117 mm$$

G.2. Dimensionado del ciclón

Para dimensionar el ciclón, utilizaremos el tipo de ciclón de alta eficiencia Stairmand, que está diseñado para alcanzar remociones de partículas pequeñas (pueden remover partículas de 5 µm). Este tipo de ciclón se ha escogido ya que el 34,5% del tamaño de diámetro de las partículas, está por debajo de los 60 µm y el 45% de las partículas está por debajo de los 10 µm. A continuación en la Figura G.1 se muestra las dimensiones del ciclón más estandard.

Figura G.1: Dimensiones del ciclón



Fuente: Echeverry L. C. A., CYCLONES OPTIMAL DESIGN, Medellín, 2006.

En la Tabla G.2 se muestran las características de los ciclones de alta eficiencia. Para los siguientes cálculos utilizaremos, los del tipo Stairmand.

Tabla G.2. Características de los ciclones de alta eficiencia.

Dimensión	Nomenclatura	Tipo de Ciclón		
		Stairmand	Swift	Echeverri
Diámetro del ciclón	Dc/Dc	1.0	1.0	1.0
Altura de entrada	a/Dc	0.5	0.44	0.5
Ancho de entrada	b/Dc	0.2	0.21	0.2
Altura de salida	S/Dc	0.5	0.5	0.625
Diámetro de salida	Ds/Dc	0.5	0.4	0.5
Altura parte cilíndrica	h/Dc	1.5	1.4	1.5
Altura parte cónica	z/Dc	2.5	2.5	2.5
Altura total del ciclón	H/Dc	4.0	3.9	4.0
Diámetro salida de partículas	B/Dc	0.375	0.4	0.375
Factor de configuración	G	551.22	698.65	585.71
Número de cabezas de velocidad	NH	6.4	9.24	6.4
Número de vórtices	N	5.5	6.0	5.5

Fuente: Echeverry L. C. A., CYCLONES OPTIMAL DESIGN, Medellín, 2006.

A continuación realizaremos el procedimiento general de diseño del ciclón. En la Tabla G.3 se muestran los datos utilizados para los cálculos del diseño:

Tabla G.3. Datos de diseño del ciclón.

Nombre	Símbolo	Unidad	Valor
Viscosidad del gas de síntesis	ϕ	(Pa*s) [a]	$420*10^{-7}$
Densidad del gas en base húmeda	$\theta_{C.N.}$	Kg/Nm^3 [d]	1,051
Densidad del gas a 850 ºC	θ	Kg/Nm^3 [d]	0,256
Densidad de la partícula	θ_P	(kg/m^3) [b]	2000
Velocidad del gas a la entrada del ciclón	Uc	(m/s) [c]	20
Caudal volumétrico del gas	V_{vh}	Nm^3/h [d]	37,53
Caudal volumétrico del gas	V	m^3/h	154,32

a: Valor obtenido de la visita técnica a la empresa Logic-energy.

b: Valor obtenido del Handbook of Biomass Downdraft Gasifier Engine Systems, SERI, 1988.

c: Valor obtenido de la visita técnica a la empresa Logic-energy.

d: Nm^3 es el volumen en m^3 en condiciones normales de presión y temperatura: 273,15 k y 101,3 kPa.

Fuente: Elaboración propia.

G.2.1 Cálculo del diámetro del ciclón

Resolvemos la siguiente ecuación (Ec. G.3):

$$Uc = \frac{V}{a \times b} \qquad \text{(Ec. G.3)}$$

Donde: $a = 0,5 \times Dc$ y $b = 0,2 \times Dc$, despejando Dc de la ecuación anterior nos da como resultado:

$$Dc = \sqrt{\frac{\frac{V}{3600}}{Uc \times 0,5 \times 0,2}} \qquad \text{(Ec. G.4)}$$

Reemplazando los datos en la (Ec. G.4) nos da como resultado un diámetro del ciclón de: $Dc = 146,4mm$

Una vez obtenido el diámetro del ciclón, se pueden hallar las otras dimensiones. De la Figura G.1 y la Tabla G.2:

Altura de entrada al ciclón (a): $a / Dc = 0,5$ ⟶ a=73,2 mm

Ancho de entrada al ciclón (b): $b / Dc = 0,2$ ⟶ b=29,3 mm

Altura de salida del ciclón (S): $S / Dc = 0,5$ ⟶ S=73,2 mm

Diámetro de salida del ciclón (D_s): $Ds / Dc = 0,5$ ⟶ D_s=73,2 mm

Altura parte cilíndrica del ciclón (h): $h / Dc = 1,5$ ⟶ h=219,6 mm

Altura total del ciclón (H): $H / Dc = 4$ ⟶ H=585,6 mm

Diámetro salida del polvo (B): $B / Dc = 0,375$ ⟶ B=54,9 mm

Altura parte cónica del ciclón (z): $z / Dc = 2,5$ ⟶ z=366 mm

Estimación del número de ciclones necesarios para trabajar el paralelo: como $Dc < 1000mm$, solo se necesitará un ciclón.

G.2.2 Cálculo de la eficiencia del ciclón

Primero calcularemos si hay o no resuspensión, ya que de presentarse resuspensión en el ciclón, la ecuación de Leith y Licht estaría sobrestimando la eficiencia del ciclón.

Para hallar la relación de velocidades se requiere primero estimar la velocidad equivalente y luego la velocidad de saltación.

En la siguiente ecuación, se muestra el cálculo para hallar la velocidad equivalente (Ec. G.5):

$$W = \sqrt[3]{\frac{4 \times g \times \phi \times (\theta_p - \theta)}{3 \times \theta^2}} \qquad \text{(Ec. G.5)}$$

Reemplazando los datos:

$$W = \sqrt[3]{\frac{4 \times 9,81 \times 420 \times 10^{-7} \times (2000 - 0,256)}{3 \times 0,256^2}} = 2,56\ m/s$$

En la siguiente ecuación, se muestra el cálculo para hallar la velocidad de saltación (Ec. G.6):

$$VS = \frac{4,913 \times W \times \left(b/Dc\right) \times Dc^{0,067} \times \sqrt[3]{Uc^2}}{\sqrt[3]{1 - \left(b/Dc\right)}} \qquad \text{(Ec. G.6)}$$

Reemplazando los datos:

$$VS = \frac{4,913 \times 2,56 \times (0,2) \times 0,1464^{0,067} \times \sqrt[3]{20^2}}{\sqrt[3]{1 - (0,2)}} = 17,55\ m/s$$

La relación de velocidades:

$$\frac{Uc}{VS} = \frac{20}{17,55} = 1,14$$

Como $\frac{Uc}{VS} < 1,35$; no hay resuspensión del material particulado.

Como la concentración de partículas es de 3 g/Nm^3, La ecuación para el cálculo de la eficiencia de un tamaño de partícula, se muestra a continuación (Ec. G.7), se puede utilizar sin tener que corregirla.

$$\eta i = 1 - \mathrm{EXP}\left[-2 \times \left(\frac{G \times Ti \times m \times (n+1)}{Dc^3} \right)^{\frac{0,5}{(n+1)}} \right] \qquad \text{(Ec. G.7)}$$

La eficiencia total de ciclón es el producto de la eficacia de separación de cada partícula, multiplicado por su % en masa (ψ_i), como se muestra en la siguiente ecuación (Ec. G.8):

$$\eta_{total} = \sum \eta_i \times \psi_i \qquad \text{(Ec. G.8)}$$

El factor de configuración G es igual a 551,22 para los ciclones Stairmand.

El cálculo del término n, es constante para todos los tamaños de partículas, como se muestra en la siguiente ecuación (Ec. G.9):

$$n = 1 - \left(1 - 0,67 \times D_c^{0,14}\right) \times \left[\frac{T}{283} \right]^{0,3} \qquad \text{(Ec. G.9)}$$

En la cual:

T es la temperatura del gas en grados K. Reemplazando los datos:

$$n = 1 - \left(1 - 0,67 \times 0,1464^{0,14}\right) \times \left[\frac{(850 + 273,15)}{283} \right]^{0,3} = 0,26$$

El cálculo del término Ti, se realiza para cada tamaño de partícula, como se muestra en la siguiente ecuación (Ec. G.10):

$$Ti = \frac{\theta_p \times D_{pi}^2}{18 \times \phi} \qquad \text{(Ec. G.10)}$$

En la siguiente Tabla G.4 se muestra la eficacia de separación del ciclón para partículas según los diámetros de partículas de la Tabla A.20, mostrada en el apartado A.2.

Tabla G.4. Eficiencia de separación I.

Tamaño (µm)	Ψi (%)	Dp (µm)	Dp (m)	Ti	ni	ni*Ψi (%)
más de 1000	1,7	1000	1,00E-03	2,6E+00	1	1,70
1000 - 250	24,7	625	6,25E-04	1,0E+00	1	24,70
250 - 102	23,7	176	1,76E-04	8,2E-02	1	23,70
102 - 75	7,1	88,5	8,85E-05	2,1E-02	1	7,10
75 - 60	8,3	67,5	6,75E-05	1,2E-02	1	8,30
menos de 60	34,5	60	6,00E-05	9,5E-03	1	34,47
					Eficiencia total	99,97

Fuente: Elaboración propia.

En la columna 3 de la tabla anterior (Dp) se toma la media del rango de partículas. También, se ve que la eficiencia del ciclón es del 99,97% para este tamaño de partículas.

En la siguiente Tabla G.5 se muestra la eficacia de separación del ciclón para partículas según los diámetros de partículas de la Tabla A.21, mostrada en el apartado A.2.

Tabla G.5. Eficiencia de separación II.

Tamaño (µm)	Ψi (%)	Dp (µm)	Dp (m)	Ti	ni	ni*Ψi (%)
de 5 a 10	45	7,5	7,50E-06	1,5E-04	0,63	28,33
de 10 a 30	26	20	2,00E-05	1,1E-03	0,82	24,21
de 30 a 50	17	40	4,00E-05	4,2E-03	0,92	15,68
de 50 a 60	12	55	5,50E-05	8,0E-03	0,98	11,80
					Eficiencia total	80,0

Fuente: Elaboración propia.

En la columna 3 de la tabla anterior (Dp) se toma la media del rango de partículas. También, se ve que la eficiencia del ciclón es del 80% para este tamaño de partículas.

G.2.3 Cálculo de la caída de presión en el ciclón

Para calcular la caída de presión en el ciclón utilizaremos la ecuación desarrollada por Shepherd y Lapple (Ec. G.11):

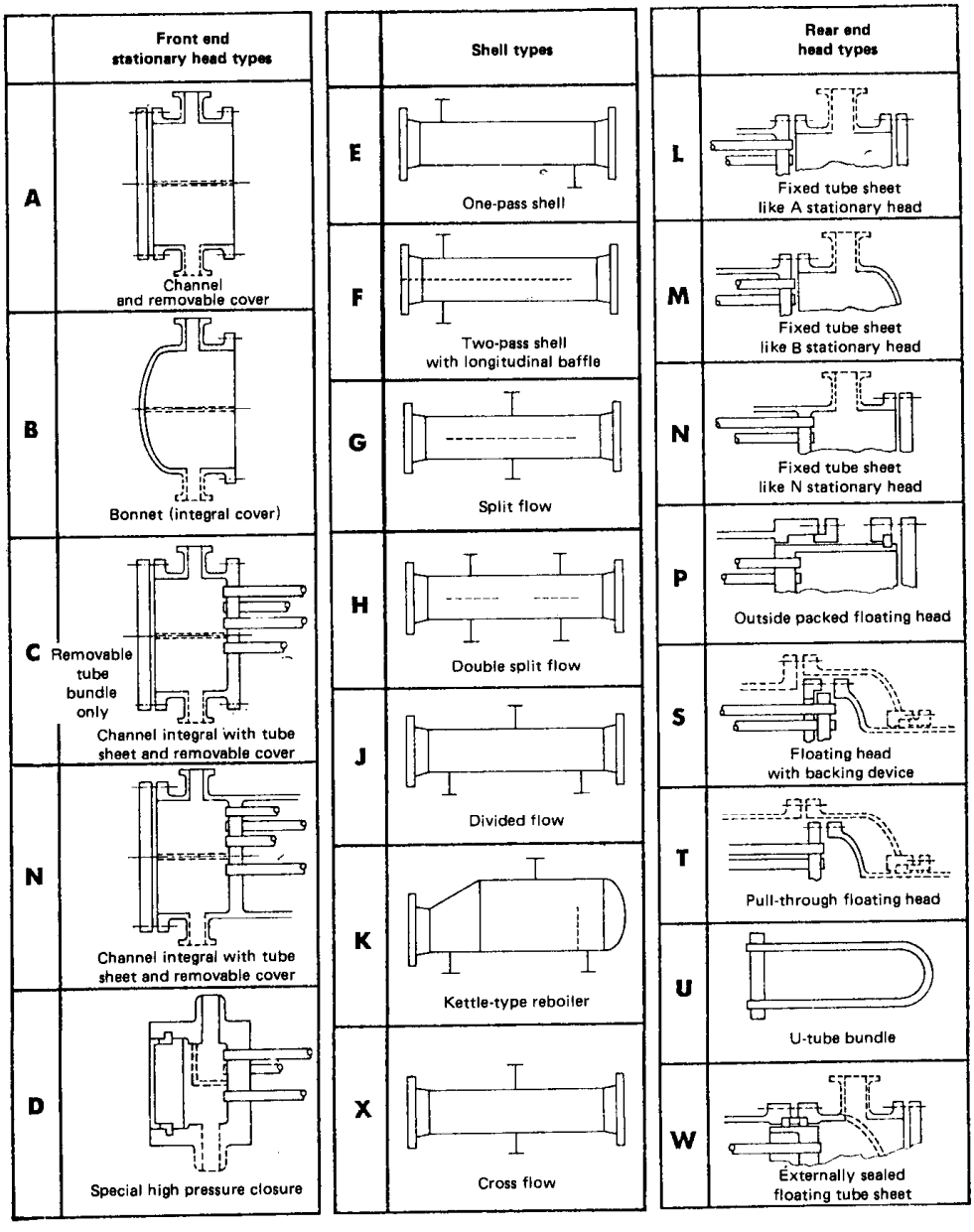
$$\Delta\rho = 0,5 \times \theta \times Uc^2 \times NH \qquad \text{(Ec. G.11)}$$

Reemplazando los datos: $\Delta\rho = 0,5 \times 0,256 \times 20^2 \times 6,4 = 328\ Pa$

G.3. Cálculo de la superficie de transferencia de calor

A continuación en la Figura G.2 se muestra las designaciones de las tres letras de los intercambiadores carcasa-tubo.

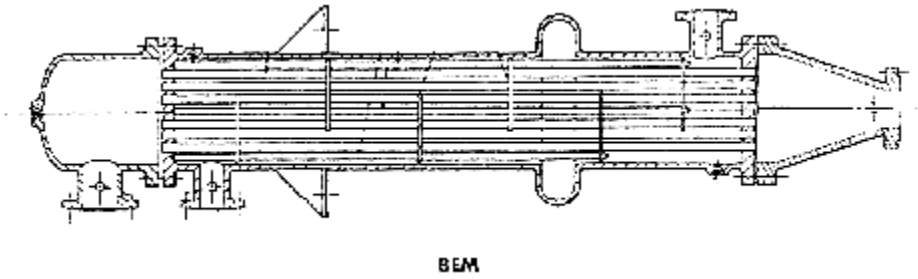
Figura G.2: Notación de los intercambiadores carcasa-tubo por TEMA.



Fuente: www.tema.org/

Para nuestro recuperador utilizaremos las letras B de la primera columna, letra E de la segunda columna y letra M de la tercera columna de las tabal anterior. A continuación en la siguiente Figura G.3 se muestra el tipo de intercambiador BEM.

Figura G.3: Intercambiador del tipo BEM.

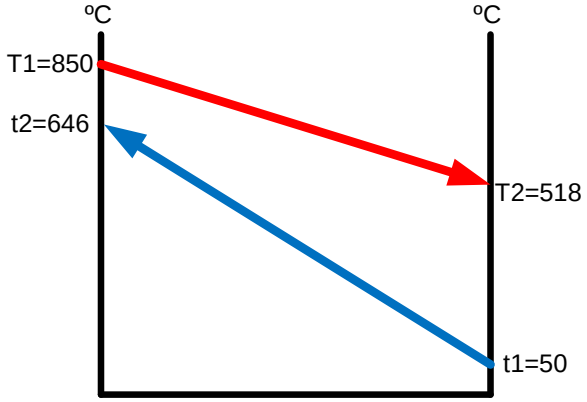


Fuente: www.tema.org/

Debido a que la temperatura del gas de síntesis va variando a lo largo de los tubos del recuperador, no se tiene un valor constante de la diferencia de temperatura de los dos fluidos (aire y gas de síntesis), pero se conocen las temperaturas de entrada y salida de los dos fluidos en estudio, para este caso se puede utilizar la fórmula de la media logarítmica de diferencias de temperaturas (MLDT), que nos proporciona un valor aproximado de la diferencia efectiva de temperaturas de los dos fluidos. El método utilizado para calcular la superficie de intercambio de calor, es “The MTD Method” [23]. En este método el ratio de transferencia de calor se realiza desde el fluido caliente al fluido frío.

En la siguiente Figura G.4 se muestra el diagrama térmico del intercambiador de calor, donde el fluido caliente (gas de síntesis) se muestra de color rojo y el fluido frío (aire) se muestra de color azul, cuando ninguno de los fluidos cambia de fase.

Figura G.4: Diagrama térmico.



Fuente: Elaboración propia.

El balance global, en ausencia de pérdidas, refleja que la potencia cedida por el fluido caliente debe ser igual a la potencia absorbida por el fluido frío.
La ecuación básica de la transferencia de calor por el método MTD es (Ec. G.12):

$$q = U \times S \times f_T \times \Delta T_{MLDT} \qquad \text{(Ec. G.12)}$$

Donde:

q : representa el calor intercambiado (W).

U : representa el coeficiente global de transferencia de calor [W/ (m^2*k)] (valor obtenido de la visita técnica a la empresa GINOX S.L.).

S : Área de transferencia de calor.

f_T : Factor corrector de la media logarítmica que depende de la configuración y que puede encontrarse en la literatura en forma de gráficos.

Del balance de energía realizado al intercambiador de calor en el apartado A.3 tenemos que: $q = 5,45\ kW$

La ecuación (Ec. G.13) muestra para el flujo en contracorriente la variación de las temperaturas, donde la ΔT_{MLDT} es la media logarítmica de la diferencia de temperaturas (MLDT en la nomenclatura anglosajona).

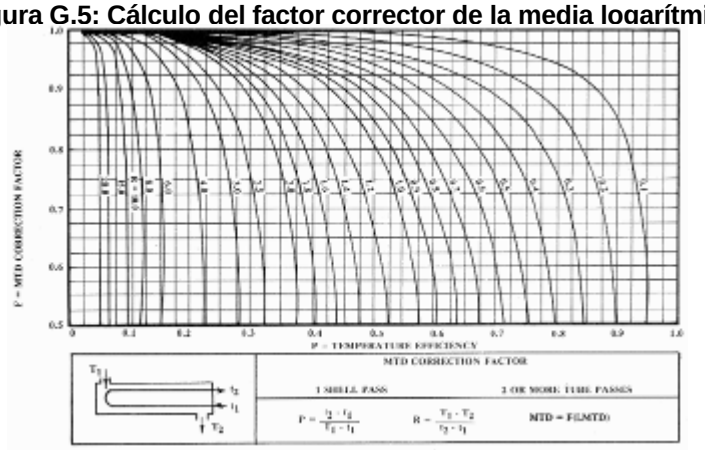
$$\Delta T_{MLDT} = \left[\frac{(T1 - t2) - (T2 - t1)}{LN\left(\frac{(T1 - t2)}{(T2 - t1)} \right)} \right] \qquad \text{(Ec. G.13)}$$

La media logarítmica de diferencias de temperaturas, la obtenemos reemplazando los datos de la Figura G.4, en la ecuación anterior (Ec. G.13).

$$\Delta T_{MLDT} = \left[\frac{(850 - 646) - (518 - 50)}{LN\left(\frac{(850 - 646)}{(518 - 50)} \right)} \right] = 317,94$$

Éste valor lo corregimos multiplicándolo por f_T, y lo encontramos en la Figura G.5:

Figura G.5: Cálculo del factor corrector de la media logarítmica.



Fuente: www.tema.org/

Para poder encontrar este valor, tenemos que hallar el valor de las expresiones de P y R. La ecuación básica de P es (Ec. G.14):

$$P = \frac{t2 - t1}{T1 - t1} \qquad \text{(Ec. G.14)}$$

Reemplazando los datos:

$$P = \frac{646 - 50}{850 - 50} = 0,7$$

La ecuación básica de R es (Ec. G.15):

$$R = \frac{T1 - T2}{t2 - t1} \qquad \text{(Ec. G.15)}$$

Reemplazando los datos:

$$R = \frac{850 - 518}{646 - 50} = 0,6$$

Estos dos valores anteriormente calculados se interceptan en la Figura G.5 donde nos resulta un valor de $f_T = 0,6$. Ahora multiplicamos este valor encontrado $f_T = 0,6$ por $\Delta T_{MLDT} = 317,94$, la media logarítmica corregida es $\Delta T_{MLDT,\,corregida} = 190,8$. En la Tabla G.6 se muestran los valores de los diferentes productos de la ecuación (Ec. G.12), para hallar el valor del área de la transferencia de calor S.

Tabla G.6. Valores a reemplazar en la ecuación (Ec. G.12).

Nombre	Símbolo	Unidad	Valor
Calor intercambiado	q	kW	5,45
Coeficiente global de transferencia	U [a]	W/(m^2.k)	15,2
Factor de corrección de la media logarítmica	f_T	-	0,6
Media logarítmica	ΔT_{MLDT}	ºC	318
Media logarítmica corregida	$\Delta T_{MLDT,\,corregida}$	ºC	190,8

a: valor obtenido de la visita técnica a la empresa Logic-energy.

Fuente: Elaboración propia.

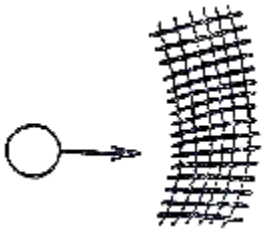
El resultado de reemplazar estos valores es:

$$S = \frac{q}{U \times f_T \times \Delta T_{MLDT}} = \frac{5450}{15,2 \times 0,6 \times 317,9} = 1,9\ m^2$$

G.4. Mecanismo de separación y selección del filtro de tela

Los filtros de tela tiene la capacidad de mantener las eficacias de separación del 99%, mediante el mecanismo de separación SIEVING, donde las partículas son capturadas. En la Figura G.6 se muestra la idea de este método.

Figura G.6: Mecanismo de colección de partículas Sieving.



Fuente: McKenna, JD., Mycock, JC., Theodore, L., Handbook of Air Pollution Control Engineering and Technology. CRC PRESS, LEWIS PUBLISHERS, BOCA RATON, FL 33431 (USA). 1995.

La temperatura de funcionamiento de los filtros de tela, es función de las características de de las fibras con las cuales están hechos los tubos o camisas. En la Tabla G.7 se muestra una tabla, de las limitaciones de los filtros de mangas en función de la temperatura y su resistencia química. De la tabla de la figura escogemos el filtro de tela con fibra de polipropileno.

Tabla G.7: Selección del filtro de tela.

Fibra	Nombre genérico	Propiedades de la Fibra					Temperatura ºF	
		Resistencia tracción	Resistencia abrasión	Resistencia química		resistencia combustión	continuo	Sobre tensiones
				Ácidos	Álcalis			
Algodón	Celulosa fibra natural	Buena	Media	Mala	excelente	Si	180	225
Polipropileno	Propileno	Excelente	Buena	Excelente	excelente	SI	190	190
Vidrio	Vidrio	Excelente	Mala	Buena	Mala	No	500	550
Nylon	Poliamida	Excelente	Excelente	Mala	excelente	Si	200	250
Dacron	Poliéster	Excelente	Excelente	Buena	Justo	Si	275	325
Orlón	Acrílico	Media	Media	Muy Bueno	Justo	Si	240	260
Microtaia	Acrílico	Media	Media	Muy Bueno	Justo	Si	250	280
Lana	Proteína fibra natural	Mala	Media	Justo	Mala	No	200	250
Nomex	Poliamidas aromáticas	Muy Bueno	Muy Bueno	Justo	Muy Bueno	No	400	425
Teflón	Fluorocarbono	Justo	Mala	Excelente	excelente	No	450	500

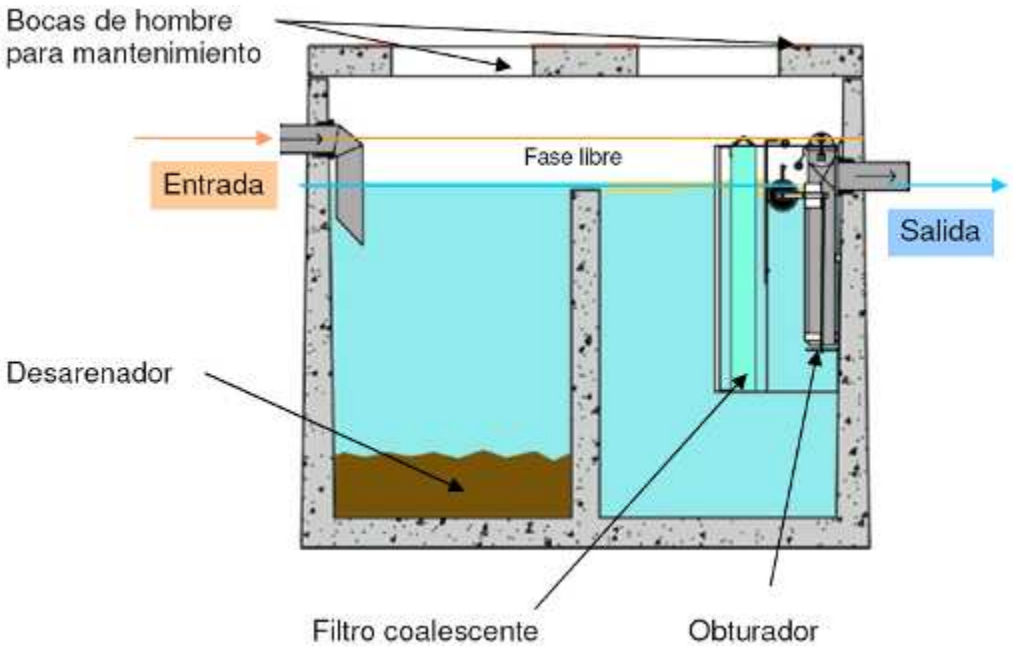
Fuente: McKenna, JD., Mycock, JC., Theodore, L., Handbook of Air Pollution Control Engineering and Technology. CRC PRESS, LEWIS PUBLISHERS, BOCA RATON, FL 33431 (USA). 1995.

G.5. Equipos a comprar

G.5.1 Separador de hidrocarburos

El H_2O que sale del lavador contiene partículas sólidas, que deberán ser retiradas, y almacenadas en depósitos especiales. La solución técnica que se ha adoptado para este caso es poner un separador de hidrocarburos por coalescencia. El sistema de funcionamiento de este separador es el siguiente: posee un sistema de obturación, este sistema se refiere a una boya calibrada a una densidad que no flota en las partículas sólidas, y que en cambio flota con el agua. Así también, actúa como sistema de seguridad, a la salida del separador, en caso que el separador se llenase de forma accidental, evitando el vertido del líquido. La célula coalescente está formada por componentes de forma alveolar que provocan que las partículas pequeñas se aglutinen hasta alcanzar un tamaño de partícula suficientemente grande. Al aumentar su tamaño también aumenta su velocidad de ascensión, consiguiendo que así pasen a la fase libre antes de salir del separador. Un parámetro fundamental del diseño del separador es el tamaño del desarenador y del separador, de forma que garantice un tiempo de residencia en el separador suficiente para que se produzca la depuración. El fabricante CONTEROL es el que mejor se adecua a nuestras exigencias en cuanto a las prestaciones que ofrecerá el equipo durante su funcionamiento. Así también es el que mejor precio de mercado nos ofrece. En la Figura G.7, se muestra el esquema del separador de hidrocarburos.

Figura G.7: Separador de hidrocarburos por coalescencia.



www.conterol.es

G.5.2 Bomba de agua

La bomba tendrá que recircular agua proveniente del depósito de sedimentación y llevarla a la entrada del spray lavador Venturi. De los diversos fabricantes que existen actualmente en el mercado, se eligió al fabricante de bombas a nivel internacional Grundfos, en relación calidad-precio-consumo es el que mejor se adecua a nuestras necesidades de bombeo. Los resultados del dimensionamiento de la bomba de recirculación Grundfos modelo ALPHA2 25-40 N 180, se muestran en la Figura G.8:

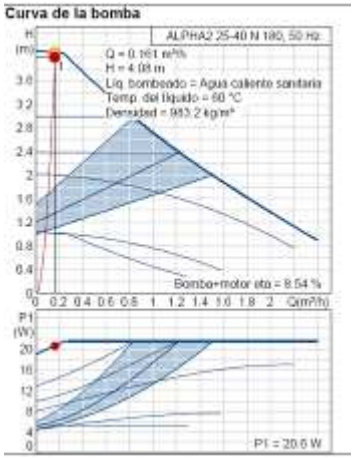
Figura G.8: Resultados de dimensionamiento.

Resultados de dimensionamiento

Código del producto:	95047502
Tipo:	ALPHA2 25-40 N 180
Cantidad:	1
Caud:	0.161 m³/h (+1%)
Alt.:	4.08 m (+2%)
Pot. P1:	0.021 kW
Bomb+motor Eta:	8.5 % =Bomba Eta *motor Eta
Total Eta:	8.5 % =Eta relativa punto de trabajo
Consumo energía:	99 kWh/Año
Emisión CO2:	56 kg/Año
Prec.:	Bajo pedido

Perfil carga

	1	
Caud	100	%
Alt.	102	%
P1	0.021	kW
Total Eta	8.5	%
Time	4800	h/Año
Consumo energía	99	kWh/Año
Cantidad	1	



http://net.grundfos.com/Appl/WebCAPS/

En la Figura G.9 se muestra la bomba elegida:

Figura G.9: Bomba de recirculación.

http://net.grundfos.com/Appl/WebCAPS/InitCtrl?mode=18

G.5.3 Soplante de gas y soplante de aire

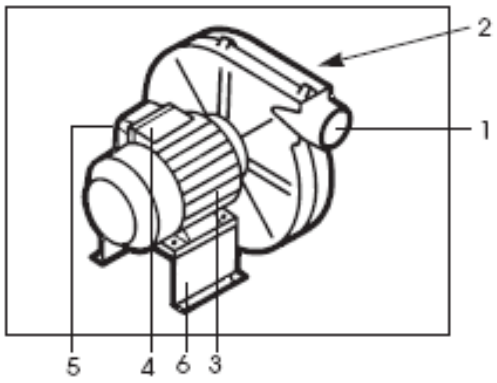
Las soplantes son equipos que de acuerdo a su posición pueden trabajar como impulsión de aire o como aspiración de gas. De los diversos fabricantes que existen actualmente en el mercado, se eligió al fabricante de soplantes a nivel internacional LEISTER, en relación calidad-precio-consumo es el que mejor se adecua a nuestras necesidades de impulsión de aire y aspiración de gas. Los datos técnicos y descripción de las soplantes LEISTER modelo SILENCE, se muestran en la Figura G.10:

Figura G.10: Datos técnicos.

DATOS TECNICOS

Tipo de construcción		Compresor radial
Tensión para operación trifásica	V~	3 x 230 – 254 3 x 380 – 440
Tensión para operación monofásica	V~	1 x 230 – 254
Condesador para operación monofásica	mF	12
Potencia	W	250
Frecuencia	Hz	50 / 60
Caudal de aire	l/min.	4700 / 6000
Presión estática	Pa	1000 / 1400
Ruido	dB (A)	61
Tipo de protección	DIN 40050	IP 54
Orificio de aspiración (diámetro exterior)	mm	80
Orificio de soplado (diámetro exterior)	mm	60
Temperatura ambiente	°C	<60
Peso	kg	9,0
Medidas	mm	280,5 x 289 x 280

Descripción del aparato



1. Orificio de soplado, diámetro 60
2. Orificio de aspiración, diámetro 80
3. Motor
4. Caja de conexiones
5. Tapa de la caja de conexiones
6. Pata de montaje

http://www.quero-sa.es/p_31n.aspx

Así también en la Figura G.11 se muestra un fotografía del equipo en posición de impulsor de aire para la entrada al recuperador de calor.

Figura G.11: Soplante LEISTER silence (impulsión de aire).

Fuente: Elaboración propia.

G.5.4 Válvulas de compuerta y esfera

Se han elegido separadamente por proveedor. Las válvulas de compuerta son compradas a la comercializadora Iberfluid Instruments S.A. Está comercializadora nos ofreció la mejor relación calidad-precio. De las 5 válvulas de compuerta, una es de accionamiento eléctrico y las 4 restantes son de compuerta pero de diferente diámetro nominal, en la Tabla G.8 se muestra la relación de este tipo de válvulas así como sus dimensiones, temperatura, función y ubicación en el piloto de gasificación.

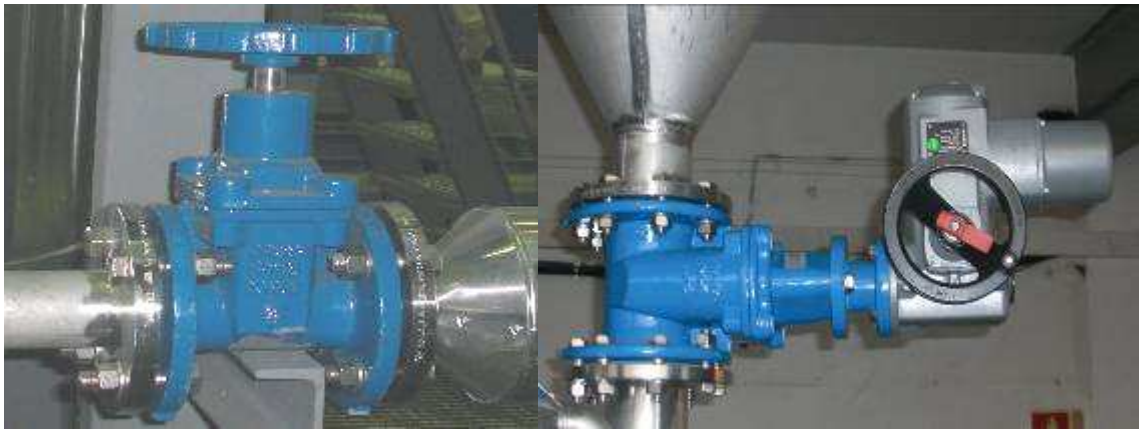
Tabla G.8. Relación de válvulas de compuerta.

Válvula	Dn	Tipo de válvula	Función	Ubicación
valve 2	100	compuerta	extracción de sólidos (char)	salida del gasificador
valve 3	100	compuerta con actuador eléctrico	entrada de sólidos	entrada del gasificador
valve 5	50	compuerta	extracción de sólidos (cenizas)	salida del ciclón
valve 8	50	compuerta	extracción de sólidos (alquitranes)	salida del separador de hidrocarburos
valve 13	50	compuerta	extracción de sólidos (alquitranes)	salida del filtro de mallas

Fuente: Elaboración propia.

En la Figura G.12 se muestra dos imágenes, la de la izquierda es una válvula de compuerta y la de la derecha es la válvula de compuerta con accionamiento eléctrico.

Fig. G.12: Válvulas de compuerta.



Fuente: Elaboración propia.

Las válvulas de esfera son compradas a la comercializadora IBERFLUID INSTRUMENTS S.A. Está comercializadora nos ofreció la mejor relación calidad-precio. Las 11 válvulas de esfera, 2 son de DN 25 y las 9 restantes son de DN 50, en la Tabla G.9 se muestra la relación de este tipo de válvulas así como sus dimensiones y temperatura de operación. A continuación en la Figura G.13 se muestra dos imágenes, la de la izquierda es una válvula de esfera y la de la derecha contiene sus características.

Fig. G.13: Válvula de esfera.

http://www.iberfluid.com/

Tabla G.9. Relación de válvulas de esfera.

Válvula	Dn	Tipo de válvula	Función	Ubicación
valve 1	50	esfera	purga de gas	entre el gasificador y el ciclón
valve 4	50	esfera	purga de aire	entrada del recuperador de calor
valve 6	25	esfera	entrada de agua	entrada del lavador Venturi
valve 7	25	esfera	entrada de agua	entrada del lavador Venturi
valve 9	50	esfera	agua	entre el depósito de agua y el de sedimentación
valve 10	50	esfera	agua	entrada de la bomba
valve 11	50	esfera	gas	entre el lavador Venturi y el filtro de mangas
valve 12	50	esfera	gas	salida del filtro de mangas
valve 14	50	esfera	gas	entrada de la antorcha
valve 15	50	esfera	gas	entrada de la tolva de gas
valve 16	50	esfera	gas	salida de la tolva de gas

Fuente: Elaboración propia.

G.6 Especificaciones de los motores GUASCOR

Las especificaciones del gas de síntesis como combustible para poder ser utilizado en los motores Guascor son las siguientes [17]:

G.6.1 Poder Calorífico Inferior

En cuanto al poder calorífico inferior de los gases de procesos termoquímicos, puede establecerse en el siguiente rango:

- ✓ 4,6 a 7,0 (MJ / Nm^3) : Syngas pobre
- ✓ 7,0 a 14,0 (MJ / Nm^3) : Syngas rico

En caso de motores de carburación mecánica la máxima variación admisible de PCI en el gas será del ±5% respecto al valor del punto de carburación. Deberán utilizarse motores de carburación electrónica para variaciones del PCI de hasta ±10% del PCI y en valores superiores la composición del gas deberá ser controlada en continuo por un analizador.

G.6.2 Número de Metano

El número de metano de aplicación en los motores debe ser superior al valor 75.

G.6.3 Condiciones de suministro del gas

En cuanto a las condiciones de suministro del gas combustible, se establecen los siguientes valores:

- ➢ **PRESIÓN Y TEMPERATURA DE SUMINISTRO DE GAS**

  Los rangos admisibles de presión y temperatura del gas a la entrada del motor dependen del sistema de carburación empleado por el mismo por lo que deberán cumplirse los límites expuestos en las siguientes informaciones de producto:

  - IC-G-D-30-006: Motores con carburación electrónica tipo TECJET 50
  - IC-G-D-30-007: Motores con carburación electrónica tipo TECJET 50+
  - IC-G-D-30-008: Motores con carburación mecánica

- ➢ **HUMEDAD DEL GAS**

  La humedad relativa del gas a la entrada de la rampa deberá ser inferior al 60%, no permitiéndose en ningún caso condensaciones de agua sobre los elementos de motor.

- **OXÍGENO EN GAS**

En caso de motores de carburación mecánica la máxima cantidad admisible de O_2 en el gas es de 2% del volumen. Para valores superiores u oscilaciones superiores a ±1% respecto al punto de carburación deberán utilizarse motores de carburación electrónica donde la composición del gas deberá ser controlada en continuo por un analizador.

- **HIDRÓGENO EN GAS**

La máxima cantidad de H_2 en el gas combustible permitida será de 25% del volumen.

- **HIDROCARBUROS SUPERIORES EN GAS**

La máxima cantidad permitida de hidrocarburos no debe sobrepasar el 2% del volumen total de la mezcla de gases.

G.6.4 Contaminantes del gas combustible

Se especifican a continuación los límites máximos permitidos de contaminantes que pueden aparecer en el gas de procesos termoquímicos en los motores GUASCOR:

- **COMPUESTOS DE AZUFRE COMO H_2S**

El límite máximo de H_2S equivalente* permitido se fija en: 70 mg/MJ para los motores sin catalizador.

*: Para calcular el H_2S equivalente en otros compuestos de azufre puede considerarse la masa de S presente en el compuesto de azufre como masa de H_2S.

- **COMPUESTOS HALOGENADOS (F, Cl, Br, I) COMO Cl^-**

Los ácidos más dañinos son el HF y HCl, por lo que suele expresarse su concentración en (mg de Cl^- equivalente)/Nm^3 considerando los demás componentes como si fueran cloro por la simple regla de:

Flúor = 2 Cloro Bromo = 0,5 Cloro Yodo = 0,25 Cloro

El nivel máximo permitido de Haluros expresados como cloruros equivalentes se fija en: 3,5 (mg de Cl^- equivalente*)/MJ para los motores sin catalizador.

*: Deberán considerarse haluros orgánicos e inorgánicos.

- **COMPUESTOS DE SILICIO**

Se fija un límite máximo de contenido en silicio en el gas combustible en: 0,2 mg/MJ * motores sin catalizador. Para el cálculo de silicio en siloxanos puede suponerse una media de 37% de silicio por total siloxanos.

*: Dadas las dificultades para el análisis y cuantificación de los compuestos de silicio en el gas se establece que el contenido de silicio en el aceite del motor no deberá superar las 75 ppm en el periodo de mantenimiento concertado para cada tipo de motor. Por ello, igualmente puede considerarse esta magnitud como límite máximo relativo de silicio en el combustible.

- **AMONIACO (NH_3)**

El límite máximo de amoniaco en el gas combustible queda fijado en: 1,5 mg/MJ.

- **ACEITES RESIDUALES Y ALQUITRANES**

Se limita la presencia de aceites y alquitranes en los gases combustibles de uso en: 3 mg/MJ * para los motores sin catalizador.

*: Consultar con GUASCOR sobre método análisis y en el caso de mayores concentraciones.

- **PARTÍCULAS SÓLIDAS**

Tamaño máximo permitido de partículas: 5 micras. El límite máximo de concentración de partículas entre 1 y 5 micras: 3 mg/MJ para los motores sin catalizador.