

## ANNEX K- DISSENY DE LA RESTA D'EQUIPS

### Índex

<b>K.1- Introducció</b>	<b>3</b>
<b>K.2- Procediment</b>	<b>3</b>
<b>K.2.1-Disseny dels dipòsits</b>	<b>3</b>
<b>K.2.2- Disseny dels separadors flash</b>	<b>6</b>
<b>K.2.3- Disseny de les bombes</b>	<b>6</b>
<b>K.2.4- Disseny dels compressors</b>	<b>8</b>
<b>K.2.5- Disseny del mesclador estàtic</b>	<b>9</b>
K.2.5.1- Disseny segons les necessitats de mescla	9
K.2.5.2- Disseny segons les necessitats d'intercanvi de calor	11
<b>K.3- Resultats</b>	<b>11</b>
<b>K.4- Bibliografia</b>	<b>17</b>





## **K.1- Introducció**

En aquest annex es realitza disseny de la resta d'equips de la planta (dipòsits, bombes, compressors, flash ...).

S'ha de fer el disseny de 4 dipòsits diferents: dipòsit d'emmagatzematge de l'oli de gira-sol, dipòsit d'emmagatzematge del DME, dipòsit pulmó per l'hidrogen i dipòsit d'emmagatzematge de producte final.

També s'han de dissenyar els dos separadors flash existents en l'etapa de separació del producte final.

Finalment també es fa el disseny de les bombes, compressors, del mesclador i es comenten les necessitats de serveis auxiliars.

## **K.2- Procediment**

Els procediments seran diferents segons el tipus d'equip que s'hagi de dissenyar.

### **K.2.1-Disseny dels dipòsits**

El disseny de tots els dipòsits es realitza de la mateixa manera. Primer de tot es considera un cert temps d'autonomia i mitjançant el cabal volumètric es calcula el volum total del dipòsit de la següent forma.

$$V = q \cdot t \tag{K.1}$$



V és el volum del dipòsit en  $m^3$ ,  $q$  és el cabal volumètric en  $m^3 \cdot s^{-1}$  i  $t$  és el temps d'autonomia en s.

El volum del dipòsit també es pot calcular a partir del cabal màssic.

$$V = \frac{\dot{m} \cdot t}{\rho} \quad (K.2)$$

En aquest cas, V és el volum del dipòsit en  $m^3$ ,  $\dot{m}$  és el cabal màssic en  $kg \cdot s^{-1}$ , t és el temps d'autonomia en s i  $\rho$  és la densitat en  $kg \cdot m^{-3}$ .

A partir del volum i considerant que tots els dipòsits són de tipus cilíndric, per trobar les dimensions (longitud i diàmetre) s'ha de considerar una relació L/D que dependrà de la pressió interna a la que estigui sotmès el dipòsit.

Segons Ulrich [1] les relacions L/D són:

Pressió (bar)	L/D
0-20	3
20-35	4
>35	5

Taula K.1- Relacions L/D en funció de la pressió.

El volum d'un dipòsit cilíndric amb fons el·líptics (amb alçada elipsoidal equivalent a  $\frac{1}{4}$  del diàmetre) val:

$$V = \frac{\pi \cdot D^3 \cdot (L/D)}{4} + \frac{4 \cdot \pi \cdot D^3}{3 \cdot 2} = \frac{3 \cdot (L/D) + 8}{12} \cdot \pi \cdot D^3 \quad (K.3)$$



Així el diàmetre es calcula amb la fórmula següent:

$$D = \frac{12 \cdot V}{\pi \cdot \sqrt[3]{3 \cdot \left(\frac{L}{D}\right) + 8}} \quad (K.4)$$

I l'alçada (longitud) del dipòsit de forma immediata val:

$$L = \left(\frac{L}{D}\right) D \quad (K.5)$$

Totes les longituds s'expressen en m.

Un cop dimensionat l'equip, es calcula el gruix de les parets i el pes total del dipòsit. S'utilitzen les equacions que hi ha a continuació.

$$t = \frac{P \cdot D}{2 \cdot S \cdot E - P} + 1 \quad (K.6)$$

t és el gruix de les parets en mm, P és la pressió de disseny en bar, D és el diàmetre del dipòsit en mm, S és l'esforç admissible del material en bar i E és l'eficiència de la junta.

És important tenir en compte que existeix un gruix mínim de xapa que depèn del diàmetre del dipòsit. Aquests gruixos es troben a la figura que hi ha a continuació.[2]

Vessel diameter (m)	Minimum thickness (mm)
1	5
1 to 2	7
2 to 2.5	9
2.5 to 3.0	10
3.0 to 3.5	12

Figura K.1- Gruixos mínims de xapa segons el diàmetre del dipòsit.



Finalment, també es calcula el volum de material i el pes total del dipòsit amb les fórmules següents.

$$V_{\text{cos}} = \frac{\pi}{4} \cdot (D_{\text{ext}}^2 - D^2) \cdot L = \frac{\pi}{4} \cdot (2 \cdot D \cdot t + t^2) \cdot L \quad (K.7)$$

$$V_{\text{fons}} = \frac{4}{6} \cdot \pi \cdot (D_{\text{ext}}^3 - D^3) = \frac{4}{6} \cdot \pi \cdot ((D + 2 \cdot t)^3 - D^3) \quad (K.8)$$

$$M_{\text{dipòsit}} = (V_{\text{cos}} + V_{\text{fons}}) \cdot \rho \quad (K.9)$$

$V_{\text{cos}}$  és el volum de material que ocupa el cos cilíndric,  $D_{\text{ext}}$  és el diàmetre exterior del dipòsit,  $D$  és el diàmetre interior del dipòsit,  $L$  és l'alçada del dipòsit,  $t$  és el gruix de la paret,  $V_{\text{fons}}$  és el volum de material que ocupen els fons.  $M_{\text{dipòsit}}$  és la massa del dipòsit i  $\rho$  la densitat del material.

### K.2.2- Disseny dels separadors flash

Un separador flash no deixa de ser un dipòsit per tant es dissenyarà de la mateixa manera. En aquest cas s'ha de tenir en compte que el temps d'autonomia passa a ser un temps de residència i com ha tal és molt més petit (de l'ordre dels 10 minuts segons Ulrich).

### K.2.3- Disseny de les bombes

Per dissenyar les bombes el que s'ha fet és buscar informació sobre les bombes de la marca Lewa. Així, a partir del cabal i de la pressió de succió es pot saber quina és la bomba més indicada en cada cas.

A continuació es mostren les figures utilitzades en el disseny de les bombes.



Amb aquesta figura es pot escollir quin és el millor tipus de bomba en funció del cabal que ha de donar i de la pressió de descàrrega.

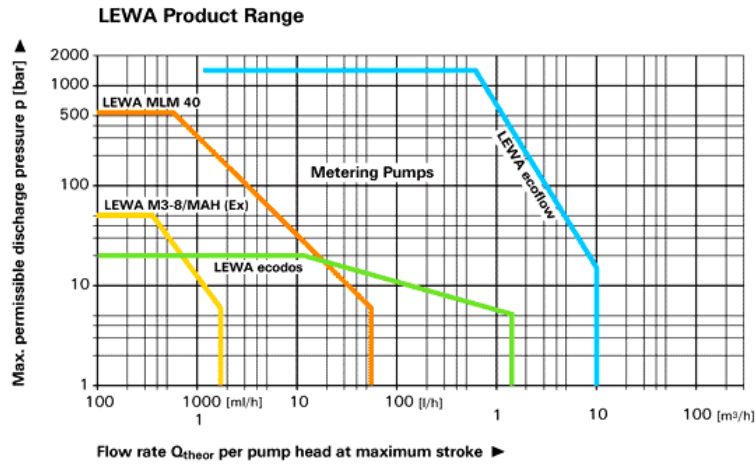


Figura K.2- Pressió de descàrrega en funció del cabal per a bombes Lewa.

La figura que hi ha a continuació serveix per triar quin model de bomba és l'adequat dins de bombes de tipus Ecoflow (dosificadores).

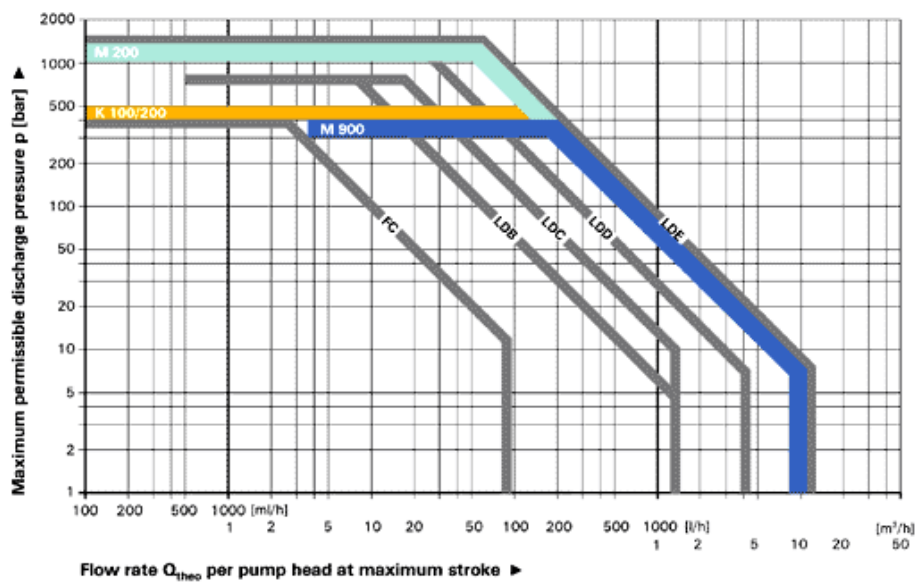


Figura K.3- Pressió de descàrrega en funció del cabal per a bombes Ecoflow.



Finalment la figura següent permet triar el model de bomba més adient dins del tipus bombes de diafragma.

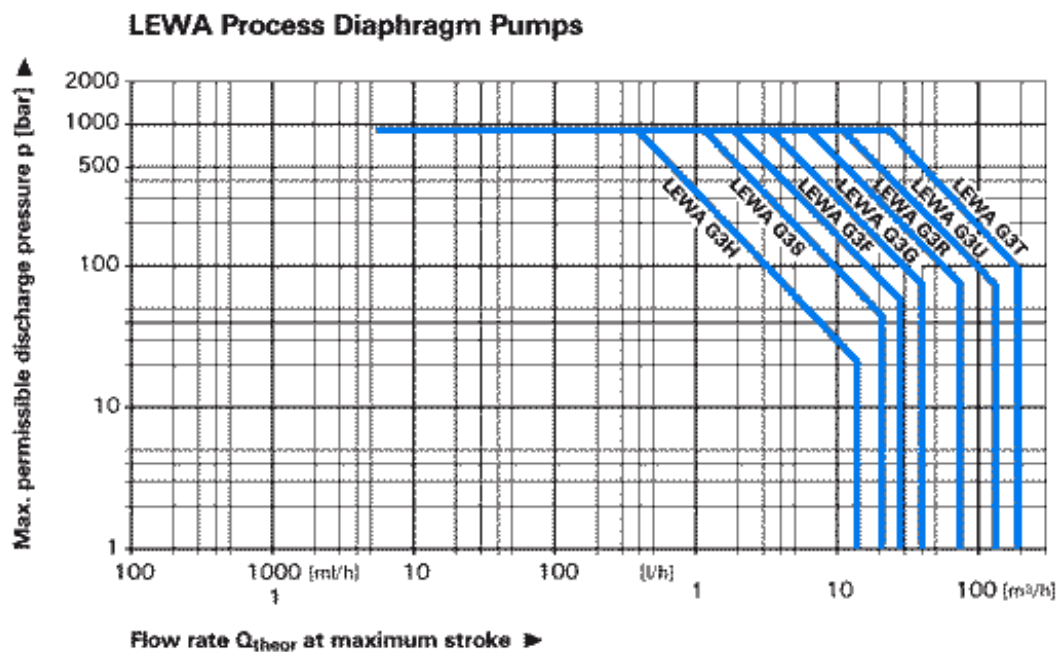


Figura K.4- Pressió de descàrrega en funció del cabal per a bombes de diafragma.

#### K.2.4- Disseny dels compressors

La planta necessita dos sistemes de compressors independents per augmentar la pressió de l'hidrogen i del DME respectivament. La pressió de l'hidrogen s'ha d'augmentar fins a uns 150 bar per assegurar una pressió de 80 bar després del dipòsit pulmó. En canvi, la pressió del DME s'ha de pujar a uns 12 bar per poder ser reciclada al dipòsit de l'entrada a 10 bar.

El sistema de compressió de l'hidrogen consisteix en un booster i en un compressor d'aire que alimenta amb aire comprimit al booster.

El sistema de compressió del DME consisteix en un compressor d'aire normal adaptat de tal manera que pugui aspirar DME.





### K.2.5- Disseny del mesclador estàtic

El mesclador estàtic s'encarrega de barrejar les corrents d'oli, hidrogen i DME per tal d'aconseguir una mescla homogènia. A més, té la possibilitat de pre-escalfar la mescla abans de l'entrada al reactor.

Els mescladors estàtics presenten molts avantatges respecte els mescladors convencionals com per exemple la capacitat de produir productes de qualitat a baix cost, i l'augment de la flexibilitat del procés. A més a més, la utilització de mescladors estàtics té una sèrie d'avantatges addicionals tals com: poc treball de manteniment, volum petit, consum energètic petit i baix cost d'inversió.

El disseny del mesclador estàtic té dues parts en les que es calcula la longitud que ha de tenir en funció de les necessitats de mescla i d'intercanvi de calor.

#### K.2.5.1- Disseny segons les necessitats de mescla

Es barreja per una banda l'oli i per l'altra l'hidrogen amb el DME. Inicialment es calcula la mitjana de cabals volumètrics de mescla com:

$$\bar{x} = \frac{V_1}{V_1 + V_2} \quad (K.10)$$

$V_1$  és el cabal volumètric de la corrent 1 en  $\text{m}^3 \cdot \text{s}^{-1}$  i  $V_2$  és el cabal volumètric de la corrent 2 també en  $\text{m}^3 \cdot \text{s}^{-1}$ .

Seguidament s'ha de suposar un percentatge de barreja i amb aquest calcular la sigma (desviació standard).

$$\sigma = 1 - \frac{\% \text{ barreja}}{100} \quad (K.11)$$



Amb aquests dos paràmetres es pot entrar a la figura següent per trobar la relació L/D i seguidament la L multiplicant pel diàmetre D.

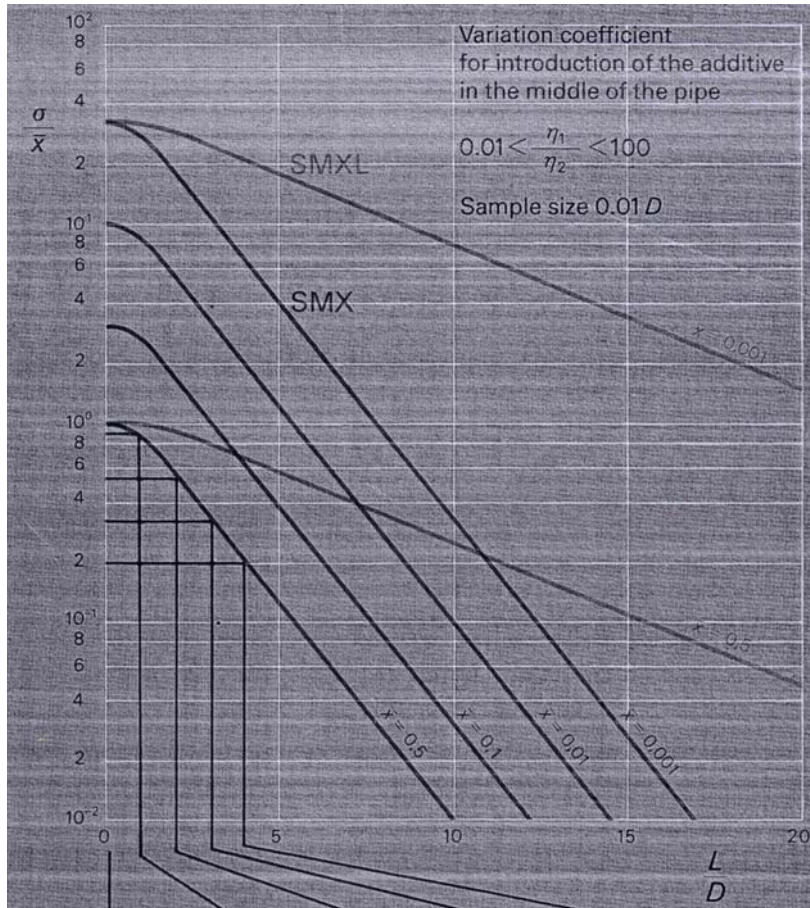


Figura K.5- Relació L/D per a mescladors Sulzer SMXL i SMX.

Finalment es calculen les pèrdues de càrrega amb l'expressió següent vàlida per a flux laminar i per a un producte  $Ne \cdot Re_D$  de 250:

$$\Delta P = \frac{4 \cdot Ne \cdot Re_D \cdot \eta \cdot V}{\pi \cdot D^3} \cdot \left( \frac{L}{D} \right) \tag{K.12}$$



### K.2.5.2- Disseny segons les necessitats d'intercanvi de calor

En aquest cas se suposa que el mesclador és un intercanviador de calor i per tant es fan els càlculs típics d'un intercanviador de calor.

Es calcula el flux de calor  $q$  i a partir d'aquest, amb el coeficient global de calor  $U$  i la mitjana logarítmica de temperatures  $\Delta T_m$  es pot calcular l'àrea de transmissió de calor.

$$A = \frac{q}{U \cdot \Delta T_m} \quad (K.13)$$

A partir de l'àrea es pot calcular la longitud del tub considerant geometria cilíndrica amb la fórmula que hi ha a continuació.

$$L = \frac{A}{\pi \cdot D} \quad (K.14)$$

## K.3- Resultats

Els resultats dels diversos dissenys es presenten a continuació en forma de taules.

Primer de tot es mostren els resultats dels dissenys de dipòsits i separadors flash.

Nom	Nº unitats	Q (m <sup>3</sup> ·s <sup>-1</sup> )	$\tau$ (s)	V (m <sup>3</sup> )	L/D	D (m)	L (m)
V-501	2	3,639·10 <sup>-5</sup>	1,210·10 <sup>6</sup>	30,00	2	2,02	4,03
V-502	1	(*)	1,210·10 <sup>6</sup>	2,00	3	0,77	2,30
V-503	1	1,806·10 <sup>-5</sup>	1,728·10 <sup>5</sup>	3,20	5	0,81	4,05
V-504 (**)	1	4,278·10 <sup>-5</sup>	4,320·10 <sup>5</sup>	25,00	2	1,90	3,79
F-501	1	1,217·10 <sup>-3</sup>	600	0,73	5	0,50	2,48
F-502	1	6,794·10 <sup>-3</sup>	600	4,08	3	0,97	2,91

Taula K.2- Dimensions de dipòsits i separadors flash.



(\*) El disseny del dipòsit de DME (V-502) no es fa pel cabal sinó que s'agafa un volum suficientment gran perquè tot el DME reciclat hi tingui cabuda.

(\*\*) El dipòsit de producte acabat V-504 s'ha de mantenir a una temperatura d'uns 60 °C per tenir l'oli hidrogenat en estat líquid. Per tant, es fa passar aigua calenta a 100°C per un serpentí.

Nom	P <sub>disseny</sub> (bar)	Material	S (bar)	t (mm)	V <sub>material</sub> (m <sup>3</sup> )	Pes (kg)
V-501	1,32	Acer	1350	7,00	0,449	3414
V-502	11,00	SS 316	1750	5,00	0,051	410
V-503	132,00	SS 316	1750	32,75	0,455	3643
V-504	1,32	Acer	1350	7,00	0,398	3024
F-501	93,5	SS 316	1200	21,06	0,110	877
F-502	1,32	SS 316	1200	5,00	0,082	657

Taula K.3- Gruixos i pesos de dipòsits i separadors flash.

Pel que fa a les bombes, a continuació es posen els models triats a partir de les figures K.3 i K.4.

Nom	Cabal (l·h <sup>-1</sup> )	P <sub>succió</sub> (bar)	P <sub>descàrrega</sub> (bar)	Model
P-501	131,4	100	100	Ecoflow LDD
P-502	46,4	100	100	Ecoflow LDC
P-503	1507,0	220	140	Diaphragm pump G3S

Taula K.4- Bombes Lewa triades.

Pel sistema de compressió d'hidrogen s'ha triat un Booster Haskel i un compressor d'aire Abac i pel sistema de compressió de DME s'ha triat un compressor d'aire Abac adaptat.



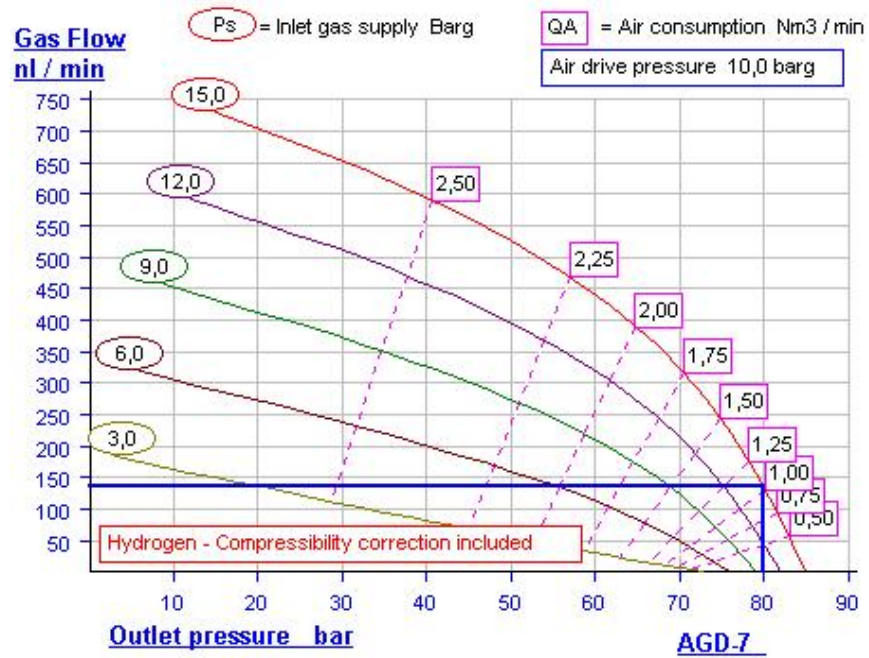


Figura K.6- Pressió de sortida en funció del cabal de gas pel multiplicador AGD-7.

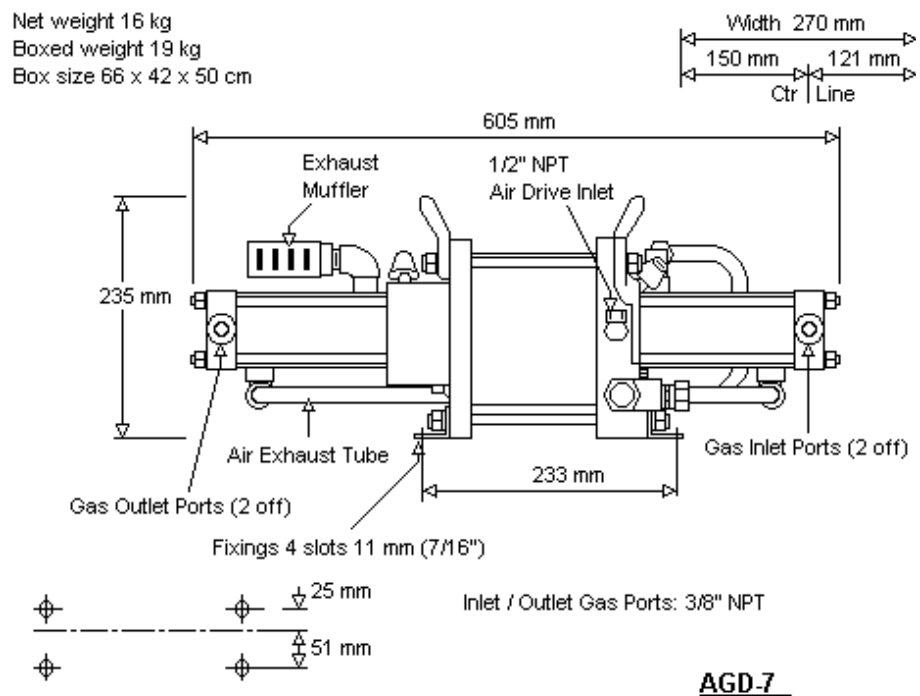


Figura K.7- Croquis del multiplicador Haskel AGD-7.



El compressor d'aire necessari és el B7000/LN/T10 i les seves característiques es recullen a la figura següent.

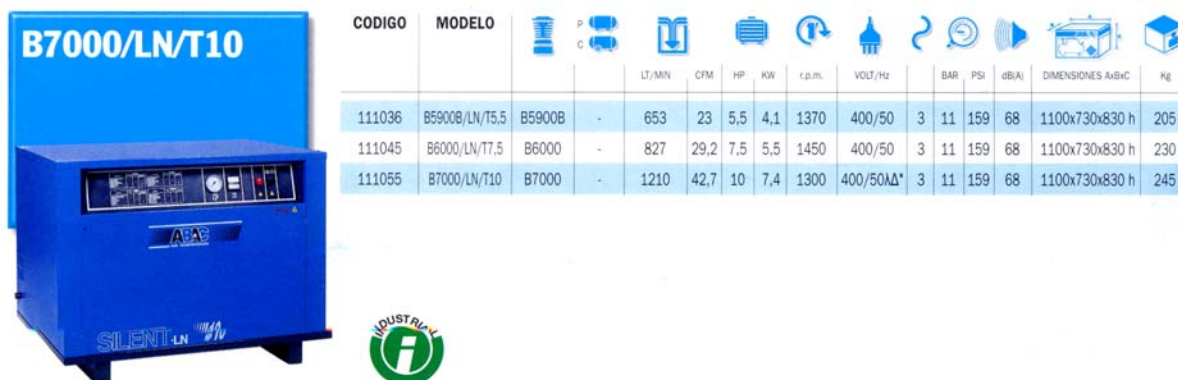


Figura K.8- Dades tècniques del compressor Abac B7000/LN/T10.

Com a sistema de compressió de DME es fa servir un compressor de membrana de baixa pressió Abac B5900/B



Figura K.9- Dades tècniques dels compressors de membrana de baixa pressió Abac.



A continuació es fa un resum dels compressors escollits.

Nom	Gas	Cabal màssic	Pressió entrada	Pressió sortida	Model
		kg·h <sup>-1</sup>	bar	bar	
K-501	Hidrogen	0,658	30	150	Haskel AGD-7
-	Aire	-	1	10	Abac B7000/LN/T10
K-502	DME	28,83	1	15	Abac B5900/B

Taula K.5- Compressors escollits.

Finalment, es comenten els resultats del disseny del mesclador estàtic.

Paràmetre	MIX-501 (mescla)	MIX-501 (intercanvi de calor)
$V_1$ (m <sup>3</sup> ·s <sup>-1</sup> )	$3,653 \cdot 10^{-5}$	-
$V_2$ (m <sup>3</sup> ·s <sup>-1</sup> )	$2,919 \cdot 10^{-4}$	-
x	0,111	-
$\sigma$	0,010	-
$\sigma/x$	0,090	-
$D_{int}$ (mm)	17,018	17,018
$D_{ext}$ (mm)	25,400	25,400
L/D	20	-
U (W·m <sup>-2</sup> ·°C <sup>-1</sup> )	-	1500
$\Delta T_m$	-	113,9
Q (kW)	-	13,3
A (m <sup>2</sup> )	-	0,078
L (mm)	340,4	973,1
Nombre d'elements	5	13
Pèrdua de càrrega (Pa)	973	514

Taula K.6- Disseny del mesclador estàtic.



Les necessitats de serveis auxiliars són:

Aigua freda a 15 °C    per l'intercanviador E-501  
                                  per l'intercanviador E-503  
                                  per l'intercanviador E-504  
                                  per l'intercanviador E-505

Vapor d'aigua a 5 bar (150 °C)    pel dipòsit V-504  
  pel reactor R-501  
  pel mesclador estàtic MIX-501

Fluid tèrmic Dowtherm G a 250 °C            per l'intercanviador E-502

Nitrogen per inertitzar les canonades

Electricitat pel funcionament    de les bombes  
  dels compressors

Aire comprimit





Nom	Aigua	Vapor	Dowtherm G	Nitrogen	Electricitat
	kg·s <sup>-1</sup>	kg·s <sup>-1</sup>	kg/any	kg/any	kW
E-501	4,43·10 <sup>-3</sup>	-	-	-	-
E-502	-	-	28843	-	-
E-503	1,294	-	-	-	-
E-504	0,107	-	-	-	-
E-505	0,139	-	-	-	-
V-501	-	-	-	-	-
V-502	-	-	-	-	-
V-503	-	-	-	-	-
V-504	-	1,88·10 <sup>-3</sup>	-	-	-
F-501	-	-	-	-	-
F-501	-	-	-	-	-
R-501	-	4,68·10 <sup>-3</sup>	-	-	-
P-501	-	-	-	-	15
P-502	-	-	-	-	10
P-503	-	-	-	-	45
K-501	-	-	-	-	10+7,4
K-502	-	-	-	-	4,1
MIX-501	-	5,35·10 <sup>-3</sup>	-	-	-
Altres	0,3	0,006	-	2708	50
TOTAL	1,845	0,018	28843	2708	141,5

Taula K.7- Necessitats de serveis auxiliars.

#### K.4- Bibliografia

- [1] ULRICH, GAEL D., *A guide to chemical engineering process design and economics*. New York: Wiley 1984.
- [2] COULSON, J. M., RICHARDSON, J. F., SINNOTT, R. K., *Chemical Engineering Volume 6 Design*. Oxford: Pergamon Press 1991.

