

11.ANEXOS

11.1 TABLA NORMATIVA EMISIONES CONTAMINANTES

Como se ha comentado en el texto, en Septiembre del año 2014 entrará en vigor la norma Euro VI mucho más restrictiva y que los fabricantes ya exigen cumplir:

Table 1 EU Emission Standards for Passenger Cars (Category M ₁ *), g/km						
Tier	Date	CO	HC	HC+NO _x	NO _x	PM
Diesel						
Euro 1†	1992.07	2.72 (3.16)	-	0.97 (1.13)	-	0.14 (0.18)
Euro 2, IDI	1996.01	1.0	-	0.7	-	0.08
Euro 2, DI	1996.01 ^a	1.0	-	0.9	-	0.10
Euro 3	2000.01	0.64	-	0.56	0.50	0.05
Euro 4	2005.01	0.50	-	0.30	0.25	0.025
Euro 5	2009.09 ^b	0.50	-	0.23	0.18	0.005 ^e
Euro 6	2014.09	0.50	-	0.17	0.08	0.005 ^e
Petrol (Gasoline)						
Euro 1†	1992.07	2.72 (3.16)	-	0.97 (1.13)	-	-
Euro 2	1996.01	2.2	-	0.5	-	-
Euro 3	2000.01	2.30	0.20	-	0.15	-
Euro 4	2005.01	1.0	0.10	-	0.08	-
Euro 5	2009.09 ^b	1.0	0.10 ^c	-	0.06	0.005 ^{d,e}
Euro 6	2014.09	1.0	0.10 ^c	-	0.06	0.005 ^{d,e}
* At the Euro 1..4 stages, passenger vehicles > 2,500 kg were type approved as Category N ₁ vehicles † Values in brackets are conformity of production (COP) limits a - until 1999.09.30 (after that date DI engines must meet the IDI limits) b - 2011.01 for all models c - and NMHC = 0.068 g/km d - applicable only to vehicles using DI engines e - proposed to be changed to 0.003 g/km using the PMP measurement procedure						

Tabla 6: normativa de emisiones contaminantes

11.2 ERRORES MODIFICACIÓN IRENE3

Tras el estudio de la tecnología Irene3 y las modificaciones introducidas los errores alcanzados son:

11.2.1 Eficiencia Irene3

E.09.0089.01							0,22
22 Tubos 220 mm							
REFR. (GLYCOL 35%)		GAS					
Caudal (l/h)	Tin (°C)	Caudal (g/s)	Tin (°C)	Pin (bar _{abs})	Eficien (%)	Eficien PROG (%)	Error dP (%)
800	80	5	280	3	95,0442645	94,694	0,37
800	80	10	280	3	92,3173437	91,668	0,70
800	80	15	280	3	90,101915	89,216	0,98
800	80	20	280	3	88,0151194	87,071	1,07
800	80	25	280	3	85,9804078	85,132	0,99
E.09.0080.01							0,82
20 Tubos 220 mm							
REFR. (GLYCOL 35%)		GAS					
Caudal (l/h)	Tin (°C)	Caudal (g/s)	Tin (°C)	Pin (bar _{abs})	Eficien (%)	Eficien PROG (%)	Error dP (%)
800	80	5	280	3	94,3994597	94,694	-0,31
800	80	10	280	3	91,4476706	91,668	-0,24
800	80	15	280	3	89,1268434	89,216	-0,10
800	80	20	280	3	86,96455	87,071	-0,12
800	80	25	280	3	84,8663348	85,132	-0,31
E.09.0450.01							0,22
22 Tubos 180 mm							
REFR. (GLYCOL 35%)		GAS					ensayo muy t
Caudal (l/h)	Tin (°C)	Caudal (g/s)	Tin (°C)	Pin (bar _{abs})	Eficien (%)	Eficien PROG (%)	Error dP (%)
800	80	5	280	3	86,6343846	92,517	-6,79
800	80	10	280	3	80,2443621	88,813	-10,68
800	80	15	280	3	77,1262615	85,920	-11,40
800	80	20	280	3	74,8258024	83,448	-11,52
800	80	25	280	3	72,8526656	81,251	-11,53
E.09.0424.01							
22 Tubos 150 mm							
REFR. (GLYCOL 35%)		GAS					
Caudal (l/h)	Tin (°C)	Caudal (g/s)	Tin (°C)	Pin (bar _{abs})	Eficien (%)	Eficien PROG (%)	Error dP (%)
800	80	5	280	3	87,2549934	87,612	-0,41
800	80	10	280	3	80,6651269	82,400	-2,15
800	80	15	280	3	76,8758959	78,622	-2,27
800	80	20	280	3	73,7875084	75,559	-2,40
800	80	25	280	3	70,9804096	72,945	-2,77
E.09.0353.01							2,00
22 Tubos 150 mm							
REFR. (GLYCOL 35%)		GAS					
Caudal (l/h)	Tin (°C)	Caudal (g/s)	Tin (°C)	Pin (bar _{abs})	Eficien (%)	Eficien PROG (%)	Error dP (%)
800	80	5	280	3	89,2330926	87,612	1,82
800	80	10	280	3	84,6048466	82,400	2,61
800	80	15	280	3	81,1332265	78,622	3,10
800	80	20	280	3	77,9524814	75,559	3,07
800	80	25	280	3	74,8895584	72,945	2,60
E.09.0070.01							2,64

E.09.0070.01							2,64
22 Tubos 150 mm							
REFR. (GLYCOL 35%)		GAS					
Caudal (l/h)	Tin (°C)	Caudal (g/s)	Tin (°C)	Pin (bar _{abs})	Eficien (%)	Eficien PROG (%)	Error dP (%)
800	80	5	280	3	85,1002549	87,612	-2,95
800	80	10	280	3	79,2248643	82,400	-4,01
800	80	15	280	3	75,8922045	78,622	-3,60
800	80	20	280	3	73,1956847	75,559	-3,23
800	80	25	280	3	70,7543213	72,945	-3,10
E.08.0175.01							3,38

11.2.2 Pérdida de carga lado gas

E.09.0089.01							9,03	0,41
22 Tubos 220 mm								
REFR. (GLYCOL 35%)		GAS						
Caudal (l/h)	Tin (°C)	Caudal (g/s)	Tin (°C)	Pin (bar _{abs})	dP (mbar)	dP PROG (mbar)	Error dP (%)	Error dP (mbar)
800	80	5	280	3	0,67840581	0,542	20,15	0,14
800	80	10	280	3	2,06246864	2,019	2,09	0,04
800	80	15	280	3	4,32380172	4,365	-0,96	-0,04
800	80	20	280	3	7,46240505	7,548	-1,14	-0,09
800	80	25	280	3	11,4782786	11,546	-0,59	-0,07
E.09.0080.01							4,99	0,07
20 Tubos 220 mm								
REFR. (GLYCOL 35%)		GAS						
Caudal (l/h)	Tin (°C)	Caudal (g/s)	Tin (°C)	Pin (bar _{abs})	dP (mbar)	dP PROG (mbar)	Error dP (%)	Error dP (mbar)
800	80	5	280	3	0,71921306	0,580	19,41	0,14
800	80	10	280	3	2,31132372	2,154	6,80	0,16
800	80	15	280	3	4,92518095	4,649	5,60	0,28
800	80	20	280	3	8,56078473	8,029	6,21	0,53
800	80	25	280	3	13,2181351	12,272	7,16	0,95
E.09.0450.01							9,03	0,41
22 Tubos 180 mm								
REFR. (GLYCOL 35%)		GAS						
Caudal (l/h)	Tin (°C)	Caudal (g/s)	Tin (°C)	Pin (bar _{abs})	dP (mbar)	dP PROG (mbar)	Error dP (%)	Error dP (mbar)
800	80	5	280	3	0,57504746	0,482	16,12	0,09
800	80	10	280	3	1,74735133	1,803	-3,18	-0,06
800	80	15	280	3	3,66371304	3,903	-6,54	-0,24
800	80	20	280	3	6,3241326	6,756	-6,82	-0,43
800	80	25	280	3	9,72861001	10,342	-6,30	-0,61
E.09.0424.01							7,79	0,29
22 Tubos 150 mm								
REFR. (GLYCOL 35%)		GAS						
Caudal (l/h)	Tin (°C)	Caudal (g/s)	Tin (°C)	Pin (bar _{abs})	dP (mbar)	dP PROG (mbar)	Error dP (%)	Error dP (mbar)
800	80	5	280	3	0,54118533	0,436	19,42	0,11
800	80	10	280	3	1,62622279	1,635	-0,51	-0,01
800	80	15	280	3	3,42615187	3,544	-3,43	-0,12
800	80	20	280	3	5,94097257	6,139	-3,34	-0,20
800	80	25	280	3	9,17068487	9,405	-2,55	-0,23
E.09.0353.01							5,85	0,13
22 Tubos 150 mm								
REFR. (GLYCOL 35%)		GAS						
Caudal (l/h)	Tin (°C)	Caudal (g/s)	Tin (°C)	Pin (bar _{abs})	dP (mbar)	dP PROG (mbar)	Error dP (%)	Error dP (mbar)
800	80	5	280	3	0,53913586	0,436	19,11	0,10
800	80	10	280	3	1,68074886	1,635	2,75	0,05
800	80	15	280	3	3,49730102	3,544	-1,33	-0,05
800	80	20	280	3	5,98879232	6,139	-2,51	-0,15
800	80	25	280	3	9,15522277	9,405	-2,72	-0,25
E.09.0070.01							5,69	0,12
22 Tubos 150 mm								
REFR. (GLYCOL 35%)		GAS						
Caudal (l/h)	Tin (°C)	Caudal (g/s)	Tin (°C)	Pin (bar _{abs})	dP (mbar)	dP PROG (mbar)	Error dP (%)	Error dP (mbar)
800	80	5	280	3	0,58276109	0,436	25,16	0,15
800	80	10	280	3	1,67996233	1,635	2,70	0,05
800	80	15	280	3	3,50314514	3,544	-1,16	-0,04
800	80	20	280	3	6,05230951	6,139	-1,44	-0,09
800	80	25	280	3	9,32745546	9,405	-0,83	-0,08
E.08.0175.01							6,26	0,08

11.3. ERRORES GRECO

El programa desarrollado para la nueva tecnología Greco de tubos rectangulares con perturbador comete los siguientes errores en comparación con los ensayos utilizados:

11.3.1 Eficiencia perturbador OSF

E.10.1370.02							
Greco 8 Tubos 170 mm							
REFR. (GLYCOL 35%)		GAS					
Caudal (l/h)	Tin (°C)	Caudal (g/s)	Tin (°C)	Pin (bar _{abs})	Eficien (%)	Eficien PROG (%)	Error Efic (%)
800	80	5	280	3	99,1098705	97,541	1,58
800	80	10	280	3	93,4224685	91,348	2,22
800	80	15	280	3	88,9533045	85,308	4,10
800	80	20	280	3	84,791674	80,050	5,59
800	80	25	280	3	80,7555834	75,534	6,47
E.10.1650.01							3,99
Greco 8 Tubos 200 mm							
REFR. (GLYCOL 35%)		GAS					
Caudal (l/h)	Tin (°C)	Caudal (g/s)	Tin (°C)	Pin (bar _{abs})	Eficien (%)	Eficien PROG (%)	Error Efic (%)
800	80	5	280	3	99,6913482	98,685	1,01
800	80	10	280	3	95,4627142	94,242	1,28
800	80	15	280	3	91,3765193	89,285	2,29
800	80	20	280	3	87,3291792	84,663	3,05
800	80	25	280	3	83,3000711	80,521	3,34
							2,19
Greco 8 Tubos 200 mm							
REFR. (GLYCOL 35%)		GAS					
Caudal (l/h)	Tin (°C)	Caudal (g/s)	Tin (°C)	Pin (bar _{abs})	Eficien (%)	Eficien PROG (%)	Error Efic (%)
600	80	5	280	3	99,392477	98,553	0,84
600	80	10	280	3	94,587515	93,747	0,89
600	80	15	280	3	90,2332503	88,447	1,98
600	80	20	280	3	85,9951166	83,548	2,85
600	80	25	280	3	81,8063102	79,186	3,20
							1,95
Greco 8 Tubos 200 mm							
REFR. (GLYCOL 35%)		GAS					
Caudal (l/h)	Tin (°C)	Caudal (g/s)	Tin (°C)	Pin (bar _{abs})	Eficien (%)	Eficien PROG (%)	Error Efic (%)
1200	80	5	280	3	99,8392503	98,782	1,06
1200	80	10	280	3	96,0256211	94,624	1,46
1200	80	15	280	3	92,3643507	89,948	2,62
1200	80	20	280	3	88,7437361	85,563	3,58
1200	80	25	280	3	85,1415043	81,616	4,14
E.10.1694.01							2,57
Greco 10 Tubos 100 mm							
REFR. (GLYCOL 35%)		GAS					
Caudal (l/h)	Tin (°C)	Caudal (g/s)	Tin (°C)	Pin (bar _{abs})	Eficien (%)	Eficien PROG (%)	Error Efic (%)
800	80	5	280	3	89,9704412	91,887	-2,13
800	80	10	280	3	80,7017787	81,059	-0,44
800	80	15	280	3	74,510477	72,937	2,11
800	80	20	280	3	69,0928007	66,741	3,40
800	80	25	280	3	63,9885864	61,840	3,36
E.10.0131.01							2,29

E.10.0131.01								2,29
Greco 10 Tubos 125 mm								
REFR. (GLYCOL 35%)		GAS						
Caudal (l/h)	Tin (°C)	Caudal (g/s)	Tin (°C)	Pin (bar _{abs})	Eficien (%)	Eficien PROG (%)	Error Efic (%)	
800	80	5	280	3	93,8547495	95,587	-1,85	
800	80	10	280	3	85,3194934	87,296	-2,32	
800	80	15	280	3	79,4356687	80,179	-0,94	
800	80	20	280	3	74,2188218	74,373	-0,21	
800	80	25	280	3	69,2725145	69,585	-0,45	
E.10.0312.01							1,15	
Greco 12 Tubos 150 mm								
REFR. (GLYCOL 35%)		GAS						
Caudal (l/h)	Tin (°C)	Caudal (g/s)	Tin (°C)	Pin (bar _{abs})	Eficien (%)	Eficien PROG (%)	Error Efic (%)	
800	80	5	280	3	99,4	98,370	1,04	
800	80	10	280	3	93,3	93,345	-0,05	
800	80	15	280	3	88,8	87,988	0,91	
800	80	20	280	3	84,7	83,114	1,87	
800	80	25	280	3	79,4	78,815	0,74	
E.10.1633.01							0,92	
Greco 16 Tubos 100 mm								
REFR. (GLYCOL 35%)		GAS						
Caudal (l/h)	Tin (°C)	Caudal (g/s)	Tin (°C)	Pin (bar _{abs})	Eficien (%)	Eficien PROG (%)	Error Efic (%)	
800	80	5	280	3	96,318796	95,654	0,69	
800	80	10	280	3	89,6816431	87,312	2,64	
800	80	15	280	3	84,8581056	80,121	5,58	
800	80	20	280	3	80,491013	74,250	7,75	
800	80	25	280	3	76,3091635	69,410	9,04	
E.10.0313.01							5,14	
Greco 16 Tubos 150 mm								
REFR. (GLYCOL 35%)		GAS						
Caudal (l/h)	Tin (°C)	Caudal (g/s)	Tin (°C)	Pin (bar _{abs})	Eficien (%)	Eficien PROG (%)	Error Efic (%)	
800	80	5	280	3	99,546998	99,065	0,48	
800	80	10	280	3	97,2217299	95,136	2,15	
800	80	15	280	3	93,4000631	90,524	3,08	
800	80	20	280	3	89,6805398	86,094	4,00	
800	80	25	280	3	86,0040252	82,054	4,59	
E.10.1635.01							2,86	
Greco 16 Tubos 180 mm								
REFR. (GLYCOL 35%)		GAS						
Caudal (l/h)	Tin (°C)	Caudal (g/s)	Tin (°C)	Pin (bar _{abs})	Eficien (%)	Eficien PROG (%)	Error Efic (%)	
800	80	5	280	3	99,7066487	99,500	0,21	
800	80	10	280	3	97,9609043	97,202	0,77	
800	80	15	280	3	95,1702033	93,804	1,44	
800	80	20	280	3	92,4074157	90,215	2,37	
800	80	25	280	3	89,6569909	86,746	3,25	
E.10.0913.01							1,61	

E.10.0913.01							1,61
Greco 16 Tubos 220 mm							
REFR. (GLYCOL 35%)		GAS					
Caudal (l/h)	Tin (°C)	Caudal (g/s)	Tin (°C)	Pin (bar _{abs})	Eficien (%)	Eficien PROG (%)	Error Efic (%)
800	80	5	280	3	99,658798	99,500	0,16
800	80	10	280	3	99,3367904	98,629	0,71
800	80	15	280	3	97,0741915	96,407	0,69
800	80	20	280	3	94,7439427	93,754	1,04
800	80	25	280	3	92,3875358	90,988	1,51
E.10.1548.01							0,82
Greco 16 Tubos 220 mm							
REFR. (GLYCOL 35%)		GAS					
Caudal (l/h)	Tin (°C)	Caudal (g/s)	Tin (°C)	Pin (bar _{abs})	Eficien (%)	Eficien PROG (%)	Error Efic (%)
800	80	5	280	3	99,7730299	99,500	0,27
800	80	10	280	3	99,4413291	98,629	0,82
800	80	15	280	3	96,9799381	96,407	0,59
800	80	20	280	3	94,4996677	93,754	0,79
800	80	25	280	3	92,0128299	90,988	1,11
							0,72
Greco 16 Tubos 220 mm							
REFR. (GLYCOL 35%)		GAS					
Caudal (l/h)	Tin (°C)	Caudal (g/s)	Tin (°C)	Pin (bar _{abs})	Eficien (%)	Eficien PROG (%)	Error Efic (%)
600	80	5	280	3	99,6730952	99,500	0,17
600	80	10	280	3	99,0943354	97,893	1,21
600	80	15	280	3	96,4774246	94,804	1,73
600	80	20	280	3	93,7682136	91,333	2,60
600	80	25	280	3	91,0233239	87,868	3,47
							1,84
Greco 16 Tubos 220 mm							
REFR. (GLYCOL 35%)		GAS					
Caudal (l/h)	Tin (°C)	Caudal (g/s)	Tin (°C)	Pin (bar _{abs})	Eficien (%)	Eficien PROG (%)	Error Efic (%)
1200	80	5	280	3	99,5290905	99,500	0,03
1200	80	10	280	3	99,5397561	98,882	0,66
1200	80	15	280	3	97,4774597	97,085	0,40
1200	80	20	280	3	95,3637795	94,854	0,53
1200	80	25	280	3	93,2302773	92,486	0,80
E.10.1450.01							0,48
Greco 18 Tubos 150 mm							
REFR. (GLYCOL 35%)		GAS					
Caudal (l/h)	Tin (°C)	Caudal (g/s)	Tin (°C)	Pin (bar _{abs})	Eficien (%)	Eficien PROG (%)	Error Efic (%)
800	80	5	280	3	99,9191593	98,224	1,70
800	80	10	280	3	97,706203	94,238	3,55
800	80	15	280	3	94,7535501	90,244	4,76
800	80	20	280	3	91,8269775	86,613	5,68
800	80	25	280	3	88,9121934	83,365	6,24
E.10.0738.01							4,38

E.10.0738.01							4,38
Greco 20 Tubos 100 mm							
REFR. (GLYCOL 35%)		GAS					
Caudal (l/h)	Tin (°C)	Caudal (g/s)	Tin (°C)	Pin (bar _{abs})	Eficien (%)	Eficien PROG (%)	Error Efic (%)
800	80	5	280	3	96,9897049	94,224	2,85
800	80	10	280	3	88,8465253	86,801	2,30
800	80	15	280	3	83,4223678	80,907	3,02
800	80	20	280	3	78,6810263	76,170	3,19
800	80	25	280	3	74,2156854	72,255	2,64
E.10.1270.04							2,80
Greco 20 Tubos 130 mm							
REFR. (GLYCOL 35%)		GAS					
Caudal (l/h)	Tin (°C)	Caudal (g/s)	Tin (°C)	Pin (bar _{abs})	Eficien (%)	Eficien PROG (%)	Error Efic (%)
800	80	5	280	3	99,4	97,430	1,98
800	80	10	280	3	94,8	92,484	2,44
800	80	15	280	3	90,5	87,863	2,91
800	80	20	280	3	86,2	83,819	2,76
800	80	25	280	3	82	80,291	2,08
E.10.1270.03							2,44
Greco 20 Tubos 130 mm							
REFR. (GLYCOL 35%)		GAS					
Caudal (l/h)	Tin (°C)	Caudal (g/s)	Tin (°C)	Pin (bar _{abs})	Eficien (%)	Eficien PROG (%)	Error Efic (%)
800	80	5	280	3	99,3	97,430	1,88
800	80	10	280	3	95,1	92,484	2,75
800	80	15	280	3	91	87,863	3,45
800	80	20	280	3	86,9	83,819	3,55
800	80	25	280	3	82,8	80,291	3,03
E.10.1270.03							2,93
Greco 20 Tubos 130 mm							
REFR. (GLYCOL 35%)		GAS					
Caudal (l/h)	Tin (°C)	Caudal (g/s)	Tin (°C)	Pin (bar _{abs})	Eficien (%)	Eficien PROG (%)	Error Efic (%)
800	80	5	280	3	99,3	97,430	1,88
800	80	10	280	3	91,8	92,484	-0,75
800	80	15	280	3	90,2	87,863	2,59
800	80	20	280	3	86,9	83,819	3,55
800	80	25	280	3	83,6	80,291	3,96
E.10.1270.01							2,54
Greco 20 Tubos 130 mm							
REFR. (GLYCOL 35%)		GAS					
Caudal (l/h)	Tin (°C)	Caudal (g/s)	Tin (°C)	Pin (bar _{abs})	Eficien (%)	Eficien PROG (%)	Error Efic (%)
900	80	5	280	3	99,8741638	97,565	2,31
900	80	10	280	3	94,8077779	92,871	2,04
900	80	15	280	3	90,4306819	88,475	2,16
900	80	20	280	3	86,2291781	84,617	1,87
900	80	25	280	3	82,1006472	81,242	1,05
E.10.1270.02							1,89

E.10.1270.02							1,89
Greco 20 Tubos 130 mm							
REFR. (GLYCOL 35%)		GAS					
Caudal (l/h)	Tin (°C)	Caudal (g/s)	Tin (°C)	Pin (bar _{abs})	Eficien (%)	Eficien PROG (%)	Error Efic (%)
1200	80	5	280	3	99,8	97,725	2,08
1200	80	10	280	3	95,6	93,347	2,36
1200	80	15	280	3	91,8	89,245	2,78
1200	80	20	280	3	88,1	85,642	2,79
1200	80	25	280	3	84,5	82,484	2,39
E.10.0314.01							2,48
Greco 20 Tubos 150 mm							
REFR. (GLYCOL 35%)		GAS					
Caudal (l/h)	Tin (°C)	Caudal (g/s)	Tin (°C)	Pin (bar _{abs})	Eficien (%)	Eficien PROG (%)	Error Efic (%)
800	80	5	280	3	99,8424385	98,916	0,93
800	80	10	280	3	96,4486355	95,955	0,51
800	80	15	280	3	92,2992224	92,664	-0,39
800	80	20	280	3	88,3733761	89,500	-1,28
800	80	25	280	3	84,5392312	86,567	-2,40
E.10.0350.01							1,10
Greco 20 Tubos 150 mm							
REFR. (GLYCOL 35%)		GAS					
Caudal (l/h)	Tin (°C)	Caudal (g/s)	Tin (°C)	Pin (bar _{abs})	Eficien (%)	Eficien PROG (%)	Error Efic (%)
800	80	5	280	3	99,866984	99,117	0,75
800	80	10	280	3	98,4961521	96,415	2,11
800	80	15	280	3	95,2494085	93,294	2,05
800	80	20	280	3	91,9285786	90,236	1,84
800	80	25	280	3	88,5799702	87,368	1,37
E.10.0203.01							1,63
Greco 20 Tubos 150 mm							
REFR. (GLYCOL 35%)		GAS					
Caudal (l/h)	Tin (°C)	Caudal (g/s)	Tin (°C)	Pin (bar _{abs})	Eficien (%)	Eficien PROG (%)	Error Efic (%)
800	80	5	280	3	98,9611509	98,484	0,48
800	80	10	280	3	97,1582038	94,777	2,45
800	80	15	280	3	93,6935752	90,927	2,95
800	80	20	280	3	90,3623534	87,366	3,32
800	80	25	280	3	87,0861637	84,148	3,37
E.10.0908.01							2,52
Greco 20 Tubos 150 mm							
REFR. (GLYCOL 35%)		GAS					
Caudal (l/h)	Tin (°C)	Caudal (g/s)	Tin (°C)	Pin (bar _{abs})	Eficien (%)	Eficien PROG (%)	Error Efic (%)
800	80	5	280	3	99,4459573	98,484	0,97
800	80	10	280	3	96,9888122	94,777	2,28
800	80	15	280	3	93,0390879	90,927	2,27
800	80	20	280	3	89,1606918	87,366	2,01
800	80	25	280	3	85,3132204	84,148	1,37
E.10.1067.04							1,78

E.10.1067.04							1,78
Greco 20 Tubos 150 mm							
REFR. (GLYCOL 35%)		GAS					
Caudal (l/h)	Tin (°C)	Caudal (g/s)	Tin (°C)	Pin (bar _{abs})	Eficien (%)	Eficien PROG (%)	Error Efic (%)
600	80	5	280	3	99,2455323	97,115	2,15
600	80	10	280	3	95,9575438	90,887	5,28
600	80	15	280	3	92,8840881	85,069	8,41
600	80	20	280	3	89,8660111	80,091	10,88
600	80	25	280	3	86,8715216	75,855	12,68
E.10.1067.03							7,88
Greco 20 Tubos 150 mm							
REFR. (GLYCOL 35%)		GAS					
Caudal (l/h)	Tin (°C)	Caudal (g/s)	Tin (°C)	Pin (bar _{abs})	Eficien (%)	Eficien PROG (%)	Error Efic (%)
1500	80	5	280	3	99,7762596	98,755	1,02
1500	80	10	280	3	97,5871621	95,713	1,92
1500	80	15	280	3	94,9674738	92,544	2,55
1500	80	20	280	3	92,3659482	89,596	3,00
1500	80	25	280	3	89,7727574	86,915	3,18
E.10.0665.01							2,34
Greco 20 Tubos 174,4 mm							
REFR. (GLYCOL 35%)		GAS					
Caudal (l/h)	Tin (°C)	Caudal (g/s)	Tin (°C)	Pin (bar _{abs})	Eficien (%)	Eficien PROG (%)	Error Efic (%)
800	80	5	280	3	99,798925	99,174	0,63
800	80	10	280	3	97,1418659	96,585	0,57
800	80	15	280	3	93,7890987	93,530	0,28
800	80	20	280	3	90,4740518	90,512	-0,04
800	80	25	280	3	87,1758447	87,669	-0,57
E.10.0665.01							0,42
Greco 20 Tubos 174,4 mm							
REFR. (GLYCOL 35%)		GAS					
Caudal (l/h)	Tin (°C)	Caudal (g/s)	Tin (°C)	Pin (bar _{abs})	Eficien (%)	Eficien PROG (%)	Error Efic (%)
800	80	5	280	3	99,8205214	99,174	0,65
800	80	10	280	3	96,4949431	96,585	-0,09
800	80	15	280	3	92,8104591	93,530	-0,78
800	80	20	280	3	89,1895662	90,512	-1,48
800	80	25	280	3	85,5961961	87,669	-2,42
E.10.0069.01							1,08
Greco 20 Tubos 180 mm							
REFR. (GLYCOL 35%)		GAS					
Caudal (l/h)	Tin (°C)	Caudal (g/s)	Tin (°C)	Pin (bar _{abs})	Eficien (%)	Eficien PROG (%)	Error Efic (%)
800	80	5	280	3	99,9420124	99,500	0,44
800	80	10	280	3	99,0637783	98,008	1,07
800	80	15	280	3	96,328583	95,788	0,56
800	80	20	280	3	93,5267639	93,404	0,13
800	80	25	280	3	90,6996017	91,035	-0,37
E.10.0051.01							0,51

E.10.1106.02							0,15
Greco 20 Tubos 180 mm							
REFR. (GLYCOL 35%)		GAS					
Caudal (l/h)	Tin (°C)	Caudal (g/s)	Tin (°C)	Pin (bar _{abs})	Eficien (%)	Eficien PROG (%)	Error Efic (%)
800	80	5	280	3	99,3103638	99,193	0,12
800	80	10	280	3	96,0023972	96,863	-0,90
800	80	15	280	3	92,8085053	93,951	-1,23
800	80	20	280	3	89,645087	91,036	-1,55
800	80	25	280	3	86,4954674	88,267	-2,05
E.10.0042.01							1,17
Greco 20 Tubos 180 mm							
REFR. (GLYCOL 35%)		GAS					
Caudal (l/h)	Tin (°C)	Caudal (g/s)	Tin (°C)	Pin (bar _{abs})	Eficien (%)	Eficien PROG (%)	Error Efic (%)
800	80	5	280	3	99,7685251	99,270	0,50
800	80	10	280	3	99,0753775	96,923	2,17
800	80	15	280	3	96,443062	94,043	2,49
800	80	20	280	3	93,8057107	91,152	2,83
800	80	25	280	3	91,1674525	88,401	3,03
E.10.0452.01							2,20
Greco 20 Tubos 180 mm							
REFR. (GLYCOL 35%)		GAS					
Caudal (l/h)	Tin (°C)	Caudal (g/s)	Tin (°C)	Pin (bar _{abs})	Eficien (%)	Eficien PROG (%)	Error Efic (%)
800	80	5	280	3	99,6058661	99,270	0,34
800	80	10	280	3	98,7861865	96,923	1,89
800	80	15	280	3	95,7971315	94,043	1,83
800	80	20	280	3	92,7701102	91,152	1,74
800	80	25	280	3	89,7294053	88,401	1,48
E.09.1435.01							1,46
Greco 20 Tubos 180 mm							
REFR. (GLYCOL 35%)		GAS					
Caudal (l/h)	Tin (°C)	Caudal (g/s)	Tin (°C)	Pin (bar _{abs})	Eficien (%)	Eficien PROG (%)	Error Efic (%)
800	80	5	280	3	99,765373	99,270	0,50
800	80	10	280	3	97,8563749	96,923	0,95
800	80	15	280	3	94,9039061	94,043	0,91
800	80	20	280	3	91,9702974	91,152	0,89
800	80	25	280	3	89,0456008	88,401	0,72
E.09.1379.01							0,79
Greco 20 Tubos 180 mm							
REFR. (GLYCOL 35%)		GAS					
Caudal (l/h)	Tin (°C)	Caudal (g/s)	Tin (°C)	Pin (bar _{abs})	Eficien (%)	Eficien PROG (%)	Error Efic (%)
800	80	5	280	3	99,7574773	99,270	0,49
800	80	10	280	3	99,0930655	96,923	2,19
800	80	15	280	3	96,5519216	94,043	2,60
800	80	20	280	3	93,9978166	91,152	3,03
800	80	25	280	3	91,4395702	88,401	3,32
E.10.0061.01							2,33

E.10.0061.01							2,33
Greco 20 Tubos 180 mm							
REFR. (GLYCOL 35%)		GAS					
Caudal (l/h)	Tin (°C)	Caudal (g/s)	Tin (°C)	Pin (bar _{abs})	Eficien (%)	Eficien PROG (%)	Error Efic (%)
800	80	5	280	3	98,9247578	99,270	-0,35
800	80	10	280	3	98,1159749	96,923	1,22
800	80	15	280	3	94,9878913	94,043	0,99
800	80	20	280	3	91,9609397	91,152	0,88
800	80	25	280	3	88,9758206	88,401	0,65
E.10.1451.01							0,82
Greco 20 Tubos 180 mm							
REFR. (GLYCOL 35%)		GAS					
Caudal (l/h)	Tin (°C)	Caudal (g/s)	Tin (°C)	Pin (bar _{abs})	Eficien (%)	Eficien PROG (%)	Error Efic (%)
800	80	5	280	3	99,8241141	99,270	0,56
800	80	10	280	3	97,5523906	96,923	0,64
800	80	15	280	3	94,6177602	94,043	0,61
800	80	20	280	3	91,7454149	91,152	0,65
800	80	25	280	3	88,8992573	88,401	0,56
E.10.0671.01							0,60
Greco 20 Tubos 200 mm							
REFR. (GLYCOL 35%)		GAS					
Caudal (l/h)	Tin (°C)	Caudal (g/s)	Tin (°C)	Pin (bar _{abs})	Eficien (%)	Eficien PROG (%)	Error Efic (%)
800	80	5	280	3	99,9172152	99,458	0,46
800	80	10	280	3	97,634995	97,510	0,13
800	80	15	280	3	94,3474941	94,996	-0,69
800	80	20	280	3	91,104893	92,392	-1,41
800	80	25	280	3	87,8819116	89,860	-2,25
E.10.1101.01							0,99
Greco 10+10 Tubos 150 mm							
REFR. (GLYCOL 35%)		GAS					
Caudal (l/h)	Tin (°C)	Caudal (g/s)	Tin (°C)	Pin (bar _{abs})	Eficien (%)	Eficien PROG (%)	Error Efic (%)
800	80	5	280	3	99,8579829	99,500	0,36
800	80	10	280	3	99,8541829	98,657	1,20
800	80	15	280	3	97,9748437	96,635	1,37
800	80	20	280	3	96,019428	94,259	1,83
800	80	25	280	3	94,0342076	91,793	2,38
E.10.1763.01							1,43
Greco 10+10 Tubos 150 mm							
REFR. (GLYCOL 35%)		GAS					
Caudal (l/h)	Tin (°C)	Caudal (g/s)	Tin (°C)	Pin (bar _{abs})	Eficien (%)	Eficien PROG (%)	Error Efic (%)
800	80	5	280	3	99,7192607	99,500	0,22
800	80	10	280	3	99,3335255	98,657	0,68
800	80	15	280	3	96,8680088	96,635	0,24
800	80	20	280	3	94,352497	94,259	0,10
800	80	25	280	3	91,8180246	91,793	0,03
							0,25

							0,25
Greco 10+10 Tubos 150 mm							
REFR. (GLYCOL 35%)		GAS					
Caudal	Tin	Caudal	Tin	Pin	Eficien	Eficien PROG	Error Efic
(l/h)	(°C)	(g/s)	(°C)	(bar_{abs})	(%)	(%)	(%)
600	80	5	280	3	99,739532	99,500	0,24
600	80	10	280	3	98,5884877	98,445	0,15
600	80	15	280	3	95,990647	96,173	-0,19
600	80	20	280	3	93,3885556	93,542	-0,16
600	80	25	280	3	90,7858429	90,840	-0,06
							0,16
Greco 10+10 Tubos 150 mm							
REFR. (GLYCOL 35%)		GAS					
Caudal	Tin	Caudal	Tin	Pin	Eficien	Eficien PROG	Error Efic
(l/h)	(°C)	(g/s)	(°C)	(bar_{abs})	(%)	(%)	(%)
1200	80	5	280	3	99,8773447	99,500	0,38
1200	80	10	280	3	99,4793487	98,814	0,67
1200	80	15	280	3	97,4673633	96,978	0,50
1200	80	20	280	3	95,4089122	94,796	0,64
1200	80	25	280	3	93,3325657	92,515	0,88
E.10.1586.01							0,61
Greco 10+10 Tubos 180 mm							
REFR. (GLYCOL 35%)		GAS					
Caudal	Tin	Caudal	Tin	Pin	Eficien	Eficien PROG	Error Efic
(l/h)	(°C)	(g/s)	(°C)	(bar_{abs})	(%)	(%)	(%)
800	80	5	280	3	99,7564107	99,500	0,26
800	80	10	280	3	99,3896103	99,363	0,03
800	80	15	280	3	98,857043	98,137	0,73
800	80	20	280	3	97,1359904	96,509	0,65
800	80	25	280	3	95,3991246	94,681	0,75
							0,48
Greco 10+10 Tubos 180 mm							
REFR. (GLYCOL 35%)		GAS					
Caudal	Tin	Caudal	Tin	Pin	Eficien	Eficien PROG	Error Efic
(l/h)	(°C)	(g/s)	(°C)	(bar_{abs})	(%)	(%)	(%)
400	80	5	280	3	99,6728815	99,500	0,17
400	80	10	280	3	99,0845217	98,524	0,57
400	80	15	280	3	98,3346215	96,130	2,24
400	80	20	280	3	96,3913652	93,258	3,25
400	80	25	280	3	94,432927	90,264	4,41
							2,13
Greco 10+10 Tubos 180 mm							
REFR. (GLYCOL 35%)		GAS					
Caudal	Tin	Caudal	Tin	Pin	Eficien	Eficien PROG	Error Efic
(l/h)	(°C)	(g/s)	(°C)	(bar_{abs})	(%)	(%)	(%)
1200	80	5	280	3	99,5911625	99,500	0,09
1200	80	10	280	3	99,3448906	99,470	-0,13
1200	80	15	280	3	98,9982763	98,406	0,60
1200	80	20	280	3	97,3811901	96,969	0,42
1200	80	25	280	3	95,7547442	95,337	0,44
E.10.0747.01							0,34

11.3.2 Pérdidas de carga perturbador OSF

E.10.1370.02								
Greco 8 Tubos 170 mm								
REFR. (GLYCOL 35%)		GAS						
Caudal (l/h)	Tin (°C)	Caudal (g/s)	Tin (°C)	Pin (bar _{abs})	dP (mbar)	dP PROG (mbar)	Error dP (%)	Error dP (mbar)
800	80	5	280	3	2,26	1,688	25,32	0,57
800	80	10	280	3	6,72	5,882	12,46	0,84
800	80	15	280	3	13,8	12,285	10,98	1,52
800	80	20	280	3	23,52	20,764	11,72	2,76
800	80	25	280	3	35,88	31,227	12,97	4,65
							14,69	2,07
E.10.1650.01								
Greco 8 Tubos 200 mm								
REFR. (GLYCOL 35%)		GAS						
Caudal (l/h)	Tin (°C)	Caudal (g/s)	Tin (°C)	Pin (bar _{abs})	dP (mbar)	dP PROG (mbar)	Error dP (%)	Error dP (mbar)
800	80	5	280	3	2,28649845	1,969	13,90	0,32
800	80	10	280	3	6,92796654	6,827	1,46	0,10
800	80	15	280	3	14,0652036	14,214	-1,06	-0,15
800	80	20	280	3	23,6982095	23,982	-1,20	-0,28
800	80	25	280	3	35,8269844	36,030	-0,57	-0,20
							3,64	0,21
Greco 8 Tubos 200 mm								
REFR. (GLYCOL 35%)		GAS						
Caudal (l/h)	Tin (°C)	Caudal (g/s)	Tin (°C)	Pin (bar _{abs})	dP (mbar)	dP PROG (mbar)	Error dP (%)	Error dP (mbar)
600	80	5	280	3	2,27173144	1,988	12,47	0,28
600	80	10	280	3	6,98937161	6,901	1,27	0,09
600	80	15	280	3	14,2051637	14,380	-1,23	-0,17
600	80	20	280	3	23,9191077	24,276	-1,49	-0,36
600	80	25	280	3	36,1312036	36,490	-0,99	-0,36
							3,49	0,25
Greco 8 Tubos 200 mm								
REFR. (GLYCOL 35%)		GAS						
Caudal (l/h)	Tin (°C)	Caudal (g/s)	Tin (°C)	Pin (bar _{abs})	dP (mbar)	dP PROG (mbar)	Error dP (%)	Error dP (mbar)
1200	80	5	280	3	2,26015629	1,987	12,07	0,27
1200	80	10	280	3	6,92213059	6,886	0,52	0,04
1200	80	15	280	3	14,0128001	14,328	-2,25	-0,31
1200	80	20	280	3	23,5321647	24,160	-2,67	-0,63
1200	80	25	280	3	35,4802245	36,280	-2,26	-0,80
							3,95	0,41
E.10.1694.01								
Greco 10 Tubos 100 mm								
REFR. (GLYCOL 35%)		GAS						
Caudal (l/h)	Tin (°C)	Caudal (g/s)	Tin (°C)	Pin (bar _{abs})	dP (mbar)	dP PROG (mbar)	Error dP (%)	Error dP (mbar)
800	80	5	280	3	1,42075766	0,750	47,21	0,67
800	80	10	280	3	4,20500204	2,563	39,06	1,64
800	80	15	280	3	8,49244318	5,287	37,75	3,21
800	80	20	280	3	14,2830811	8,850	38,04	5,43
800	80	25	280	3	21,5769158	13,206	38,80	8,37
							40,17	3,86
E.10.0131.01								
Greco 10 Tubos 125 mm								
REFR. (GLYCOL 35%)		GAS						
Caudal (l/h)	Tin (°C)	Caudal (g/s)	Tin (°C)	Pin (bar _{abs})	dP (mbar)	dP PROG (mbar)	Error dP (%)	Error dP (mbar)
800	80	5	280	3	1,06479524	0,908	14,72	0,16
800	80	10	280	3	3,15201007	3,073	2,49	0,08
800	80	15	280	3	6,37407383	6,313	0,96	0,06
800	80	20	280	3	10,7309865	10,543	1,75	0,19
800	80	25	280	3	16,2227481	15,709	3,17	0,51
							4,62	0,20
E.10.0312.01								

E.10.0312.01							4,62	0,20
Greco 12 Tubos 150 mm								
REFR. (GLYCOL 35%)		GAS						
Caudal (l/h)	Tin (°C)	Caudal (g/s)	Tin (°C)	Pin (bar _{abs})	dP (mbar)	dP PROG (mbar)	Error dP (%)	Error dP (mbar)
800	80	5	280	3	0,90085496	0,820	8,97	0,08
800	80	10	280	3	2,71076825	2,772	-2,25	-0,06
800	80	15	280	3	5,49722391	5,694	-3,58	-0,20
800	80	20	280	3	9,26022194	9,519	-2,80	-0,26
800	80	25	280	3	13,9997623	14,204	-1,46	-0,20
E.10.1633.01							3,81	0,16
Greco 16 Tubos 100 mm								
REFR. (GLYCOL 35%)		GAS						
Caudal (l/h)	Tin (°C)	Caudal (g/s)	Tin (°C)	Pin (bar _{abs})	dP (mbar)	dP PROG (mbar)	Error dP (%)	Error dP (mbar)
800	80	5	280	3	0,79472931	0,612	23,00	0,18
800	80	10	280	3	2,14995045	2,039	5,16	0,11
800	80	15	280	3	4,29377043	4,160	3,12	0,13
800	80	20	280	3	7,22618923	6,922	4,21	0,30
800	80	25	280	3	10,9472069	10,291	5,99	0,66
E.10.0313.01							8,30	0,28
Greco 16 Tubos 150 mm								
REFR. (GLYCOL 35%)		GAS						
Caudal (l/h)	Tin (°C)	Caudal (g/s)	Tin (°C)	Pin (bar _{abs})	dP (mbar)	dP PROG (mbar)	Error dP (%)	Error dP (mbar)
800	80	5	280	3	0,78289921	0,685	12,56	0,10
800	80	10	280	3	2,49567038	2,248	9,93	0,25
800	80	15	280	3	5,14958474	4,549	11,67	0,60
800	80	20	280	3	8,74464227	7,534	13,85	1,21
800	80	25	280	3	13,280843	11,167	15,91	2,11
E.10.1635.01							12,78	0,85
Greco 16 Tubos 180 mm								
REFR. (GLYCOL 35%)		GAS						
Caudal (l/h)	Tin (°C)	Caudal (g/s)	Tin (°C)	Pin (bar _{abs})	dP (mbar)	dP PROG (mbar)	Error dP (%)	Error dP (mbar)
800	80	5	280	3	1,00517445	0,796	20,77	0,21
800	80	10	280	3	2,68482254	2,588	3,60	0,10
800	80	15	280	3	5,27034763	5,203	1,28	0,07
800	80	20	280	3	8,76174972	8,577	2,11	0,18
800	80	25	280	3	13,1590288	12,671	3,71	0,49
E.10.0913.01							6,29	0,21
Greco 16 Tubos 220 mm								
REFR. (GLYCOL 35%)		GAS						
Caudal (l/h)	Tin (°C)	Caudal (g/s)	Tin (°C)	Pin (bar _{abs})	dP (mbar)	dP PROG (mbar)	Error dP (%)	Error dP (mbar)
800	80	5	280	3	1,04798106	0,946	9,69	0,10
800	80	10	280	3	2,91718784	3,045	-4,39	-0,13
800	80	15	280	3	5,8001791	6,080	-4,83	-0,28
800	80	20	280	3	9,69695486	9,973	-2,85	-0,28
800	80	25	280	3	14,6075151	14,677	-0,47	-0,07
E.10.1548.01							4,45	0,17
Greco 16 Tubos 220 mm								
REFR. (GLYCOL 35%)		GAS						
Caudal (l/h)	Tin (°C)	Caudal (g/s)	Tin (°C)	Pin (bar _{abs})	dP (mbar)	dP PROG (mbar)	Error dP (%)	Error dP (mbar)
800	80	5	280	3	1,10754491	0,946	14,54	0,16
800	80	10	280	3	3,09580133	3,045	1,63	0,05
800	80	15	280	3	6,08848157	6,080	0,13	0,01
800	80	20	280	3	10,0855856	9,973	1,12	0,11
800	80	25	280	3	15,0871135	14,677	2,72	0,41
							4,03	0,15

							4,03	0,15
Greco 16 Tubos 220 mm								
REFR. (GLYCOL 35%)		GAS						
Caudal (l/h)	Tin (°C)	Caudal (g/s)	Tin (°C)	Pin (bar _{abs})	dP (mbar)	dP PROG (mbar)	Error dP (%)	Error dP (mbar)
600	80	5	280	3	1,14282963	0,946	17,18	0,20
600	80	10	280	3	3,12075292	3,051	2,25	0,07
600	80	15	280	3	6,14960771	6,103	0,76	0,05
600	80	20	280	3	10,229394	10,027	1,98	0,20
600	80	25	280	3	15,3601118	14,777	3,80	0,58
							5,19	0,22
Greco 16 Tubos 220 mm								
REFR. (GLYCOL 35%)		GAS						
Caudal (l/h)	Tin (°C)	Caudal (g/s)	Tin (°C)	Pin (bar _{abs})	dP (mbar)	dP PROG (mbar)	Error dP (%)	Error dP (mbar)
1200	80	5	280	3	1,15231394	0,955	17,15	0,20
1200	80	10	280	3	3,12997329	3,069	1,94	0,06
1200	80	15	280	3	6,12473313	6,121	0,06	0,00
1200	80	20	280	3	10,1365935	10,029	1,07	0,11
1200	80	25	280	3	15,1655543	14,745	2,77	0,42
E.10.1450.01							4,60	0,16
Greco 18 Tubos 150 mm								
REFR. (GLYCOL 35%)		GAS						
Caudal (l/h)	Tin (°C)	Caudal (g/s)	Tin (°C)	Pin (bar _{abs})	dP (mbar)	dP PROG (mbar)	Error dP (%)	Error dP (mbar)
800	80	5	280	3	0,85172641	0,586	31,26	0,27
800	80	10	280	3	2,22179845	2,014	9,35	0,21
800	80	15	280	3	4,25022187	4,176	1,76	0,07
800	80	20	280	3	6,93699666	7,025	-1,28	-0,09
800	80	25	280	3	10,2821228	10,535	-2,46	-0,25
E.10.0738.01							9,22	0,18
Greco 20 Tubos 100 mm								
REFR. (GLYCOL 35%)		GAS						
Caudal (l/h)	Tin (°C)	Caudal (g/s)	Tin (°C)	Pin (bar _{abs})	dP (mbar)	dP PROG (mbar)	Error dP (%)	Error dP (mbar)
800	80	5	280	3	0,66338538	0,538	18,87	0,13
800	80	10	280	3	1,82692868	1,810	0,92	0,02
800	80	15	280	3	3,67347883	3,710	-0,99	-0,04
800	80	20	280	3	6,20303581	6,193	0,17	0,01
800	80	25	280	3	9,41559962	9,230	1,97	0,19
E.10.1270.04							4,58	0,07
Greco 20 Tubos 130 mm								
REFR. (GLYCOL 35%)		GAS						
Caudal (l/h)	Tin (°C)	Caudal (g/s)	Tin (°C)	Pin (bar _{abs})	dP (mbar)	dP PROG (mbar)	Error dP (%)	Error dP (mbar)
800	80	5	280	3	0,67819613	0,656	3,32	0,02
800	80	10	280	3	2,01500268	2,170	-7,70	-0,16
800	80	15	280	3	4,12193507	4,408	-6,93	-0,29
800	80	20	280	3	6,9989933	7,313	-4,49	-0,31
800	80	25	280	3	10,6461774	10,853	-1,94	-0,21
E.10.1270.03							4,88	0,20
Greco 20 Tubos 130 mm								
REFR. (GLYCOL 35%)		GAS						
Caudal (l/h)	Tin (°C)	Caudal (g/s)	Tin (°C)	Pin (bar _{abs})	dP (mbar)	dP PROG (mbar)	Error dP (%)	Error dP (mbar)
800	80	5	280	3	0,70937618	0,656	7,57	0,05
800	80	10	280	3	2,0874064	2,170	-3,97	-0,08
800	80	15	280	3	4,20600726	4,408	-4,80	-0,20
800	80	20	280	3	7,06517875	7,313	-3,51	-0,25
800	80	25	280	3	10,6649209	10,853	-1,76	-0,19
E.10.1270.03							4,32	0,15

E.10.1270.03							4,32	0,15
Greco 20 Tubos 130 mm								
REFR. (GLYCOL 35%)		GAS						
Caudal (l/h)	Tin (°C)	Caudal (g/s)	Tin (°C)	Pin (bar _{abs})	dP (mbar)	dP PROG (mbar)	Error dP (%)	Error dP (mbar)
800	80	5	280	3	0,70937618	0,656	7,57	0,05
800	80	10	280	3	3,72304143	2,170	41,71	1,55
800	80	15	280	3	4,7185959	4,408	6,59	0,31
800	80	20	280	3	7,06517875	7,313	-3,51	-0,25
800	80	25	280	3	9,8857268	10,853	-9,78	-0,97
E.10.1270.01							13,83	0,63
Greco 20 Tubos 130 mm								
REFR. (GLYCOL 35%)		GAS						
Caudal (l/h)	Tin (°C)	Caudal (g/s)	Tin (°C)	Pin (bar _{abs})	dP (mbar)	dP PROG (mbar)	Error dP (%)	Error dP (mbar)
900	80	5	280	3	0,80770423	0,655	18,85	0,15
900	80	10	280	3	2,09874617	2,168	-3,32	-0,07
900	80	15	280	3	4,18260482	4,402	-5,25	-0,22
900	80	20	280	3	7,0592802	7,302	-3,44	-0,24
900	80	25	280	3	10,7287723	10,834	-0,98	-0,10
E.10.1270.02							6,37	0,16
Greco 20 Tubos 130 mm								
REFR. (GLYCOL 35%)		GAS						
Caudal (l/h)	Tin (°C)	Caudal (g/s)	Tin (°C)	Pin (bar _{abs})	dP (mbar)	dP PROG (mbar)	Error dP (%)	Error dP (mbar)
1200	80	5	280	3	0,7515014	0,660	12,11	0,09
1200	80	10	280	3	2,08141059	2,183	-4,87	-0,10
1200	80	15	280	3	4,15710127	4,428	-6,51	-0,27
1200	80	20	280	3	6,97857346	7,340	-5,17	-0,36
1200	80	25	280	3	10,5458271	10,884	-3,20	-0,34
E.10.0314.01							6,37	0,23
Greco 20 Tubos 150 mm								
REFR. (GLYCOL 35%)		GAS					esp0,15 LL3,18	
Caudal (l/h)	Tin (°C)	Caudal (g/s)	Tin (°C)	Pin (bar _{abs})	dP (mbar)	dP PROG (mbar)	Error dP (%)	Error dP (mbar)
800	80	5	280	3	0,60614487	0,63865211	-5,36	-0,03
800	80	10	280	3	1,94325495	2,07583986	-6,82	-0,13
800	80	15	280	3	3,99276087	4,17549592	-4,58	-0,18
800	80	20	280	3	6,75466265	6,88621181	-1,95	-0,13
800	80	25	280	3	10,2289603	10,177	0,51	0,05
E.10.0350.01							3,84	0,11
Greco 20 Tubos 150 mm								
REFR. (GLYCOL 35%)		GAS					esp0,2 LL3,18	
Caudal (l/h)	Tin (°C)	Caudal (g/s)	Tin (°C)	Pin (bar _{abs})	dP (mbar)	dP PROG (mbar)	Error dP (%)	Error dP (mbar)
800	80	5	280	3	0,86717354	0,639	26,35	0,23
800	80	10	280	3	2,30949708	2,076	10,12	0,23
800	80	15	280	3	4,57692123	4,175	8,77	0,40
800	80	20	280	3	7,669446	6,886	10,21	0,78
800	80	25	280	3	11,5870714	10,177	12,17	1,41
E.10.0203.01							13,53	0,61
Greco 20 Tubos 150 mm								
REFR. (GLYCOL 35%)		GAS					esp0,2 LL6,35	
Caudal (l/h)	Tin (°C)	Caudal (g/s)	Tin (°C)	Pin (bar _{abs})	dP (mbar)	dP PROG (mbar)	Error dP (%)	Error dP (mbar)
800	80	5	280	3	0,61151172	0,651	-6,45	-0,04
800	80	10	280	3	1,72745765	2,117	-22,54	-0,39
800	80	15	280	3	3,53831487	4,260	-20,38	-0,72
800	80	20	280	3	6,04408337	7,026	-16,24	-0,98
800	80	25	280	3	9,24476315	10,383	-12,31	-1,14
E.10.0908.01							15,59	0,65

E.10.0908.01							15,59	0,65
Greco 20 Tubos 150 mm								
REFR. (GLYCOL 35%)		GAS			esp0,2 LL6,35			
Caudal (l/h)	Tin (°C)	Caudal (g/s)	Tin (°C)	Pin (bar _{abs})	dP (mbar)	dP PROG (mbar)	Error dP (%)	Error dP (mbar)
800	80	5	280	3	0,640749	0,651	-1,60	-0,01
800	80	10	280	3	1,71575764	2,117	-23,38	-0,40
800	80	15	280	3	3,35028301	4,260	-27,14	-0,91
800	80	20	280	3	5,54432511	7,026	-26,72	-1,48
800	80	25	280	3	8,29788394	10,383	-25,13	-2,09
E.10.1067.04							20,79	0,98
Greco 20 Tubos 150 mm								
REFR. (GLYCOL 35%)		GAS						
Caudal (l/h)	Tin (°C)	Caudal (g/s)	Tin (°C)	Pin (bar _{abs})	dP (mbar)	dP PROG (mbar)	Error dP (%)	Error dP (mbar)
350	80	5	280	3	0,78471947	0,650	17,18	0,13
350	80	10	280	3	2,18920612	2,105	3,86	0,08
350	80	15	280	3	4,31473062	4,217	2,26	0,10
350	80	20	280	3	7,16129296	6,928	3,26	0,23
350	80	25	280	3	10,7288931	10,198	4,95	0,53
E.10.1067.03							6,30	0,22
Greco 20 Tubos 150 mm								
REFR. (GLYCOL 35%)		GAS						
Caudal (l/h)	Tin (°C)	Caudal (g/s)	Tin (°C)	Pin (bar _{abs})	dP (mbar)	dP PROG (mbar)	Error dP (%)	Error dP (mbar)
1500	80	5	280	3	0,74467934	0,651	12,64	0,09
1500	80	10	280	3	2,13865462	2,113	1,21	0,03
1500	80	15	280	3	4,21984449	4,246	-0,61	-0,03
1500	80	20	280	3	6,98824893	6,995	-0,10	-0,01
1500	80	25	280	3	10,443868	10,329	1,10	0,12
E.10.0665.01							3,13	0,05
Greco 20 Tubos 174,4 mm								
REFR. (GLYCOL 35%)		GAS						
Caudal (l/h)	Tin (°C)	Caudal (g/s)	Tin (°C)	Pin (bar _{abs})	dP (mbar)	dP PROG (mbar)	Error dP (%)	Error dP (mbar)
800	80	5	280	3	1,11134404	0,690	37,91	0,42
800	80	10	280	3	3,14260638	2,231	29,01	0,91
800	80	15	280	3	6,20593676	4,473	27,92	1,73
800	80	20	280	3	10,3013352	7,360	28,56	2,94
800	80	25	280	3	15,4288016	10,857	29,63	4,57
E.10.0665.02							30,61	2,12
Greco 20 Tubos 174,4 mm								
REFR. (GLYCOL 35%)		GAS						
Caudal (l/h)	Tin (°C)	Caudal (g/s)	Tin (°C)	Pin (bar _{abs})	dP (mbar)	dP PROG (mbar)	Error dP (%)	Error dP (mbar)
800	80	5	280	3	1,12560526	0,690	38,70	0,44
800	80	10	280	3	3,17474378	2,231	29,73	0,94
800	80	15	280	3	6,26633295	4,473	28,62	1,79
800	80	20	280	3	10,4003727	7,360	29,24	3,04
800	80	25	280	3	15,5768632	10,857	30,30	4,72
E.10.0069.01							31,32	2,19
Greco 20 Tubos 180 mm								
REFR. (GLYCOL 35%)		GAS			esp0,2 LL3,175			
Caudal (l/h)	Tin (°C)	Caudal (g/s)	Tin (°C)	Pin (bar _{abs})	dP (mbar)	dP PROG (mbar)	Error dP (%)	Error dP (mbar)
800	80	5	280	3	0,82912903	0,805	2,90	0,02
800	80	10	280	3	2,51358501	2,576	-2,48	-0,06
800	80	15	280	3	5,04751988	5,129	-1,62	-0,08
800	80	20	280	3	8,43093367	8,398	0,39	0,03
800	80	25	280	3	12,6638264	12,341	2,55	0,32
E.10.0051.01							1,99	0,10

E.10.0042.01							7,80	0,33
Greco 20 Tubos 180 mm								
REFR. (GLYCOL 35%)		GAS						
Caudal (l/h)	Tin (°C)	Caudal (g/s)	Tin (°C)	Pin (bar _{abs})	dP (mbar)	dP PROG (mbar)	Error dP (%)	Error dP (mbar)
800	80	5	280	3	0,74171968	0,709	4,39	0,03
800	80	10	280	3	2,18088041	2,288	-4,92	-0,11
800	80	15	280	3	4,34108244	4,582	-5,54	-0,24
800	80	20	280	3	7,22232577	7,532	-4,28	-0,31
800	80	25	280	3	10,8246104	11,103	-2,57	-0,28
E.10.0452.01							4,34	0,19
Greco 20 Tubos 180 mm								
REFR. (GLYCOL 35%)		GAS						
Caudal (l/h)	Tin (°C)	Caudal (g/s)	Tin (°C)	Pin (bar _{abs})	dP (mbar)	dP PROG (mbar)	Error dP (%)	Error dP (mbar)
800	80	5	280	3	0,85365729	0,709	16,93	0,14
800	80	10	280	3	2,46249691	2,288	7,08	0,17
800	80	15	280	3	5,03683785	4,582	9,04	0,46
800	80	20	280	3	8,5766801	7,532	12,19	1,05
800	80	25	280	3	13,0820237	11,103	15,13	1,98
E.09.1435.01							12,07	0,76
Greco 20 Tubos 180 mm								
REFR. (GLYCOL 35%)		GAS						
Caudal (l/h)	Tin (°C)	Caudal (g/s)	Tin (°C)	Pin (bar _{abs})	dP (mbar)	dP PROG (mbar)	Error dP (%)	Error dP (mbar)
800	80	5	280	3	0,75132733	0,709	5,62	0,04
800	80	10	280	3	2,12497568	2,288	-7,68	-0,16
800	80	15	280	3	4,26135771	4,582	-7,52	-0,32
800	80	20	280	3	7,16047341	7,532	-5,18	-0,37
800	80	25	280	3	10,8223228	11,103	-2,59	-0,28
E.09.1379.01							5,72	0,24
Greco 20 Tubos 180 mm								
REFR. (GLYCOL 35%)		GAS						
Caudal (l/h)	Tin (°C)	Caudal (g/s)	Tin (°C)	Pin (bar _{abs})	dP (mbar)	dP PROG (mbar)	Error dP (%)	Error dP (mbar)
800	80	5	280	3	0,73635722	0,709	3,70	0,03
800	80	10	280	3	2,19446891	2,288	-4,27	-0,09
800	80	15	280	3	4,44264959	4,582	-3,13	-0,14
800	80	20	280	3	7,48089928	7,532	-0,68	-0,05
800	80	25	280	3	11,309218	11,103	1,83	0,21
E.10.0061.01							2,72	0,10
Greco 20 Tubos 180 mm								
REFR. (GLYCOL 35%)		GAS						
Caudal (l/h)	Tin (°C)	Caudal (g/s)	Tin (°C)	Pin (bar _{abs})	dP (mbar)	dP PROG (mbar)	Error dP (%)	Error dP (mbar)
800	80	5	280	3	0,73635722	0,709	3,70	0,03
800	80	10	280	3	2,19446891	2,288	-4,27	-0,09
800	80	15	280	3	4,44264959	4,582	-3,13	-0,14
800	80	20	280	3	7,48089928	7,532	-0,68	-0,05
800	80	25	280	3	11,309218	11,103	1,83	0,21
E.10.1451.01							2,72	0,10
Greco 20 Tubos 180 mm								
REFR. (GLYCOL 35%)		GAS						
Caudal (l/h)	Tin (°C)	Caudal (g/s)	Tin (°C)	Pin (bar _{abs})	dP (mbar)	dP PROG (mbar)	Error dP (%)	Error dP (mbar)
800	80	5	280	3	0,7963485	0,709	10,95	0,09
800	80	10	280	3	2,00464589	2,288	-14,15	-0,28
800	80	15	280	3	3,87147523	4,582	-18,34	-0,71
800	80	20	280	3	6,3968365	7,532	-17,74	-1,13
800	80	25	280	3	9,5807297	11,103	-15,89	-1,52
E.10.0671.01							15,41	0,75

E.10.0671.01							15,41	0,75
Greco 20 Tubos 200 mm								
REFR. (GLYCOL 35%)		GAS			esp0,15 LL6,35			
Caudal (l/h)	Tin (°C)	Caudal (g/s)	Tin (°C)	Pin (bar _{abs})	dP (mbar)	dP PROG (mbar)	Error dP (%)	Error dP (mbar)
800	80	5	280	3	0,80142878	0,674	15,94	0,13
800	80	10	280	3	2,18390066	2,178	0,26	0,01
800	80	15	280	3	4,28286816	4,366	-1,95	-0,08
800	80	20	280	3	7,09833126	7,183	-1,20	-0,09
800	80	25	280	3	10,63029	10,597	0,31	0,03
E.10.1101.01							3,93	0,07
Greco 10+10 Tubos 150 mm								
REFR. (GLYCOL 35%)		GAS						
Caudal (l/h)	Tin (°C)	Caudal (g/s)	Tin (°C)	Pin (bar _{abs})	dP (mbar)	dP PROG (mbar)	Error dP (%)	Error dP (mbar)
800	80	5	280	3	2,17593377	2,220	-2,00	-0,04
800	80	10	280	3	6,34182186	7,505	-18,35	-1,16
800	80	15	280	3	12,8044175	15,451	-20,67	-2,65
800	80	20	280	3	21,5637208	25,934	-20,27	-4,37
800	80	25	280	3	32,6197317	38,884	-19,20	-6,26
E.10.1763.01							16,10	2,90
Greco 10+10 Tubos 150 mm								
REFR. (GLYCOL 35%)		GAS						
Caudal (l/h)	Tin (°C)	Caudal (g/s)	Tin (°C)	Pin (bar _{abs})	dP (mbar)	dP PROG (mbar)	Error dP (%)	Error dP (mbar)
800	80	5	280	3	2,46884346	2,220	10,10	0,25
800	80	10	280	3	7,74742092	7,505	3,12	0,24
800	80	15	280	3	15,8815264	15,451	2,71	0,43
800	80	20	280	3	26,8711599	25,934	3,49	0,94
800	80	25	280	3	40,7163213	38,884	4,50	1,83
							4,78	0,74
Greco 10+10 Tubos 150 mm								
REFR. (GLYCOL 35%)		GAS						
Caudal (l/h)	Tin (°C)	Caudal (g/s)	Tin (°C)	Pin (bar _{abs})	dP (mbar)	dP PROG (mbar)	Error dP (%)	Error dP (mbar)
600	80	5	280	3	2,48525656	2,220	10,66	0,26
600	80	10	280	3	7,79576254	7,515	3,60	0,28
600	80	15	280	3	15,9858049	15,485	3,13	0,50
600	80	20	280	3	27,0553837	26,012	3,86	1,04
600	80	25	280	3	41,004499	39,031	4,81	1,97
							5,21	0,81
Greco 10+10 Tubos 150 mm								
REFR. (GLYCOL 35%)		GAS						
Caudal (l/h)	Tin (°C)	Caudal (g/s)	Tin (°C)	Pin (bar _{abs})	dP (mbar)	dP PROG (mbar)	Error dP (%)	Error dP (mbar)
1200	80	5	280	3	2,55589262	2,219	13,18	0,34
1200	80	10	280	3	7,81885919	7,499	4,10	0,32
1200	80	15	280	3	15,8973252	15,426	2,96	0,47
1200	80	20	280	3	26,7912907	25,876	3,42	0,92
1200	80	25	280	3	40,5007557	38,772	4,27	1,73
E.10.1586.01							5,58	0,75
Greco 10+10 Tubos 180 mm								
REFR. (GLYCOL 35%)		GAS						
Caudal (l/h)	Tin (°C)	Caudal (g/s)	Tin (°C)	Pin (bar _{abs})	dP (mbar)	dP PROG (mbar)	Error dP (%)	Error dP (mbar)
800	80	5	280	3	2,93492315	2,603	11,32	0,33
800	80	10	280	3	8,82708073	8,728	1,13	0,10
800	80	15	280	3	17,8101646	17,855	-0,25	-0,04
800	80	20	280	3	29,8841747	29,801	0,28	0,08
800	80	25	280	3	45,049111	44,485	1,25	0,56
							2,84	0,22

							2,84	0,22
Greco 10+10 Tubos 180 mm								
REFR. (GLYCOL 35%)		GAS						
Caudal (l/h)	Tin (°C)	Caudal (g/s)	Tin (°C)	Pin (bar _{abs})	dP (mbar)	dP PROG (mbar)	Error dP (%)	Error dP (mbar)
400	80	5	280	3	2,82861482	2,607	7,83	0,22
400	80	10	280	3	8,83083672	8,779	0,58	0,05
400	80	15	280	3	17,9512798	18,031	-0,44	-0,08
400	80	20	280	3	30,1899441	30,220	-0,10	-0,03
400	80	25	280	3	45,5468296	45,267	0,61	0,28
							1,91	0,13
Greco 10+10 Tubos 180 mm								
REFR. (GLYCOL 35%)		GAS						
Caudal (l/h)	Tin (°C)	Caudal (g/s)	Tin (°C)	Pin (bar _{abs})	dP (mbar)	dP PROG (mbar)	Error dP (%)	Error dP (mbar)
1200	80	5	280	3	2,88801674	2,602	9,89	0,29
1200	80	10	280	3	8,82560137	8,721	1,19	0,10
1200	80	15	280	3	17,84803	17,829	0,11	0,02
1200	80	20	280	3	29,9553026	29,738	0,73	0,22
1200	80	25	280	3	45,1474192	44,363	1,74	0,78
E.10.0747.01							2,73	0,28
Greco 12+10 Tubos 140 mm								
REFR. (GLYCOL 35%)		GAS						
Caudal (l/h)	Tin (°C)	Caudal (g/s)	Tin (°C)	Pin (bar _{abs})	dP (mbar)	dP PROG (mbar)	Error dP (%)	Error dP (mbar)
800	80	5	280	3	2,04869803	1,724	15,85	0,32
800	80	10	280	3	6,10740584	5,936	2,80	0,17
800	80	15	280	3	12,338338	12,381	-0,35	-0,04
800	80	20	280	3	20,7414946	21,008	-1,28	-0,27
800	80	25	280	3	31,3168755	31,798	-1,54	-0,48
E.10.0747.02							4,36	0,26
Greco 12+10 Tubos 140 mm								
REFR. (GLYCOL 35%)		GAS						
Caudal (l/h)	Tin (°C)	Caudal (g/s)	Tin (°C)	Pin (bar _{abs})	dP (mbar)	dP PROG (mbar)	Error dP (%)	Error dP (mbar)
600	80	5	280	3	2,09400578	1,725	17,64	0,37
600	80	10	280	3	6,13122686	5,946	3,02	0,19
600	80	15	280	3	12,5030651	12,419	0,67	0,08
600	80	20	280	3	21,2095205	21,101	0,51	0,11
600	80	25	280	3	32,2505932	31,981	0,84	0,27
E.10.0776.01							4,54	0,20
Greco 18+15 Tubos 140 mm								
REFR. (GLYCOL 35%)		GAS						
Caudal (l/h)	Tin (°C)	Caudal (g/s)	Tin (°C)	Pin (bar _{abs})	dP (mbar)	dP PROG (mbar)	Error dP (%)	Error dP (mbar)
800	80	5	280	3	1,44312202	1,561	-8,18	-0,12
800	80	10	280	3	4,28595548	5,629	-31,34	-1,34
800	80	15	280	3	8,60512209	12,074	-40,31	-3,47
800	80	20	280	3	14,4006218	20,901	-45,14	-6,50
800	80	25	280	3	21,6724547	32,154	-48,36	-10,48
E.10.0776.02							34,67	4,38
Greco 18+15 Tubos 140 mm								
REFR. (GLYCOL 35%)		GAS						
Caudal (l/h)	Tin (°C)	Caudal (g/s)	Tin (°C)	Pin (bar _{abs})	dP (mbar)	dP PROG (mbar)	Error dP (%)	Error dP (mbar)
600	80	5	280	3	1,55356599	1,562	-0,56	-0,01
600	80	10	280	3	4,49961745	5,655	-25,68	-1,16
600	80	15	280	3	8,98124946	12,186	-35,69	-3,21
600	80	20	280	3	14,998462	21,207	-41,40	-6,21
600	80	25	280	3	22,5512551	32,785	-45,38	-10,23
							29,74	4,16
							%	mbar
					error med	9,07083036	0,6780008	

Determinación de las ecuaciones y desarrollo del programa de cálculo de transferencia de calor y pérdida de carga en intercambiadores para MACI

11.3.3 Eficiencia perturbador Herringbone

Algunos ejemplos de errores con perturbador Herringbone:

E.10.0988.01				herringbone esp0,1 Ni50			
20t 150mm							
REFR. (GLYCOL 35%)		GAS					
Caudal (l/h)	Tin (°C)	Caudal (g/s)	Tin (°C)	Pin (bar _{abs})	Eficien (%)	Eficien PROG (%)	Error Efic (%)
800	80	5	280	3	98,2149055	97,286	0,95
800	80	10	280	3	92,0911862	94,568	-2,69
800	80	15	280	3	86,9714941	92,001	-5,78
800	80	20	280	3	82,1072025	89,726	-9,28
800	80	25	280	3	77,3487689	87,682	-13,36
E.10.1240.01		herringbone e0.2, h5, p4.1, LL9.5					6,41
20t 180mm Ni35							
REFR. (GLYCOL 35%)		GAS					
Caudal (l/h)	Tin (°C)	Caudal (g/s)	Tin (°C)	Pin (bar _{abs})	Eficien (%)	Eficien PROG (%)	Error Efic (%)
800	80	5	280	3	99,4154214	98,823	0,60
800	80	10	280	3	98,3040198	96,974	1,35
800	80	15	280	3	95,3646653	94,994	0,39
800	80	20	280	3	92,3764324	93,102	-0,79
800	80	25	280	3	89,3701266	91,318	-2,18
E.10.1110.01		herringbone e0.2, h5, p4.1, LL9.5					1,06
20t 180 Ni50							
REFR. (GLYCOL 35%)		GAS					
Caudal (l/h)	Tin (°C)	Caudal (g/s)	Tin (°C)	Pin (bar _{abs})	Eficien (%)	Eficien PROG (%)	Error Efic (%)
800	80	5	280	3	99,8970431	99,082	0,82
800	80	10	280	3	99,5674926	97,028	2,55
800	80	15	280	3	97,1819339	95,068	2,18
800	80	20	280	3	94,7432754	93,191	1,64
800	80	25	280	3	92,2843526	91,418	0,94
							1,62

11.3.4 PÉRDIDAS DE CARGA CON PERTURBADOR HERRINGBONE

E.10.0988.01		herringbone esp0,1 Ni50						
20t 150mm								
REFR. (GLYCOL 35%)		GAS					Ni25	
Caudal (l/h)	Tin (°C)	Caudal (g/s)	Tin (°C)	Pin (bar _{abs})	dP (mbar)	dP PROG (mbar)	Error dP (%)	Error dP (mbar)
800	80	5	280	3	1,05243449	0,937	10,99	0,12
800	80	10	280	3	2,90660214	2,902	0,15	0,00
800	80	15	280	3	5,60804979	5,671	-1,11	-0,06
800	80	20	280	3	9,15677744	9,157	-0,01	0,00
800	80	25	280	3	13,5527851	13,313	1,77	0,24
E.10.1240.01		herringbone e0.2, h5, p4.1, LL9.5					2,81	0,08
20t 180mm Ni35								
REFR. (GLYCOL 35%)		GAS					Ni25	
Caudal (l/h)	Tin (°C)	Caudal (g/s)	Tin (°C)	Pin (bar _{abs})	dP (mbar)	dP PROG (mbar)	Error dP (%)	Error dP (mbar)
800	80	5	280	3	0,92285253	0,874	5,24	0,05
800	80	10	280	3	2,54496364	2,713	-6,59	-0,17
800	80	15	280	3	5,03846107	5,306	-5,31	-0,27
800	80	20	280	3	8,4033448	8,577	-2,07	-0,17
800	80	25	280	3	12,6396149	12,482	1,25	0,16
E.10.1110.01		herringbone e0.2, h5, p4.1, LL9.5					4,09	0,16
20t 180 Ni50								
REFR. (GLYCOL 35%)		GAS					Ni25	
Caudal (l/h)	Tin (°C)	Caudal (g/s)	Tin (°C)	Pin (bar _{abs})	dP (mbar)	dP PROG (mbar)	Error dP (%)	Error dP (mbar)
800	80	5	280	3	0,83064643	0,867	-4,41	-0,04
800	80	10	280	3	2,48731748	2,693	-8,27	-0,21
800	80	15	280	3	4,96674378	5,268	-6,07	-0,30
800	80	20	280	3	8,26892532	8,518	-3,01	-0,25
800	80	25	280	3	12,3938621	12,397	-0,03	0,00
							4,36	0,16
							%	mbar
						error med	3.75255067	0.13565591

11.4 MANUAL DE USUARIO PROGRAMA

GRECO

11.4.1 Castellano

MANUAL DE USUARIO: PROGRAMA DE CÁLCULO DE ENSAYOS GRECO, AJUSTE DE CORRELACIONES y PROGRAMA DE CÁLCULO DE PRESTACIONES GRECO

Julio González Buesa

ÍNDICE

	página
- 1. Introducción.	3
- 2. Programa de cálculo de ensayos Greco	4
2.1 Pestaña “Datos”	4
2.2 Pestaña “Cálculos”	10
2.3 Definición de geometría perturbador OSF	12
2.4 Definición de geometría perturbador Herringbone	14
- 3. Algoritmos de ajuste de correlaciones Greco para Mathcad	16
- 4. Programa de cálculo de prestaciones Greco	17
4.1 Pestaña de datos geométricos	18
4.2 Pestaña de dimensionamiento	19
4.3 Pestaña gráfica de prestaciones	20
4.4 Estructura del código Visual Basic	22
- 5. Procedimiento de actualización de correlaciones o inclusión de nuevas tecnologías	23
- 6. Bibliografía	24

1.Introducción.

En este manual se pretende mostrar la utilización de los distintos programas disponibles en Valeo Térmico S.A. para el cálculo y dimensionamiento de intercambiadores de calor, así como presentar la metodología a seguir en un futuro para actualizar las correlaciones a partir de nuevos ensayos o ante la aparición de nuevas tecnologías.

Los programas disponibles que se van a presentar son:

- Cálculo de ensayos: a partir de datos extraídos de los ensayos de laboratorio el programa calcula todos los datos necesarios para ajustar las correlaciones, que determinan prestaciones y pérdidas de carga lado gas, con el programa Mathcad.
- Mathcad: con las hojas Excel obtenidas se implementan los algoritmos y mediante iteración se obtienen los ajustes para las correlaciones.
- Cálculo de prestaciones: esas correlaciones determinan la prestaciones y pérdidas de carga lado gas de los intercambiadores.

Todos los programas se han desarrollado con Visual Basic e implantado en hojas Excel a excepción de los ajustes obtenidos con el programa Mathcad.

2. Programa de cálculo de ensayos Greco

Mediante éste programa se pueden actualizar los ensayos disponibles o insertar nuevas tecnologías. Realiza los cálculos necesarios para la posterior correlación de ecuaciones experimentales, ya que permite la extracción de hojas Excel que se pueden usar para alimentar al programa Mathcad.

Antes de comenzar hay que destacar que el programa de cálculo de ensayos ha sido modificado para adaptarlo al cálculo de ensayos greco. De ésta forma los utilizados para las tecnologías Irene y Greco realizan distintos cálculos y extraen variables diferentes para alimentar al programa Mathcad, por ello es importante asegurar que se está utilizando el programa adecuado para cada tecnología.

A continuación se exponen los pasos a seguir para la utilización del programa adaptado a la tecnología greco, independientemente de si se trata de perturbador Herringbone u Offset strip fin.

Al iniciar el programa se observa que está estructurado en varias pestañas de las cuales las útiles para el usuario son: “datos” y “Cálculos”.

2.1 pestaña “Datos”:

Al iniciar el programa aparece un primer botón que lleva a la pestaña: “Datos”. En ella se pueden elegir cuatro acciones a realizar (Figura 1).

- Actualizar datos de ensayos.
- Actualizar geometría de intercambiador.
- Calcular ensayos actuales.
- No realizar ninguna acción.

	A	B	C	D	E	F	G	H	I	J	K	L	M	N	O	P	Q
1																	
2	Date	Potencia c	Potencia c	Balance	TEMP GA	Tent 1 GA	Tent 2 GA	Tent medie	Tsal 1 GA	Tsal 2 GA	Tsal medie	Dt gas	Caudal GA	Caudal Ma	PRESION	Presion endP	GAS
3	Date	P Cal	GAS P cal	AGU Balance	TMP GAS	Tent 1 GA	Tent 2 GA	Tnt m GA	Tsal 1 GA	Tsal 2 GA	Tsal m GA	dT GAS	Cdl GAS	S Caudal	GAP GAS	SFP ent	GAS dP
4		kW	kW	%	°C	°C	°C	°C	°C	°C	°C	°C	kg/min	kg/min	kPa gage	kPa gage	kPa diff
5																	
6	40505,12237	4,10107	4,82761	-16,2742	-999	406,57	279,991	279,991	79,9695	116,265	116,265	-163,726	-999	1,49575	-999	199,908	3,57699
7	40505,12238	4,11045	4,84038	-16,3098	-999	406,57	279,991	279,991	79,9695	116,265	116,265	-163,726	-999	1,49917	-999	200,01	3,63372
8	40505,1224	4,10772	4,843	-16,4294	-999	406,57	279,991	279,991	79,9695	116,265	116,265	-163,726	-999	1,49818	-999	200,062	3,62038
9	40505,12241	4,11978	4,84085	-16,0941	-999	406,57	279,991	279,991	79,9695	116,265	116,265	-163,726	-999	1,50258	-999	200,011	3,62222
10	40505,12242	4,11839	4,82171	-15,7341	-999	406,57	280,055	280,055	79,9695	116,265	116,265	-163,79	-999	1,50148	-999	200,113	3,61342
11	40505,12243	4,11772	4,81218	-15,5536	-999	406,57	279,991	279,991	79,9695	116,265	116,265	-163,727	-999	1,50182	-999	199,96	3,62513
12	40505,15298	3,21303	3,83711	-17,7039	-999	406,57	279,878	279,878	80,2114	105,577	105,577	-174,301	-999	1,10077	-999	200,062	2,03605
13	40505,15299	3,21303	3,83711	-17,7039	-999	406,57	279,878	279,878	80,2114	105,577	105,577	-174,301	-999	1,10077	-999	200,062	2,03605
14	40505,153	3,2188	3,8359	-17,4946	-999	406,57	279,878	279,878	80,2114	105,577	105,577	-174,301	-999	1,10274	-999	200,062	2,03332
15	40505,15301	3,22373	3,83652	-17,359	-999	406,57	279,926	279,926	80,2114	105,577	105,577	-174,349	-999	1,10412	-999	200,011	2,03625
16	40505,15302	3,21968	3,83253	-17,3803	-999	406,57	279,878	279,878	80,2114	105,641	105,641	-174,237	-999	1,10345	-999	200,01	2,02841
17	40505,15303	3,21001	3,8315	-17,6523	-999	406,57	279,926	279,926	80,2114	105,641	105,641	-174,285	-999	1,09983	-999	200,01	2,04603
18	40505,15304	3,21192	3,83114	-17,5839	-999	406,57	279,926	279,926	80,2114	105,577	105,577	-174,349	-999	1,10008	-999	200,062	2,05503
19	40505,15306	3,21735	3,83394	-17,4888	-999	406,57	279,878	279,878	80,2114	105,577	105,577	-174,301	-999	1,10224	-999	200,011	2,04036
20	40505,15307	3,2174	3,84175	-17,6891	-999	406,57	279,926	279,926	80,2114	105,577	105,577	-174,349	-999	1,10195	-999	200,062	2,04528
21	40505,15308	3,21422	3,84635	-17,9061	-999	406,57	279,926	279,926	80,2114	105,577	105,577	-174,349	-999	1,10087	-999	200,062	2,05207
22	40505,17575	2,32414	2,83058	-19,6497	-999	406,57	280,055	280,055	80,034	95,0169	95,0169	-185,039	-999	0,750032	-999	200,011	1,02869
23	40505,17576	2,31921	2,82796	-19,7683	-999	406,57	280,055	280,055	80,034	95,0169	95,0169	-185,039	-999	0,74844	-999	200,01	1,02488
24	40505,17578	2,31545	2,82566	-19,848	-999	406,57	280,055	280,055	80,034	95,0169	95,0169	-185,039	-999	0,747228	-999	200,01	1,04255
25	40505,17579	2,31453	2,82995	-20,0376	-999	406,57	280,055	280,055	80,034	95,0169	95,0169	-185,039	-999	0,74693	-999	200,062	1,02107

Figura 3. Datos seleccionados

Una vez seleccionados los datos aparece otra ventana en la que se debe seleccionar el tipo de perturbador y número de tubos del ensayo cargado (Figura 4). También se debe introducir manualmente el ángulo que forma la entrada del refrigerante con la carcasa del intercambiador (normalmente 90°) y la longitud del intercambiador en mm:

Tipo de intercambiador utilizado en el ensayo

Seleccione el tipo de tecnología

Código	DH carcasa (m)	A ext tubos (m)	B ext tubos (m)	A int tubos (m)	B int tubos (m)	paso (m)
Offset 8T	0,000	2,1650E-02	5,55E-03	2,12E-02	5,05E-03	0,00E+00
Offset 10T	0,000	2,1650E-02	5,55E-03	2,12E-02	5,05E-03	0,00E+00
Offset 12T	0,000	2,1650E-02	5,55E-03	2,12E-02	5,05E-03	0,00E+00
Offset 14T	0,000	2,1650E-02	5,55E-03	2,12E-02	5,05E-03	0,00E+00
Offset 16T	0,000	2,1650E-02	5,55E-03	2,12E-02	5,05E-03	0,00E+00
Offset 18T	0,000	2,1650E-02	5,55E-03	2,12E-02	5,05E-03	0,00E+00
Offset 20T	0,000	2,1650E-02	5,55E-03	2,12E-02	5,05E-03	0,00E+00
Offset 22T	0,000	2,1650E-02	5,55E-03	2,12E-02	5,05E-03	0,00E+00

Ángulo que forman las entradas del refrigerante ° o Longitud de la Virola mm

Seguir

Figura 4. Selección de geometría

Con ésta acción el programa asigna las variables que dependen de estas variables como dimensiones de carcasa o tubo, pérdidas singulares a la entrada,... y que pueden ser modificadas posteriormente como se indicará. Los datos que aparecen igualados a cero se asignan más adelante.

Una vez introducidos estos datos ya se tiene todo lo necesario para calcular. Si la geometría del perturbador (Offset / Herringbone) o el número de tubos no aparece al seleccionar

el tipo de geometría, se debe introducir manualmente en la opción: actualizar geometría del intercambiador, como se explica a continuación.

- Actualizar geometría del intercambiador:

En Greco, el tipo de tecnología con el que se asignan las variables está definido con un código formado por el perturbador y número de tubos: Offset8T, Offset10T...Éste botón permite añadir o eliminar éstos códigos y los datos necesarios, cargando así valores diferentes.

Si el ensayo que se va a calcular utiliza un número de tubos distinto de los que aparecen como opción se puede trabajar igualmente sin más que introduciendo los datos de dimensiones de carcasa y calculo de constante k de pérdidas singulares. Para el cálculo de la constante de pérdidas singulares (Apartado 2.3) hay que tener en cuenta que se tiene el incremento de área en el colector de entrada con cambio además de ésta y el giro en la configuración en U, estando ambas ya introducidas en el programa para las disposiciones más comunes. El cálculo de alguno de estos datos se explica más adelante.

El programa también admite variaciones en distintas dimensiones: espesor de tubo, geometría de los tubos, dimensiones del perturbador, placa de Ni o carcasa.

Para eliminar las geometrías definidas inicialmente se utilizará el botón eliminar (Figura 5).

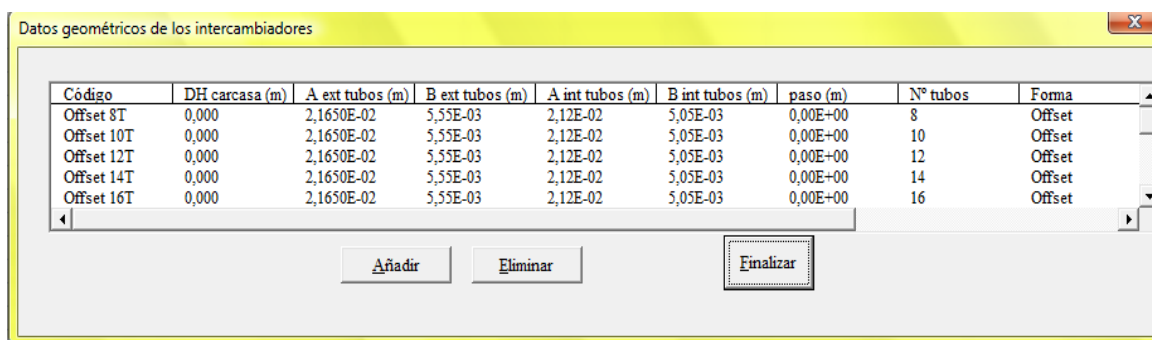


Figura 5. Añadir o eliminar geometría

- Calcular los ensayos actuales:

También es posible comenzar el cálculo en la pestaña “cálculos” como se explica más adelante, con el botón calcular datos principales. Si lo que se quiere es calcular las pérdidas de carga entonces sólo es posible realizarlo desde la pestaña cálculos.

Al presionar el botón aparece primeramente una ventana para elegir el refrigerante que automáticamente asigna los datos para calcular densidad, viscosidad dinámica, conductividad y demás propiedades básicas. Después aparece la ventana (figura 6) con los datos cargados al haber seleccionado la geometría correspondiente.

En ésta pestaña todavía se pueden introducir variaciones de geometría en carcasa, tubos y perturbador si algún dato ha variado respecto a los datos predeterminados.

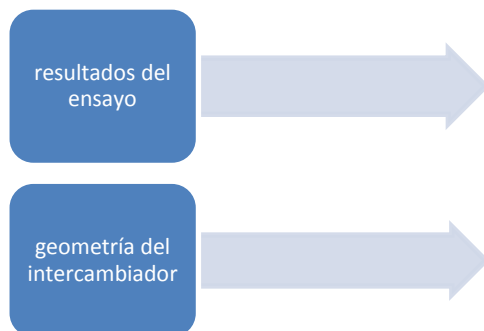
En el caso del perturbador herringbone hay que introducir también el valor de la amplitud de la senoide.

Datos geométricos de los intercambiadores	
Código	Offset 8T
Geometría carcasa	Geometría de la carcasa (mm)
☒ Carcasa rectangular	Longitud: 200 Altura: 34,2 Anchura: 50.8
Geometría Tubos	Número de tubos: 8
A exterior (mm): 21,65	Espesor (mm): 0,25
B exterior (mm): 5,55	Esplaca Ni (mm): 0,05
Perturbador	Espesor (mm): 0.2 LL (mm): 6.35 Paso (mm): 4.2
☒ Offset strip fin ☐ Herringbone	
Finalizar Borrar	

Figura 6. Selección perturbador

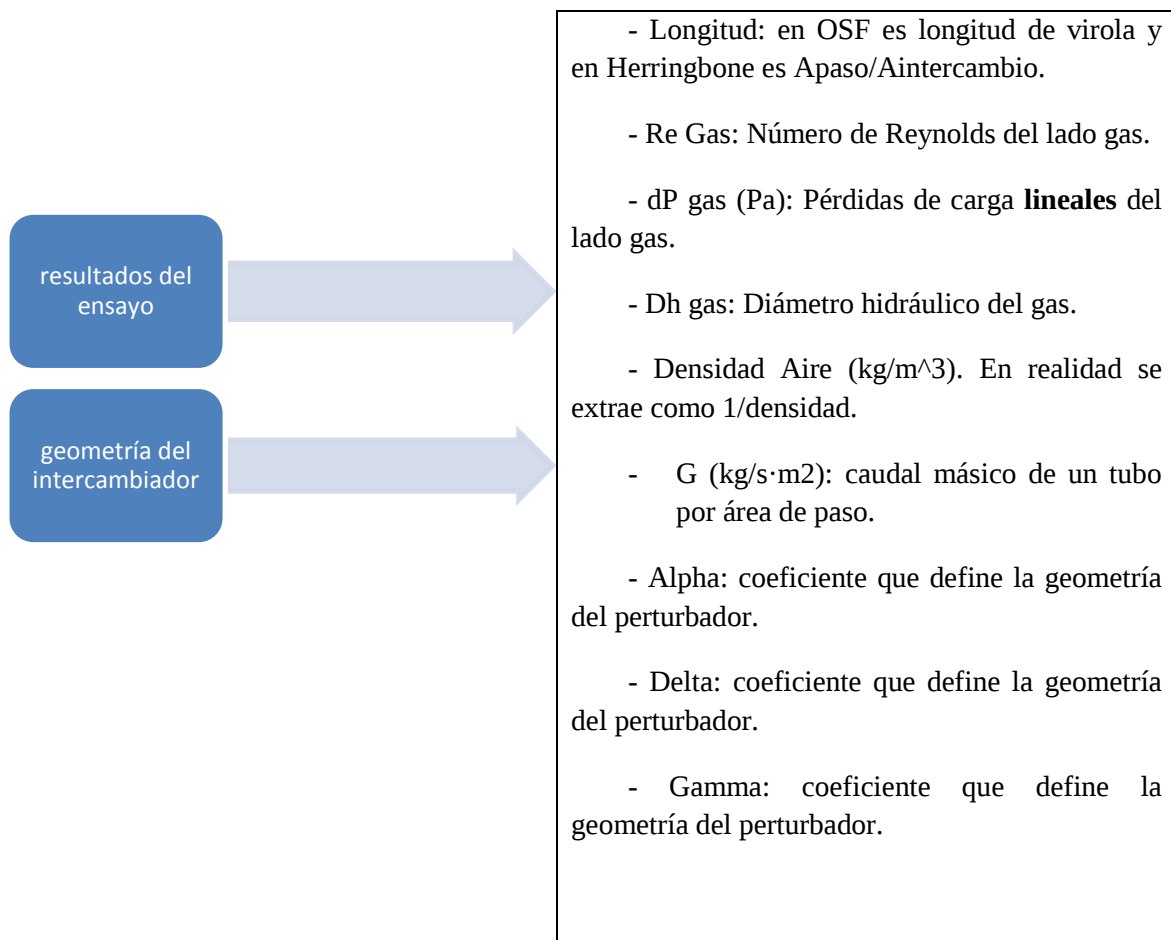
Al finalizar se calculan todos los parámetros necesarios que tras extraer a una hoja Excel alimentan al programa Mathcad para la iteración de las ecuaciones que rigen el intercambio de calor y la pérdida de carga:

Los datos extraídos para el ajuste de Nu:



- K1: conductividad del gas
- K2 (Herringbone): $2/t \cdot Dh$
- K2 (OSF): $2 \cdot (1+t)/t \cdot l \cdot Dh$.
- K3: es el valor de l utilizado para calcular el rendimiento de la aleta.
- k4: área aleta/ área total intercambio
- K5: conductividad del refrigerante.
- Re_gas: número de Reynolds del gas.
- Pr_gas: número de Prandtl del gas.
- Área intercambio en lado gas.
- Rcond: resistencia de conducción tubo.
- Re_agua: número de Reynolds refriger.
- Pr_agua: número de Prandtl refrig.
- upUA: inverso del coeficiente de transmisión de calor.
- L: longitud de virola.
- Dh_gas: diámetro hidráulico del gas.
- Dh_agua: diámetro hidráulico refriger.
- Área de intercambio en lado refrigerante.
- Alpha: coeficiente que define la geometría del perturbador.
- Delta: coeficiente geometría perturbador.
- Gamma: coeficiente geometría perturb.
- espNi: espesor de la placa de Ni.
- medplaca: área de la placa de Ni.
- conductNi: conductividad del Ni.
- Tubos: número de tubos

Para el ajuste del factor de fricción:



Para simplificar, los cálculos las variables que son iguales para ambos perturbadores se sacan directamente, mientras que las que son diferentes se han agrupado en forma de constantes (k_1 , k_2 , etc). Con esto se consigue que al seleccionar el perturbador el programa directamente calcule las constantes adecuadas y se puede utilizar las mismas ecuaciones de intercambio de calor y pérdida de carga para ambos perturbadores, así como el mismo algoritmo de Mathcad.

- **No realizar ninguna acción:**

Sale de nuevo a la pestaña “datos”.

2.2 Pestaña “Cálculos”:

Como se puede observar en la figura 7 los botones se encuentran en la parte superior. El primer botón (“Calcular datos principales”) realiza las mismas acciones que la opción anterior: “Calcular ensayos actuales”. Los siguientes son para la exportación de datos: crean una hoja Excel que alimentará al programa Mathcad para el ajuste de correlaciones.

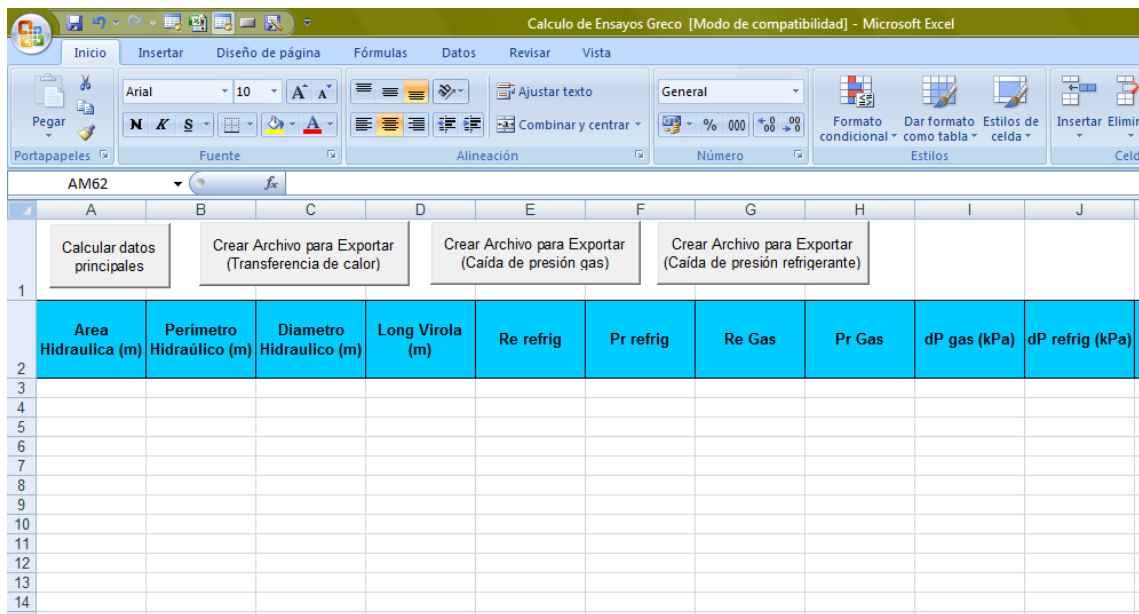


Figura 7. Cálculo de ensayos

Los botones están realizados de forma que extraen directamente los datos necesarios para ajustar eficiencia, pérdidas de carga lado gas y pérdidas de carga lado refrigerante, indistintamente de si se trata de perturbadores offset o herringbone cómo se ha expuesto.

De ésta forma lo único que hay que tener en cuenta es que los archivos extraídos tienen una primera línea de cabecera con la variable que se encuentra en cada columna (Figuras 8 y 9). A la hora de cargar esta hoja en Mathcad es necesario eliminar ésta primera fila o producirá un error al comenzar a iterar. Se muestran ejemplos de hojas extraídas para eficiencia y pérdidas lado gas con la primera fila a eliminar seleccionada:

	A	B	C	D	E	F	G	H	I	J	K	L	M	N
1	k1	k2	k3	k4	area	Re_gas	Rcond	K5	Re_agua	Pr_agua	1/UA	L1	Dh_agua	Dh_gas
2	0,03729622	3891354,25	0,0023	0,86194072	0,02752441	35460,6201	0,00158564	0,48532027	1797,30015	34,4816791	0,02203682		0,2	0,00506574
3	0,03729622	3891354,25	0,0023	0,86194072	0,02752441	35541,6999	0,00158564	0,48532027	1802,04422	34,4816791	0,02198655		0,2	0,00506574
4	0,03729622	3891354,25	0,0023	0,86194072	0,02752441	35518,2315	0,00158564	0,48532027	1803,01453	34,4816791	0,02200108		0,2	0,00506574
5	0,03729622	3891354,25	0,0023	0,86194072	0,02752441	35622,5452	0,00158564	0,48532027	1802,22391	34,4816791	0,02193665		0,2	0,00506574
6	0,03729786	3891354,25	0,0023	0,86194072	0,02752441	35594,6858	0,00158564	0,48532027	1795,0952	34,4816791	0,02194863		0,2	0,00506574
7	0,03729622	3891354,25	0,0023	0,86194072	0,02752441	35604,5256	0,00158564	0,48532027	1791,54958	34,4816791	0,02194775		0,2	0,00506574
8	0,03701687	3891354,25	0,0023	0,86194072	0,02752441	26319,2399	0,00158564	0,48513037	1784,8293	34,5848619	0,02490269		0,2	0,00506574
9	0,03701687	3891354,25	0,0023	0,86194072	0,02752441	26319,2399	0,00158564	0,48513037	1784,8293	34,5848619	0,02490269		0,2	0,00506574
10	0,03701687	3891354,25	0,0023	0,86194072	0,02752441	26366,3436	0,00158564	0,48513037	1784,27668	34,5848619	0,0248582		0,2	0,00506574
11	0,03701813	3891354,25	0,0023	0,86194072	0,02752441	26398,3349	0,00158564	0,48513037	1784,56187	34,5848619	0,02482424		0,2	0,00506574
12	0,03701854	3891354,25	0,0023	0,86194072	0,02752441	26381,9778	0,00158564	0,48513037	1782,70838	34,5848619	0,02487257		0,2	0,00506574

Figura 8 Extracción de datos para ajuste Nu

fg - Microsoft Excel

	A	B	C	D	E	F	G	H	I	J	K	L
1	Longitud	G (kg/seg*m Dh gas	inv densidad Re_gas	dP lineal (Pa alpha	delta	gamma						
2	0,2	33,484901	0,00265074	0,43739102	35460,6201	3351,54998	0,39583334	0,03149606	0,10526316			
3	0,2	33,5614672	0,00265074	0,43739102	35541,6999	3407,24813	0,39583334	0,03149606	0,10526316			
4	0,2	33,539306	0,00265074	0,43739102	35518,2315	3394,20712	0,39583334	0,03149606	0,10526316			
5	0,2	33,6378091	0,00265074	0,43739102	35622,5452	3394,71649	0,39583334	0,03149606	0,10526316			
6	0,2	33,6131805	0,00265074	0,43741195	35594,6858	3386,22345	0,39583334	0,03149606	0,10526316			
7	0,2	33,6207882	0,00265074	0,43739102	35604,5256	3397,85684	0,39583334	0,03149606	0,10526316			
8	0,2	24,6426051	0,00265074	0,43022634	26319,2399	1913,97777	0,39583334	0,03149606	0,10526316			
9	0,2	24,6426051	0,00265074	0,43022634	26319,2399	1913,97777	0,39583334	0,03149606	0,10526316			
10	0,2	24,6867089	0,00265074	0,43022634	26366,3436	1910,81024	0,39583334	0,03149606	0,10526316			

Figura 9. Extracción de datos para ajuste pérdida de carga

Aunque más adelante no se incluyen los cálculos de pérdida de carga en el lado refrigerante, el programa de cálculo de experimentos si está preparado para calcular y extraer los datos si se considera oportuno.

2.3 Definición geometría perturbador OSF.

El perturbador que se encuentra dentro del tubo es considerado como una aleta a efectos del intercambio de calor. Las ecuaciones han sido extraídas de las referencias [7] y [13] de la bibliografía.

Para definir geométricamente este perturbador se utilizan las variables que se ven en la figura 10. Con la salvedad de que en el programa se introduce el $\text{paso} = 2 * s + 2 * t$ y el programa calcula el valor de s para realizar los cálculos.

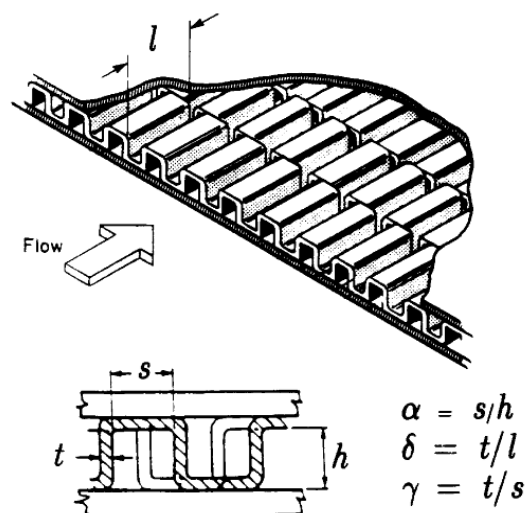


Figura 10. Geometría perturbador OSF

A partir de éstas variables se puede proceder al cálculo del resto de variables necesarias. Para un “offset” aislado:

$$A_{aleta} = [(s * t) + (2 * h * t) + (2 * h * l) + (s * l)]$$

$$A_{total} = A_{aleta} + A_{pared} = A_{aleta} + s * l$$

A partir de aquí con las dimensiones del tubo se pueden conocer el número de celdas por tubo y calcular las áreas totales de un tubo.

De igual forma con este perturbador el diámetro hidráulico:

$$Dh = \frac{4 * A_{paso}}{Ph} = \frac{4 * A_{paso}}{A_{total}/l} = \frac{4 * s * h * l}{[(s * t) + (2 * h * t) + (2 * h * l) + (2 * s * l)]}$$

Para la ecuación del rendimiento de la aleta necesaria para el cálculo del rendimiento total cómo se ha explicado:

$$l = \frac{h - t}{2}$$

$$m = \left(\frac{2 * h}{\lambda * t} * \left(1 + \frac{t}{l} \right) \right)^{\frac{1}{2}}$$

Falta definir la ecuación más importante ya que se dejan los coeficientes libres y posteriormente se ajustará para que represente con el menor error posible el intercambio de calor y la pérdida de carga (α, δ y γ definidas en figura 10). Para el ajuste del intercambio de calor:

$$Nu_{gas} = j * Re * Pr^{1/3}$$

$$j = A * Re^a * \alpha^b * \delta^c * \gamma^d$$

Y para la pérdida de carga, debido a que no se tiene el utillaje necesario para realizar ensayos a un tubo aislado y separar así las pérdidas lineales y singulares, la metodología seguida es calcular teóricamente las pérdidas singulares y después a partir de los ensayos en los que se miden las pérdidas de carga totales, se obtienen las pérdidas de carga lineales y se pueden ajustar los coeficientes como se indicará más adelante. Todas las unidades en Pascales.

$$\Delta P_{lineal} = \Delta P_{totales} - \Delta P_{singulares}$$

$$\Delta P_{lineal} = 4 * f * (10/9.8) * \left(\frac{L}{Dh} \right) * \left(\frac{G^2}{2 * \rho} \right)$$

$$f = A * Re^a * \alpha^b * \delta^c * \gamma^d$$

$$\Delta P_{singulares} = k * \left(\frac{8 * \dot{m}^2 * 10}{9.8 * \pi^2 * Dh^4 * \rho} \right)$$

Tolva de entrada con cambio de sección, de tubo circular a virola rectangular:

$$tg(\alpha/2) = \left(\frac{2 * (a * b/\pi)^{1/2} - D}{2 * l} \right)$$

Con ese ángulo a partir de la tabla (anexo []) se obtiene el valor de ϕ , después se puede calcular el coeficiente para el colector de entrada:

$$k = \phi * \left(1 - \frac{A_1}{A_2} \right)^2$$

En los giros de la configuración en U para producir las mínimas pérdidas de carga se necesita: distancias de paso $L = L'$ y sin aristas vivas ya que la mayor parte de las turbulencias se producen ahí, sobre todo en la cara interior. Sin aristas el criterio de mínima pérdida de carga es que $R_{ext} = R_{int} + D$. se tiene un determinado valor de k en función de la relación L'/L .

2.4 Definición geometría perturbador Herringbone

Para el estudio de este perturbador se ha recurrido a las ecuaciones de los artículos [9], [10] y [12] de la bibliografía.

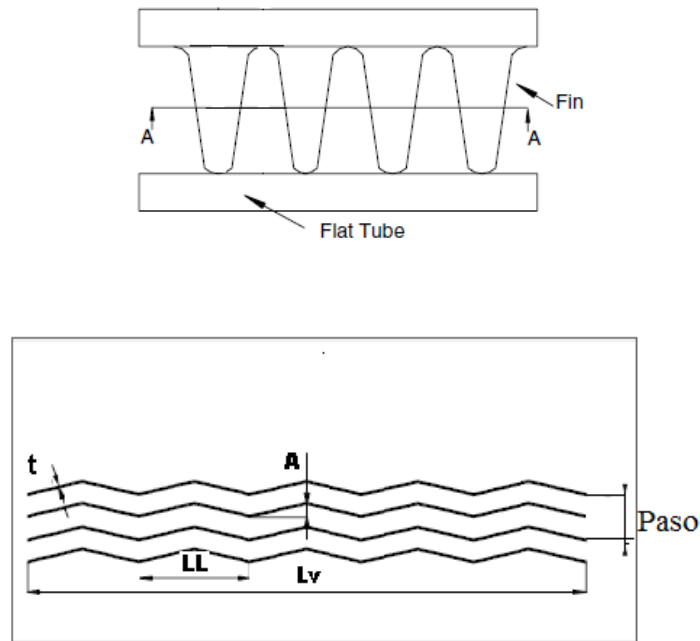


Figura 11. Geometría perturbador Herringbone

Para simplificar los cálculos las variables geométricas se han llamado igual para este perturbador. Para cada paso:

$$A_{aleta} = [(2 * h * long) + (s * long)]$$

$$A_{total} = A_{aleta} + A_{pared} = A_{aleta} + s * long$$

Como se menciona anteriormente con las dimensiones del tubo se pueden conocer el número de celdas por tubo y calcular las áreas totales de un tubo.

De igual forma con este perturbador el diámetro hidráulico:

$$Dh = \frac{4 * A_{\text{paso}}}{Ph} = \frac{4 * A_{\text{paso}}}{A_{\text{total}}/l} = \frac{4 * s * h}{[(2 * h) + (2 * s)]}$$

Para la ecuación del rendimiento de la aleta necesaria para el cálculo del rendimiento total cómo se ha explicado:

$$l = \frac{h}{2}$$

$$m = \left(\frac{2 * h}{\lambda * t} \right)^{\frac{1}{2}}$$

Falta definir la ecuación más importante ya que se dejan los coeficientes libres y posteriormente se ajustará para que represente con el menor error posible el intercambio de calor y la pérdida de carga. Para el ajuste del intercambio de calor:

$$Nu = j * Re * Pr^{1/3}$$

$$j = A * Re^a * \alpha^b * \delta^c * \gamma^d$$

$$\text{Con la salvedad de que ahora:} \quad \alpha = \frac{s}{h} \quad \delta = \frac{s}{A} \quad \gamma = \frac{Lv}{LL}$$

Y para la pérdida de carga tanto las ecuaciones como la metodología de cálculo son las mismas que con el perturbador OSF.

3. Algoritmo de ajuste de correlaciones Greco

Como ya se ha indicado el programa utilizado para el ajuste de las correlaciones ha sido Mathcad.

Tras consultar la bibliografía y tener claras las ecuaciones que determinan el comportamiento de cada tecnología y utilizando los datos extraídos de los ensayos como se ha mencionado, podemos proceder ya al ajuste de las correlaciones por iteración que nos darán las ecuaciones finales que se usarán en el programa de cálculo de propiedades. Existen dos programas diferentes, para cálculo de transferencia de calor y pérdidas de carga de lado gas, en los que se calculan los coeficientes por iteración hasta minimizar las desviaciones entre los cálculos y los resultados reales de ensayo.

En el caso de los perturbadores offset y herringbone se han agrupado las variables que son distintas en una y otra tecnología en forma de constantes. Así el programa de cálculo de ensayos ya asigna a cada constante su valor en función del tipo de perturbador y las ecuaciones de Mathcad son las mismas para ambas tecnologías resultando mucho más cómodo.

Para insertar los datos de entrada se selecciona: Insertar -> Datos -> Entrada de datos. Tras esto se elige el archivo que se ha creado previamente. Es importante dar nombre al archivo con el que luego se asignan las variables.

Las ecuaciones parten de éstos datos de entrada y a partir de unos valores iniciales, calculan por iteración los coeficientes buscados. Se ha utilizado el método de los mínimos cuadrados para la reducción del error.

La metodología es la siguiente: cuando se obtiene una solución se tiene por un lado el error y por otro los valores de las variables que se han dejado libres para calcular. Se varían los valores iniciales y se observa si el error se ve reducido hasta obtener el mínimo posible.

En el anexo 7.4 se pueden consultar las ecuaciones para ajustar eficiencia y pérdida de carga lado gas

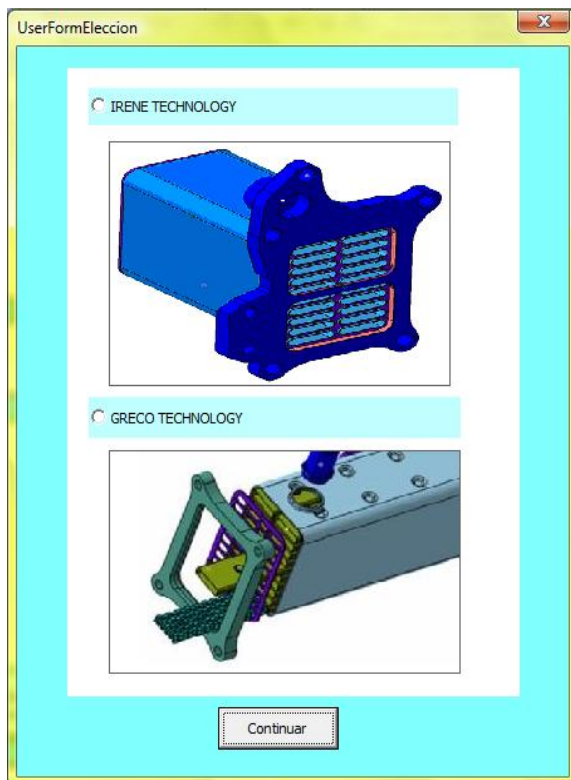
Es probable que la solución que proporcione el mínimo error no sea la óptima. Se debe tener mucho cuidado a la hora de seleccionar los valores iniciales de las variables ya que puede que dos soluciones den un error similar y sean muy diferentes entre sí a la hora de comportarse ante cambios de alguna otra variable. Para comenzar hay que observar los ensayos y la bibliografía y ver cómo varían para así saber cómo será más o menos nuestra solución. Por ejemplo, si se observa que al incrementar un espesor t otra variable se reduce, entonces se sabe que la relación debe ser: t^{-a} y se deben buscar los valores iniciales que nos den esta relación.

4. Programa de cálculo de prestaciones.

Tras la obtención de las correlaciones correspondientes a cada tecnología ya se está en disposición de detallar la utilización del programa de cálculo de prestaciones, el cual se ha desarrollado de forma que sea lo más sencillo posible introducir modificaciones o incluso nuevas tecnologías. Primero se especifica cómo utilizar el programa para después detallar los pasos a seguir en caso de futuras actualizaciones.

Tras la ejecución del programa aparecen tres pestañas: inicio (para realizar los cálculos), resultados y gráfica (éstas últimas para ver los resultados).

En la pestaña inicio y tras comenzar los cálculos lo primero que se debe hacer es seleccionar el tipo de geometría del intercambiador: Irene3 o Greco (figura 12). En ambos casos la interfaz es la misma y los pasos necesarios para realizar los cálculos también son similares por lo que se tomará como ejemplo el cálculo de un intercambiador Greco.



Durante el cálculo, se divide en tres pestañas: cálculo de gráficas, datos geométricos y dimensionamiento. La pestaña a completar primeramente es la de datos geométricos. En ella seleccionamos el número de tubos y el tipo de perturbador y automáticamente se cargan los datos que dependen de éstos parámetros. Es importante señalar que todos los campos deben ser correctamente completados para poder realizar el cálculo, de lo contrario un error nos lo advertirá.

Tras cargar los datos, las dos siguientes pestañas realizan tareas diferentes. Si lo que se busca es calcular la longitud necesaria para que el intercambiador proporcione una determinada potencia, temperatura de salida de gas, eficiencia o pérdida de carga se debe acudir a la pestaña de dimensionamiento del intercambiador (derecha). La pestaña de la

Figura 12. Pestaña de inicio de cálculo de prestaciones

izquierda permite calcular variaciones de unos parámetros en función de otros mediante la realización de gráficas.

- 4.1 PESTAÑA DATOS GEOMÉTRICOS

Como se ha comentado en una ventana aparece el código del intercambiador con el perturbador seleccionado y el número de tubos (Figura 13). Si se inserta un número de tubos para los que no hay correlaciones y datos específicos en el programa, automáticamente se cargan los valores que proporcionan la mejor aproximación (caso de número de tubos impares o asimetría del intercambiador en configuración en U).

Figura 13. Pestaña datos geométricos

También en ésta pestaña hay que seleccionar la resistencia de ensuciamiento en el caso de que la hubiera. Al presionar la opción se carga el valor por defecto que sin embargo se puede variar si un valor diferente proporciona mayor exactitud.

Cualquiera de los datos geométricos que se cargan por defecto pueden ser variados para realizar los cálculos.

Como se observa en la figura 10 los datos que caracterizan el perturbador son diferentes según la tecnología. Así en el perturbador offset los datos a completar son: paso, espesor, altura y lance length.

Mientras que en el perturbador herringbone (Figura 11) los datos son algo diferentes ya que al espesor, paso y la altura hay que añadir la amplitud de la onda y el lance length, que aquí se refiere a la longitud de una onda completa.

Todas las longitudes deben ser insertadas en milímetros o las unidades indicadas en su defecto. Los números decimales de insertarán con comas y el programa los convierte en punto para su uso en Excel.

- 4.2 PESTAÑA DIMENSIONAMIENTO DEL INTERCAMBIADOR

Como se ha mencionado anteriormente esta pestaña permite calcular dimensiones de intercambiador a partir de datos de entrada conocidos: potencia, eficiencia, temperatura de salida de gas o pérdida de carga total (Figura 14).

The screenshot shows the 'UserFormPrestacionesGreco' window with the 'Cooler dimensioning' tab active. The interface includes several input sections: 'Cooler technology' (Greco selected), 'Gas composition' (Air selected), 'Coolant composition' (Water/Ethylene-glycol 65/35 selected), 'Variables' (Pressure drop selected, 10 mbar), 'Working conditions' for GAS (280 °C, 20 g/s, 3 bar) and COOLANT (80 °C, 800 l/h), a 'Predetermined values' button, 'Dimensions' (12 tubes, With refrigeration selected), a 'Calculate' button, and 'Housing length' in mm. A 'Minimize' button is located on the right side of the window.

Figura 14. Pestaña de dimensionamiento.

Con los datos geométricos cargados primeramente hay que indicar si la configuración del intercambiador es en I (un paso) o en U (dos pasos con los flujos de agua y gas a contracorriente y paralelo respectivamente). Con cuidado porque si se trata de disposición en U hay que introducir también el número de tubos del segundo paso, aunque se puede hacer en esta pestaña ya que se modifica en la pestaña datos geométricos automáticamente.

A continuación se debe introducir el tipo de gas que circula por los tubos: aire, gases escape o en el caso de que el dato introducido sea la potencia requerida para el intercambiador el programa permite introducir un calor específico dado por el cliente y así ajustar mejor el resultado.

El siguiente paso lleva a la elección del refrigerante. El más común en los ensayos de Valeo es la mezcla 65% agua y 35% ethylene-glycol. Al seleccionar uno el programa carga valores de densidad, viscosidad dinámica, conductividad, ... necesarios en los cálculos.

Después se elige la variable de entrada (que es la que se busca que proporcione el intercambiador), con los decimales separados por punto, y sus unidades. Las unidades pueden elegirse en la tabla que aparece y el programa acepta y transforma cualquiera de ellas.

Se puede optar por introducir las variables de entrada con sus unidades una a una pero el botón “valores predeterminados” introduce por defecto los valores predeterminados de los ensayos de Valeo, que después pueden ser modificadas por el usuario. Como en todo el programa se puede trabajar con cualquiera de las unidades que aparecen en los menús desplegables.

Si la variable de entrada es la pérdida de presión total existe la posibilidad de que el programa calcule sin refrigerante mediante la selección del botón que aparece a la derecha, en el cuadro opciones de gráfica, al seleccionar esa opción.

El botón cálculos comenzará la iteración y el resultado se muestra en la ventana junto a él.

- 4.3 PESTAÑA GRÁFICA DE PRESTACIONES

Los primeros cuadros, como se aprecia en la figura 15 y al igual que en la pestaña de dimensionado, son para:

- Selección disposición del intercambiador en I o en U (dos pasos con los flujos de agua y gas a contracorriente y paralelo respectivamente). Con cuidado porque si se trata de disposición en U hay que introducir también el número de tubos del segundo paso, aunque se puede hacer en cualquiera de las pestañas y el programa lo modifica por si mismo.

- Introducción del tipo de gas que circula por los tubos: aire, gases escape o en el caso de que el dato introducido sea la potencia requerida para el intercambiador el programa permite introducir un calor específico dado por el cliente para así ajustar mejor el resultado.

- El siguiente paso lleva a la elección del refrigerante. El más común en los ensayos de Valeo es la mezcla 65% agua y 35% ethylene-glycol. Al seleccionar uno el programa carga valores de densidad, viscosidad dinámica, conductividad,... necesarios en los cálculos.

Figura 15. Gráfica de prestaciones

Al seleccionar el tipo de gráfica que se quiere representar el programa ya carga unos valores predeterminados que pueden ser modificados en cualquier momento por el usuario. Las opciones de gráfica son:

- Potencia vs flujo de gas.
- Pérdidas de presión vs flujo de gas.
- Eficiencia vs flujo de gas.
- Eficiencia vs flujo de refrigerante.
- Eficiencia vs temperatura de refrigerante.
- Eficiencia vs longitud.

La selección de la opción de cálculo de caída de presión ofrece la posibilidad de calcular sin refrigerante con el botón que aparece en el apartado: opciones de gráfica.

Tras esto se introduce el último dato necesario que es la longitud de virola o se modifican los cargados por defecto y ya se está en condiciones de calcular.

En el apartado opciones de gráfica se pueden modificar los pasos de la gráfica a dibujar. Como se cita a lo largo del documento las unidades deben ceñirse a las que el programa da como opción en los menús desplegables.

Para realizar el cálculo hay cuatro botones:

- El primero realiza la gráfica seleccionada y se debe minimizar (botón superior derecho) para su visualización en la hoja “gráfica”, también se pueden consultar los resultados en formato tabla en la hoja “resultados”.
- El segundo de los botones añade una gráfica a la calculada anteriormente y también una tabla en la hoja resultados sin borrar los cálculos anteriores.
- El tercero limpia la gráfica por completo para comenzar de nuevo.
- El último de los botones permite guardar la gráfica realizada tras darle un nombre.

- 4.4 ESTRUCTURA DEL CÓDIGO EN VISUAL BASIC

El programa se estructura en (Figura 16):

- Hojas Excel, visibles si muestran los resultados al usuario (tablas y gráficos) o invisibles si contienen datos y correlaciones que el programa carga al hacer alguna selección. Aquí se pueden modificar las correlaciones para una futura actualización o variar los datos si hay cambios geométricos o se generalizan geometrías no usadas hasta ahora.

- Userforms que contienen los cuadros que van apareciendo para interactuar con el usuario e introducir datos. Proporcionan un soporte al programa, guían al usuario pidiendo todos los datos necesarios por el programa y asignan los mismos para los cálculos.

- Módulos que contienen todas las funciones necesarias para los cálculos. Están agrupadas en las necesarias para Irene3, Greco y las comunes a ambas (como densidad, calor específico,...).

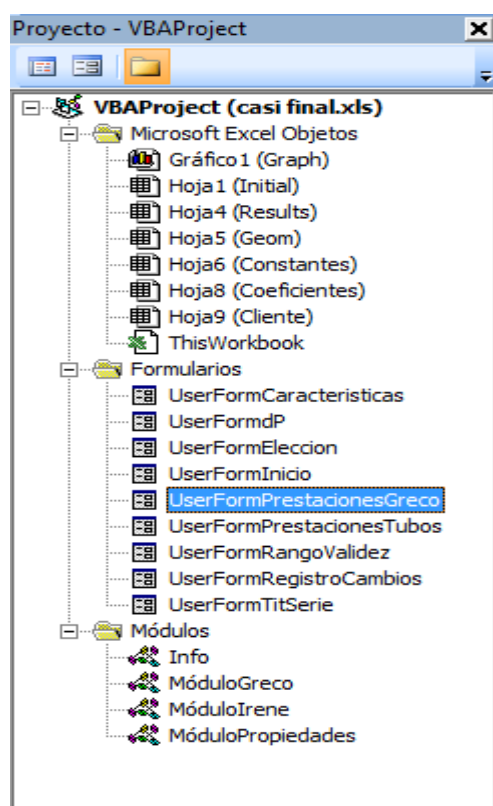


Figura 16. Estructura en visual basic para Excel

5.Procedimiento de actualización de correlaciones o inclusión de nuevas tecnologías.

Los pasos para realizar los ajustes ante la obtención de nuevos ensayos o la aparición de nuevas tecnologías se pueden resumir en un conjunto de normas comunes:

- Clasificación de ensayos y adecuación de los mismos: eliminación de filas de datos en blanco, eliminación de aproximaciones que den como resultado eficiencias mayores del 100%, etc.
- Observación y comparación de los ensayos: gráficas según tecnologías, dimensiones,... para eficiencia y pérdidas de carga de forma que se identifiquen los ensayos erróneos o aquellos que tengan algún dato “extraño” que pueda falsear posteriores cálculos.
- Realización de nuevos ensayos para los que son claramente erróneos o para aquellos intercambiadores para los que no existían ensayos previos ni otros con los que extrapolar resultados.
- Estudio de la bibliografía para obtener las ecuaciones que rigen los intercambios de calor y pérdidas de carga según la tecnología. Éstas serán utilizadas en Mathcad para obtener las correlaciones y en el programa de cálculo de prestaciones.
- Modificación del programa de cálculo de ensayos. Es necesario realizar las modificaciones que permitan extraer los datos que necesitamos para ajustar las correlaciones según la tecnología que se esté calculando. Los datos variarán según: tecnología, perturbador, geometría,...
- Creación de hojas Excel a partir de los ensayos y con el programa de cálculo de ensayos para alimentar al programa Mathcad. Extracción con el procedimiento explicado en este documento de hojas Excel. Separar cálculos de pérdida de carga e intercambio de calor.
- Obtención de las correlaciones con Mathcad que respondan correctamente a los cambios en variables de entrada minimizando el error y comparación de resultados para descartar o repetir los valores fuera de rango.
- Realización o modificación del programa de cálculo de prestaciones. Se introducen las nuevas ecuaciones según la tecnología. Hay que prestar mucha atención ya que una pequeña variación de geometría afectaría a los cálculos de áreas, número de Reynolds, etc.

Si solamente se quieren corregir los coeficientes ajustados ante la aparición de nuevos ensayos, los mismos se encuentran fácilmente accesibles en la pestaña coeficientes. Ésta debe hacerse visible previamente desde Visual Basic accediendo a propiedades. El programa carga los valores directamente desde esta hoja, por lo que si se desea añadir más coeficientes será necesario modificar la programación en el módulo Greco.

6. Bibliografía

- [1] RAMESH K.SHAH, DUSAN P.SEKULIC. Fundamentals of Heat Exchanger Design. Ed: John Wiley (2003).
- [2] MARÍN J.M, MONNÉ C. Transferencia de Calor. Universidad de Zaragoza (1998).
- [3] SADIK KALAÇ, HONGTAN LIU. Heat Exchangers: selection, rating and thermal design. Ed: CRC Press (1998).
- [4] Kays, London. Compact heat exchangers. ED: Mcgraw-Hill (1964).
- [5] RAMESH K. SHAH. Compact Heat Exchangers. Ed: ETS (2002).
- [6] E.M. Smith. Thermal design of heat exchangers. Ed: Wiley (1997).
- [7] M. MANGLIK, ARTHUR E. BERGLES. Heat Transfer and Pressure Drop Correlations for the Rectangular Offset Strip Fin. (1994).
- [8] BRAVO Y. Engine cooler Product Engineer, Specific features for EGR cooler design. Valeo Engine Cooling. (2004).
- [9] Applied thermal engineering; Heat transfer and pressure drop correlations for the wavy fin and flat tube heat exchangers. Institute of Refrigeration and Cryogenics, Shanghai (2006).
- [10] Jiehai Zhang, Jaydeep Kundu, Raj M. Manglik. Effect of fin waviness and spacing on the lateral vortex structure and laminar heat transfer in wavy-plate-fin cores. International Journal of Heat and Mass Transfer 47 (2004).
- [11] Hu and Herold. Prandtl number effect on offset fin heat exchanger performance. International journal of heat and mass transfer, vol 38 (1995).
- [12] Dong, Chen, Zhang and Hu. Experimental and numerical investigation of thermal - hydraulic performance in wavy fin heat exchangers. Applied Thermal Engineering 30 (2010).
- [13] H. Bhowmik , Kwan-Soo Lee. Analysis of heat transfer and pressure drop characteristics in an offset strip fin heat exchanger. International Communications in Heat and Mass Transfer 36 (2009).
- [14] J. M. Corberán, E. Cuadros, K. González. Pressure drop characterization of compact heat exchanger channels. 5th European thermal-sciences conference, the Netherlands (2008).
- [15] Miguel Henrique Teruel, Celso Yukio, Pedro Paglione. Rectangular offset strip-fin heat exchanger lumped parameters dynamic model. 2009 Brazilian Symposium on Aerospace Eng. & Applications.

11.4.2 INGLÉS

USER'S GUIDE:

**ESSAYS CALCULATION PROGRAM,
CORRELATIONS ADJUSTMENT AND
PERFORMANCE CALCULATION PROGRAM**

Julio González Buesa

Determinación de las ecuaciones y desarrollo del programa de cálculo de la pérdida de carga en intercambiadores para MACI

INDEX

	page
1. Introduction	3
2. Greco essay calculation program	4
2.1 “Datos”	4
2.2 “Cálculos”	10
2.3 Offset strip fin geometry	12
2.4 Herringbone geometry	14
3. Greco ´s Algorithm to fit correlations in Mathcad	16
4. Greco performance calculation program	17
4.1 Geometrical data	18
4.2 Cooler dimensioning	19
4.3 Performancy graph s	20
4.4 Visual Basic code structure	22
5. Procedure to update correlations or to include new technologies	23
6. Bibliography	24

1. Introduction

This manual tries to show the utilization of the different available programs in Valeo Térmico S.A. for intercoolers calculation, as well as to present the methodology to update the correlations taking into account new tests or the appearance of new technologies.

The available programs that are going to be presented are:

- Essays calculation program: from information extracted in laboratory tests the program calculates all the necessary information to fit the correlations, which determine performance and pressure gas drops, with Mathcad.
- Mathcad: with the data obtained, the algorithms are implemented and the program shows the correlations by iteration.
- Performance calculation: Those correlations determine the cooler performance and pressure drops.

All the programs have been developed with Visual Basic and implanted in Excel with the exception of the adjustments obtained with Mathcad.

2. Greco essay calculation program

With this program the available tests can be updated or even new technologies can be developed. It realizes the necessary calculations for the later correlation of experimental equations (by extracting the information to Excel) that can be used to feed the program Mathcad.

Before beginning, it is necessary to emphasize that this program has been modified to adapt it to the Greco technology. Irene3 and Greco programs realize different calculations and extract different variables to feed Mathcad. It is important to assure that the correct program adapted for every technology is being used.

Later, the steps to use this program adapted to Greco technology are exposed and it doesn't matter the agitator type: Herringbone or Offset strip fin.

On having initiated the program, it can be observed that it is structured in several eyelashes. In two of them the user must pay attention: "Datos" and "Cálculos".

2.1 "Datos":

After having initiated the program the first button appears and leads to the eyelash: "datos". Four actions can be chosen (Figure 1):

- Update essays information.
- Update intercooler geometry.
- Calculate current tests.
- Not to realize any action.

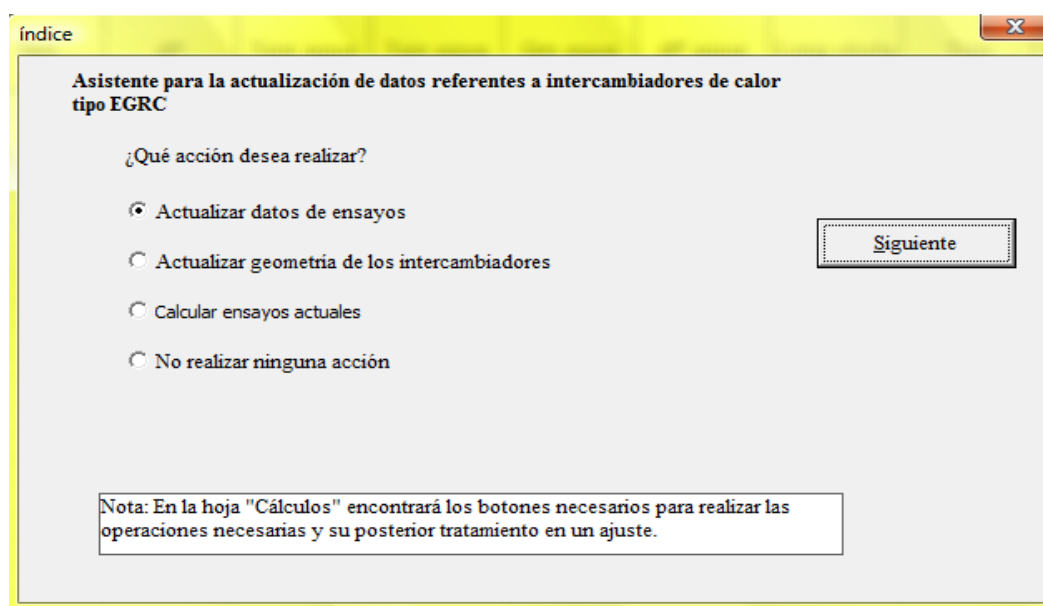


Figure 1. Data assistant

- **Update information of tests:**

This option is used to insert the information from an essay. In case of being a test that have been already loaded, the new one will be added behind the first one.

When the button is pressed, a window appears with the review: "seleccionar experimento". The experiment to insert must be looked for, after that the window: "selección de datos de entrada" appears (figures 2 and 3). To select correctly the information, it is necessary to choose all the available data including the head-boards and units like it is showed in the figure (it is also important to get sure that there are neither lines in white nor mistakes that could falsify the later calculations).

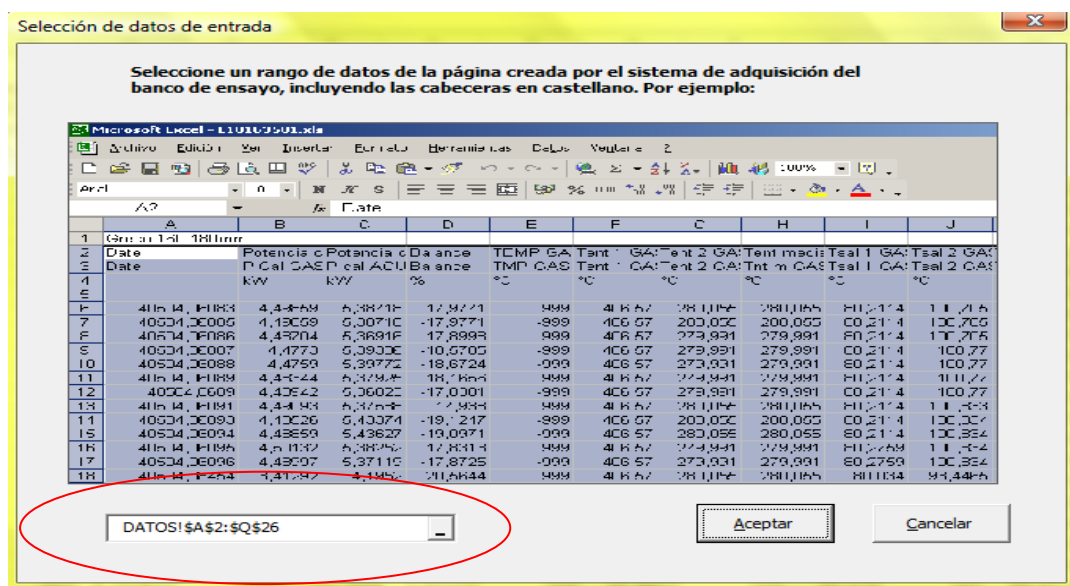


Figure 2. Inlet data

1	A	B	C	D	E	F	G	H	I	J	K	L	M	N	O	P	Q
2	Date	Potencia c	Potencia d	Balance	TEMP GA	Tent 1	GA	Tent 2	GA	Tent med	Tsal 1	GA	Tsal 2	GA	Tent med	Dt gas	Caudal GA
3	Date	P Cal GASP	cal AGU	Balance	TMP GAS	Tent 1	GA	Tent 2	GA	Tent m	Tsal 1	GA	Tsal 2	GA	Tent m	GA	dT GAS
4		KW	KW	%	°C	°C	°C	°C	°C	°C	°C	°C	°C	°C	°C	°C	kg/min
6	40505.12237	4.10107	4.82761	-16.2742	-999	406.57	279.991	279.991	79.9695	116.265	116.265	-163.726	-999	1.49575	-999	199.908	3.57699
7	40505.12238	4.11045	4.84038	-16.3098	-999	406.57	279.991	279.991	79.9695	116.265	116.265	-163.726	-999	1.49917	-999	200.01	3.63372
8	40505.1224	4.10772	4.843	-16.4294	-999	406.57	279.991	279.991	79.9695	116.265	116.265	-163.726	-999	1.49818	-999	200.062	3.62038
9	40505.12241	4.11978	4.84085	-16.0941	-999	406.57	279.991	279.991	79.9695	116.265	116.265	-163.726	-999	1.50258	-999	200.011	3.62222
10	40505.12242	4.11839	4.82171	-15.7341	-999	406.57	280.055	280.055	79.9695	116.265	116.265	-163.79	-999	1.50148	-999	200.113	3.61342
11	40505.12243	4.11772	4.82128	-15.5536	-999	406.57	279.991	279.991	79.9695	116.265	116.265	-163.727	-999	1.50182	-999	199.96	3.62513
12	40505.15298	3.21303	3.83711	-17.7039	-999	406.57	279.878	279.878	80.2114	105.577	105.577	-174.301	-999	1.10077	-999	200.062	2.03605
13	40505.15299	3.21303	3.83711	-17.7039	-999	406.57	279.878	279.878	80.2114	105.577	105.577	-174.301	-999	1.10077	-999	200.062	2.03605
14	40505.153	3.2188	3.8359	-17.4946	-999	406.57	279.878	279.878	80.2114	105.577	105.577	-174.301	-999	1.10274	-999	200.062	2.03332
15	40505.15301	3.22373	3.83652	-17.359	-999	406.57	279.926	279.926	80.2114	105.577	105.577	-174.349	-999	1.10412	-999	200.011	2.03625
16	40505.15302	3.21968	3.83253	-17.3803	-999	406.57	279.878	279.878	80.2114	105.641	105.641	-174.237	-999	1.10345	-999	200.01	2.02841
17	40505.15303	3.21001	3.8315	-17.6523	-999	406.57	279.926	279.926	80.2114	105.641	105.641	-174.285	-999	1.09983	-999	200.01	2.04603
18	40505.15304	3.21192	3.83114	-17.5839	-999	406.57	279.926	279.926	80.2114	105.577	105.577	-174.349	-999	1.10008	-999	200.062	2.05503
19	40505.15306	3.21735	3.83394	-17.4888	-999	406.57	279.878	279.878	80.2114	105.577	105.577	-174.301	-999	1.10224	-999	200.011	2.04036
20	40505.15307	3.2174	3.84175	-17.6891	-999	406.57	279.926	279.926	80.2114	105.577	105.577	-174.349	-999	1.10195	-999	200.062	2.04528
21	40505.15308	3.21422	3.84635	-17.9061	-999	406.57	279.926	279.926	80.2114	105.577	105.577	-174.349	-999	1.10087	-999	200.062	2.05207
22	40505.17575	2.32414	2.83058	-19.6497	-999	406.57	280.055	280.055	80.034	95.0169	95.0169	-185.039	-999	0.750032	-999	200.011	1.02869
23	40505.17576	2.31921	2.82796	-19.7683	-999	406.57	280.055	280.055	80.034	95.0169	95.0169	-185.039	-999	0.74844	-999	200.01	1.02488
24	40505.17578	2.31545	2.82566	-19.848	-999	406.57	280.055	280.055	80.034	95.0169	95.0169	-185.039	-999	0.747228	-999	200.01	1.04255
25	40505.17579	2.31453	2.82995	-20.0376	-999	406.57	280.055	280.055	80.034	95.0169	95.0169	-185.039	-999	0.74693	-999	200.062	1.02107

Figure 3. Inlet data selection

When the data have been loaded another window appears (Figure 4). In that window the agitator type and the number of pipes must be selected. Also it is necessary to introduce the

angle that forms the entry of the coolant with the housing of the intercooler (usually 90 °) and the length of the intercooler in mm (the program doesn't do automatically):

Tipo de intercambiador utilizado en el ensayo

Seleccione el tipo de tecnología

Código	DH carcasa (m)	A ext tubos (m)	B ext tubos (m)	A int tubos (m)	B int tubos (m)	paso (m)
Offset 8T	0,000	2,1650E-02	5,55E-03	2,12E-02	5,05E-03	0,00E+00
Offset 10T	0,000	2,1650E-02	5,55E-03	2,12E-02	5,05E-03	0,00E+00
Offset 12T	0,000	2,1650E-02	5,55E-03	2,12E-02	5,05E-03	0,00E+00
Offset 14T	0,000	2,1650E-02	5,55E-03	2,12E-02	5,05E-03	0,00E+00
Offset 16T	0,000	2,1650E-02	5,55E-03	2,12E-02	5,05E-03	0,00E+00
Offset 18T	0,000	2,1650E-02	5,55E-03	2,12E-02	5,05E-03	0,00E+00
Offset 20T	0,000	2,1650E-02	5,55E-03	2,12E-02	5,05E-03	0,00E+00
Offset 22T	0,000	2,1650E-02	5,55E-03	2,12E-02	5,05E-03	0,00E+00

Ángulo que forman las entradas del refrigerante °
 Longitud de la Virola mm

Seguir

Figure 4. Cooler code selection

At this point the program has all the information it needs to start calculating. If the agitator geometry (Offset/Herringbone) or the number of pipes does not appear in this chart, it is necessary to introduce it in the option: Update geometry of the intercooler as it is explained after.

This selection only loads information that will appear later when the calculation button is pressed. Data changes could be made in all the process.

Update cooler geometry:

In Greco, the kind of technology with which the variables are assigned is defined by a code formed by the agitator and the number of pipes: Offset8T, Offset10T ... This button allows to add or to eliminate these codes and the necessary information, loading in this way different values.

If the test that is going to be calculated uses a different number of pipes from those who appear as an option, it is possible to work equally adding the housing dimensions and the singular losses coefficient. To calculate this coefficient, it is necessary to bear in mind the increase of area that occurs in the inlet collector and the elbow in U configuration, being both already got in the program for the most common cases. Some of these calculations are explained after.

The program also admits variations into different dimensions: thickness of pipe, pipes geometry, agitator dimensions, Ni plate or housing geometry.

To eliminate the geometries defined initially the button “eliminar” will be used (Figure 5).

Datos geométricos de los intercambiadores

Código	DH carcasa (m)	A ext tubos (m)	B ext tubos (m)	A int tubos (m)	B int tubos (m)	paso (m)	Nº tubos	Forma
Offset 8T	0,000	2,1650E-02	5,55E-03	2,12E-02	5,05E-03	0,00E+00	8	Offset
Offset 10T	0,000	2,1650E-02	5,55E-03	2,12E-02	5,05E-03	0,00E+00	10	Offset
Offset 12T	0,000	2,1650E-02	5,55E-03	2,12E-02	5,05E-03	0,00E+00	12	Offset
Offset 14T	0,000	2,1650E-02	5,55E-03	2,12E-02	5,05E-03	0,00E+00	14	Offset
Offset 16T	0,000	2,1650E-02	5,55E-03	2,12E-02	5,05E-03	0,00E+00	16	Offset

Figure 5. Erase or include geometry window

Calculate current essays:

Calculation can be made here or in the eyelash "cálculos" as it is explained after. If pressure drops want to be calculated it is only possible in this eyelash.

After pressing the button, a window appears to choose the cooler and the program automatically assigns the information to calculate his properties. Later another window (see figure 6) appears with the information loaded after having selected the geometry.

In this eyelash variations in housing geometries, agitator...still can be done.

In case of herringbone agitator the amplitude must be put too (2.4).

Datos geométricos de los intercambiadores

Código Offset 8T

Geometría carcasa

Geometría de la carcasa (mm)

☒ Carcasa rectangular

Longitud 200 Altura 34,2

Anchura 50.8

Geometría Tubos

Número de tubos 8

A exterior (mm) 21,65

B exterior (mm) 5,55

Espesor (mm) 0,25

Espplaca Ni (mm) 0,05

Perturbador

☒ Offset strip fin

☐ Herringbone

Espesor (mm) 0.2

LL (mm) 6.35

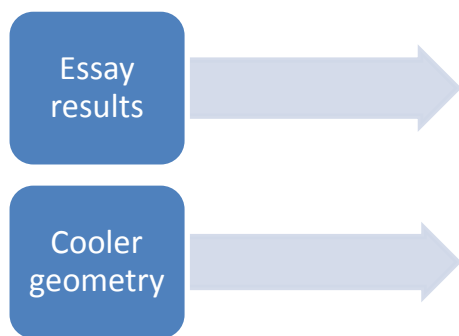
Paso (mm) 4.2

Finalizar Borrar

Figure 6. Agitator geometry selection

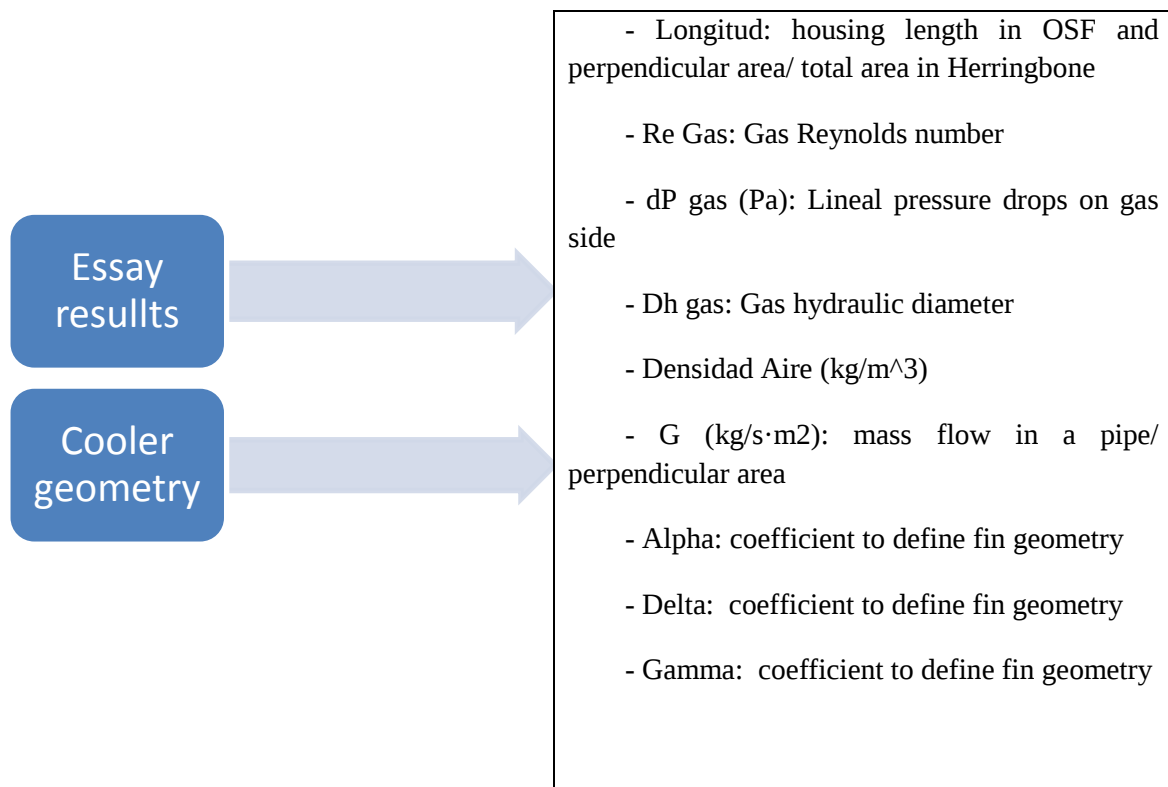
After that, all the necessary parameters have been calculated and after extracting to Excel can feed the Mathcad program. It starts the iteration of the equations that govern the heat exchange and the pressure drop.

The variables extracted to adjust Nu are:



- K1: Gas conductivity
- K2 (Herringbone): $2/t \cdot Dh$
- K2 (OSF): $2 \cdot (l+t)/t \cdot I \cdot Dh$
- K3: Value of l used to calculate the fin performance
- k4: fin area/ intercahange total area
- K5: Coolant conductivity
- Re_gas: Gas Reynolds number
- Pr_gas: Gas Prandtl number
- Interchange total area on gas side
- Rcond: Fouling resistance on gas side
- Re_agua: Coolant Reynolds number
- Pr_agua: Coolant Prandtl number
- upUA: Heat transfer coefficient
- L: Housing length
- Dh_gas: Hydraulic diameter
- Dh_agua: Coolant hydraulic diameter
- Coolant interchange area
- Alpha: coefficient to define the fin geometry
- Delta: coefficient to define the fin geometry
- Gamma: coefficient to define the fin geometry
- espNi: Ni plate width
- medplaca: Ni plate area
- conductNi: Ni conductivity
- Tubos: number of pipes

To adjust the friction factor:



To simplify the calculations the variables that are equal for both agitators are extracted directly whereas those who are different have been grouped in constants (k_1 , k_2 ...). With this, there is achieved that when the agitator is selected the program calculates the suitable constants and it is possible to use the same equations of heat exchange and pressure drop for both agitators.

Now all the necessary parameters have been loaded and to finish the calculation click the “finalizar” button. This button will extract the information to Excel with all the columns that feed the program Mathcad. This program carry out the iteration of the equations as you can see below.

- Not to realize any action:

It goes out again to the eyelash "datos".

2.2 “Cálculos”:

The button "calcular datos principales" (Figure 7) realizes the same actions that the previous option (calculate current tests). The following ones export the information to Excel: they create a new document that will feed the program Mathcad for the correlations adjustment.

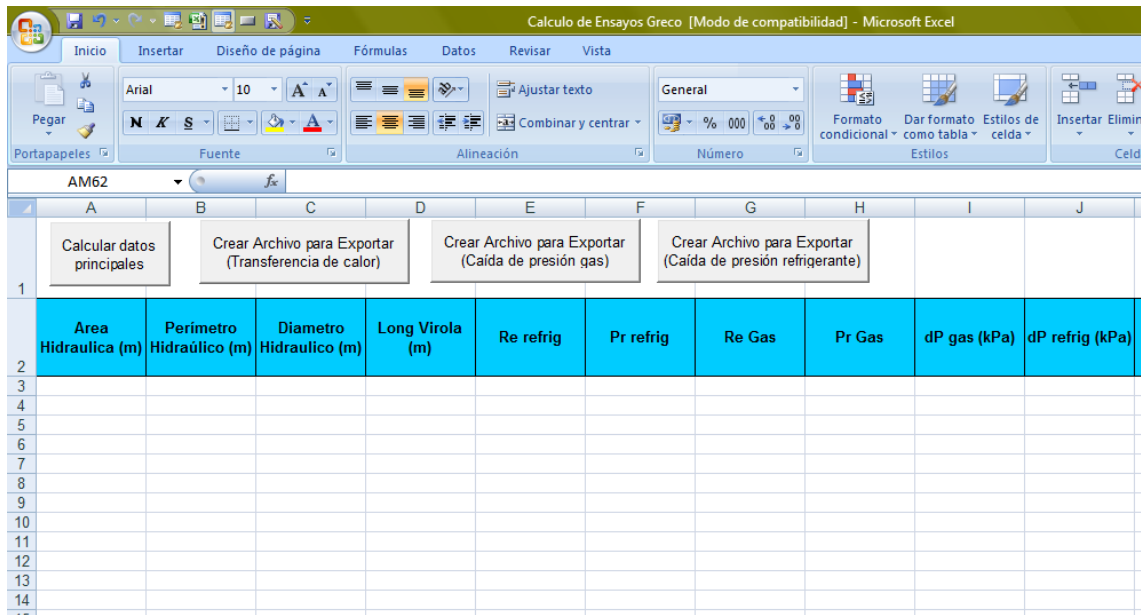


Figure 7. Eyelash “Calcular”

The buttons are made so that they extract directly the necessary information to fit efficiency, pressure drops in gas side and pressure drops in cooler side. It doesn't matter what agitator type it is, the program extract the data in columns that are used in Mathcad.

The only thing that it is necessary to bear in mind is that the extracted files have the first line of head-board with the name of the variable in every column. Loading this document in Mathcad is necessary to erase this first line or it will produce a mistake on iterating. Figures 8 and 9 show examples of files extracted (efficiency and pressure drops in gas side with the first row that must be eliminated selected).

	A	B	C	D	E	F	G	H	I	J	K	L	M	N
1	k1	k2	k3	k4	area	Re_gas	Rcond	K5	Re_agua	Pr_agua	1/UA	L1	Dh_agua	Dh_gas
2	0,03729622	3891354,25	0,0023	0,86194072	0,02752441	35460,6201	0,00158564	0,48532027	1797,30015	34,4816791	0,02203682	0,2	0,00506574	0,01325361
3	0,03729622	3891354,25	0,0023	0,86194072	0,02752441	35541,6999	0,00158564	0,48532027	1802,04422	34,4816791	0,02198655	0,2	0,00506574	0,01325361
4	0,03729622	3891354,25	0,0023	0,86194072	0,02752441	35518,2315	0,00158564	0,48532027	1803,01453	34,4816791	0,02200108	0,2	0,00506574	0,01325361
5	0,03729622	3891354,25	0,0023	0,86194072	0,02752441	35622,5452	0,00158564	0,48532027	1802,22391	34,4816791	0,02193665	0,2	0,00506574	0,01325361
6	0,03729786	3891354,25	0,0023	0,86194072	0,02752441	35594,6858	0,00158564	0,48532027	1795,0952	34,4816791	0,02194863	0,2	0,00506574	0,01325361
7	0,03729622	3891354,25	0,0023	0,86194072	0,02752441	35604,5256	0,00158564	0,48532027	1791,54958	34,4816791	0,02194775	0,2	0,00506574	0,01325361
8	0,03701687	3891354,25	0,0023	0,86194072	0,02752441	26319,2399	0,00158564	0,48513037	1784,8293	34,5848619	0,02490269	0,2	0,00506574	0,01325361
9	0,03701687	3891354,25	0,0023	0,86194072	0,02752441	26319,2399	0,00158564	0,48513037	1784,8293	34,5848619	0,02490269	0,2	0,00506574	0,01325361
10	0,03701687	3891354,25	0,0023	0,86194072	0,02752441	26366,3436	0,00158564	0,48513037	1784,27668	34,5848619	0,0248582	0,2	0,00506574	0,01325361
11	0,03701813	3891354,25	0,0023	0,86194072	0,02752441	26398,3349	0,00158564	0,48513037	1784,56187	34,5848619	0,02482424	0,2	0,00506574	0,01325361
12	0,03701854	3891354,25	0,0023	0,86194072	0,02752441	26381,9778	0,00158564	0,48513037	1782,70838	34,5848619	0,02487257	0,2	0,00506574	0,01325361
13	0,03701870	3891354,25	0,0023	0,86194072	0,02752441	26304,4244	0,00158564	0,48513037	1783,20510	34,5848619	0,02405153	0,2	0,00506574	0,01325361

Figure 8. Nu example

fg - Microsoft Excel

	A	B	C	D	E	F	G	H	I	J	K	L
1	Longitud	G (kg/seg*m	Dh gas	inv densidad	Re_gas	dP lineal (Pa	alpha	delta	gamma			
2	0,2	33,484901	0,00265074	0,43739102	35460,6201	3351,54998	0,39583334	0,03149606	0,10526316			
3	0,2	33,5614672	0,00265074	0,43739102	35541,6999	3407,24813	0,39583334	0,03149606	0,10526316			
4	0,2	33,539306	0,00265074	0,43739102	35518,2315	3394,20712	0,39583334	0,03149606	0,10526316			
5	0,2	33,6378091	0,00265074	0,43739102	35622,5452	3394,71649	0,39583334	0,03149606	0,10526316			
6	0,2	33,6131805	0,00265074	0,43741195	35594,6858	3386,22345	0,39583334	0,03149606	0,10526316			
7	0,2	33,6207882	0,00265074	0,43739102	35604,5256	3397,85684	0,39583334	0,03149606	0,10526316			
8	0,2	24,6426051	0,00265074	0,43022634	26319,2399	1913,97777	0,39583334	0,03149606	0,10526316			
9	0,2	24,6426051	0,00265074	0,43022634	26319,2399	1913,97777	0,39583334	0,03149606	0,10526316			
10	0,2	24,6867089	0,00265074	0,43022634	26366,3436	1910,81024	0,39583334	0,03149606	0,10526316			
11	0,2	24,7176021	0,00265074	0,43022634	26380,3348	1912,47202	0,39583334	0,03149606	0,10526316			

Figure 9. f factor example

Although it is not include, the essay calculation program is prepared to calculate and extract the pressure drops on cooler side if it is considered.

2.3 Definition of OSF geometry

The agitator that is inside the pipe is considered as a fin. The equations have been extracted from the references [7] and [13] from the bibliography.

To define geometrically this agitator the variables in the figure 10 will be used. With the exception that in the program the $\text{step} = 2 * s + 2 * t$ and the program calculates the value of s to realize the calculations.

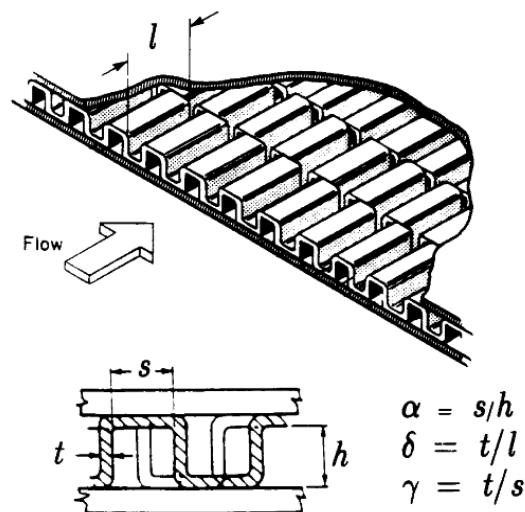


Figure 10. OSF geometry

With this data the following variables can be calculated. In an isolated offset:

$$A_{\text{aleta}} = [(s * t) + (2 * h * t) + (2 * h * l) + (s * l)]$$

$$A_{\text{total}} = A_{\text{aleta}} + A_{\text{pared}} = A_{\text{aleta}} + s * l$$

With the pipe dimensions the number of offsets in a pipe are known and also the total area in a pipe.

With this agitator the hydraulic diameter:

$$Dh = \frac{4 * A_{\text{paso}}}{Ph} = \frac{4 * A_{\text{paso}}}{A_{\text{total}}/l} = \frac{4 * s * h * l}{[(s * t) + (2 * h * t) + (2 * h * l) + (2 * s * l)]}$$

As it has been exposed to calculate the fin performance that is needed to find the total performance:

$$l = \frac{h - t}{2}$$

$$m = \left(\frac{2 * h}{\lambda * t} * \left(1 + \frac{t}{l} \right) \right)^{\frac{1}{2}}$$

The most important equation must be defined now since the free coefficients are left and later they will be adjusted in order that it will represent with the minor possible mistake the heat exchange and the pressure drops (Figure 10). For the adjustment of the heat exchange:

$$Nu_{\text{gas}} = j * Re * Pr^{1/3}$$

$$j = A * Re^a * \alpha^b * \delta^c * \gamma^d$$

And with pressure drops, due to the fact that the necessary tools are not available to test an isolated pipe and to separate this way the linear and singular pressure drops, the followed methodology has been followed: calculate theoretically the singular losses and later from the tests in those the total pressure drops have been measured, the linear pressure drops can be obtained and the coefficients can be adjusted as it will be indicated after.

$$\Delta P_{\text{lineal}} = \Delta P_{\text{totales}} - \Delta P_{\text{singulares}}$$

$$\Delta P_{\text{lineal}} = 4 * f * (10/9.8) * \left(\frac{L}{Dh} \right) * \left(\frac{G^2}{2 * \rho} \right)$$

$$f = A * Re^a * \alpha^b * \delta^c * \gamma^d$$

$$\Delta P_{\text{singulares}} = k * \left(\frac{8 * \dot{m}^2 * 10}{9.8 * \pi^2 * Dh^4 * \rho} \right)$$

Inlet collector with change in area:

$$tg(\alpha/2) = \left(\frac{2 * (a * b / \pi)^{1/2} - D}{2 * l} \right)$$

With this angle and using the table in appendix 7.2 the ϵ value can be calculated:

$$k = \phi * \left(1 - \frac{A_1}{A_2}\right)^2$$

In the drafts of the U configuration to produce the minimal losses it is needed: distances of step $L = L'$ (appendix 7.2) and without alive edges since most of the turbulences take place there, especially in the interior face. Without edges the criterion of minimal pressure drop is $R_{ext} = R_{int} + D$.

2.4 Definition of Herringbone agitator geometry

To study this agitator the equations of [9], [10] and [12] in the bibliography have been studied.

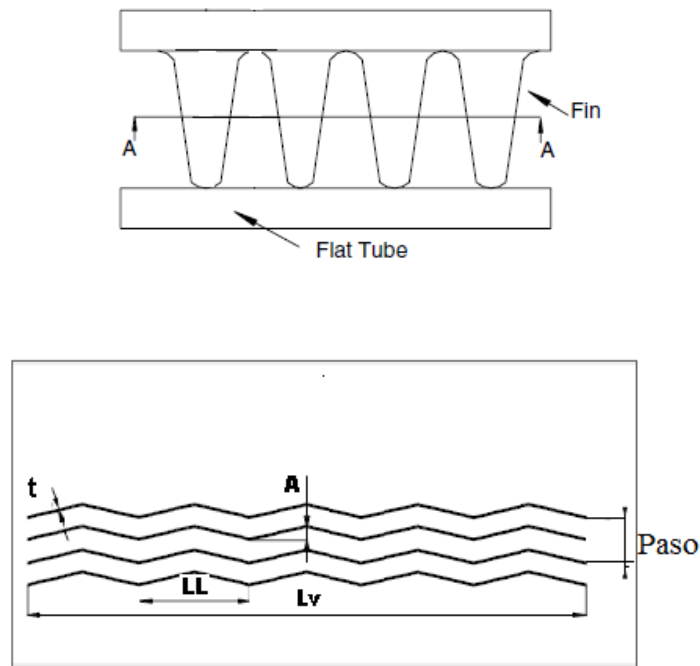


Figure 11. Herringbone geometry

To simplify the calculations the variables have the same name with this agitator. In each step:

$$A_{aleta} = [(2 * h * long) + (s * long)]$$

$$A_{total} = A_{aleta} + A_{pared} = A_{aleta} + s * long$$

As explained before the pipe dimensions allow us to calculate the number of fins in a pipe and the total area.

The hydraulic diameter is:

$$Dh = \frac{4 * A_{\text{paso}}}{Ph} = \frac{4 * A_{\text{paso}}}{A_{\text{total}}/l} = \frac{4 * s * h}{[(2 * h) + (2 * s)]}$$

And the variables that are needed to calculate the fin performance:

$$l = \frac{h}{2}$$

$$m = \left(\frac{2 * h}{\lambda * t} \right)^{\frac{1}{2}}$$

The free coefficients will be adjusted in order that they represent with the minor possible mistake the heat exchange and the pressure drops in gas side (Figure 11). For the adjustment of the heat exchange:

$$Nu = j * Re * Pr^{1/3}$$

$$j = A * Re^a * \alpha^b * \delta^c * \gamma^d$$

But now: $\alpha = \frac{s}{h}$ $\delta = \frac{s}{A}$ $\gamma = \frac{Lv}{LL}$

To find the pressure drops both the equations and the calculation methodology are the same that with the agitator OSF.

3. Greco's algorithm to fit correlations in Mathcad

After consulting the bibliography the equations used to calculate the intercooler have been selected. Those equations determine the behavior of every technology and using the data extracted from the tests as mentioned, the adjustment can be started. Mathcad iterates from initial values and carry out the correlations that give the lower errors. This iteration will give us the final equations that will be used in the performance calculation program.

The variables that are different in each technology have been gathered in crowds, in this way there are some variables that are equal in both agitators and those that are different from constants. The Greco essay calculation program assigns to every constant his value, depending on the type of agitator and the Mathcad's equations are the same for both technologies becoming much more comfortable.

To insert the information extracted from excel in mathcad: insert -> Information -> Data entry. After that the document created earlier must be selected. It is important to name the file with which the columns are assigned to variables and get sure that the first line has been erased.

The initial values of the variables you will iterate have to be chosen. The program starts in those values and iterates to reduce the error and give the final values.

The methodology is the following: when a solution is obtained the mistake has to be observed. The initial values have to be changed and recalculate the solution. If the error is lower than before that is the correct way.

In the appendix there are equations to fit efficiency and pressure drop on gas side.

It is possible that the solution that provides the lower error don't be the best solution because it won't respond properly with changes in thickness, LL... It is important to have a lot of care at the moment of selecting the initial values of the variables. At the beginning it is necessary to observe the tests and the bibliography and see how they change to know how it will be more or less the solution. For example, if it is observed that on having increased the thickness: t , another variable diminishes, then it is known that the relation must be: t^{-a} , the initial values must be forced to provide this relation even if it is not the best solution.

4. Performance calculation program

With the correlations obtained for each technology and with their introduction in the performance calculation program the utilization of that program can be started. This program has been realized so that its modification or actualization was as simple as possible. Firstly, it is specified how to use the program and later the steps to update it in case of future changes are explained.

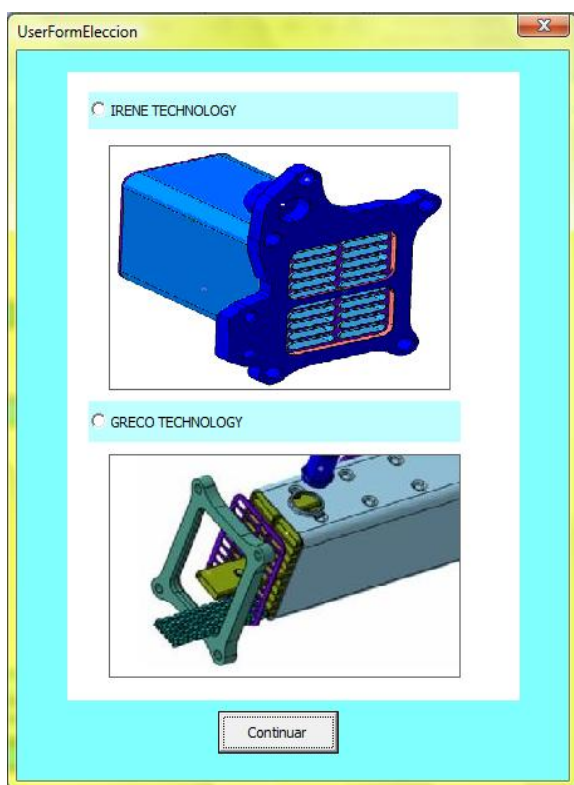


Figure 12. Technology selection

In the program there are three eyelashes: Initiate (to realize the calculations), results and graph (both to see the results).

After executing the calculations the first thing to do is select the technology of the intercooler: Irene3 or Greco (Figure 12). In both cases the interface is the same and the steps to realize the calculations are also similar so the calculation of a Greco intercooler is going to be taken as an example.

After selecting the technology that it is going to be used, the eyelash with the geometric information appears. In there the number of pipes and the agitator type must be selected and automatically the information that depends on these parameters is loaded. It is important to indicate that **all**

the fields must be completed correctly to realize the calculation, otherwise a mistake message will warn it.

After loading the agitator and the number of pipes, the next eyelashes realize different tasks. If what is needed is to calculate the length so that the intercooler provides a certain power, outlet gas temperature, efficiency or pressure drops then the eyelash of cooler dimensioning (on the right) must be selected. The eyelash on the left allows us to calculate variations of a few parameters depending on others by using graphs.

- 4.1 EYELASH OF GEOMETRICAL DATA

As it has been related before this is the window in which the intercooler code will be loaded when the agitator and the number of pipes are selected (Figure 13). If the data introduced

have not specific correlations or geometrical information in the program, automatically the values that provide the best approximation are loaded (for example in case of odd number of pipes or asymmetry of the intercooler in U configuration).

The screenshot shows the 'UserFormPrestacionesGreco' window with the 'Geometrical data' tab selected. The interface is divided into several sections for inputting parameters:

- Housing geometry:** Includes 'Offset 12T' and 'Number of tubes' (set to 12).
- Tube geometry:** Includes 'A ext' (21,65 mm), 'B ext' (5,55 mm), 'tube width' (0,25 mm), and 'Ni width' (0,05 mm).
- Squared housing:** Includes 'Width' (50,8 mm), 'Height' (48,4 mm), and 'K col' (0,2425320).
- Fouling resistance:** Includes a checkbox and a text box for 'm²·K/W'.
- Fin geometry:** Includes 'Select a fin geometry' (radio buttons for 'Offset strip fin' and 'Herringbone fin'), and 'Fin geometry' (Width: 0,2; LL (mm): 6,35; Pitch (mm): 4,2).

A diagram of a finned tube is shown in the top right, with labels for 'LL', 's', 't', and 'h'. A 'Minimize' button is located on the right side of the window.

NOTE: The introduced data will be used for the calculation of the cooler in the sections "Geometrical data" and "Cooler dimensioning" in which the geometrical parameters of the coolers are modifiable. However the coefficients used in each cooler's correlation correspond to the standard tested geometry. In this way, results coming from different geometries of the standard ones are extrapolations.

Figure 13. Geometrical data

It is also necessary to select the fouling resistance. On having pressed this option button the default value appears although it could be changed if the customer would provide a different value.

Any of the geometrical data that have been loaded can be changed in a certain range to realize the calculations with a known error.

As it can be observed in figure 10 the information that define the agitator are different according to the technology. In the offset strip fin agitator the data needed are: step, thickness, height and lance length.

Whereas in the herringbone agitator (Figure 11) the information is slightly different since to the thickness, step and the height it is necessary to add the extent of the wave and the lance length that here is the length of a complete wave:

All the lengths must be inserted in millimeters or in other case in the units indicated. The decimal numbers must be inserted here with commas and the program turns them for their use into Excel.

- 4.2 EYELASH OF COOLER DIMENSIONING.

As mentioned previously it allows us to calculate dimensions of the intercooler by iterating from the loaded data and the performance needed: power, efficiency, outlet gas temperature or pressure drop (Figure 14).

The screenshot shows the 'UserFormPrestacionesGreco' window with three tabs: 'Performancy graphs', 'Geometrical data', and 'Cooler dimensioning'. The 'Cooler dimensioning' tab is active. It contains several input sections:

- Cooler technology:** Radio buttons for 'Greco' (selected) and 'GrecoU'.
- Gas composition:** Radio buttons for 'Air' (selected) and 'Diesel exhaust gas'.
- Coolant composition:** A list box showing 'Water/Ethylene-glycol 90/10', 'Water/Ethylene-glycol 80/20', 'Water/Ethylene-glycol 70/30', and 'Water/Ethylene-glycol 65/35' (selected).
- Variables:** Radio buttons for 'Heat Rejection', 'Efficiency', 'Outlet Gas Temperature', and 'Pressure drop' (selected). Below it is a text box with '10' and a unit dropdown set to 'mbar'.
- Working conditions:**
 - GAS:** Temperature (280 °C), Flow (20 g/s), Pressure (3 bar).
 - COOLANT:** Temperature (80 °C), Flow (800 l/h).
- Dimensions:**
 - Number of tubes: 12
 - Radio buttons for 'With refrigeration' (selected) and 'Without refrigeration'.
 - A 'Calculate' button.
 - Housing length: [] mm

A 'Predetermined values' button is located between the 'Working conditions' and 'Dimensions' sections. A 'Minimize' button is on the right side of the window.

Figure 14. Cooler dimensioning

In the next step it is necessary to indicate if the intercooler is in I or U configuration (U with two steps with the water in cross and parallel flow). Be careful with the U configuration because the number of pipes in the second step must be introduced too. Although it is possible to do that in this eyelash since geometrical data is modified automatically.

Later the gas composition must be selected: air, exhaust gas or the customer gas option. If the heat rejection is going to be calculated the program allows us to introduce a specific heat given by the customer to reach the best approximation.

In the next step the cooler composition must be chosen. The most common in Valeo tests is the mixture 65 % water/35 % ethylene-glycol. When the selection has been done the program calculates values of density, dynamic viscosity, conductivity, etc. that are necessary in the iterations.

In this point it is necessary to write the performance value that the cooler will provide in the conditions given and its units. These units can be chosen in a menu and the program is able to transform all of them to the correct units that are used in the equations.

The inlet variables can be introduced in each box but the button "predetermined values" introduces some default values that later can be modified by the user. As explained before all the units that appear in the menu can be used.

If the performance variable is the pressure drop, the program let us calculate it without cooling by selecting the button that appears on the right.

The calculation button will begin the iteration and the result appears in the window next to it.

4.3 EYELASH OF PERFORMANCY GRAPHS.

At the beginning, the same steps must be taken into account to define the cooler (Figure 15):

- Indicate if the intercooler is in I or U configuration (U with two steps with the water in cross and parallel flow). Be careful with the U configuration because the number of pipes in the second step must be introduced too. Although it is possible to do in this eyelash since geometrical data is modified automatically.

- Select the gas composition that circulates along the pipes: air, exhaust gas or the customer gas option. If wanted value is the heat rejection the program allows us to introduce a specific heat given by the customer to reach the best approximation.

- Choose the cooler composition. The most common in Valeo tests is the mixture 65 % water/35 % ethylene-glycol. When the selection has been done the program calculates values of density, dynamic viscosity, conductivity, etc. that are necessary in iterations.

Figure 15. Performancy graphs

In other point the kind of graph that the program will draw must be selected. It loads a few predetermined values that can be modified at any time by the user. The options of graph are:

- Heat rejection vs gas flow
- Pressure drops vs gas flow
- Efficiency vs gas flow
- Efficiency vs flow of cooling
- Efficiency vs temperature of cooling
- Efficiency vs length

The selection of the option: pressure drops, offers the possibility of calculating without cooling with the button that appears in the paragraph: graph options.

After this, the last necessary data is the housing length, taking into account that the default data can be changed. Calculations can be done now.

In the paragraph: graph options, the graph conditions can be modified. Since it has been mentioned along the document they must be limited to those that the program gives as an option.

In order to start the calculations there are four buttons:

- The first one realizes the selected graph and it is necessary to minimize the window (top right button) to see the results. They can be consulted in a table in "results" or in "graph".
- The second button adds a graph to the one calculated previously and also a table in "results" without erasing the previous calculations.
- The third one cleans the graph completely to begin again.
- The last button allows us to save the graph realized after naming it.

- 4.4 VISUAL BASIC CODE STRUCTURE

This program has been structured in (Figure 16):

- Excel eyelashes, they are visibles if they show the results to the user (in a table or in a graph) or invisibles if they have information that the program needs to charge to realize the calculations. Here the correlations can be changed in a future update or the information can be change if the geometrical data are modified.

- Userforms: there are Windows that appear to help the user to work with the program, they ask for the information required show the way to complete all data. They also give a structure to the program and charge the information depending on the selections to start calculations.

- Módulos: All the calculations and iterations that the program does are here in form of functions. They are separated in: Irene3, Greco and the ones that are use in both geometries.

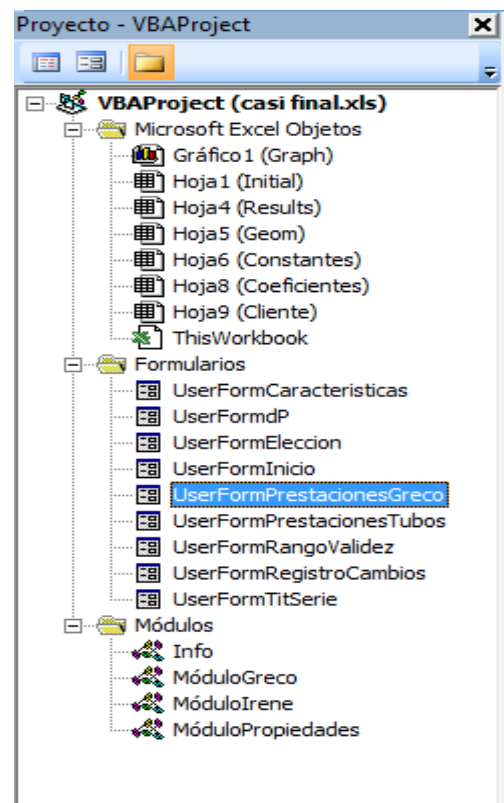


Figure 16. Visual basic structure

5. Procedure to update correlations or to include new technologies

The steps to realize the adjustments because of the appearance of new tests or new technologies can be summarized in a set of common procedures:

- Test classification and their modification: for instance, erase of white rows without information or elimination of approximations that provide major efficiencies of 100 %.
- Essay observation: doing graphs according to technologies, dimensions, etc. for efficiency and pressure drop so that the erroneous tests can be identified or those that have some "strange" information that could falsify later calculations.
- Accomplishment of new tests for those who were wrong or without some information or for those who existed neither previous tests nor others with which extrapolate results.
- Study of the bibliography to obtain equations that govern the heat exchange and pressure drops according to each technology. These equations will be introduced in Mathcad program to obtain correlations and in the performance calculation program.
- Modification of the test calculation program to obtain the necessary information to realize the adjustments: according to the technology, agitator, geometry...
- Creation of Excel documents from the tests with the test calculation program to feed Mathcad program. Separate calculations of pressure drop and heat exchange.
- Iterate the equations to obtain correlations with Mathcad and compare the results to reject or to repeat the values out of range.
- Accomplishment or modification of the performance calculation program. The equations are introduced depending on the cooler geometry. Pay special attention to define properly: areas, Reynolds number...

If new coefficients want to be changed because of the appearance of new tests, they are in the eyelash "coeficientes". It is necessary to make it visible in the Visual Basic code. The program charges all the available data from this document so if the number of coefficients vary from the given ones it will be necessary to modify all the Visual Basic code.

6. Bibliography

- [1] RAMESH K.SHAH, DUSAN P.SEKULIC. Fundamentals of Heat Exchanger Design. Ed: John Wiley (2003).
- [2] MARÍN J.M, MONNÉ C. Transferencia de Calor. Universidad de Zaragoza (1998).
- [3] SADIK KALAÇ, HONGTAN LIU. Heat Exchangers: selection, rating and thermal design. Ed: CRC Press (1998).
- [4] Kays, London. Compact heat exchangers. ED: Mcgraw-Hill (1964).
- [5] RAMESH K. SHAH. Compact Heat Exchangers. Ed: ETS (2002).
- [6] E.M. Smith. Thermal design of heat exchangers. Ed: Wiley (1997).
- [7] M. MANGLIK, ARTHUR E. BERGLES. Heat Transfer and Pressure Drop Correlations for the Rectangular Offset Strip Fin. (1994).
- [8] BRAVO Y. Engine cooler Product Engineer, Specific features for EGR cooler design. Valeo Engine Cooling. (2004).
- [9] Applied thermal engineering; Heat transfer and pressure drop correlations for the wavy fin and flat tube heat exchangers. Institute of Refrigeration and Cryogenics, Shanghai (2006).
- [10] Jiehai Zhang, Jaydeep Kundu, Raj M. Manglik. Effect of fin waviness and spacing on the lateral vortex structure and laminar heat transfer in wavy-plate-fin cores. International Journal of Heat and Mass Transfer 47 (2004).
- [11] Hu and Herold. Prandtl number effect on offset fin heat exchanger performance. International journal of heat and mass transfer, vol 38 (1995).
- [12] Dong, Chen, Zhang and Hu. Experimental and numerical investigation of thermal - hydraulic performance in wavy fin heat exchangers. Applied Thermal Engineering 30 (2010).
- [13] H. Bhowmik , Kwan-Soo Lee. Analysis of heat transfer and pressure drop characteristics in an offset strip fin heat exchanger. International Communications in Heat and Mass Transfer 36 (2009).
- [14] J. M. Corberán, E. Cuadros, K. González. Pressure drop characterization of compact heat exchanger channels. 5th European thermal-sciences conference, the Netherlands (2008).
- [15] Miguel Henrique Teruel, Celso Yukio, Pedro Paglione. Rectangular offset strip-fin heat exchanger lumped parameters dynamic model. 2009 Brazilian Symposium on Aerospace Eng. & Applications.

11.5. FILTRADO Y COMPARACIÓN DE ENSAYOS

Los ensayos están recogidos en la base de datos correspondiente y las condiciones estudiadas para determinar la validez de estos ensayos:

· **Tecnología:**

La tecnología EGR actualmente en vías de desarrollo por el departamento es Greco. Lo primero es diferenciar el tipo de perturbador utilizado: OSF o Herringbone.

· **Geometría:**

Existen dos tipos de configuración en 'I' y en 'U'. En los primeros el gas entra por un extremo y sale por el contrario una paso de gas y un paso de refrigerante, mientras que en los segundos el gas sale por el mismo extremo que ha entrado (aunque por tubos diferentes) ayudándose de un deposito situado en el extremo opuesto de entrada que redirige en fluido por tubos paralelos a los de entrada pero por los que el gas circula en sentido contrario, realizando dos pasos el gas y uno el refrigerante. Ambas configuraciones son abarcadas por el trabajo realizado.

También en los ensayos se varía en el perturbador el espesor, LL, etc. Así como las condiciones de entrada.

· **Válvula:**

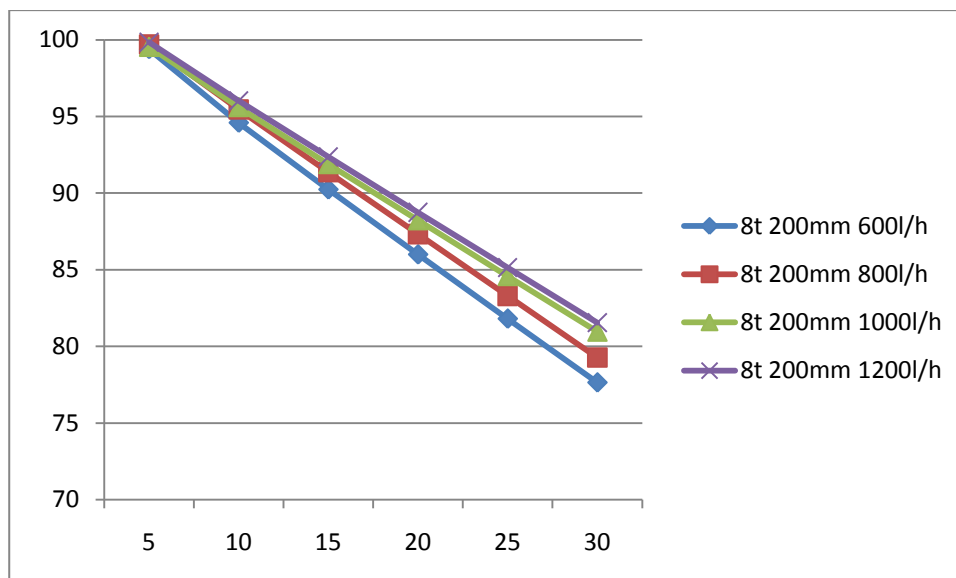
Los EGRC van siempre acompañados, una vez colocados en el vehículo, de una válvula que regula el caudal que recircula y el que sale por el escape. Todos los prototipos utilizados en este trabajo han sido ensayados sin válvula, debido principalmente a que el cliente puede utilizar una válvula propia o establecer requerimientos especiales sobre ésta y a la necesidad de caracterizar el rendimiento del intercambiador aislado.

· **Dimensiones:**

Podemos caracterizar los intercambiadores por su número de tubos y su longitud. Nos interesan todo tipo de dimensiones para posteriormente poder determinar rangos de validez de las herramientas de cálculo actuales.

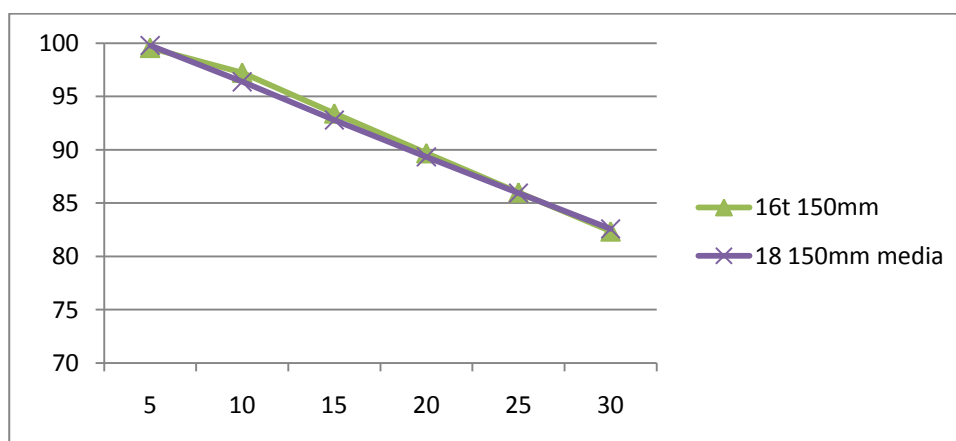
Ante la gran cantidad de ensayos disponibles a la hora de comenzar a realizar los ajustes, hay que prestar mucha atención para hacer una buena selección. Lo primordial es detectar los fallos o aquellos ensayos que sin causa justificada proporcionan unos valores claramente fuera de rango. Aquí se muestran algunas de las gráficas en la que se aprecia claramente que un ensayo es erróneo.

Como se ha comentado primero se realizan una serie de gráficas para detectar resultados no coherentes con el resto. En esta primera gráfica se observa una variación lógica y correcta de la eficiencia al aumentar el caudal.



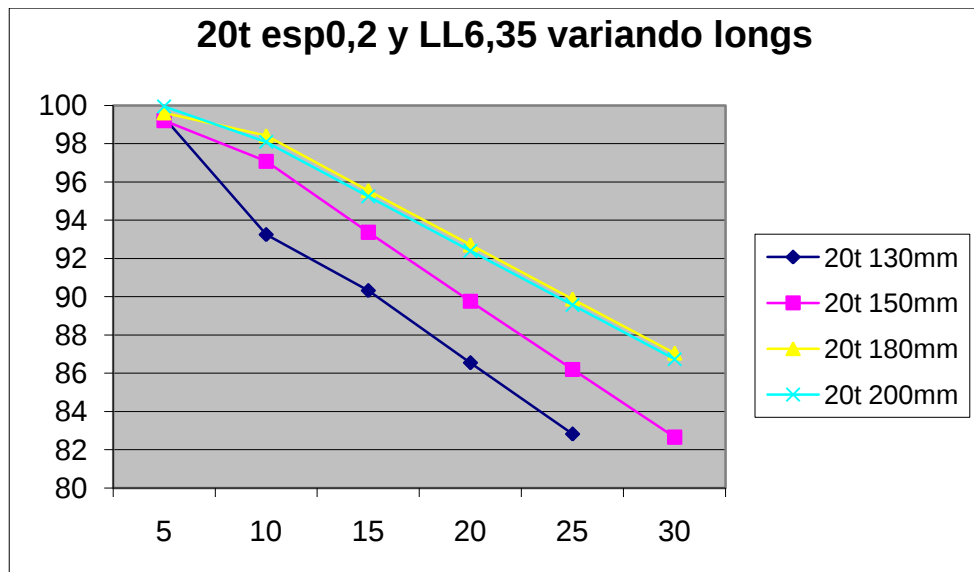
Comparativa 8t 200mm con variación de caudal

Sin embargo en esta otra se puede apreciar como el ensayo de 16 tubos da mayor eficiencia que el de 18 para la misma longitud. Una comparación con el resto permitió identificar que ese ensayo de 18 tubos salió excesivamente bajo



Comparativa 16t vs 18t

Estos estudios también permitieron averiguar las relaciones entre las variables geométricas para saber cómo debían variar la eficiencia y la pérdida de carga al variar condiciones de entrada, espesor, lance length, etc.



Comparativa error en 20t 200mm.

Lo mismo se hizo con las pérdidas de carga y con variaciones de perturbador, espesor...

Como se ha comentado hay casos en los que tras detectar los resultados anómalos y consultar con el taller de prototipos y el laboratorio de ensayos, es imposible detectar las razones de esos resultados e incluso la realización de nuevos ensayos no aclaraban las dudas. En esos casos no se podía descartar el ensayo y sólo más ensayos en el futuro permitirán reducir el error y detectar los ensayos no válidos.

11.6. CÁLCULO DE PROPIEDADES TERMODINÁMICAS

Este anexo se dedica al cálculo de las propiedades termodinámicas. Este apartado describe brevemente cada una de ellas y el método para la obtención de las ecuaciones que nos permiten calcularlas siempre en función de la temperatura.

· Calor específico

La variación de la temperatura de un material de acuerdo con la cantidad de calor almacenada en él, se expresa en función del calor específico de dicho material. Desde el punto de vista de la termodinámica, el calor es una cantidad que depende de la trayectoria, es por tanto un calor específico. La mayor parte de los procesos de transmisión del calor se producen a presiones virtualmente constantes, es por ello que se emplea invariablemente el calor específico a presión constante, C_p .

Las dimensiones del C_p son calor por unidad de masa por unidad de diferencia de temperatura [$\text{kJ} / (\text{kg} \cdot \text{K})$]. Por regla general, el calor específico de una sustancia es función de su estado termodinámico dado por la presión y la temperatura, aunque pueden hacerse alguna simplificación.

o Calores Específicos de los Sólidos y de los Líquidos:

El calor específico de los sólidos y de los líquidos depende muy poco de la presión hasta llegar a presiones muy elevadas. Por consiguiente, se pueden ignorar cualquier efecto de la presión. De igual manera, aun para cambios moderados de temperatura, la dependencia con la temperatura del C_p es muy pequeña para los sólidos y los líquidos.

o Calores Específicos de los Gases:

En el caso de los gases la influencia de la temperatura sobre el calor específico es mucho más acentuada que en el caso de los sólidos y los líquidos. Algunas veces también existe una dependencia con la presión y dicha dependencia puede despreciarse en la mayoría de los casos.

· Viscosidad

Cuando un fluido se mueve a lo largo de cuerpos sólidos, proceso de convección del calor, aparecen dentro del mismo gradiente de velocidad debido al movimiento relativo de las distintas partes del fluido.

La teoría molecular de la viscosidad de los gases y de los líquidos predice que la viscosidad dinámica depende principalmente de la temperatura y, en menor grado, de la presión.

Es preferible expresar las dimensiones de la viscosidad en función de las dimensiones fundamentales de masa mejor que en las de fuerza. Las dimensiones de la viscosidad dinámica pueden expresarse como [$\text{kg}/\text{m} \cdot \text{s}$].

En los líquidos, como en el caso de la conductividad térmica y del calor específico, la dependencia de la viscosidad dinámica con la presión es bastante pequeña. Este efecto puede despreciarse y sólo debe tenerse en cuenta la influencia de la temperatura.

Para los gases, la viscosidad dinámica es algo más pequeña que la de los líquidos. En la mayor parte de los gases la temperatura es el factor que ejerce más influencia sobre la viscosidad dinámica.

· **Conductividad térmica**

La conductividad térmica es una propiedad intrínseca de los materiales que valora la capacidad de conducir el calor a través de ellos. El valor de la conductividad varía en función de la temperatura a la que se encuentra la sustancia. El coeficiente de conductividad térmica (λ) representa la cantidad de calor necesario por m^2 , para que atravesando durante la unidad de tiempo, $1 m^2$ de material homogéneo obtenga una diferencia de $1^\circ C$ de temperatura entre las dos caras. La conductividad térmica se expresa en unidades de $[W/m \cdot K]$.

· **Densidad**

La densidad es una magnitud referida a la cantidad de masa contenida en un determinado volumen, en el SI las unidades de medida son $[kg/m^3]$.

En general, la densidad de un material varía al cambiar la presión o la temperatura. El efecto de la temperatura y la presión en los sólidos y líquidos es muy pequeño. Por otro lado, la densidad de los gases es fuertemente afectada por la presión y la temperatura. Efectivamente, la ley de los gases ideales describe matemáticamente la relación entre estas tres magnitudes, donde R es la constante universal de los gases ideales, P es la presión del gas, m su masa molar, y T la temperatura absoluta.

Cálculo de las propiedades termodinámicas.

El cálculo de las propiedades termodinámicas se ha basado en datos obtenidos mediante experimentación en Valeo Térmico S.A.

A partir de datos tomados en ensayo podemos construir las tablas que relacionen la temperatura con las propiedades termodinámicas. Graficando estas tablas es posible obtener la curva de ajuste y utilizarla como ecuación de cálculo de la propiedad en función de la temperatura del fluido.

A continuación presentamos las tablas para el aire y el refrigerante (65%agua/35%glycol) usado en los ensayos y en el ajuste del programa de cálculo.

Temperatura	Temperatura	Densidad	Cp	Viscosidad Dinámica	Conductividad térmica
[°C]	[K]	[kg/m3]	[J/kg.K]	[Pa.s]	[kW/m.K]
0,00	273,15	3,87892	1002,00	1,67919E-05	2,39505E-05
10,00	283,15	3,73993	1002,00	1,73071E-05	2,47346E-05
20,00	293,15	3,61229	1002,00	1,78145E-05	2,55083E-05
30,00	303,15	3,49307	1002,01	1,83144E-05	2,62720E-05
40,00	313,15	3,38147	1002,01	1,88070E-05	2,70258E-05
50,00	323,15	3,27678	1002,01	1,92926E-05	2,77700E-05
60,00	333,15	3,17838	1002,01	1,97713E-05	2,85049E-05
70,00	343,15	3,08571	1002,01	2,02435E-05	2,92307E-05
80,00	353,15	2,99830	1002,02	2,07092E-05	2,99476E-05
90,00	363,15	2,91570	1002,02	2,11688E-05	3,06559E-05
95,00	368,15	2,87609	1002,02	2,13983E-05	3,10089E-05
100,00	373,15	2,83753	1002,02	2,16224E-05	3,13558E-05
110,00	383,15	2,76345	1002,02	2,20702E-05	3,20476E-05
120,00	393,15	2,69313	1002,02	2,25123E-05	3,27313E-05
130,00	403,15	2,62630	1002,03	2,29490E-05	3,34073E-05
140,00	413,15	2,56271	1002,03	2,33804E-05	3,40758E-05
150,00	423,15	2,50213	1002,03	2,38067E-05	3,47368E-05
160,00	433,15	2,44434	1002,03	2,42280E-05	3,53907E-05
170,00	443,15	2,38916	1002,03	2,46444E-05	3,60376E-05
180,00	453,15	2,33642	1002,04	2,50561E-05	3,66777E-05
190,00	463,15	2,28596	1002,04	2,54633E-05	3,73111E-05
200,00	473,15	2,23763	1002,04	2,58660E-05	3,79380E-05
250,00	523,15	2,02371	1002,05	2,78168E-05	4,09806E-05
300,00	573,15	1,84712	1002,06	2,96726E-05	4,38825E-05
350,00	623,15	1,69888	1002,07	3,14448E-05	4,66590E-05
400,00	673,15	1,57266	1002,08	3,31425E-05	4,93230E-05
450,00	723,15	1,46390	1002,09	3,47735E-05	5,18856E-05
500,00	773,15	1,36921	1002,10	3,63444E-05	5,43561E-05
550,00	823,15	1,28603	1002,11	3,78609E-05	5,67429E-05
600,00	873,15	1,21237	1002,12	3,93279E-05	5,90531E-05
650,00	923,15	1,14670	1002,13	4,07495E-05	6,12929E-05
700,00	973,15	1,08777	1002,14	4,21295E-05	6,34679E-05
750,00	1023,15	1,03480	1002,15	4,34709E-05	6,55828E-05
800,00	1073,15	0,98639	1002,16	4,47768E-05	6,76420E-05
850,00	1123,15	0,94248	1002,17	4,60496E-05	6,96494E-05

Tabla de propiedades del aire.

Propiedades termodinámicas del Aire:

- **Calor específico**

$$C_p (\text{aire}) = 1007 + 0.00316 \cdot T + 0.0048 \cdot T^2$$

- **Viscosidad dinámica**

$$\nu (\text{aire}) = 0.00001 \cdot (1.69 + 0.00506 \cdot T + 0.0048 \cdot T^2 - 0.000000309 \cdot T^3)$$

- **Conductividad**

$$\lambda (\text{aire}) = 0.0251 + 0.0000618 \cdot T - 0.00000000564 \cdot T^2$$

- **Densidad**

$$\rho (\text{aire}) = 1.225 \cdot (288 / (T + 273))^3 \cdot (P / 1.01325)$$

Temperatura	Temperatura	Densidad	Cp	Viscosidad Dinámica	Conductividad térmica
[°C]	[K]	[kg/m³]	[J/kg.K]	[Pa.s]	[W/m.K]
0,00	273,15	1001,75	4186,00	1,79000E-03	0,55000
5,00	278,15	999,56	4186,00	1,50519E-03	0,56281
10,00	283,15	997,37	4186,00	1,29374E-03	0,57500
15,00	288,15	995,18	4186,00	1,13055E-03	0,58656
20,00	293,15	992,99	4186,00	1,00079E-03	0,59750
25,00	298,15	990,80	4186,00	8,95141E-04	0,60781
30,00	303,15	988,61	4186,00	8,07452E-04	0,61750
35,00	308,15	986,42	4186,00	7,33504E-04	0,62656
40,00	313,15	984,23	4186,00	6,70302E-04	0,63500
45,00	318,15	982,04	4186,00	6,15661E-04	0,64281
50,00	323,15	979,85	4186,00	5,67952E-04	0,65000
55,00	328,15	977,66	4186,00	5,25936E-04	0,65656
60,00	333,15	975,47	4186,00	4,88650E-04	0,66250
65,00	338,15	973,28	4186,00	4,55339E-04	0,66781
70,00	343,15	971,09	4186,00	4,25398E-04	0,67250
75,00	348,15	968,90	4186,00	3,98341E-04	0,67656
80,00	353,15	966,71	4186,00	3,73771E-04	0,68000
85,00	358,15	964,52	4186,00	3,51360E-04	0,68281
90,00	363,15	962,33	4186,00	3,30834E-04	0,68500
95,00	368,15	960,14	4186,00	3,11967E-04	0,68656
100,00	373,15	957,95	4186,00	2,94564E-04	0,68750
105,00	378,15	955,76	4186,00	2,78461E-04	0,68781
110,00	383,15	953,57	4186,00	2,63519E-04	0,68750

Tabla de propiedades del refrigerante

Propiedades termodinámicas del Refrigerante 65-35:

- **Calor específico**

$$C_p (\text{Refrig. 65-35}) = 3506 + 3.01 \cdot T$$

- **Viscosidad dinámica**

$$\nu (\text{Refrig. 65-35}) = 0.0001 \cdot (53 - 0.1811 \cdot T) / (1 + 0.0543 \cdot T)$$

- **Conductividad**

$$\lambda (\text{Refrig. 65-35}) = 0.456 + 0.000335 \cdot T$$

- **Densidad**

$$\rho (\text{Refrig. 65-35}) = 1061.15 + 0.6 \cdot T$$

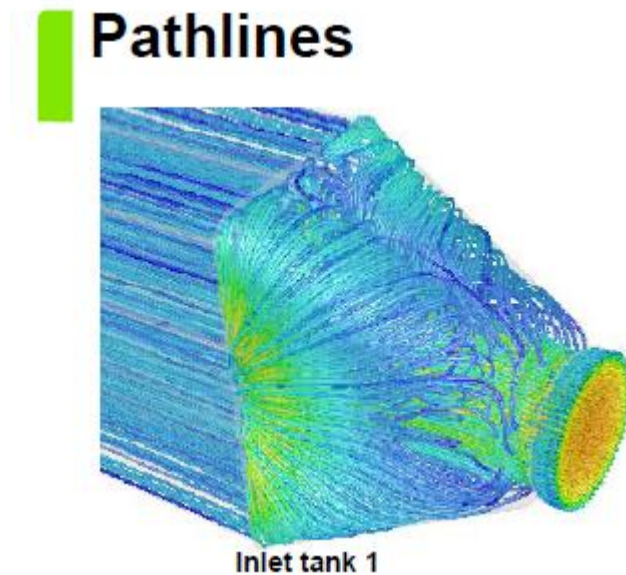
Ecuaciones de los números de Reynolds y Prandtl:

$$Re = \frac{Q[\text{kg/s}] \cdot Dh[\text{m}]}{A_{\text{paso}}[\text{m}^2] \cdot \nu[\text{Pa} \cdot \text{s}]} = \frac{4 \cdot Q[\text{kg/s}]}{Ph[\text{m}] \cdot \nu[\text{kg/m} \cdot \text{s}]}$$

$$Pr = \frac{\nu[\text{kg/m} \cdot \text{s}] \cdot C_p[\text{J/kg} \cdot \text{K}]}{\lambda[\text{W/m} \cdot \text{K}]}$$

11.7. DISTRIBUCIÓN DE CAUDALES Y VELOCIDADES

Como se ha comentado tras consultar la bibliografía y con la experiencia adquirida en los ensayos y simulaciones se decide tomar la distribución de los caudales como constante, demostrándose después el error debido a esta aproximación muy bajo.



Ejemplo simulación velocidades en colector

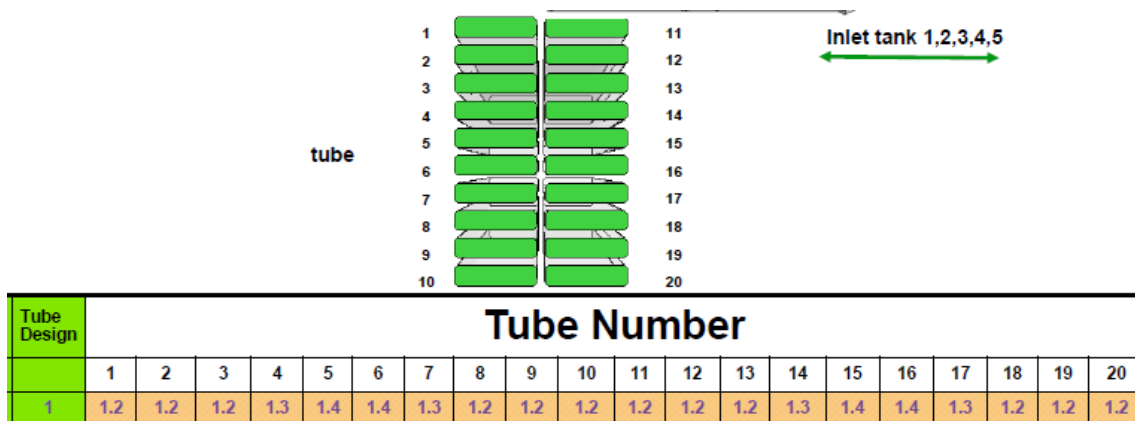


Figura reparto velocidades (m/s) para 5 g/s de caudal

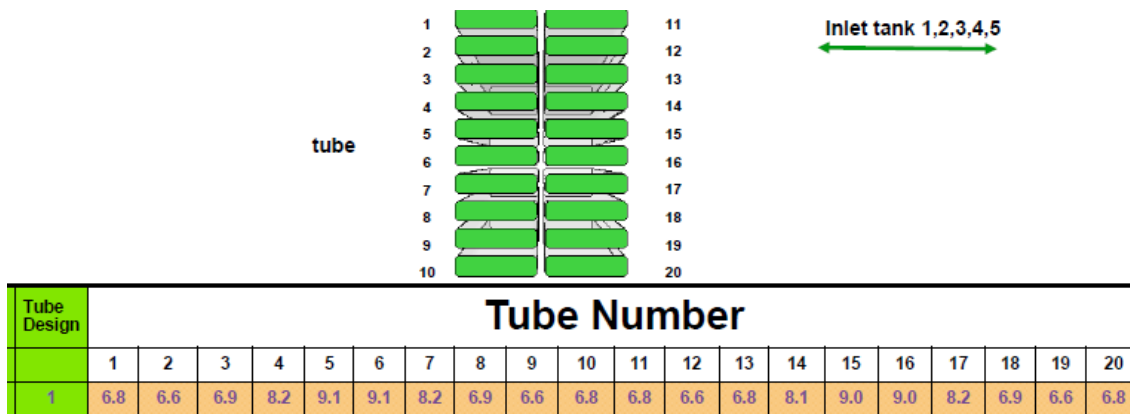


Figura reparto velocidades (m/s) para 30 g/s de caudal

Por tanto los resultados demuestran que en el caso más desfavorable, con mucho caudal y gran número de tubos, se tienen variaciones de caudal menores del 30%.

11.8. TABLAS PARA ELECCIÓN DE K

Como se ha mostrado en el apartado 3, tras obtener el α se puede calcular ϕ con las siguientes tablas para obtener así las pérdidas de carga singulares:

Tolva de entrada con cambio de sección, de tubo circular a virola rectangular:

$$tg(\alpha/2) = \left(\frac{2 * (a * b/\pi)^{1/2} - D}{2 * l} \right)$$

Con ese ángulo a partir de la tabla (anexo 10.8) se obtiene el valor de ϕ , después se puede calcular el coeficiente para el colector de entrada:

$$k = \phi * \left(1 - \frac{A_1}{A_2} \right)^2$$

$$\Delta P_{\text{singulares}} = k * \left(\frac{8 * \dot{m}^2 * 10}{9.8 * \pi^2 * D h^4 * \rho} \right)$$

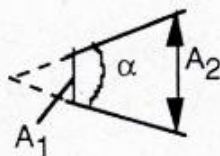
En este caso se tiene tolva piramidal con cambio de sección (del tubo redondo a virola rectangular):

Tolva cónica

$\alpha(^{\circ})$	3	6	8	10	12	14	16	20	24	30	40	60	90	180
ϕ	0.03	0.08	0.11	0.15	0.19	0.23	0.27	0.36	0.47	0.65	0.92	1.15	1.10	1.02

Tolva piramidal

$\alpha(^{\circ})$	2	4	6	8	10	12	14	16	18
ϕ	0.03	0.06	0.10	0.14	0.19	0.23	0.29	0.34	0.40
$\alpha(^{\circ})$	20	24	28	32	40	60	90	180	
ϕ	0.45	0.59	0.73	0.89	1.05	1.10	1.10	1.10	

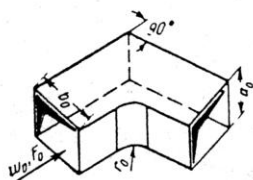


Respecto a los giros, extrayendo la información de hojas resumen de José María Marín:

II.- GIROS

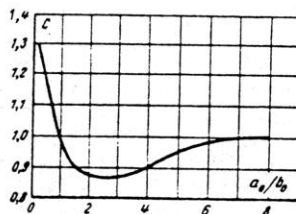
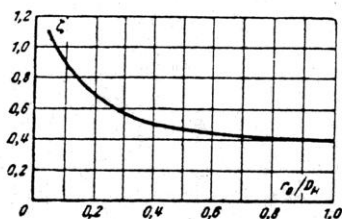
El criterio general es evitar ángulos agudos en los cambios de dirección, sobre todo en las caras interiores, donde se forman la mayor parte de turbulencias. Por ello se recomienda poner codos curvos o poligonales, por lo menos en las caras internas

Para el caso de un conducto rectangular con un ángulo vivo en la cara exterior y redondeado en la interior, según se muestra en la figura, el coeficiente de pérdidas singulares σ viene dado por la expresión $\sigma=C\zeta$ donde los valores de C y ζ se determinan con las dimensiones del conducto tal y como se muestra en las tablas y figuras siguientes, de donde se pueden extraer las dimensiones óptimas para limitar las pérdidas de carga

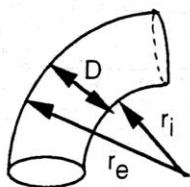


r_o/D_H	ζ
0,05	1,10
0,1	0,88
0,2	0,70
0,3	0,56
0,5	0,48
0,7	0,43
1,0	0,40

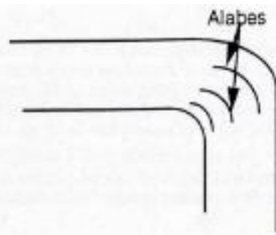
a_o/b_o	C
0,25	1,30
0,50	1,17
0,75	1,09
1,00	1,00
1,50	0,90
2,0	0,85
3,0	0,85
4,0	0,90
5,0	0,95
6,0	0,98
7,0	1,00
8,0	1,00



Si ninguna de las dos caras, exterior e interior, tienen ángulos vivos el criterio de mínima pérdida de carga es que ambas caras sean concéntricas, o sea, $r_e = r_i + D$

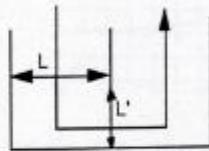


Otro mecanismo muy adecuado para reducir las pérdidas de carga en los codos es la instalación de álabes directores para uniformizar el campo de velocidades. Dado que la zona turbulenta cerca de la pared interior es la principal causante de las pérdidas de carga, los álabes más eficaces son los colocados cerca de esta pared. El esquema se muestra en la figura siguiente



III.- VARIACION DE LAS SECCIONES DE PASO EN LOS INTERCAMBIADORES Y RECUPERADORES DE CALOR

En este caso las mínimas pérdidas de carga se producen al mantener lo más parecidas posibles las diversas secciones de paso, al evitarse los fenómenos de la separación de la capa límite del fluido de las paredes. Dentro de los equipos es particularmente importante la relación entre la distancia entre deflectores, L , y la ventana de éstos, L' (ver dibujo siguiente).



La relación óptima de distancias de paso es $L=L'$, pero se puede reducir L' sin gran aumento de pérdida de carga hasta un valor mínimo de $L'=0.73 L$, donde la pérdida de carga se dispara. En sentido contrario se puede aumentar la separación L' hasta el doble del valor de L , aumentando sólo ligeramente el coeficiente de pérdidas singulares, según se indica en la tabla siguiente

Relación de valores de σ según la relación L'/L

L'/L	0,5	0,73	1,0	2,0
σ	7,9	4,5	3,6	3,9

11.9 ALGORITMOS UTILIZADOS EN PROGRAMA MATHCAD

En este anexo se recogen los algoritmos de cálculo creados en Mathcad para el ajuste de las correlaciones del número de Nusselt y el factor de fricción que proporciona las pérdidas de carga lineales.

Básicamente los cuatro realizan la misma función. Varían unos coeficientes iterativamente hasta que el sumatorio de los módulos de los errores cometidos por la función, en la que intervienen esos coeficientes, respecto de unos valores de referencia (datos experimentales) es mínimo.

Esta búsqueda de la solución se realiza por ajuste de mínimos cuadrados. Para cada caudal de gas en los que esta ensayado cada intercambiador tendremos un valor de referencia (UA o ΔP experimental) y un valor calculado (UA o ΔP calculada). La solución óptima para los coeficientes que intervienen en el valor calculado será la que minimice el sumatorio de los errores entre estos binomios de valores.

Los algoritmos se alimentan mediante un archivo Excel (que proviene del programa de cálculo de ensayos, como hemos previamente) donde están ordenadas por columnas todas las magnitudes necesarias para calcular la UA o ΔP a partir del sistema de ecuaciones utilizado. El archivo contiene además los valores de UA o ΔP experimentales, para cada ensayo a utilizar en el ajuste.

Para la correcta obtención de los coeficientes son muy importantes los valores iniciales para cada uno de ellos. Al tener muchos coeficientes sin determinar, el software responde mucho mejor si seleccionamos los coeficientes iniciales apropiados a partir de los cuales empezar a iterar. Para ello podemos ver el error cometido con el ajuste en tiempo real, modificando los valores iniciales hasta reducirlo lo máximo posible.

En las siguientes páginas se recogen íntegros los cuatro algoritmos. Dada la longitud de las ecuaciones los algoritmos utilizan una configuración de página horizontal.

11.9.1 algoritmo eficiencia

data :=



$k1 := \text{data}^{(0)}$ $k2 := \text{data}^{(1)}$ $k3 := \text{data}^{(2)}$ $k4 := \text{data}^{(3)}$ $\text{area} := \text{data}^{(4)}$ $\text{Re_gas} := \text{data}^{(5)}$ $\text{espni} := \text{data}^{(19)}$
 $\text{Rcond} := \text{data}^{(6)}$ $k5 := \text{data}^{(7)}$ $\text{Re_agua} := \text{data}^{(8)}$ $\text{Pr_agua} := \text{data}^{(9)}$ $\text{upUA} := \text{data}^{(10)}$ $\text{conductni} := \text{data}^{(20)}$
 $L := \text{data}^{(11)}$ $\text{Dh_agua} := \text{data}^{(12)}$ $\text{Dh_gas} := \text{data}^{(13)}$ $\text{Pr_gas} := \text{data}^{(14)}$ $\text{aagua} := \text{data}^{(15)}$ $\text{medplaca} := \text{data}^{(21)}$
 $\alpha := \text{data}^{(16)}$ $\delta := \text{data}^{(17)}$ $\gamma := \text{data}^{(18)}$ $n := \text{length}(\text{upUA}) - 1$ $\text{tubos} := \text{data}^{(22)}$

$$F(\mathbf{a}) := \left[\text{Rcond} + \frac{\text{espni}}{(\text{conductni} \cdot \text{medplaca})} \right] + \left[\frac{\text{Dh_gas}}{\left[k1 \cdot \text{area} \cdot \left[1 - \frac{\tanh \left(\left(k2 \cdot A \cdot \text{Re_gas}^a \cdot \alpha^b \cdot \delta^c \cdot \gamma^d \cdot \text{Pr_gas}^{\frac{1}{3}} \right) \cdot k3 \right)^{\frac{1}{2}}}{\left(k2 \cdot A \cdot \text{Re_gas}^a \cdot \alpha^b \cdot \delta^c \cdot \gamma^d \cdot \text{Pr_gas}^{\frac{1}{3}} \right) \cdot k3} \right] \cdot k4 \cdot \left(A \cdot \text{Re_gas}^a \cdot \alpha^b \cdot \delta^c \cdot \gamma^d \cdot \text{Pr_gas}^{\frac{1}{3}} \right)^{\frac{1}{2}} \right]} \right] + \left[\frac{\text{Dh_agua}}{\left[k5 \cdot \text{aagua} \cdot \left[0.012 \left(\text{Re_agua}^{0.87} - 280 \right) \cdot \text{Pr_agua}^{0.4} \cdot \left[1 + \frac{\left(\frac{\text{Dh_agua}^{\frac{2}{3}}}{L^{\frac{2}{3}}} \right)}{\frac{2}{3}} \right] \right]} \right]} \right]$$

tubos

Fitting function F

$$\text{SSE}(A, a, b, c, d) := \sum_i \lfloor \text{upUA}_i \rfloor$$

Initial guess for parameters

$$A := 0.36 \quad a := -0.2 \quad b := -0.2 \quad c := -0.2 \quad d := -0.2$$

Dado $SSR(A, a, b, c, d) = 0$

$$\begin{pmatrix} A \\ a \\ b \\ c \\ d \end{pmatrix} := \text{Minerr}(A, a, b, c, d) \quad \begin{pmatrix} A \\ a \\ b \\ c \\ d \end{pmatrix} = \mathbf{0}$$

11.9.2 algoritmo pérdida de carga

data :=



$L := \text{data}^{\langle 0 \rangle}$ $G := \text{data}^{\langle 1 \rangle}$ $Dh_{\text{gas}} := \text{data}^{\langle 2 \rangle}$ $\text{inv_dens} := \text{data}^{\langle 3 \rangle}$

$\text{Re_gas} := \text{data}^{\langle 4 \rangle}$ $dP_{\text{lineal}} := \text{data}^{\langle 5 \rangle}$

$\alpha := \text{data}^{\langle 6 \rangle}$ $\delta := \text{data}^{\langle 7 \rangle}$ $\gamma := \text{data}^{\langle 8 \rangle}$ $n := \text{length}(G) - 1$

$$F(L, G, Dh_{\text{gas}}, \text{inv_dens}, \text{Re_gas}, dP_{\text{lineal}}, A, a, b, c, d, \alpha, \delta, \gamma) := \left(4 \frac{L}{Dh_{\text{gas}}} \right) \cdot \frac{(A \cdot \text{Re_gas}^a \cdot \alpha^b \cdot \delta^c \cdot \gamma^d)}{2} \cdot \text{inv_dens} \cdot G^2$$

$i := 0..n$ Fitting function F

$$SSH(A, a, b, c, d) := \left[\sum_i \left[dP_{lineal_i} - \left[4 \cdot \frac{L_i}{Dh_{gas_i}} \right] \cdot \frac{\left[A \cdot (Re_{gas_i})^a \cdot (\alpha_i)^b \cdot (\delta_i)^c \cdot (\gamma_i)^d \right]}{2} \cdot inv_dens_i \cdot (G_i)^2 \right] \right]^2$$

Initial guess for parameters

$$A := 1.869 \quad a := -0.29 \quad b := -0.0 \quad c := -1 \quad d := -0.2$$

Dado $SSH(A, a, b, c, d) = 0$

$$\begin{pmatrix} A \\ a \\ b \\ c \\ d \end{pmatrix} := \text{Minerr}(A, a, b, c, d)$$

$$\begin{pmatrix} A \\ a \\ b \\ c \\ d \end{pmatrix} = \mathbf{0}$$

$$Er_i := \frac{dP_{lineal_i} - \left[\left(4 \cdot \frac{L_i}{Dh_{gas_i}} \right) \cdot \frac{\left[A \cdot (Re_{gas_i})^a \cdot (\alpha_i)^b \cdot (\delta_i)^c \cdot (\gamma_i)^d \right]}{2} \cdot inv_dens_i \cdot (G_i)^2 \right]}{dP_{lineal_i}}$$

$$Error := \frac{\sum_i |Er_i|}{n} \quad Error = \blacksquare$$

