

Trabajo Fin de Máster

ANEXOS

Análisis de los recuperadores de calor rotativos en
las Unidades de Tratamiento de Aire

Analysis rotary heat exchangers in Air Handling
Units

Autor

Sergio Herranz Hijazo

Director

Carlos Monné Bailo

Máster Universitario en Ingeniería Industrial

Escuela de Ingeniería y Arquitectura
2023

ANEXO I: Condiciones higrotérmicas exteriores

En las siguientes tablas se recogen las condiciones higrotérmicas exteriores de las cinco ciudades estudiadas.

Tabla 22. Condiciones higrotérmicas exteriores de Madrid.

MADRID (Altitud: 668 m)					
Intervalo	Nº Registros (h)	$T_{i\text{suministro}} (^{\circ}\text{C})$	$HR_{i\text{suministro}} (\%)$	$W_{i\text{suministro}} (\text{kg}_v/\text{kg}_{as})$	$h_{i\text{suministro}} (\text{kJ}/\text{kg}_{as})$
-3<=T<-1	116	-1,7	85,1	0,00302	5,828
-1<=T<1	294	0,1	82,7	0,00344	8,702
1<=T<3	503	2,1	80,8	0,00388	11,840
3<=T<5	610	4	78,2	0,00430	14,818
5<=T<7	663	6,1	75,8	0,00483	18,280
7<=T<9	759	8	71,9	0,00523	21,197
9<=T<11	664	9,9	65,4	0,00541	23,582
11<=T<13	637	12	60,6	0,00576	26,619
13<=T<15	601	14	57,6	0,00625	29,880
15<=T<17	553	16	55,5	0,00686	33,452
17<=T<18	255	17,5	50,7	0,00689	35,066
18<=T<19	285	18,5	48,9	0,00708	36,565
19<=T<20	290	19,5	44,8	0,00690	37,134
20<=T<21	262	20,5	44,7	0,00733	39,245
21<=T<22	254	21,5	41,7	0,00728	40,115
22<=T<23	227	22,5	41	0,00761	41,979
23<=T<25	408	23,9	35,6	0,00718	42,330
25<=T<27	329	26	30	0,00686	43,641
27<=T<29	312	27,9	25,4	0,00649	44,634
29<=T<31	283	29,9	22,5	0,00645	46,580
31<=T<33	225	31,9	19,8	0,00637	48,388
33<=T<35	172	34	16,5	0,00596	49,499
35<=T	58	35,9	13,3	0,00534	49,817
TOTAL	8760				

Tabla 23. Condiciones higrotérmicas exteriores de Zaragoza.

ZARAGOZA (Altitud: 224 m)					
Intervalo	Nº Registros (h)	$T_{i\text{suministro}} (^{\circ}\text{C})$	$HR_{i\text{suministro}} (\%)$	$W_{i\text{suministro}} (\text{kg}_v/\text{kg}_{as})$	$h_{i\text{suministro}} (\text{kJ}/\text{kg}_{as})$
-5<=T<-3	7	-3,2	88,2	0,00261	3,302
-3<=T<-1	63	-2,1	78,1	0,00254	4,225
-1<=T<1	182	0,1	81,4	0,00321	8,126
1<=T<3	199	2,1	81,7	0,00372	11,437
3<=T<5	366	4,1	80,5	0,00423	14,735
5<=T<7	583	6,1	78,6	0,00475	18,074
7<=T<9	854	8	77,4	0,00534	21,472
9<=T<11	761	9,9	74,5	0,00584	24,684
11<=T<13	716	12	69,6	0,00628	27,927
13<=T<15	647	14	67	0,00690	31,524
15<=T<17	716	16	65,6	0,00770	35,574
17<=T<18	323	17,5	62,4	0,00806	38,021
18<=T<19	320	18,5	62,9	0,00866	40,564
19<=T<20	325	19,5	58	0,00850	41,175
20<=T<21	317	20,5	56,6	0,00883	43,034
21<=T<22	318	21,5	53,7	0,00891	44,260
22<=T<23	290	22,5	49	0,00863	44,592
23<=T<25	458	24	44,7	0,00862	46,099
25<=T<27	391	26	38,4	0,00834	47,428
27<=T<29	312	28	34,5	0,00843	49,697
29<=T<31	238	29,9	29,5	0,00804	50,645
31<=T<33	171	32	25,4	0,00780	52,175
33<=T<35	134	34	21,7	0,00746	53,323
35<=T	69	36,3	20	0,00781	56,573
TOTAL	8760				

Tabla 24. Condiciones higrotérmicas exteriores de Múnich.

MÚNICH (Altitud: 526 m)					
Intervalo	Nº Registros (h)	$T_{i\text{suministro}} (^{\circ}\text{C})$	$HR_{i\text{suministro}} (\%)$	$W_{i\text{suministro}} (\text{kg}_v/\text{kg}_{as})$	$h_{i\text{suministro}} (\text{kJ}/\text{kg}_{as})$
$T < -7$	29	-9,3	88,2	0,00160	-5,387
$-7 \leq T < -5$	49	-5,9	83,9	0,00205	-0,841
$-5 \leq T < -3$	167	-3,8	79,3	0,00231	1,950
$-3 \leq T < -1$	427	-1,9	81,3	0,00279	5,047
$-1 \leq T < 1$	721	0	84,6	0,00343	8,587
$1 \leq T < 3$	669	2	83,9	0,00394	11,871
$3 \leq T < 5$	777	4,1	82,9	0,00452	15,458
$5 \leq T < 7$	776	6	82,4	0,00513	18,929
$7 \leq T < 9$	687	8	78,3	0,00560	22,134
$9 \leq T < 11$	760	10	79,7	0,00653	26,521
$11 \leq T < 13$	804	12	76,8	0,00720	30,237
$13 \leq T < 15$	760	14	73,8	0,00789	34,032
$15 \leq T < 17$	763	16	72,3	0,00881	38,392
$17 \leq T < 18$	303	17,5	67,9	0,00911	40,675
$18 \leq T < 19$	224	18,5	69,4	0,00992	43,774
$19 \leq T < 20$	196	19,5	68,4	0,01042	46,056
$20 \leq T < 21$	159	20,5	61,1	0,00990	45,748
$21 \leq T < 22$	121	21,4	61,8	0,01059	48,436
$22 \leq T < 23$	88	22,5	59,3	0,01087	50,282
$23 \leq T < 25$	142	23,9	60,5	0,01210	54,833
$25 \leq T < 27$	85	25,9	55,3	0,01247	57,832
$27 \leq T < 29$	42	27,8	51,1	0,01289	60,870
$29 \leq T < 31$	8	29,6	47,2	0,01322	63,577
$31 \leq T < 33$	3	31,3	48,8	0,01511	70,167
TOTAL	8760				

Tabla 25. Condiciones higrotérmicas exteriores de Londres.

LONDRES (Altitud: 33 m)					
Intervalo	Nº Registros (h)	T _{isuministro} (°C)	HR _{isuministro} (%)	W _{isuministro} (kg v/kg as)	h _{isuministro} (kJ/kg as)
-7<=T<-5	15	-5,7	86,2	0,00202	-0,713
-5<=T<-3	47	-3,8	87,6	0,00241	2,191
-3<=T<-1	240	-1,8	88,4	0,00288	5,385
-1<=T<1	367	0	87,7	0,00336	8,392
1<=T<3	441	2	88,2	0,00390	11,784
3<=T<5	577	4,1	86,8	0,00446	15,313
5<=T<7	812	6	86	0,00505	18,721
7<=T<9	965	8	84,7	0,00571	22,417
9<=T<11	965	10	82,8	0,00640	26,181
11<=T<13	1026	12	81,1	0,00717	30,157
13<=T<15	988	14	80,3	0,00810	34,556
15<=T<17	937	16	76,6	0,00880	38,369
17<=T<18	341	17,5	72,2	0,00913	40,736
18<=T<19	287	18,5	67,5	0,00909	41,657
19<=T<20	240	19,5	64,4	0,00923	43,044
20<=T<21	171	20,4	62,1	0,00942	44,432
21<=T<22	125	21,5	61,3	0,00996	46,925
22<=T<23	105	22,5	55,7	0,00961	47,071
23<=T<25	85	23,8	53,4	0,00997	49,326
25<=T<27	26	25,8	52,8	0,01113	54,331
TOTAL	8760				

Tabla 26. Condiciones higrotérmicas exteriores de Cluj-Napoca.

CLUJ-NAPOCA (Altitud: 350 m)					
Intervalo	Nº Registros (h)	T _{i suministro} (°C)	HR _{i suministro} (%)	W _{i suministro} (kg v/kg as)	h _{i suministro} (kJ/kg as)
T<-7	288	-10,4	73,5	0,00118	-7,529
-7<=T<-5	231	-6	78,2	0,00185	-1,428
-5<=T<-3	280	-3,9	78,4	0,00222	1,616
-3<=T<-1	619	-2	84,3	0,00281	4,994
-1<=T<1	616	0	85,4	0,00339	8,487
1<=T<3	591	2	85,3	0,00392	11,826
3<=T<5	516	4	85	0,00450	15,322
5<=T<7	506	6	82,4	0,00502	18,658
7<=T<9	561	7,9	79,1	0,00550	21,783
9<=T<11	488	10	76,5	0,00614	25,521
11<=T<13	505	12	76,7	0,00704	29,830
13<=T<15	602	14	77	0,00807	34,469
15<=T<17	661	16	76,9	0,00918	39,330
17<=T<18	375	17,5	74,7	0,00982	42,485
18<=T<19	345	18,5	72,6	0,01017	44,395
19<=T<20	276	19,5	67,8	0,01011	45,265
20<=T<21	268	20,5	66,9	0,01062	47,590
21<=T<22	206	21,5	64,7	0,01093	49,398
22<=T<23	212	22,5	62,5	0,01123	51,182
23<=T<25	338	23,9	58,6	0,01146	53,215
25<=T<27	216	25,8	51,5	0,01128	54,704
27<=T<29	48	27,6	46,1	0,01122	56,413
29<=T<31	12	29,5	40,7	0,01106	57,951
TOTAL	8760				



ANEXO II: Condiciones del aire de suministro a la salida del recuperador

En las siguientes tablas se presentan las condiciones de la corriente de aire de suministro a la salida del recuperador ($T_{o \text{ recuperador}}$, $HR_{o \text{ recuperador}}$ y $W_{o \text{ recuperador}}$), obtenidas mediante la herramienta de cálculo desarrollada, para las condiciones del aire exterior medias de cada intervalo expuestas en el Anexo I ($T_{i \text{ suministro}}$ y $HR_{i \text{ suministro}}$) para las cinco ciudades analizadas.

MADRID

Tabla 27. Condiciones de salida y modos de control para el recuperador de condensación ubicado en Madrid.

RECUPERADOR DE CONDENSACIÓN					
Intervalo	n (rpm)	$T_{o \text{ recuperador}}$ ($^{\circ}\text{C}$)	$HR_{o \text{ recuperador}}$ (%)	$W_{o \text{ recuperador}}$ ($\text{kg}_v/\text{kg}_{as}$)	Modo de control
$(-3) \leq T < -1$	12	17,8	42,9	0,00591	1
$(-1) \leq T < 1$	12	18,2	41,7	0,00593	1
$1 \leq T < 3$	12	18,7	40,7	0,00597	1
$3 \leq T < 5$	12	19,2	39,9	0,00603	1
$5 \leq T < 7$	12	19,7	39,7	0,00618	1
$7 \leq T < 9$	12	20,1	39,2	0,00627	1
$9 \leq T < 11$	12	20,5	37,8	0,00621	1
$11 \leq T < 13$	12	21	34,2	0,00576	1
$13 \leq T < 15$	12	21,4	36,2	0,00625	1
$15 \leq T < 17$	12	21,8	38,7	0,00686	1
$17 \leq T < 18$	12	22	38,2	0,00689	1
$18 \leq T < 19$	3	22,1	39,2	0,00708	2
$19 \leq T < 20$	2	22,1	38,1	0,0069	2
$20 \leq T < 21$	2	22,4	39,8	0,00733	2
$21 \leq T < 22$	1	22,2	40,1	0,00728	2
$22 \leq T < 23$	0	22,5	41	0,00761	3
$23 \leq T < 25$	12	23,1	37,3	0,00718	4
$25 \leq T < 27$	12	23,5	34,9	0,00686	4
$27 \leq T < 29$	12	23,8	32,5	0,00649	4
$29 \leq T < 31$	12	24	31,7	0,00645	4
$31 \leq T < 33$	12	24,3	30,8	0,00637	4
$33 \leq T < 35$	12	24,6	28,4	0,00596	4
$35 \leq T$	12	24,8	25,1	0,00534	4



Tabla 28. Condiciones de salida y modos de control para el recuperador de energía ubicado en Madrid.

RECUPERADOR DE ENERGÍA					
Intervalo	n (rpm)	T _{o recuperador} (°C)	HR _{o recuperador} (%)	W _{o recuperador} (kg _v /kg _{as})	Modo de control
(-3)<=T<-1	17	17,4	59,6	0,00806	1
(-1)<=T<1	17	17,9	58,6	0,00818	1
1<=T<3	17	18,4	57,6	0,00831	1
3<=T<5	17	18,9	56,6	0,00842	1
5<=T<7	17	19,4	55,6	0,00856	1
7<=T<9	17	19,9	54,7	0,00866	1
9<=T<11	17	20,3	53,6	0,00872	1
11<=T<13	17	20,8	52,6	0,00881	1
13<=T<15	17	21,2	51,9	0,00892	1
15<=T<17	17	21,6	51,3	0,00906	1
17<=T<18	17	21,9	50,5	0,00908	1
18<=T<19	9	22	50,2	0,00907	2
19<=T<20	5	22	49,6	0,00895	2
20<=T<21	4	22,2	49,4	0,00901	2
21<=T<22	3	22,2	49	0,00892	2
22<=T<23	0	22,5	41	0,00761	3
23<=T<25	6	23	47,5	0,00912	4
25<=T<27	4	23,3	46,2	0,00901	4
27<=T<29	5	23,7	45,1	0,00902	4
29<=T<31	4	24	44,1	0,009	4
31<=T<33	4	24,4	43,2	0,00902	4
33<=T<35	4	24,7	42,1	0,00897	4
35<=T	8	24,9	41,9	0,00902	4



ZARAGOZA

Tabla 29. Condiciones de salida y modos de control para el recuperador de condensación ubicado en Zaragoza.

RECUPERADOR DE CONDENSACIÓN					
Intervalo	n (rpm)	T _{o recuperador} (°C)	HR _{o recuperador} (%)	W _{o recuperador} (kg v/kg as)	Modo de control
(-5) ≤ T < -3	12	17,2	45	0,00566	1
(-3) ≤ T < -1	12	17,5	42,2	0,00541	1
(-1) ≤ T < 1	12	18	41,9	0,00558	1
1 ≤ T < 3	12	18,6	41,4	0,00569	1
3 ≤ T < 5	12	19,1	41	0,00582	1
5 ≤ T < 7	12	19,6	40,9	0,00599	1
7 ≤ T < 9	12	20	41,6	0,00627	1
9 ≤ T < 11	12	20,4	42,1	0,00651	1
11 ≤ T < 13	12	20,9	39,5	0,00628	1
13 ≤ T < 15	12	21,3	42,3	0,0069	1
15 ≤ T < 17	12	21,7	45,9	0,0077	1
17 ≤ T < 18	12	22	47,2	0,00806	1
18 ≤ T < 19	3	22	50,6	0,00866	2
19 ≤ T < 20	2	22,1	49,5	0,0085	2
20 ≤ T < 21	2	22,4	50,5	0,00883	2
21 ≤ T < 22	1	22,1	51,7	0,00891	2
22 ≤ T < 23	0	22,5	49	0,00863	3
23 ≤ T < 25	12	23,2	47	0,00862	4
25 ≤ T < 27	12	23,5	44,6	0,00834	4
27 ≤ T < 29	12	23,8	44,2	0,00843	4
29 ≤ T < 31	12	24,1	41,5	0,00804	4
31 ≤ T < 33	12	24,4	39,5	0,0078	4
33 ≤ T < 35	12	24,7	37,2	0,00746	4
35 ≤ T	12	25	38,2	0,00781	4



Tabla 30. Condiciones de salida y modos de control para el recuperador de energía ubicado en Zaragoza.

RECUPERADOR DE ENERGÍA					
Intervalo	n (rpm)	T _{o recuperador} (°C)	HR _{o recuperador} (%)	W _{o recuperador} (kg _v /kg _{as})	Modo de control
(-5)≤T<-3	17	16,8	61	0,00751	1
(-3)≤T<-1	17	17,1	59,8	0,00751	1
(-1)≤T<1	17	17,7	58,8	0,00769	1
1≤T<3	17	18,3	57,9	0,00783	1
3≤T<5	17	18,8	56,9	0,00797	1
5≤T<7	17	19,3	56	0,0081	1
7≤T<9	17	19,8	55,4	0,00825	1
9≤T<11	17	20,2	54,6	0,00837	1
11≤T<13	17	20,7	53,7	0,00848	1
13≤T<15	17	21,2	53	0,00862	1
15≤T<17	17	21,6	52,6	0,00879	1
17≤T<18	17	21,9	52,1	0,00886	1
18≤T<19	0	18,5	62,9	0,00866	6
19≤T<20	3	22	51,7	0,00882	2
20≤T<21	0	20,5	56,6	0,00883	6
21≤T<22	0	21,5	53,7	0,00891	6
22≤T<23	0	22,5	49	0,00863	6
23≤T<25	0	24	44,7	0,00862	6
25≤T<27	3	23,6	47,6	0,00894	4
27≤T<29	2	24	46,5	0,00897	4
29≤T<31	2	24,3	45,2	0,00886	4
31≤T<33	2	24,7	43,9	0,00881	4
33≤T<35	2	24,9	42,6	0,0087	4
35≤T	2	25,7	41,6	0,00891	4



MÚNICH

Tabla 31. Condiciones de salida y modos de control para el recuperador de condensación ubicado en Múnich.

RECUPERADOR DE CONDENSACIÓN					
Intervalo	n (rpm)	T _{o recuperador} (°C)	HR _{o recuperador} (%)	W _{o recuperador} (kg v/kg as)	Modo de control
T<-7	12	15,5	51,9	0,00611	1
(-7)<=T<-5	12	16,5	46,5	0,00583	1
(-5)<=T<-3	12	17,1	43,5	0,00566	1
(-3)<=T<-1	12	17,6	42,4	0,0057	1
(-1)<=T<1	12	18,1	42,4	0,00589	1
1<=T<3	12	18,6	41,7	0,00598	1
3<=T<5	12	19,2	41,4	0,00614	1
5<=T<7	12	19,6	41,9	0,00639	1
7<=T<9	12	20,1	41,8	0,00655	1
9<=T<11	12	20,5	44,3	0,00653	1
11<=T<13	12	20,9	43,4	0,0072	1
13<=T<15	12	21,3	46,4	0,00789	1
15<=T<17	12	21,7	50,5	0,00881	1
17<=T<18	12	22	51,3	0,00911	1
18<=T<19	3	22,1	55,7	0,00992	2
19<=T<20	2	22,1	58,2	0,01042	2
20<=T<21	2	22,4	54,5	0,0099	2
21<=T<22	1	22,1	59,3	0,01059	2
22<=T<23	0	22,5	59,3	0,01087	3
23<=T<25	12	23,1	63,3	0,0121	4
25<=T<27	12	23,5	64	0,01247	4
27<=T<29	12	23,8	64,9	0,01289	4
29<=T<31	12	24	65,5	0,01322	4
31<=T<33	12	24,3	73,6	0,01511	4



Tabla 32. Condiciones de salida y modos de control para el recuperador de energía ubicado en Múnich.

RECUPERADOR DE ENERGÍA					
Intervalo	n (rpm)	T _{o recuperador} (°C)	HR _{o recuperador} (%)	W _{o recuperador} (kg _v /kg _{as})	Modo de control
T<-7	17	15,1	65,2	0,00747	1
(-7)<=T<-5	17	16,1	62,3	0,00763	1
(-5)<=T<-3	17	16,7	60,7	0,00773	1
(-3)<=T<-1	17	17,3	59,6	0,00787	1
(-1)<=T<1	17	17,8	58,9	0,00804	1
1<=T<3	17	18,3	57,9	0,00817	1
3<=T<5	17	18,9	57	0,00832	1
5<=T<7	17	19,4	56,3	0,00847	1
7<=T<9	17	19,9	55,3	0,00859	1
9<=T<11	17	20,3	55	0,0088	1
11<=T<13	17	20,8	54,3	0,00894	1
13<=T<15	17	21,2	53,7	0,00909	1
15<=T<17	17	21,7	53,4	0,00928	1
17<=T<18	17	22	52,7	0,00934	1
18<=T<19	0	18,5	69,4	0,00992	6
19<=T<20	0	19,5	68,4	0,01042	6
20<=T<21	0	20,5	61,1	0,0099	6
21<=T<22	17	22,7	51,8	0,00962	5
22<=T<23	17	22,9	51,4	0,00967	5
23<=T<25	17	23,2	51,7	0,00989	5
25<=T<27	17	23,6	51	0,00996	5
27<=T<29	17	23,9	50,4	0,01004	5
29<=T<31	17	24,2	49,8	0,01009	5
31<=T<33	17	24,5	48,8	0,01041	5

LONDRES

Tabla 33. Condiciones de salida y modos de control para el recuperador de condensación ubicado en Londres.

RECUPERADOR DE CONDENSACIÓN					
Intervalo	n (rpm)	T _{o recuperador} (°C)	HR _{o recuperador} (%)	W _{o recuperador} (kg v/kg as)	Modo de control
(-7)<=T<-5	12	16,3	47,4	0,00553	1
(-5)<=T<-3	12	16,9	45,6	0,00552	1
(-3)<=T<-1	12	17,5	44,3	0,00556	1
(-1)<=T<1	12	17,9	43,6	0,00564	1
1<=T<3	12	18,5	43,2	0,00578	1
3<=T<5	12	19	43	0,00595	1
5<=T<7	12	19,5	43,5	0,0062	1
7<=T<9	12	19,9	44,5	0,00653	1
9<=T<11	12	20,4	45,9	0,00694	1
11<=T<13	12	20,8	46,1	0,00717	1
13<=T<15	12	21,3	50,7	0,0081	1
15<=T<17	12	21,7	53,7	0,0088	1
17<=T<18	12	22	54,7	0,00913	1
18<=T<19	3	22	54,3	0,00909	2
19<=T<20	2	22,1	55	0,00923	2
20<=T<21	2	22,3	55,2	0,00942	2
21<=T<22	1	22,1	59	0,00996	2
22<=T<23	0	22,5	55,7	0,00961	3
23<=T<25	12	23,1	55,6	0,00997	4
25<=T<27	12	23,5	60,7	0,01113	4

Tabla 34. Condiciones de salida y modos de control para el recuperador de energía ubicado en Londres.

RECUPERADOR DE ENERGÍA					
Intervalo	n (rpm)	T _{o recuperador} (°C)	HR _{o recuperador} (%)	W _{o recuperador} (kg v/kg as)	Modo de control
(-7)<=T<-5	17	15,9	62,7	0,00715	1
(-5)<=T<-3	17	16,5	61,5	0,00727	1
(-3)<=T<-1	17	17,1	60,3	0,00741	1
(-1)<=T<1	17	17,6	59,4	0,00754	1
1<=T<3	17	18,2	58,5	0,00769	1
3<=T<5	17	18,7	57,5	0,00784	1
5<=T<7	17	19,2	56,8	0,00799	1
7<=T<9	17	19,7	56,1	0,00815	1
9<=T<11	17	20,2	55,5	0,00831	1
11<=T<13	17	20,7	54,9	0,00848	1
13<=T<15	17	21,2	54,6	0,00868	1
15<=T<17	17	21,6	54	0,00882	1
17<=T<18	17	21,9	53,4	0,00889	1
18<=T<19	0	18,5	67,5	0,00909	6
19<=T<20	0	19,5	64,4	0,00923	6
20<=T<21	0	20,4	62,1	0,00942	6
21<=T<22	17	22,7	51,8	0,00907	5
22<=T<23	17	22,9	50,9	0,00901	5
23<=T<25	17	23,2	50,6	0,00908	5
25<=T<27	17	23,6	50,6	0,0093	5



CLUJ-NAPOCA

Tabla 35. Condiciones de salida y modos de control para el recuperador de condensación ubicado en Cluj-Napoca.

RECUPERADOR DE CONDENSACIÓN					
Intervalo	n (rpm)	T _{o recuperador} (°C)	HR _{o recuperador} (%)	W _{o recuperador} (kg v/kg as)	Modo de control
T < -7	12	15,1	52,1	0,00584	1
(-7) <= T < -5	12	16,4	45,9	0,0056	1
(-5) <= T < -3	12	17	43,6	0,00552	1
(-3) <= T < -1	12	17,5	43,3	0,00566	1
(-1) <= T < 1	12	18,1	42,7	0,00579	1
1 <= T < 3	12	18,6	42,2	0,0059	1
3 <= T < 5	12	19,1	42,2	0,00609	1
5 <= T < 7	12	19,6	42,1	0,00626	1
7 <= T < 9	12	20	42,1	0,00644	1
9 <= T < 11	12	20,5	43	0,00678	1
11 <= T < 13	12	20,9	43,5	0,00704	1
13 <= T < 15	12	21,3	48,5	0,00807	1
15 <= T < 17	12	21,7	53,8	0,00918	1
17 <= T < 18	12	22	56,5	0,00982	1
18 <= T < 19	3	22	58,3	0,01017	2
19 <= T < 20	2	22,1	57,8	0,01011	2
20 <= T < 21	2	22,4	59,7	0,01062	2
21 <= T < 22	1	22,1	62,2	0,01093	2
22 <= T < 23	0	22,5	62,5	0,01123	3
23 <= T < 25	12	23,2	61,3	0,01146	4
25 <= T < 27	12	23,5	59,2	0,01128	4
27 <= T < 29	12	23,7	58	0,01122	4
29 <= T < 31	12	24	56,2	0,01106	4



Tabla 36. Condiciones de salida y modos de control para el recuperador de energía ubicado en Cluj-Napoca.

RECUPERADOR DE ENERGÍA					
Intervalo	n (rpm)	T _{o recuperador} (°C)	HR _{o recuperador} (%)	W _{o recuperador} (kg _v /kg _{as})	Modo de control
T<-7	17	14,6	65,9	0,00718	1
(-7)<=T<-5	17	16	62,3	0,00741	1
(-5)<=T<-3	17	16,6	60,8	0,00753	1
(-3)<=T<-1	17	17,2	60	0,00769	1
(-1)<=T<1	17	17,7	59,1	0,00785	1
1<=T<3	17	18,3	58,1	0,008	1
3<=T<5	17	18,8	57,2	0,00815	1
5<=T<7	17	19,3	56,3	0,00828	1
7<=T<9	17	19,8	55,5	0,0084	1
9<=T<11	17	20,3	54,7	0,00855	1
11<=T<13	17	20,8	54,4	0,00874	1
13<=T<15	17	21,2	54,1	0,00896	1
15<=T<17	17	21,7	54	0,00918	1
17<=T<18	17	22	53,6	0,0093	1
18<=T<19	0	18,5	72,6	0,01017	6
19<=T<20	0	19,5	67,8	0,01011	6
20<=T<21	17	22,6	52,6	0,00946	5
21<=T<22	17	22,8	52,3	0,00952	5
22<=T<23	17	23	52	0,00957	5
23<=T<25	17	23,2	51,4	0,00962	5
25<=T<27	17	23,5	50,3	0,0096	5
27<=T<29	17	23,8	49,4	0,0096	5
29<=T<31	17	24,1	48,5	0,00958	5

ANEXO III: Imágenes de la herramienta de cálculo

Seguidamente se adjuntan unas imágenes de la herramienta de cálculo implementada en Microsoft Excel para su visualización. La herramienta de cálculo se ha desarrollado en las siguientes seis hojas de cálculo: “Hoja de usuario”, “Recup. Energía Verano”, “Recup. Energía Invierno”, “Recup. Condensación Verano”, “Recup. Condensación Invierno” y “Listas de Datos”.

HOJA DE USUARIO

DATOS DEL AIRE		INVIERNO		VERANO		RESULTADOS		INVIERNO		VERANO	
		Suministro	Extracción	Suministro	Extracción			Suministro	Extracción	Suministro	Extracción
Caudal del aire de entrada [q _v]	m³/s	2,5	2,5	2,5	2,5	Caudal máximo de aire seco [m]	kg./s	2,748	2,748	2,567	2,748
Temperatura entrada [T]	°C	24	23	34	23	Caudal de gases [g]	Pa	67	67	63	67
Humedad relativa entrada [HR]	%	68	58	55	58	Eficiencia sensible [ε]	X	84	84	85	85
Altitud [Z]	m	558				Eficiencia latente [β]	X	8	8	8	8
Presión del aire entrante [P _a]	Pa	95553				Eficiencia total [β]	X	13	13	23	23
DATOS DEL RECUPERADOR						Temperatura salida [T _s]	°C	22,7	24,3	24,6	22,4
Diámetro exterior del rotor [D _e]	mm	2888				Humedad relativa entrada [HR]	%	68	58	55	58
Diámetro interior del rotor [D _i]	mm	288				Humedad relativa salida [HR _s]	%	55,4	55,4	55,3	55,4
Longitud del rotor [L]	mm	288				Humedad vapor fina entrada [W]	kg./kg.	8,88676	8,88553	8,88672	8,88553
Altura de onda [a]	mm	2				Humedad vapor fina salida [W _s]	kg./kg.	8,88676	8,88553	8,88672	8,88553
Longitud de onda [λ]	mm	3,3				Calor a vapor fina entrada [Q _v]	kJ/kg.	38,382	47,548	47,336	47,548
Relación de superficie [a/λ]	mm²/mm	0,61				Calor a vapor fina salida [Q _s]	kJ/kg.	39,338	45,826	45,514	45,843
Exponente térmico [n]	mm	0,85				Velocidad del aire caliente [v]	m/s	5,61	5,61	5,61	5,61
Velocidad de rotación [rpm]	rpm	12				Calor sensible recuperado [Q]	MW	4,7		25,2	
Material de la matriz		Aluminio				Calor latente recuperado [Q]	MW	8,8		8,8	
						Calor total recuperado [Q]	MW	4,6		25,2	
LÍMITES DE LAS CORRELACIONES						ADVERTENCIAS Y ERRORES					
ALUMINIO CON SILICA GEL - RECUPERADOR ENTÁLICO						INVIERNO					
INVIERNO	n	-	HTU ₁	-		Caudal máximo de aire seco [m]	Caudal máximo de aire seco 0%.				
	H'	-	Cr ₁	-		Caudal de gases [g]	Caudal de gases 0%.				
VERANO	Cr ₁ /Cr ₂	-	W ₁	-		Eficiencia sensible [ε]	Eficiencia sensible 0%.				
	H'	-	HTU ₂	-		Eficiencia latente [β]	Eficiencia latente 0%.				
						Eficiencia total [β]	Eficiencia total 0%.				
						Temperatura salida [T _s]	Temperatura a la salida 0%.				
						Humedad relativa salida [HR _s]	Humedad relativa a la salida 0%.				
						Humedad vapor fina entrada [W]	Humedad vapor fina a la salida 0%.				
						Calor a vapor fina entrada [Q _v]	Calor a vapor fina a la salida 0%.				
						Velocidad del aire caliente [v]	Velocidad del aire caliente 0%.				
						Calor sensible recuperado [Q]	Calor sensible recuperado 0%.				
						Calor latente recuperado [Q]	ADVERTENCIA: El valor latente es negativo ya que el aire caliente cede calor a los gases de escape, mientras que el calor sensible es positivo ya que el aire caliente cede calor a los gases de escape.				
						Calor total recuperado [Q]	Calor latente recuperado 0%.				
						Calor total recuperado [Q]	Calor total recuperado 0%.				
						Calor total recuperado [Q]	Calor total recuperado 0%.				
						Calor total recuperado [Q]	Calor total recuperado 0%.				
						Calor total recuperado [Q]	Calor total recuperado 0%.				
						Calor total recuperado [Q]	Calor total recuperado 0%.				
						Calor total recuperado [Q]	Calor total recuperado 0%.				
						Calor total recuperado [Q]	Calor total recuperado 0%.				
						Calor total recuperado [Q]	Calor total recuperado 0%.				
						Calor total recuperado [Q]	Calor total recuperado 0%.				
						Calor total recuperado [Q]	Calor total recuperado 0%.				
						Calor total recuperado [Q]	Calor total recuperado 0%.				
						Calor total recuperado [Q]	Calor total recuperado 0%.				
						Calor total recuperado [Q]	Calor total recuperado 0%.				
						Calor total recuperado [Q]	Calor total recuperado 0%.				
						Calor total recuperado [Q]	Calor total recuperado 0%.				
						Calor total recuperado [Q]	Calor total recuperado 0%.				
						Calor total recuperado [Q]	Calor total recuperado 0%.				
						Calor total recuperado [Q]	Calor total recuperado 0%.				
						Calor total recuperado [Q]	Calor total recuperado 0%.				
						Calor total recuperado [Q]	Calor total recuperado 0%.				
						Calor total recuperado [Q]	Calor total recuperado 0%.				
						Calor total recuperado [Q]	Calor total recuperado 0%.				
						Calor total recuperado [Q]	Calor total recuperado 0%.				
						Calor total recuperado [Q]	Calor total recuperado 0%.				
						Calor total recuperado [Q]	Calor total recuperado 0%.				
						Calor total recuperado [Q]	Calor total recuperado 0%.				
						Calor total recuperado [Q]	Calor total recuperado 0%.				
						Calor total recuperado [Q]	Calor total recuperado 0%.				
						Calor total recuperado [Q]	Calor total recuperado 0%.				
						Calor total recuperado [Q]	Calor total recuperado 0%.				
						Calor total recuperado [Q]	Calor total recuperado 0%.				
						Calor total recuperado [Q]	Calor total recuperado 0%.				
						Calor total recuperado [Q]	Calor total recuperado 0%.				
						Calor total recuperado [Q]	Calor total recuperado 0%.				
						Calor total recuperado [Q]	Calor total recuperado 0%.				
						Calor total recuperado [Q]	Calor total recuperado 0%.				
						Calor total recuperado [Q]	Calor total recuperado 0%.				
						Calor total recuperado [Q]	Calor total recuperado 0%.				
						Calor total recuperado [Q]	Calor total recuperado 0%.				
						Calor total recuperado [Q]	Calor total recuperado 0%.				
						Calor total recuperado [Q]	Calor total recuperado 0%.				
						Calor total recuperado [Q]	Calor total recuperado 0%.				
						Calor total recuperado [Q]	Calor total recuperado 0%.				
						Calor total recuperado [Q]	Calor total recuperado 0%.				
						Calor total recuperado [Q]	Calor total recuperado 0%.				
						Calor total recuperado [Q]	Calor total recuperado 0%.				
						Calor total recuperado [Q]	Calor total recuperado 0%.				
						Calor total recuperado [Q]	Calor total recuperado 0%.				
						Calor total recuperado [Q]	Calor total recuperado 0%.				
						Calor total recuperado [Q]	Calor total recuperado 0%.				
						Calor total recuperado [Q]	Calor total recuperado 0%.				
						Calor total recuperado [Q]	Calor total recuperado 0%.				
						Calor total recuperado [Q]	Calor total recuperado 0%.				
						Calor total recuperado [Q]	Calor total recuperado 0%.				
						Calor total recuperado [Q]	Calor total recuperado 0%.				
						Calor total recuperado [Q]	Calor total recuperado 0%.				
						Calor total recuperado [Q]	Calor total recuperado 0%.				
						Calor total recuperado [Q]	Calor total recuperado 0%.				
						Calor total recuperado [Q]	Calor total recuperado 0%.				
						Calor total recuperado [Q]	Calor total recuperado 0%.				
						Calor total recuperado [Q]	Calor total recuperado 0%.				
						Calor total recuperado [Q]	Calor total recuperado 0%.				
						Calor total recuperado [Q]	Calor total recuperado 0%.				
						Calor total recuperado [Q]	Calor total recuperado 0%.				
						Calor total recuperado [Q]	Calor total recuperado 0%.				
						Calor total recuperado [Q]	Calor total recuperado 0%.				
						Calor total recuperado [Q]	Calor total recuperado 0%.				
						Calor total recuperado [Q]	Calor total recuperado 0%.				
						Calor total recuperado [Q]	Calor total recuperado 0%.				
						Calor total recuperado [Q]	Calor total recuperado 0%.				
						Calor total recuperado [Q]	Calor total recuperado 0%.				
						Calor total recuperado [Q]	Calor total recuperado 0%.				
						Calor total recuperado [Q]	Calor total recuperado 0%.				
						Calor total recuperado [Q]	Calor total recuperado 0%.				
						Calor total recuperado [Q]	Calor total recuperado 0%.				
						Calor total recuperado [Q]	Calor total recuperado 0%.				
						Calor total recuperado [Q]	Calor total recuperado 0%.				
						Calor total recuperado [Q]	Calor total recuperado 0%.				
						Calor total recuperado [Q]	Calor total recuperado 0%.				
						Calor total recuperado [Q]	Calor total recuperado 0%.				
						Calor total recuperado [Q]	Calor total recuperado 0%.				
						Calor total recuperado [Q]	Calor total recuperado 0%.				
						Calor total recuperado [Q]	Calor total recuperado 0%.				
						Calor total recuperado [Q]	Calor total recuperado 0%.				
						Calor total recuperado [Q]	Calor total recuperado 0%.				
						Calor total recuperado [Q]	Calor total recuperado 0%.				
						Calor total recuperado [					

Figura 21. Visualización completa de la hoja de usuario.

DATOS DEL AIRE		INVIERNO		VERANO	
		Suministro	Extracción	Suministro	Extracción
Caudal del aire de entrada (q_v)	m ³ /s	3	3	3	3
Temperatura entrada (T _i)	°C	1	22	33	23
Humedad relativa entrada (HR _i)	%	75	50	32	50
Altitud (Z)	m	360			
Presión del aire entrante (P_{atm})	Pa	97074			

Figura 22. Datos de entrada del aire.

DATOS DEL RECUPERADOR					
Diámetro exterior del rotor (D_{ext})	mm	1800			
Diámetro interior del rotor (D_{int})	mm	366,8			
Longitud del rotor (L)	mm	200			
Altura de onda (wh)	mm	2			
Longitud de onda (b)	mm	3,9			
Relación de aspecto (wh/b)		0,51			
Espesor láminas (s)	mm	0,05			
Velocidad de rotación (n)	rpm	12			
Material de la matriz		Aluminio con Sílica gel			

Figura 23. Datos de entrada del recuperador.

LÍMITES DE LAS CORRELACIONES					
ALUMINIO CON SÍLICA GEL - RECUPERADOR DE ENERGÍA					
INVIERNO	η	-	NTU_{eq}	-	
	H^*	-	Cr^*_{eq}	-	
	Cr^*_{eq}/Crm^*_{eq}	-	Wm	-	
VERANO	η	-	NTU_{eq}	-	
	H^*	-	Cr^*_{eq}	-	
	Cr^*_{eq}/Crm^*_{eq}	-	Wm	-	
ALUMINIO - RECUPERADOR DE CONDENSACIÓN (INVIERNO)					
INVIERNO	ADVERTENCIA. Las correlaciones utilizadas para obtener la Eficiencia latente (ϵ_l) en invierno son válidas para los siguientes valores de los parámetros:				
	q_{vi} [m^3/s]	$q_{vih} = q_{vic}$ Ok.	v [m/s]	v Ok.	
	Z [m]	Z <> 360 m Fuera de rango.	$T_{i, sum}$ [°C]	T_{ci} Fuera de rango.	
	L [mm]	L = 200 mm Ok.	$T_{i, ext}$ [°C]	Thi Ok.	
	wh [mm]	wh = 2 mm Ok.	$HR_{i, sum}$ [%]	HRci Ok.	
	b [mm]	b = 3,9 mm Ok.	$HR_{i, ext}$ [%]	HRhi Ok.	
	s [mm]	s = 0,05 mm Ok.	n [rpm]	n Ok.	
	ADVERTENCIA. Al utilizar valores diferentes a los especificados, tanto las Eficiencias latentes como las Eficiencias totales, las Humedades relativas a la salida, las Humedades específicas a la salida, los Calores latentes y los Calores totales recuperados, no serán calculados/estimados correctamente.				

Figura 24. Límites de las correlaciones que permiten obtener las eficiencias de los recuperadores.

RESULTADOS		INVIERNO		VERANO	
		Suministro	Extracción	Suministro	Extracción
Caudal másico de aire seco (m_{as})	kg _{as} /s	3,118	2,813	2,715	2,813
Caída de presión (Δp)	Pa	63	67	69	67
Eficiencia sensible (ϵ_s)	%	85	85	85	85
Eficiencia latente (ϵ_l)	%	50	73	0	0
Eficiencia total (ϵ_t)	%	72	81	63	63
Temperatura entrada (T_i)	°C	-3	23	33	23
Temperatura salida (T_o)	°C	17,3	0,8	24,5	31,2
Humedad relativa entrada (HR_i)	%	75	50	32	50
Humedad relativa salida (HR_o)	%	42,1	98,3	52,3	30,9
Humedad específica entrada (W_i)	kg _v /kg _{as}	0,00230	0,00924	0,01062	0,00924
Humedad específica salida (W_o)	kg _v /kg _{as}	0,00543	0,00416	0,01062	0,00924
Entalpía específica entrada (h_i)	kJ/kg _{as}	2,711	46,642	60,411	46,642
Entalpía específica salida (h_o)	kJ/kg _{as}	31,123	11,239	51,700	55,050
Velocidad del aire entrante (v)	m/s	1,61	1,61	1,61	1,61
Calor sensible recuperado (Q_s)	kW	63,9		23,7	
Calor latente recuperado (Q_l)	kW	24,7		0,0	
Calor total recuperado (Q_t)	kW	88,6		23,7	

Figura 25. Presentación de resultados.



ADVERTENCIAS Y ERRORES	
INVIERNO	
Caudal másico de aire seco (m_{as})	Caudal másico de aire seco Ok.
Caída de presión (Δp)	Caída de presión Ok.
Eficiencia sensible (ϵ_s)	ERROR. Revisar los rangos de los parámetros de las correlaciones.
Eficiencia latente (ϵ_l)	Eficiencia latente Ok.
Eficiencia total (ϵ_t)	Eficiencia total Ok.
Temperatura salida (T_o)	Temperatura a la salida Ok.
Humedad relativa salida (HR_o)	Humedad relativa a la salida Ok.
Humedad específica salida (W_o)	Humedad específica a la salida Ok.
Entalpía específica salida (h_o)	Entalpía específica a la salida Ok.
Velocidad del aire entrante (v)	Velocidad del aire entrante Ok.
Calor sensible recuperado (Q_s)	Calor sensible recuperado Ok.
Calor latente recuperado (Q_l)	Calor latente recuperado Ok.
Calor total recuperado (Q_t)	Calor total recuperado Ok.
VERANO	
Caudal másico de aire seco (m_{as})	Caudal másico de aire seco Ok.
Caída de presión (Δp)	Caída de presión Ok.
Eficiencia sensible (ϵ_s)	Eficiencia sensible Ok.
Eficiencia latente (ϵ_l)	Eficiencia latente Ok.
Eficiencia total (ϵ_t)	La eficiencia total es mayor que el 100 % ya que la diferencia entre la entalpía específica de entrada del aire caliente y frío es pequeña ($Q_{max s} > Q_{max t}$).
Temperatura salida (T_o)	Temperatura a la salida Ok.
Humedad relativa salida (HR_o)	Humedad relativa a la salida Ok.
Humedad específica salida (W_o)	Humedad específica a la salida Ok.
Entalpía específica salida (h_o)	Entalpía específica a la salida Ok.
Velocidad del aire entrante (v)	Velocidad del aire entrante Ok.
Calor sensible recuperado (Q_s)	Calor sensible recuperado Ok.
Calor latente recuperado (Q_l)	Calor latente recuperado Ok.
Calor total recuperado (Q_t)	Calor total recuperado Ok.

Figura 26. Notificación de posibles advertencias y errores.

RECUP. ENERGÍA VERANO

DATOS DEL AIRE	
Caudal de entrada aire caliente ($q_{v,h,i}$) [m^3/s]	2,5
Caudal de entrada aire frío ($q_{v,c,i}$) [m^3/s]	2,5
Temperatura de entrada aire caliente ($T_{h,i}$) [$^{\circ}C$]	28
Temperatura de entrada aire frío ($T_{c,i}$) [$^{\circ}C$]	23
Humedad relativa de entrada aire caliente ($HR_{h,i}$) [%]	48
Humedad relativa de entrada aire frío ($HR_{c,i}$) [%]	50
Altitud (Z) [m]	668
Presión atmosférica (P_{atm}) [Pa]	93553,3298
Temperatura promedio entre las condiciones de entrada ($T_{av,e}$) [K]	298,623427
Hum. relativa promedio entre las condiciones de entrada ($HR_{av,e}$)	0,49010629
Humedad específica de entrada aire caliente ($w_{h,i}$) [kg_v/kg_{ar}]	0,01245198
Humedad específica de entrada aire frío ($w_{c,i}$) [kg_v/kg_{ar}]	0,00959296
Entalpía específica de entrada aire caliente ($h_{h,i}$) [J/kg_{ar}]	59958,9128
Entalpía específica de entrada aire frío ($h_{c,i}$) [J/kg_{ar}]	47540,3909
Calor específico del aire caliente ($c_{p,h}$) [$J/kg_{ar}^{\circ}C$]	1030,16069
Calor específico del aire frío ($c_{p,c}$) [$J/kg_{ar}^{\circ}C$]	1024,74291
Densidad de entrada del aire caliente ($\rho_{h,i}$) [kg_{ar}/m^3]	1,07436797
Densidad de entrada del aire frío ($\rho_{c,i}$) [kg_{ar}/m^3]	1,09435756
Volumen específico de entrada del aire caliente ($ve_{h,i}$) [m^3/kg_{ar}]	0,94249312
Volumen específico de entrada del aire frío ($ve_{c,i}$) [m^3/kg_{ar}]	0,9226679
Viscosidad del aire caliente (μ_h) [kg/ms]	1,85E-05
Viscosidad del aire frío (μ_c) [kg/ms]	1,83E-05
Caudal másico de aire seco caliente ($m_{ar,h}$) [kg_{ar}/s]	2,65253926
Caudal másico de aire seco frío ($m_{ar,c}$) [kg_{ar}/s]	2,70953395
Caudal másico de aire seco mínimo ($m_{ar,min}$) [kg_{ar}/s]	2,65253926

Figura 27. Datos del aire.

DATOS DEL RECUPERADOR	
Diametro exterior del rotor (D_{ext}) [m]	2
Diametro interior del rotor (D_{int}) [m]	0,2
Longitud del rotor / Internal length (L) [m]	0,2
Velocidad de rotación (n) [rpm]	12
Calor específico del material de soporte ($c_{p,r}$) [$J/kg^{\circ}C$]	903
Densidad del material de soporte (ρ_r) [kg/m^3]	2702
Material desecante	Sílica gel
Coeficiente empírico utilizado en la isoterma de sorción que describe la capacidad máxima de humedad del desecante (w/m)	0,4
Constante que describe la forma de la curva de sorción (C)	1
Fracción volumétrica del material desecante (σ_d)	0,62
Calor específico del material desecante ($c_{p,d}$) [$J/kg^{\circ}C$]	615
Densidad del material desecante (ρ_d) [kg/m^3]	350
Calor específico del material de la matriz ($c_{p,m}$) [$J/kg^{\circ}C$]	852,752364
Densidad del material de la matriz (ρ_m) [kg/m^3]	1243,76
Masa del material de la matriz del rotor (M_m) [kg]	46,3462696

Figura 28. Datos del recuperador.

SECCIÓN TRANSVERSAL TRIANGULAR	
Altura de onda / Wave height (wh) [m]	0,002
Altura interior del canal / altura pico-pico (h_{pp}) [m]	0,0019
Base del canal / Longitud de onda (b) [m]	0,0039
Espesor del canal (s) [m]	0,00005
Longitud de la parte triangular del canal (Ltri) [m]	0,00544518
Área transversal ocupada por el relleno ($A_{c,ocup}$) [m^2]	4,6726E-07
Área transversal total ($A_{c,tot}$) [m^2]	0,0000078
Área transversal del flujo de aire ($A_{c,fluj}$) [m^2]	7,3327E-06
Porosidad (σ)	0,94009499
Perímetro húmedo (P) [m]	0,01869036
Densidad de empaquetamiento (β) [m^2/m^3]	2396,20035
Diámetro hidráulico del canal (D_h) [m]	0,00156931
Superficie total de transferencia de calor ($A_{r,tot}$) [m^2]	1490,52131
Superficie de transferencia de calor lado caliente ($A_{r,h}$) [m^2]	745,260655
Superficie de transferencia de calor lado frío ($A_{r,c}$) [m^2]	745,260655
Conductividad térmica del aire caliente (k_h) [$W/m^{\circ}C$]	0,02632141
Conductividad térmica del aire frío (k_c) [$W/m^{\circ}C$]	0,02593046
Velocidad del aire caliente que entra en el recuperador (v_h) [m/s]	1,60762569
Velocidad del aire frío que entra en el recuperador (v_c) [m/s]	1,60762569
Velocidad del aire caliente en el canal (u_h) [m/s]	1,71006728
Velocidad del aire frío en el canal (u_c) [m/s]	1,71006728
Número de Reynolds aire caliente (Re_h)	155,71826
Número de Reynolds aire frío (Re_c)	160,676204
Número de Nusselt (Nu)	2,33542142
Coefficiente de transferencia de calor aire caliente (h_h) [$W/m^2^{\circ}C$]	39,1710996
Coefficiente de transferencia de calor aire frío (h_c) [$W/m^2^{\circ}C$]	38,5892949
$U \cdot A_{r,tot}$	14487,1296
Coefficiente global de transferencia de calor (U) [$W/m^2^{\circ}C$]	9,71950517
Número de unidades de transferencia (NTU)	5,30170489
Número de unidades de transferencia equivalente (NTU_{eq})	5,25932869

Figura 29. Cálculos sección transversal triangular.

Tasa de capacidad calorífica del aire caliente (C_h) [$W/^{\circ}C$]	2732,54168			
Tasa de capacidad calorífica del aire frío (C_c) [$W/^{\circ}C$]	2776,57572			
Tasa de capacidad calorífica mínima (C_{min}) [$W/^{\circ}C$]	2732,54168			
Tasa de capacidad calorífica máxima (C_{max}) [$W/^{\circ}C$]	2776,57572			
Relación de tasa de capacidad calorífica min/max (C_r)	0,98414088			
Relación de capacidad de calor de sólido a aire (C_r^*)	2,89268349		Cr^*_{eq}/Crm^*_{eq}	4,7445
Relación de capacidad de calor de sólido a aire equivalente ($C_r^*_{eq}$)	2,86956245			
Relación entre las diferencias de entalpía latente y sensible entre las entradas (H^*)	1,42951012			
Masa de desecante seco (M_d) [kg]	8,08607811			
Relación de capacidad de humedad de la matriz (Crm^*)	0,60968584			
Relación de capacidad de humedad de la matriz equivalente (Crm^*_{eq})	0,60481266			
Pendiente de la curva de adsorción cuando HR_{ave}	0,4			
($Cr^* \cdot m$)	48,3354504			

Figura 30. Cálculos de parámetros adimensionales.

CÁLCULO EFICIENCIAS Y CONDICIONES DE SALIDA	
Fracción de la energía de cambio de fase que se entrega directamente al aire (η)	0,05
Eficiencia sensible equivalente ($\varepsilon_{s,e,q}$)	0,764
Eficiencia latente equivalente ($\varepsilon_{l,e,q}$)	0,756
Eficiencia sensible (ε_s)	0,770
Eficiencia latente (ε_l)	0,762
Eficiencia total (ε_t)	0,765
Máxima tasa de transferencia de calor sensible ($Q_{m,sen}$) [W]	13662,708
Tasa de transferencia de calor sensible (Q_s) [W]	10526,988
Temperatura de salida aire caliente (T_{ha}) [°C]	24,148
Temperatura de salida aire frío (T_{ca}) [°C]	26,791
Humedad específica de salida aire caliente (w'_{ha}) [kg _v /kg _{ar}]	0,01027
Humedad específica de salida aire frío (w'_{ca}) [kg _v /kg _{ar}]	0,01173
Humedad relativa de salida aire caliente (HR_{ha}) [%]	49,915
Humedad relativa de salida aire frío (HR_{ca}) [%]	48,571
Máxima tasa de transferencia de calor (Q_{max}) [W]	32940,617
Tasa de transferencia de calor total (Q_t) [W]	25212,940
Entalpía específica de salida aire caliente (h_{ha}) [J/kg _{ar}]	50453,704
Entalpía específica de salida aire frío (h_{ca}) [J/kg _{ar}]	56845,653
Tasa de transferencia de calor latente (Q_l) [W]	14685,952

Figura 31. Cálculo de eficiencias y condiciones de salida.

CÁLCULO CAÍDAS DE PRESIÓN	
$f Re$	13,159
Factor de fricción de Fanning aire caliente (f_h)	0,085
Factor de fricción de Fanning aire frío (f_c)	0,082
Coefficiente de caída de presión local (ξ_c)	0,2
Caída de presión corriente de aire caliente (Δp_h) [Pa]	67,987
Caída de presión corriente de aire frío (Δp_c) [Pa]	67,125

Figura 32. Cálculo de las caídas de presión.

RECUP. ENERGÍA INVIERNO

No se muestran imágenes ya que la hoja es igual que la anterior.

RECUP. CONDENSACIÓN VERANO

DATOS DEL AIRE	
Caudal de entrada aire caliente ($q_{v,h,i}$) [m^3/s]	2,5
Caudal de entrada aire frío ($q_{v,c,i}$) [m^3/s]	2,5
Temperatura de entrada aire caliente ($T_{h,i}$) [$^{\circ}C$]	28
Temperatura de entrada aire frío ($T_{c,i}$) [$^{\circ}C$]	23
Humedad relativa de entrada aire caliente ($HR_{h,i}$) [%]	48
Humedad relativa de entrada aire frío ($HR_{c,i}$) [%]	50
Altitud (Z) [m]	668
Presión atmosférica (P_{atm}) [Pa]	93553,3298
Humedad específica de entrada aire caliente ($w_{h,i}$) [kg_v/kg_{ar}]	0,01245198
Humedad específica de entrada aire frío ($w_{c,i}$) [kg_v/kg_{ar}]	0,00959296
Entalpía específica de entrada aire caliente ($h_{h,i}$) [J/kg_{ar}]	59358,9128
Entalpía específica de entrada aire frío ($h_{c,i}$) [J/kg_{ar}]	47540,3909
Calor específico del aire caliente ($c_{p,h}$) [$J/kg_{ar}^{\circ}C$]	1030,16069
Calor específico del aire frío ($c_{p,c}$) [$J/kg_{ar}^{\circ}C$]	1024,74291
Densidad de entrada del aire caliente ($\rho_{h,i}$) [kg_{ar}/m^3]	1,07436797
Densidad de entrada del aire frío ($\rho_{c,i}$) [kg_{ar}/m^3]	1,09435756
Volumen específico de entrada del aire caliente ($v_{h,i}$) [m^3/kg_{ar}]	0,94249312
Volumen específico de entrada del aire frío ($v_{c,i}$) [m^3/kg_{ar}]	0,9226679
Viscosidad del aire caliente ($\mu_{h,i}$) [kg/ms]	1,85E-05
Viscosidad del aire frío ($\mu_{c,i}$) [kg/ms]	1,83E-05
Caudal másico de aire seco caliente ($m_{ar,h}$) [kg_{ar}/s]	2,65253926
Caudal másico de aire seco frío ($m_{ar,c}$) [kg_{ar}/s]	2,70953395
Caudal másico de aire seco mínimo ($m_{ar,min}$) [kg_{ar}/s]	2,65253926

Figura 33. Datos del aire.

DATOS DEL RECUPERADOR	
Diámetro exterior del rotor (D_{ext}) [m]	2
Diámetro interior del rotor (D_{int}) [m]	0,2
Longitud del rotor / Internal length (L) [m]	0,2
Velocidad de rotación (n) [rpm]	12
Calor específico del material de la matriz ($c_{p,m}$) [$J/kg^{\circ}C$]	903
Densidad del material de la matriz (ρ_m) [kg/m^3]	2702
Masa del material de la matriz del rotor (M_m) [kg]	100,684715

Figura 34. Datos del recuperador.

SECCIÓN TRANSVERSAL TRIANGULAR	
Altura de onda / Wave height (w_h) [m]	0,002
Altura interior del canal / altura pico-pico (h_{pp}) [m]	0,0019
Base del canal / Longitud de onda (b) [m]	0,0039
Espesor del canal (s) [m]	0,00005
Longitud de la parte triangular del canal (L_{tri}) [m]	0,00544518
Área transversal ocupada por el relleno ($A_{c_{ocup}}$) [m ²]	4,6726E-07
Área transversal total ($A_{c_{tot}}$) [m ²]	0,0000078
Área transversal del flujo de aire ($A_{c_{fuj}}$) [m ²]	7,3327E-06
Porosidad (σ)	0,94009499
Perímetro húmedo (P) [m]	0,01869036
Densidad de empaquetamiento (β) [m ² /m ³]	2396,20035
Diámetro hidráulico del canal (D_h) [m]	0,00156931
Superficie total de transferencia de calor ($A_{r_{tot}}$) [m ²]	1490,52131
Superficie de transferencia de calor lado caliente (A_{r_h}) [m ²]	745,260655
Superficie de transferencia de calor lado frío (A_{r_c}) [m ²]	745,260655
Conductividad térmica del aire caliente (k_h) [W/m°C]	0,02632141
Conductividad térmica del aire frío (k_c) [W/m°C]	0,02593046
Velocidad del aire caliente que entra en el recuperador (v_h) [m/s]	1,60762563
Velocidad del aire frío que entra en el recuperador (v_c) [m/s]	1,60762563
Velocidad del aire caliente en el canal (u_h) [m/s]	1,71006728
Velocidad del aire frío en el canal (u_c) [m/s]	1,71006728
Número de Reynolds aire caliente (Re_h)	155,71826
Número de Reynolds aire frío (Re_c)	160,676204
Número de Nusselt (Nu)	2,33542142
Coefficiente de transferencia de calor aire caliente (h_h) [W/m ² °C]	39,1710936
Coefficiente de transferencia de calor aire frío (h_c) [W/m ² °C]	38,5892949
$U \cdot A_{r_{tot}}$	14487,1296
Coefficiente global de transferencia de calor (U) [W/m ² °C]	9,71950517
Número de unidades de transferencia (NTU)	5,30170489

Figura 35. Cálculos sección transversal triangular.

Tasa de capacidad calorífica del aire caliente (C_h) [W/°C]	2732,54168
Tasa de capacidad calorífica del aire frío (C_c) [W/°C]	2776,57572
Tasa de capacidad calorífica mínima (C_{min}) [W/°C]	2732,54168
Tasa de capacidad calorífica máxima (C_{max}) [W/°C]	2776,57572
Relación de tasa de capacidad calorífica min/max (C_r)	0,98414088
Eficiencia interc. Calor a contracorriente (ϵ_0)	0,84688338
Relación de capacidad de calor de sólido a aire (C_r^*)	6,65448567

Figura 36. Cálculos de parámetros adimensionales.



CÁLCULO EFICIENCIAS Y CONDICIONES DE SALIDA	
Eficiencia sensible (ε_s)	0,844
Máxima tasa de transferencia de calor sensible ($Q_{m, \text{sensible}}$) [W]	13662,708
Tasa de transferencia de calor sensible (Q_s) [W]	11537,569
Temperatura de salida aire caliente (T_{ha}) [°C]	23,778
Temperatura de salida aire frío (T_{ca}) [°C]	27,155
Humedad específica de salida aire caliente (w_{ha}) [kg _v /kg _{ar}]	0,01245
Humedad específica de salida aire frío (w_{ca}) [kg _v /kg _{ar}]	0,00959
Humedad relativa de salida aire caliente (HR_{ha}) [%]	61,645
Humedad relativa de salida aire frío (HR_{ca}) [%]	39,028
Tasa de transferencia de calor latente (Q_l) [W]	0
Eficiencia latente (ε_l)	0
Tasa de transferencia de calor total (Q_t) [W]	11537,569
Máxima tasa de transferencia de calor ($Q_{m, \text{total}}$) [W]	32940,61707
Eficiencia total (ε_t)	0,350
Entalpía específica de salida aire caliente (h_{ha}) [J/kg _{ar}]	55609,281
Entalpía específica de salida aire frío (h_{ca}) [J/kg _{ar}]	51798,529

Figura 37. Cálculo de eficiencias y condiciones de salida.

CÁLCULO CAÍDAS DE PRESIÓN	
f Re	13,159
Factor de fricción de Fanning aire caliente (f_h)	0,085
Factor de fricción de Fanning aire frío (f_c)	0,082
Coeficiente de caída de presión local (ξ_c)	0,2
Caída de presión corriente de aire caliente (Δp_h) [Pa]	67,987
Caída de presión corriente de aire frío (Δp_c) [Pa]	67,125

Figura 38. Cálculo de las caídas de presión.

RECUP. CONDENSACIÓN INVIERNO

En este caso se muestran las diferencias entre las hojas “Recup. Condensación Verano” y “Recup. Condensación Invierno.”

CÁLCULO EFICIENCIAS Y CONDICIONES DE SALIDA	
Eficiencia sensible (ϵ_s)	0,837
Máxima tasa de transferencia de calor sensible ($Q_{max,s}$) [W]	5553,151
Tasa de transferencia de calor sensible (Q_s) [W]	4650,007
Temperatura de salida aire caliente (T_{ha}) [°C]	21,325
Temperatura de salida aire frío (T_{ca}) [°C]	22,665
Temperatura de rocío entrada aire caliente (T_{rh}) [°C]	12,203
Punto Central	0
Eficiencia latente corriente aire caliente (ϵ_{lh})	0,022
Eficiencia latente corregida corriente aire caliente (ϵ_{lh})	0,000
Eficiencia latente corriente aire frío (ϵ_{lc})	-0,092
Eficiencia latente corregida corriente aire frío (ϵ_{lc})	0,000
Humedad específica de salida aire caliente (w_{ha}) [kg _v /kg _{ar}]	0,00959
Humedad específica de salida aire frío (w_{ca}) [kg _v /kg _{ar}]	0,00676
Humedad relativa de salida aire caliente (HR_{ha}) [%]	55,374
Humedad relativa de salida aire frío (HR_{ca}) [%]	36,131
Entalpía específica de salida aire caliente (h_{ha}) [J/kg _{ar}]	45825,733
Entalpía específica de salida aire frío (h_{ca}) [J/kg _{ar}]	39997,539
Máxima tasa de transferencia de calor ($Q_{max,t}$) [W]	25031,907
Tasa de transferencia de calor total corriente aire caliente (Q_{th})	4645,923
Tasa de transferencia de calor total corriente aire frío (Q_{tc}) [W]	4646,358
Eficiencia total corriente aire caliente (ϵ_{th})	0,186
Eficiencia total corriente aire frío (ϵ_{tc})	0,186
Tasa de transferencia de calor latente (Q_l) [W]	-3,649

Figura 39. Cálculo de eficiencias y condiciones de salida.

LISTAS DE DATOS

UNIDADES CAUDAL VOLUM.	MATERIAL DE LA MATRIZ	RECUPERADORES EUROVENT (CONDENSACIÓN + ENTÁLPICOS + ADSORCIÓN)				
		Diámetro exterior del rotor (D_{ext}) [mm]	Longitud del rotor (L) [mm]	Altura de onda (w) [mm]	Longitud de onda (b) [mm]	Espesor láminas (s) [mm]
m³/s	Aluminio	200	100	1,35	2,2	0,03
m³/h	Aluminio con Silica gel	500	120	1,4	2,6	0,04
		600	150	1,5	3	0,05
		700	200	1,55	3,35	0,06
		710	250	1,6	3,2	0,07
		800	270	1,65	3,3	0,08
		810		1,7	3,4	0,09
		900		1,75	3,6	0,1
		910		1,8	3,7	0,12
		1000		1,85	3,75	0,35
		1100		1,9	3,8	0,45
		1110		1,95	3,9	0,9
		1200		2	4	
		1250		2,1	4,2	
		1300		2,2	4,3	
		1305		2,4	4,4	
		1400		2,5	4,8	
		1405		2,6	4,9	
		1500		2,65	4,95	
		1600		2,7	5,4	
		1680			5,5	
		1700				
		1800				
		1870				
		1900				
		1930				
		2000				
		2200				

Figura 40. Listas de datos para listas desplegables de la hoja de usuario.