

**CARACTERIZACION DE LOS BANCOS DE PRUEBA DE INTERCAMBIO DE
CALOR DE TUBO CONCENTRICO Y DE REGIMEN TURBULENTO DEL
LABORATORIO DE TERMICAS DE LA UAC.**

HENRY GUSTAVO REYES GONZALEZ



UNIVERSIDAD AUTONOMA DEL CARIBE

PROGRAMA DE INGENIERIA MECANICA

BARRANQUILLA – COLOMBIA

2011

**CARACTERIZACION DE LOS BANCOS DE PRUEBA DE INTERCAMBIO DE
CALOR DE TUBO CONCENTRICO Y DE REGIMEN TURBULENTO DEL
LABORATORIO DE TERMICAS DE LA UAC.**

HENRY GUSTAVO REYES GONZALEZ

Trabajo como requisito para obtener el título de Ingeniero Mecánico

Asesor del proyecto

I.M. ANTONIO SALTARIN



UNIVERSIDAD AUTONOMA DEL CARIBE

PROGRAMA DE INGENIERIA MECANICA

BARRANQUILLA – COLOMBIA

2011

AGADRADECIMIENTOS.

- Agradezco primero a Dios porque él es quien nos provee de todo y gracias a él pude obtener el dinero necesario para pagar mis estudios, por darme la facultad de fácil entendimiento y mantenerme siempre con buena salud.
- A mis padres por todo el sacrificio que hicieron para que pudiera materializar este sueño.
- A mi hermana, mis seres queridos y amigos, porque siempre me apoyaron cuando lo necesite.
- A la universidad y al cuerpo docente por ser las herramientas para poder lograr esta anhelada meta.
- A mi tutor de grado, Antonio Saltarín, por toda la colaboración prestada en mi proyecto final.

DEDICATORIA.

- Dedico este trabajo a DIOS por ser mi guía y luz.
- A HENRY REYES y GLORIA GONZALEZ, mis padres.
- A DIVA REYES (hermana), AGLAHE REYES (tía), el resto de mi familia.
- A todo el cuerpo docente y personas que me sirvieron de herramientas en este proceso.
- A mi tutor de grado, Antonio Saltarín, por toda la colaboración prestada en mi proyecto final.
- A la mujer de mi vida, SARA TOBON.

LISTA DE FIGURAS.

Figura 1. Sentido de flujo – intercambiador de calor de tubos concéntricos.	39
Figura 2. Esquema resistencias térmicas en serie.....	40
Figura 3. Esquema perfil de velocidades de flujo.....	45
Figura 4. Esquema perfil de velocidades de flujo.....	46
Figura 5. Distrib. de temp. en un intercambiador de calor de tubo concéntrico. ..	48
Figura 6. Distrib. de temp. en un intercambiador de calor de flujo turbulento.	52
Figura 7. Unidad Base y de Servicio.....	63
Figura 8. Esquema Unidad Base y de Servicio.....	66
Figura 9. Caja Interface de Control.	67
Figura 10. Intercambiador de Calor de Tubos Concéntricos.....	68
Figura 11. Esquema Intercambiador de Calor de Tubos Concéntricos.....	70
Figura 12. Intercambiador de Calor de Flujo Turbulento.....	71
Figura 13. Esquema Intercambiador de Calor de Flujos Turbulentos.	73
Figura 14. Pantalla del Intercambiador de Calor de Tubos Concéntricos (TITC).....	76
Figura 15. Pantalla del Intercambiador de Calor de Flujos Turbulentos (TIFT).....	77
Figura 16. Actuadores y lecturas de los sensores.....	82
Figura 17. T. de estab. de las temp. con respecto a la variación de caudal.....	83

Figura 18. Tiempo de estabilización de las temperaturas con respecto a la variación de caudal.	84
Figura 19. Tiempo de estabilización de las temperaturas con respecto a la variación de caudal.	84
Figura 20. Tiempo de estabilización de las temperaturas con respecto a la variación de caudal.	85
Figura 21. Q_h Vs ϵ . $Q_h = 2,0$ L/min ST-16 = 50°C. flujos en paralelo.....	87
Figura 22. Comp. Temperaturas. $Q_h = 2,0$ L/min ST-16 = 50°C. flujos en paralelo.....	87
Figura 23. Q_h Vs ϵ . $Q_h = 1,5$ L/min ST-16 = 50°C. flujos en paralelo.....	88
Figura 24. Comp. Temperaturas. $Q_h = 1,5$ L/min ST-16 = 50°C. flujos en paralelo.....	89
Figura 25. Q_h Vs ϵ . $Q_h = 1,0$ L/min ST-16 = 50°C. flujos en paralelo.....	89
Figura 26. Comp. Temperaturas. $Q_h = 1,0$ L/min ST-16 = 50°C. flujos en paralelo.....	90
Figura 27. Q_h Vs ϵ . $Q_h = 0,5$ L/min ST-16 = 50°C. flujos en paralelo.....	90
Figura 28. Comp. Temperaturas. $Q_h = 0,5$ L/min ST-16 = 50°C. flujos en paralelo.....	91
Figura 29. Q_h Vs ϵ . $Q_h = 2,0$ L/min ST-16 = 50°C flujos en contracorriente.....	92
Figura 30. Comp. Temperaturas. $Q_h = 2,0$ L/min ST-16 = 50°C. flujos en contracorriente.	92
Figura 31. Q_h Vs ϵ . $Q_h = 1,5$ L/min ST-16 = 50°C flujos en contracorriente.....	93

Figura 32. Comp. Temperaturas. $Q_h = 1,5$ L/min ST-16 = 50°C. flujos en contracorriente.....	93
Figura 33. Q_h Vs ϵ . $Q_h = 1,0$ L/min ST-16 = 50°C flujos en contracorriente.....	94
Lecturas en el laboratorio.	94
Figura 34. Comp. Temperaturas. $Q_h = 1,0$ L/min ST-16 = 50°C. flujos en contracorriente.....	94
Figura 35. Q_h Vs ϵ . $Q_h = 0,5$ L/min ST-16 = 50°C flujos en contracorriente.....	95
Figura 36. Comp. Temperaturas. $Q_h = 0,5$ L/min ST-16 = 50°C. flujos en contracorriente.....	95
Figura 37. Q_h Vs ϵ . $Q_h = 2,0$ L/min ST-16 = 60°C flujos en paralelo.....	96
Figura 38. Comp. Temperaturas. $Q_h = 2,0$ L/min ST-16 = 60°C. flujos en paralelo.....	96
Figura 39. Q_h Vs ϵ . $Q_h = 1,5$ L/min ST-16 = 60°C flujos en paralelo.....	97
Figura 40. Comp. Temperaturas. $Q_h = 1,5$ L/min ST-16 = 60°C. flujos en paralelo.....	97
Figura 41. Q_h Vs ϵ . $Q_h = 1,0$ L/min ST-16 = 60°C flujos en paralelo.....	98
Lecturas en el laboratorio.	98
Figura 42. Comp. Temperaturas. $Q_h = 1,0$ L/min ST-16 = 60°C. flujos en paralelo.....	98
Figura 43. Q_h Vs ϵ . $Q_h = 0,5$ L/min ST-16 = 60°C flujos en paralelo.....	99
Figura 44. Comp. Temperaturas. $Q_h = 0,5$ L/min ST-16 = 60°C. flujos en paralelo.....	99

Figura 45. Q_h Vs ϵ . $Q_h = 2,0$ L/min ST-16 = 60°C flujos en contracorriente.....	100
Lecturas en el laboratorio.	100
Figura 46. Comp. Temperaturas. $Q_h = 2,0$ L/min ST-16 = 60°C flujos en contracorriente.....	101
Figura 47. Q_h Vs ϵ . $Q_h = 1,5$ L/min ST-16 = 60°C flujos en contracorriente.....	101
Figura 48. Comp. Temperaturas. $Q_h = 1,5$ L/min ST-16 = 60°C flujos en contracorriente.....	102
Figura 49. Q_h Vs ϵ . $Q_h = 1,0$ L/min ST-16 = 60°C flujos en contracorriente.....	102
Figura 50. Comp. Temperaturas. $Q_h = 1,0$ L/min ST-16 = 60°C flujos en contracorriente.....	103
Figura 51. Q_h Vs ϵ . $Q_h = 0,5$ L/min ST-16 = 60°C flujos en contracorriente.....	103
Figura 52. Comp. Temperaturas. $Q_h = 0,5$ L/min ST-16 = 60°C flujos en contracorriente.....	104
Figura 53. Q_h Vs ϵ . $Q_h = 2,0$ L/min ST-16 = 50°C. flujos en paralelo.....	105
Figura 54. Comp. Temperaturas. $Q_h = 2,0$ L/min ST-16 = 50°C flujos en paralelo.....	105
Figura 55. Q_h Vs ϵ . $Q_h = 1,5$ L/min ST-16 = 50°C. flujos en paralelo.....	106
Figura 56. Comp. Temperaturas. $Q_h = 1,5$ L/min ST-16 = 50°C flujos en paralelo.....	106
Figura 57. Q_h Vs ϵ . $Q_h = 1,0$ L/min ST-16 = 50°C. flujos en paralelo.....	107
Figura 58. Comp. Temperaturas. $Q_h = 1,0$ L/min ST-16 = 50°C flujos en paralelo.....	107

Figura 59. Q_h Vs ϵ . $Q_h = 0,5$ L/min ST-16 = 50°C. flujos en paralelo.....	108
Figura 60. Comp. Temperaturas. $Q_h = 0,5$ L/min ST-16 = 50°C flujos en paralelo.....	108
Figura 61. Q_h Vs ϵ . $Q_h = 2,0$ L/min ST-16 = 50°C. flujos en contracorriente.....	109
Figura 62. Comp. Temperaturas. $Q_h = 2,0$ L/min ST-16 = 50°C flujos en contracorriente.	109
Figura 63. Q_h Vs ϵ . $Q_h = 1,5$ L/min ST-16 = 50°C. flujos en contracorriente.....	110
Figura 64. Comp. Temperaturas. $Q_h = 1,5$ L/min ST-16 = 50°C flujos en contracorriente.	110
Figura 65. Q_h Vs ϵ . $Q_h = 1,0$ L/min ST-16 = 50°C. flujos en contracorriente.....	111
Figura 66. Comp. Temperaturas. $Q_h = 1,0$ L/min ST-16 = 50°C flujos en contracorriente.	111
Figura 67. Q_h Vs ϵ . $Q_h = 0,5$ L/min ST-16 = 50°C. flujos en contracorriente.....	112
Figura 68. Comp. Temperaturas. $Q_h = 0,5$ L/min ST-16 = 50°C flujos en contracorriente.	112
Figura 69. Q_h Vs ϵ . $Q_h = 2,0$ L/min ST-16 = 60°C flujos en paralelo.....	113
Figura 70. Comp. Temperaturas. $Q_h = 2,0$ L/min ST-16 = 60°C flujos en paralelo.....	114
Figura 71. Q_h Vs ϵ . $Q_h = 1,5$ L/min ST-16 = 60°C flujos en paralelo.....	114
Figura 72. Comp. Temperaturas. $Q_h = 1,5$ L/min ST-16 = 60°C flujos en paralelo.....	115
Figura 73. Q_h Vs ϵ . $Q_h = 1,0$ L/min ST-16 = 60°C flujos en paralelo.....	115

Figura 74. Comp. Temperaturas. $Q_h = 1,0$ L/min ST-16 = 60°C flujos en paralelo.....	116
Figura 75. Q_h Vs ϵ . $Q_h = 0,5$ L/min ST-16 = 60°C flujos en paralelo.....	116
Figura 76. $Q_h = 0,5$ L/min y ST-16 = 60°C flujos en paralelo.....	117
Figura 77. Q_h Vs ϵ . $Q_h = 2,0$ L/min ST-16 = 60°C flujos en contracorriente.....	118
Figura 78. Comp. Temperaturas. $Q_h = 2,0$ L/min ST-16 = 60°C flujos en contracorriente.	118
Figura 79. Q_h Vs ϵ . $Q_h = 1,5$ L/min ST-16 = 60°C flujos en contracorriente.....	119
Figura 80. Comp. Temperaturas. $Q_h = 1,5$ L/min ST-16 = 60°C flujos en contracorriente.	119
Figura 81. Q_h Vs ϵ . $Q_h = 1,0$ L/min ST-16 = 60°C flujos en contracorriente.....	120
Figura 82. Comp. Temperaturas. $Q_h = 1,0$ L/min ST-16 = 60°C flujos en contracorriente.	120
Figura 83. Q_h Vs ϵ . $Q_h = 0,5$ L/min ST-16 = 60°C flujos en contracorriente.....	121
Figura 84. Comp. Temperaturas. $Q_h = 0,5$ L/min ST-16 = 60°C flujos en contracorriente.	121
Figura 85. Q_h Vs ϵ $Q_h = 2,0$ L/min ST-16 = 50°C flujos en paralelo.....	122
Figura 86. Comp. Temperaturas. $Q_h = 2,0$ L/min ST-16 = 50°C flujos en paralelo.....	122
Figura 87. Q_h Vs ϵ $Q_h = 1,5$ L/min ST-16 = 50°C flujos en paralelo.....	123
Figura 88. Comp. Temperaturas. $Q_h = 1,5$ L/min ST-16 = 50°C flujos en paralelo.....	123

Figura 89. Q_h Vs ϵ $Q_h = 1,0$ L/min ST-16 = 50°C flujos en paralelo.....	124
Figura 90. Comp. Temperaturas. $Q_h = 1,0$ L/min ST-16 = 50°C flujos en paralelo.....	124
Figura 91. Q_h Vs ϵ $Q_h = 0,5$ L/min ST-16 = 50°C flujos en paralelo.....	125
Figura 92. Comp. Temperaturas. $Q_h = 0,5$ L/min ST-16 = 50°C flujos en paralelo.....	125
Figura 93. Q_h Vs ϵ $Q_h = 2,0$ L/min ST-16 = 50°C flujos en contracorriente.....	126
Figura 94. Comp. Temperaturas. $Q_h = 2,0$ L/min ST-16 = 50°C flujos en contracorriente.....	127
Figura 95. Q_h Vs ϵ $Q_h = 1,5$ L/min ST-16 = 50°C flujos en contracorriente.....	127
Figura 96. Comp. Temperaturas. $Q_h = 1,5$ L/min ST-16 = 50°C flujos en contracorriente.....	128
Figura 97. Q_h Vs ϵ $Q_h = 1,0$ L/min ST-16 = 50°C flujos en contracorriente.....	128
Figura 98. Comp. Temperaturas. $Q_h = 1,0$ L/min ST-16 = 50°C flujos en contracorriente.....	129
Figura 99. Q_h Vs ϵ $Q_h = 0,5$ L/min ST-16 = 50°C flujos en contracorriente.....	129
Figura 100. Comp. Temperaturas. $Q_h = 0,5$ L/min ST-16 = 50°C flujos en contracorriente.....	130
Figura 101. Q_h Vs ϵ Q_h Vs ϵ $Q_h = 2,0$ L/min ST-16 = 60°C flujos en paralelo.	131
Figura 102. Comp. Temperaturas. $Q_h = 2,0$ L/min ST-16 = 60°C flujos en paralelo.....	131
Figura 103. Q_h Vs ϵ Q_h Vs ϵ $Q_h = 1,5$ L/min ST-16 = 60°C flujos en paralelo.	132

Figura 104. Comp. Temperaturas. $Q_h = 2,0$ L/min ST-16 = 60°C flujos en paralelo.....	132
Figura 105. Q_h Vs ϵ Q_h Vs ϵ $Q_h = 1,0$ L/min ST-16 = 60°C flujos en paralelo.	133
Figura 106. Comp. Temperaturas. $Q_h = 1,0$ L/min ST-16 = 60°C flujos en paralelo.....	133
Figura 107. Q_h Vs ϵ Q_h Vs ϵ $Q_h = 0,5$ L/min ST-16 = 60°C flujos en paralelo.	134
Figura 108. Comp. Temperaturas. $Q_h = 0,5$ L/min ST-16 = 60°C flujos en paralelo.....	134
Figura 109. Q_h Vs ϵ $Q_h = 2,0$ L/min ST-16 = 60°C flujos en contracorriente.	135
Figura 110. Comp. Temperaturas. $Q_h = 2,0$ L/min ST-16 = 60°C flujos en contracorriente.....	135
Figura 111. Q_h Vs ϵ $Q_h = 1,5$ L/min ST-16 = 60°C flujos en contracorriente.	136
Figura 112. Comp. Temperaturas. $Q_h = 1,5$ L/min ST-16 = 60°C flujos en contracorriente.....	136
Figura 113. Q_h Vs ϵ $Q_h = 1,0$ L/min ST-16 = 60°C flujos en contracorriente.	137
Figura 114. Comp. Temperaturas. $Q_h = 1,0$ L/min ST-16 = 60°C flujos en contracorriente.....	137
Figura 115. Q_h Vs ϵ $Q_h = 0,5$ L/min ST-16 = 60°C flujos en contracorriente.	138
Figura 116. Comp. Temperaturas. $Q_h = 0,5$ L/min ST-16 = 60°C flujos en contracorriente.....	138
Figura 117. Q_h Vs ϵ $Q_h = 2,0$ L/min ST-16 = 50°C flujos en paralelo.	139

Figura 118. Comp. Temperaturas. $Q_h = 2,0$ L/min ST-16 = 50°C flujos en paralelo.....	140
Figura 119. Q_h Vs ϵ $Q_h = 1,5$ L/min ST-16 = 50°C flujos en paralelo.	140
Figura 120. Comp. Temperaturas. $Q_h = 1,5$ L/min ST-16 = 50°C flujos en paralelo.....	141
Figura 121. Q_h Vs ϵ $Q_h = 1,0$ L/min ST-16 = 50°C flujos en paralelo.	141
Figura 122. Comp. Temperaturas. $Q_h = 1,0$ L/min ST-16 = 50°C flujos en paralelo.....	142
Figura 123. Q_h Vs ϵ $Q_h = 0,5$ L/min ST-16 = 50°C flujos en paralelo.	143
Figura 124. Comp. Temperaturas. $Q_h = 0,5$ L/min ST-16 = 50°C flujos en paralelo.....	143
Figura 125. Q_h Vs ϵ . $Q_h = 2,0$ L/min ST-16 = 50°C flujos en contracorriente. .	144
Figura 126. Comp. Temperaturas. $Q_h = 2,0$ L/min ST-16 = 50°C flujos en contracorriente.	144
Figura 127. Q_h Vs ϵ . $Q_h = 1,5$ L/min ST-16 = 50°C flujos en contracorriente. .	145
Figura 128. Comp. Temperaturas. $Q_h = 1,5$ L/min ST-16 = 50°C flujos en contracorriente.	145
Figura 129. Q_h Vs ϵ . $Q_h = 1,0$ L/min ST-16 = 50°C flujos en contracorriente. .	146
Figura 130. Comp. Temperaturas. $Q_h = 1,0$ L/min ST-16 = 50°C flujos en contracorriente.	146
Figura 131. Q_h Vs ϵ . $Q_h = 0,5$ L/min ST-16 = 50°C flujos en contracorriente. .	147

Figura 132. Comp. Temperaturas. $Q_h = 0,5$ L/min ST-16 = 50°C flujos en contracorriente.....	147
Figura 133. Q_h Vs ϵ . $Q_h = 2,0$ L/min ST-16 = 60°C flujos en paralelo.	148
Figura 134. Comp. Temperaturas. $Q_h = 2,0$ L/min ST-16 = 60°C flujos en paralelo.....	149
Figura 135. Q_h Vs ϵ . $Q_h = 1,5$ L/min ST-16 = 60°C flujos en paralelo.	149
Figura 136. Comp. Temperaturas. $Q_h = 1,5$ L/min ST-16 = 60°C flujos en paralelo.....	150
Figura 137. Q_h Vs ϵ . $Q_h = 1,0$ L/min ST-16 = 60°C flujos en paralelo.	150
Figura 138. Comp. Temperaturas. $Q_h = 1,0$ L/min ST-16 = 60°C flujos en paralelo.....	151
Figura 139. Q_h Vs ϵ . $Q_h = 0,5$ L/min ST-16 = 60°C flujos en paralelo.	151
Figura 140. Comp. Temperaturas. $Q_h = 0,5$ L/min ST-16 = 60°C flujos en paralelo.....	152
Figura 141. Q_h Vs ϵ . $Q_h = 2,0$ L/min ST-16 = 60°C flujos en contracorriente.	153
Figura 142. Comp. Temperaturas. $Q_h = 2,0$ L/min ST-16 = 60°C flujos en contracorriente.....	153
Figura 143. Q_h Vs ϵ . $Q_h = 1,5$ L/min ST-16 = 60°C flujos en contracorriente.	154
Figura 144. Comp. Temperaturas. $Q_h = 1,5$ L/min ST-16 = 60°C flujos en contracorriente.....	154
Figura 145. Q_h Vs ϵ . $Q_h = 1,0$ L/min ST-16 = 60°C flujos en contracorriente.	155

Figura 146. Comp. Temperaturas. $Q_h = 1,0$ L/min ST-16 = 60°C flujos en contracorriente.....155

Figura 147. Q_h Vs ϵ . $Q_h = 0,5$ L/min ST-16 = 60°C flujos en contracorriente. 156

Figura 148. Comp. Temperaturas. $Q_h = 0,5$ L/min ST-16 = 60°C flujos en contracorriente.....156

LISTA DE TABLAS.

Tabla 1.	Valores de resistencias de contaminación.....	43
Tabla 2.	Posiciones de válvulas para las direcciones de flujo.	65
Tabla 3.	Formato de toma de datos para el equipo TITC.	80
Tabla 4.	Formato de toma de datos para el equipo TITC.	80
Tabla 5.	Para $Q_c = 2,0$ L/min y la temperatura ST-16 = 60°C.	81
Tabla 6.	Para $Q_c = 1,5$ L/min y la temperatura ST-16 = 60°C.	81
Tabla 7.	Para $Q_c = 1,0$ L/min y la temperatura ST-16 = 60°C.	81
Tabla 8.	Para $Q_c = 0,5$ L/min y la temperatura ST-16 = 60°C.	81
Tabla 9.	Variables y rangos de trabajo.	85
Tabla 10.	Tabla de interpolaciones para la hoja de datos.	86
Tabla 11.	Hoja de datos. $Q_h = 2,0$ L/min ST-16 = 50°C. flujos en paralelo.	87
Tabla 12.	Hoja de datos. $Q_h = 1,5$ L/min ST-16 = 50°C flujos en paralelo.	88
Tabla 13.	Hoja de datos. $Q_h = 1,0$ L/min ST-16 = 50°C flujos en paralelo.	89
Tabla 14.	Hoja de datos. $Q_h = 0,5$ L/min ST-16 = 50°C flujos en paralelo.	90
Tabla 15.	Hoja de datos. $Q_h = 2,0$ L/min ST-16 = 50°C flujos en contracorriente.....	91
Tabla 16.	Hoja de datos. $Q_h = 1,5$ L/min ST-16 = 50°C flujos en contracorriente.....	92

Tabla 17.	Hoja de datos. $Q_h = 1,0$ L/min ST-16 = 50°C flujos en contracorriente.....	93
Tabla 18.	Hoja de datos. $Q_h = 0,5$ L/min ST-16 = 50°C flujos en contracorriente.....	94
Tabla 19.	Hoja de datos. $Q_h = 2,0$ L/min ST-16 = 60°C flujos en paralelo.	96
Tabla 20.	Hoja de datos. $Q_h = 1,5$ L/min ST-16 = 60°C flujos en paralelo.	97
Tabla 21.	Hoja de datos. $Q_h = 1,0$ L/min ST-16 = 60°C flujos en paralelo.	98
Tabla 22.	Hoja de datos. $Q_h = 0,5$ L/min ST-16 = 60°C flujos en paralelo.	99
Tabla 23.	Hoja de datos. $Q_h = 2,0$ L/min ST-16 = 60°C flujos en contracorriente.....	100
Tabla 24.	Hoja de datos. $Q_h = 1,5$ L/min ST-16 = 60°C flujos en contracorriente.....	101
Tabla 25.	Hoja de datos. $Q_h = 1,0$ L/min ST-16 = 60°C flujos en contracorriente.....	102
Tabla 26.	Hoja de datos. $Q_h = 0,5$ L/min ST-16 = 60°C flujos en contracorriente.....	103
Tabla 27.	Hoja de datos. $Q_h = 2,0$ L/min ST-16 = 50°C. flujos en paralelo.	104
Tabla 28.	Hoja de datos. $Q_h = 1,5$ L/min ST-16 = 50°C. flujos en paralelo.	105
Tabla 29.	Hoja de datos. $Q_h = 1,0$ L/min ST-16 = 50°C. flujos en paralelo.	106
Tabla 30.	Hoja de datos. $Q_h = 0,5$ L/min ST-16 = 50°C. flujos en paralelo.	107
Tabla 31.	Hoja de datos. $Q_h = 2,0$ L/min ST-16 = 50°C flujos en contracorriente.....	109

Tabla 32.	Hoja de datos. $Q_h = 1,5$ L/min ST-16 = 50°C flujos en contracorriente.....	110
Tabla 33.	Hoja de datos. $Q_h = 1,0$ L/min ST-16 = 50°C flujos en contracorriente.....	111
Tabla 34.	Hoja de datos. $Q_h = 0,5$ L/min ST-16 = 50°C flujos en contracorriente.....	112
Tabla 35.	Hoja de datos. $Q_h = 2,0$ L/min ST-16 = 60°C flujos en paralelo.	113
Tabla 36.	Hoja de datos. $Q_h = 1,5$ L/min ST-16 = 60°C flujos en paralelo.	114
Tabla 37.	Hoja de datos. $Q_h = 1,0$ L/min ST-16 = 60°C flujos en paralelo.	115
Tabla 38.	Hoja de datos. $Q_h = 0,5$ L/min ST-16 = 60°C flujos en paralelo.	116
Tabla 39.	Hoja de datos. $Q_h = 2,0$ L/min ST-16 = 60°C flujos en contracorriente.....	117
Tabla 40.	Hoja de datos. $Q_h = 1,5$ L/min ST-16 = 60°C flujos en contracorriente.....	118
Tabla 41.	Hoja de datos. $Q_h = 1,0$ L/min ST-16 = 60°C flujos en contracorriente.....	119
Tabla 42.	Hoja de datos. $Q_h = 0,5$ L/min ST-16 = 60°C flujos en contracorriente.....	120
Tabla 43.	Hoja de datos. $Q_h = 2,0$ L/min ST-16 = 50°C flujos en paralelo.	122
Tabla 44.	Hoja de datos. $Q_h = 1,5$ L/min ST-16 = 50°C flujos en paralelo.	123
Tabla 45.	Hoja de datos. $Q_h = 1,0$ L/min ST-16 = 50°C flujos en paralelo.	124
Tabla 46.	Hoja de datos. $Q_h = 0,5$ L/min ST-16 = 50°C flujos en paralelo.	125

Tabla 47.	Hoja de datos. $Q_h = 2,0$ L/min ST-16 = 50°C flujos en contracorriente.....	126
Tabla 48.	Hoja de datos. $Q_h = 1,5$ L/min ST-16 = 50°C flujos en contracorriente.....	127
Tabla 49.	Hoja de datos. $Q_h = 1,0$ L/min ST-16 = 50°C flujos en contracorriente.....	128
Tabla 50.	Hoja de datos. $Q_h = 0,5$ L/min ST-16 = 50°C flujos en contracorriente.....	129
Tabla 51.	Hoja de datos. $Q_h = 2,0$ L/min ST-16 = 60°C flujos en paralelo.	130
Tabla 52.	Hoja de datos. $Q_h = 1,5$ L/min ST-16 = 60°C flujos en paralelo.	131
Tabla 53.	Hoja de datos. $Q_h = 1,0$ L/min ST-16 = 60°C flujos en paralelo.	132
Tabla 54.	Hoja de datos. $Q_h = 0,5$ L/min ST-16 = 60°C flujos en paralelo.	133
Tabla 55.	Hoja de datos. $Q_h = 2,0$ L/min ST-16 = 60°C flujos en contracorriente.....	135
Tabla 56.	Hoja de datos. $Q_h = 1,5$ L/min ST-16 = 60°C flujos en contracorriente.....	136
Tabla 57.	Hoja de datos. $Q_h = 1,0$ L/min ST-16 = 60°C flujos en contracorriente.....	137
Tabla 58.	Hoja de datos. $Q_h = 0,5$ L/min ST-16 = 60°C flujos en contracorriente.....	138
Tabla 59.	Hoja de datos. $Q_h = 2,0$ L/min ST-16 = 50°C flujos en paralelo.	139
Tabla 60.	Hoja de datos. $Q_h = 1,5$ L/min ST-16 = 50°C flujos en paralelo.	140

Tabla 61.	Hoja de datos. $Q_h = 1,0$ L/min ST-16 = 50°C flujos en paralelo.	141
Tabla 62.	Hoja de datos. $Q_h = 0,5$ L/min ST-16 = 50°C flujos en paralelo.	142
Tabla 63.	Hoja de datos. $Q_h = 2,0$ L/min ST-16 = 50°C flujos en contracorriente.....	144
Tabla 64.	Hoja de datos. $Q_h = 1,5$ L/min ST-16 = 50°C flujos en contracorriente.....	145
Tabla 65.	Hoja de datos. $Q_h = 1,0$ L/min ST-16 = 50°C flujos en contracorriente.....	146
Tabla 66.	Hoja de datos. $Q_h = 0,5$ L/min ST-16 = 50°C flujos en contracorriente.....	147
Tabla 67.	Hoja de datos. $Q_h = 2,0$ L/min ST-16 = 60°C flujos en paralelo.	148
Tabla 68.	Hoja de datos. $Q_h = 1,5$ L/min ST-16 = 60°C flujos en paralelo.	149
Tabla 69.	Hoja de datos. $Q_h = 1,0$ L/min ST-16 = 60°C flujos en paralelo.	150
Tabla 70.	Hoja de datos. $Q_h = 0,5$ L/min ST-16 = 60°C flujos en paralelo.	151
Tabla 71.	Hoja de datos. $Q_h = 2,0$ L/min ST-16 = 60°C flujos en contracorriente.....	152
Tabla 72.	Hoja de datos. $Q_h = 1,5$ L/min ST-16 = 60°C flujos en contracorriente.....	153
Tabla 73.	Hoja de datos. $Q_h = 1,0$ L/min ST-16 = 60°C flujos en contracorriente.....	154
Tabla 74.	Hoja de datos. $Q_h = 0,5$ L/min ST-16 = 60°C flujos en contracorriente.....	155

CONVENCIONES

q = tasa de transferencia de calor (W).

K = conductividad térmica de la pared (W/m K).

A = área perpendicular a la dirección de flujo de calor (m^2).

x = espesor de la pared (m).

Para el cálculo de q conductivo.

- T_2 = temperatura de la superficie fría de la pared (K).
- T_1 = temperatura de la superficie caliente de la pared (K).

h = Coeficiente de transferencia de calor por convección (W/m^2K).

Para el cálculo de q convectivo.

T_s = Temperatura de la superficie (K).

T_∞ = Temperatura del fluido (K).

ϵ = Emisividad.

E_b = Emisión de un cuerpo negro (W/m^2).

σ = Constante de Stefan Boltzmann ($\sigma = 5,67 \times 10^{-8} W/m^2K^4$).

Para superficies grises.

T_s = Temperatura de la superficie gris (K).

T_{sur} = Temperatura de los alrededores (K).

A_h = Área de la superficie del tubo en contacto con el fluido caliente (m^2).

A_c = Área de la superficie del tubo en contacto con el fluido frío (m^2).

$T_{\infty,h}$ = Temperatura media del fluido caliente (K).

$T_{\infty,c}$ = Temperatura media del fluido frío (K).

$T_{s,h}$ = Temperatura de la superficie del tubo en contacto con el fluido Caliente (K).

$T_{s,c}$ = Temperatura de la superficie del tubo en contacto con el fluido frío (K).

h_h = Coeficiente de convección del fluido caliente (W/m^2K).

h_c = Coeficiente de convección del fluido caliente (W/m^2K).

ρ = Densidad del fluido (Kg/m^3).

u = Velocidad media del fluido en la sección transversal del tubo (m/s).

D = Diámetro interior del tubo (m).

μ = Viscosidad dinámica del fluido (Kg/ms).

ν = Viscosidad cinemática del fluido (m^2/s).

α = Difusividad térmica del fluido (m^2/s).

C_p = Capacidad calorífica del fluido (J/KgK).

K_f = Conductividad térmica del fluido W/mK).

T_m = Temperatura media en la sección transversal del tubo.

T = Temp. en el fluido que varia con la distancia a la superficie del tubo.

$T_{h,i}$ = Temperatura del fluido caliente a la entrada del intercambiador.

$T_{h,o}$ = Temperatura del fluido caliente a la salida del intercambiador.

$T_{c,i}$ = Temperatura del fluido frio a la entrada del intercambiador.

$T_{c,o}$ = Temperatura del fluido frio a la salida del intercambiador.

Para el intercambiador de calor de tubos concéntricos TITC.

- T_1 = Temperatura de entrada o de salida del fluido frio.
- T_2 = Temperatura de entrada fluido caliente.
- T_3 = Temperatura del fluido frio en el punto intermedio del intercambiador.
- T_4 = Temp. del fluido caliente en el punto intermedio del intercambiador.
- T_5 = Temperatura de entrada o de salida del fluido frio.
- T_6 = Temperatura del fluido caliente a la salida del intercambiador.

Para el intercambiador de régimen turbulento TIFT.

- T_1 = Temperatura del agua fría a la entrada ó salida del intercambiador.
- T_2 = Temperatura del agua caliente a la entrada del intercambiador.
- T_3 = Temperatura del agua fría entre el primer y el segundo tramo del intercambiador.

- T_4 = Temperatura del agua caliente entre el primer y el segundo tramo del intercambiador.
- T_5 = Temperatura del agua fría entre el segundo y el tercer tramo del intercambiador.
- T_6 = Temperatura del agua caliente entre el segundo y el tercer tramo del intercambiador.
- T_7 = Temperatura del agua fría entre el tercer y el cuarto tramo del intercambiador.
- T_8 = Temperatura del agua caliente entre el tercer y el cuarto tramo del intercambiador.
- T_9 = Temperatura del agua fría a la entrada ó salida del intercambiador.
- T_{10} = Temperatura del agua caliente a la salida del intercambiador.

- T_{11} = Temperatura de la superficie exterior del tubo interior a la entrada del intercambiador.
- T_{12} = Temperatura de la superficie exterior del tubo interior a la salida del intercambiador.

D_{int} = Diámetro interior del tubo.

D_{ext} = Diámetro exterior del tubo.

L = Longitud del intercambiador.

TABLA DE CONTENIDO

1	OBJETIVOS	31
1.1	OBJETIVO GENERAL.....	31
1.2	OBJETIVOS ESPECIFICOS.....	31
2	MARCO REFERENCIAL.....	32
2.1	MARCO TEORICO.	33
2.1.1	CONDUCCIÓN.	34
2.1.2	CONDUCTIVIDAD TÉRMICA.	34
2.1.3	CONVECCIÓN.....	34
2.1.4	RADIACIÓN.....	37
2.1.5	TRANSFERENCIA DE CALOR EN INTERCAMBIADORES DE CALOR. LOS INTERCAMBIADORES DE CALOR SON	
2.1.6	COEFICIENTE GLOBAL DE TRANSFERENCIA DE CALOR..	40
2.1.7	COEFICIENTE DE TRANSFERENCIA DE CALOR POR CONVECCIÓN (H)..	43
2.1.8	OBTENCIÓN DEL NÚMERO DE NUSSELT.....	44
2.1.9	DISTRIBUCIÓN DE TEMPERATURAS EN INTERCAMBIADORES DE CALOR DE TUBO CONCÉNTRICO.....	48
2.1.10	DIFERENCIA MEDIA LOGARÍTMICA DE TEMPERATURAS.....	49
2.1.11	CALCULO DEL COEFICIENTE DE TRANSFERENCIA DE CALOR.	53
2.1.12	MÉTODO NTU – EFECTIVIDAD PARA EL ANÁLISIS DE UN INTERCAMBIADOR DE CALOR.....	56
2.2	MARCO CONCEPTUAL.....	58
3	DESCRIPCION DE LOS EQUIPOS.	63
3.1	UNIDAD BASE Y DE SERVICIO. TIUS.	63
3.1.1	ELEMENTOS.....	63

3.1.2	CIRCUITO DE AGUA CALIENTE (C – 1) - (C – 4)..	64
3.1.3	CIRCUITO DE AGUA FRÍA (C – 2) - (C – 3)..	65
3.2	CAJA INTERFACE DE CONTROL. TICC/CIB.	67
3.3	INTERCAMBIADOR DE CALOR DE TUBOS CONCÉNTRICOS. TITC.	68
3.3.1	DIMENSIONES.	69
3.3.2	ELEMENTOS.	70
3.4	TIFT. INTERCAMBIADOR DE CALOR DE FLUJO TURBULENTO.	71
3.4.1	DIMENSIONES.	72
3.4.2	ELEMENTOS.	72
3.5	SOFTWARE.	73
4	METODOLOGIA.	78
5	ANÁLISIS DE DATOS Y RESULTADOS.	80
5.1	DETERMINACIÓN DEL TIEMPO DE ESTABILIZACIÓN DE LAS TEMPERATURAS.	83
5.2	VARIABLES Y RANGOS DE TRABAJO.	85
5.3	TABLAS Y CÁLCULO DE LA EFECTIVIDAD DE LOS EQUIPOS.	86
5.4	PREGUNTAS DE ANÁLISIS.	156
6	CONCLUSIONES.	158
6.1	RECOMENDACIONES.	160
6.2	OBSERVACIONES.	161

7 ANEXOS.....	163
8 BIBLIOGRAFÍA.....	164

INTRODUCCION.

La transferencia de calor, en física, es un proceso en el que se intercambia energía calórica entre distintos cuerpos, o entre diferentes partes de un mismo cuerpo que están a distinta temperatura. La transferencia de calor abarca fenómenos físicos que hay que comprender antes de proceder a desarrollar la metodología que conduzca al diseño térmico de los sistemas correspondientes como por ejemplo los que implican procesos de transferencia de calor de un fluido a otro mediante intercambiadores de calor¹. Algunos ejemplos de diseño pueden ser:

a) Los que requieren disminuir las cantidades de calor transferido mediante un aislante térmico, o amplificarlas mediante aletas u otros sistemas.

b) Los que implican procesos de transferencia de calor de un fluido a otro mediante intercambiadores de calor.

c) Los que controlan térmicamente un proceso, manteniendo las temperaturas de funcionamiento de los elementos sensibles al calor dentro de unos márgenes predeterminados, etc.

Siempre que existe una diferencia de temperatura, la energía se transfiere de la región de mayor temperatura a la de temperatura más baja; de acuerdo con los conceptos termodinámicos la energía que se transfiere como resultado de una diferencia de temperatura, es el calor². Sin embargo, aunque las leyes de la termodinámica tratan de la transferencia de energía, sólo se aplican a sistemas que están en equilibrio; pueden utilizarse para predecir la cantidad de energía requerida para modificar un sistema de un estado de equilibrio a otro, pero no

¹ CENGEL, Yanus A. Transferencia De Calor Y Masa, Mc Graw Hill, 2007.

² HOLMAN, Jack Phillip. Heat Transfer, Mc Graw Hill, 2002.

sirven para predecir la rapidez (tiempo) con que puedan producirse estos cambios; la fenomenología que estudia la transmisión del calor complementa los Principios termodinámicos, proporcionando unos métodos de análisis que permiten predecir esta velocidad de transferencia térmica.

Para ilustrar los diferentes tipos de información que se pueden obtener desde ambos puntos de vista, (termodinámico y transferencia de calor) consideraremos, a título de ejemplo, el calentamiento de una barra de acero inmersa en agua caliente. Los principios termodinámicos se pueden utilizar para predecir las temperaturas finales una vez los dos sistemas hayan alcanzado el equilibrio y la cantidad de energía transferida entre los estados de equilibrio inicial y final, pero nada nos dicen respecto a la velocidad de la transferencia térmica, o la temperatura de la barra al cabo de un cierto tiempo, o del tiempo que hay que esperar para obtener una temperatura determinada en una cierta posición de la barra³. Un análisis de la transmisión del calor permite predecir la velocidad de la transferencia térmica del agua a la barra y de esta información se puede calcular la temperatura de la barra, así como la temperatura del agua en función del tiempo.

Para proceder a realizar un análisis completo de la transferencia del calor es necesario considerar tres mecanismos diferentes, conducción, convección y radiación. El diseño y proyecto de los sistemas de intercambio de calor y conversión energética requieren de cierta familiaridad con cada uno de estos mecanismos, así como de sus interacciones; en primer lugar consideraremos los principios básicos de la transmisión del calor y algunas aplicaciones simples, que serán de utilidad más adelante y serán tratados con más detalle.

³ HOLMAN, Jack Phillip. Heat Transfer, Mc Graw Hill, 2002.

Un intercambiador de calor es un dispositivo diseñado para transferir calor entre dos medios que estén separados por una barrera o que se encuentren en contacto ⁴ . Son parte esencial de los dispositivos de refrigeración, acondicionamiento de aire, producción de energía y procesamiento químico. El equipo de transferencia de calor se define por las funciones que desempeña en un proceso. Los intercambiadores recuperan calor entre dos corrientes en un proceso. Los calentadores se usan primeramente para calentar fluidos de proceso, y generalmente se usa vapor con este fin. Los enfriadores se emplean para enfriar fluidos en un proceso, el agua es el medio enfriador principal. Los condensadores son enfriadores cuyo propósito principal es eliminar calor latente en lugar de calor sensible. Los hervidores tienen el propósito de suplir los requerimientos de calor en los procesos como calor latente. Los evaporadores se emplean para la concentración de soluciones por evaporación de agua u otro fluido. Es por eso que los intercambiadores de calor se han convertido a lo largo de la historia en unas herramientas vitales en procesos termodinámicos.

Recientemente el Departamento de Ingenierías de la Universidad Autónoma Del Caribe adquirió unos equipos marca EDIBON, los cuales son unos bancos intercambiadores de calor para realizar prácticas de laboratorio y con ellos poder determinar varios parámetros fundamentales en el proceso de transferencia de calor. Con lo anteriormente mencionado nacen las siguientes interrogantes:

- ¿Qué parámetros podemos manipular y calcular con estos equipos?
- ¿Qué tan eficientes son estos equipos?
- ¿Cuáles son las condiciones óptimas de operación de estos equipos?
- ¿Qué diferencias pueden existir entre los equipos?

Para dar solución a estos interrogantes se propone hacer un estudio de caracterización y operación de estos.

⁴ CENGEL, Yanus A. Transferencia De Calor Y Masa, Mc Graw Hill, 2007.

Con estos intercambiadores aparecen una serie de parámetros, propiedades y tipos de transferencia (conducción, convección y radiación) y como en todo sistema existen diferentes tipos de configuraciones de elementos, características y propiedades para lograr así una mejor eficiencia en estos procesos. Es importante tener claro todos estos conceptos para entender el fenómeno de transferencia de calor encontrado en los equipos; realizar pruebas en ellos para poder hacer así los cálculos de los parámetros físicos objetos de estudio y determinar las características y modos de operación de los mismos.

El siguiente proyecto está enfocado en la descripción del proceso de caracterización de los bancos de prueba de tubos concéntricos y de régimen turbulento, dicho proceso inicia con el muestro de temperaturas en los diferentes puntos de los intercambiadores, seguidamente se realizan los cálculos pertinentes en el proceso de caracterización para finalmente hacer la comparación y sacar las conclusiones. En este proceso se observa como al variar los caudales y configuraciones de flujo, varían las temperaturas y todos los parámetros dependientes de ella tales como el calor transferido y la eficiencia.

1 OBJETIVOS

1.1 OBJETIVO GENERAL.

- Caracterizar los bancos de prueba de intercambio de calor de tubo concéntrico y de régimen turbulento.

1.2 OBJETIVOS ESPECIFICOS.

- Crear una fuente de información referente a los equipos.
- Determinar todos los tipos de configuraciones de flujo en los equipos y las experiencias posibles a realizar en estas teniendo en cuenta que se puede hacer experiencias con fluido frío en el tubo interior y el fluido caliente en el anillo exterior y viceversa.
- Hacer los cálculos correspondientes en los intercambiadores de calor de tubo concéntrico y de régimen turbulento con todas las posibles configuraciones de flujo tanto del fluido a refrigerar como del refrigerante.
- Comparar los resultados de los cálculos de eficiencias de los equipos.
- Establecer que deficiencias se encuentran entre los equipos.
- Enunciar recomendaciones operativas y observaciones del funcionamiento de los equipos.

2 MARCO REFERENCIAL.

Hasta el siglo XIX se explicaba el efecto del ambiente en la variación de la temperatura de un cuerpo por medio de un fluido invisible llamado calórico. Este se producía cuando algo se quemaba y, además, que podía pasar de un cuerpo a otro. La teoría del calórico afirmaba que una sustancia con mayor temperatura que otra, necesariamente, poseía mayor cantidad de calórico.

Benjamín Thompson estableció que el trabajo podía convertirse en calor o en un incremento de la energía térmica determinando que, simplemente, era otra forma de la energía. El paso de calor desde un cuerpo que está a una temperatura más alta a otro que está a una temperatura más baja es de algún modo análogo al flujo de un fluido, como puede ser el agua, desde una altura superior a otra inferior.

Así pues, no resulta sorprendente que las primeras teorías sobre la propagación del calor lo trataran como si fuese algo parecido a un fluido, denominado fluido calórico. Si un cuerpo pierde fluido calórico, su temperatura debería disminuir, y ésta, debería aumentar si el cuerpo ganara fluido calórico.

A pesar que con esta idea de considerar al calor como un fluido se explicaban muchas de las características relativas a la propagación del calor, la teoría del fluido calórico resultaba inconsistente con los datos experimentales.

Parece que Benjamín Thompson, también conocido como el conde Rumford, quien se opuso seriamente al concepto del fluido calórico. Temeroso de la propagación de la Revolución Francesa, el gobernador de Baviera encomendó al conde Rumford la supervisión de los cañones construidos para la defensa de las fronteras.

En el proceso de taladrar el ánima de los cañones, Rumford observó que se producía un aumento de temperatura en la estructura del cañón, en las virutas metálicas y en el propio taladrador, de modo que parecía generarse calor continuamente en lugar de conservarse, como predecía la teoría del fluido calórico. Rumford dirigió una serie de experimentos para medir el cambio de temperatura que ocurría al utilizar maquinaria rudimentaria en el proceso de taladrado. En uno de los experimentos, se utilizó agua para refrigerar el taladrador y la estructura del cañón. Rumford midió el aumento de temperatura del agua y observó «la sorpresa y el asombro que expresaban los semblantes de los allí presentes viendo la gran cantidad de agua que se calentaba, y que verdaderamente llegaba a hervir sin ningún fuego.

Rumford concluyó que el calor no podía ser una sustancia material, ya que parecía no tener límite. Más bien parecía que era el resultado del rozamiento o del trabajo realizado por las fuerzas de rozamiento.

A lo largo de los años, desde que el hombre se encontró con la necesidad de extraer o agregar calor al entorno, sustancias, etc., diferentes tipos de intercambiadores de calor se han diseñado para cumplir las especificaciones de varios procesos y aplicaciones.

Cada uno de estos diseños presenta inigualables ventajas y hasta el día de hoy han mantenido un liderazgo en la industria de la transferencia de calor y los pone a trabajar a favor del usuario para la optimización de procesos termodinámicos.

2.1 MARCO TEORICO.

El calor es energía de tránsito debido a una diferencia de temperaturas. Donde quiera que exista una diferencia de temperaturas en un medio o entre varios medios, se produce transferencia de calor. Existen 3 tipos de procesos de transferencia de calor o modos: conducción, convección y radiación.

2.1.1 Conducción. Es la transferencia de energía de las partículas más energéticas de una sustancia hacia las adyacentes menos energéticas, como resultado de interacciones de esas partículas⁵. La conducción puede tener lugar en los sólidos, líquidos o gases. En el caso unidimensional y estacionario, la tasa de transferencia de calor a través de una pared vendrá por la siguiente expresión llamada la ley de Fourier:

$$q = -K * A * \frac{(T_2 - T_1)}{X} \quad (1)$$

2.1.2 Conductividad térmica. Es la velocidad de transferencia de calor a través de un espesor unitario del material por unidad de área por la diferencia de temperaturas. La conductividad térmica de un material es una medida de la capacidad del material para conducir calor. Un valor elevado para la conductividad térmica indica que el material es un buen conductor de calor y bajo indica que es un mal conductor o aislante.⁶

2.1.3 Convección. Es el modo de transferencia de energía entre una superficie sólida y el líquido o gas adyacentes que están en movimiento y comprende los efectos combinados de la conducción y el movimiento del fluido. Entre más rápido es el movimiento de un fluido, mayor es la transferencia de calor por convección.

⁵ CENGEL, Yanus A. Transferencia De Calor Y Masa, Mc Graw Hill, 2007.

⁶ HOLMAN, Jack Phillip. Heat Transfer, Mc Graw Hill, 2002.

En ausencia de cualquier movimiento masivo del fluido, la transferencia de calor entre una superficie solida y el fluido adyacente es por conducción pura. La presencia de movimiento masivo del fluido acrecienta la transferencia de calor entre la superficie solida y el fluido, pero también complica la determinación de las velocidades de esa transferencia⁷.

Podemos clasificar la transferencia de calor por convección en, convección forzada y convección natural.

Convección forzada es causada cuando el flujo es causado por medios externos como un ventilador, una bomba o el viento atmosférico.

Convección natural ocurre cuando el flujo esta inducido por fuerzas de flotabilidad, las cuales resultan de diferencias de densidad causadas por variaciones de temperatura en el fluido⁸.

Una consecuencia de la interacción fluido – superficie, es la formación de una región en el fluido a través de la cual la velocidad varía desde cero en la superficie a un valor infinito asociado con el fluido. Esta es la capa límite hidrodinámica. Si además la temperatura entre la superficie y el fluido varían, aparece una capa limite térmica, donde la temperatura varía desde la desde la superficie hasta la temperatura en el exterior del fluido.

Un primer paso en el tratamiento de la transferencia de calor por convección es determinar si la capa limite hidrodinámica es laminar o turbulenta, ya que la tasa de transferencia de calor depende fuertemente de esta condición.

⁷ CENGEL, Yanus A. Transferencia De Calor Y Masa, Mc Graw Hill, 2007.

⁸ FRANK P. Incropera, Fundamentos de Transferencia de Calor David P. De Witt Editorial: PEARSON, 23 Ago 2009.

En régimen laminar, el movimiento del fluido es ordenado y es posible identificar las líneas de corriente a lo largo de las cuales se mueven las partículas. El fluido laminar está asociado con números de Reynolds bajos, es decir, el ratio entre las fuerzas de inercia y las fuerzas de viscosidad es bajo. De este modo, las perturbaciones en el fluido (originadas por la rugosidad superficial o por la misma corriente libre) se disipan rápidamente, manteniéndose el flujo ordenado (laminar). Si el número de Reynolds es alto, las fuerzas de inercia son suficientemente grandes como para amplificar las perturbaciones producidas en un flujo laminar, generando torbellinos que nos indican la aparición del régimen turbulento en el fluido. El régimen turbulento, se caracteriza por movimiento irregular y fluctuaciones aleatorias en la velocidad⁹.

Dado que la difusividad de los torbellinos es mucho mayor que la difusividad molecular del régimen laminar, los perfiles de velocidad y temperatura en el corazón de la capa límite son más uniformes en el régimen turbulento y por lo tanto el gradiente de velocidad y temperaturas es mucho mayor.

Como consecuencia, la tasa de transferencia de calor es mucho mayor en flujos turbulentos que en flujos laminares.

Por el contrario, elevados gradientes de velocidad causan grandes tensiones superficiales, lo que nos conduce a afirmar que el régimen turbulento tiene efecto adverso de incrementar la caída de presión en la dirección de flujo. Esta mayor pérdida de presión requerirá bombas o ventiladores de mayor potencia. Independientemente si estamos en régimen laminar o turbulento, la tasa de transferencia de calor por convección entre una superficie y un fluido viene dada por la ley de enfriamiento de Newton, cuya expresión:

⁹ WILLIAM McAdams, Heat Transmission, 1993.

$$q = A * h (T_s - T_\infty) \quad (2)$$

La capa límite térmica es la zona delgada en contacto con la superficie a través de la que se produce la transferencia de calor. Esta capa ofrece resistencia al flujo de calor. De este modo, existe una resistencia de convección análoga a la de conducción¹⁰.

$$R_{t,conv} = \frac{T_s - T_\infty}{q} = \frac{1}{h * A} \quad (3)$$

2.1.4 Radiación. Es la energía emitida por la materia en la forma de ondas electromagnéticas (o fotones), como resultado de los cambios en las configuraciones electrónicas de los átomos o moléculas. A diferencia de la conducción o convección, la transferencia de energía por radiación no requiere la presencia de un medio interpuesto. De hecho la transferencia de energía por radiación es la más rápida (a la velocidad de la luz) y no sufre atenuación en el vacío¹¹.

La radiación es un fenómeno volumétrico y todos los sólidos, líquidos y gases emiten, absorben o transmiten radiación en diversos grados. Sin embargo la radiación suele considerarse como un fenómeno superficial para los sólidos que son opacos a la radiación térmica, como los metales, la madera y las rocas, ya que las radiaciones emitidas por las regiones interiores de un material de ese tipo nunca pueden llegar a la superficie, y la radiación incidente sobre esos cuerpos suele absorberse en unas cuantas micras hacia dentro de dichos sólidos.

Un cuerpo negro es una superficie ideal que absorbe toda la radiación incidente,

¹⁰ FRANK P. Incropera, Fundamentos de Transferencia de Calor David P. De Witt Editorial: PEARSON, 23 Ago 2009.

¹¹ HOLMAN, Jack Phillip. Heat Transfer, Mc Graw Hill, 2002.

emite el máximo de energía posible para una temperatura y longitud de onda dada y emite lo mismo en todas las direcciones.¹² La radiación de un cuerpo negro viene dada por.

$$E_b = \sigma * \epsilon * A * T_s^4 \quad (4)$$

Si consideramos una pequeña superficie gris (superficie en la que su absorptividad es igual a su emisividad) a temperatura T_s , rodeada por una superficie isoterma mucho mayor (alrededores) a temperatura T_{sur} , la tasa de transferencia por radiación desde una superficie gris, obtenida a partir de la ley de Stefan Boltzmann, es.¹³

$$q = \epsilon * \sigma * A * (T_s^4 - T_{sur}^4) \quad (5)$$

Al igual que para la conducción y la convección, existe una resistencia térmica de radiación.

$$R_{t,rad} = \frac{T_s - T_{sur}}{q} = \frac{1}{\epsilon * \sigma * A * (T_s - T_{sur}) * (T_s^2 + T_{sur}^2)} \quad (6)$$

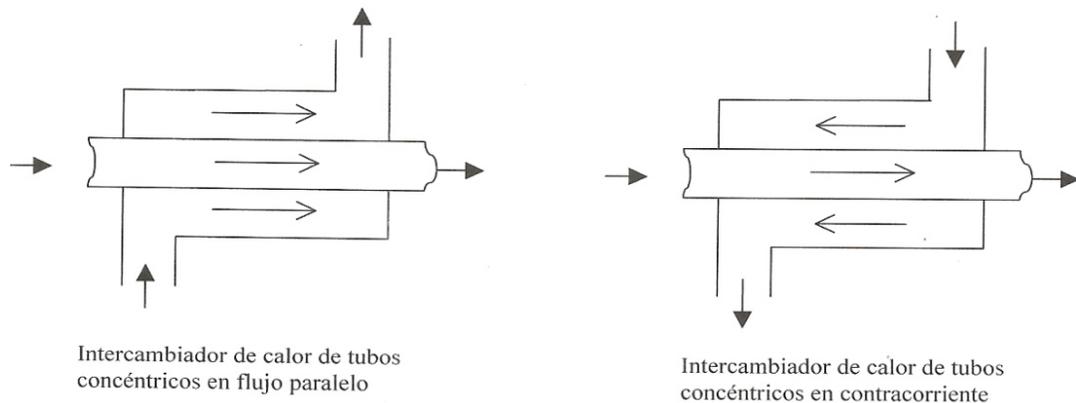
¹² FRANK P. Incropera, Fundamentos de Transferencia de Calor David P. De Witt Editorial: PEARSON, 23 Ago 2009.

¹³ WILLIAM McAdams, Heat Transmission, 1993.

2.1.5 Transferencia de calor en intercambiadores de calor. Los intercambiadores de calor son aparatos que facilitan el intercambio de calor entre dos fluidos que se encuentran a temperaturas diferentes y evitan al mismo tiempo que se mezclen entre sí¹⁴. Tienen numerosas aplicaciones ingenieriles y como consecuencia existen diferentes modelos adaptados a cada aplicación.

El más simple es el construido con dos tubos concéntricos, donde los fluidos pueden moverse en el mismo sentido o en sentidos contrarios. En flujo paralelo, los fluidos calientes y frío entran y salen por el mismo extremo y fluyen en el mismo sentido. En contracorriente, los fluidos entran y salen por extremos opuestos y fluyen en sentido contrario.

Figura 1. Sentido de flujo – intercambiador de calor de tubos concéntricos.

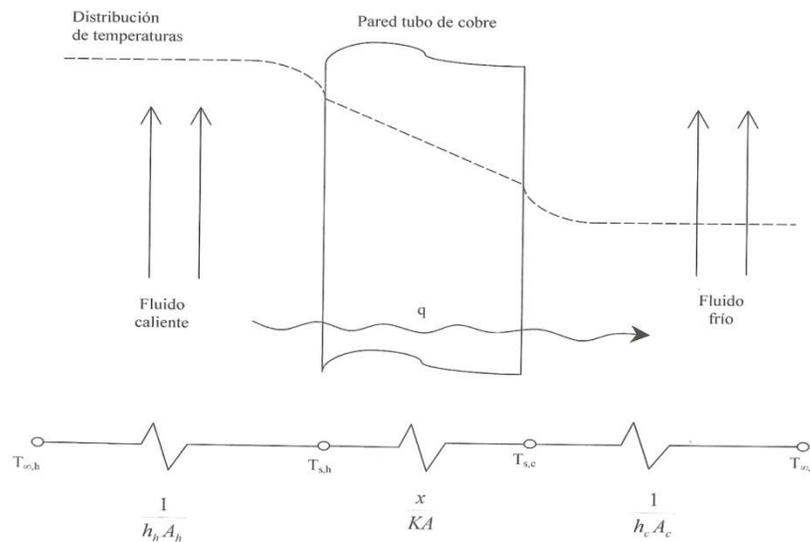


Fuente. EDIBON S.A. manuales de instalación, configuración, operación y prácticas, EDO1-09, Mayo 2009.

¹⁴ CENGEL, Yanus A. Transferencia De Calor Y Masa, Mc Graw Hill, 2007.

2.1.6 Coeficiente global de transferencia de calor. Para representar el fenómeno global de transferencia de calor ente los fluidos del intercambiador, recurrimos a las resistencias térmicas que aparecen en cada medio. El flujo de calor en su camino desde el fluido caliente hasta el frío, tiene que vencer la resistencia ejercida por la capa limite del fluido caliente, la resistencia de la pared de separación y la resistencia ejercida por la capa limite del fluido frío. Estas tres resistencias dispuestas en serie, conforman una resistencia total (R_t)¹⁵.

Figura 2. Esquema resistencias térmicas en serie.



Fuente. EDIBON S.A. manuales de instalación, configuración, operación y prácticas, EDO1-09, Mayo 2009.

La tasa de transferencia de calor será.

$$q = \frac{T_{\infty,h} - T_{\infty,c}}{R_t} = \frac{T_{\infty,h} - T_{\infty,c}}{\frac{1}{h_h * A_h} + \frac{1}{K * A} + \frac{1}{h_c * A_c}} \quad (7)$$

¹⁵ CENGEL, Yanus A. Transferencia De Calor Y Masa, Mc Graw Hill, 2007.

Definimos el coeficiente global de transferencia de calor, U, como un factor que para una configuración geométrica e hidrodinámica dada, nos da el valor del calor total transferido, al multiplicarlo por el área de intercambio y por la diferencia total de temperaturas.¹⁶

$$q = U * A * (T_{\infty,h} - T_{\infty,c}) \quad (8)$$

Donde en comparación con la ecuación 10 obtenemos.

$$\frac{1}{U * A} = \frac{1}{h_h * A_h} + \frac{1}{K * A} + \frac{1}{h_c * A_c} \quad (9)$$

Para un intercambiador de tubos concéntricos de longitud L, en el que el fluido caliente circula por el tubo interior y el fluido frío por el espacio entre el tubo interior y el tubo exterior, las superficies de intercambio será.

$$A_h = \pi * D_{int} * L \quad (10)$$

$$A_c = \pi * D_{ext} * L$$

Siendo D_{int} y D_{ext} los diámetros interior y exterior del tubo interno del intercambiador de calor y dado que la pared de intercambio es cilíndrica, la resistencia de conducción se debe expresar en coordenadas cilíndricas.

$$\frac{1}{U * A} = R_t = \frac{1}{h_h * \pi * D_{int} * L} + \frac{\ln \left[\frac{D_{ext}}{D_{int}} \right]}{2 * \pi * L * K} + \frac{1}{h_c * \pi * D_{ext} * L} \quad (11)$$

¹⁶ HOLMAN, Jack Phillip. Heat Transfer, Mc Graw Hill, 2002.

Durante el funcionamiento normal del intercambiador, los fluidos transportan impurezas que con el tiempo se van adhiriendo sobre las superficies, formando una capa adicional que incrementa la resistencia térmica total. Como tenemos dos fluidos, se generan dos resistencias adicionales, llamadas resistencias de contaminación. Estas son variables ya que aumentan con el tiempo de funcionamiento, pasando de un valor nulo cuando el intercambiador nuevo hasta un valor máximo al final de su vida útil.¹⁷

La resistencia generada por el fluido interior la denominaremos $R_{f,h}$ y la generada por el fluido exterior, $R_{f,c}$. incorporando estas resistencias al coeficiente global de transferencia de calor tendremos.

$$\frac{1}{U * A} = R_t = \frac{1}{h_h * \pi * D_{int} * L} + R_{f,c} + \frac{\ln \left[\frac{D_{ext}}{D_{int}} \right]}{2 * \pi * L * K} + R_{f,h} + \frac{1}{h_h * \pi * D_{ext} * L} \quad (12)$$

Las resistencias de contaminación solo se pueden conocer empíricamente ya que su naturaleza es difícil de conocer.¹⁸ En la siguiente tabla se muestran algunos valores experimentales de resistencias de contaminación.

¹⁷ HOLMAN, Jack Phillip. Heat Transfer, Mc Graw Hill, 2002.

¹⁸ CENGEL, Yanus A. Transferencia De Calor Y Masa, Mc Graw Hill, 2007.

Tabla 1. Valores de resistencias de contaminación.

FLUIDO	$R_f \cdot A$ ($m^2 k / w$)
Agua de mar y agua tratada para alimentación en calderas ($T < 50$ °C)	0.0001
Agua de mar y agua tratada para alimentación en calderas ($T > 50$ °C)	0.0002
Agua de río ($T < 50$ °C)	0.0002-0.001
Fuel oil	0.0009
Fluidos refrigerantes líquidos	0.0002
Vapor de agua	0.0001
Agua de pozo o de ciudad	0.001-0.002

Fuente. EDIBON S.A. manuales de instalación, configuración, operación y prácticas, EDO1-09, Mayo 2009.

Los términos más influyentes en el valor de la resistencia térmica total son los términos de convección. Dado que los diámetros están especificados, será fundamental determinar el coeficiente de transferencia de calor por convección (h), para predecir el intercambio de calor.

2.1.7 Coeficiente de transferencia de calor por convección (h). El intercambiador de calor trabaja con dos fluidos que se mueven a velocidades conocidas. Por lo tanto la convección será forzada. Para abordar el cálculo del coeficiente h , tenemos que basarnos en el cálculo dimensional de las ecuaciones de Navier Stokes de la mecánica de fluidos.

Estos resultados nos indican que la temperatura adimensional es función del número de Reynolds (Re), y del número de Prandtl (Pr) y de la geometría adimensional. Si definimos el número de Nusselt (Nu) como el gradiente de la temperatura adimensional en la superficie, podemos decir que el Nu es función del Re , del Pr y de la geometría adimensional.

$$Nu = f (Re, Pr, \text{geometría adimensional}) \quad (13)$$

Dónde.

$$Re_D = \frac{\rho * u * D}{\mu} \quad y \quad Pr = \frac{v}{\alpha} = \frac{\mu * Cp}{K_f} \quad (14)$$

Nota: Debido a que las condiciones de flujo varían de un punto a otro de la superficie, h también varía a lo largo de la superficie. De ahí que tomemos un coeficiente de convección medio, integrando el coeficiente de convección local en toda la superficie. Este valor medio será utilizado para obtener el número de Nusselt medio y la tasa de transferencia de calor media.

$$h = \frac{Nu_D * K_f}{D} \quad (15)$$

Nota: Dado que estamos trabajando con fluidos que circulan por tubos, tanto el Re como el Nu se basan en el diámetro D . si la superficie fuera plana estarían basados en una longitud característica L .

$$Re_L = \frac{\rho * u * L}{\mu} \quad y \quad Nu_L = \frac{h * L}{K_f} \quad (16)$$

2.1.8 Obtención del número de Nusselt. El método más sencillo es utilizar correlaciones empíricas obtenidas a partir de medidas realizadas en laboratorios. Estas correlaciones tiene la siguiente forma algebraica.

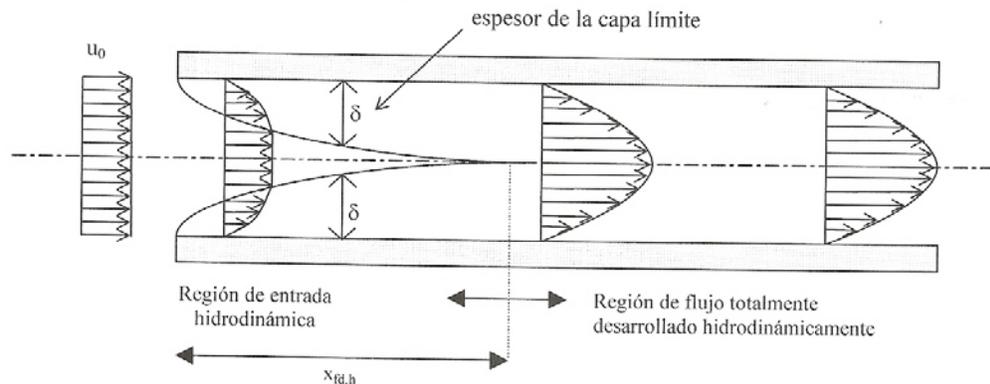
$$Nu_D = C * Re_D^m * Pr^n \quad (17)$$

Los valores de C , m y n son independientes de la naturaleza del fluido, pero varían con la geometría de la naturaleza superficial y tipo de flujo.

Para flujo interno, que es el caso de nuestros intercambiadores, hay que tener en cuenta si el flujo es laminar o turbulento y a demás la existencia de una región de entrada y de una región totalmente desarrollada, tanto térmica como hidrodinámicamente.

Cuando el fluido entra en el tubo, comienza a crecer la capa límite a medida que avanza a lo largo del tubo. Una vez que toda la sección transversal está ocupada por la capa límite, se alcanza la región de flujo totalmente desarrollado hidrodinámicamente, en el cual los efectos viscosos se extienden a toda la sección y el perfil de velocidad no cambia al avanzar a lo largo del tubo. La distancia desde la entrada hasta la región del flujo totalmente desarrollado hidrodinámicamente se denomina longitud de entrada hidrodinámica ($X_{fd,h}$).¹⁹

Figura 3. Esquema perfil de velocidades de flujo.



Fuente. EDIBON S.A. manuales de instalación, configuración, operación y prácticas, EDO1-09, Mayo 2009.

Para hallar $X_{fd,h}$ hay que determinar si el flujo es laminar o turbulento. El numero de Reynolds crítico correspondiente al inicio de la turbulencia en flujos totalmente desarrollados es $Re_{D,c} \approx 2300$ aunque es a partir de $Re_D \approx 10.000$ cuando tenemos condiciones totalmente turbulentas. Por lo tanto,

¹⁹ EDIBON S.A. Catálogos Online, Edición: EDO1-09, Mayo 2009,

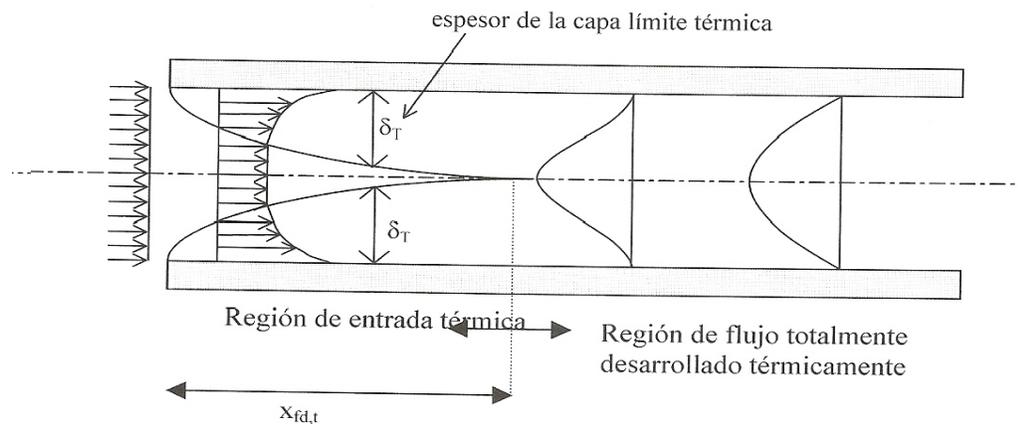
- Flujo laminar $\rightarrow X_{fd,h} \approx 0.05 D Re_D$.
- Flujo turbulento $10 D \leq X_{fd,h} \leq 60 D$.

Una vez expuestas las consideraciones hidrodinámicas, veamos los efectos térmicos. Si el flujo entra a una temperatura uniforme, menos que la de la superficie del tubo, comienza a crecer la capa límite térmica, hasta alcanzar la región de flujo totalmente desarrollado hidrodinámicamente. En esta zona, el perfil de temperaturas varía a lo largo del tubo aunque el parámetro adimensional de temperaturas permanece constante.²⁰

$$cte = \left(\frac{T_s - T}{T_s - T_m} \right) \quad (18)$$

La distancia desde la entrada hasta la región del flujo totalmente desarrollado térmicamente es la longitud de entrada térmica, $X_{fd,t}$.

Figura 4. esquema perfil de velocidades de flujo.



Fuente. EDIBON S.A. manuales de instalación, configuración, operación y prácticas, EDO1-09, Mayo 2009.

²⁰ EDIBON S.A. Catálogos Online, Edición: EDO1-09, Mayo 2009,

Los valores de la longitud de entrada térmica son.

- Flujo laminar $\rightarrow X_{fd,h} \approx 0.05 D Re_D Pr$
- Flujo turbulento $X_{fd,h} \leq 10 D$

Una vez que el flujo ya está definido tanto hidrodinámicamente como térmicamente podemos seleccionar la correlación experimental correspondiente.

Aquí tenemos algunos casos significativos.

- Régimen laminar totalmente desarrollado hidrodinámica y térmicamente con temperatura en la superficie constante y $Pr \geq 0.6$:

$$Nu_D = 3,66$$

- Régimen laminar totalmente desarrollado hidrodinámica y térmicamente con flujo de calor por unidad de superficie constante y $Pr \geq 0.6$:

$$Nu_D = 4,36$$

- Régimen turbulento totalmente desarrollado hidrodinámica y térmicamente con $0.6 \leq Pr \leq 160$, con $Re_D \geq 10000$ y con $(L/D) \geq 10$:

$$Nu_D = 0.023 Re_D^{0.8} Pr^n$$

Dónde.

$n = 0.4$ si $T_s > T_m$ (el fluido se está calentando).

$n = 0.4$ si $T_s < T_m$ (el fluido se está enfriando).

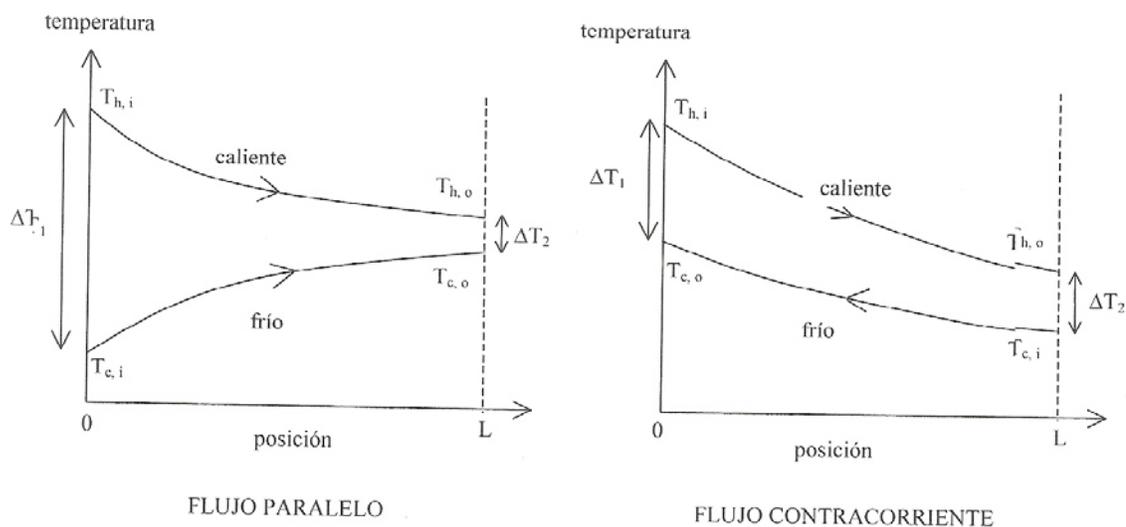
Nota: Las propiedades físicas del fluido en las anteriores correlaciones están basadas en el promedio de la temperatura media T_m .

$$T_m = \frac{T_{m,i} + T_{m,o}}{2} \quad (19)$$

Siendo $T_{m,i}$ la temperatura media a la entrada del intercambiador y $T_{m,o}$ la temperatura media a la salida del intercambiador.

2.1.9 Distribución de temperaturas en intercambiadores de calor de tubo concéntrico. La distribución de temperaturas en un intercambiador de calor de tubo concéntrico simple, en flujo paralelo y en contracorriente se muestra en las siguientes figuras.

Figura 5. Distribución de temperaturas en un intercambiador de calor de tubo concéntrico.



Fuente. EDIBON S.A. manuales de instalación, configuración, operación y prácticas, EDO1-09, Mayo 2009.

En el intercambiador de flujo paralelo, la zona más caliente del fluido caliente intercambia calor con la zona más fría del fluido frío, en la región de entrada.

Al comienzo la transferencia de calor es grande ya que la diferencia de temperaturas es máxima, pero esta diferencia decae rápidamente a lo largo del intercambiador, aproximándose asintóticamente a cero.

Es importante decir que para este tipo de intercambiadores, la temperatura de salida del fluido frío nunca excede la temperatura de salida del fluido caliente.

En el flujo contracorriente, la zona más caliente del fluido caliente intercambia calor con la zona más fría del fluido frío y la zona más fría del fluido caliente intercambia calor con la zona más caliente del fluido frío.²¹

Esta configuración proporciona una transferencia de calor tan buena, entre las partes calientes de ambos fluidos en un extremo, como en las partes frías en el otro extremo. Además la temperatura de salida del fluido frío puede exceder a la temperatura de salida del fluido caliente.

2.1.10 Diferencia media logarítmica de temperaturas. Como hemos visto, la diferencia de temperaturas entre los fluidos varía a lo largo del intercambiador. Por eso es conveniente definir un valor (ΔT_m) para el cálculo de la transferencia de calor total.

$$q = U A \Delta T_m \quad (20)$$

A partir del análisis desarrollado en la mayoría de textos de transferencia de calor, encontramos que la diferencia de temperatura media apropiada es una diferencia de temperatura media logarítmica (ΔT_{lm}), para el cálculo de la tasa de transferencia de calor.

$$q = U A \Delta T_{lm}$$

²¹ CENGEL, Yanus A. Transferencia De Calor Y Masa, Mc Graw Hill, 2007.

Siendo.

$$\Delta T_1 = T_{h,i} - T_{c,i}$$

$$\Delta T_2 = T_{h,o} - T_{c,o}$$

Para flujo paralelo y.

$$\Delta T_1 = T_{h,i} - T_{c,o}$$

$$\Delta T_2 = T_{h,o} - T_{c,i}$$

En flujo contracorriente.

Notar que, para mismas temperaturas de entrada y salida, ΔT_{im} para flujo contracorriente es mayor que para flujo paralelo. De este modo, el área requerida para una determinada tasa de transferencia de calor que es menor en contracorriente que para flujo paralelo, asumiendo el mismo valor de U .

El intercambiador de este tipo consta de dos tramos que nos permiten medir, además de las temperaturas en la entrada y en la salida, las temperaturas en diferentes tramos de tubería en los equipos TITC y TIFT y las temperaturas en la superficie exterior del tubo interior tanto en la entrada como en la salida para el equipo TIFT.

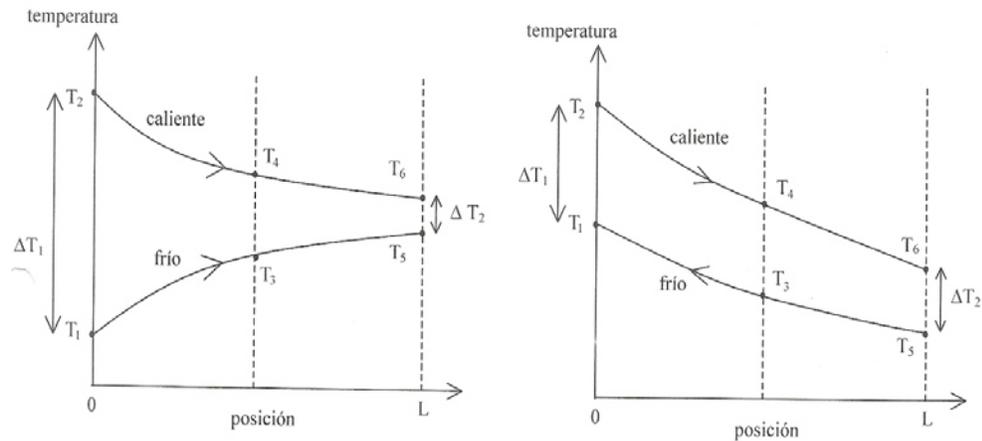
Introduzcamos la siguiente notación en las temperaturas que podrán medirse en el intercambiador. Para el intercambiador de calor de tubos concéntricos:

- T_1 = Temperatura de entrada o de salida del fluido frío.
- T_2 = Temperatura de entrada fluido caliente.
- T_3 = Temperatura del fluido frío en el punto intermedio del intercambiador.
- T_4 = Temp. del fluido caliente en el punto intermedio del intercambiador.
- T_5 = Temperatura de entrada o de salida del fluido frío.

- T_6 = Temperatura del fluido caliente a la salida del intercambiador.

La distribución de temperaturas será.

Figura 6. Distribución de temperaturas en un intercambiador de calor de tubo concéntrico.



Fuente. EDIBON S.A. manuales de instalación, configuración, operación y prácticas, EDO1-09, Mayo 2009.

La diferencia de temperaturas media logarítmica.

$$\Delta T_{lm} = \frac{\Delta T_1 + \Delta T_2}{\ln \left[\frac{\Delta T_1}{\Delta T_2} \right]} = \frac{(T_2 + T_1) - (T_6 + T_3)}{\ln \left[\frac{(T_2 + T_1)}{(T_6 + T_3)} \right]} \quad (21)$$

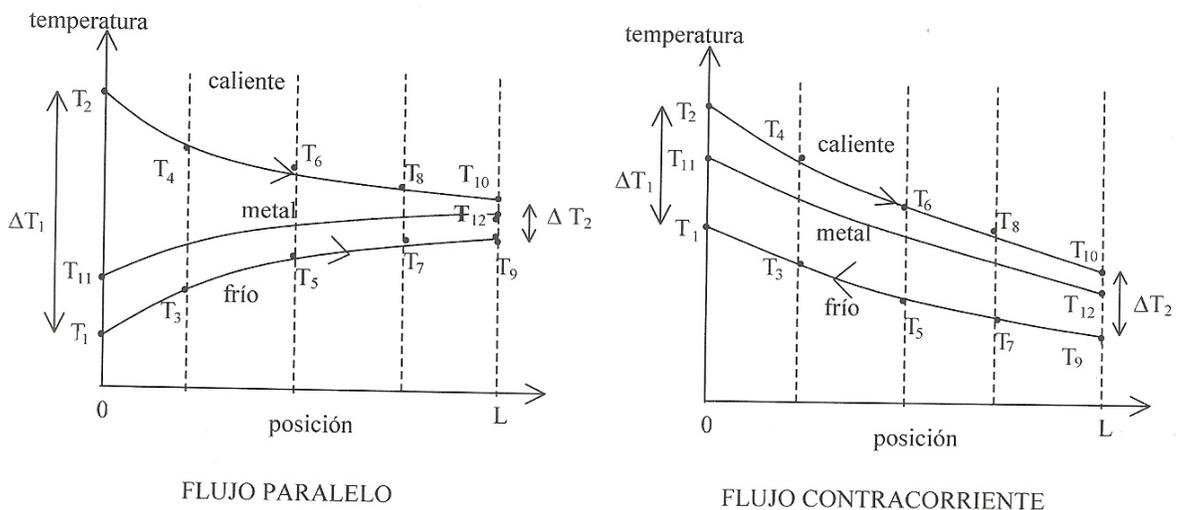
Para el intercambiador de calor de flujo turbulento.

- T_1 = Temperatura del agua fría a la entrada ó salida del intercambiador.
- T_2 = Temperatura del agua caliente a la entrada del intercambiador.
- T_3 = Temperatura del agua fría entre el primer y el segundo tramo del intercambiador.
- T_4 = Temperatura del agua caliente entre el primer y el segundo tramo del intercambiador.

- T_5 = Temperatura del agua fría entre el segundo y el tercer tramo del intercambiador.
- T_6 = Temperatura del agua caliente entre el segundo y el tercer tramo del intercambiador.
- T_7 = Temperatura del agua fría entre el tercer y el cuarto tramo del intercambiador.
- T_8 = Temperatura del agua caliente entre el tercer y el cuarto tramo del intercambiador.
- T_9 = Temperatura del agua fría a la entrada ó salida del intercambiador.
- T_{10} = Temperatura del agua caliente a la salida del intercambiador.
- T_{11} = Temperatura de la superficie exterior del tubo interior a la entrada del intercambiador.
- T_{12} = Temperatura de la superficie exterior del tubo interior a la salida del intercambiador.

La distribución de temperaturas será.

Figura 7. Distribución de temperaturas en un intercambiador de calor de flujo turbulento.



Fuente. EDIBON S.A. manuales de instalación, configuración, operación y prácticas, EDO1-09, Mayo 2009.

La diferencia de temperaturas media logarítmica.

$$\Delta T_1 = \frac{\Delta T_1 + \Delta T_2}{\ln \left[\frac{\Delta T_1}{\Delta T_2} \right]} = \frac{(T_2 + T_1) - (T_{10} + T_9)}{\ln \left[\frac{(T_2 + T_1)}{(T_{10} + T_9)} \right]} \quad (22)$$

2.1.11 Calculo del coeficiente de transferencia de calor. Dos relaciones importantes para el análisis de un intercambiador de calor son los balances de energía globales, tanto del fluido caliente como del fluido frío.²² Despreciando los cambios de energía potencial y cinética a lo largo del intercambiador, obtenemos.

Para el intercambiador de calor de tubo concéntrico. Tasa general de transferencia de calor desde el fluido caliente.

$$q_h = m_h C_{p_h} (T_2 - T_6) \quad (23)$$

Tasa general de transferencia de calor desde el fluido frío.

$$q_c = m_c C_{p_c} (T_5 - T_1) \quad (24)$$

Para el intercambiador de calor de flujo turbulento. Tasa general de transferencia de calor desde el fluido caliente.

$$q_h = m_h C_{p_h} (T_2 - T_{10}) \quad (25)$$

Tasa general de transferencia de calor desde el fluido frío.

$$q_c = m_c C_{p_c} (T_9 - T_1) \quad (26)$$

²² EDIBON S.A. Catálogos Online, Edición: EDO1-09, Mayo 2009,

Donde m_h y m_c son los gastos másicos, C_{p_h} y C_{p_c} son los calores específicos de los fluidos caliente y frío.

Nota: En teoría, q_h debería ser igual a q_c pero debía a pérdidas de energía en el ambiente y a errores de medidas en instrumentos y observaciones, no son exactamente iguales.

Anteriormente dedujimos otra expresión importante para la transferencia de calor a partir de una extensión de la ley de enfriamiento de Newton utilizando U en lugar de h .

$$q = U A \Delta T_{lm}$$

Para el intercambiador de calor de tubo concéntrico.

$$U * A = \frac{q_h}{\Delta T_{lm}} = \frac{q_h}{\frac{(T_2 + T_1) - (T_6 + T_5)}{\ln \left[\frac{(T_2 + T_1)}{(T_6 + T_5)} \right]}} \quad (27)$$

Para el intercambiador de calor de flujo turbulento.

$$U * A = \frac{q_h}{\Delta T_{lm}} = \frac{q_h}{\frac{(T_2 + T_1) - (T_{10} + T_9)}{\ln \left[\frac{(T_2 + T_1)}{(T_{10} + T_9)} \right]}} \quad (28)$$

Nota: Se puede calcular U , obteniendo un valor medio del área de transferencia.

$$A_m = \pi * L * \frac{D_{int} + D_{ext}}{2} \quad (29)$$

Para el intercambiador de calor de flujo turbulento.

La medida de las temperaturas en la superficie exterior del tubo interior nos permite evaluar los coeficientes de transferencia de calor por convección: entre el fluido frío y la superficie exterior del tubo interior (h_c) y el coeficiente de transferencia de calor entre el fluido caliente y la superficie interior del tubo interior (h_h).

Además podemos definir la diferencia de temperaturas media logarítmica entre el fluido frío y la superficie exterior del tubo interior $(\Delta T_{lm})_c$ y la diferencia de temperaturas media logarítmica entre el fluido caliente y la superficie interna del tubo interior $(\Delta T_{lm})_h$.

$$(\Delta T_{lm})_c = \frac{(T_{11} + T_1) - (T_{12} + T_9)}{\ln \left[\frac{(T_{11} + T_1)}{(T_{12} + T_9)} \right]} \quad (30)$$

$$(\Delta T_{lm})_h = \frac{(T_2 + T_{11}) - (T_{10} + T_{12})}{\ln \left[\frac{(T_2 + T_{11})}{(T_{10} + T_{12})} \right]} \quad (31)$$

El coeficiente de transferencia de calor por convección entre el fluido frío y la superficie exterior del tubo interior (h_c).

$$h_c = \frac{q_h}{A_c * (\Delta T_{lm})_c} \quad (32)$$

El coeficiente de transferencia de calor por convección entre el fluido caliente y la superficie interior del tubo interior (h_h).

$$h_c = \frac{1}{A_h * \left[\frac{(\Delta T_{lm})_h}{q_h} - \frac{x}{K * A_m} \right]} \quad (33)$$

Si despreciamos la resistencia de conducción de la pared del tubo interior frente a la resistencia de convección, el coeficiente h_h se simplificará de la forma.

$$h_h = \frac{q_h}{A_h * (\Delta T_{lm})_h} \quad (34)$$

2.1.12 Método NTU – efectividad para el análisis de un intercambiador de calor. Si las temperaturas de salida de un intercambiador no son conocidas, para calcular la tasa de transferencia de calor a partir de la diferencia media logarítmica de temperaturas tendríamos que resolver el problema por iteración, partiendo de un valor aproximado de una de las temperaturas.

Este método sería lento y costoso, en estos casos es preferible usar el método NTU – efectividad.

Primero definimos la efectividad como el cociente entre el valor realmente intercambiado y el máximo que podría transferirse en un intercambiador de área infinita en flujo contracorriente²³.

$$\varepsilon = \frac{q_{real}}{q_{maximo}} \quad (35)$$

Dónde.

²³ CENGEL, Yanus A. Transferencia De Calor Y Masa, Mc Graw Hill, 2007.

$q_{\text{máximo}} = m_h C_{p_h} (T_{h,i} - T_{c,i})$ si $m_h C_{p_h} < m_c C_{p_c}$ porque el fluido caliente experimentarían el cambio mayor de temperatura.

$q_{\text{máximo}} = m_c C_{p_c} (T_{h,i} - T_{c,i})$ si $m_c C_{p_c} < m_h C_{p_h}$ porque el fluido frío experimentarían el cambio mayor de temperatura siendo $(T_{h,i} - T_{c,i})$ el máximo posible de diferencia de temperaturas que sufrirían uno de los fluidos. Por tanto la efectividad será.

$$\varepsilon = \frac{T_{h,i} - T_{h,o}}{T_{h,i} - T_{c,i}} \text{ si } m_h * C_{p_h} < m_c * C_{p_c} \quad (36)$$

$$\varepsilon = \frac{T_{c,o} - T_{c,i}}{T_{h,i} - T_{c,i}} \text{ si } m_c * C_{p_c} < m_h * C_{p_h} \quad (37)$$

El número de unidades de transmisión (NTU) es un parámetro adimensional ampliamente usado para el análisis de intercambiadores de calor y se define como.

$$NTU = \frac{U * A}{(m * Cp)_{min}} \quad (38)$$

Por otro lado podemos definir el coeficiente de capacidad (C_R).

$$C_R = \frac{(m * Cp)_{max}}{(m * Cp)_{min}} \quad (39)$$

Ahora podemos expresar ε como función de C_R y de NTU.

Para flujo en paralelo.

$$NTU = \frac{1}{\frac{C_{min}}{C_{max}} + 1} \ln \frac{1}{1 - \left(\frac{C_{min}}{C_{max}} + 1\right) \varepsilon} \quad (40)$$

Para flujo contracorriente.

$$NTU = \frac{1}{1 - \frac{C_{min}}{C_{max}}} \ln \frac{1 - \varepsilon \frac{C_{min}}{C_{max}}}{1 - \varepsilon} \quad (41)$$

2.2 MARCO CONCEPTUAL.

ACTUADOR. Se denominan actuadores a aquellos elementos que pueden provocar un efecto sobre un proceso automatizado. Los actuadores son dispositivos capaces de generar una fuerza a partir de líquidos, de energía eléctrica y gaseosa. El actuador recibe la orden de un regulador o controlador y da una salida necesaria para activar a un elemento final de control como lo son las válvulas. Existen varios tipos de actuadores como son:

- Electrónicos.
- Hidráulicos.
- Neumáticos.
- Eléctricos.

AREA. Es una medida de la extensión de una superficie, expresada en unidades de medida denominadas superficial. Para superficies planas el concepto es más intuitivo. Cualquier superficie plana de lados rectos puede triangularse y se puede calcular su área como suma de las áreas de dichos triángulos. Ocasionalmente se usa el término "área" como sinónimo de superficie, cuando no existe confusión entre el concepto geométrico en sí mismo (superficie) y la magnitud métrica asociada al concepto geométrico (área).

BOMBA. Es un dispositivo que transforma la energía mecánica de un impulsor rotatorio llamado rodete en energía cinética y potencial requeridas. El fluido entra por el centro del rodete, que dispone de unos álabes para conducir el fluido, y por efecto de la fuerza centrífuga es impulsado hacia el exterior, donde es recogido por la carcasa o cuerpo de la bomba, que por el contorno su forma lo conduce hacia la salida o hacia el siguiente rodete (siguiente etapa).

CALOR. Es la transferencia de energía entre diferentes cuerpos o diferentes zonas de un mismo cuerpo que se encuentran a distintas temperaturas. Este flujo siempre ocurre desde el cuerpo de mayor temperatura hacia el cuerpo de menor temperatura, ocurriendo la transferencia de calor hasta que ambos cuerpos se encuentren en equilibrio térmico.

CAUDAL. Es la cantidad de fluido que pasa en una unidad de tiempo. Normalmente se identifica con el flujo volumétrico o volumen que pasa por un área dada en la unidad de tiempo. Menos frecuentemente, se identifica con el flujo másico o masa que pasa por un área dada en la unidad de tiempo.

DIAMETRO. Es el segmento que pasa por el centro y sus extremos son puntos de ella. Es la máxima cuerda (segmento entre dos puntos de la circunferencia) que se encuentra dentro de una circunferencia, o en un círculo.

EFICIENCIA. La palabra eficiencia proviene del latín *efficientia* que en español quiere decir, acción, fuerza, producción. Se define como la capacidad de disponer de alguien o de algo para conseguir un efecto determinado.

FLUIDO. Es una sustancia o medio continuo que se deforma continuamente en el tiempo ante la aplicación de una sollicitación o tensión tangencial sin importar la magnitud de ésta.

FLUJO MASICO. Es en física la magnitud que expresa la variación de la masa en el tiempo. Matemáticamente es la diferencial de la masa con respecto al tiempo. Se trata de algo frecuente en sistemas termodinámicos, pues muchos de ellos (tuberías, toberas, turbinas, compresores, difusores...) actúan sobre un fluido que lo atraviesa. Su unidad es el kg/s.

INTERFACE. Es el *puerto* (circuito físico) a través del que se envían o reciben señales desde un sistema o subsistemas hacia otros.

METODOLOGIA CUANTITATIVA. Es aquella que permite examinar los [datos](#) de manera numérica. Para que exista Metodología Cuantitativa se requiere que entre los elementos del problema de investigación exista una relación cuya Naturaleza sea conocida. Es decir, que haya claridad entre los elementos del problema de investigación que conforman el problema, que sea posible definirlo, limitarlos y saber exactamente donde se inicia el problema, en cual dirección va y qué tipo de incidencia existe entre sus elementos.

Los elementos constituidos por un problema, de investigación Lineal, se denominan: variables, relación entre variables y unidad de observación.

METODOLOGIA DESCRIPTIVA. Tiene como objetivo central la descripción o caracterización de un evento de estudio dentro de un contexto.

METODOLOGIA COMPARATIVA. Tiene como objeto lograr la identificación de diferencias o semejanzas con respecto a la aparición de un evento en dos o más contextos.

NUMERO DE PRANDALT. Es un número adimensional proporcional al cociente entre la difusividad de momento (viscosidad) y la difusividad térmica. Se llama así en honor a Ludwig Prandtl.

NUMERO DE NUSSEL. Es un número adimensional que mide el aumento de la transmisión de calor desde una superficie por la que un fluido discurre (transferencia de calor por convección) comparada con la transferencia de calor si ésta ocurriera solamente por conducción.

NUMERO DE REYNOLDS. Es un número adimensional utilizado en mecánica de fluidos, diseño de reactores y fenómenos de transporte para caracterizar el movimiento de un fluido.

SENSOR. Es un dispositivo capaz de medir magnitudes físicas o químicas, llamadas variables de instrumentación, y transformarlas en variables eléctricas.

SOFTWARE. Es el equipamiento lógico o soporte lógico de una computadora digital; comprende el conjunto de los componentes lógicos necesarios que hacen posible la realización de tareas específicas,

TEMPERATURA. Es una magnitud referida a las nociones comunes de caliente o frío. Por lo general, un objeto más "*caliente*" tendrá una temperatura mayor, y si fuere frío tendrá una temperatura menor. Físicamente es una magnitud escalar relacionada con la energía interna de un sistema termodinámico, definida por el principio cero de la termodinámica. Más específicamente, está relacionada directamente con la parte de la energía interna conocida como "*energía sensible*", que es la energía asociada a los movimientos de las partículas del sistema, sea en un sentido traslacional, rotacional, o en forma de vibraciones. A medida que es mayor la energía sensible de un sistema, se observa que está más "caliente"; es decir, que su temperatura es mayor.

TERMO PAR. Es un dispositivo formado por la unión de dos metales distintos que produce un voltaje (efecto Seebeck), que es función de la diferencia de

temperatura entre uno de los extremos denominado "punto caliente" o unión caliente o de medida y el otro denominado "punto frío" o unión fría o de referencia.

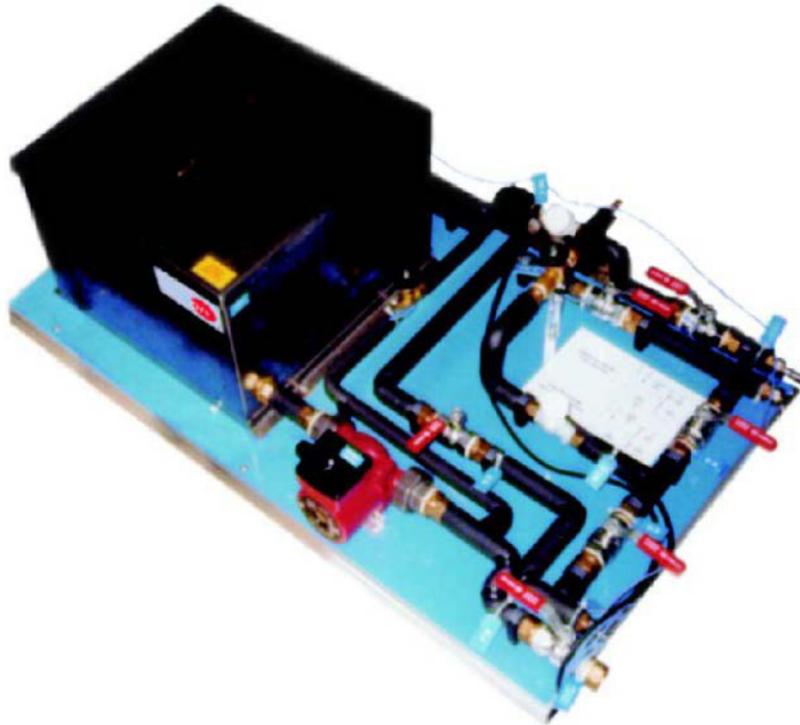
TRANSFERENCIA DE CALOR. Es el paso de energía térmica desde un cuerpo de mayor temperatura a otro de menor temperatura.

VALVULA. Es un dispositivo mecánico con el cual se puede iniciar, detener o regular la circulación (paso) de líquidos o gases mediante una pieza movible que abre, cierra u obstruye en forma parcial uno o más orificios o conductos.

3 DESCRIPCION DE LOS EQUIPOS.

3.1 UNIDAD BASE Y DE SERVICIO. TIUS.

Figura 8. Unidad Base y de Servicio.



Fuente. EDIBON S.A. Catálogos Online, Edición: EDO1-09, Mayo 2009.

3.1.1 Elementos. A continuación se hace relación de los elementos de la unidad base.

- Resistencia eléctrica de calentamiento (3000W) con termostato (70°C), para calentar el agua, controlada desde computador (PC).
- Sensor de temperatura tipo "J" para medida de la temperatura del agua, rango: -40 a 750°C.
- Interruptor de nivel para controlar el nivel de agua en el depósito (AN-1).

- Tapa de acero inoxidable para evitar el contacto con el agua caliente, provista de un orificio que permite la visualización del nivel de agua, e incluso poder rellenar el depósito.
- Válvula de desagüe de agua.
- Bomba centrífuga, con control de velocidad desde el computador (PC).
Rango: 0-3l./min.
- 2 Sensores de caudal, uno para el agua caliente y otro para el agua fría.
Rango: 0-6,5 l./min, resolución de 0,1.
- Válvula de control para el agua fría.
- 4 Válvulas de bola, que dependiendo de la posición en que estén, nos permiten flujo paralelo o flujo contracorriente en el intercambiador.
- Válvula de regulación de presión para evitar la introducción de demasiada presión en los intercambiadores, tarada a 0,5 Bar.
- 4 tubos flexibles para conectar con los diferentes intercambiadores.

3.1.2 Circuito de agua caliente (C – 1) - (C – 4). El agua caliente fluye a lo largo de un circuito cerrado. Una resistencia eléctrica (AR-1) inmersa en el depósito, calienta el agua hasta una temperatura determinada (ST-16). El agua sale del depósito y es impulsada por una bomba (AP-1). Parte del agua entra en el intercambiador y parte retorna al depósito mediante un bypass. En el bypass existe una válvula de regulación del caudal de agua caliente (AVR-1).

El agua se enfría a lo largo del intercambiador y al salir pasa por un sensor de caudal (SC-1) para luego entrar en el depósito de calentamiento y así iniciar un nuevo ciclo. Para el control y vaciado del agua caliente, el circuito está equipado con 2 válvulas de bola en la unidad base (AV-1 y AV-6).

3.1.3 Circuito de agua fría (C – 2) - (C – 3). El agua de enfriamiento entra de la red principal o toma de agua, atraviesa una válvula de control de flujo (AVR-2) y un regulador de presión programado a 0.5 Bar para evitar sobrepresiones en el equipo. Después pasa por el sensor de caudal (SC-2). A continuación, el agua entra al intercambiador, a lo largo del cual se calienta. El agua sale del intercambiador y es dirigida al desagüe.

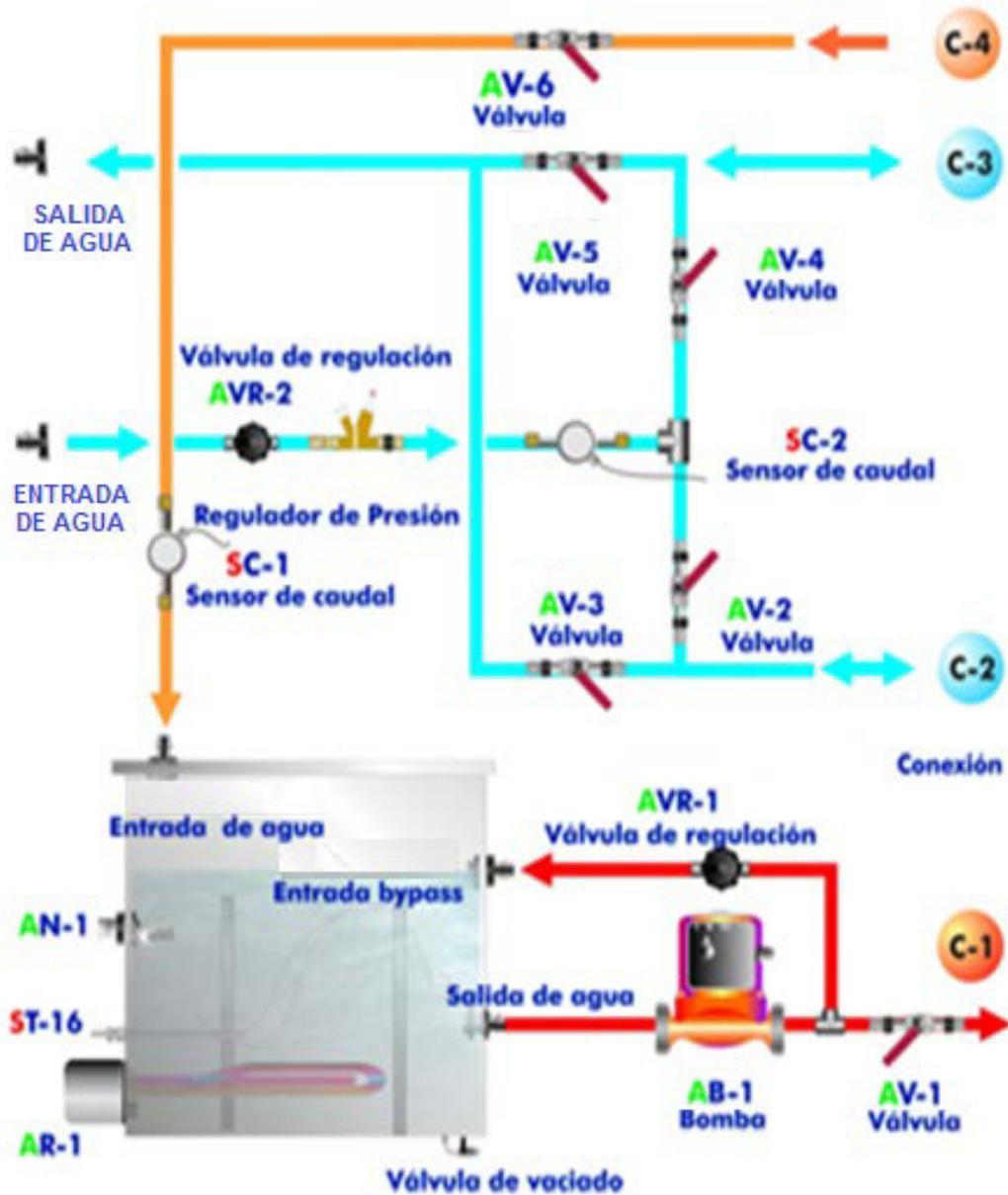
El agua fría puede entrar al intercambiador por ambos extremos dependiendo las posiciones de las válvulas (AV-2, AV-3, AV-4 y AV-5) que permite flujo paralelo o contracorriente.

Tabla 2. Posiciones de válvulas para las direcciones de flujo.

FLUJO CONTRACORRIENTE		FLUJO PARALELO	
Válvula (AV-2)	Cerrada	Válvula (AV-2)	Abierta
Válvula (AV-3)	Abierta	Válvula (AV-3)	Cerrada
Válvula (AV-4)	Abierta	Válvula (AV-4)	Cerrada
Válvula (AV-5)	Cerrada	Válvula (AV-5)	Abierta

Fuente. EDIBON S.A. manuales de instalación, configuración, operación y prácticas, EDO1-09, Mayo 2009.

Figura 9. Esquema Unidad Base y de Servicio.



Fuente. EDIBON S.A. manuales de instalación, configuración, operación y prácticas, EDO1-09, Mayo 2009.

Los puntos (C-1, C-2, C-3 y C-4) representan las conexiones de los tubos flexibles que unen los intercambiadores con la unidad base.

3.2 CAJA INTERFACE DE CONTROL. TICC/CIB.

Figura 10. Caja Interface de Control.



Fuente. EDIBON S.A. manuales de instalación, configuración, operación y prácticas, EDO1-09, Mayo 2009.

Caja-Interface de Control con diagrama del proceso en el panel frontal, con la misma distribución que los elementos en el equipo, para un fácil entendimiento por parte del alumno. Todos los sensores, con sus respectivas señales, están adecuadamente preparados para salida a computador de -10V. a +10V. Los conectores de los sensores en la interface tienen diferente número de pines (de 2 a 16) para evitar errores de conexión. Cable entre la caja -interface de control y el computador. Los elementos de control del equipo están permanentemente controlados desde el computador, sin necesidad de cambios o conexiones durante todo el proceso de ensayo. Cuenta con visualización simultánea en el computador de todos los parámetros que intervienen en el proceso, calibración de todos los sensores que intervienen en el proceso, representación en tiempo real de las curvas de las respuestas del sistema, almacenamiento de todos los datos del proceso y resultados en un archivo, representación gráfica, en tiempo real, de todas las respuestas del sistema/proceso. Todos los valores de los actuadores pueden ser cambiados en cualquier momento desde el teclado, permitiendo el análisis de las curvas y respuestas del proceso completo. Todos los valores de los

actuadores y sensores y sus respuestas se muestran en una misma pantalla en el computador. Señales protegidas y filtradas para evitar interferencias externas, control PID en tiempo real con flexibilidad de modificaciones de los parámetros PID desde el teclado del computador, en cualquier momento durante el proceso. Control PID y on/off en tiempo real para bombas, compresores, resistencias, válvulas de control, etc. Control PID en tiempo real de los parámetros que intervienen en el proceso simultáneamente, control abierto permitiendo modificaciones, en cualquier momento y en tiempo real, de los parámetros que intervienen en el proceso simultáneamente, control proporcional, control integral y control derivativo, basado en la fórmula matemática real del PID, mediante cambio de los valores, en cualquier momento, de las tres constantes de control (Constantes proporcional, integral y derivativa).

3.3 INTERCAMBIADOR DE CALOR DE TUBOS CONCÉNTRICOS. TITC.

Figura 11. Intercambiador de Calor de Tubos Concéntricos.



Fuente. EDIBON S.A. manuales de instalación, configuración, operación y prácticas, EDO1-09, Mayo 2009.

Este Intercambiador de Calor de Tubos Concéntricos nos permite el estudio de la transferencia de calor entre el agua caliente que circula por un tubo interior y el agua fría que circula por la zona anular entre el tubo interior y el tubo exterior.

Este intercambiador nos permite medir las temperaturas en distintos puntos, tanto en el agua fría como en la caliente.

Estructura de aluminio anodizado y paneles en acero pintado, principales elementos metálicos en acero inoxidable.

Diagrama en el panel frontal con distribución similar a la de los elementos en el equipo real.

Formado por dos tubos concéntricos de cobre. El agua caliente circula por el tubo interior y el agua de fría circula por el espacio entre el tubo interior y el tubo exterior.

3.3.1 Dimensiones. Las dimensiones del intercambiador son:

Longitud del intercambio $L = 2 \times 0,5 = 1$ m.

Tubo interno.

- Diámetro interno: $D = 16 \cdot 10^{-3}$ m.
- Diámetro externo: $D = 18 \cdot 10^{-3}$ m.
- Grosor = $2 \cdot 10^{-3}$ m.
- Área interna de transferencia de calor: $A_H = 0,0503$ m².
- Área externa de transferencia de calor: $A_C = 0,0565$ m².

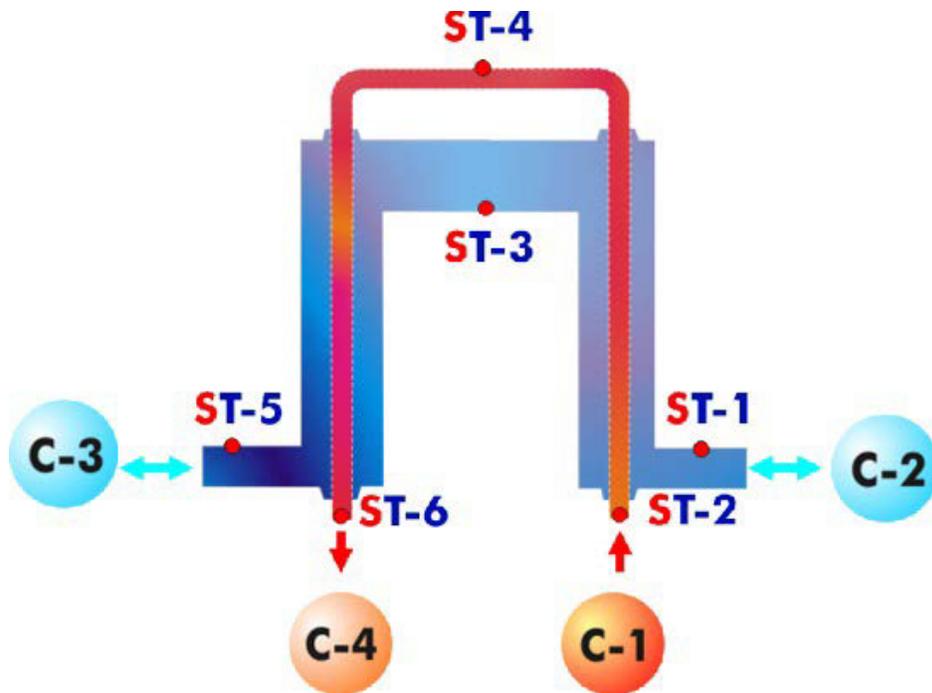
Tubo externo.

- Diámetro interno: $D = 26 \cdot 10^{-3}$ m.
- Diámetro externo: $D = 28 \cdot 10^{-3}$ m.
- Grosor = $2 \cdot 10^{-3}$ m.

3.3.2 Elementos. Los elementos del intercambiador son:

- 6 Sensores de temperatura (tipo “J”, rango: -40 a 750 °C), resolución de 0,01:
 - ST-1= Temperatura de entrada o de salida del fluido frio.
 - ST-2 = Temperatura de entrada fluido caliente.
 - ST-3 = Temperatura del fluido frio en el punto intermedio.
 - ST-4 = Temperatura del fluido caliente en el punto intermedio.
 - ST-5 = Temperatura de entrada o de salida del fluido frio.
 - ST-6 = Temperatura del fluido caliente a la salida del intercambiador.
- 4 válvulas de bola (AV-7, AV-8, AV-9 y AV-10).

Figura 12. Esquema Intercambiador de Calor de Tubos Concéntricos.



Fuente. EDIBON S.A. manuales de instalación, configuración, operación y prácticas, EDO1-09, Mayo 2009.

3.4 TIFT. INTERCAMBIADOR DE CALOR DE FLUJO TURBULENTO.

Figura 13. Intercambiador de Calor de Flujo Turbulento.



Fuente. EDIBON S.A. manuales de instalación, configuración, operación y prácticas, EDO1-09, Mayo 2009.

Este Intercambiador de Calor de Flujos Turbulentos nos permite el estudio de la transferencia de calor entre el agua caliente que circula por un tubo interno y el agua fría que circula por la zona anular entre el tubo interno y el tubo externo. Este intercambiador permite la medida de temperaturas en el agua fría y el agua caliente en diferentes puntos.

Estructura de aluminio anodizado y paneles en acero pintado. Principales elementos metálicos en acero inoxidable. Diagrama en el panel frontal con distribución similar a la de los elementos en el equipo real.

Formado por dos tubos de cobre concéntricos con agua caliente circulando por el tubo interior y agua fría circulando por el espacio anular.

3.4.1 Dimensiones. Las dimensiones del intercambiador son:

Longitud del intercambio: $L = 3 \times 0,5 = 1,5$ m.

Tubo interno.

- Diámetro interno: $D = 8 \cdot 10^{-3}$ m.
- Diámetro externo: $D = 10 \cdot 10^{-3}$ m.
- Grosor = $2 \cdot 10^{-3}$ m.
- Área interna de transferencia de calor: $A_H = 0,0377\text{m}^2$.
- Área externa de transferencia de calor: $A_C = 0,0471\text{m}^2$.

Tubo externo.

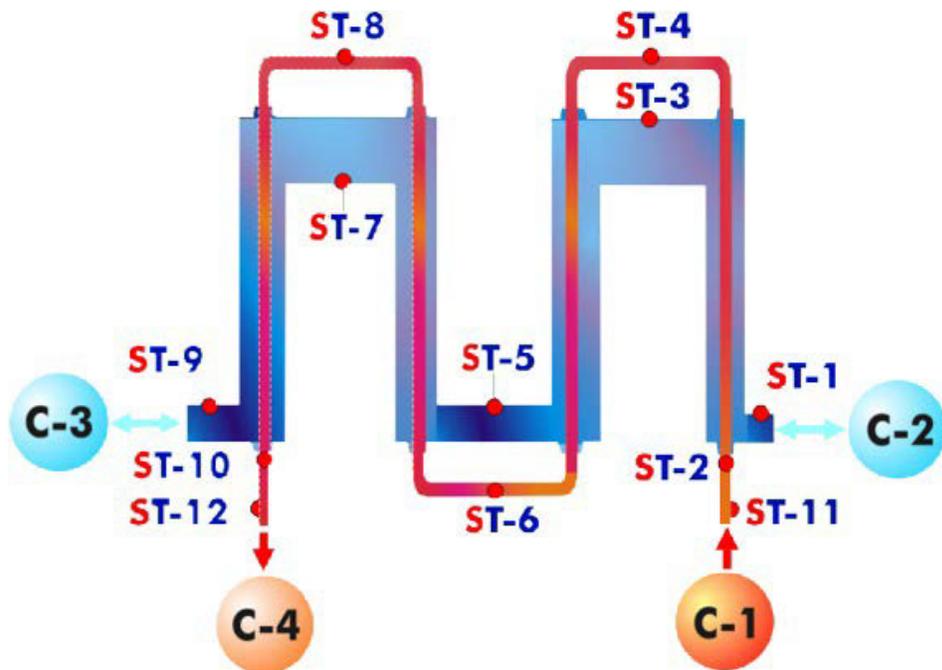
- Diámetro interno: $D = 13 \cdot 10^{-3}$ m.
- Diámetro externo: $D = 15 \cdot 10^{-3}$ m.
- Grosor = $2 \cdot 10^{-3}$ m.

3.4.2 Elementos.

- 12 Sensores de temperatura tipo “J”, rango: -40 a 750 C), resolución de 0,01:
 - (ST-1) Del agua fría a la entrada ó salida del intercambiador.
 - (ST-2) Del agua caliente a la entrada del intercambiador.
 - (ST-3) Del agua fría entre el primer y el segundo tramo del intercambiador.
 - (ST-4) Del agua caliente entre el primer y el segundo tramo del intercambiador.
 - (ST-5) Del agua fría entre el segundo y el tercer tramo del intercambiador.
 - (ST-6) Del agua caliente entre el segundo y el tercer tramo del intercambiador.
 - (ST-7) Del agua fría entre el tercer y el cuarto tramo del intercambiador.

- (ST-8) Del agua caliente entre el tercer y el cuarto tramo del intercambiador.
 - (ST-9) Del agua fría a la entrada ó salida del intercambiador.
 - (ST-10) Del agua caliente a la salida del intercambiador.
 - (ST-11) De la superficie exterior del tubo interior a la entrada del intercambiador.
 - (ST-12) De la superficie exterior del tubo interior a la salida del intercambiador.
- 4 válvulas de bola (AV-7, AV-8, AV-9 y AV-10).

Figura 14. Esquema Intercambiador de Calor de Flujos Turbulentos.



Fuente. EDIBON S.A. manuales de instalación, configuración, operación y prácticas, EDO1-09, Mayo 2009.

3.5 SOFTWARE.

El software utilizado por estos equipos es Labview que es una herramienta gráfica para pruebas, control y diseño mediante la programación. El lenguaje que usa se llama lenguaje G, donde la G simboliza que es lenguaje Gráfico.

Este programa fue creado por National Instruments (1976) para funcionar sobre máquinas MAC, salió al mercado por primera vez en 1986. Ahora está disponible para las plataformas Windows, UNIX, MAC y GNU/Linux. La versión actual 8.6, publicada en agosto de 2008, cuenta también con soporte para Windows Vista.

Los programas desarrollados con LabVIEW se llaman Instrumentos Virtuales, o VIs, y su origen provenía del control de instrumentos, aunque hoy en día se ha expandido ampliamente no sólo al control de todo tipo de electrónica (Instrumentación electrónica) sino también a su programación embebida. Un lema tradicional de LabVIEW es: "La potencia está en el Software", que con la aparición de los sistemas multinúcleo se ha hecho aún más patente.

Entre sus objetivos están el reducir el tiempo de desarrollo de aplicaciones de todo tipo (no sólo en ámbitos de Pruebas, Control y Diseño) y el permitir la entrada a la informática a profesionales de cualquier otro campo. LabVIEW consigue combinarse con todo tipo de software y hardware, tanto del propio fabricante - tarjetas de adquisición de datos, PAC, Visión, instrumentos y otro Hardware- como de otros fabricantes.

Software de Control + Adquisición de Datos + Manejo de Datos para el Intercambiador de Calor de Tubos Concéntricos (TITC).

Compatible con los sistemas operativos Windows actuales. Simulación gráfica e intuitiva del proceso en pantalla.

Compatible con los estándares de la industria. Registro y visualización de todas las variables del proceso de forma automática y simultánea.

Software flexible, abierto y multi-control, desarrollado con sistemas gráficos actuales de ventanas, actuando sobre todos los parámetros del proceso simultáneamente.

Control PID analógico y digital. Menú para la selección del PID y del punto de consigna requeridos en todo el rango de trabajo.

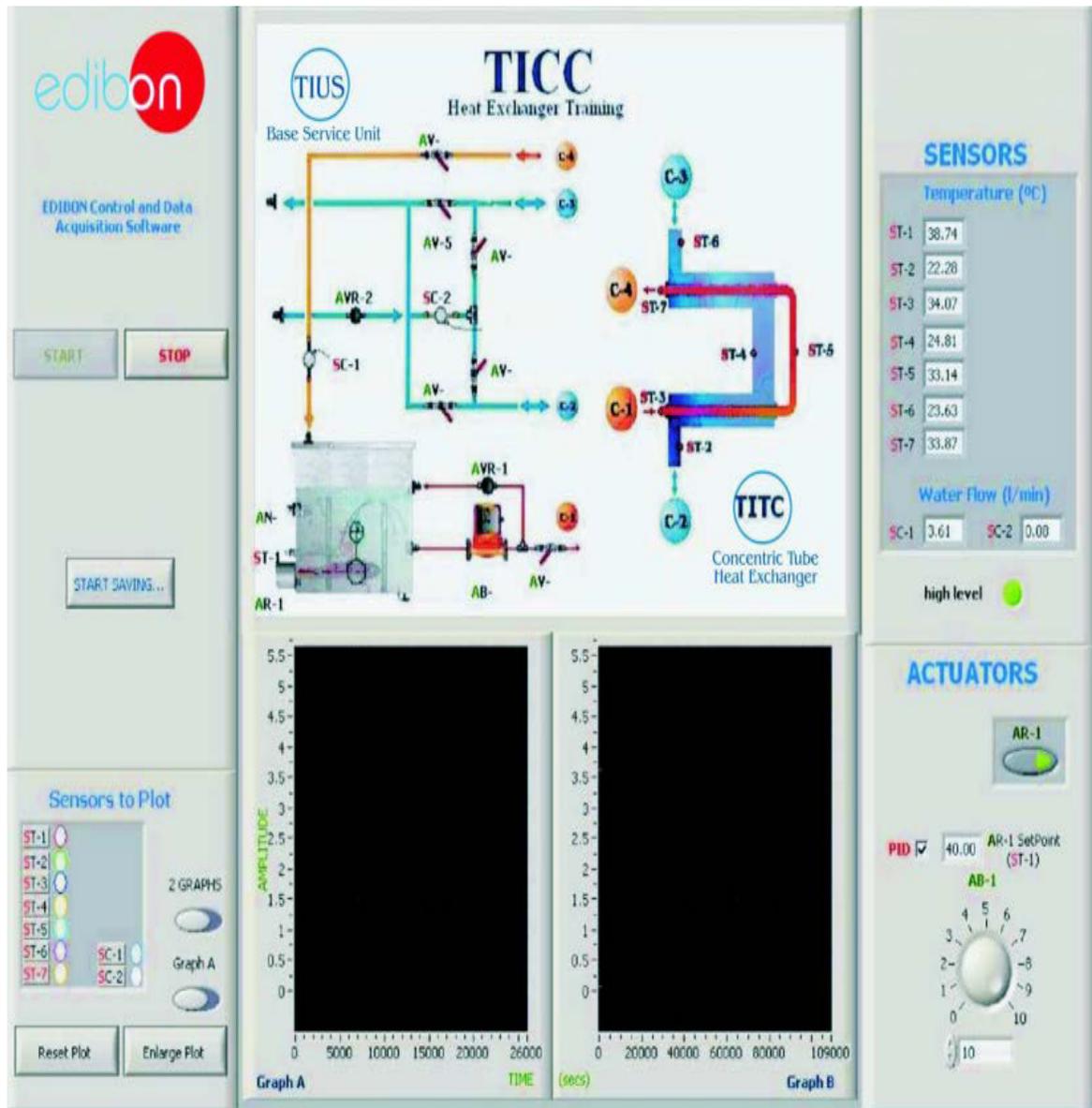
Manejo, manipulación, comparación y almacenamiento de los datos. Velocidad de muestreo hasta 250000 datos por segundo garantizado. Sistema de calibración, para uso del alumno, de todos los sensores que intervienen en el proceso.

Permite el registro del estado de las alarmas y de la representación gráfica en tiempo real.

Análisis comparativo de los datos obtenidos, posterior al proceso y modificación de las condiciones durante el proceso. Software abierto, permitiendo al profesor modificar textos, instrucciones.

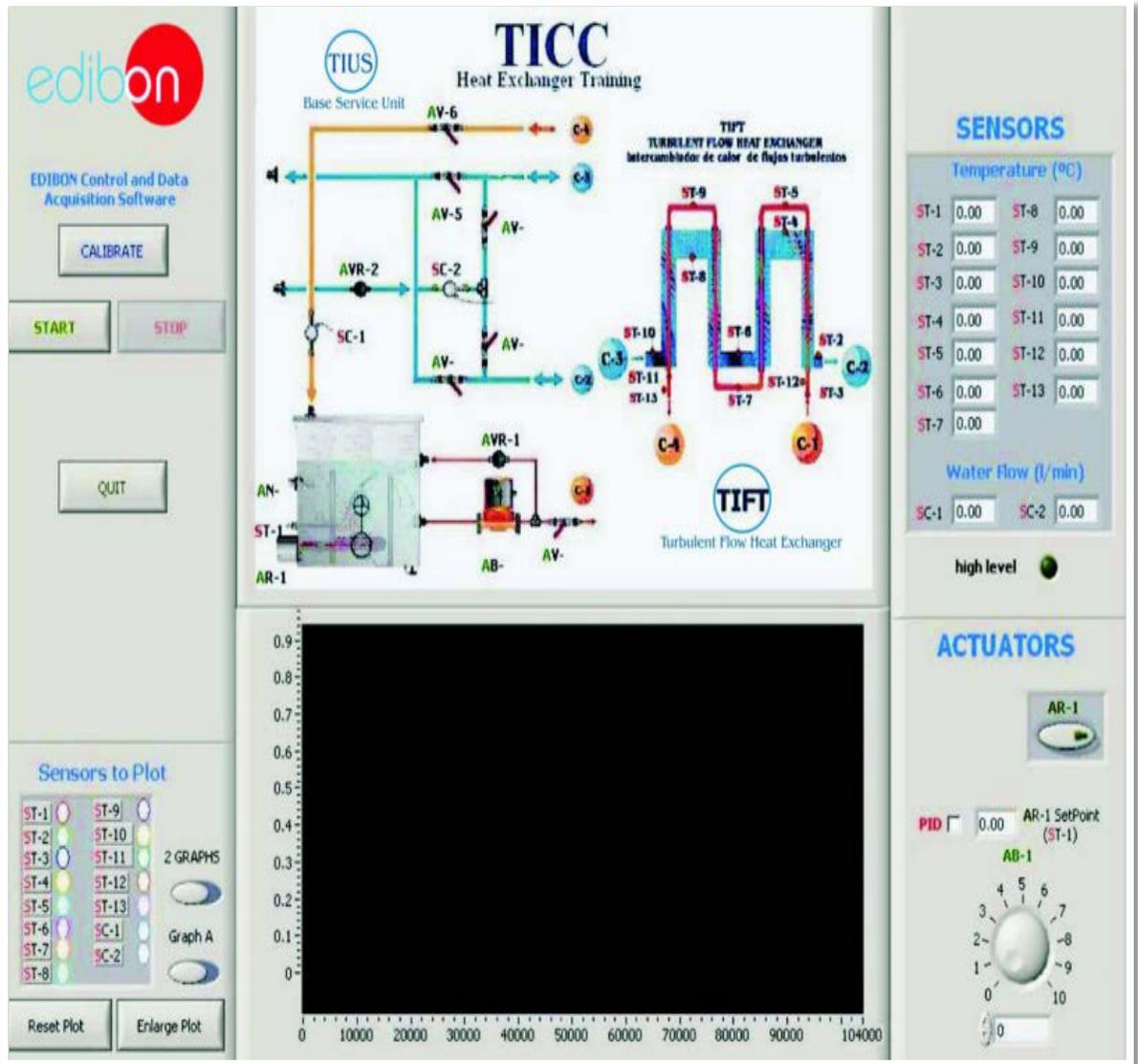
Passwords del profesor y del alumno para facilitar el control del profesor sobre el alumno, y que permite el acceso a diferentes niveles de trabajo. Este equipo permite que los 30 alumnos de la clase puedan visualizar simultáneamente todos los resultados y la manipulación del equipo durante el proceso usando un proyector.

Figura 15. Pantalla del Intercambiador de Calor de Tubos Concéntricos (TICC).



Fuente. EDIBON S.A. manuales de instalación, configuración, operación y prácticas, EDO1-09, Mayo 2009.

Figura 16. Pantalla del Intercambiador de Calor de Flujos Turbulentos (TIFT).



Fuente. EDIBON S.A. manuales de instalación, configuración, operación y prácticas, EDO1-09, Mayo 2009.

4 METODOLOGIA.

En este proyecto se aplica un estudio descriptivo y comparativo ya que la solución final del problema será caracterizar los quipos para definir sus características operacionales y basándose en los resultados obtenidos del estudio de estos, definiremos similitudes y diferencias entre ellos además el tipo de investigación será cuantitativa debido a que se hará un muestreo de valores de ciertos parámetros y se delimitaran otros para así poder lograr finalmente los objetivos deseados.

- Una vez definida la problemática y justificado el estudio a realizar en los equipos, se procedió a la instrucción en base al funcionamiento básico de los equipos (TIUS. Unidad base o de servicio, TICC/CIB. Caja interface de control, TITC. Intercambiador de calor de tubos concéntricos, TIFT. Intercambiador de calor de flujos turbulentos).
- Después de esto se adquirió una fuente de información referente a transferencia de calor e intercambiadores para así tener en claro todos los parámetros y fenómenos que se presentaran en los equipos a la hora de realizar las prácticas.
- Se identifico que los parámetros a medir y delimitar en los equipos por medio de los actuadores del sistema son:
 - **parámetros a medir:** estos parámetros son las temperaturas obtenidas en diferentes tramos del los intercambiadores al hacer variaciones en los caudales de los fluidos.
 - **parámetros a delimitar:** Estos parámetros son los caudales tanto de fluido frío como del fluido caliente, el caudal del fluido frío lo podemos manipular por medio de la válvula de control (AVR-2) y el caudal del

fluido caliente por medio de la bomba (AB-1) y de la válvula de control (AVR-2). Otro parámetro que podemos definirle un valor operacional es la temperatura del depósito del agua caliente (ST-16) mediante una resistencia eléctrica de calentamiento con termostato (AR-1). Cabe recordar que todos estos valores los fijamos en los actuadores en el software del sistema.

- Luego de esto, se procedió a hacer un pequeño muestreo de temperaturas definiendo los valores para la temperatura del depósito de agua y caudales de los fluidos.
- Acto seguido se empezó a hacer un pequeño análisis de estos datos basado en el comportamiento de las temperaturas cuando se varían los caudales de los fluidos de trabajo (rapidez de estabilización de las temperaturas medidas en los diferentes tramos de tubería).
- Después de esto se procedió a definir los parámetros que se utilizaran en el estudio de caracterización de los equipos y su forma de tabulación.
- Una vez definido el tiempo de estabilización de temperaturas y la forma de tabulación de los datos se procedió a hacer las pruebas correspondientes para seguir con el proceso de caracterización de los equipos.
- Finalmente se hicieron los cálculos necesarios para el estudio y basado en ellos se hizo el proceso de caracterización, comparación y recomendación para la operación de los equipos.

5 ANALISIS DE DATOS Y RESULTADOS.

El ejercicio de toma de datos se inicio elaborando una tabla tomando como referencia el diseño proporcionado por los manuales de prácticas de los equipos, teniendo en cuenta que se harán lecturas de temperaturas una vez trascurra el tiempo necesario para que estas se estabilicen después de hacer las respectivas variaciones en los caudales (el caudal del fluido caliente (Q_h) por medio del actuador del software y el caudal de fluido frio (Q_c) por medio de la válvula de regulación (AVR-2)).

Tabla 3. Formato de toma de datos para el equipo TITC.

Qf	ST-1	ST-3	ST-5	ST-2	ST-4	ST-6

Fuente propia.

Tabla 4. Formato de toma de datos para el equipo TITC.

Qf	ST-1	ST-3	ST-5	ST-7	ST-9	ST-2	ST-4	ST-6	ST-8	ST-10	ST-11	ST-12

Fuente propia.

Acto seguido se inicio con la lectura de las temperaturas al definir los parámetros para el ejercicio en el intercambiador de calor de tubo concéntrico TITC.

Flujos en paralelo.

Tabla 5. Para $Q_c = 2,0$ L/min y la temperatura $ST-16 = 60^\circ C$.

Q_h (L/min)	ST-1 ($^\circ C$)	ST-3 ($^\circ C$)	ST-5 ($^\circ C$)	ST-2 ($^\circ C$)	ST-4 ($^\circ C$)	ST-6 ($^\circ C$)
2,3	31,7	34,1	35,6	48,6	51,5	54,7
2	31,3	33,7	35,4	48,6	51,7	55,4
1,7	31,1	33	34,8	46,3	49,1	52,8
1,4	30,6	32,6	34,3	46,7	50,4	54,7
1,1	31	33	34,4	46	49,8	54,5

Fuente. Lecturas en el laboratorio.

Tabla 6. Para $Q_c = 1,5$ L/min y la temperatura $ST-16 = 60^\circ C$.

Q_h (L/min)	ST-1 ($^\circ C$)	ST-3 ($^\circ C$)	ST-5 ($^\circ C$)	ST-2 ($^\circ C$)	ST-4 ($^\circ C$)	ST-6 ($^\circ C$)
2,3	30,6	33,4	35,3	49,7	52,5	55,5
2	30,8	33,3	35,5	49	52	55,4
1,7	31,5	33,7	35,7	48,3	51,3	54,9
1,4	30,5	32,8	34,8	47,2	50,8	54,6
1,1	30,3	32,2	34,4	45,7	49,5	53,9

Fuente. Lecturas en el laboratorio.

Tabla 7. Para $Q_c = 1,0$ L/min y la temperatura $ST-16 = 60^\circ C$.

Q_h (L/min)	ST-1 ($^\circ C$)	ST-3 ($^\circ C$)	ST-5 ($^\circ C$)	ST-2 ($^\circ C$)	ST-4 ($^\circ C$)	ST-6 ($^\circ C$)
2,3	30,6	34,1	36	50,4	53,2	56,2
2	30,5	34	36,2	49,7	52,7	56,1
1,7	30	34,4	36,4	49	52	55,6
1,4	30,4	33,5	35,5	47,9	51,5	55,3
1,1	30,3	32,9	35,1	46,4	50,2	54,6

Fuente. Lecturas en el laboratorio.

Tabla 8. Para $Q_c = 0,5$ L/min y la temperatura $ST-16 = 60^\circ C$.

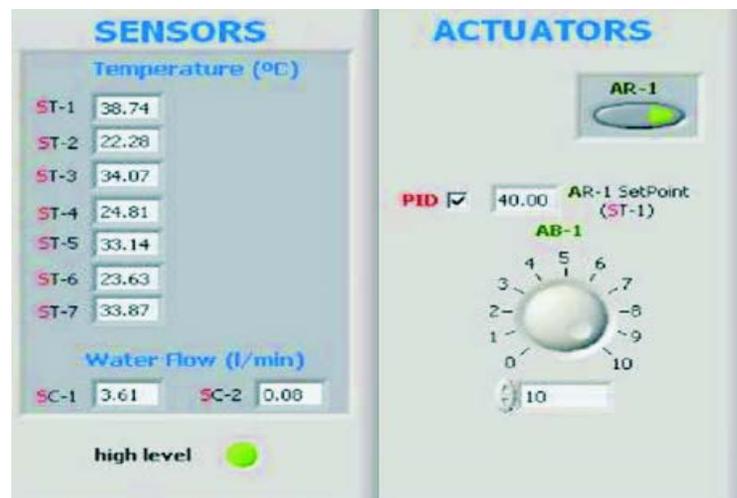
Q_h (L/min)	ST-1 ($^\circ C$)	ST-3 ($^\circ C$)	ST-5 ($^\circ C$)	ST-2 ($^\circ C$)	ST-4 ($^\circ C$)	ST-6 ($^\circ C$)
2,3	31,1	34,8	36,7	51,1	53,9	56,9
2	30,3	34,7	36,9	50,4	53,4	56,8
1,7	31,5	35,1	37,1	49,7	52,7	56,3
1,4	31	34,2	36,2	48,6	52,2	56
1,1	30,8	33,6	35,8	47,1	50,9	55,3

Fuente. Lecturas en el laboratorio.

Como se puede observar en las tablas los intervalos entre las variaciones del caudal caliente (Q_h) son muy pequeños por ende los saltos de temperatura leídos lo son, por tal razón se tomo la determinación de cambiar las tablas ya que un nuevo diseño de estas facilitaría el proceso de la siguiente manera y por la siguiente razón:

Se determino que el caudal que se introducirá en las tablas seria el del flujo frio ya que facilitaría el proceso de caracterización en la lectura de temperaturas debido a que es mucho más sencillo la manipulación del caudal del fluido frio que el del caliente porque el primero se hace manualmente por medio de la válvula de control (AVR-2) de forma manual y simple y el segundo se hace por medio del actuador del software y muchas veces este nos da valores exactos por ejemplo, si se requiere un caudal de 3,5 L/min puede ocurrir lo siguiente:

Figura 17. Actuadores y lecturas de los sensores.



Fuente. Lecturas en el laboratorio.

Se puede observar que el caudal leído por el sensor (SC-1) es de 3,61 y se desea 3,5, por tal razón hay que regularlo con la válvula de control (AVR-1). Por consiguiente resulta esta opción más sencilla porque optimiza el proceso a realizar

en las prácticas y facilita el análisis de y cálculo de los datos para deducir conclusiones sobre los equipos.

5.1 Determinación del tiempo de estabilización de las temperaturas.

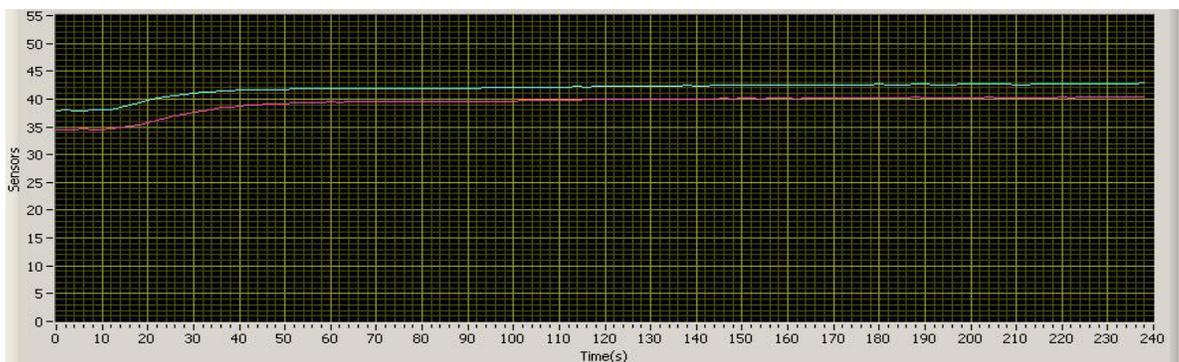
Antes de proceder con las lecturas, se determinó primero el tiempo de estabilización de las temperaturas en el sistema para optimizar el proceso ya que se utilizaría un tiempo de espera mínimo necesario para que las temperaturas se encuentren estabilizadas, este procedimiento se hizo de la siguiente manera:

El software cuenta con una herramienta para grabar temperaturas en lapsos de tiempo determinados y graficarlas; dicha herramienta nos es de gran utilidad en esta actividad ya que por medio de las graficas se podrá observar y determinar el tiempo de estabilización aproximado de las temperaturas.

El proceso se realizó en con ST-16 = 50°C, SC-1 = 2,0 L/min y SC-2 = 3,0 L/min y a continuación se disminuyo el caudal a SC-2 = 0,5 L/min.

Intercambiador de calor de tubos concéntricos TITC.

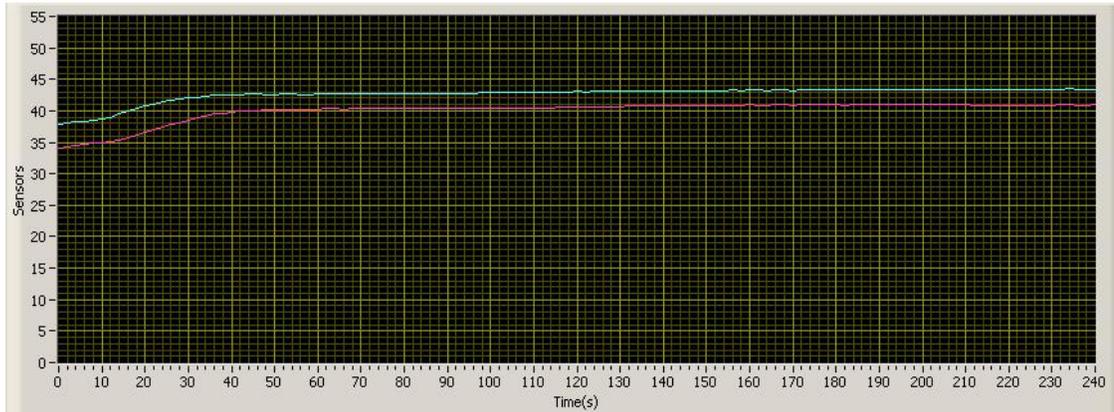
Figura 18. Tiempo de estabilización de las temperaturas con respecto a la variación de caudal.



Fuente. Lecturas en el laboratorio.

Intercambiador de calor de régimen turbulento TITC.

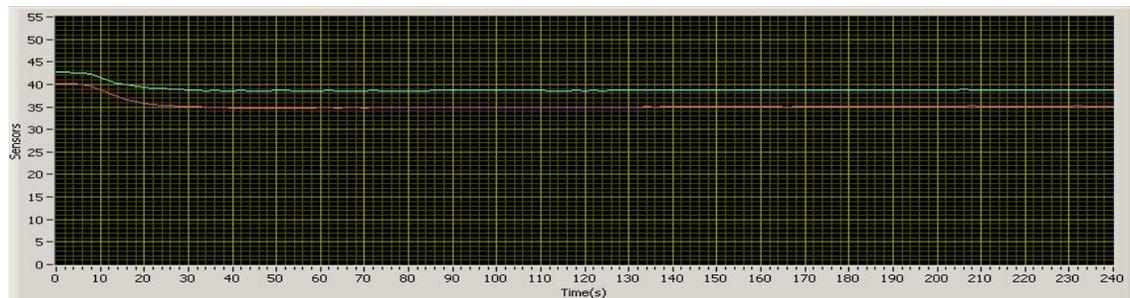
Figura 19. Tiempo de estabilización de las temperaturas con respecto a la variación de caudal.



Fuente. Lecturas en el laboratorio.

Se aumento el caudal a SC-2 = 3,0 L/min nuevamente. Intercambiador de calor de tubos concéntricos TITC.

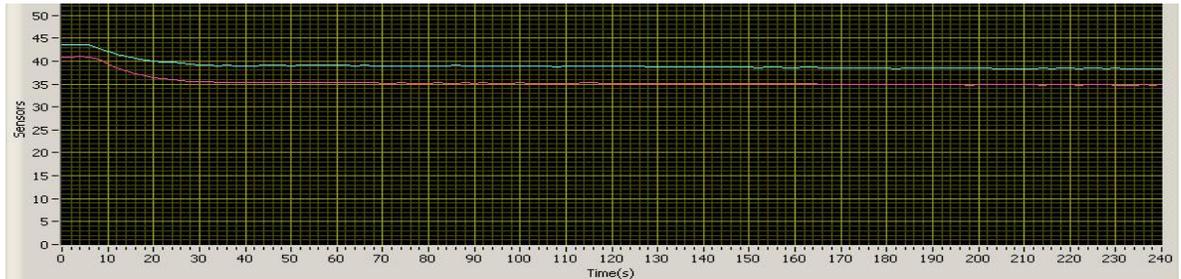
Figura 20. Tiempo de estabilización de las temperaturas con respecto a la variación de caudal.



Fuente. Lecturas en el laboratorio.

Intercambiador de calor de régimen turbulento TIFT.

Figura 21. Tiempo de estabilización de las temperaturas con respecto a la variación de caudal.



Fuente. Lecturas en el laboratorio.

Se puede observar en los dos equipos los tiempos de estabilización de temperaturas son bastante similares y es fácil determinar que este se encuentra entre los 40 – 50seg después de variar el caudal Q_c .

5.2 Variables y rangos de trabajo.

La tabla ilustra el tipo de variable que se manipulan en los equipos.

Tabla 9. Variables y rangos de trabajo.

VARIABLE	DEPENDIENTE	INDEPENDIENTE	RANRANGO DE TRABAJO
CAUDAL FRIO (Q_c)(L/min)	X		1,5 - 3
CAUDAL CALIENTE (Q_h)(L/min)	X		0,5 - 2
TEMP FLUIDO FRIO °C		X	29 - 32
TEMP CALIENTE °C	X		50 - 60

Fuente propia.

Se evaluó como dependiente o independiente las variables respecto a su manipulación con los actuadores.

- **Variable dependiente:** estas son aquellas que se pueden manipular por medio de los actuadores del programa de control de los equipos.
- **Variable independiente:** En este caso la temperatura del agua fría, que viene dada por la temperatura de suministro de agua en las instalaciones donde se encuentren los equipos.

5.3 Tablas y cálculo de la efectividad de los equipos.

Una vez determinado el tiempo de estabilización de las temperaturas, se procedió con las lecturas de temperaturas y a realizar los cálculos pertinentes para poder así culminar el proceso de caracterización obteniendo las conclusiones por medio del análisis de estos. Las unidades de los valores encontrados en las tablas son las siguientes: Q (lt / min), temperaturas ST (°C), ϵ (%), q (w) y U (W/m²K).

Tabla 10. Tabla de interpolaciones para la hoja de datos.

TABLA DE INTERPOLACIONES				
TEMP (°C)	ρ (Kg/m ³)	CP(J Kg/°C)	TEMP (°C)	h (kJ/Kg)
20	998,2	4182	25	2442
X	Y	Y	X	Y
40	992,3	4178	30	2431
X	Y	Y	X	Y
60	983,2	4181	35	2419

Fuente Propia.

Intercambiador de calor de tubos concéntricos TITC. Flujos en paralelo – flujo frío – exterior, flujo caliente – interior.

Tabla 11. hoja de datos. $Q_h = 2,0 \text{ L/min}$ ST-16 = 50°C . flujos en paralelo.

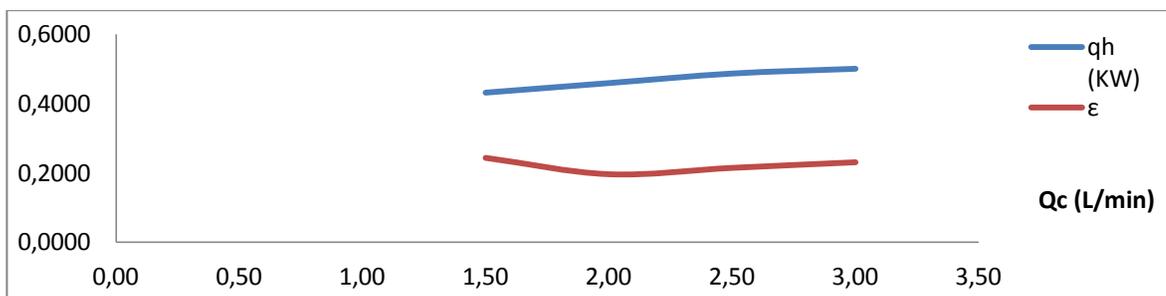
	Q_c (L/min)	Q_h (L/min)	ST-1 ($^\circ\text{C}$)	ST-3 ($^\circ\text{C}$)	ST-5 ($^\circ\text{C}$)	ST-2 ($^\circ\text{C}$)	ST-4 ($^\circ\text{C}$)	ST-6 ($^\circ\text{C}$)
	1,50	2,00	30,00	32,50	34,20	47,00	46,20	43,90
	2,00	2,00	29,60	31,60	33,10	46,40	45,30	43,10
	2,50	2,00	29,90	31,50	32,80	46,20	45,00	42,70
	3,00	2,00	30,50	32,00	33,00	46,10	45,10	42,50

X	Q_c (m3/Seg)	Q_h (m3/Seg)	ρ_c (Kg/m3)	ρ_h (Kg/m3)	CPc(J /Kg $^\circ\text{C}$)	CPh(J /Kg $^\circ\text{C}$)	h (KW/m 2 $^\circ\text{C}$)	\dot{m}_c (Kg/Seg)	\dot{m}_h (Kg/Seg)	v (m/Seg)	μ (N Seg/m 2)	AT (m 2)
30,00	0,0000250	0,0000333	995,25	997,032	4180,000	4176,5	2431	0,02488	0,03323	0,165791289	0,000798	0,000201056
29,60	0,0000333	0,0000333	995,368	997,032	4180,08	4176,44	2431,88	0,03318	0,03323	0,165791289	0,000798	0,000201056
29,90	0,0000417	0,0000333	995,2795	997,032	4180,02	4176,485	2431,22	0,04147	0,03323	0,165791289	0,000798	0,000201056
30,50	0,0000500	0,0000333	995,1025	997,032	4179,900	4176,575	2429,9	0,04976	0,03323	0,165791289	0,000798	0,000201056

AL (m 2)	ΔT_c ($^\circ\text{C}$)	ΔT_h ($^\circ\text{C}$)	qc (KW)	qh (KW)	Cc (W/ $^\circ\text{C}$)	Ch(W/ $^\circ\text{C}$)	qmax (KW)	ΔT_{lm} ($^\circ\text{C}$)	ϵ	U (KW/m 2 $^\circ\text{C}$)	ntu	Re
0,05341	4,20	3,10	0,4368	0,4307	104,0036	138,8035	1,7681	13,0104	0,24	0,62	0,32	3314,27
0,05341	3,50	3,30	0,4854	0,4584	138,6906	138,8015	2,3300	13,1073	0,20	0,65	0,25	3314,27
0,05341	2,90	3,50	0,5027	0,4862	173,3453	138,8030	2,2625	12,8352	0,21	0,71	0,27	3314,27
0,05341	2,50	3,60	0,5199	0,5001	207,9714	138,8060	2,1654	12,2989	0,23	0,76	0,29	3314,27

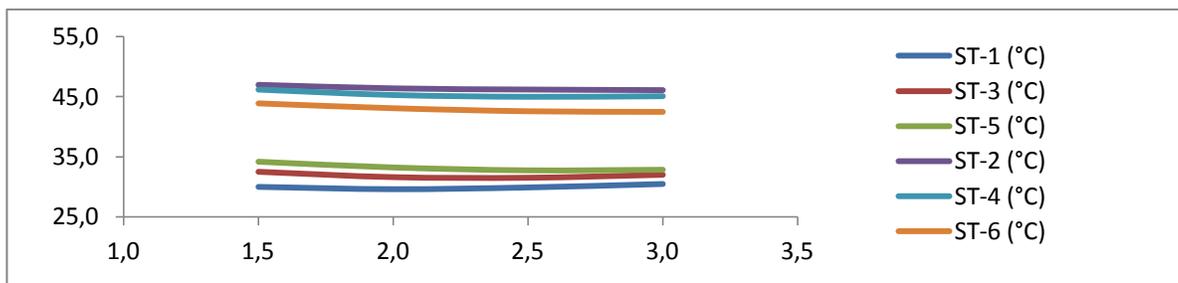
Fuente. Lecturas en el laboratorio.

Figura 22. Q_h Vs ϵ . $Q_h = 2,0 \text{ L/min}$ ST-16 = 50°C . flujos en paralelo.



Fuente. Lecturas en el laboratorio.

Figura 23. Comp. Temperaturas. $Q_h = 2,0 \text{ L/min}$ ST-16 = 50°C . flujos en paralelo.



Fuente. Lecturas en el laboratorio.

Se puede observar que la grafica ilustra de manera simple las variaciones de temperaturas y cabe anotar que aprecia también las diferencias de temperatura a la entrada y salida del en el fluido frio y caliente que sería que la diferencia que hay entre los puntos de las líneas (ST-5 – ST-1) y (ST-2 – ST-6). Se mostraran todas las graficas y tablas y al final se hará el análisis en las conclusiones.

Tabla 12. Hoja de datos. $Q_h = 1,5 \text{ L/min}$ ST-16 = 50°C flujos en paralelo.

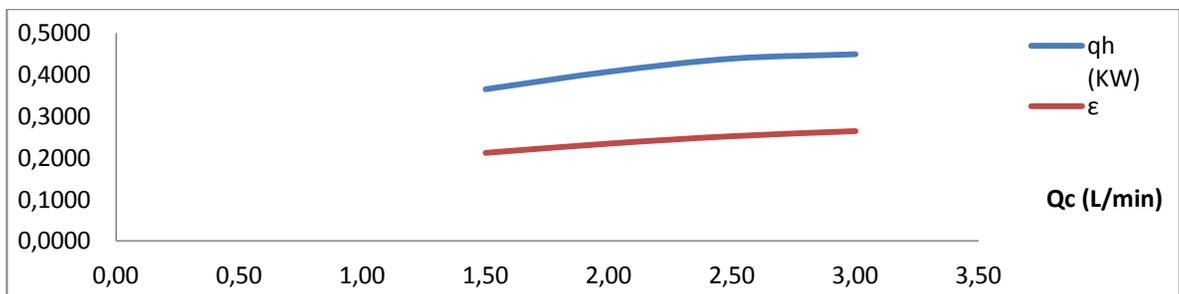
	Qc (L/min)	Qh (L/min)	ST-1 (°C)	ST-3 (°C)	ST-5 (°C)	ST-2 (°C)	ST-4 (°C)	ST-6 (°C)
	1,50	1,50	29,80	31,90	33,70	46,40	45,40	42,90
	2,00	1,50	29,50	31,40	32,90	46,20	45,00	42,30
	2,50	1,50	30,00	31,60	32,80	46,70	45,40	42,50
	3,00	1,50	30,30	31,80	32,70	46,60	45,30	42,30

X	Qc (m3/Seg)	Qh (m3/Seg)	ρ_c (Kg/m3)	ρ_h (Kg/m3)	CPc(J /Kg°C)	CPh(J /Kg°C)	h (KW/m ² °C)	\dot{m}_c (Kg/Seg)	\dot{m}_h (Kg/Seg)	v (m/Seg)	μ (N Seg/m ²)	AT (m ²)
29,80	0,0000250	0,0000250	995,309	997,032	4180,040	4176,47	2431,44	0,02488	0,02493	0,124343466	0,000798	0,000201056
29,50	0,0000333	0,0000250	995,3975	997,032	4180,1	4176,425	2432,1	0,03318	0,02493	0,124343466	0,000798	0,000201056
30,00	0,0000417	0,0000250	995,25	997,032	4180	4176,5	2431	0,04147	0,02493	0,124343466	0,000798	0,000201056
30,30	0,0000500	0,0000250	995,1615	997,032	4179,940	4176,545	2430,34	0,04976	0,02493	0,124343466	0,000798	0,000201056

AL (m ²)	ΔT_c (°C)	ΔT_h (°C)	qc (KW)	qh (KW)	Cc (W/°C)	Ch(W/°C)	qmax (KW)	ΔT_{lm} (°C)	ϵ	U (KW/m ² °C)	ntu	Re
0,05341	3,90	3,50	0,4056	0,3647	104,0108	104,1019	1,7266	12,5381	0,21	0,54	0,28	2485,70
0,05341	3,40	3,90	0,4716	0,4064	138,6954	104,1007	1,7385	12,7023	0,23	0,60	0,23	2485,70
0,05341	2,80	4,20	0,4854	0,4376	173,3394	104,1026	1,7385	12,8846	0,25	0,64	0,33	2485,70
0,05341	2,40	4,30	0,4992	0,4480	207,9858	104,1037	1,6969	12,6558	0,26	0,66	0,34	2485,70

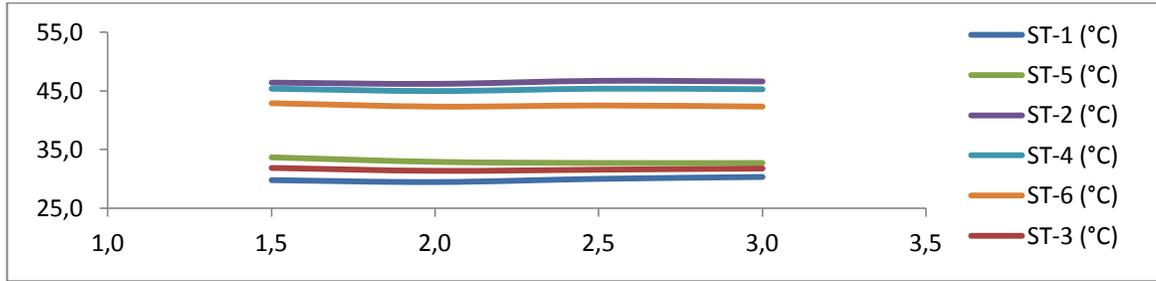
Figura. Lecturas en el laboratorio.

Figura 24. Q_h Vs ϵ . $Q_h = 1,5 \text{ L/min}$ ST-16 = 50°C. flujos en paralelo.



Fuente. Lecturas en el laboratorio.

Figura 25. Comp. Temperaturas. $Q_h = 1,5 \text{ L/min}$ ST-16 = 50°C . flujos en paralelo.



Fuente. Lecturas en el laboratorio.

Tabla 13. Hoja de datos. $Q_h = 1,0 \text{ L/min}$ ST-16 = 50°C flujos en paralelo.

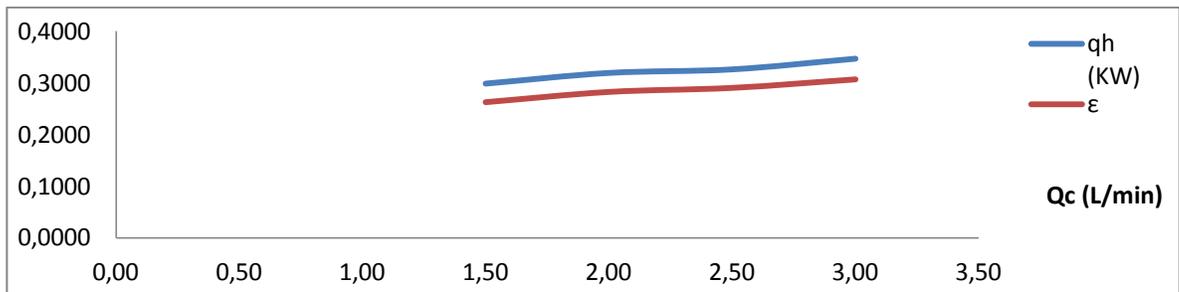
	Q_c (L/min)	Q_h (L/min)	ST-1 (°C)	ST-3 (°C)	ST-5 (°C)	ST-2 (°C)	ST-4 (°C)	ST-6 (°C)
	1,50	1,00	29,80	31,60	33,00	46,20	44,80	41,90
	2,00	1,00	30,30	31,70	32,90	46,60	45,20	42,00
	2,50	1,00	29,70	30,90	32,00	45,90	44,40	41,20
	3,00	1,00	29,70	30,90	31,80	46,00	44,20	41,00

X	Q_c (m3/Seg)	Q_h (m3/Seg)	ρ_c (Kg/m3)	ρ_h (Kg/m3)	C_{Pc} (J /Kg°C)	C_{Ph} (J /Kg°C)	h (KW/m ² °C)	\dot{m}_c (Kg/Seg)	\dot{m}_h (Kg/Seg)	v (m/Seg)	μ (N Seg/m ²)	AT (m ²)
29,80	0,0000250	0,0000167	995,309	997,032	4180,040	4176,47	2431,44	0,02488	0,01662	0,082895644	0,000798	0,000201056
30,30	0,0000333	0,0000167	995,1615	997,032	4179,94	4176,545	2430,34	0,03317	0,01662	0,082895644	0,000798	0,000201056
29,70	0,0000417	0,0000167	995,3385	997,032	4180,06	4176,455	2431,66	0,04147	0,01662	0,082895644	0,000798	0,000201056
29,70	0,0000500	0,0000167	995,3385	997,032	4180,060	4176,455	2431,66	0,04977	0,01662	0,082895644	0,000798	0,000201056

AL (m ²)	ΔT_c (°C)	ΔT_h (°C)	q_c (KW)	q_h (KW)	C_c (W/°C)	Ch (W/°C)	q_{max} (KW)	ΔT_{lm} (°C)	ϵ	U (KW/m ² °C)	ntu	Re
0,05341	3,20	4,30	0,3328	0,2987	104,0108	69,4012	1,1382	12,2703	0,26	0,46	0,23	1657,14
0,05341	2,60	4,60	0,3605	0,3195	138,6572	69,4025	1,1313	12,3522	0,28	0,48	0,19	1657,14
0,05341	2,30	4,70	0,3987	0,3265	173,3573	69,4010	1,1243	12,3717	0,29	0,49	0,38	1657,14
0,05341	2,10	5,00	0,4369	0,3473	208,0287	69,4010	1,1312	12,4134	0,31	0,52	0,40	1657,14

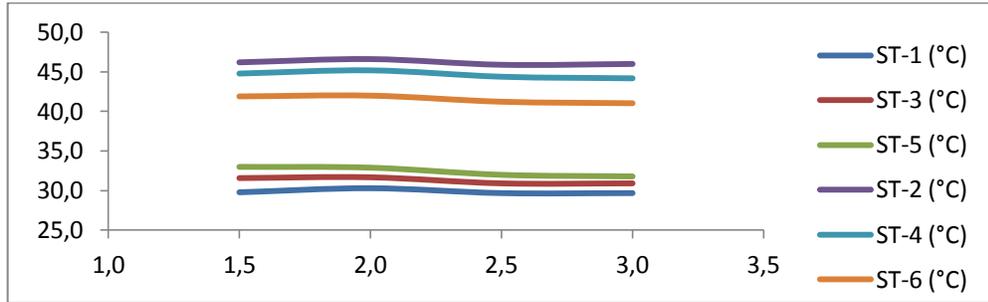
Fuente. Lecturas en el laboratorio.

Figura 26. Q_h Vs ϵ . $Q_h = 1,0 \text{ L/min}$ ST-16 = 50°C . flujos en paralelo.



Fuente. Lecturas en el laboratorio.

Figura 27. Comp. Temperaturas. $Q_h = 1,0$ L/min ST-16 = 50°C. flujos en paralelo.



Fuente. Lecturas en el laboratorio.

Tabla 14. Hoja de datos. $Q_h = 0,5$ L/min ST-16 = 50°C flujos en paralelo.

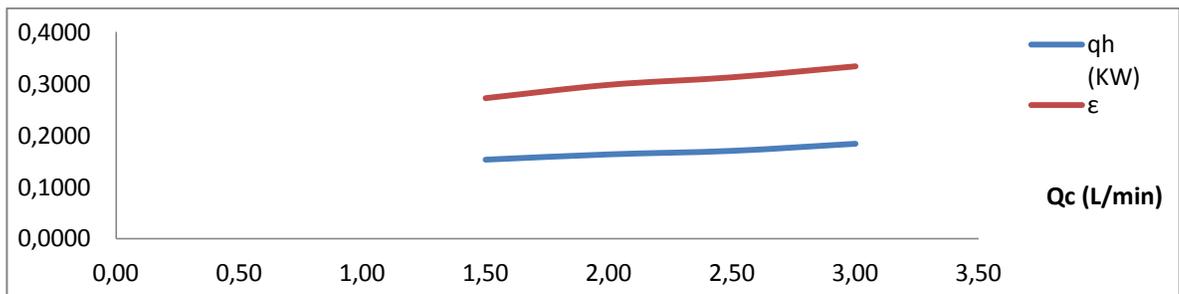
	Q_c (L/min)	Q_h (L/min)	ST-1 (°C)	ST-3 (°C)	ST-5 (°C)	ST-2 (°C)	ST-4 (°C)	ST-6 (°C)
	1,50	0,50	29,70	31,50	32,80	45,90	44,00	41,50
	2,00	0,50	30,10	31,60	32,50	45,90	43,80	41,20
	2,50	0,50	29,90	31,00	31,90	45,60	43,20	40,70
	3,00	0,50	29,60	30,70	31,40	45,50	43,00	40,20

X	Q_c (m3/Seg)	Q_h (m3/Seg)	ρ_c (Kg/m3)	ρ_h (Kg/m3)	CPc(J /Kg°C)	CPh(J /Kg°C)	h (KW/m ² °C)	\dot{m}_c (Kg/Seg)	\dot{m}_h (Kg/Seg)	v (m/Seg)	μ (N Seg/m ²)	AT (m ²)
29,70	0,0000250	0,0000083	995,3385	997,032	4180,060	4176,455	2431,66	0,02488	0,00831	0,041447822	0,000798	0,000201056
30,10	0,0000333	0,0000083	995,2205	997,032	4179,98	4176,515	2430,78	0,03317	0,00831	0,041447822	0,000798	0,000201056
29,90	0,0000417	0,0000083	995,2795	997,032	4180,02	4176,485	2431,22	0,04147	0,00831	0,041447822	0,000798	0,000201056
29,60	0,0000500	0,0000083	995,368	997,032	4180,080	4176,44	2431,88	0,04977	0,00831	0,041447822	0,000798	0,000201056

AL (m ²)	ΔT_c (°C)	ΔT_h (°C)	qc (KW)	qh (KW)	Cc (W/°C)	Ch(W/°C)	qmax (KW)	ΔT_{lm} (°C)	ϵ	U (KW/m ² °C)	ntu	Re
0,05341	3,10	4,40	0,3224	0,1528	104,0144	34,7005	0,5621	12,0639	0,27	0,24	0,12	828,57
0,05341	2,40	4,70	0,3328	0,1632	138,6667	34,7010	0,5483	11,8990	0,30	0,26	0,10	828,57
0,05341	2,00	4,90	0,3467	0,1702	173,3453	34,7007	0,5448	11,9190	0,31	0,27	0,41	828,57
0,05341	1,80	5,30	0,3745	0,1841	208,0359	34,7004	0,5517	12,0020	0,33	0,29	0,44	828,57

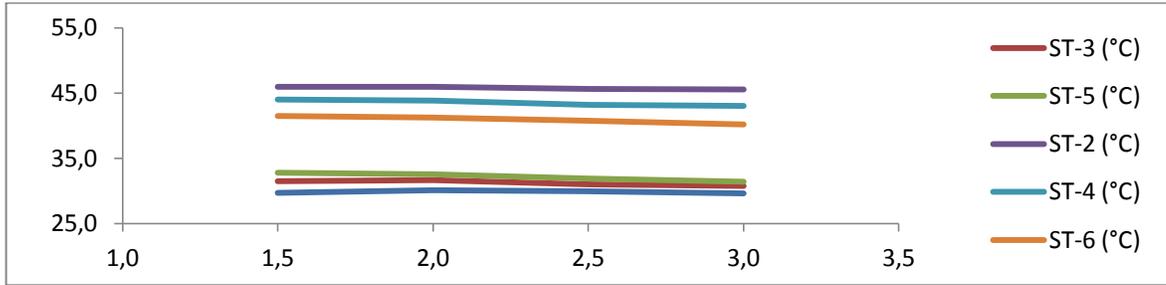
Fuente. Lecturas en el laboratorio.

Figura 28. Q_h Vs ϵ . $Q_h = 0,5$ L/min ST-16 = 50°C. flujos en paralelo.



Fuente. Lecturas en el laboratorio.

Figura 29. Comp. Temperaturas. $Q_h = 0,5 \text{ L/min}$ $ST-16 = 50^\circ\text{C}$. flujos en paralelo.



Fuente. Lecturas en el laboratorio.

Flujos en contracorriente – flujo frio – exterior, flujo caliente – interior.

Tabla 15. Hoja de datos. $Q_h = 2,0 \text{ L/min}$ $ST-16 = 50^\circ\text{C}$ flujos en contracorriente.

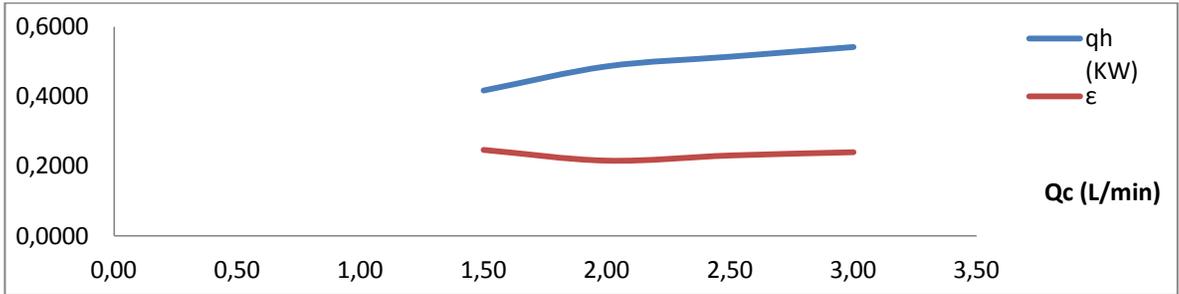
	Q_c (L/min)	Q_h (L/min)	ST-1 (°C)	ST-3 (°C)	ST-5 (°C)	ST-2 (°C)	ST-4 (°C)	ST-6 (°C)
	1,50	2,00	34,10	32,10	30,10	46,40	46,00	43,40
	2,00	2,00	33,70	31,90	30,20	46,50	45,70	43,00
	2,50	2,00	33,40	31,70	30,20	46,30	45,60	42,60
	3,00	2,00	32,80	31,30	29,90	46,20	44,80	42,30

X	Q_c (m3/Seg)	Q_h (m3/Seg)	ρ_c (Kg/m3)	ρ_h (Kg/m3)	CP_c (J /Kg°C)	CP_h (J /Kg°C)	h (KW/m ² °C)	\dot{m}_c (Kg/Seg)	\dot{m}_h (Kg/Seg)	v (m/Seg)	μ (N Seg/m ²)	AT (m ²)
34,10	0,0000250	0,0000333	994,0405	997,032	4179,180	4177,115	2421,98	0,02485	0,03323	0,165791289	0,000798	0,000201056
33,70	0,0000333	0,0000333	994,1585	997,032	4179,26	4177,055	2422,86	0,03314	0,03323	0,165791289	0,000798	0,000201056
33,40	0,0000417	0,0000333	994,247	997,032	4179,32	4177,01	2423,52	0,04143	0,03323	0,165791289	0,000798	0,000201056
32,80	0,0000500	0,0000333	994,424	997,032	4179,440	4176,92	2424,84	0,04972	0,03323	0,165791289	0,000798	0,000201056

A (m ²)	ΔT_c (°C)	ΔT_h (°C)	q_c (KW)	q_h (KW)	C_c (W/°C)	Ch (W/°C)	q_{max} (KW)	ΔT_{im} (°C)	ϵ	U (KW/m ² °C)	ntu	Re
0,05341	4,00	3,00	0,4154	0,4167	103,8569	138,8239	1,6929	12,7935	0,25	0,61	0,31	3314,27
0,05341	3,50	3,50	0,4847	0,4861	138,4949	138,8219	2,2628	16,0000	0,21	0,57	0,22	3314,27
0,05341	3,20	3,70	0,5540	0,5139	173,1365	138,8204	2,2350	12,6484	0,23	0,76	0,29	3314,27
0,05341	2,90	3,90	0,6026	0,5417	207,8068	138,8174	2,2627	12,8935	0,24	0,79	0,30	3314,27

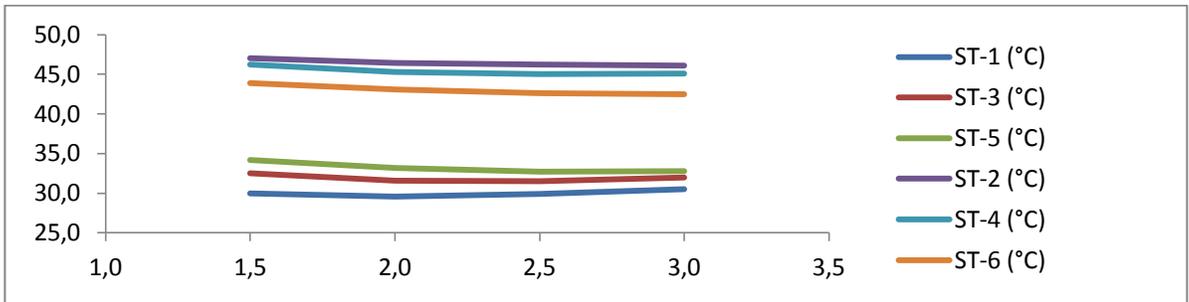
Fuente. Lecturas en el laboratorio.

Figura 30. Q_h Vs ϵ . $Q_h = 2,0$ L/min ST-16 = 50°C flujos en contracorriente.



Fuente. Lecturas en el laboratorio.

Figura 31. Comp. Temperaturas. $Q_h = 2,0$ L/min ST-16 = 50°C. flujos en contracorriente.



Fuente. Lecturas en el laboratorio.

Tabla 16. Hoja de datos. $Q_h = 1,5$ L/min ST-16 = 50°C flujos en contracorriente.

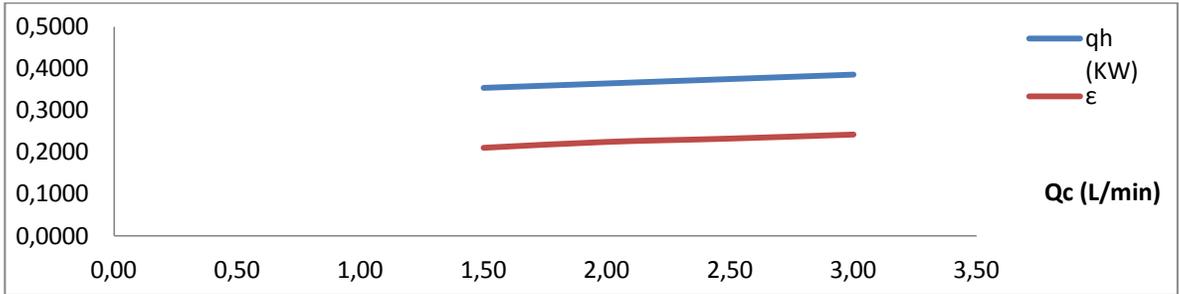
	Qc (L/min)	Qh (L/min)	ST-1 (°C)	ST-3 (°C)	ST-5 (°C)	ST-2 (°C)	ST-4 (°C)	ST-6 (°C)
	1,50	1,50	34,10	32,20	30,30	46,50	45,90	43,10
	2,00	1,50	33,40	31,90	30,40	46,00	45,40	42,50
	2,50	1,50	33,10	31,70	30,50	46,00	45,10	42,40
	3,00	1,50	32,90	31,80	30,70	46,00	44,80	42,30

X	Qc (m3/Seg)	Qh (m3/Seg)	pc (Kg/m3)	ph (Kg/m3)	CPc(J /Kg°C)	CPh(J /Kg°C)	h (KW/m ² °C)	ṁc (Kg/Seg)	ṁh (Kg/Seg)	v (m/Seg)	μ (N Seg/m ²)	AT (m ²)
34,10	0,0000250	0,0000250	994,0405	997,032	4179,180	4177,115	2421,98	0,02485	0,02493	0,124343466	0,000798	0,000201056
33,40	0,0000333	0,0000250	994,247	997,032	4179,32	4177,01	2423,52	0,03314	0,02493	0,124343466	0,000798	0,000201056
33,10	0,0000417	0,0000250	994,3355	997,032	4179,38	4176,965	2424,18	0,04143	0,02493	0,124343466	0,000798	0,000201056
32,90	0,0000500	0,0000250	994,3945	997,032	4179,420	4176,935	2424,62	0,04972	0,02493	0,124343466	0,000798	0,000201056

A (m ²)	ΔTc (°C)	ΔTh (°C)	qc (KW)	qh (KW)	Cc (W/°C)	Ch (W/°C)	qmax (KW)	ΔTlm (°C)	ε	U (KW/m ² °C)	ntu	Re
0,05341	3,80	3,40	0,3947	0,3542	103,8569	104,1179	1,6825	12,5989	0,21	0,53	0,27	2485,70
0,05341	3,00	3,50	0,4155	0,3646	138,5092	104,1153	1,6242	12,3483	0,22	0,55	0,21	2485,70
0,05341	2,60	3,60	0,4502	0,3750	173,1544	104,1142	1,6138	12,3933	0,23	0,57	0,29	2485,70
0,05341	2,20	3,70	0,4572	0,3854	207,7996	104,1134	1,5929	12,3348	0,24	0,59	0,30	2485,70

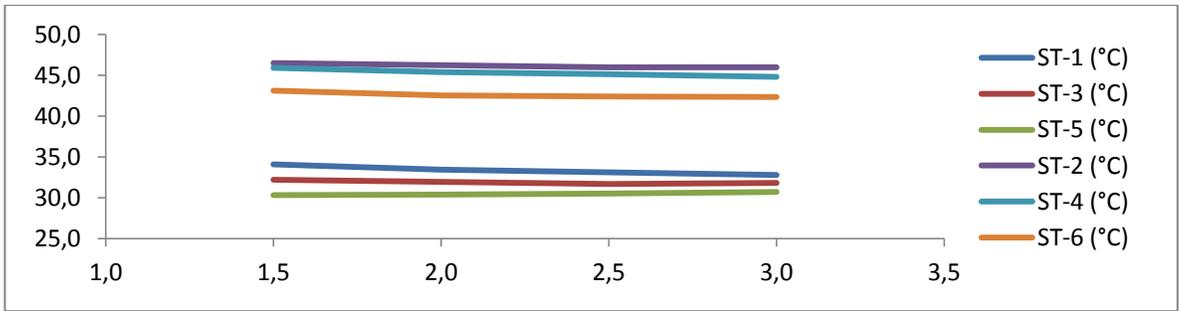
Fuente. Lecturas en el laboratorio.

Figura 32. Q_h Vs ϵ . $Q_h = 1,5 \text{ L/min}$ ST-16 = 50°C flujos en contracorriente.



Fuente. Lecturas en el laboratorio.

Figura 33. Comp. Temperaturas. $Q_h = 1,5 \text{ L/min}$ ST-16 = 50°C . flujos en contracorriente.



Fuente. Lecturas en el laboratorio.

Tabla 17. Hoja de datos. $Q_h = 1,0 \text{ L/min}$ ST-16 = 50°C flujos en contracorriente.

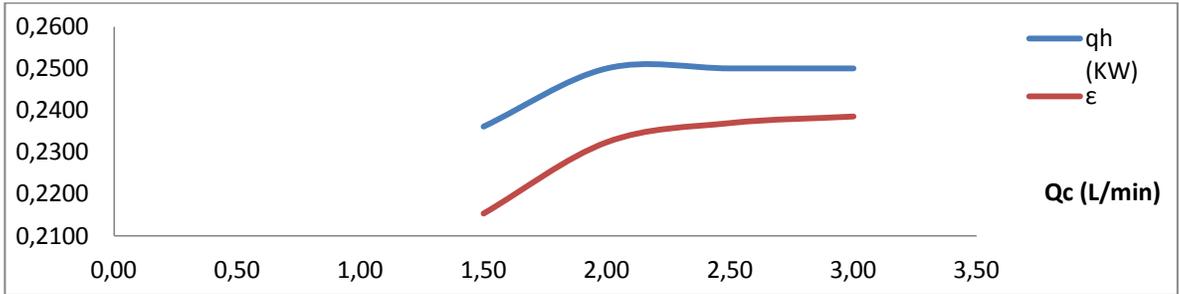
	Q_c (L/min)	Q_h (L/min)	ST-1 ($^\circ\text{C}$)	ST-3 ($^\circ\text{C}$)	ST-5 ($^\circ\text{C}$)	ST-2 ($^\circ\text{C}$)	ST-4 ($^\circ\text{C}$)	ST-6 ($^\circ\text{C}$)
	1,50	1,00	32,60	30,90	29,50	45,30	44,30	41,90
	2,00	1,00	32,00	30,80	29,70	45,20	43,80	41,60
	2,50	1,00	32,40	31,20	30,20	45,40	44,30	41,80
	3,00	1,00	32,60	31,60	30,60	45,70	44,60	42,10

X	Q_c (m3/Seg)	Q_h (m3/Seg)	ρ_c (Kg/m3)	ρ_h (Kg/m3)	CPc(J /Kg $^\circ\text{C}$)	CPH(J /Kg $^\circ\text{C}$)	h (KW/m 2 $^\circ\text{C}$)	\dot{m}_c (Kg/Seg)	\dot{m}_h (Kg/Seg)	v (m/Seg)	μ (N Seg/m 2)	AT (m 2)
32,60	0,0000250	0,0000167	994,483	997,032	4179,480	4176,89	2425,28	0,02486	0,01662	0,082895644	0,000798	0,000201056
32,00	0,0000333	0,0000167	994,66	997,032	4179,6	4176,8	2426,6	0,03316	0,01662	0,082895644	0,000798	0,000201056
32,40	0,0000417	0,0000167	994,542	997,032	4179,52	4176,86	2425,72	0,04144	0,01662	0,082895644	0,000798	0,000201056
32,60	0,0000500	0,0000167	994,483	997,032	4179,480	4176,89	2425,28	0,04972	0,01662	0,082895644	0,000798	0,000201056

A (m 2)	ΔT_c ($^\circ\text{C}$)	ΔT_h ($^\circ\text{C}$)	qc (KW)	qh (KW)	Cc (W/ $^\circ\text{C}$)	Ch(W/ $^\circ\text{C}$)	qmax (KW)	ΔT_{lm} ($^\circ\text{C}$)	ϵ	U (KW/m 2 $^\circ\text{C}$)	ntu	Re
0,05341	3,10	3,40	0,3221	0,2361	103,9105	69,4082	1,0966	12,5494	0,22	0,35	0,18	1657,14
0,05341	2,30	3,60	0,3187	0,2500	138,5760	69,4067	1,0758	12,5388	0,23	0,37	0,14	1657,14
0,05341	2,20	3,60	0,3810	0,2500	173,1962	69,4077	1,0550	12,2867	0,24	0,38	0,29	1657,14
0,05341	2,00	3,60	0,4156	0,2500	207,8211	69,4082	1,0481	12,2826	0,24	0,38	0,29	1657,14

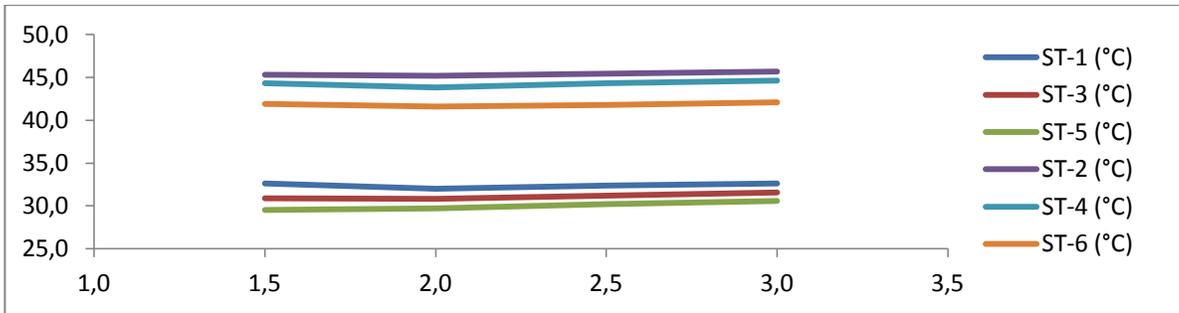
Fuente. Lecturas en el laboratorio.

Figura 34. Q_h Vs ϵ . $Q_h = 1,0$ L/min ST-16 = 50°C flujos en contracorriente.



Fuente. Lecturas en el laboratorio.

Figura 35. Comp. Temperaturas. $Q_h = 1,0$ L/min ST-16 = 50°C. flujos en contracorriente.



Fuente. Lecturas en el laboratorio.

Tabla 18. Hoja de datos. $Q_h = 0,5$ L/min ST-16 = 50°C flujos en contracorriente.

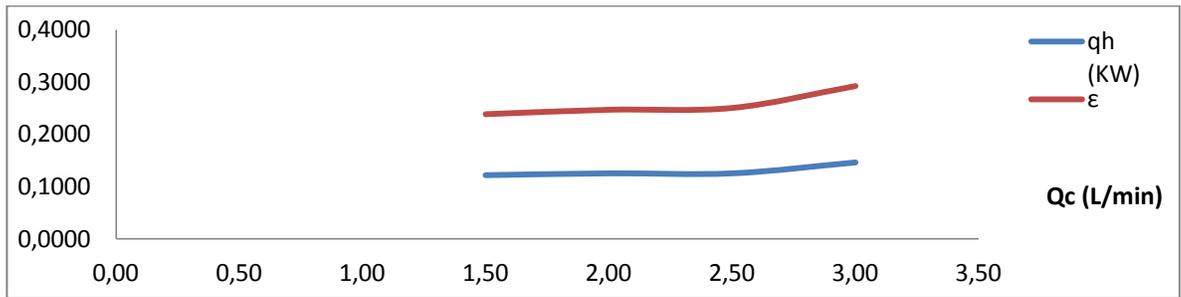
	Qc (L/min)	Qh (L/min)	ST-1 (°C)	ST-3 (°C)	ST-5 (°C)	ST-2 (°C)	ST-4 (°C)	ST-6 (°C)
	1,50	0,50	33,00	31,60	30,50	45,20	43,90	41,70
	2,00	0,50	32,60	31,50	30,60	45,20	43,90	41,60
	2,50	0,50	32,20	31,20	30,50	44,90	43,30	41,30
	3,00	0,50	31,80	30,90	30,30	44,70	42,70	40,50

X	Qc (m3/Seg)	Qh (m3/Seg)	pc (Kg/m3)	ph (Kg/m3)	CPc(J /Kg°C)	CPh(J /Kg°C)	h (KW/m² °C)	ṁc (Kg/Seg)	ṁh (Kg/Seg)	v (m/Seg)	μ (N Seg/m²)	AT (m²)
33,00	0,0000250	0,0000083	994,365	997,032	4179,400	4176,95	2424,4	0,02486	0,00831	0,041447822	0,000798	0,000201056
32,60	0,0000333	0,0000083	994,483	997,032	4179,48	4176,89	2425,28	0,03315	0,00831	0,041447822	0,000798	0,000201056
32,20	0,0000417	0,0000083	994,601	997,032	4179,56	4176,83	2426,16	0,04144	0,00831	0,041447822	0,000798	0,000201056
31,80	0,0000500	0,0000083	994,719	997,032	4179,640	4176,77	2427,04	0,04974	0,00831	0,041447822	0,000798	0,000201056

A (m²)	ΔTc (°C)	ΔTh (°C)	qc (KW)	qh (KW)	Cc (W/°C)	Ch(W/°C)	qmax (KW)	ΔTlm (°C)	ε	U (KW/m² °C)	ntu	Re
0,05341	2,50	3,50	0,2597	0,1215	103,8962	34,7046	0,5102	11,6929	0,24	0,19	0,10	828,57
0,05341	2,00	3,60	0,2771	0,1250	138,5474	34,7041	0,5067	11,7819	0,25	0,20	0,08	828,57
0,05341	1,70	3,60	0,2945	0,1250	173,2081	34,7036	0,4997	11,7244	0,25	0,20	0,31	828,57
0,05341	1,50	4,20	0,3118	0,1459	207,8784	34,7031	0,4997	11,4972	0,29	0,24	0,37	828,57

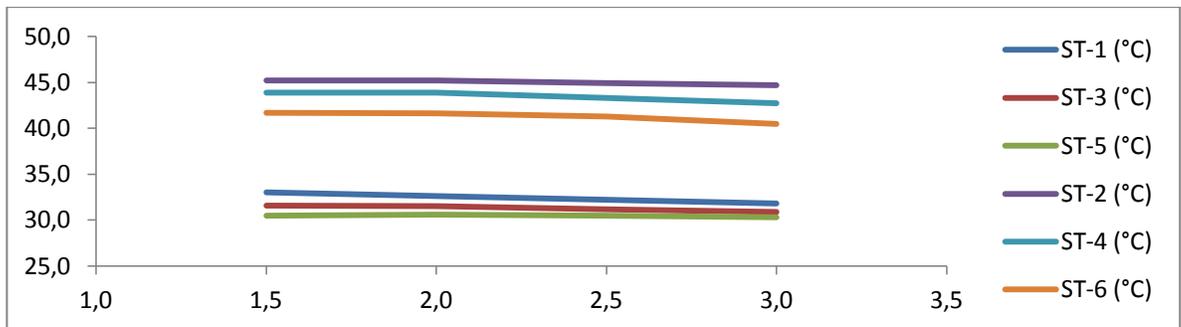
Fuente. Lecturas en el laboratorio.

Figura 36. Q_h Vs ϵ . $Q_h = 0,5$ L/min ST-16 = 50°C flujos en contracorriente.



Fuente. Lecturas en el laboratorio.

Figura 37. Comp. Temperaturas. $Q_h = 0,5$ L/min ST-16 = 50°C. flujos en contracorriente.



Fuente. Lecturas en el laboratorio.

Flujos en paralelo – flujo frio – exterior, flujo caliente – interior. Se aumenta la temperatura del depósito ST-16 = 60°C.

Tabla 19. Hoja de datos. $Q_h = 2,0$ L/min ST-16 = 60°C flujos en paralelo.

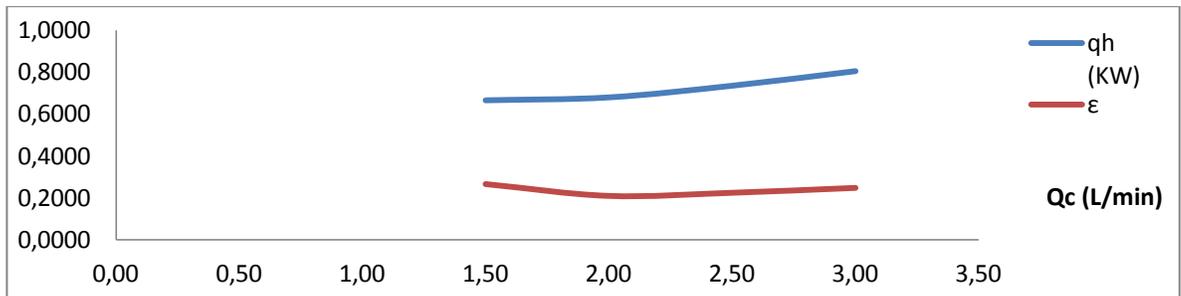
	Qc (L/min)	Qh (L/min)	ST-1 (°C)	ST-3 (°C)	ST-5 (°C)	ST-2 (°C)	ST-4 (°C)	ST-6 (°C)
	1,50	2,00	30,40	34,00	37,00	54,60	53,30	49,80
	2,00	2,00	30,80	33,50	35,80	54,30	52,90	49,40
	2,50	2,00	30,80	33,30	35,20	54,50	52,60	49,20
	3,00	2,00	30,70	32,40	34,80	54,20	52,50	48,40

X	Qc (m3/Seg)	Qh (m3/Seg)	ρ_c (Kg/m3)	ρ_h (Kg/m3)	CPc(J /Kg°C)	CPh(J /Kg°C)	h (KW/m ² °C)	m _c (Kg/Seg)	m _h (Kg/Seg)	v (m/Seg)	μ (N Seg/m ²)	AT (m ²)
30,40	0,0000250	0,0000333	995,132	997,032	4179,920	4176,56	2430,12	0,02488	0,03323	0,165791289	0,000798	0,000201056
30,80	0,0000333	0,0000333	995,014	997,032	4179,84	4176,62	2429,24	0,03317	0,03323	0,165791289	0,000798	0,000201056
30,80	0,0000417	0,0000333	995,014	997,032	4179,84	4176,62	2429,24	0,04146	0,03323	0,165791289	0,000798	0,000201056
30,70	0,0000500	0,0000333	995,0435	997,032	4179,860	4176,605	2429,46	0,04975	0,03323	0,165791289	0,000798	0,000201056

AL (m ²)	ΔT_c (°C)	ΔT_h (°C)	q _c (KW)	q _h (KW)	C _c (W/°C)	Ch(W/°C)	q _{max} (KW)	ΔT_{lm} (°C)	ϵ	U (KW/m ² °C)	ntu	Re
0,05341	6,60	4,80	0,6863	0,6668	103,9893	138,8055	2,5165	17,8990	0,26	0,70	0,36	3314,27
0,05341	5,00	4,90	0,6932	0,6807	138,6333	138,8075	3,2579	18,1010	0,21	0,70	0,27	3314,27
0,05341	4,40	5,30	0,7625	0,7362	173,2916	138,8075	3,2897	18,4264	0,22	0,75	0,29	3314,27
0,05341	4,10	5,80	0,8526	0,8057	207,9571	138,8070	3,2620	18,1010	0,25	0,83	0,32	3314,27

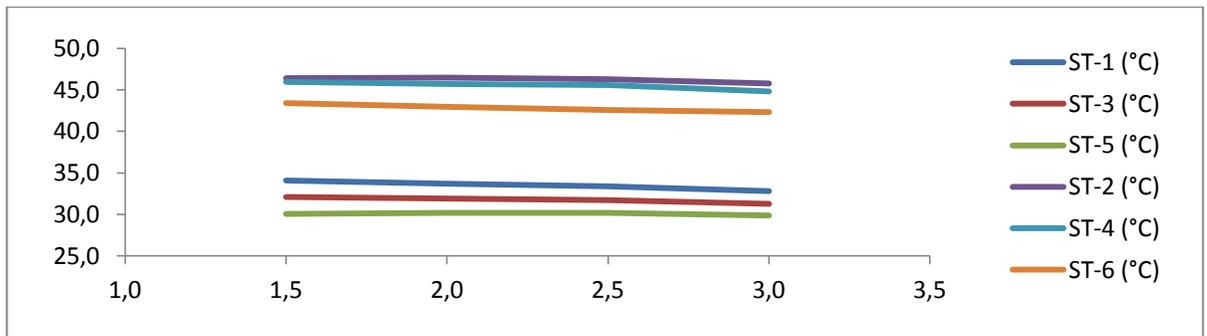
Fuente. Lecturas en el laboratorio.

Figura 38. Q_h Vs ϵ . $Q_h = 2,0$ L/min ST-16 = 60°C flujos en paralelo.



Fuente. Lecturas en el laboratorio.

Figura 39. Comp. Temperaturas. $Q_h = 2,0$ L/min ST-16 = 60°C. flujos en paralelo.



Fuente. Lecturas en el laboratorio.

Tabla 20. Hoja de datos. $Q_h = 1,5 \text{ L/min ST-16} = 60^\circ\text{C}$ flujos en paralelo.

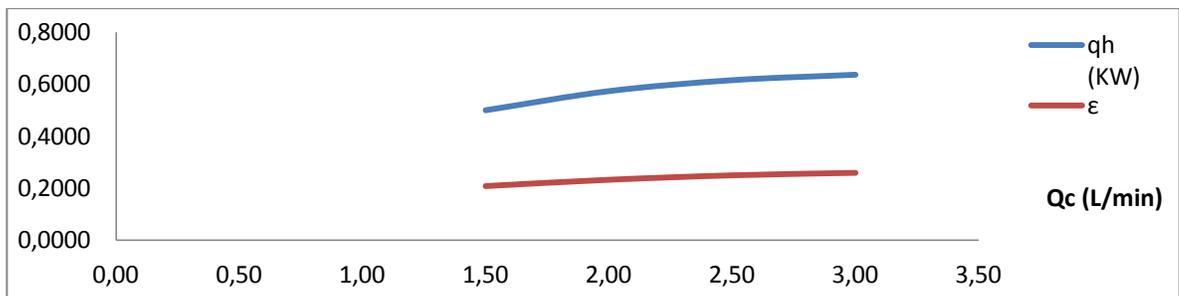
	Qc (L/min)	Qh (L/min)	ST-1 (°C)	ST-3 (°C)	ST-5 (°C)	ST-2 (°C)	ST-4 (°C)	ST-6 (°C)
	1,50	1,50	30,40	33,30	35,90	53,50	52,30	48,70
	2,00	1,50	30,50	33,30	35,50	54,20	52,50	48,70
	2,50	1,50	30,50	33,00	34,80	54,20	52,20	48,30
	3,00	1,50	30,50	32,60	34,30	54,10	52,00	48,00

X	Qc (m3/Seg)	Qh (m3/Seg)	ρ_c (Kg/m3)	ρ_h (Kg/m3)	CPc(J /Kg°C)	CPh(J /Kg°C)	h (KW/m ² °C)	m _c (Kg/Seg)	m _h (Kg/Seg)	v (m/Seg)	μ (N Seg/m ²)	AT (m ²)
30,40	0,0000250	0,0000250	995,132	997,032	4179,920	4176,56	2430,12	0,02488	0,02493	0,124343466	0,000798	0,000201056
30,50	0,0000333	0,0000250	995,1025	997,032	4179,9	4176,575	2429,9	0,03317	0,02493	0,124343466	0,000798	0,000201056
30,50	0,0000417	0,0000250	995,1025	997,032	4179,9	4176,575	2429,9	0,04146	0,02493	0,124343466	0,000798	0,000201056
30,50	0,0000500	0,0000250	995,1025	997,032	4179,900	4176,575	2429,9	0,04976	0,02493	0,124343466	0,000798	0,000201056

AL (m ²)	ΔT_c (°C)	ΔT_h (°C)	q _c (KW)	q _h (KW)	C _c (W/°C)	Ch(W/°C)	q _{max} (KW)	ΔT_{lm} (°C)	ϵ	U (KW/m ² °C)	ntu	Re
0,05341	5,50	4,80	0,5719	0,5001	103,9893	104,1041	2,4022	17,4462	0,21	0,54	0,28	2485,70
0,05341	5,00	5,50	0,6932	0,5730	138,6476	104,1045	2,4673	17,9408	0,23	0,60	0,23	2485,70
0,05341	4,30	5,90	0,7452	0,6147	173,3095	104,1045	2,4673	18,1241	0,25	0,64	0,33	2485,70
0,05341	3,80	6,10	0,7903	0,6355	207,9714	104,1045	2,4569	18,2035	0,26	0,65	0,34	2485,70

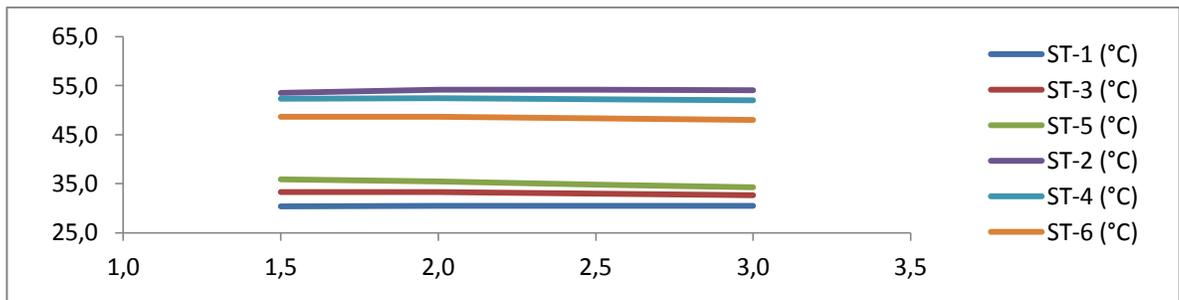
Fuente. Lecturas en el laboratorio.

Figura 40. Q_h Vs ϵ . $Q_h = 1,5 \text{ L/min ST-16} = 60^\circ\text{C}$ flujos en paralelo.



Fuente. Lecturas en el laboratorio.

Figura 41. Comp. Temperaturas. $Q_h = 1,5 \text{ L/min ST-16} = 60^\circ\text{C}$. flujos en paralelo.



Fuente. Lecturas en el laboratorio.

Tabla 21. Hoja de datos. $Q_h = 1,0$ L/min ST-16 = 60°C flujos en paralelo.

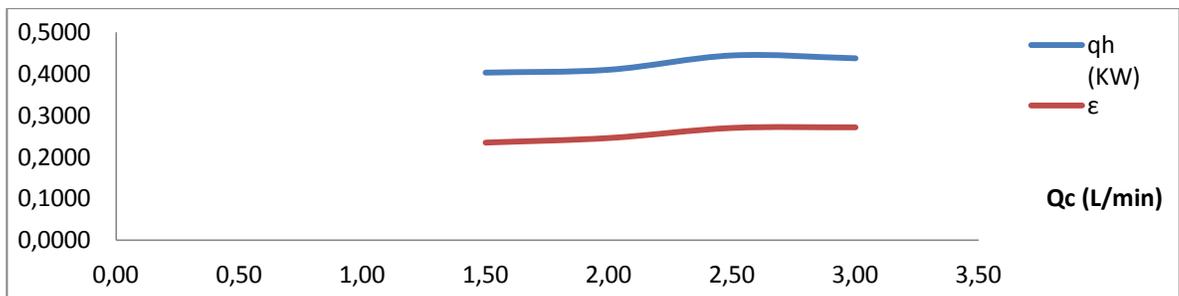
	Qc (L/min)	Qh (L/min)	ST-1 (°C)	ST-3 (°C)	ST-5 (°C)	ST-2 (°C)	ST-4 (°C)	ST-6 (°C)
	1,50	1,00	29,60	32,60	34,70	54,30	51,70	48,50
	2,00	1,00	29,70	32,20	34,00	53,70	51,20	47,80
	2,50	1,00	30,20	32,30	33,80	53,90	51,00	47,50
	3,00	1,00	30,60	32,50	33,80	53,80	51,10	47,50

X	Qc (m3/Seg)	Qh (m3/Seg)	ρ_c (Kg/m3)	ρ_h (Kg/m3)	CPc(J /Kg°C)	CPh(J /Kg°C)	h (KW/m ² °C)	m _c (Kg/Seg)	m _h (Kg/Seg)	v (m/Seg)	μ (N Seg/m ²)	AT (m ²)
29,60	0,0000250	0,0000167	995,368	997,032	4180,080	4176,44	2431,88	0,02488	0,01662	0,082895644	0,000798	0,000201056
29,70	0,0000333	0,0000167	995,3385	997,032	4180,06	4176,455	2431,66	0,03318	0,01662	0,082895644	0,000798	0,000201056
30,20	0,0000417	0,0000167	995,191	997,032	4179,96	4176,53	2430,56	0,04147	0,01662	0,082895644	0,000798	0,000201056
30,60	0,0000500	0,0000167	995,073	997,032	4179,880	4176,59	2429,68	0,04975	0,01662	0,082895644	0,000798	0,000201056

AL (m ²)	ΔT_c (°C)	ΔT_h (°C)	q _c (KW)	q _h (KW)	C _c (W/°C)	Ch(W/°C)	q _{max} (KW)	ΔT_{lm} (°C)	ϵ	U (KW/m ² °C)	ntu	Re
0,05341	5,10	5,80	0,5305	0,4029	104,0179	69,4007	1,7142	18,7242	0,24	0,40	0,21	1657,14
0,05341	4,30	5,90	0,5963	0,4098	138,6858	69,4010	1,6656	18,4320	0,25	0,42	0,16	1657,14
0,05341	3,60	6,40	0,6240	0,4445	173,3274	69,4022	1,6448	18,2455	0,27	0,46	0,35	1657,14
0,05341	3,20	6,30	0,6655	0,4376	207,9643	69,4032	1,6102	18,0349	0,27	0,45	0,35	1657,14

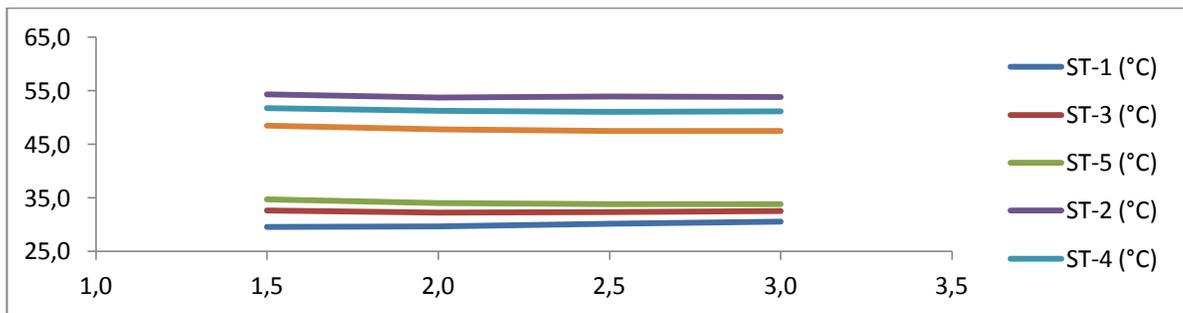
Fuente. Lecturas en el laboratorio.

Figura 42. Q_h Vs ϵ . $Q_h = 1,0$ L/min ST-16 = 60°C flujos en paralelo.



Fuente. Lecturas en el laboratorio.

Figura 43. Comp. Temperaturas. $Q_h = 1,0$ L/min ST-16 = 60°C. flujos en paralelo.



Fuente. Lecturas en el laboratorio.

Tabla 22. Hoja de datos. $Q_h = 0,5 \text{ L/min}$ ST-16 = 60°C flujos en paralelo.

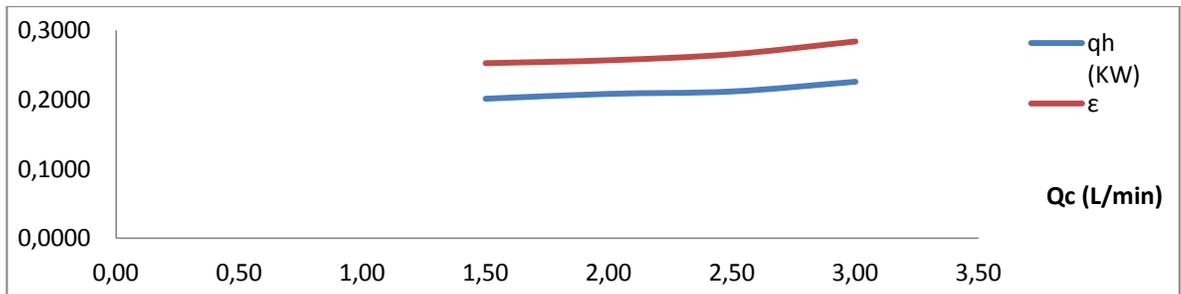
	Q_c (L/min)	Q_h (L/min)	ST-1 ($^\circ\text{C}$)	ST-3 ($^\circ\text{C}$)	ST-5 ($^\circ\text{C}$)	ST-2 ($^\circ\text{C}$)	ST-4 ($^\circ\text{C}$)	ST-6 ($^\circ\text{C}$)
	1,50	0,50	30,40	32,80	34,60	53,40	50,10	47,60
	2,00	0,50	30,00	32,20	33,70	53,40	49,70	47,40
	2,50	0,50	30,50	32,20	33,50	53,50	49,80	47,40
	3,00	0,50	30,60	32,20	33,40	53,50	49,60	47,00

X	Q_c (m3/Seg)	Q_h (m3/Seg)	ρ_c (Kg/m3)	ρ_h (Kg/m3)	CPc(J /Kg $^\circ\text{C}$)	CPh(J /Kg $^\circ\text{C}$)	h (KW/m 2 $^\circ\text{C}$)	\dot{m}_c (Kg/Seg)	\dot{m}_h (Kg/Seg)	v (m/Seg)	μ (N Seg/m 2)	AT (m 2)
30,40	0,0000250	0,0000083	995,132	997,032	4179,920	4176,56	2430,12	0,02488	0,00831	0,041447822	0,000798	0,000201056
30,00	0,0000333	0,0000083	995,25	997,032	4180	4176,5	2431	0,03318	0,00831	0,041447822	0,000798	0,000201056
30,50	0,0000417	0,0000083	995,1025	997,032	4179,9	4176,575	2429,9	0,04146	0,00831	0,041447822	0,000798	0,000201056
30,60	0,0000500	0,0000083	995,073	997,032	4179,880	4176,59	2429,68	0,04975	0,00831	0,041447822	0,000798	0,000201056

AL (m 2)	ΔT_c ($^\circ\text{C}$)	ΔT_h ($^\circ\text{C}$)	qc (KW)	qh (KW)	Cc (W/ $^\circ\text{C}$)	Ch(W/ $^\circ\text{C}$)	qmax (KW)	ΔT_{lm} ($^\circ\text{C}$)	ϵ	U (KW/m 2 $^\circ\text{C}$)	ntu	Re
0,05341	4,20	5,80	0,4368	0,2014	103,9893	34,7014	0,7981	17,5271	0,25	0,22	0,11	828,57
0,05341	3,70	6,00	0,5131	0,2084	138,6715	34,7009	0,8120	18,1193	0,26	0,22	0,08	828,57
0,05341	3,00	6,10	0,5199	0,2118	173,3095	34,7015	0,7981	18,0697	0,27	0,22	0,34	828,57
0,05341	2,80	6,50	0,5823	0,2257	207,9643	34,7016	0,7947	17,8480	0,28	0,24	0,36	828,57

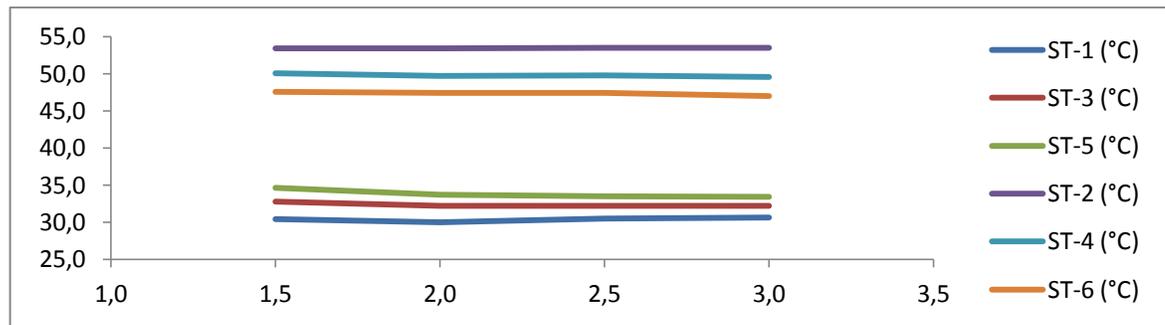
Fuente. Lecturas en el laboratorio.

Figura 44. Q_h Vs ϵ . $Q_h = 0,5 \text{ L/min}$ ST-16 = 60°C flujos en paralelo.



Fuente. Lecturas en el laboratorio.

Figura 45. Comp. Temperaturas. $Q_h = 0,5 \text{ L/min}$ ST-16 = 60°C . flujos en paralelo.



Fuente. Lecturas en el laboratorio.

Flujos en contracorriente – flujo frío – exterior, flujo caliente – interior.

Tabla 23. Hoja de datos. $Q_h = 2,0$ L/min ST-16 = 60°C flujos en contracorriente.

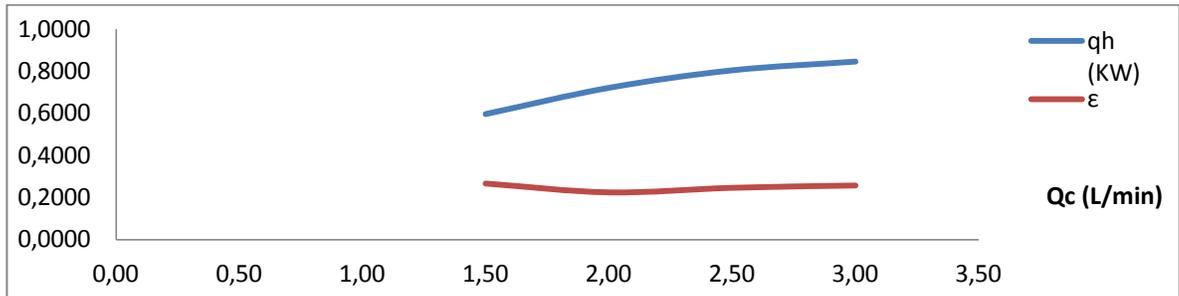
	Qc (L/min)	Qh (L/min)	ST-1 (°C)	ST-3 (°C)	ST-5 (°C)	ST-2 (°C)	ST-4 (°C)	ST-6 (°C)
	1,50	2,00	36,60	33,70	30,70	52,40	51,90	48,10
	2,00	2,00	36,30	33,40	30,90	54,00	52,70	48,80
	2,50	2,00	35,50	33,00	30,70	54,30	52,50	48,50
	3,00	2,00	34,80	32,40	30,70	54,50	52,50	48,40

X	Qc (m3/Seg)	Qh (m3/Seg)	ρc (Kg/m3)	ρh (Kg/m3)	Cpc(J /Kg°C)	CPh(J /Kg°C)	h (KW/m ² °C)	ṁc (Kg/Seg)	ṁh (Kg/Seg)	v (m/Seg)	μ (N Seg/m ²)	AT (m ²)
36,60	0,0000250	0,0000333	993,303	997,032	4178,680	4177,49	2416,48	0,02483	0,03323	0,165791289	0,000798	0,000201056
36,30	0,0000333	0,0000333	993,3915	997,032	4178,74	4177,445	2417,14	0,03311	0,03323	0,165791289	0,000798	0,000201056
35,50	0,0000417	0,0000333	993,6275	997,032	4178,9	4177,325	2418,9	0,04140	0,03323	0,165791289	0,000798	0,000201056
34,80	0,0000500	0,0000333	993,834	997,032	4179,040	4177,22	2420,44	0,04969	0,03323	0,165791289	0,000798	0,000201056

A (m ²)	ΔTc (°C)	ΔTh (°C)	qc (KW)	qh (KW)	Cc (W/°C)	Ch(W/°C)	qmax (KW)	ΔTlm (°C)	ε	U (KW/m ² °C)	ntu	Re
0,05341	5,90	4,30	0,6122	0,5972	103,7674	138,8364	2,2518	16,5871	0,27	0,67	0,35	3314,27
0,05341	5,40	5,20	0,7472	0,7222	138,3708	138,8349	3,2071	17,7998	0,23	0,76	0,29	3314,27
0,05341	4,80	5,80	0,8305	0,8055	173,0112	138,8309	3,2764	18,2954	0,25	0,82	0,32	3314,27
0,05341	4,10	6,10	0,8514	0,8472	207,6636	138,8274	3,3041	18,6822	0,26	0,85	0,33	3314,27

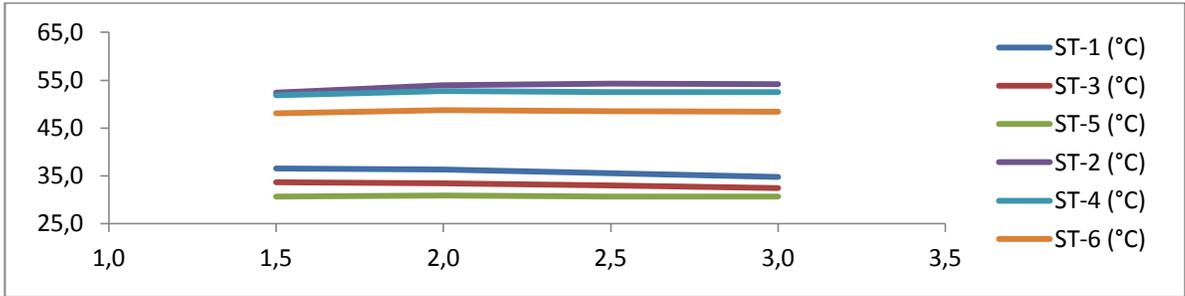
Fuente. Lecturas en el laboratorio.

Figura 46. Q_h Vs ϵ . $Q_h = 2,0$ L/min ST-16 = 60°C flujos en contracorriente.



Fuente. Lecturas en el laboratorio.

Figura 47. Comp. Temperaturas. $Q_h = 2,0$ L/min ST-16 = 60°C flujos en contracorriente.



Fuente. Lecturas en el laboratorio.

Tabla 24. Hoja de datos. $Q_h = 1,5$ L/min ST-16 = 60°C flujos en contracorriente.

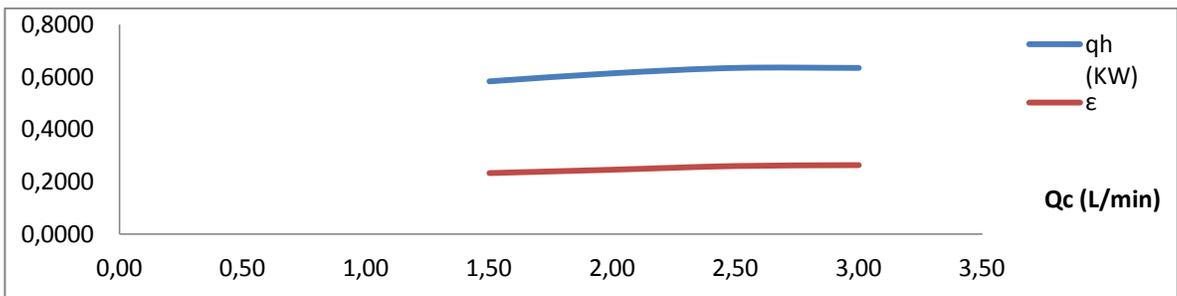
	Q_c (L/min)	Q_h (L/min)	ST-1 (°C)	ST-3 (°C)	ST-5 (°C)	ST-2 (°C)	ST-4 (°C)	ST-6 (°C)
	1,50	1,50	36,00	32,90	30,20	54,30	52,80	48,70
	2,00	1,50	35,10	32,50	30,10	54,10	52,00	48,20
	2,50	1,50	34,80	32,50	30,70	54,20	52,10	48,10
	3,00	1,50	34,30	32,50	31,00	54,20	52,30	48,10

X	Q_c (m3/Seg)	Q_h (m3/Seg)	ρ_c (Kg/m3)	ρ_h (Kg/m3)	$C_{Pc}(J /Kg^{\circ}C)$	$C_{Ph}(J /Kg^{\circ}C)$	h (KW/m ² °C)	\dot{m}_c (Kg/Seg)	\dot{m}_h (Kg/Seg)	v (m/Seg)	μ (N Seg/m ²)	AT (m ²)
36,00	0,0000250	0,0000250	993,48	997,032	4178,800	4177,4	2417,8	0,02484	0,02493	0,124343466	0,000798	0,000201056
35,10	0,0000333	0,0000250	993,7455	997,032	4178,98	4177,265	2419,78	0,03312	0,02493	0,124343466	0,000798	0,000201056
34,80	0,0000417	0,0000250	993,834	997,032	4179,04	4177,22	2420,44	0,04141	0,02493	0,124343466	0,000798	0,000201056
34,30	0,0000500	0,0000250	993,9815	997,032	4179,140	4177,145	2421,54	0,04970	0,02493	0,124343466	0,000798	0,000201056

A (m ²)	ΔT_c (°C)	ΔT_h (°C)	q_c (KW)	q_h (KW)	C_c (W/°C)	Ch (W/°C)	q_{max} (KW)	ΔT_{lm} (°C)	ϵ	U (KW/m ² °C)	ntu	Re
0,05341	5,80	5,60	0,6020	0,5833	103,7889	104,1250	2,5013	18,3998	0,23	0,59	0,31	2485,70
0,05341	5,00	5,90	0,6921	0,6146	138,4281	104,1217	2,4989	18,5464	0,25	0,62	0,24	2485,70
0,05341	4,10	6,10	0,7095	0,6354	173,0530	104,1206	2,4468	18,3819	0,26	0,65	0,33	2485,70
0,05341	3,30	6,10	0,6854	0,6354	207,6994	104,1187	2,4156	18,4646	0,26	0,64	0,33	2485,70

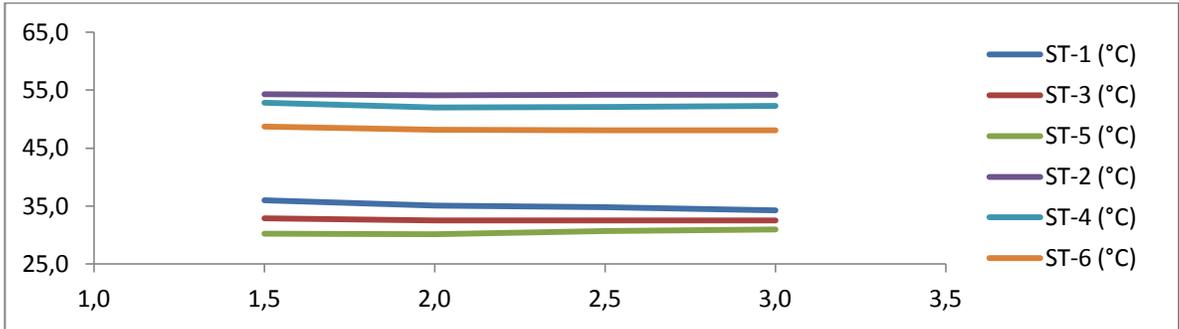
Fuente. Lecturas en el laboratorio.

Figura 48. Q_h Vs ϵ . $Q_h = 1,5$ L/min ST-16 = 60°C flujos en contracorriente.



Fuente. Lecturas en el laboratorio.

Figura 49. Comp. Temperaturas. $Q_h = 1,5$ L/min ST-16 = 60°C flujos en contracorriente.



Fuente. Lecturas en el laboratorio.

Tabla 25. Hoja de datos. $Q_h = 1,0$ L/min ST-16 = 60°C flujos en contracorriente.

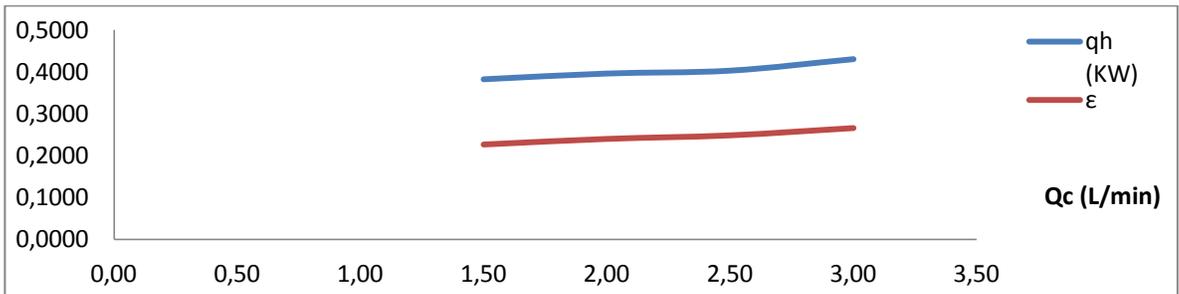
	Q_c (L/min)	Q_h (L/min)	ST-1 (°C)	ST-3 (°C)	ST-5 (°C)	ST-2 (°C)	ST-4 (°C)	ST-6 (°C)
	1,50	1,00	35,80	32,90	30,40	54,60	52,60	49,10
	2,00	1,00	35,10	32,70	30,70	54,40	52,20	48,70
	2,50	1,00	34,70	32,50	30,90	54,20	51,90	48,40
	3,00	1,00	33,90	32,20	30,60	53,90	51,40	47,70

X	Q_c (m3/Seg)	Q_h (m3/Seg)	ρ_c (Kg/m3)	ρ_h (Kg/m3)	CPC(J /Kg°C)	CPH(J /Kg°C)	h (KW/m ² °C)	\dot{m}_c (Kg/Seg)	\dot{m}_h (Kg/Seg)	v (m/Seg)	μ (N Seg/m ²)	AT (m ²)
35,80	0,0000250	0,0000167	993,539	997,032	4178,840	4177,37	2418,24	0,02484	0,01662	0,082895644	0,000798	0,000201056
35,10	0,0000333	0,0000167	993,7455	997,032	4178,98	4177,265	2419,78	0,03312	0,01662	0,082895644	0,000798	0,000201056
34,70	0,0000417	0,0000167	993,8635	997,032	4179,06	4177,205	2420,66	0,04141	0,01662	0,082895644	0,000798	0,000201056
33,90	0,0000500	0,0000167	994,0995	997,032	4179,220	4177,085	2422,42	0,04970	0,01662	0,082895644	0,000798	0,000201056

A (m ²)	ΔT_c (°C)	ΔT_h (°C)	q_c (KW)	q_h (KW)	C_c (W/°C)	Ch (W/°C)	q_{max} (KW)	ΔT_{lm} (°C)	ϵ	U (KW/m ² °C)	ntu	Re
0,05341	5,40	5,50	0,5605	0,3819	103,7960	69,4162	1,6799	18,7500	0,23	0,38	0,20	1657,14
0,05341	4,40	5,70	0,6091	0,3958	138,4281	69,4144	1,6451	18,6424	0,24	0,40	0,15	1657,14
0,05341	3,80	5,80	0,6576	0,4028	173,0590	69,4135	1,6173	18,4820	0,25	0,41	0,31	1657,14
0,05341	3,30	6,20	0,6855	0,4306	207,7280	69,4115	1,6173	18,5122	0,27	0,44	0,34	1657,14

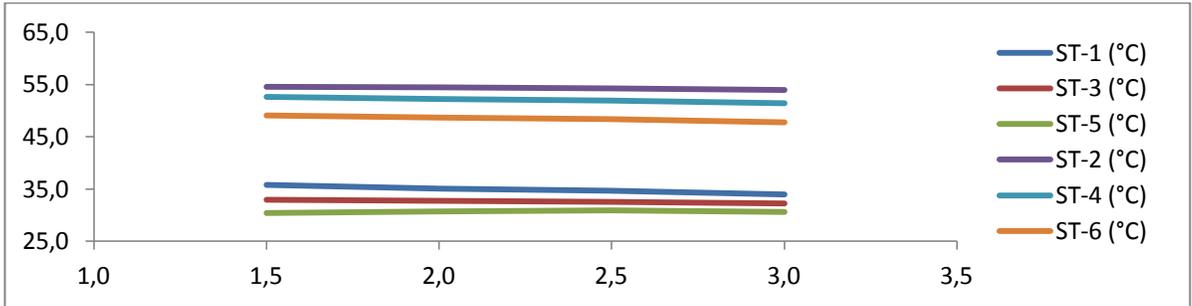
Fuente. Lecturas en el laboratorio.

Figura 50. Q_h Vs ϵ . $Q_h = 1,0$ L/min ST-16 = 60°C flujos en contracorriente.



Fuente. Lecturas en el laboratorio.

Figura 51. Comp. Temperaturas. $Q_h = 1,0$ L/min ST-16 = 60°C flujos en contracorriente.



Fuente. Lecturas en el laboratorio.

Tabla 26. Hoja de datos. $Q_h = 0,5$ L/min ST-16 = 60°C flujos en contracorriente.

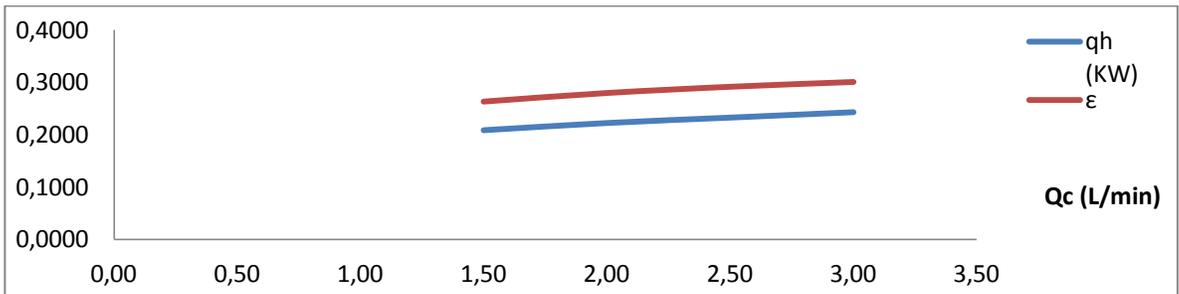
	Q_c (L/min)	Q_h (L/min)	ST-1 (°C)	ST-3 (°C)	ST-5 (°C)	ST-2 (°C)	ST-4 (°C)	ST-6 (°C)
	1,50	0,50	35,00	32,60	30,70	53,50	50,20	47,50
	2,00	0,50	34,30	32,20	30,60	53,50	49,90	47,10
	2,50	0,50	33,50	31,80	30,40	53,40	49,50	46,70
	3,00	0,50	32,70	31,30	30,10	53,40	48,90	46,40

X	Q_c (m3/Seg)	Q_h (m3/Seg)	ρ_c (Kg/m3)	ρ_h (Kg/m3)	CPc(J /Kg°C)	CPh(J /Kg°C)	h (KW/m ² °C)	\dot{m}_c (Kg/Seg)	\dot{m}_h (Kg/Seg)	v (m/Seg)	μ (N Seg/m ²)	AT (m ²)
35,00	0,0000250	0,0000083	993,775	997,032	4179,000	4177,25	2420	0,02484	0,00831	0,041447822	0,000798	0,000201056
34,30	0,0000333	0,0000083	993,9815	997,032	4179,14	4177,145	2421,54	0,03313	0,00831	0,041447822	0,000798	0,000201056
33,50	0,0000417	0,0000083	994,2175	997,032	4179,3	4177,025	2423,3	0,04143	0,00831	0,041447822	0,000798	0,000201056
32,70	0,0000500	0,0000083	994,4535	997,032	4179,460	4176,905	2425,06	0,04972	0,00831	0,041447822	0,000798	0,000201056

A (m ²)	ΔT_c (°C)	ΔT_h (°C)	qc (KW)	qh (KW)	Cc (W/°C)	Ch(W/°C)	qmax (KW)	ΔT_{lm} (°C)	ϵ	U (KW/m ² °C)	ntu	Re
0,05341	4,30	6,00	0,4464	0,2083	103,8246	34,7071	0,7913	17,6363	0,26	0,22	0,11	828,57
0,05341	3,70	6,40	0,5123	0,2222	138,4663	34,7062	0,7948	17,8159	0,28	0,23	0,09	828,57
0,05341	3,10	6,70	0,5367	0,2327	173,1305	34,7052	0,7982	18,0402	0,29	0,24	0,37	828,57
0,05341	2,60	7,00	0,5403	0,2431	207,8139	34,7042	0,8086	18,4125	0,30	0,25	0,38	828,57

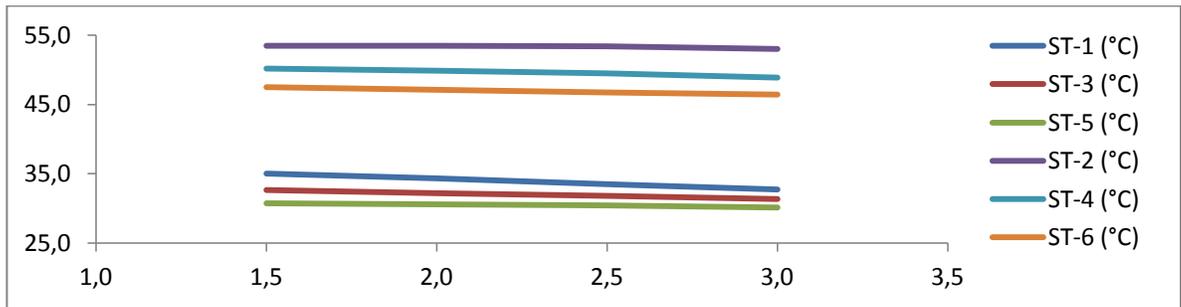
Fuente. Lecturas en el laboratorio.

Figura 52. Q_h Vs ϵ . $Q_h = 0,5$ L/min ST-16 = 60°C flujos en contracorriente.



Fuente. Lecturas en el laboratorio.

Figura 53. Comp. Temperaturas. $Q_h = 0,5 \text{ L/min}$ $ST-16 = 60^\circ\text{C}$ flujos en contracorriente.



Fuente. Lecturas en el laboratorio.

Una vez terminadas las mediciones se procede a intercambiar las mangueras en la entrada del intercambiador para experimentar, determinar y hacer comparaciones respecto a las eficiencias en este tipo de configuración.

Flujos en paralelo – flujo frio interior – flujo caliente – exterior.

Tabla 27. Hoja de datos. $Q_h = 2,0 \text{ L/min}$ $ST-16 = 50^\circ\text{C}$. flujos en paralelo.

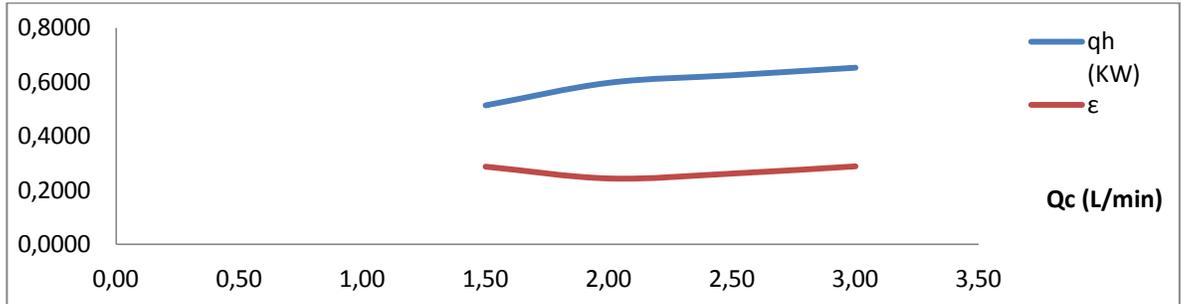
	Q_c (L/min)	Q_h (L/min)	ST-1 (°C)	ST-3 (°C)	ST-5 (°C)	ST-2 (°C)	ST-4 (°C)	ST-6 (°C)
	1,50	2,00	46,80	44,70	43,10	29,50	32,10	34,90
	2,00	2,00	47,50	45,20	43,20	29,70	32,20	33,90
	2,50	2,00	47,00	44,40	42,50	29,80	32,10	33,40
	3,00	2,00	46,10	43,50	41,40	29,80	31,70	32,80

X	Q_c (m3/Seg)	Q_h (m3/Seg)	ρ_c (Kg/m3)	ρ_h (Kg/m3)	CPc(J /Kg°C)	CPh(J /Kg°C)	h (KW/m ² °C)	\dot{m}_c (Kg/Seg)	\dot{m}_h (Kg/Seg)	v (m/Seg)	μ (N Seg/m ²)	AT (m ²)
46,80	0,0000250	0,0000333	990,294	997,032	4176,640	4179,02	2394,04	0,02476	0,03323	0,165791289	0,000798	0,000201056
47,50	0,0000333	0,0000333	990,0875	997,032	4176,5	4179,125	2392,5	0,03300	0,03323	0,165791289	0,000798	0,000201056
47,00	0,0000417	0,0000333	990,235	997,032	4176,6	4179,05	2393,6	0,04126	0,03323	0,165791289	0,000798	0,000201056
46,10	0,0000500	0,0000333	990,5005	997,032	4176,780	4178,915	2395,58	0,04953	0,03323	0,165791289	0,000798	0,000201056

A (m ²)	ΔT_c (°C)	ΔT_h (°C)	qc (KW)	qh (KW)	Cc (W/°C)	Ch(W/°C)	qmax (KW)	ΔT_{lm} (°C)	ϵ	U (KW/m ² °C)	ntu	Re
0,05341	5,40	3,70	0,5584	0,5136	103,4025	138,8872	1,7889	12,1890	0,29	0,79	0,41	3314,27
0,05341	4,20	4,30	0,5789	0,5969	137,8367	138,8907	2,4535	13,0934	0,24	0,85	0,33	3314,27
0,05341	3,60	4,50	0,6204	0,6246	172,3256	138,8882	2,3889	12,7231	0,26	0,92	0,35	3314,27
0,05341	3,00	4,70	0,6206	0,6524	206,8551	138,8837	2,2638	12,0425	0,29	1,01	0,39	3314,27

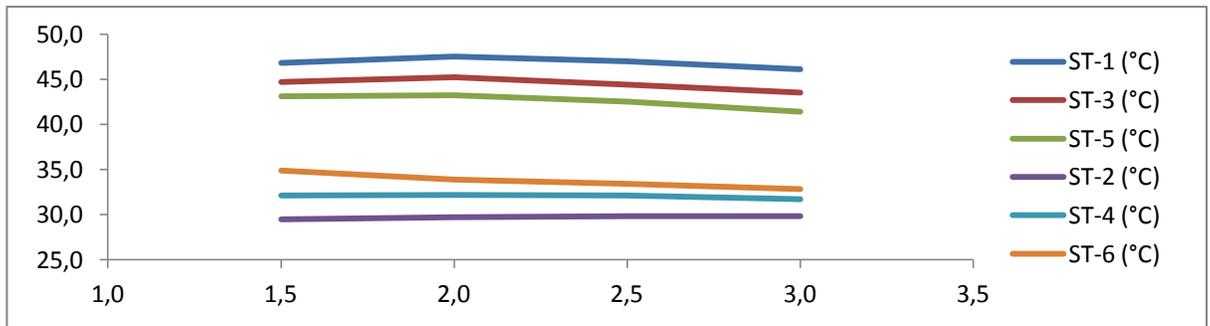
Fuente. Lecturas en el laboratorio.

Figura 54. Q_h Vs ϵ . $Q_h = 2,0$ L/min ST-16 = 50°C. flujos en paralelo.



Fuente. Lecturas en el laboratorio.

Figura 55. Comp. Temperaturas. $Q_h = 2,0$ L/min ST-16 = 50°C flujos en paralelo.



Fuente. Lecturas en el laboratorio.

Tabla 28. Hoja de datos. $Q_h = 1,5$ L/min ST-16 = 50°C. flujos en paralelo.

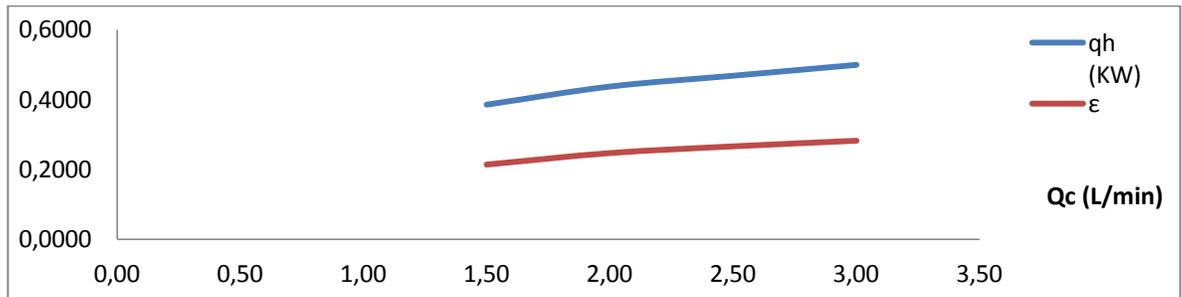
	Q_c (L/min)	Q_h (L/min)	ST-1 (°C)	ST-3 (°C)	ST-5 (°C)	ST-2 (°C)	ST-4 (°C)	ST-6 (°C)
	1,50	1,50	46,90	44,90	43,20	29,50	32,20	34,70
	2,00	1,50	46,70	44,40	42,50	29,70	32,00	33,70
	2,50	1,50	46,60	44,20	42,10	29,70	31,80	33,20
	3,00	1,50	46,60	43,90	41,80	29,60	31,80	32,80

X	Q_c (m3/Seg)	Q_h (m3/Seg)	ρ_c (Kg/m3)	ρ_h (Kg/m3)	CPc(J /Kg°C)	CPh(J /Kg°C)	h (KW/m ² °C)	\dot{m}_c (Kg/Seg)	\dot{m}_h (Kg/Seg)	v (m/Seg)	μ (N Seg/m ²)	AT (m ²)
46,90	0,0000250	0,0000250	990,2645	997,032	4176,620	4179,035	2393,82	0,02476	0,02493	0,124343466	0,000798	0,000201056
46,70	0,0000333	0,0000250	990,3235	997,032	4176,66	4179,005	2394,26	0,03301	0,02493	0,124343466	0,000798	0,000201056
46,60	0,0000417	0,0000250	990,353	997,032	4176,68	4178,99	2394,48	0,04126	0,02493	0,124343466	0,000798	0,000201056
46,60	0,0000500	0,0000250	990,353	997,032	4176,680	4178,99	2394,48	0,04952	0,02493	0,124343466	0,000798	0,000201056

A (m ²)	ΔT_c (°C)	ΔT_h (°C)	qc (KW)	qh (KW)	Cc (W/°C)	Ch(W/°C)	qmax (KW)	ΔT_{lm} (°C)	ϵ	U (KW/m ² °C)	ntu	Re
0,05341	5,20	3,70	0,5377	0,3852	103,3990	104,1658	1,7991	12,4232	0,21	0,58	0,30	2485,70
0,05341	4,00	4,20	0,5515	0,4372	137,8748	104,1650	1,7708	12,4533	0,25	0,66	0,25	2485,70
0,05341	3,50	4,50	0,6032	0,4685	172,3495	104,1647	1,7604	12,4754	0,27	0,70	0,36	2485,70
0,05341	3,20	4,80	0,6618	0,4997	206,8194	104,1647	1,7708	12,5788	0,28	0,74	0,38	2485,70

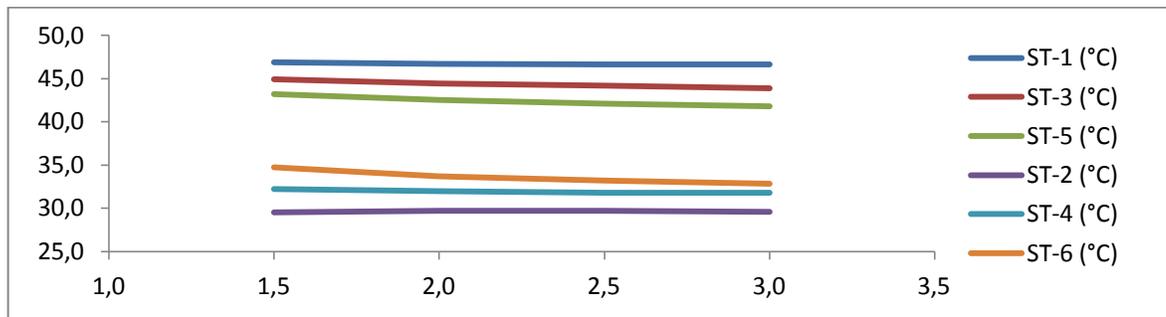
Fuente. Lecturas en el laboratorio.

Figura 56. Q_h Vs ϵ . $Q_h = 1,5$ L/min ST-16 = 50°C. flujos en paralelo.



Fuente. Lecturas en el laboratorio.

Figura 57. Comp. Temperaturas. $Q_h = 1,5$ L/min ST-16 = 50°C flujos en paralelo.



Fuente. Lecturas en el laboratorio.

Tabla 29. Hoja de datos. $Q_h = 1,0$ L/min ST-16 = 50°C. flujos en paralelo.

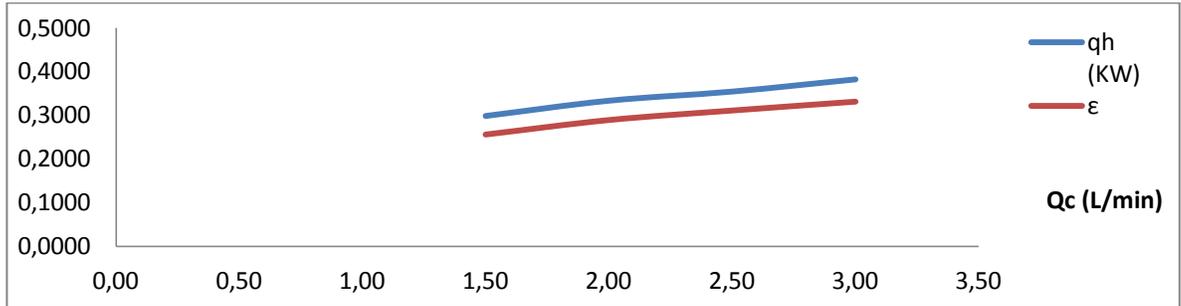
	Qc (L/min)	Qh (L/min)	ST-1 (°C)	ST-3 (°C)	ST-5 (°C)	ST-2 (°C)	ST-4 (°C)	ST-6 (°C)
	1,50	1,00	46,20	43,80	41,90	29,40	31,80	33,80
	2,00	1,00	46,00	43,40	41,20	29,40	31,70	33,00
	2,50	1,00	46,00	43,10	40,90	29,60	31,70	32,70
	3,00	1,00	46,30	43,20	40,80	29,70	31,60	32,40

X	Qc (m3/Seg)	Qh (m3/Seg)	ρ_c (Kg/m3)	ρ_h (Kg/m3)	CPc(J /Kg°C)	CPh(J /Kg°C)	h (KW/m ² °C)	m _c (Kg/Seg)	m _h (Kg/Seg)	v (m/Seg)	μ (N Seg/m ²)	AT (m ²)
46,20	0,0000250	0,0000167	990,471	997,032	4176,760	4178,93	2395,36	0,02476	0,01662	0,082895644	0,000798	0,000201056
46,00	0,0000333	0,0000167	990,53	997,032	4176,8	4178,9	2395,8	0,03302	0,01662	0,082895644	0,000798	0,000201056
46,00	0,0000417	0,0000167	990,53	997,032	4176,8	4178,9	2395,8	0,04127	0,01662	0,082895644	0,000798	0,000201056
46,30	0,0000500	0,0000167	990,4415	997,032	4176,740	4178,945	2395,14	0,04952	0,01662	0,082895644	0,000798	0,000201056

A (m ²)	ΔT_c (°C)	ΔT_h (°C)	qc (KW)	qh (KW)	Cc (W/°C)	Ch (W/°C)	q _{max} (KW)	ΔT_{lm} (°C)	ϵ	U (KW/m ² °C)	ntu	Re
0,05341	4,40	4,30	0,4551	0,2984	103,4240	69,4421	1,1666	11,9257	0,26	0,47	0,24	1657,14
0,05341	3,60	4,80	0,4965	0,3332	137,9082	69,4416	1,1527	11,9104	0,29	0,52	0,20	1657,14
0,05341	3,10	5,10	0,5344	0,3540	172,3852	69,4416	1,1388	11,8301	0,31	0,56	0,43	1657,14
0,05341	2,70	5,50	0,5585	0,3817	206,8408	69,4424	1,1527	12,0381	0,33	0,59	0,46	1657,14

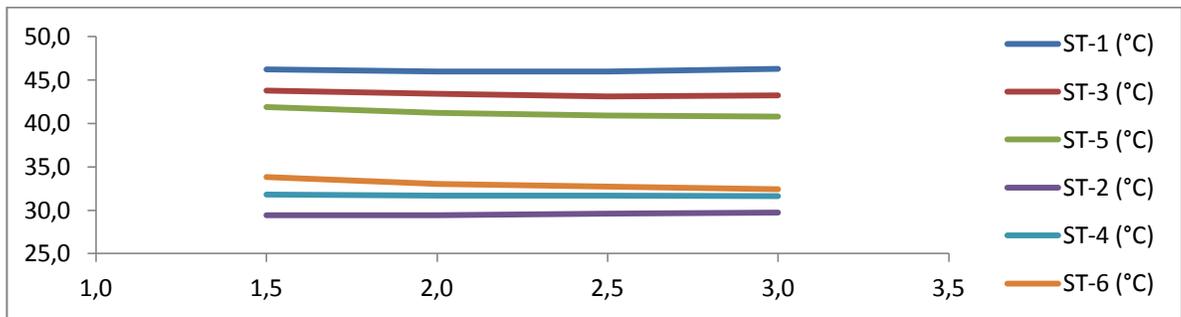
Fuente. Lecturas en el laboratorio.

Figura 58. Q_h Vs ϵ . $Q_h = 1,0$ L/min ST-16 = 50°C. flujos en paralelo.



Fuente. Lecturas en el laboratorio.

Figura 59. Comp. Temperaturas. $Q_h = 1,0$ L/min ST-16 = 50°C flujos en paralelo.



Fuente. Lecturas en el laboratorio.

Tabla 30. Hoja de datos. $Q_h = 0.5$ L/min ST-16 = 50°C. flujos en paralelo.

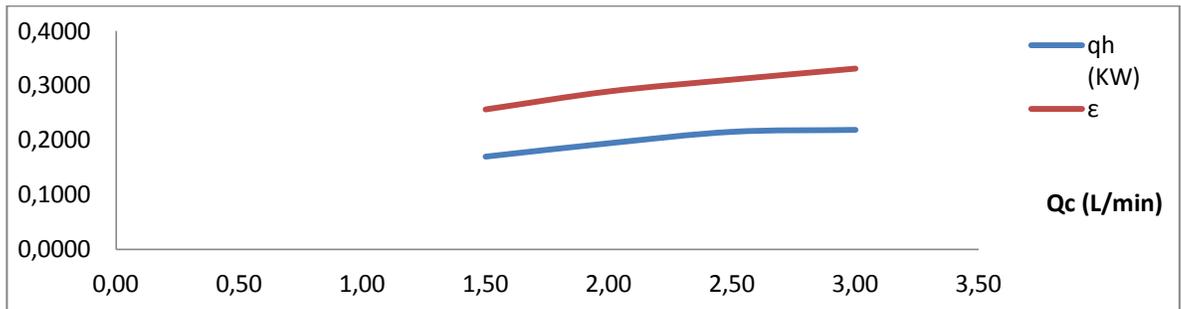
	Qc (L/min)	Qh (L/min)	ST-1 (°C)	ST-3 (°C)	ST-5 (°C)	ST-2 (°C)	ST-4 (°C)	ST-6 (°C)
	1,50	0,50	45,70	42,90	40,80	29,10	31,40	33,10
	2,00	0,50	45,60	42,30	40,00	29,00	31,20	32,40
	2,50	0,50	45,60	41,80	39,40	29,30	31,20	32,10
	3,00	0,50	45,70	41,90	39,40	29,40	31,30	32,10

X	Qc (m3/Seg)	Qh (m3/Seg)	ρ_c (Kg/m3)	ρ_h (Kg/m3)	CPc(J /Kg°C)	CPH(J /Kg°C)	h (KW/m ² °C)	m _c (Kg/Seg)	m _h (Kg/Seg)	v (m/Seg)	μ (N Seg/m ²)	AT (m ²)
45,70	0,0000250	0,0000083	990,6185	997,032	4176,860	4178,855	2396,46	0,02477	0,00831	0,041447822	0,000798	0,000201056
45,60	0,0000333	0,0000083	990,648	997,032	4176,88	4178,84	2396,68	0,03302	0,00831	0,041447822	0,000798	0,000201056
45,60	0,0000417	0,0000083	990,648	997,032	4176,88	4178,84	2396,68	0,04128	0,00831	0,041447822	0,000798	0,000201056
45,70	0,0000500	0,0000083	990,6185	997,032	4176,860	4178,855	2396,46	0,04953	0,00831	0,041447822	0,000798	0,000201056

A (m ²)	ΔT_c (°C)	ΔT_h (°C)	qc (KW)	qh (KW)	Cc (W/°C)	Ch(W/°C)	q _{max} (KW)	ΔT_{lm} (°C)	ϵ	U (KW/m ² °C)	ntu	Re
0,05341	4,00	4,90	0,4138	0,1700	103,4419	34,7204	0,5764	11,5858	0,30	0,27	0,14	828,57
0,05341	3,40	5,60	0,4690	0,1943	137,9273	34,7203	0,5764	11,5199	0,34	0,32	0,12	828,57
0,05341	2,80	6,20	0,4827	0,2152	172,4091	34,7203	0,5659	11,2039	0,38	0,36	0,55	828,57
0,05341	2,70	6,30	0,5586	0,2186	206,8837	34,7204	0,5659	11,2039	0,39	0,37	0,56	828,57

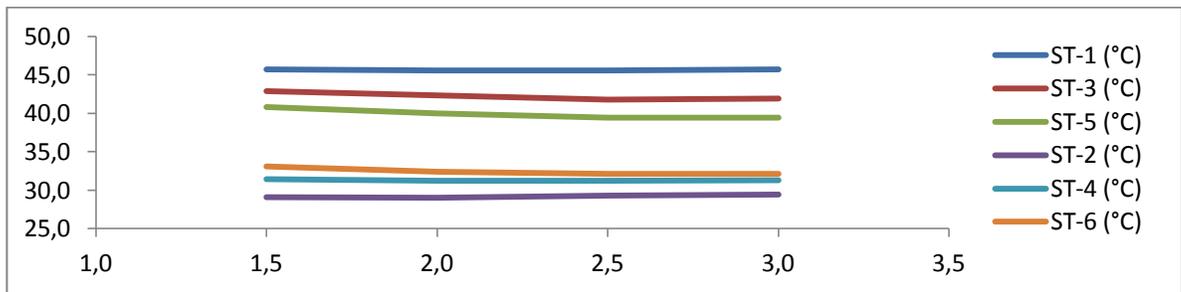
Fuente. Lecturas en el laboratorio.

Figura 60. Q_h Vs ϵ . $Q_h = 0,5$ L/min ST-16 = 50°C. flujos en paralelo.



Fuente. Lecturas en el laboratorio.

Figura 61. Comp. Temperaturas. $Q_h = 0,5$ L/min ST-16 = 50°C flujos en paralelo.



Fuente. Lecturas en el laboratorio.

Flujos en contracorriente – flujo frio – exterior, flujo caliente – interior.

Tabla 31. Hoja de datos. $Q_h = 2,0 \text{ L/min}$ ST-16 = 50°C flujos en contracorriente.

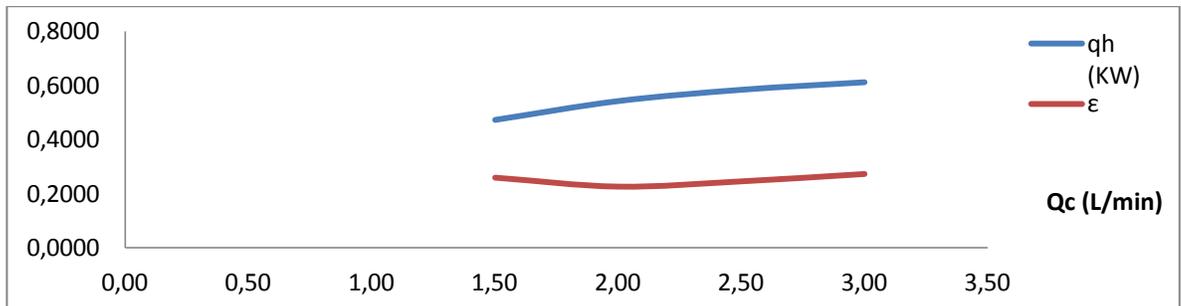
	Q_c (L/min)	Q_h (L/min)	ST-1 ($^\circ\text{C}$)	ST-3 ($^\circ\text{C}$)	ST-5 ($^\circ\text{C}$)	ST-2 ($^\circ\text{C}$)	ST-4 ($^\circ\text{C}$)	ST-6 ($^\circ\text{C}$)
	1,50	2,00	47,80	46,10	44,40	35,70	32,70	30,20
	2,00	2,00	47,50	45,60	43,60	34,20	32,20	30,10
	2,50	2,00	46,70	44,50	42,50	33,10	31,50	29,60
	3,00	2,00	45,50	42,80	41,10	32,20	31,00	29,40

X	Q_c (m3/Seg)	Q_h (m3/Seg)	ρ_c (Kg/m3)	ρ_h (Kg/m3)	CPc(J /Kg $^\circ\text{C}$)	CPh(J /Kg $^\circ\text{C}$)	h (KW/m 2 $^\circ\text{C}$)	\dot{m}_c (Kg/Seg)	\dot{m}_h (Kg/Seg)	v (m/Seg)	μ (N Seg/m 2)	AT (m 2)
47,80	0,0000250	0,0000333	989,999	997,032	4176,440	4179,17	2391,84	0,02475	0,03323	0,165791289	0,000798	0,000201056
47,50	0,0000333	0,0000333	990,0875	997,032	4176,5	4179,125	2392,5	0,03300	0,03323	0,165791289	0,000798	0,000201056
46,70	0,0000417	0,0000333	990,3235	997,032	4176,66	4179,005	2394,26	0,04126	0,03323	0,165791289	0,000798	0,000201056
45,50	0,0000500	0,0000333	990,6775	997,032	4176,900	4178,825	2396,9	0,04953	0,03323	0,165791289	0,000798	0,000201056

A (m 2)	ΔT_c ($^\circ\text{C}$)	ΔT_h ($^\circ\text{C}$)	qc (KW)	qh (KW)	Cc (W/ $^\circ\text{C}$)	Ch(W/ $^\circ\text{C}$)	qmax (KW)	ΔT_{lm} ($^\circ\text{C}$)	ϵ	U (KW/m 2 $^\circ\text{C}$)	ntu	Re
0,05341	5,50	3,40	0,5685	0,4719	103,3668	138,8922	1,8193	13,1220	0,26	0,67	0,35	3314,27
0,05341	4,10	3,90	0,5651	0,5413	137,8367	138,8907	2,3984	13,3998	0,23	0,76	0,29	3314,27
0,05341	3,50	4,20	0,6032	0,5830	172,3435	138,8867	2,3750	13,2469	0,25	0,82	0,32	3314,27
0,05341	2,80	4,40	0,5793	0,6108	206,8980	138,8807	2,2360	12,4829	0,27	0,92	0,35	3314,27

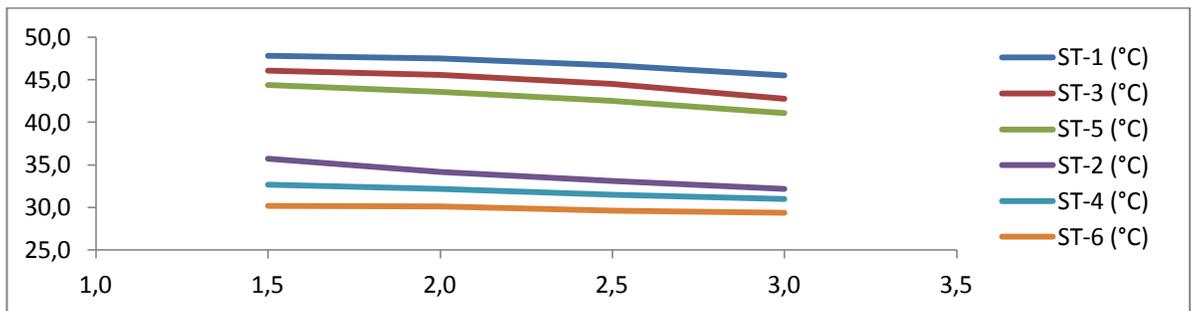
Fuente. Lecturas en el laboratorio.

Figura 62. Q_h Vs ϵ . $Q_h = 2,0 \text{ L/min}$ ST-16 = 50°C . flujos en contracorriente.



Fuente. Lecturas en el laboratorio.

Figura 63. Comp. Temperaturas. $Q_h = 2,0 \text{ L/min}$ ST-16 = 50°C flujos en contracorriente.



Fuente. Lecturas en el laboratorio.

Tabla 32. Hoja de datos. $Q_h = 1,5 \text{ L/min ST-16} = 50^\circ\text{C}$ flujos en contracorriente.

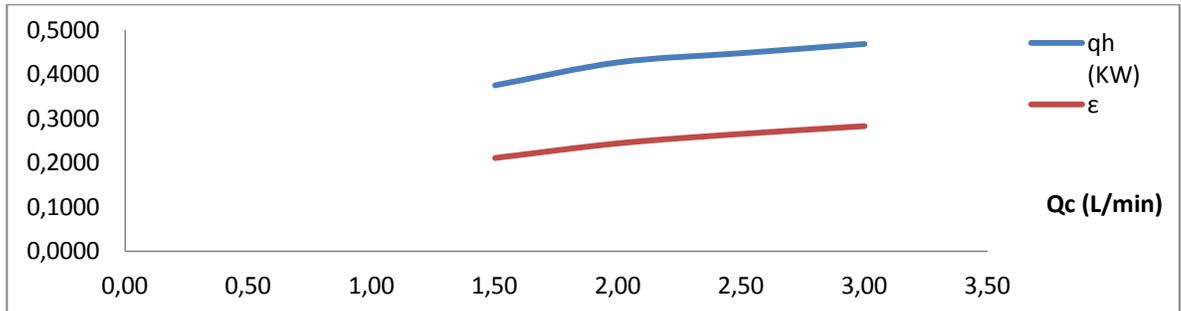
	Q_c (L/min)	Q_h (L/min)	ST-1 ($^\circ\text{C}$)	ST-3 ($^\circ\text{C}$)	ST-5 ($^\circ\text{C}$)	ST-2 ($^\circ\text{C}$)	ST-4 ($^\circ\text{C}$)	ST-6 ($^\circ\text{C}$)
	1,50	1,50	47,50	45,80	43,90	35,50	32,60	30,30
	2,00	1,50	47,30	45,20	43,20	34,20	32,50	30,50
	2,50	1,50	46,90	44,70	42,60	33,80	32,40	30,70
	3,00	1,50	46,60	44,20	42,10	33,20	32,20	30,70

X	Q_c (m3/Seg)	Q_h (m3/Seg)	ρ_c (Kg/m3)	ρ_h (Kg/m3)	CPc(J /Kg $^\circ\text{C}$)	CPh(J /Kg $^\circ\text{C}$)	h (KW/m 2 $^\circ\text{C}$)	\dot{m}_c (Kg/Seg)	\dot{m}_h (Kg/Seg)	v (m/Seg)	μ (N Seg/m 2)	AT (m 2)
47,50	0,0000250	0,0000250	990,0875	997,032	4176,500	4179,125	2392,5	0,02475	0,02493	0,124343466	0,000798	0,000201056
47,30	0,0000333	0,0000250	990,1465	997,032	4176,54	4179,095	2392,94	0,03300	0,02493	0,124343466	0,000798	0,000201056
46,90	0,0000417	0,0000250	990,2645	997,032	4176,62	4179,035	2393,82	0,04126	0,02493	0,124343466	0,000798	0,000201056
46,60	0,0000500	0,0000250	990,353	997,032	4176,680	4178,99	2394,48	0,04952	0,02493	0,124343466	0,000798	0,000201056

A (m 2)	ΔT_c ($^\circ\text{C}$)	ΔT_h ($^\circ\text{C}$)	qc (KW)	qh (KW)	Cc (W/ $^\circ\text{C}$)	Ch(W/ $^\circ\text{C}$)	qmax (KW)	ΔT_{lm} ($^\circ\text{C}$)	ϵ	U (KW/m 2 $^\circ\text{C}$)	ntu	Re
0,05341	5,20	3,60	0,5376	0,3748	103,3775	104,1680	1,7781	12,7833	0,21	0,55	0,28	2485,70
0,05341	3,70	4,10	0,5100	0,4268	137,8462	104,1673	1,7500	12,8990	0,24	0,62	0,24	2485,70
0,05341	3,10	4,30	0,5342	0,4477	172,3316	104,1658	1,6875	12,4904	0,27	0,67	0,34	2485,70
0,05341	2,50	4,50	0,5170	0,4685	206,8194	104,1647	1,6562	12,3731	0,28	0,71	0,36	2485,70

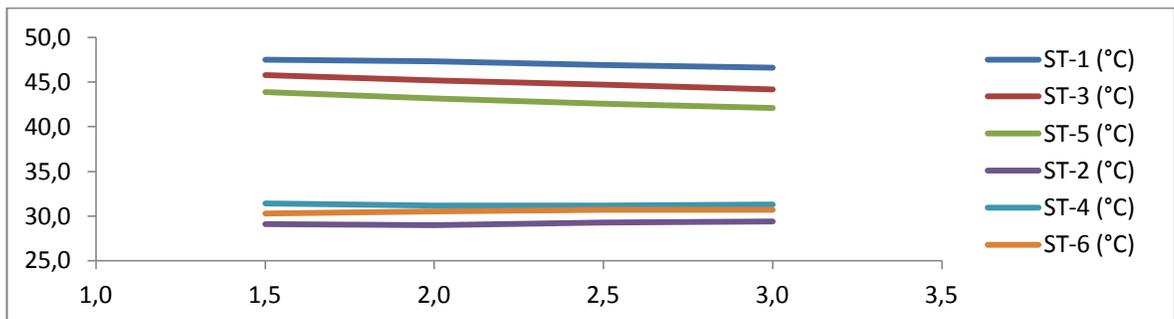
Fuente. Lecturas en el laboratorio.

Figura 64. Q_h Vs ϵ . $Q_h = 1,5 \text{ L/min ST-16} = 50^\circ\text{C}$. flujos en contracorriente.



Fuente. Lecturas en el laboratorio.

Figura 65. Comp. Temperaturas. $Q_h = 1,5 \text{ L/min ST-16} = 50^\circ\text{C}$ flujos en contracorriente.



Fuente. Lecturas en el laboratorio.

Tabla 33. Hoja de datos. $Q_h = 1,0$ L/min ST-16 = 50°C flujos en contracorriente.

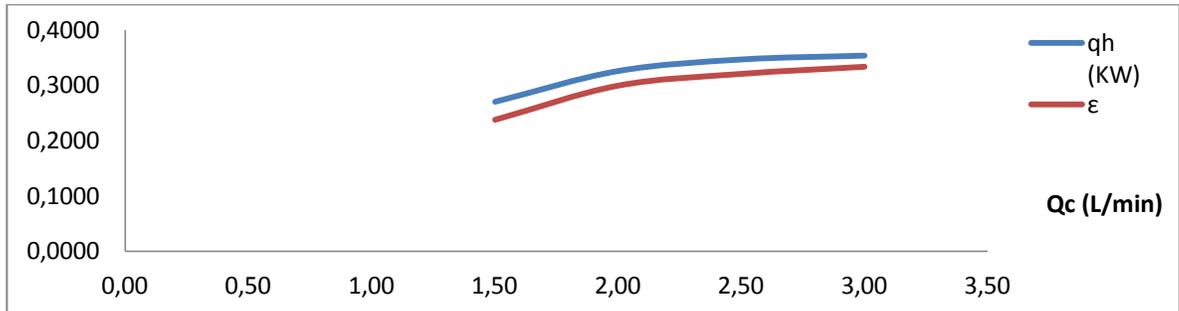
	Qc (L/min)	Qh (L/min)	ST-1 (°C)	ST-3 (°C)	ST-5 (°C)	ST-2 (°C)	ST-4 (°C)	ST-6 (°C)
	1,50	1,00	45,70	43,60	41,80	35,60	31,30	29,30
	2,00	1,00	45,70	43,20	41,00	33,20	31,60	30,00
	2,50	1,00	46,10	43,50	41,10	33,10	32,00	30,50
	3,00	1,00	45,80	43,10	40,70	32,80	31,70	30,50

X	Qc (m3/Seg)	Qh (m3/Seg)	ρ_c (Kg/m3)	ρ_h (Kg/m3)	CPc(J /Kg°C)	CPh(J /Kg°C)	h (KW/m ² °C)	m _c (Kg/Seg)	m _h (Kg/Seg)	v (m/Seg)	μ (N Seg/m ²)	AT (m ²)
45,70	0,0000250	0,0000167	990,6185	997,032	4176,860	4178,855	2396,46	0,02477	0,01662	0,082895644	0,000798	0,000201056
45,70	0,0000333	0,0000167	990,6185	997,032	4176,86	4178,855	2396,46	0,03302	0,01662	0,082895644	0,000798	0,000201056
46,10	0,0000417	0,0000167	990,5005	997,032	4176,78	4178,915	2395,58	0,04127	0,01662	0,082895644	0,000798	0,000201056
45,80	0,0000500	0,0000167	990,589	997,032	4176,840	4178,87	2396,24	0,04953	0,01662	0,082895644	0,000798	0,000201056

A (m ²)	ΔT_c (°C)	ΔT_h (°C)	q _c (KW)	q _h (KW)	C _c (W/°C)	Ch(W/°C)	q _{max} (KW)	ΔT_{lm} (°C)	ϵ	U (KW/m ² °C)	ntu	Re
0,05341	6,30	3,90	0,6517	0,2707	103,4419	69,4409	1,1388	11,2574	0,24	0,45	0,23	1657,14
0,05341	3,20	4,70	0,4414	0,3262	137,9225	69,4409	1,0902	11,7340	0,30	0,52	0,20	1657,14
0,05341	2,60	5,00	0,4482	0,3470	172,3793	69,4419	1,0833	11,7592	0,32	0,55	0,42	1657,14
0,05341	2,30	5,10	0,4758	0,3540	206,8766	69,4411	1,0624	11,5435	0,33	0,57	0,44	1657,14

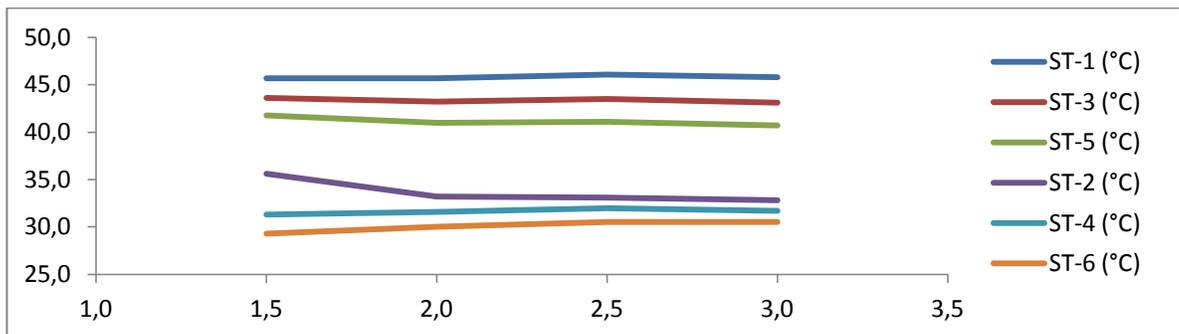
Fuente. Lecturas en el laboratorio.

Figura 66. h Vs ϵ . $Q_h = 1,0$ L/min ST-16 = 50°C. flujos en contracorriente.



Fuente. Lecturas en el laboratorio.

Figura 67. Comp. Temperaturas. $Q_h = 1,0$ L/min ST-16 = 50°C flujos en contracorriente.



Fuente. Lecturas en el laboratorio.

Tabla 34. Hoja de datos. $Q_h = 0,5 \text{ L/min ST-16} = 50^\circ\text{C}$ flujos en contracorriente.

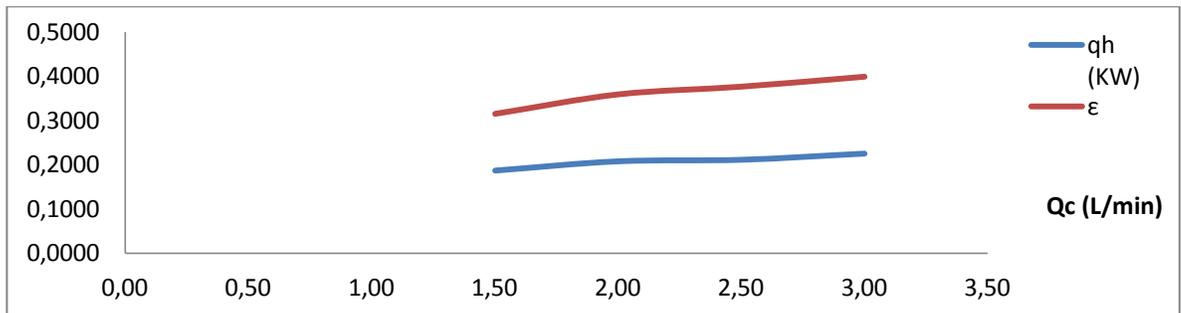
	Q_c (L/min)	Q_h (L/min)	ST-1 ($^\circ\text{C}$)	ST-3 ($^\circ\text{C}$)	ST-5 ($^\circ\text{C}$)	ST-2 ($^\circ\text{C}$)	ST-4 ($^\circ\text{C}$)	ST-6 ($^\circ\text{C}$)
	1,50	0,50	46,40	43,30	41,00	34,00	31,20	29,30
	2,00	0,50	46,70	43,30	40,70	33,20	31,60	30,00
	2,50	0,50	46,00	42,50	39,90	32,40	31,00	29,80
	3,00	0,50	45,70	41,80	39,20	31,80	30,60	29,40

X	Q_c (m3/Seg)	Q_h (m3/Seg)	ρ_c (Kg/m3)	ρ_h (Kg/m3)	CPc(J /Kg $^\circ\text{C}$)	CPh(J /Kg $^\circ\text{C}$)	h (KW/m 2 $^\circ\text{C}$)	\dot{m}_c (Kg/Seg)	\dot{m}_h (Kg/Seg)	v (m/Seg)	μ (N Seg/m 2)	AT (m 2)
46,40	0,0000250	0,0000083	990,412	997,032	4176,720	4178,96	2394,92	0,02476	0,00831	0,041447822	0,000798	0,000201056
46,70	0,0000333	0,0000083	990,3235	997,032	4176,66	4179,005	2394,26	0,03301	0,00831	0,041447822	0,000798	0,000201056
46,00	0,0000417	0,0000083	990,53	997,032	4176,8	4178,9	2395,8	0,04127	0,00831	0,041447822	0,000798	0,000201056
45,70	0,0000500	0,0000083	990,6185	997,032	4176,860	4178,855	2396,46	0,04953	0,00831	0,041447822	0,000798	0,000201056

A (m 2)	ΔT_c ($^\circ\text{C}$)	ΔT_h ($^\circ\text{C}$)	qc (KW)	qh (KW)	Cc (W/ $^\circ\text{C}$)	Ch(W/ $^\circ\text{C}$)	qmax (KW)	ΔT_{lm} ($^\circ\text{C}$)	ϵ	U (KW/m 2 $^\circ\text{C}$)	ntu	Re
0,05341	4,70	5,40	0,4861	0,1874	103,4168	34,7213	0,5937	12,0466	0,32	0,29	0,15	828,57
0,05341	3,20	6,00	0,4412	0,2082	137,8748	34,7217	0,5799	12,0458	0,36	0,32	0,13	828,57
0,05341	2,60	6,10	0,4482	0,2117	172,3852	34,7208	0,5625	11,7633	0,38	0,34	0,52	828,57
0,05341	2,40	6,50	0,4965	0,2256	206,8837	34,7204	0,5659	11,7308	0,40	0,36	0,55	828,57

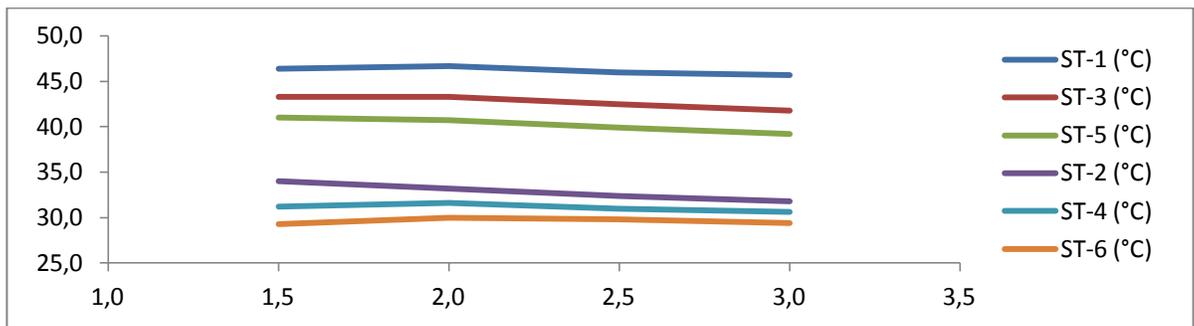
Fuente. Lecturas en el laboratorio.

Figura 68. Q_h Vs ϵ . $Q_h = 0,5 \text{ L/min ST-16} = 50^\circ\text{C}$. flujos en contracorriente.



Fuente. Lecturas en el laboratorio.

Figura 69. Comp. Temperaturas. $Q_h = 0,5 \text{ L/min ST-16} = 50^\circ\text{C}$ flujos en contracorriente.



Fuente. Lecturas en el laboratorio.

Flujos en paralelo – flujo frio – interior, flujo caliente – exterior. Se aumenta la temperatura del depósito a ST-16 = 60°C.

Tabla 35. Hoja de datos. $Q_h = 2,0$ L/min ST-16 = 60°C flujos en paralelo.

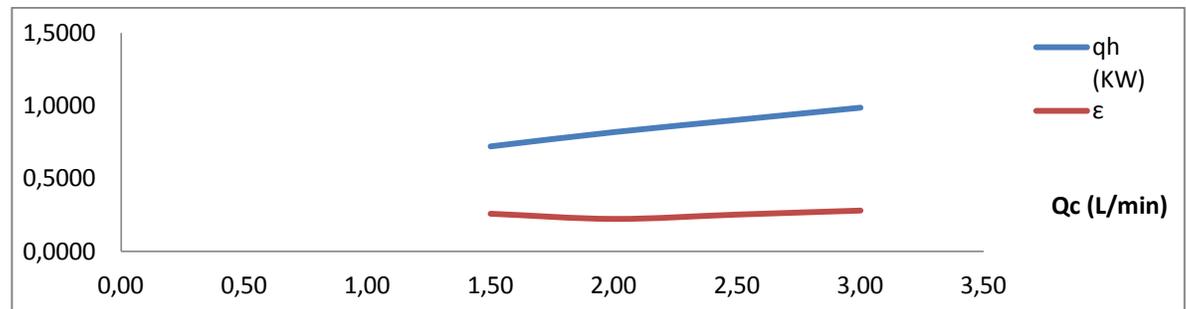
	Qc (L/min)	Qh (L/min)	ST-1 (°C)	ST-3 (°C)	ST-5 (°C)	ST-2 (°C)	ST-4 (°C)	ST-6 (°C)
	1,50	2,00	55,90	53,20	50,70	28,80	33,10	37,30
	2,00	2,00	55,60	52,40	49,70	29,00	32,20	35,30
	2,50	2,00	54,50	50,80	48,00	28,80	31,50	34,10
	3,00	2,00	54,00	49,80	46,90	28,60	31,70	33,50

X	Qc (m3/Seg)	Qh (m3/Seg)	pc (Kg/m3)	ph (Kg/m3)	CPc(J /Kg°C)	CPh(J /Kg°C)	h (KW/m ² °C)	ṁc (Kg/Seg)	ṁh (Kg/Seg)	v (m/Seg)	μ (N Seg/m ²)	AT (m ²)
55,90	0,0000250	0,0000333	987,6095	997,032	4174,820	4180,385	2374,02	0,02469	0,03323	0,165791289	0,000798	0,000201056
55,60	0,0000333	0,0000333	987,698	997,032	4174,88	4180,34	2374,68	0,03292	0,03323	0,165791289	0,000798	0,000201056
54,50	0,0000417	0,0000333	988,0225	997,032	4175,1	4180,175	2377,1	0,04117	0,03323	0,165791289	0,000798	0,000201056
54,00	0,0000500	0,0000333	988,17	997,032	4175,200	4180,1	2378,2	0,04941	0,03323	0,165791289	0,000798	0,000201056

A (m ²)	ΔTc (°C)	ΔTh (°C)	qc (KW)	qh (KW)	Cc (W/°C)	Ch(W/°C)	qmax (KW)	ΔTlm (°C)	ε	U (KW/m ² °C)	ntu	Re
0,05341	8,50	5,20	0,8762	0,7215	103,0773	138,9326	2,7934	19,4525	0,26	0,69	0,36	3314,27
0,05341	6,30	5,90	0,8659	0,8186	137,4507	138,9311	3,6562	19,8800	0,22	0,77	0,30	3314,27
0,05341	5,30	6,50	0,9110	0,9019	171,8789	138,9256	3,5704	19,1994	0,25	0,88	0,34	3314,27
0,05341	4,90	7,10	1,0108	0,9852	206,2904	138,9231	3,5286	18,7648	0,28	0,98	0,38	3314,27

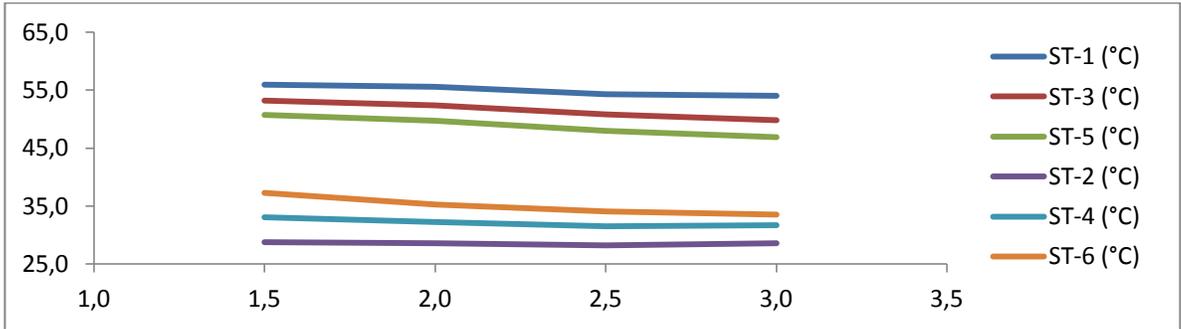
Fuente. Lecturas en el laboratorio.

Figura 70. Q_h Vs ϵ . $Q_h = 2,0$ L/min ST-16 = 60°C flujos en paralelo.



Fuente. Lecturas en el laboratorio.

Figura 71. Comp. Temperaturas. $Q_h = 2,0$ L/min ST-16 = 60°C flujos en paralelo.



Fuente. Lecturas en el laboratorio.

Tabla 36. Hoja de datos. $Q_h = 1,5$ L/min ST-16 = 60°C flujos en paralelo.

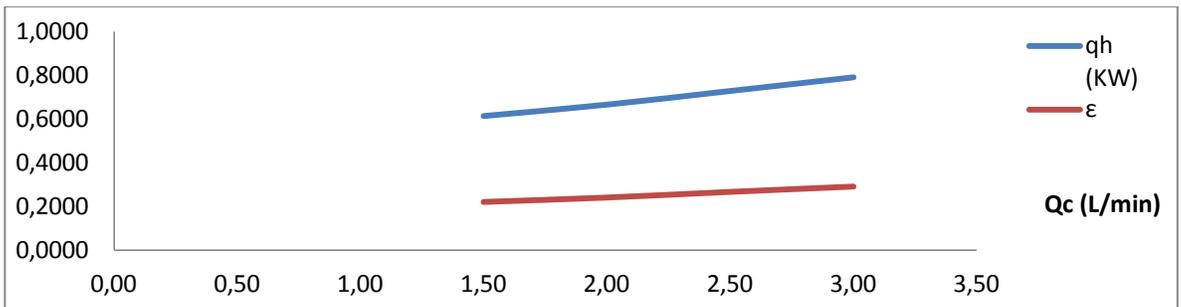
	Qc (L/min)	Qh (L/min)	ST-1 (°C)	ST-3 (°C)	ST-5 (°C)	ST-2 (°C)	ST-4 (°C)	ST-6 (°C)
	1,50	1,50	55,50	52,40	49,60	28,60	32,80	36,60
	2,00	1,50	55,30	51,80	48,90	28,80	32,10	35,00
	2,50	1,50	54,80	51,00	47,80	28,60	31,90	34,10
	3,00	1,50	54,70	50,50	47,10	28,60	31,50	33,50

X	Qc (m3/Seg)	Qh (m3/Seg)	pc (Kg/m3)	ph (Kg/m3)	CPc(J /Kg°C)	CPh(J /Kg°C)	h (KW/m² °C)	ṁc (Kg/Seg)	ṁh (Kg/Seg)	v (m/Seg)	μ (N Seg/m²)	AT (m²)
55,50	0,0000250	0,0000250	987,7275	997,032	4174,900	4180,325	2374,9	0,02469	0,02493	0,124343466	0,000798	0,000201056
55,30	0,0000333	0,0000250	987,7865	997,032	4174,94	4180,295	2375,34	0,03293	0,02493	0,124343466	0,000798	0,000201056
54,80	0,0000417	0,0000250	987,934	997,032	4175,04	4180,22	2376,44	0,04116	0,02493	0,124343466	0,000798	0,000201056
54,70	0,0000500	0,0000250	987,9635	997,032	4175,060	4180,205	2376,66	0,04940	0,02493	0,124343466	0,000798	0,000201056

A (m²)	ΔTc (°C)	ΔTh (°C)	qc (KW)	qh (KW)	Cc (W/°C)	Ch(W/°C)	qmax (KW)	ΔTlm (°C)	ε	U (KW/m² °C)	ntu	Re
0,05341	8,00	5,90	0,8247	0,6140	103,0916	104,1979	2,7732	19,1150	0,22	0,60	0,31	2485,70
0,05341	6,20	6,40	0,8523	0,6660	137,4650	104,1972	2,7612	19,5271	0,24	0,64	0,25	2485,70
0,05341	5,50	7,00	0,9452	0,7285	171,8610	104,1953	2,7299	19,2793	0,27	0,71	0,36	2485,70
0,05341	4,90	7,60	1,0106	0,7909	206,2403	104,1950	2,7195	19,1757	0,29	0,77	0,40	2485,70

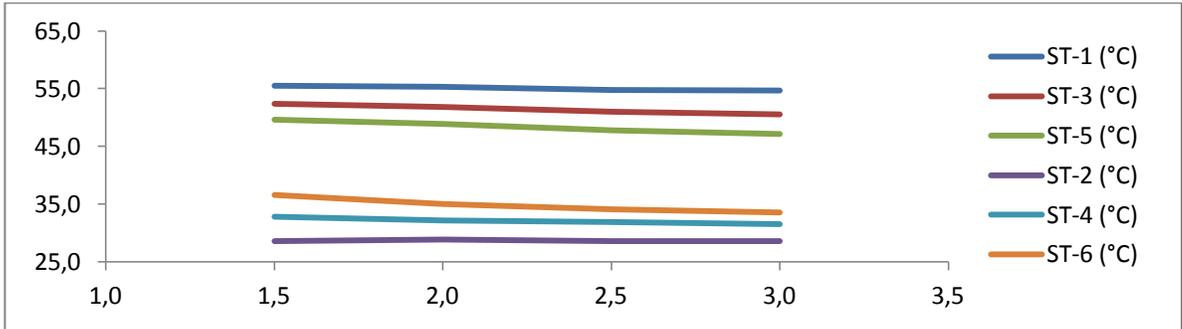
Fuente. Lecturas en el laboratorio.

Figura 72. Q_h Vs ϵ . $Q_h = 1,5$ L/min ST-16 = 60°C flujos en paralelo.



Fuente. Lecturas en el laboratorio.

Figura 73. Comp. Temperaturas. $Q_h = 1,5 \text{ L/min}$ ST-16 = 60°C flujos en paralelo.



Fuente. Lecturas en el laboratorio.

Tabla 37. Hoja de datos. $Q_h = 1,0 \text{ L/min}$ ST-16 = 60°C flujos en paralelo.

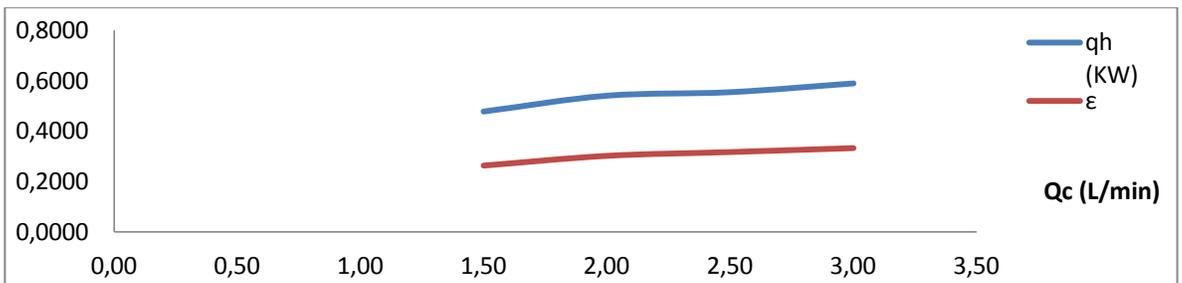
	Q_c (L/min)	Q_h (L/min)	ST-1 (°C)	ST-3 (°C)	ST-5 (°C)	ST-2 (°C)	ST-4 (°C)	ST-6 (°C)
	1,50	1,00	54,50	50,60	47,60	28,30	32,10	36,10
	2,00	1,00	54,10	49,50	46,30	28,30	31,40	33,90
	2,50	1,00	53,40	48,90	45,40	28,20	30,90	33,00
	3,00	1,00	54,10	49,10	45,60	28,60	31,10	32,80

X	Q_c (m3/Seg)	Q_h (m3/Seg)	ρ_c (Kg/m3)	ρ_h (Kg/m3)	CP_c (J /Kg°C)	CP_h (J /Kg°C)	h (KW/m ² °C)	\dot{m}_c (Kg/Seg)	\dot{m}_h (Kg/Seg)	v (m/Seg)	μ (N Seg/m ²)	AT (m ²)
54,50	0,0000250	0,0000167	988,0225	997,032	4175,100	4180,175	2377,1	0,02470	0,01662	0,082895644	0,000798	0,000201056
54,10	0,0000333	0,0000167	988,1405	997,032	4175,18	4180,115	2377,98	0,03294	0,01662	0,082895644	0,000798	0,000201056
53,40	0,0000417	0,0000167	988,347	997,032	4175,32	4180,01	2379,52	0,04118	0,01662	0,082895644	0,000798	0,000201056
54,10	0,0000500	0,0000167	988,1405	997,032	4175,180	4180,115	2377,98	0,04941	0,01662	0,082895644	0,000798	0,000201056

A (m ²)	ΔT_c (°C)	ΔT_h (°C)	q_c (KW)	q_h (KW)	C_c (W/°C)	Ch (W/°C)	q_{max} (KW)	ΔT_{im} (°C)	ϵ	U (KW/m ² °C)	ntu	Re
0,05341	7,80	6,90	0,8044	0,4787	103,1273	69,4628	1,8199	17,8525	0,26	0,50	0,26	1657,14
0,05341	5,60	7,80	0,7701	0,5412	137,5221	69,4618	1,7921	18,2891	0,30	0,55	0,22	1657,14
0,05341	4,80	8,00	0,8253	0,5551	171,9444	69,4601	1,7504	18,0498	0,32	0,58	0,44	1657,14
0,05341	4,20	8,50	0,8664	0,5897	206,2832	69,4618	1,7713	18,4263	0,33	0,60	0,46	1657,14

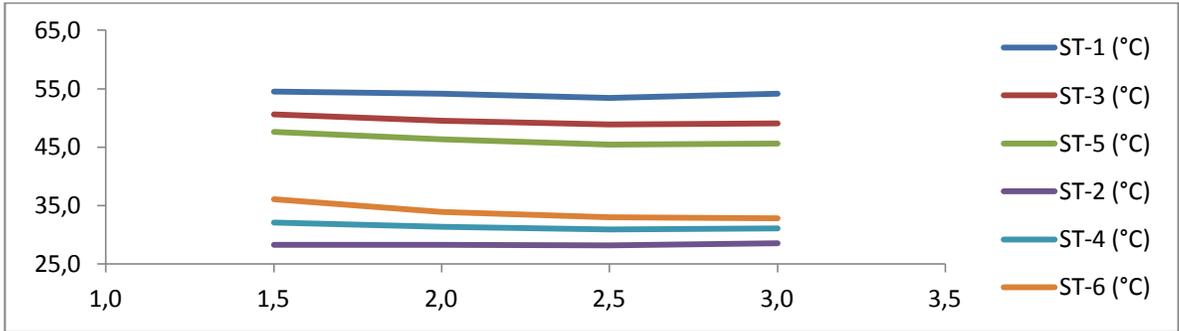
Fuente. Lecturas en el laboratorio.

Figura 74. Q_h Vs ϵ . $Q_h = 1,0 \text{ L/min}$ ST-16 = 60°C flujos en paralelo.



Fuente. Lecturas en el laboratorio.

Figura 75. Comp. Temperaturas. $Q_h = 1,0$ L/min ST-16 = 60°C flujos en paralelo.



Fuente. Lecturas en el laboratorio.

Tabla 38. Hoja de datos. $Q_h = 0,5$ L/min ST-16 = 60°C flujos en paralelo.

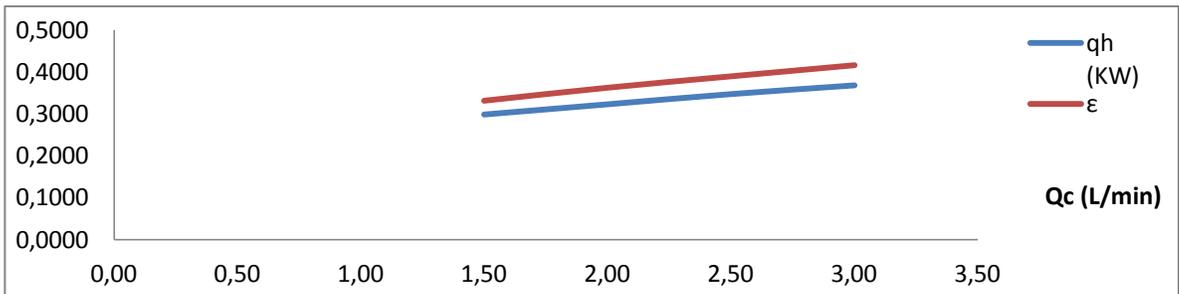
	Q_c (L/min)	Q_h (L/min)	ST-1 (°C)	ST-3 (°C)	ST-5 (°C)	ST-2 (°C)	ST-4 (°C)	ST-6 (°C)
	1,50	0,50	54,40	49,30	45,80	28,50	32,00	35,50
	2,00	0,50	53,90	48,20	44,60	28,30	31,30	33,20
	2,50	0,50	53,70	47,60	43,70	28,10	31,00	32,50
	3,00	0,50	53,80	47,30	43,20	28,40	31,00	32,10

X	Q_c (m3/Seg)	Q_h (m3/Seg)	ρ_c (Kg/m3)	ρ_h (Kg/m3)	CPc(J /Kg°C)	CPH(J /Kg°C)	h (KW/m ² °C)	\dot{m}_c (Kg/Seg)	\dot{m}_h (Kg/Seg)	v (m/Seg)	μ (N Seg/m ²)	AT (m ²)
54,40	0,0000250	0,0000083	988,052	997,032	4175,120	4180,16	2377,32	0,02470	0,00831	0,041447822	0,000798	0,000201056
53,90	0,0000333	0,0000083	988,1995	997,032	4175,22	4180,085	2378,42	0,03294	0,00831	0,041447822	0,000798	0,000201056
53,70	0,0000417	0,0000083	988,2585	997,032	4175,26	4180,055	2378,86	0,04118	0,00831	0,041447822	0,000798	0,000201056
53,80	0,0000500	0,0000083	988,229	997,032	4175,240	4180,07	2378,64	0,04941	0,00831	0,041447822	0,000798	0,000201056

A (m ²)	ΔT_c (°C)	ΔT_h (°C)	qc (KW)	qh (KW)	Cc (W/°C)	Ch(W/°C)	qmax (KW)	ΔT_{im} (°C)	ϵ	U (KW/m ² °C)	ntu	Re
0,05341	7,00	8,60	0,7219	0,2983	103,1309	34,7313	0,8995	16,9179	0,33	0,33	0,17	828,57
0,05341	4,90	9,30	0,6739	0,3226	137,5317	34,7307	0,8891	17,5530	0,36	0,34	0,13	828,57
0,05341	4,40	10,00	0,7565	0,3469	171,9265	34,7304	0,8891	17,4191	0,39	0,37	0,57	828,57
0,05341	3,70	10,60	0,7633	0,3677	206,3047	34,7305	0,8822	17,2746	0,42	0,40	0,61	828,57

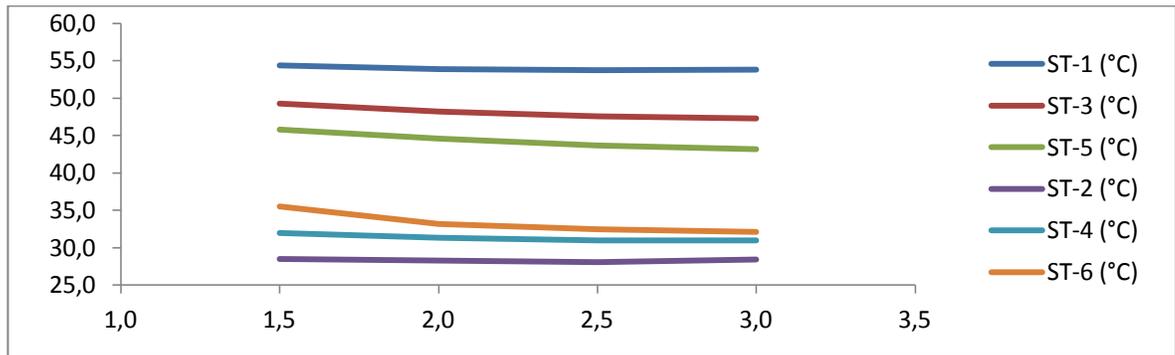
Fuente. Lecturas en el laboratorio.

Figura 76. Q_h Vs ϵ . $Q_h = 0,5$ L/min ST-16 = 60°C flujos en paralelo.



Fuente. Lecturas en el laboratorio.

Figura 77. $Q_h = 0,5 \text{ L/min}$ y $ST-16 = 60^\circ\text{C}$ flujos en paralelo.



Fuente. Lecturas en el laboratorio.

Flujos en contracorriente – flujo frio –interior, flujo caliente – exterior.

Tabla 39. Hoja de datos. $Q_h = 2,0 \text{ L/min}$ $ST-16 = 60^\circ\text{C}$ flujos en contracorriente.

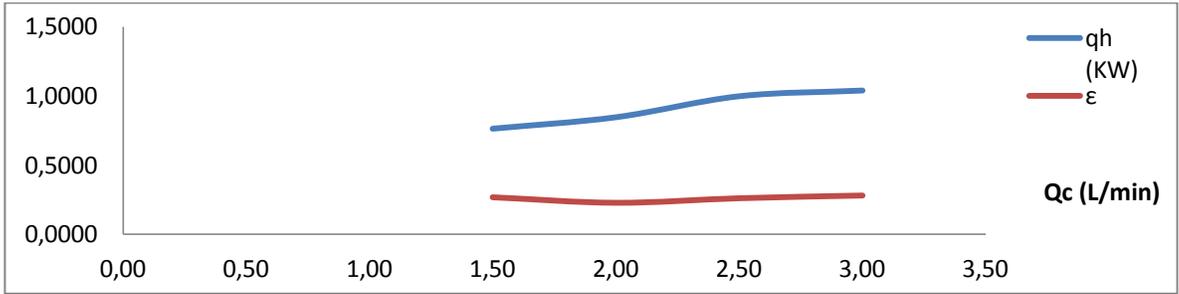
	Q_c (L/min)	Q_h (L/min)	ST-1 (°C)	ST-3 (°C)	ST-5 (°C)	ST-2 (°C)	ST-4 (°C)	ST-6 (°C)
	1,50	2,00	56,30	53,30	50,80	38,30	32,10	28,60
	2,00	2,00	55,90	52,60	49,80	35,50	31,90	29,00
	2,50	2,00	55,90	51,70	48,70	34,50	31,20	28,30
	3,00	2,00	54,80	50,30	47,30	33,30	30,40	28,00

X	Q_c (m3/Seg)	Q_h (m3/Seg)	ρ_c (Kg/m3)	ρ_h (Kg/m3)	C_{Pc} (J /Kg°C)	C_{Ph} (J /Kg°C)	h (KW/m ² °C)	\dot{m}_c (Kg/Seg)	\dot{m}_h (Kg/Seg)	v (m/Seg)	μ (N Seg/m ²)	AT (m ²)
56,30	0,0000250	0,0000333	987,4915	997,032	4174,740	4180,445	2373,14	0,02469	0,03323	0,165791289	0,000798	0,000201056
55,90	0,0000333	0,0000333	987,6095	997,032	4174,82	4180,385	2374,02	0,03292	0,03323	0,165791289	0,000798	0,000201056
55,90	0,0000417	0,0000333	987,6095	997,032	4174,82	4180,385	2374,02	0,04115	0,03323	0,165791289	0,000798	0,000201056
54,80	0,0000500	0,0000333	987,934	997,032	4175,040	4180,22	2376,44	0,04940	0,03323	0,165791289	0,000798	0,000201056

A (m ²)	ΔT_c (°C)	ΔT_h (°C)	q_c (KW)	q_h (KW)	C_c (W/°C)	C_h (W/°C)	q_{max} (KW)	ΔT_{lm} (°C)	ϵ	U (KW/m ² °C)	ntu	Re
0,05341	9,70	5,50	0,9997	0,7631	103,0630	138,9346	2,8548	20,0267	0,27	0,71	0,37	3314,27
0,05341	6,50	6,10	0,8933	0,8464	137,4364	138,9326	3,6970	20,5994	0,23	0,77	0,30	3314,27
0,05341	6,20	7,20	1,0651	0,9990	171,7955	138,9326	3,8345	20,8960	0,26	0,90	0,34	3314,27
0,05341	5,30	7,50	1,0930	1,0407	206,2332	138,9271	3,7232	20,3802	0,28	0,96	0,37	3314,27

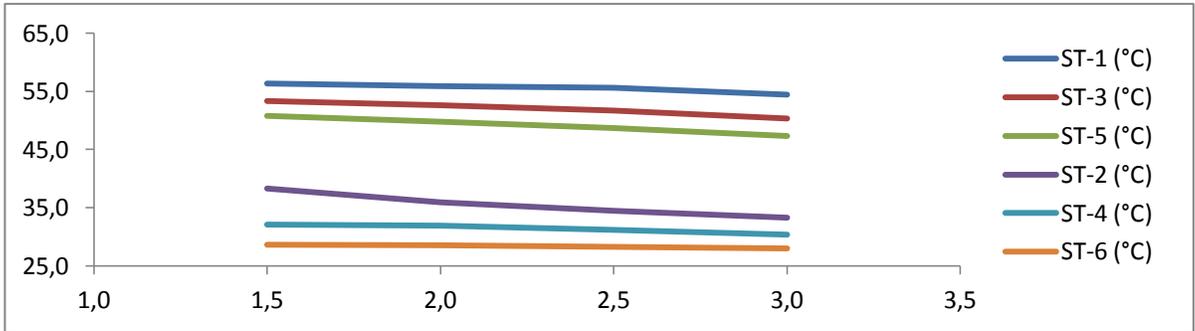
Fuente. Lecturas en el laboratorio.

Figura 78. Q_h Vs ϵ . $Q_h = 2,0$ L/min ST-16 = 60°C flujos en contracorriente.



Fuente. Lecturas en el laboratorio.

Figura 79. Comp. Temperaturas. $Q_h = 2,0$ L/min ST-16 = 60°C flujos en contracorriente.



Fuente. Lecturas en el laboratorio.

Tabla 40. Hoja de datos. $Q_h = 1,5$ L/min ST-16 = 60°C flujos en contracorriente.

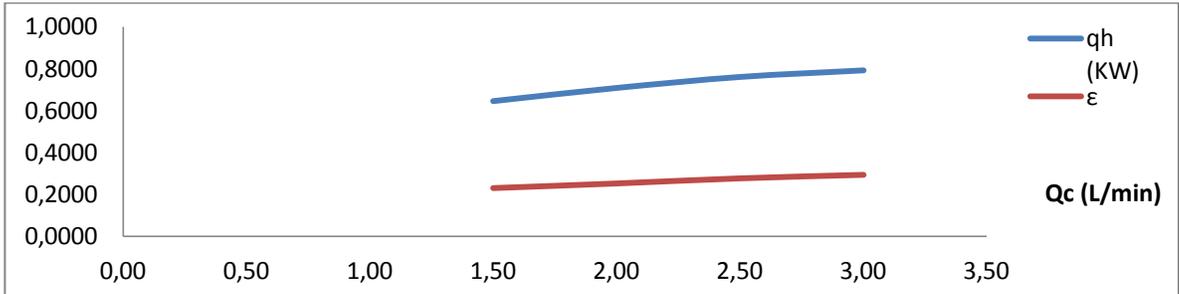
	Q_c (L/min)	Q_h (L/min)	ST-1 (°C)	ST-3 (°C)	ST-5 (°C)	ST-2 (°C)	ST-4 (°C)	ST-6 (°C)
	1,50	1,50	56,10	53,00	49,90	37,70	32,20	28,70
	2,00	1,50	56,00	52,50	49,20	35,90	32,00	28,90
	2,50	1,50	55,80	52,10	48,50	35,20	32,00	29,30
	3,00	1,50	55,70	51,80	48,10	34,80	32,20	29,70

X	Q_c (m3/Seg)	Q_h (m3/Seg)	ρ_c (Kg/m3)	ρ_h (Kg/m3)	CPc(J /Kg°C)	CPh(J /Kg°C)	h (KW/m ² °C)	\dot{m}_c (Kg/Seg)	\dot{m}_h (Kg/Seg)	v (m/Seg)	μ (N Seg/m ²)	AT (m ²)
56,10	0,0000250	0,0000250	987,5505	997,032	4174,780	4180,415	2373,58	0,02469	0,02493	0,124343466	0,000798	0,000201056
56,00	0,0000333	0,0000250	987,58	997,032	4174,8	4180,4	2373,8	0,03292	0,02493	0,124343466	0,000798	0,000201056
55,80	0,0000417	0,0000250	987,639	997,032	4174,84	4180,37	2374,24	0,04115	0,02493	0,124343466	0,000798	0,000201056
55,70	0,0000500	0,0000250	987,6685	997,032	4174,860	4180,355	2374,46	0,04938	0,02493	0,124343466	0,000798	0,000201056

A (m ²)	ΔT_c (°C)	ΔT_h (°C)	qc (KW)	qh (KW)	Cc (W/°C)	Ch (W/°C)	qmax (KW)	ΔT_{lm} (°C)	ϵ	U (KW/m ² °C)	ntu	Re
0,05341	9,00	6,20	0,9276	0,6452	103,0702	104,2002	2,8241	19,7670	0,23	0,61	0,32	2485,70
0,05341	7,00	6,80	0,9620	0,7076	137,4316	104,1998	2,8238	20,1998	0,25	0,66	0,25	2485,70
0,05341	5,90	7,30	1,0136	0,7596	171,8015	104,1991	2,7613	19,8918	0,28	0,72	0,37	2485,70
0,05341	5,10	7,60	1,0515	0,7909	206,1689	104,1987	2,7092	19,6235	0,29	0,75	0,39	2485,70

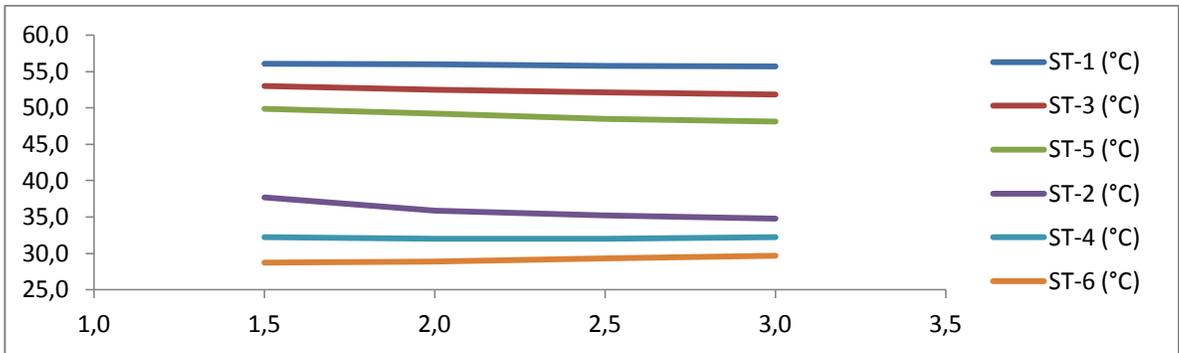
Fuente. Lecturas en el laboratorio.

Figura 80. Q_h Vs ϵ . $Q_h = 1,5$ L/min ST-16 = 60°C flujos en contracorriente.



Fuente. Lecturas en el laboratorio.

Figura 81. Comp. Temperaturas. $Q_h = 1,5$ L/min ST-16 = 60°C flujos en contracorriente.



Fuente. Lecturas en el laboratorio.

Tabla 41. Hoja de datos. $Q_h = 1,0$ L/min ST-16 = 60°C flujos en contracorriente.

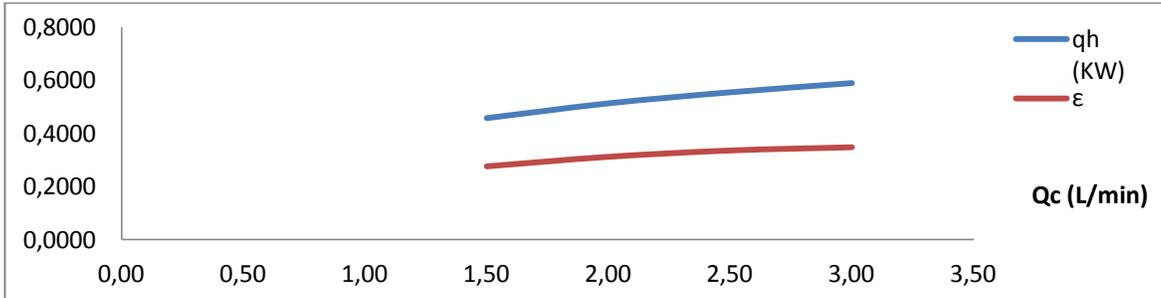
	Q_c (L/min)	Q_h (L/min)	ST-1 (°C)	ST-3 (°C)	ST-5 (°C)	ST-2 (°C)	ST-4 (°C)	ST-6 (°C)
	1,50	1,00	54,00	50,70	47,40	37,30	33,00	30,10
	2,00	1,00	54,50	50,80	47,10	36,10	33,50	30,80
	2,50	1,00	54,60	50,50	46,60	35,50	33,10	30,80
	3,00	1,00	54,90	50,50	46,40	34,90	32,80	30,50

X	Q_c (m3/Seg)	Q_h (m3/Seg)	ρ_c (Kg/m3)	ρ_h (Kg/m3)	CPC(J /Kg°C)	CPH(J /Kg°C)	h (KW/m ² °C)	\dot{m}_c (Kg/Seg)	\dot{m}_h (Kg/Seg)	v (m/Seg)	μ (N Seg/m ²)	AT (m ²)
54,00	0,0000250	0,0000167	988,17	997,032	4175,200	4180,1	2378,2	0,02470	0,01662	0,082895644	0,000798	0,000201056
54,50	0,0000333	0,0000167	988,0225	997,032	4175,1	4180,175	2377,1	0,03293	0,01662	0,082895644	0,000798	0,000201056
54,60	0,0000417	0,0000167	987,993	997,032	4175,08	4180,19	2376,88	0,04117	0,01662	0,082895644	0,000798	0,000201056
54,90	0,0000500	0,0000167	987,9045	997,032	4175,020	4180,235	2376,22	0,04940	0,01662	0,082895644	0,000798	0,000201056

A (m ²)	ΔT_c (°C)	ΔT_h (°C)	q_c (KW)	q_h (KW)	C_c (W/°C)	C_h (W/°C)	q_{max} (KW)	ΔT_{lm} (°C)	ϵ	U (KW/m ² °C)	ntu	Re
0,05341	7,20	6,60	0,7426	0,4579	103,1452	69,4616	1,6601	16,9982	0,28	0,50	0,26	1657,14
0,05341	5,30	7,40	0,7288	0,5134	137,5031	69,4628	1,6463	17,3288	0,31	0,55	0,22	1657,14
0,05341	4,70	8,00	0,8078	0,5550	171,8729	69,4631	1,6532	17,3979	0,34	0,60	0,46	1657,14
0,05341	4,40	8,50	0,9074	0,5897	206,2261	69,4638	1,6949	17,8717	0,35	0,62	0,48	1657,14

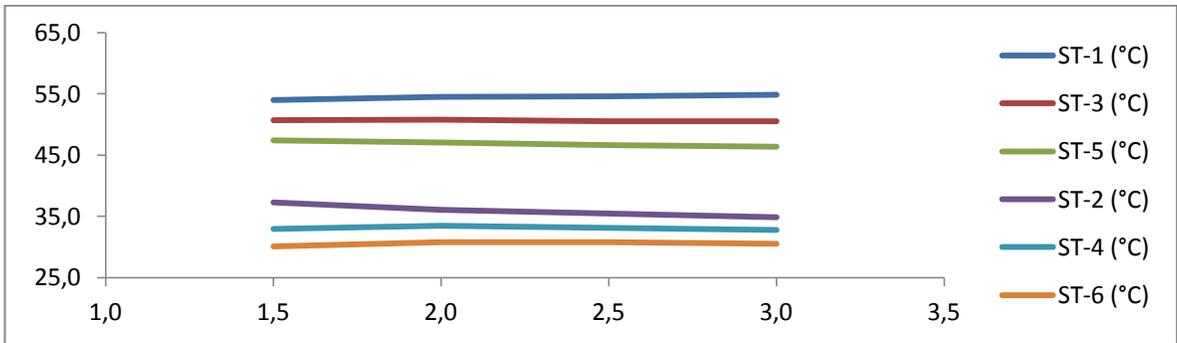
Fuente. Lecturas en el laboratorio.

Figura 82. Q_h Vs ϵ . $Q_h = 1,0$ L/min ST-16 = 60°C flujos en contracorriente.



Fuente. Lecturas en el laboratorio.

Figura 83. Comp. Temperaturas. $Q_h = 1,0$ L/min ST-16 = 60°C flujos en contracorriente.



Fuente. Lecturas en el laboratorio.

Tabla 42. Hoja de datos. $Q_h = 0,5$ L/min ST-16 = 60°C flujos en contracorriente.

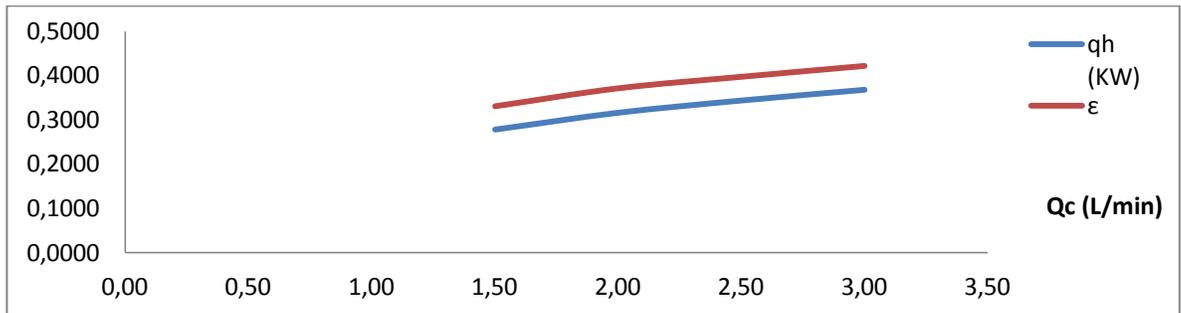
	Qc (L/min)	Qh (L/min)	ST-1 (°C)	ST-3 (°C)	ST-5 (°C)	ST-2 (°C)	ST-4 (°C)	ST-6 (°C)
	1,50	0,50	53,80	49,50	45,80	36,30	32,20	29,60
	2,00	0,50	53,70	48,80	44,60	34,60	31,50	29,20
	2,50	0,50	53,90	48,30	44,00	33,70	31,00	29,00
	3,00	0,50	54,00	47,90	43,40	33,10	30,80	28,90

X	Qc (m3/Seg)	Qh (m3/Seg)	ρ_c (Kg/m3)	ρ_h (Kg/m3)	CPc(J /Kg°C)	CPh(J /Kg°C)	h (KW/m ² °C)	\dot{m}_c (Kg/Seg)	\dot{m}_h (Kg/Seg)	v (m/Seg)	μ (N Seg/m ²)	AT (m ²)
53,80	0,0000250	0,0000083	988,229	997,032	4175,240	4180,07	2378,64	0,02471	0,00831	0,041447822	0,000798	0,000201056
53,70	0,0000333	0,0000083	988,2585	997,032	4175,26	4180,055	2378,86	0,03294	0,00831	0,041447822	0,000798	0,000201056
53,90	0,0000417	0,0000083	988,1995	997,032	4175,22	4180,085	2378,42	0,04117	0,00831	0,041447822	0,000798	0,000201056
54,00	0,0000500	0,0000083	988,17	997,032	4175,200	4180,1	2378,2	0,04941	0,00831	0,041447822	0,000798	0,000201056

A (m ²)	ΔT_c (°C)	ΔT_h (°C)	qc (KW)	qh (KW)	Cc (W/°C)	Ch(W/°C)	qmax (KW)	ΔT_{lm} (°C)	ϵ	U (KW/m ² °C)	ntu	Re
0,05341	6,70	8,00	0,6911	0,2775	103,1523	34,7305	0,8405	16,8416	0,33	0,31	0,16	828,57
0,05341	5,40	9,10	0,7427	0,3157	137,5412	34,7304	0,8509	17,1837	0,37	0,34	0,13	828,57
0,05341	4,70	9,90	0,8080	0,3434	171,9146	34,7307	0,8648	17,4712	0,40	0,37	0,57	828,57
0,05341	4,20	10,60	0,8664	0,3677	206,2904	34,7308	0,8717	17,5054	0,42	0,39	0,60	828,57

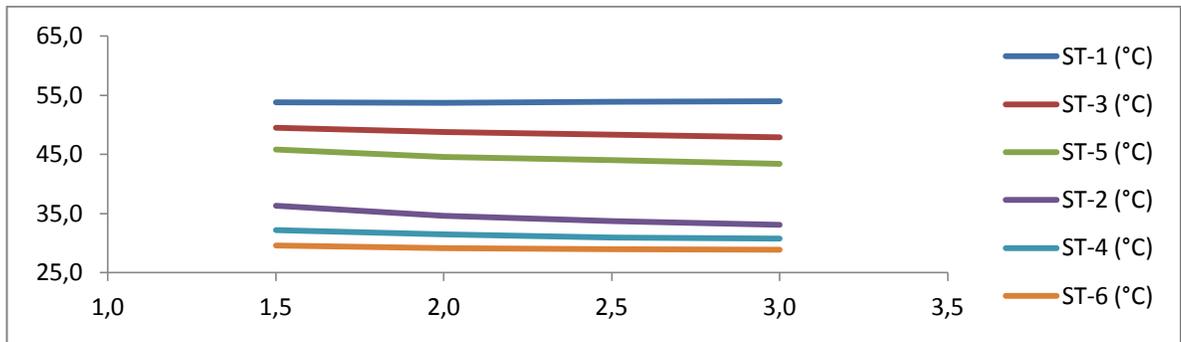
Fuente. Lecturas en el laboratorio.

Figura 84. Q_h Vs ϵ . $Q_h = 0,5$ L/min ST-16 = 60°C flujos en contracorriente.



Fuente. Lecturas en el laboratorio.

Figura 85. Comp. Temperaturas. $Q_h = 0,5$ L/min ST-16 = 60°C flujos en contracorriente.



Fuente. Lecturas en el laboratorio.

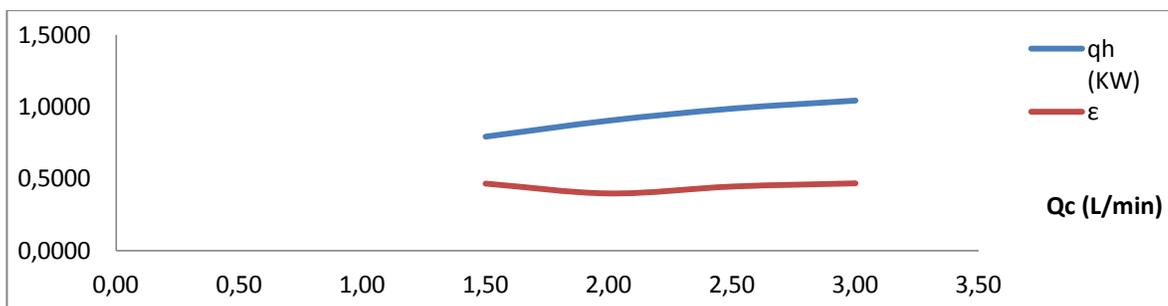
INTERCAMBIADOR DE CALOR DE FLUJO TURBULENTO TIFT. FLUJOS EN PARALELO – FLUJO FRIO – EXTERIOR, FLUJO CALIENTE – INTERIOR.

Tabla 43. Hoja de datos. $Q_h = 2,0 \text{ L/min}$ ST-16 = 50°C flujos en paralelo.

ST-1 (°C)	ST-3 (°C)	ST-5 (°C)	ST-7 (°C)	ST-9 (°C)	ST-2 (°C)	ST-4 (°C)	ST-6 (°C)	ST-8 (°C)	ST-10 (°C)	ST-11 (°C)	ST-12 (°C)	Qc (L/min)
30,30	33,20	35,40	36,70	37,50	46,70	44,60	42,90	41,50	41,00	45,90	40,20	1,50
30,40	33,20	35,20	36,30	37,00	46,80	44,30	32,50	41,00	40,30	46,00	39,60	2,00
30,40	32,80	34,60	35,50	36,10	46,40	43,60	41,60	40,10	39,30	45,70	38,90	2,50
30,40	32,60	34,20	35,10	35,70	46,50	43,50	41,30	39,80	39,00	45,00	38,50	3,00
Qh (L/min)	X	Qc (m3/Seg)	Qh (m3/Seg)	ρ_c (Kg/m3)	ρ_h (Kg/m3)	CPc(J /Kg°C)	CPh(J /Kg°C)	\dot{m}_c (Kg/Seg)	\dot{m}_h (Kg/Seg)	v (m/Seg)	μ (N Seg/m²)	AT (m²)
2,00	30,30	0,0000250	0,0000333	995,162	997,03	4179,940	4176,545	0,02488	0,03323	0,66316515	0,000798	0,00005026
2,00	30,40	0,0000333	0,0000333	995,132	997,03	4179,92	4176,56	0,03317	0,03323	0,66316515	0,000798	0,00005026
2,00	30,40	0,0000417	0,0000333	995,132	997,03	4179,92	4176,56	0,04146	0,03323	0,66316515	0,000798	0,00005026
2,00	30,40	0,0000500	0,0000333	995,132	997,03	4179,920	4176,56	0,04976	0,03323	0,66316515	0,000798	0,00005026
A (m²)	ΔT_c (°C)	ΔT_h (°C)	qc (KW)	qh (KW)	Cc (W/°C)	Ch(W/°C)	qmax (KW)	ΔT_{lm} (°C)	ϵ	U (KW/m² °C)	ntu	Re
0,04084	7,20	5,70	0,7487	0,7918	103,9929	138,8050	1,7055	8,3521	0,46	2,32	0,91	6628,54
0,04084	6,60	6,50	0,9151	0,9030	138,6524	138,8055	2,2739	8,1703	0,40	2,71	0,80	6628,54
0,04084	5,70	7,10	0,9879	0,9863	173,3155	138,8055	2,2209	7,9531	0,44	3,04	0,72	6628,54
0,04084	5,30	7,50	1,1023	1,0419	207,9786	138,8055	2,2348	8,0762	0,47	3,16	0,62	6628,54

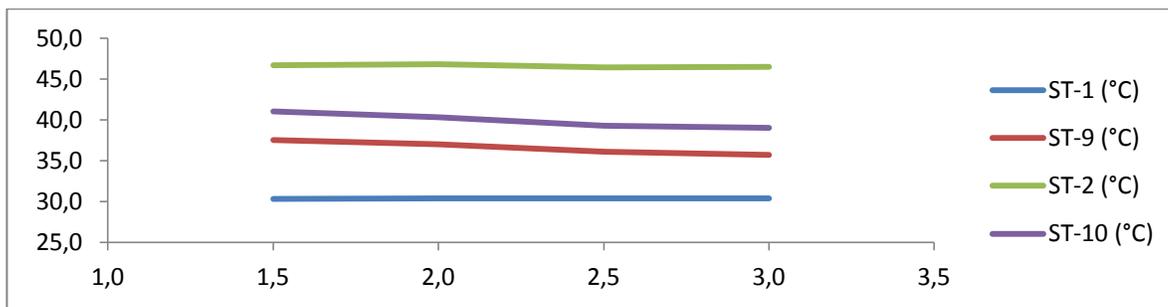
Fuente. Lecturas en el laboratorio.

Figura 86. Q_h Vs ϵ $Q_h = 2,0 \text{ L/min}$ ST-16 = 50°C flujos en paralelo.



Fuente. Lecturas en el laboratorio.

Figura 87. Comp. Temperaturas. $Q_h = 2,0 \text{ L/min}$ ST-16 = 50°C flujos en paralelo.



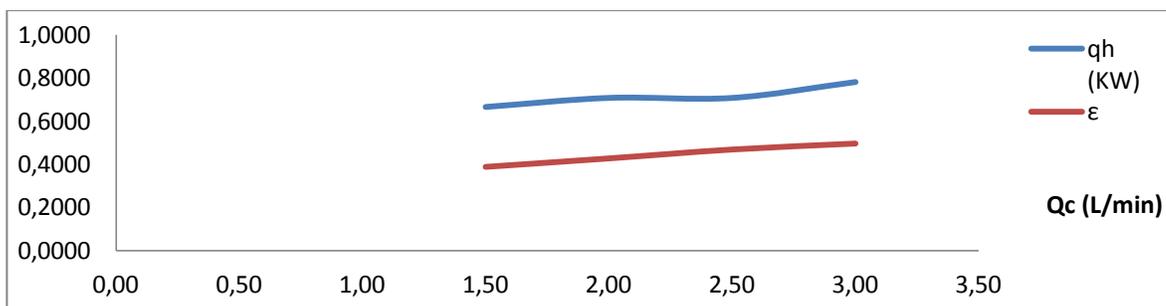
Fuente. Lecturas en el laboratorio.

Tabla 44. Hoja de datos. $Q_h = 1,5 \text{ L/min ST-16} = 50^\circ\text{C}$ flujos en paralelo.

ST-1 (°C)	ST-3 (°C)	ST-5 (°C)	ST-7 (°C)	ST-9 (°C)	ST-2 (°C)	ST-4 (°C)	ST-6 (°C)	ST-8 (°C)	ST-10 (°C)	ST-11 (°C)	ST-12 (°C)	Qc (L/min)
30,60	33,30	35,30	36,40	37,10	47,10	44,70	42,70	41,30	40,70	46,40	40,00	1,50
30,90	33,40	35,10	36,00	36,60	46,80	44,40	42,10	40,50	40,00	46,60	39,50	2,00
31,80	33,50	35,10	35,80	36,30	46,30	44,00	41,80	40,10	39,50	46,40	38,90	2,50
31,50	33,60	34,90	35,60	35,90	46,60	43,70	41,40	39,90	39,10	46,40	38,60	3,00
Qh (L/min)	X	Qc (m3/Seg)	Qh (m3/Seg)	ρ_c (Kg/m3)	ρ_h (Kg/m3)	CPc(J /Kg°C)	CPh(J /Kg°C)	\dot{m}_c (Kg/Seg)	\dot{m}_h (Kg/Seg)	v (m/Seg)	μ (N Seg/m²)	AT (m²)
1,50	30,60	0,000025	0,0000250	995,07	997,03	4179,880	4176,59	0,02488	0,02493	0,497374	0,000798	0,000050
1,50	30,90	0,000033	0,0000250	994,98	997,03	4179,82	4176,635	0,03317	0,02493	0,497374	0,000798	0,000050
1,50	31,80	0,000042	0,0000250	994,72	997,03	4179,64	4176,77	0,04145	0,02493	0,497374	0,000798	0,000050
1,50	31,50	0,000050	0,0000250	994,81	997,03	4179,700	4176,725	0,04974	0,02493	0,497374	0,000798	0,000050
A (m²)	ΔT_c (°C)	ΔT_h (°C)	qc (KW)	qh (KW)	Cc (W/°C)	Ch(W/°C)	qmax (KW)	ΔT_{lm} (°C)	ϵ	U (KW/m² °C)	ntu	Re
0,04084	6,50	6,40	0,6759	0,6668	103,98	104,1048	1,7157	8,4733	0,39	1,93	0,76	4971,41
0,04084	5,70	6,80	0,7902	0,7085	138,63	104,1060	1,6553	8,1035	0,43	2,14	0,63	4971,41
0,04084	4,50	6,80	0,7795	0,7084	173,23	104,1093	1,5096	7,4785	0,47	2,32	0,55	4971,41
0,04084	4,40	7,50	0,9148	0,7814	207,90	104,1082	1,5720	7,6698	0,50	2,49	0,49	4971,41

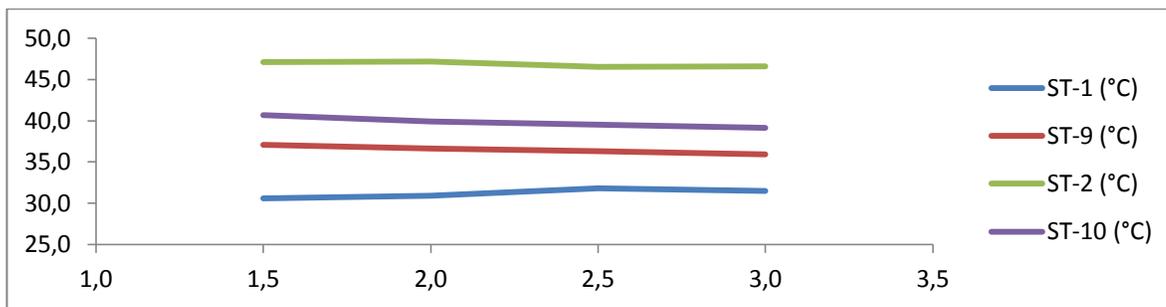
Fuente. Lecturas en el laboratorio.

Figura 88. Q_h Vs ϵ $Q_h = 1,5 \text{ L/min ST-16} = 50^\circ\text{C}$ flujos en paralelo.



Fuente. Lecturas en el laboratorio.

Figura 89. Comp. Temperaturas. $Q_h = 1,5 \text{ L/min ST-16} = 50^\circ\text{C}$ flujos en paralelo.



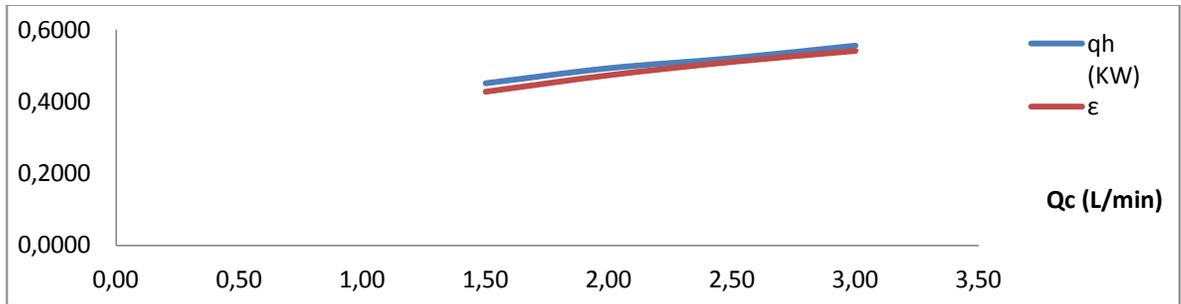
Fuente. Lecturas en el laboratorio.

Tabla 45. Hoja de datos. $Q_h = 1,0$ L/min ST-16 = 50°C flujos en paralelo.

ST-1 (°C)	ST-3 (°C)	ST-5 (°C)	ST-7 (°C)	ST-9 (°C)	ST-2 (°C)	ST-4 (°C)	ST-6 (°C)	ST-8 (°C)	ST-10 (°C)	ST-11 (°C)	ST-12 (°C)	Qc (L/min)
31,10	33,50	35,10	36,00	36,50	46,30	43,90	41,90	40,30	39,80	45,80	39,10	1,50
31,40	33,60	35,00	35,70	36,10	46,40	43,50	41,30	39,80	39,30	45,70	38,60	2,00
31,60	33,50	34,70	35,30	35,60	46,30	43,30	40,90	39,30	38,80	45,80	38,10	2,50
31,60	33,40	34,50	35,00	35,20	46,40	43,20	40,60	39,10	38,40	46,00	37,80	3,00
Qh (L/min)	X	Qc (m3/Seg)	Qh (m3/Seg)	ρ_c (Kg/m3)	ρ_h (Kg/m3)	CPc(J /Kg°C)	CPh(J /Kg°C)	\dot{m}_c (Kg/Seg)	\dot{m}_h (Kg/Seg)	v (m/Seg)	μ (N Seg/m²)	AT (m²)
1,00	31,10	0,0000250	0,0000167	994,9255	997,03	4179,78	4176,665	0,02487	0,01662	0,331583	0,000798	0,000050
1,00	31,40	0,0000333	0,0000167	994,837	997,03	4179,72	4176,71	0,03316	0,01662	0,331583	0,000798	0,000050
1,00	31,60	0,0000417	0,0000167	994,778	997,03	4179,68	4176,74	0,04145	0,01662	0,331583	0,000798	0,000050
1,00	31,60	0,0000500	0,0000167	994,778	997,03	4179,68	4176,74	0,04974	0,01662	0,331583	0,000798	0,000050
A (m²)	ΔT_c (°C)	ΔT_h (°C)	qc (KW)	qh (KW)	Cc (W/°C)	Ch(W/°C)	qmax (KW)	ΔT_{lm} (°C)	ϵ	U (KW/m² °C)	ntu	Re
0,04084	5,40	6,50	0,5614	0,4515	103,96	69,40	1,0549	7,7912	0,43	1,42	0,56	3314,27
0,04084	4,70	7,10	0,6514	0,4931	138,60	69,41	1,0411	7,6380	0,47	1,58	0,47	3314,27
0,04084	4,00	7,50	0,6930	0,5209	173,24	69,41	1,0203	7,5425	0,51	1,69	0,40	3314,27
0,04084	3,60	8,00	0,7484	0,5556	207,89	69,41	1,0272	7,5744	0,54	1,80	0,35	3314,27

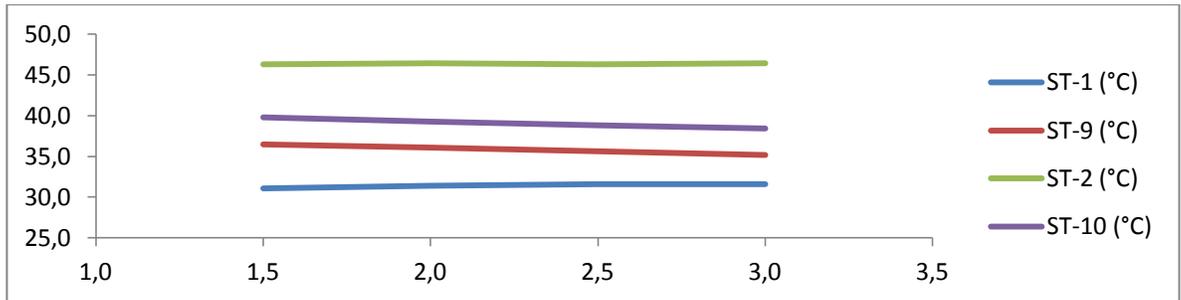
Fuente. Lecturas en el laboratorio.

Figura 90. Q_h Vs ϵ $Q_h = 1,0$ L/min ST-16 = 50°C flujos en paralelo.



Lecturas en el laboratorio.

Figura 91. Comp. Temperaturas. $Q_h = 1,0$ L/min ST-16 = 50°C flujos en paralelo.



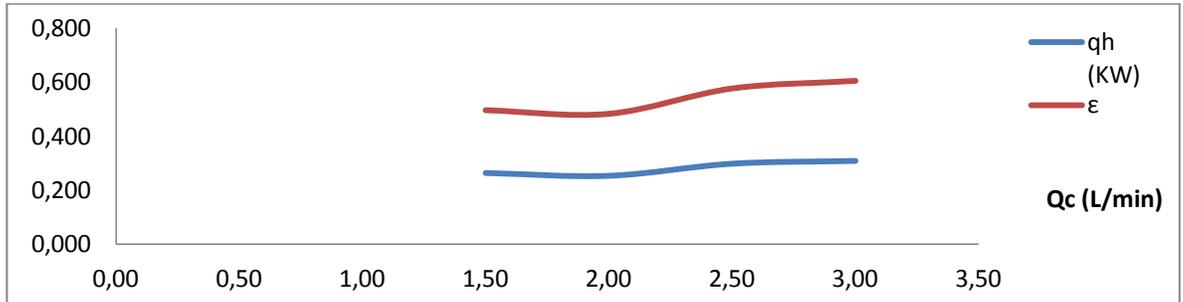
Fuente. Lecturas en el laboratorio.

Tabla 46. Hoja de datos. $Q_h = 0,5 \text{ L/min ST-16} = 50^\circ\text{C}$ flujos en paralelo.

ST-1 (°C)	ST-3 (°C)	ST-5 (°C)	ST-7 (°C)	ST-9 (°C)	ST-2 (°C)	ST-4 (°C)	ST-6 (°C)	ST-8 (°C)	ST-10 (°C)	ST-11 (°C)	ST-12 (°C)	Qc (L/min)
30,90	32,80	34,20	34,90	35,30	46,20	43,20	40,90	39,10	38,60	45,60	38,00	1,50
31,10	32,80	34,00	34,50	34,80	46,20	42,70	40,30	38,50	38,90	45,60	37,30	2,00
31,20	32,80	33,70	34,10	34,50	46,10	42,50	39,90	38,20	37,50	45,50	36,80	2,50
31,20	32,60	33,50	33,90	34,10	45,90	42,20	39,60	37,80	37,00	45,40	36,40	3,00
Qh (L/min)	X	Qc (m3/Seg)	Qh (m3/Seg)	ρ_c (Kg/m3)	ρ_h (Kg/m3)	CPc(J /Kg°C)	CPH(J /Kg°C)	\dot{m}_c (Kg/Seg)	\dot{m}_h (Kg/Seg)	v (m/Seg)	μ (N Seg/m²)	AT (m²)
0,50	30,90	0,0000250	0,0000083	994,985	997,032	4179,820	4176,635	0,02487	0,00831	0,165791	0,000798	0,000050
0,50	31,10	0,0000333	0,0000083	994,926	997,032	4179,780	4176,665	0,03316	0,00831	0,165791	0,000798	0,000050
0,50	31,20	0,0000417	0,0000083	994,896	997,032	4179,760	4176,68	0,04145	0,00831	0,165791	0,000798	0,000050
0,50	31,20	0,0000500	0,0000083	994,896	997,032	4179,760	4176,68	0,04974	0,00831	0,165791	0,000798	0,000050
A (m²)	ΔT_c (°C)	ΔT_h (°C)	qc (KW)	qh (KW)	Cc (W/°C)	Ch(W/°C)	qmax (KW)	ΔT_{lm} (°C)	ϵ	U (KW/m² °C)	ntu	Re
0,04084	4,40	7,60	0,4575	0,264	103,971	34,702	0,5309	7,8230	0,50	0,83	0,32	1657,14
0,04084	3,70	7,30	0,5129	0,254	138,619	34,702	0,5240	8,4375	0,48	0,74	0,22	1657,14
0,04084	3,30	8,60	0,5718	0,299	173,268	34,702	0,5171	7,4247	0,58	0,98	0,23	1657,14
0,04084	2,90	8,90	0,6030	0,309	207,921	34,702	0,5101	7,2699	0,61	1,04	0,20	1657,14

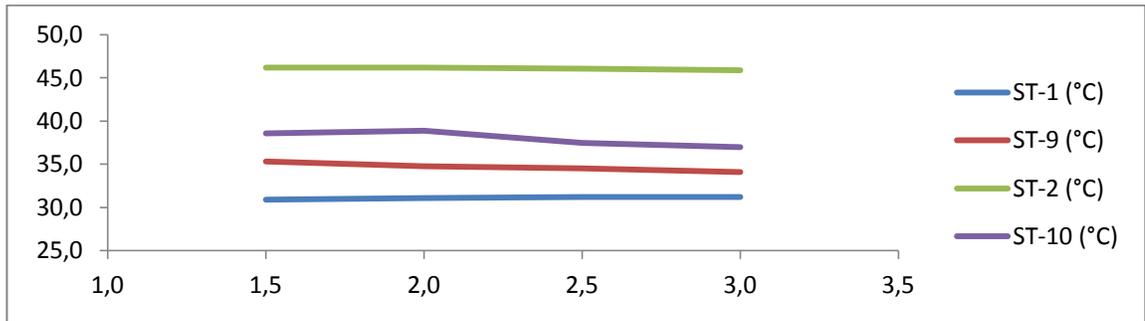
Fuente. Lecturas en el laboratorio.

Figura 92. Q_h Vs ϵ $Q_h = 0,5 \text{ L/min ST-16} = 50^\circ\text{C}$ flujos en paralelo.



Fuente. Lecturas en el laboratorio.

Figura 93. Comp. Temperaturas. $Q_h = 0,5 \text{ L/min ST-16} = 50^\circ\text{C}$ flujos en paralelo



Fuente. Lecturas en el laboratorio.

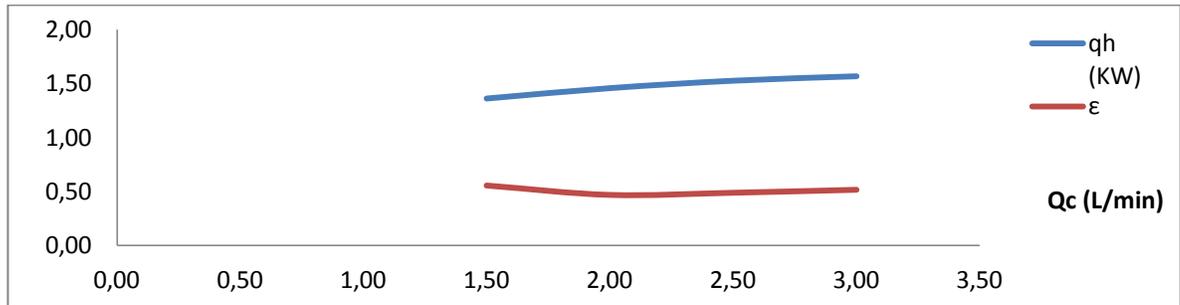
Flujos en contracorriente – flujo frío – exterior, flujo caliente – interior.

Tabla 47. Hoja de datos. $Q_h = 2,0$ L/min ST-16 = 50°C flujos en contracorriente.

ST-1 (°C)	ST-3 (°C)	ST-5 (°C)	ST-7 (°C)	ST-9 (°C)	ST-2 (°C)	ST-4 (°C)	ST-6 (°C)	ST-8 (°C)	ST-10 (°C)	ST-11 (°C)	ST-12 (°C)	Qc (L/min)
43,10	40,00	37,20	33,90	30,70	54,50	52,30	50,00	47,20	44,70	53,30	43,90	1,50
42,10	39,10	36,50	33,70	31,70	54,30	51,70	49,00	46,20	43,80	53,20	43,10	2,00
41,40	38,70	36,40	34,00	31,80	54,40	51,30	48,50	45,60	43,40	53,10	42,40	2,50
40,60	3,20	36,20	34,00	32,00	54,00	50,80	47,80	44,90	42,70	53,10	41,90	3,00
Qh (L/min)	X	Qc (m3/Seg)	Qh (m3/Seg)	ρ_c (Kg/m3)	ρ_h (Kg/m3)	CPc(J /Kg°C)	CPh(J /Kg°C)	\dot{m}_c (Kg/Seg)	\dot{m}_h (Kg/Seg)	v (m/Seg)	μ (N Seg/m²)	AT (m²)
2,00	43,10	0,0000250	0,0000333	991,39	997,03	4177,38	4178,47	0,02478	0,03323	0,663165	0,000798	0,000050
2,00	42,10	0,0000333	0,0000333	991,68	997,03	4177,58	4178,32	0,03306	0,03323	0,663165	0,000798	0,000050
2,00	41,40	0,0000417	0,0000333	991,89	997,03	4177,72	4178,21	0,04133	0,03323	0,663165	0,000798	0,000050
2,00	40,60	0,0000500	0,0000333	992,12	997,03	4177,88	4178,09	0,04961	0,03323	0,663165	0,000798	0,000050
A (m²)	ΔT_c (°C)	ΔT_h (°C)	qc (KW)	qh (KW)	Cc (W/°C)	Ch(W/°C)	qmax (KW)	ΔT_{lm} (°C)	ϵ	U (KW/m² °C)	ntu	Re
0,04084	12,40	9,80	1,2838	1,36	103,53	138,87	2,46	12,6555	0,55	2,63	1,04	6628,54
0,04084	10,40	10,50	1,4362	1,46	138,09	138,86	3,12	12,1499	0,47	2,94	0,87	6628,54
0,04084	9,60	11,00	1,6575	1,53	172,66	138,86	3,14	12,2867	0,49	3,04	0,72	6628,54
0,04084	8,60	11,30	1,7823	1,57	207,25	138,86	3,05	11,9994	0,51	3,20	0,63	6628,54

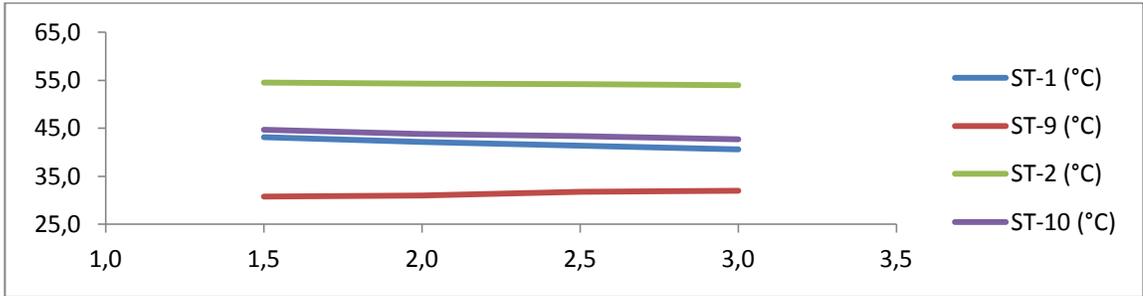
Fuente. Lecturas en el laboratorio.

Figura 94. Q_h Vs ϵ $Q_h = 2,0$ L/min ST-16 = 50°C flujos en contracorriente.



Fuente. Lecturas en el laboratorio.

Figura 95. Comp. Temperaturas. $Q_h = 2,0$ L/min ST-16 = 50°C flujos en contracorriente.



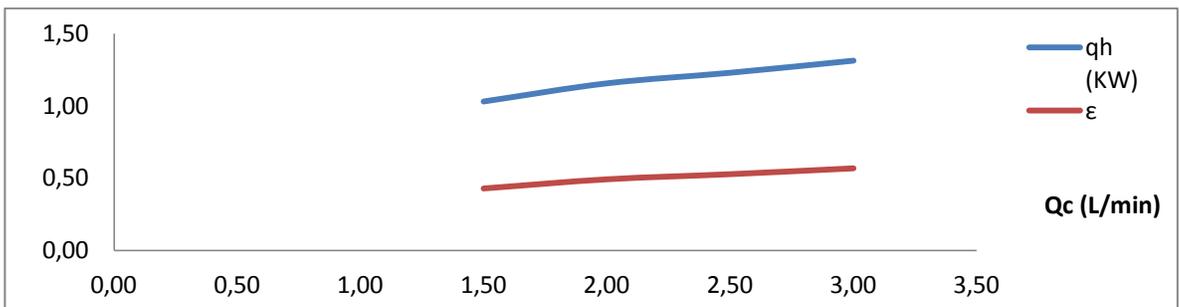
Fuente. Lecturas en el laboratorio.

Tabla 48. Hoja de datos. $Q_h = 1,5$ L/min ST-16 = 50°C flujos en contracorriente.

ST-1 (°C)	ST-3 (°C)	ST-5 (°C)	ST-7 (°C)	ST-9 (°C)	ST-2 (°C)	ST-4 (°C)	ST-6 (°C)	ST-8 (°C)	ST-10 (°C)	ST-11 (°C)	ST-12 (°C)	Qc (L/min)
43,00	40,10	37,30	34,40	31,50	54,70	52,10	49,60	46,90	44,80	53,70	43,80	1,50
41,60	38,90	36,60	34,10	32,00	54,50	51,40	48,50	45,50	43,40	53,60	42,60	2,00
40,50	38,10	35,80	33,70	31,90	54,20	50,80	47,60	44,70	42,40	53,30	41,70	2,50
39,70	37,40	35,30	33,60	32,00	54,10	50,30	46,90	43,80	41,50	53,20	40,90	3,00
Qh (L/min)	X	Qc (m3/Seg)	Qh (m3/Seg)	pc (Kg/m3)	ph (Kg/m3)	CPc(J /Kg°C)	CPh(J /Kg°C)	mc (Kg/Seg)	mh (Kg/Seg)	v (m/Seg)	μ (N Seg/m²)	AT (m²)
1,50	43,00	0,0000250	0,0000250	991,42	997,03	4177,40	4178,45	0,02479	0,02493	0,497374	0,000798	0,000050
1,50	41,60	0,0000333	0,0000250	991,83	997,03	4177,68	4178,24	0,03306	0,02493	0,497374	0,000798	0,000050
1,50	40,50	0,0000417	0,0000250	992,15	997,03	4177,90	4178,08	0,04134	0,02493	0,497374	0,000798	0,000050
1,50	39,70	0,0000500	0,0000250	992,39	997,03	4178,06	4177,96	0,04962	0,02493	0,497374	0,000798	0,000050
A (m²)	ΔTc (°C)	ΔTh (°C)	qc (KW)	qh (KW)	Cc (W/°C)	Ch(W/°C)	qmax (KW)	ΔTIm (°C)	ε	U (KW/m² °C)	ntu	Re
0,04084	11,50	9,90	1,1907	1,03	103,54	104,15	2,40	12,4829	0,43	2,02	0,80	4971,41
0,04084	9,60	11,10	1,3259	1,16	138,12	104,15	2,34	12,1346	0,49	2,33	0,69	4971,41
0,04084	8,60	11,80	1,4853	1,23	172,71	104,14	2,32	12,0291	0,53	2,50	0,59	4971,41
0,04084	7,70	12,60	1,5963	1,31	207,31	104,14	2,30	11,7806	0,57	2,73	0,54	4971,41

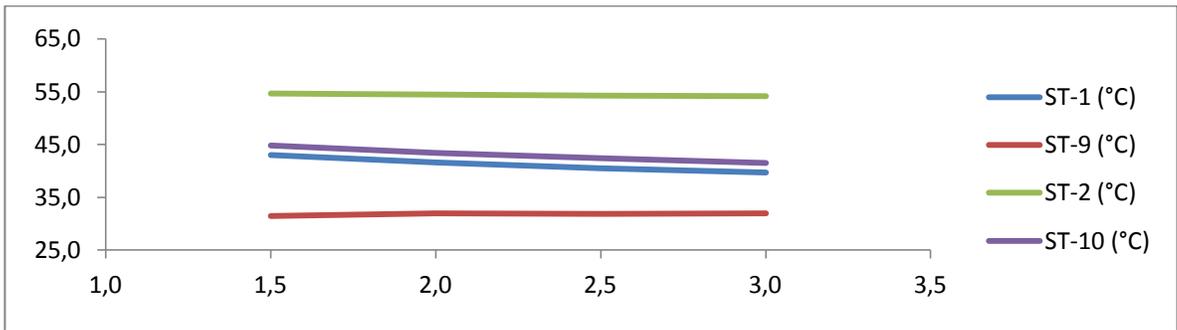
Fuente. Lecturas en el laboratorio.

Figura 96. Q_h Vs ϵ $Q_h = 1,5$ L/min ST-16 = 50°C flujos en contracorriente.



Fuente. Lecturas en el laboratorio.

Figura 97. Comp. Temperaturas. $Q_h = 1,5$ L/min ST-16 = 50°C flujos en contracorriente.



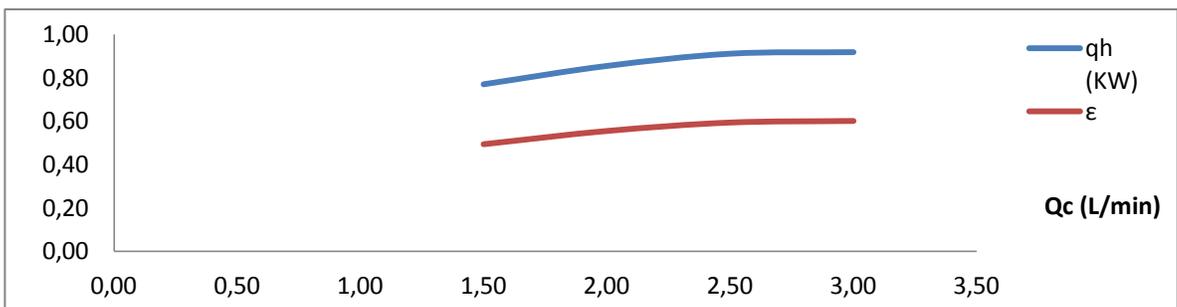
Fuente. Lecturas en el laboratorio.

Tabla 49. Hoja de datos. $Q_h = 1,0$ L/min ST-16 = 50°C flujos en contracorriente.

ST-1 (°C)	ST-3 (°C)	ST-5 (°C)	ST-7 (°C)	ST-9 (°C)	ST-2 (°C)	ST-4 (°C)	ST-6 (°C)	ST-8 (°C)	ST-10 (°C)	ST-11 (°C)	ST-12 (°C)	Qc (L/min)
41,60	38,80	36,40	33,90	31,60	54,10	51,10	48,20	45,20	43,00	53,20	42,00	1,50
40,20	37,70	35,60	33,50	31,90	54,10	50,30	47,10	44,10	41,80	53,10	40,90	2,00
39,10	36,90	35,20	33,30	31,90	54,00	49,90	46,30	43,20	40,90	53,10	40,20	2,50
38,60	36,50	34,90	33,30	31,90	53,90	49,60	46,10	42,80	40,70	53,20	39,80	3,00
Qh (L/min)	X	Qc (m3/Seg)	Qh (m3/Seg)	pc (Kg/m3)	ph (Kg/m3)	CPc(J /Kg°C)	CPh(J /Kg°C)	mc (Kg/Seg)	mh (Kg/Seg)	v (m/Seg)	μ (N Seg/m²)	AT (m²)
1,00	41,60	0,0000250	0,0000167	991,83	997,03	4177,68	4178,24	0,02480	0,01662	0,331583	0,000798	0,000050
1,00	40,20	0,0000333	0,0000167	992,24	997,03	4177,96	4178,03	0,03307	0,01662	0,331583	0,000798	0,000050
1,00	39,10	0,0000417	0,0000167	992,57	997,03	4178,18	4177,87	0,04136	0,01662	0,331583	0,000798	0,000050
1,00	38,60	0,0000500	0,0000167	992,71	997,03	4178,28	4177,79	0,04964	0,01662	0,331583	0,000798	0,000050
A (m²)	ΔTc (°C)	ΔTh (°C)	qc (KW)	qh (KW)	Cc (W/°C)	Ch(W/°C)	qmax (KW)	ΔTIm (°C)	ε	U (KW/m² °C)	ntu	Re
0,04084	10,00	11,10	1,0359	0,77	103,59	69,43	1,56	11,9416	0,49	1,58	0,62	3314,27
0,04084	8,30	12,30	1,1469	0,85	138,18	69,43	1,54	11,7871	0,55	1,77	0,52	3314,27
0,04084	7,20	13,10	1,2441	0,91	172,80	69,42	1,53	11,7032	0,59	1,90	0,45	3314,27
0,04084	6,70	13,20	1,3895	0,92	207,39	69,42	1,53	11,7519	0,60	1,91	0,38	3314,27

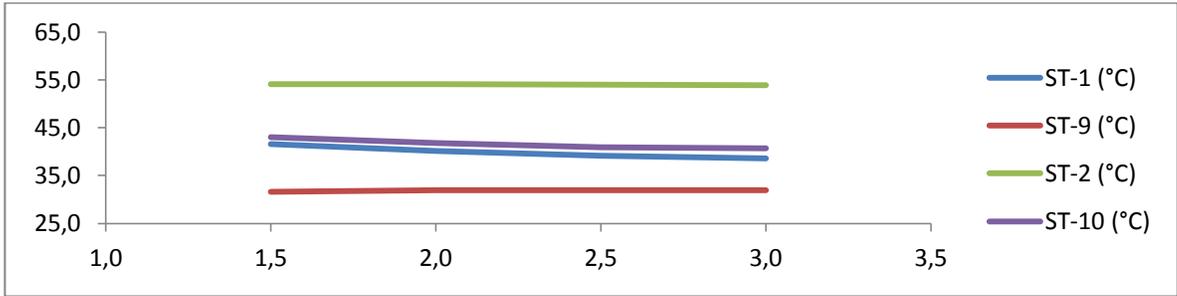
Fuente. Lecturas en el laboratorio.

Figura 98. Q_h Vs ϵ $Q_h = 1,0$ L/min ST-16 = 50°C flujos en contracorriente.



Fuente. Lecturas en el laboratorio.

Figura 99. Comp. Temperaturas. $Q_h = 1,0$ L/min ST-16 = 50°C flujos en contracorriente.



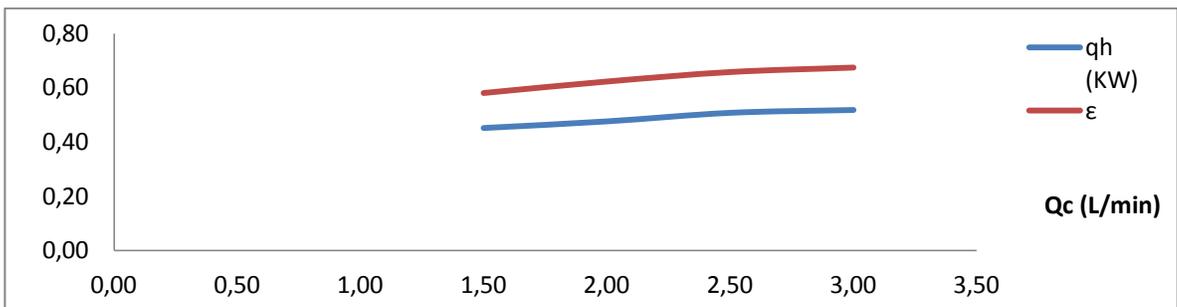
Fuente. Lecturas en el laboratorio.

Tabla 50. Hoja de datos. $Q_h = 0,5$ L/min ST-16 = 50°C flujos en contracorriente.

ST-1 (°C)	ST-3 (°C)	ST-5 (°C)	ST-7 (°C)	ST-9 (°C)	ST-2 (°C)	ST-4 (°C)	ST-6 (°C)	ST-8 (°C)	ST-10 (°C)	ST-11 (°C)	ST-12 (°C)	Qc (L/min)
39,70	37,20	35,20	33,40	31,80	54,20	50,00	46,60	43,30	41,20	53,30	40,40	1,50
38,50	36,40	34,70	33,10	31,90	53,90	49,30	45,60	42,40	40,20	52,90	39,40	2,00
37,50	35,60	34,20	32,90	31,80	54,00	48,80	44,90	41,70	39,40	53,10	38,70	2,50
37,00	35,10	33,90	32,70	31,80	53,90	48,60	44,50	41,10	39,00	53,20	38,40	3,00
Qh (L/min)	X	Qc (m3/Seg)	Qh (m3/Seg)	ρc (Kg/m3)	ρh (Kg/m3)	CPc(J /Kg°C)	CPh(J /Kg°C)	ṁc (Kg/Seg)	ṁh (Kg/Seg)	v (m/Seg)	μ (N Seg/m²)	AT (m²)
0,50	39,70	0,0000250	0,0000083	992,39	997,03	4178,06	4177,96	0,02481	0,00831	0,165791	0,000798	0,000050
0,50	38,50	0,0000333	0,0000083	992,74	997,03	4178,30	4177,78	0,03309	0,00831	0,165791	0,000798	0,000050
0,50	37,50	0,0000417	0,0000083	993,04	997,03	4178,50	4177,63	0,04138	0,00831	0,165791	0,000798	0,000050
0,50	37,00	0,0000500	0,0000083	993,19	997,03	4178,60	4177,55	0,04966	0,00831	0,165791	0,000798	0,000050
A (m²)	ΔTc (°C)	ΔTh (°C)	qc (KW)	qh (KW)	Cc (W/°C)	Ch(W/°C)	qmax (KW)	ΔTlm (°C)	ε	U (KW/m² °C)	ntu	Re
0,04084	7,90	13,00	0,8189	0,45	103,66	34,71	0,78	11,7664	0,58	0,94	0,37	1657,14
0,04084	6,60	13,70	0,9126	0,48	138,27	34,71	0,76	11,4866	0,62	1,01	0,30	1657,14
0,04084	5,70	14,60	0,9855	0,51	172,89	34,71	0,77	11,4807	0,66	1,08	0,26	1657,14
0,04084	5,20	14,90	1,0790	0,52	207,51	34,71	0,77	11,3685	0,67	1,11	0,22	1657,14

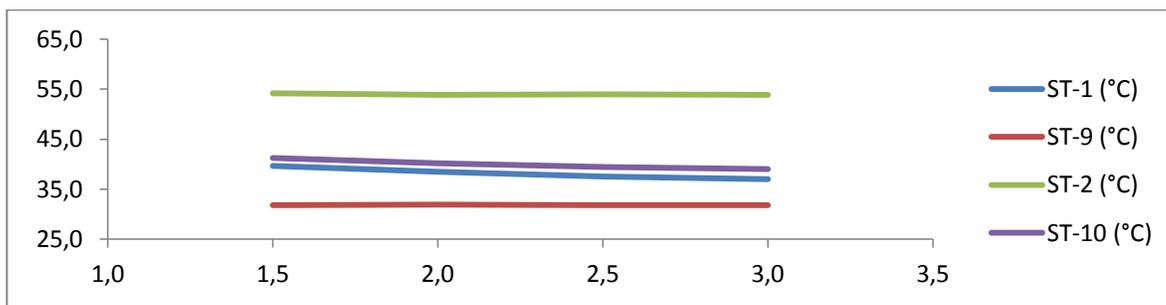
Fuente. Lecturas en el laboratorio.

Figura 100. Q_h Vs ϵ $Q_h = 0,5$ L/min ST-16 = 50°C flujos en contracorriente.



Fuente. Lecturas en el laboratorio.

Figura 101. Comp. Temperaturas. $Q_h = 0,5$ L/min ST-16 = 50°C flujos en contracorriente.



Fuente. Lecturas en el laboratorio.

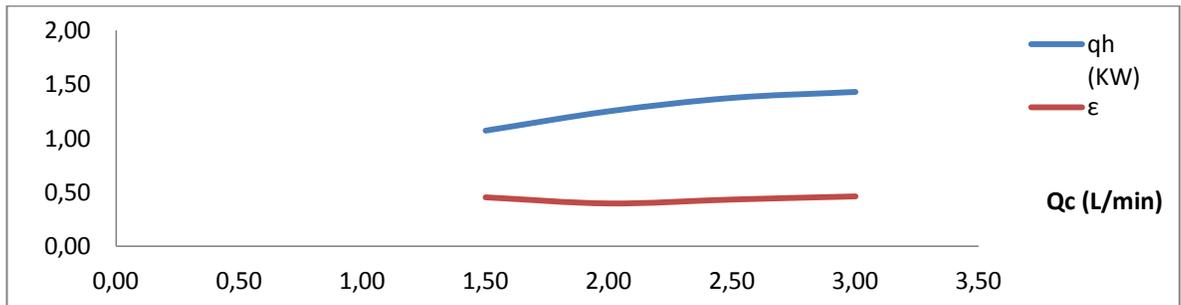
Flujos en paralelo – flujo frio – exterior, flujo caliente – interior. Se aumenta la temperatura del depósito a ST-16 = 60°C

Tabla 51. Hoja de datos. $Q_h = 2,0$ L/min ST-16 = 60°C flujos en paralelo.

ST-1 (°C)	ST-3 (°C)	ST-5 (°C)	ST-7 (°C)	ST-9 (°C)	ST-2 (°C)	ST-4 (°C)	ST-6 (°C)	ST-8 (°C)	ST-10 (°C)	ST-11 (°C)	ST-12 (°C)	Qc (L/min)
32,70	36,30	39,60	41,60	42,90	55,40	52,30	50,10	48,30	47,70	54,50	46,40	1,50
32,30	36,00	38,80	40,40	41,40	55,10	51,40	48,70	46,80	46,10	54,10	45,10	2,00
31,80	35,60	38,00	39,50	40,40	54,70	50,50	47,80	45,80	44,80	53,60	43,80	2,50
31,90	35,30	37,50	38,60	39,50	54,20	49,90	47,00	44,80	43,90	53,10	43,00	3,00
Qh (L/min)	X	Qc (m3/Seg)	Qh (m3/Seg)	ρ_c (Kg/m3)	ρ_h (Kg/m3)	CPc(J /Kg°C)	CPh(J /Kg°C)	\dot{m}_c (Kg/Seg)	\dot{m}_h (Kg/Seg)	v (m/Seg)	μ (N Seg/m²)	AT (m²)
2,00	32,70	0,0000250	0,0000333	994,45	997,03	4179,46	4176,91	0,02486	0,03323	0,663165	0,000798	0,000050
2,00	32,30	0,0000333	0,0000333	994,57	997,03	4179,54	4176,85	0,03315	0,03323	0,663165	0,000798	0,000050
2,00	31,80	0,0000417	0,0000333	994,72	997,03	4179,64	4176,77	0,04145	0,03323	0,663165	0,000798	0,000050
2,00	31,90	0,0000500	0,0000333	994,69	997,03	4179,62	4176,79	0,04973	0,03323	0,663165	0,000798	0,000050
A (m²)	ΔT_c (°C)	ΔT_h (°C)	qc (KW)	qh (KW)	Cc (W/°C)	Ch(W/°C)	qmax (KW)	ΔT_{lm} (°C)	ϵ	U (KW/m² °C)	ntu	Re
0,04084	10,20	7,70	1,0599	1,07	103,91	138,82	2,36	11,5205	0,45	2,27	0,89	6628,54
0,04084	9,10	9,00	1,2609	1,25	138,56	138,81	3,16	11,4615	0,40	2,67	0,79	6628,54
0,04084	8,60	9,90	1,4898	1,38	173,23	138,81	3,18	11,2153	0,43	3,00	0,71	6628,54
0,04084	7,60	10,30	1,5798	1,43	207,87	138,81	3,10	11,0291	0,46	3,18	0,62	6628,54

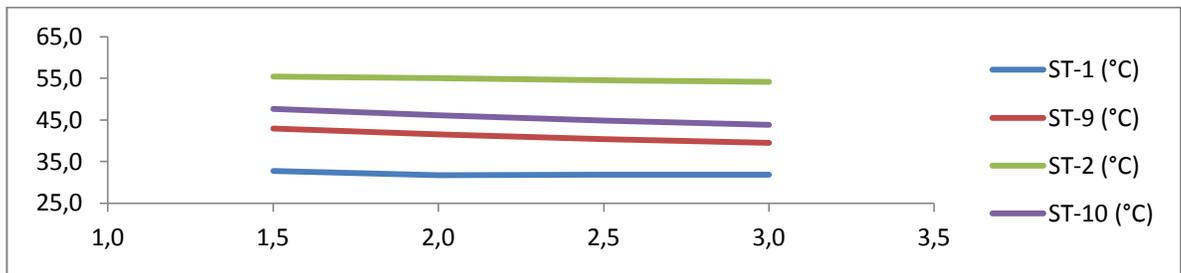
Fuente. Lecturas en el laboratorio.

Figura 102. Q_h Vs ϵ Q_h Vs ϵ $Q_h = 2,0$ L/min ST-16 = 60°C flujos en paralelo.



Fuente. Lecturas en el laboratorio.

Figura 103. Comp. Temperaturas. $Q_h = 2,0$ L/min ST-16 = 60°C flujos en paralelo.



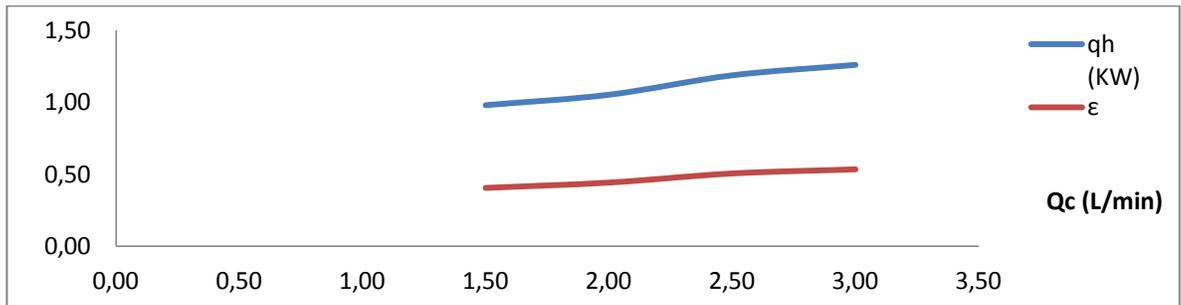
Fuente. Lecturas en el laboratorio.

Tabla 52. Hoja de datos. $Q_h = 1,5$ L/min ST-16 = 60°C flujos en paralelo.

ST-1 (°C)	ST-3 (°C)	ST-5 (°C)	ST-7 (°C)	ST-9 (°C)	ST-2 (°C)	ST-4 (°C)	ST-6 (°C)	ST-8 (°C)	ST-10 (°C)	ST-11 (°C)	ST-12 (°C)	Qc (L/min)
31,80	36,10	38,70	40,30	41,00	55,00	51,40	48,80	46,40	45,60	53,40	44,10	1,50
32,30	36,00	38,40	39,70	40,50	55,10	50,90	47,90	45,90	45,00	54,20	44,10	2,00
32,10	35,50	37,50	38,50	38,90	54,60	50,10	46,90	44,40	43,20	53,10	42,30	2,50
32,20	35,30	37,20	37,90	38,30	54,80	49,90	46,50	43,90	42,70	53,20	41,90	3,00
Qh (L/min)	X	Qc (m3/Seg)	Qh (m3/Seg)	ρ_c (Kg/m3)	ρ_h (Kg/m3)	CPc(J /Kg°C)	CPh(J /Kg°C)	\dot{m}_c (Kg/Seg)	\dot{m}_h (Kg/Seg)	v (m/Seg)	μ (N Seg/m²)	AT (m²)
1,50	31,80	0,0000250	0,0000250	994,72	997,03	4179,64	4176,77	0,02487	0,02493	0,497374	0,000798	0,000050
1,50	32,30	0,0000333	0,0000250	994,57	997,03	4179,54	4176,85	0,03315	0,02493	0,497374	0,000798	0,000050
1,50	32,10	0,0000417	0,0000250	994,63	997,03	4179,58	4176,82	0,04144	0,02493	0,497374	0,000798	0,000050
1,50	32,20	0,0000500	0,0000250	994,60	997,03	4179,56	4176,83	0,04973	0,02493	0,497374	0,000798	0,000050
A (m²)	ΔT_c (°C)	ΔT_h (°C)	qc (KW)	qh (KW)	Cc (W/°C)	Ch(W/°C)	qmax (KW)	ΔT_{lm} (°C)	ϵ	U (KW/m² °C)	ntu	Re
0,04084	9,20	9,40	0,9562	0,98	103,94	104,11	2,41	11,4950	0,41	2,09	0,82	4971,41
0,04084	8,20	10,10	1,1362	1,05	138,56	104,11	2,37	11,2776	0,44	2,28	0,67	4971,41
0,04084	6,80	11,40	1,1779	1,19	173,21	104,11	2,34	10,9976	0,51	2,64	0,62	4971,41
0,04084	6,10	12,10	1,2679	1,26	207,85	104,11	2,35	11,1223	0,54	2,78	0,55	4971,41

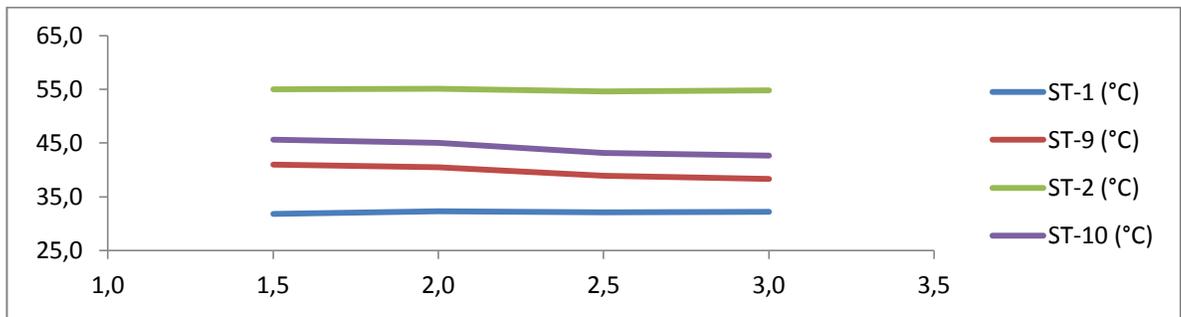
Fuente. Lecturas en el laboratorio.

Figura 104. Q_h Vs ϵ Q_h Vs ϵ $Q_h = 1,5$ L/min ST-16 = 60°C flujos en paralelo.



Fuente. Lecturas en el laboratorio.

Figura 105. Comp. Temperaturas. $Q_h = 2,0$ L/min ST-16 = 60°C flujos en paralelo.



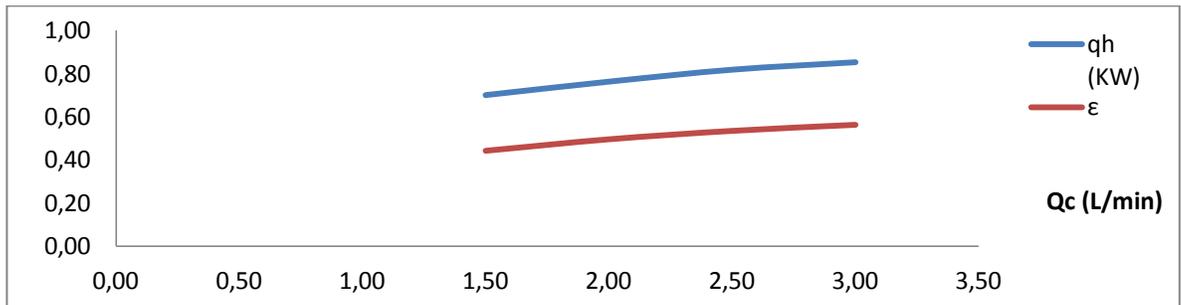
Fuente. Lecturas en el laboratorio.

Tabla 53. Hoja de datos. $Q_h = 1,0$ L/min ST-16 = 60°C flujos en paralelo.

ST-1 (°C)	ST-3 (°C)	ST-5 (°C)	ST-7 (°C)	ST-9 (°C)	ST-2 (°C)	ST-4 (°C)	ST-6 (°C)	ST-8 (°C)	ST-10 (°C)	ST-11 (°C)	ST-12 (°C)	Qc (L/min)
31,90	35,60	37,90	39,40	40,20	54,70	50,50	47,50	45,40	44,60	53,70	43,50	1,50
32,40	35,70	37,70	38,70	39,40	54,60	50,10	46,90	44,50	43,60	53,70	42,70	2,00
32,40	35,40	37,00	37,80	38,40	54,50	49,40	46,10	43,60	42,70	53,60	41,90	2,50
32,60	35,20	36,80	37,60	38,10	54,50	49,30	45,70	43,40	42,20	53,80	41,60	3,00
Qh (L/min)	X	Qc (m3/Seg)	Qh (m3/Seg)	pc (Kg/m3)	ph (Kg/m3)	CPc(J /Kg°C)	CPh(J /Kg°C)	mc (Kg/Seg)	mh (Kg/Seg)	v (m/Seg)	μ (N Seg/m²)	AT (m²)
1,00	31,90	0,0000250	0,0000167	994,69	997,03	4179,62	4176,79	0,02487	0,01662	0,331583	0,000798	0,000050
1,00	32,40	0,0000333	0,0000167	994,54	997,03	4179,52	4176,86	0,03315	0,01662	0,331583	0,000798	0,000050
1,00	32,40	0,0000417	0,0000167	994,54	997,03	4179,52	4176,86	0,04144	0,01662	0,331583	0,000798	0,000050
1,00	32,60	0,0000500	0,0000167	994,48	997,03	4179,48	4176,89	0,04972	0,01662	0,331583	0,000798	0,000050
A (m²)	ΔTc (°C)	ΔTh (°C)	qc (KW)	qh (KW)	Cc (W/°C)	Ch(W/°C)	qmax (KW)	ΔTlm (°C)	ε	U (KW/m² °C)	ntu	Re
0,04084	8,30	10,10	0,8627	0,70	103,94	69,41	1,58	11,1843	0,44	1,54	0,60	3314,27
0,04084	7,00	11,00	0,9699	0,76	138,56	69,41	1,54	10,8108	0,50	1,73	0,51	3314,27
0,04084	6,00	11,80	1,0392	0,82	173,20	69,41	1,53	10,8738	0,53	1,85	0,44	3314,27
0,04084	5,50	12,30	1,1430	0,85	207,82	69,41	1,52	10,6237	0,56	1,97	0,39	3314,27

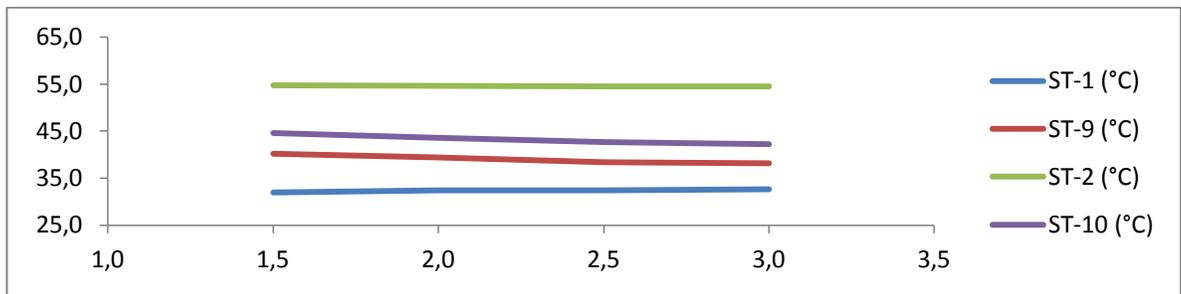
Fuente. Lecturas en el laboratorio.

Figura 106. Q_h Vs ϵ Q_h Vs ϵ $Q_h = 1,0$ L/min ST-16 = 60°C flujos en paralelo.



Fuente. Lecturas en el laboratorio.

Figura 107. Comp. Temperaturas. $Q_h = 1,0$ L/min ST-16 = 60°C flujos en paralelo.



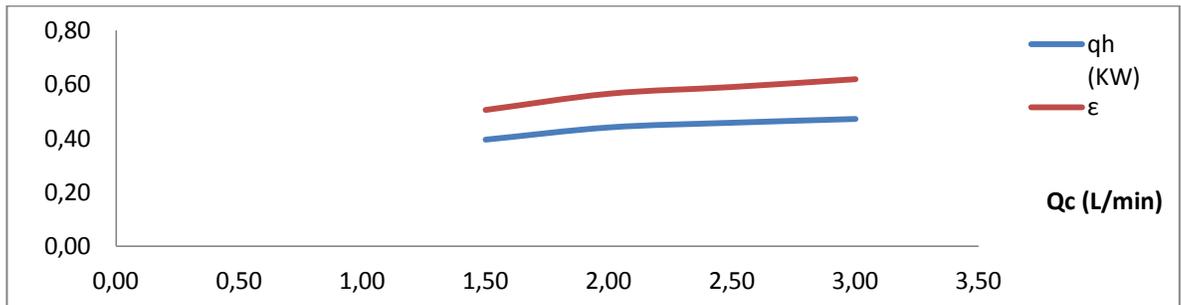
Fuente. Lecturas en el laboratorio.

Tabla 54. Hoja de datos. $Q_h = 0,5$ L/min ST-16 = 60°C flujos en paralelo.

ST-1 (°C)	ST-3 (°C)	ST-5 (°C)	ST-7 (°C)	ST-9 (°C)	ST-2 (°C)	ST-4 (°C)	ST-6 (°C)	ST-8 (°C)	ST-10 (°C)	ST-11 (°C)	ST-12 (°C)	Qc (L/min)
31,80	35,00	37,00	38,10	38,80	54,40	49,50	46,20	43,90	43,00	53,30	42,20	1,50
31,90	34,60	36,30	37,20	37,80	54,40	48,10	45,40	42,90	41,70	53,50	41,00	2,00
31,80	34,30	35,80	36,50	37,00	54,20	48,50	44,80	42,10	41,00	53,40	40,30	2,50
32,00	34,20	35,50	36,10	36,50	54,00	48,00	44,20	41,60	40,40	53,20	39,60	3,00
Qh (L/min)	X	Qc (m3/Seg)	Qh (m3/Seg)	ρ_c (Kg/m3)	ρ_h (Kg/m3)	CPc(J /Kg°C)	CPh(J /Kg°C)	\dot{m}_c (Kg/Seg)	\dot{m}_h (Kg/Seg)	v (m/Seg)	μ (N Seg/m²)	AT (m²)
0,50	31,80	0,0000250	0,0000083	994,72	997,03	4179,64	4176,77	0,02487	0,00831	0,165791	0,000798	0,000050
0,50	31,90	0,0000333	0,0000083	994,69	997,03	4179,62	4176,79	0,03316	0,00831	0,165791	0,000798	0,000050
0,50	31,80	0,0000417	0,0000083	994,72	997,03	4179,64	4176,77	0,04145	0,00831	0,165791	0,000798	0,000050
0,50	32,00	0,0000500	0,0000083	994,66	997,03	4179,60	4176,80	0,04973	0,00831	0,165791	0,000798	0,000050
A (m²)	ΔT_c (°C)	ΔT_h (°C)	qc (KW)	qh (KW)	Cc (W/°C)	Ch(W/°C)	qmax (KW)	ΔT_{lm} (°C)	ϵ	U (KW/m² °C)	ntu	Re
0,04084	7,00	11,40	0,7276	0,40	103,94	34,70	0,78	10,9337	0,50	0,89	0,35	1657,14
0,04084	5,90	12,70	0,8176	0,44	138,58	34,70	0,78	10,6132	0,56	1,02	0,30	1657,14
0,04084	5,20	13,20	0,9008	0,46	173,23	34,70	0,78	10,6805	0,59	1,05	0,25	1657,14
0,04084	4,50	13,60	0,9354	0,47	207,86	34,70	0,76	10,4620	0,62	1,11	0,22	1657,14

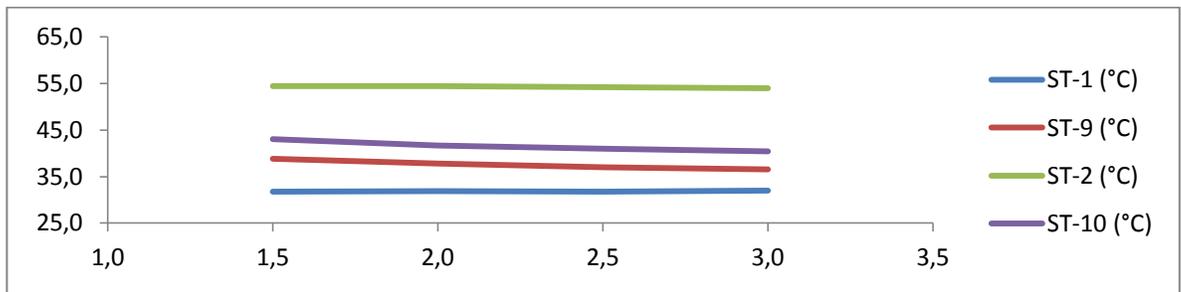
Fuente. Lecturas en el laboratorio.

Figura 108. Q_h Vs ϵ Q_h Vs ϵ $Q_h = 0,5$ L/min ST-16 = 60°C flujos en paralelo.



Fuente. Lecturas en el laboratorio.

Figura 109. Comp. Temperaturas. $Q_h = 0,5$ L/min ST-16 = 60°C flujos en paralelo.



Fuente. Lecturas en el laboratorio.

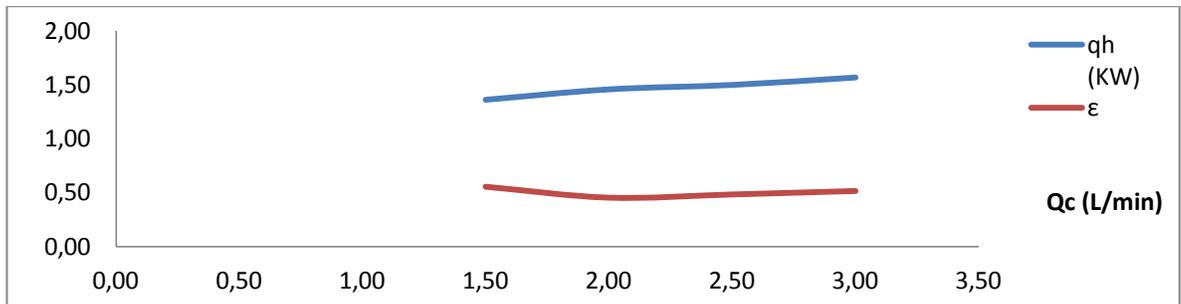
Flujos en contracorriente – flujo frio – exterior, flujo caliente – interior.

Tabla 55. Hoja de datos. $Q_h = 2,0$ L/min ST-16 = 60°C flujos en contracorriente.

ST-1 (°C)	ST-3 (°C)	ST-5 (°C)	ST-7 (°C)	ST-9 (°C)	ST-2 (°C)	ST-4 (°C)	ST-6 (°C)	ST-8 (°C)	ST-10 (°C)	ST-11 (°C)	ST-12 (°C)	Qc (L/min)
43,10	40,00	37,20	33,90	30,70	54,50	52,30	50,00	47,20	44,70	53,30	43,90	1,50
42,20	39,10	36,50	33,70	31,00	54,30	51,70	49,10	46,10	43,80	53,20	43,10	2,00
41,40	38,70	36,40	34,00	31,80	54,20	51,30	48,50	45,60	43,40	53,10	42,40	2,50
40,60	38,20	36,20	34,00	32,00	54,00	50,80	47,80	44,90	42,70	53,10	41,90	3,00
Qh (L/min)	X	Qc (m3/Seg)	Qh (m3/Seg)	ρ_c (Kg/m3)	ρ_h (Kg/m3)	CPc(J /Kg°C)	CPh(J /Kg°C)	\dot{m}_c (Kg/Seg)	\dot{m}_h (Kg/Seg)	v (m/Seg)	μ (N Seg/m²)	AT (m²)
2,00	43,10	0,0000250	0,0000333	991,39	997,03	4177,38	4178,47	0,02478	0,03323	0,663165	0,000798	0,000050
2,00	42,20	0,0000333	0,0000333	991,65	997,03	4177,56	4178,33	0,03306	0,03323	0,663165	0,000798	0,000050
2,00	41,40	0,0000417	0,0000333	991,89	997,03	4177,72	4178,21	0,04133	0,03323	0,663165	0,000798	0,000050
2,00	40,60	0,0000500	0,0000333	992,12	997,03	4177,88	4178,09	0,04961	0,03323	0,663165	0,000798	0,000050
A (m²)	ΔT_c (°C)	ΔT_h (°C)	qc (KW)	qh (KW)	Cc (W/°C)	Ch(W/°C)	qmax (KW)	ΔT_{lm} (°C)	ϵ	U (KW/m² °C)	ntu	Re
0,04084	12,40	9,80	1,2838	1,36	103,53	138,87	2,46	12,6555	0,55	2,63	1,04	6628,54
0,04084	11,20	10,50	1,5466	1,46	138,09	138,86	3,22	12,4467	0,45	2,87	0,85	6628,54
0,04084	9,60	10,80	1,6575	1,50	172,66	138,86	3,11	12,1902	0,48	3,01	0,71	6628,54
0,04084	8,60	11,30	1,7823	1,57	207,25	138,86	3,05	11,9994	0,51	3,20	0,63	6628,54

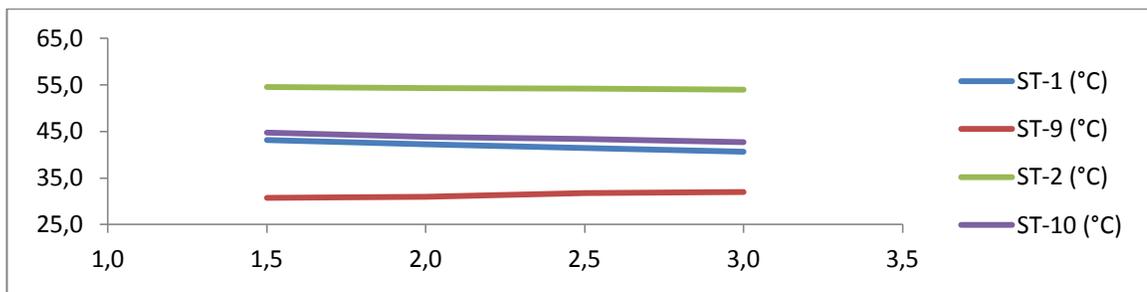
Fuente. Lecturas en el laboratorio.

Figura 110. Q_h Vs ϵ $Q_h = 2,0$ L/min ST-16 = 60°C flujos en contracorriente.



Fuente. Lecturas en el laboratorio.

Figura 111. Comp. Temperaturas. $Q_h = 2,0$ L/min ST-16 = 60°C flujos en contracorriente.



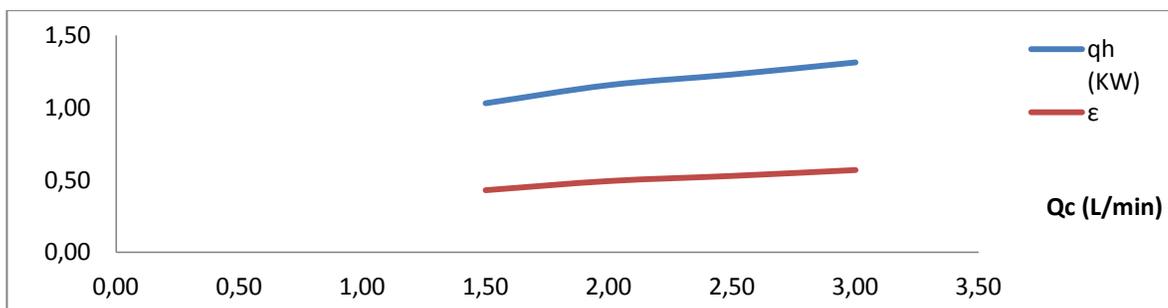
Fuente. Lecturas en el laboratorio.

Tabla 56. Hoja de datos. $Q_h = 1,5 \text{ L/min ST-16} = 60^\circ\text{C}$ flujos en contracorriente.

ST-1 (°C)	ST-3 (°C)	ST-5 (°C)	ST-7 (°C)	ST-9 (°C)	ST-2 (°C)	ST-4 (°C)	ST-6 (°C)	ST-8 (°C)	ST-10 (°C)	ST-11 (°C)	ST-12 (°C)	Qc (L/min)
43,00	40,10	37,30	34,40	31,50	54,70	52,10	49,60	46,90	44,80	53,70	43,80	1,50
41,60	38,90	36,60	34,10	32,00	54,50	51,40	48,50	45,50	43,40	53,60	42,60	2,00
40,50	38,10	35,80	33,70	31,90	54,20	50,80	47,60	44,70	42,40	53,30	41,70	2,50
39,10	37,40	35,30	33,60	32,00	54,10	50,30	46,90	43,80	41,50	53,20	40,90	3,00
Qh (L/min)	X	Qc (m3/Seg)	Qh (m3/Seg)	ρ_c (Kg/m3)	ρ_h (Kg/m3)	CPc(J /Kg°C)	CPh(J /Kg°C)	\dot{m}_c (Kg/Seg)	\dot{m}_h (Kg/Seg)	v (m/Seg)	μ (N Seg/m²)	AT (m²)
1,50	43,00	0,0000250	0,0000250	991,42	997,03	4177,40	4178,45	0,02479	0,02493	0,497374	0,000798	0,000050
1,50	41,60	0,0000333	0,0000250	991,83	997,03	4177,68	4178,24	0,03306	0,02493	0,497374	0,000798	0,000050
1,50	40,50	0,0000417	0,0000250	992,15	997,03	4177,90	4178,08	0,04134	0,02493	0,497374	0,000798	0,000050
1,50	39,10	0,0000500	0,0000250	992,57	997,03	4178,18	4177,87	0,04963	0,02493	0,497374	0,000798	0,000050
A (m²)	ΔT_c (°C)	ΔT_h (°C)	qc (KW)	qh (KW)	Cc (W/°C)	Ch(W/°C)	qmax (KW)	ΔT_{lm} (°C)	ϵ	U (KW/m² °C)	ntu	Re
0,04084	11,50	9,90	1,1907	1,03	103,54	104,15	2,40	12,4829	0,43	2,02	0,80	4971,41
0,04084	9,60	11,10	1,3259	1,16	138,12	104,15	2,34	12,1346	0,49	2,33	0,69	4971,41
0,04084	8,60	11,80	1,4853	1,23	172,71	104,14	2,32	12,0291	0,53	2,50	0,59	4971,41
0,04084	7,10	12,60	1,4722	1,31	207,36	104,14	2,30	12,0414	0,57	2,67	0,53	4971,41

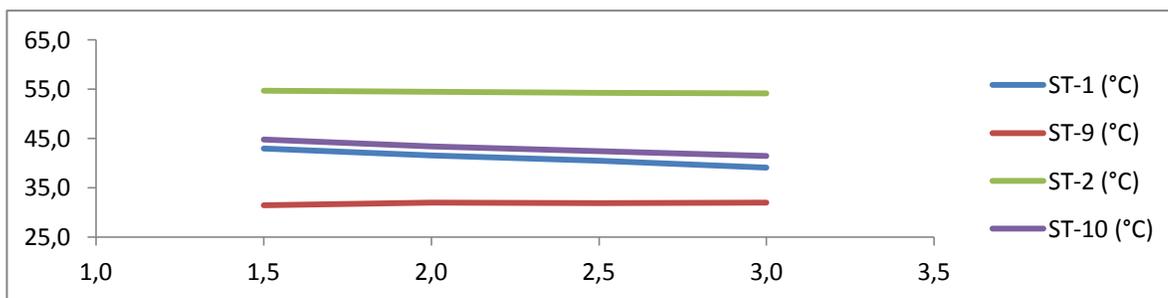
Fuente. Lecturas en el laboratorio.

Figura 112. Q_h Vs ϵ $Q_h = 1,5 \text{ L/min ST-16} = 60^\circ\text{C}$ flujos en contracorriente.



Fuente. Lecturas en el laboratorio.

Figura 113. Comp. Temperaturas. $Q_h = 1,5 \text{ L/min ST-16} = 60^\circ\text{C}$ flujos en contracorriente.



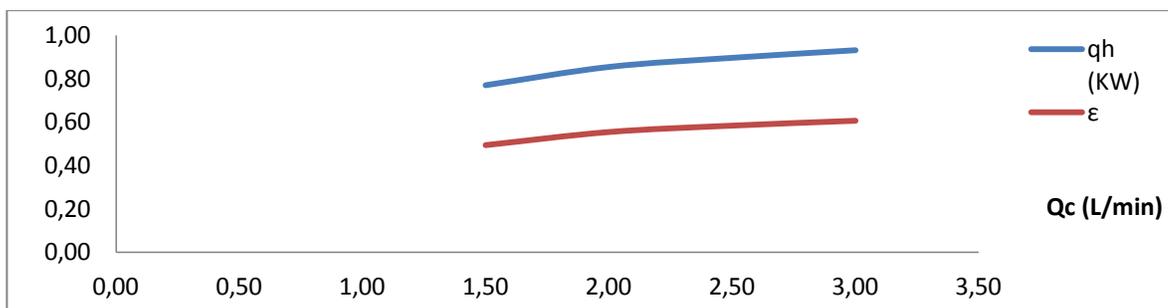
Fuente. Lecturas en el laboratorio.

Tabla 57. Hoja de datos. $Q_h = 1,0$ L/min ST-16 = 60°C flujos en contracorriente.

ST-1 (°C)	ST-3 (°C)	ST-5 (°C)	ST-7 (°C)	ST-9 (°C)	ST-2 (°C)	ST-4 (°C)	ST-6 (°C)	ST-8 (°C)	ST-10 (°C)	ST-11 (°C)	ST-12 (°C)	Qc (L/min)
41,60	38,80	36,40	33,90	31,60	54,10	51,10	48,20	45,20	43,00	53,20	42,00	1,50
40,20	37,70	35,60	33,50	31,90	54,10	50,30	47,10	44,10	41,80	53,10	40,90	2,00
39,10	36,90	35,20	33,30	31,90	54,00	49,90	46,30	43,20	41,10	53,10	40,20	2,50
38,60	36,50	34,90	33,30	31,90	54,00	49,60	46,10	42,80	40,60	53,20	39,80	3,00
Qh (L/min)	X	Qc (m3/Seg)	Qh (m3/Seg)	ρ_c (Kg/m3)	ρ_h (Kg/m3)	CPc(J /Kg°C)	CPh(J /Kg°C)	\dot{m}_c (Kg/Seg)	\dot{m}_h (Kg/Seg)	v (m/Seg)	μ (N Seg/m²)	AT (m²)
1,00	41,60	0,0000250	0,0000167	991,83	997,03	4177,68	4178,24	0,02480	0,01662	0,331583	0,000798	0,000050
1,00	40,20	0,0000333	0,0000167	992,24	997,03	4177,96	4178,03	0,03307	0,01662	0,331583	0,000798	0,000050
1,00	39,10	0,0000417	0,0000167	992,57	997,03	4178,18	4177,87	0,04136	0,01662	0,331583	0,000798	0,000050
1,00	38,60	0,0000500	0,0000167	992,71	997,03	4178,28	4177,79	0,04964	0,01662	0,331583	0,000798	0,000050
A (m²)	ΔT_c (°C)	ΔT_h (°C)	qc (KW)	qh (KW)	Cc (W/°C)	Ch(W/°C)	qmax (KW)	ΔT_{lm} (°C)	ϵ	U (KW/m² °C)	ntu	Re
0,04084	10,00	11,10	1,0359	0,77	103,59	69,43	1,56	11,9416	0,49	1,58	0,62	3314,27
0,04084	8,30	12,30	1,1469	0,85	138,18	69,43	1,54	11,7871	0,55	1,77	0,52	3314,27
0,04084	7,20	12,90	1,2441	0,90	172,80	69,42	1,53	11,8219	0,58	1,86	0,44	3314,27
0,04084	6,70	13,40	1,3895	0,93	207,39	69,42	1,53	11,7329	0,61	1,94	0,38	3314,27

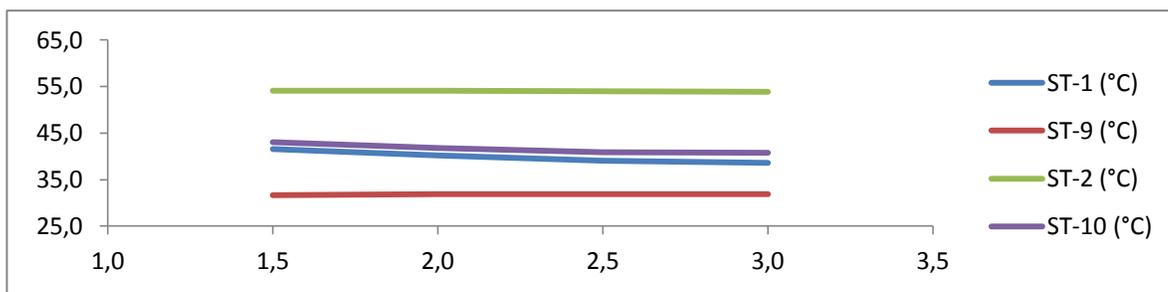
Fuente. Lecturas en el laboratorio.

Figura 114. Q_h Vs ϵ $Q_h = 1,0$ L/min ST-16 = 60°C flujos en contracorriente.



Fuente. Lecturas en el laboratorio.

Figura 115. Comp. Temperaturas. $Q_h = 1,0$ L/min ST-16 = 60°C flujos en contracorriente.



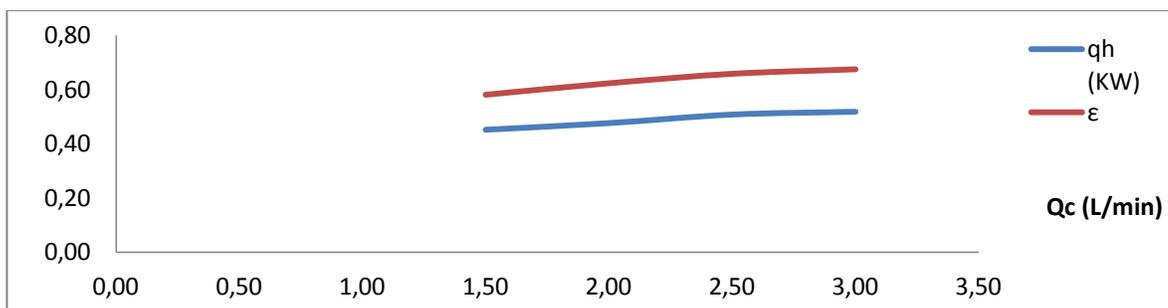
Fuente. Lecturas en el laboratorio.

Tabla 58. Hoja de datos. $Q_h = 0,5 \text{ L/min ST-16} = 60^\circ\text{C}$ flujos en contracorriente.

ST-1 (°C)	ST-3 (°C)	ST-5 (°C)	ST-7 (°C)	ST-9 (°C)	ST-2 (°C)	ST-4 (°C)	ST-6 (°C)	ST-8 (°C)	ST-10 (°C)	ST-11 (°C)	ST-12 (°C)	Qc (L/min)
39,70	37,20	35,20	33,40	31,80	54,20	50,00	46,60	43,30	41,20	53,30	40,40	1,50
38,50	36,40	34,70	33,10	31,90	53,90	49,30	45,60	42,40	40,20	52,90	39,40	2,00
37,50	35,60	34,20	32,90	31,80	54,00	48,80	44,90	41,70	39,40	53,10	38,70	2,50
37,00	35,10	33,90	32,70	31,80	53,90	48,60	44,50	41,10	39,00	53,20	38,40	3,00
Qh (L/min)	X	Qc (m3/Seg)	Qh (m3/Seg)	ρ_c (Kg/m3)	ρ_h (Kg/m3)	CPc(J /Kg°C)	CPh(J /Kg°C)	\dot{m}_c (Kg/Seg)	\dot{m}_h (Kg/Seg)	v (m/Seg)	μ (N Seg/m²)	AT (m²)
0,50	39,70	0,0000250	0,0000083	992,39	997,03	4178,06	4177,96	0,02481	0,00831	0,165791	0,000798	0,000050
0,50	38,50	0,0000333	0,0000083	992,74	997,03	4178,30	4177,78	0,03309	0,00831	0,165791	0,000798	0,000050
0,50	37,50	0,0000417	0,0000083	993,04	997,03	4178,50	4177,63	0,04138	0,00831	0,165791	0,000798	0,000050
0,50	37,00	0,0000500	0,0000083	993,19	997,03	4178,60	4177,55	0,04966	0,00831	0,165791	0,000798	0,000050
A (m²)	ΔT_c (°C)	ΔT_h (°C)	qc (KW)	qh (KW)	Cc (W/°C)	Ch(W/°C)	qmax (KW)	ΔT_{lm} (°C)	ϵ	U (KW/m² °C)	ntu	Re
0,04084	7,90	13,00	0,8189	0,45	103,66	34,71	0,78	11,7664	0,58	0,94	0,37	1657,14
0,04084	6,60	13,70	0,9126	0,48	138,27	34,71	0,76	11,4866	0,62	1,01	0,30	1657,14
0,04084	5,70	14,60	0,9855	0,51	172,89	34,71	0,77	11,4807	0,66	1,08	0,26	1657,14
0,04084	5,20	14,90	1,0790	0,52	207,51	34,71	0,77	11,3685	0,67	1,11	0,22	1657,14

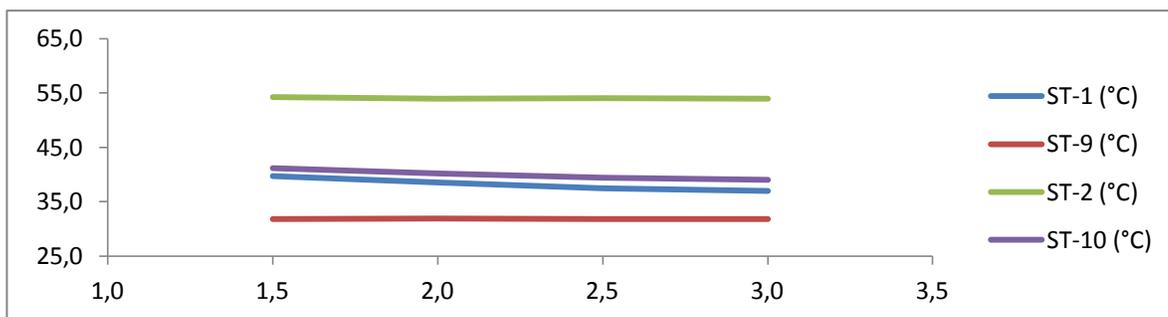
Fuente. Lecturas en el laboratorio.

Figura 116. Q_h Vs ϵ $Q_h = 0,5 \text{ L/min ST-16} = 60^\circ\text{C}$ flujos en contracorriente.



Fuente. Lecturas en el laboratorio.

Figura 117. Comp. Temperaturas. $Q_h = 0,5 \text{ L/min ST-16} = 60^\circ\text{C}$ flujos en contracorriente.



Fuente. Lecturas en el laboratorio.

Una vez terminadas las mediciones se procede a intercambiar las mangueras en la entrada del intercambiador para experimentar, determinar y hacer comparaciones respecto a las eficiencias en este tipo de configuración.

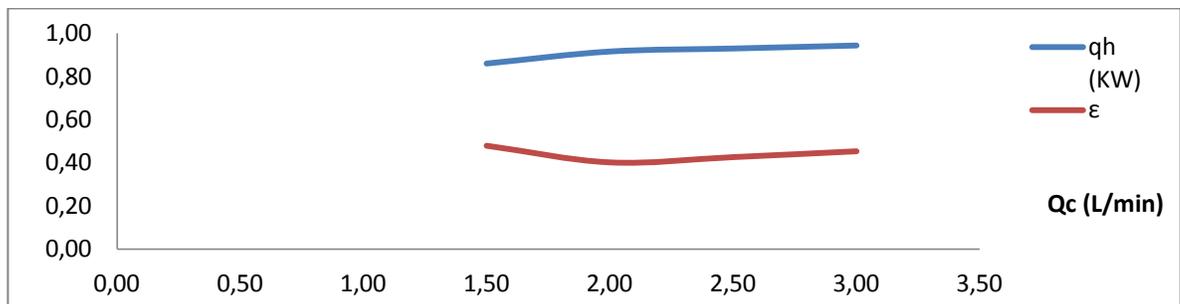
Flujos en paralelo – flujo frio exterior – flujo caliente interior.

Tabla 59. Hoja de datos. $Q_h = 2,0$ L/min ST-16 = 50°C flujos en paralelo.

ST-1 (°C)	ST-3 (°C)	ST-5 (°C)	ST-7 (°C)	ST-9 (°C)	ST-2 (°C)	ST-4 (°C)	ST-6 (°C)	ST-8 (°C)	ST-10 (°C)	ST-11 (°C)	ST-12 (°C)	Qc (L/min)
46,90	44,30	42,80	41,70	40,70	29,50	32,90	35,00	36,20	37,10	29,50	36,60	1,50
46,30	43,60	41,90	40,60	39,70	29,80	32,60	34,50	35,40	36,20	29,90	35,80	2,00
45,80	43,00	41,30	40,00	39,10	30,10	32,60	34,20	35,00	35,80	30,20	35,30	2,50
45,60	42,70	41,00	39,70	38,80	30,60	32,90	34,30	34,90	35,70	31,00	35,10	3,00
Qh (L/min)	X	Qc (m3/Seg)	Qh (m3/Seg)	ρ_c (Kg/m3)	ρ_h (Kg/m3)	CPc(J /Kg°C)	CPh(J /Kg°C)	\dot{m}_c (Kg/Seg)	\dot{m}_h (Kg/Seg)	v (m/Seg)	μ (N Seg/m²)	AT (m²)
2,00	46,90	0,0000250	0,0000333	990,26	997,03	4176,62	4179,04	0,02476	0,03323	0,663165	0,000798	0,000050
2,00	46,30	0,0000333	0,0000333	990,44	997,03	4176,74	4178,95	0,03301	0,03323	0,663165	0,000798	0,000050
2,00	45,80	0,0000417	0,0000333	990,59	997,03	4176,84	4178,87	0,04127	0,03323	0,663165	0,000798	0,000050
2,00	45,60	0,0000500	0,0000333	990,65	997,03	4176,88	4178,84	0,04953	0,03323	0,663165	0,000798	0,000050
A (m²)	ΔT_c (°C)	ΔT_h (°C)	qc (KW)	qh (KW)	Cc (W/°C)	Ch(W/°C)	qmax (KW)	ΔT_{lm} (°C)	ϵ	U (KW/m² °C)	ntu	Re
0,04084	7,60	6,20	0,7858	0,86	103,40	138,89	1,80	8,7589	0,48	2,41	0,95	6628,54
0,04084	6,40	6,60	0,8825	0,92	137,89	138,88	2,28	8,3839	0,40	2,68	0,79	6628,54
0,04084	5,70	6,70	0,9827	0,93	172,40	138,88	2,18	7,9501	0,43	2,86	0,68	6628,54
0,04084	5,10	6,80	1,0551	0,94	206,89	138,88	2,08	7,5477	0,45	3,06	0,60	6628,54

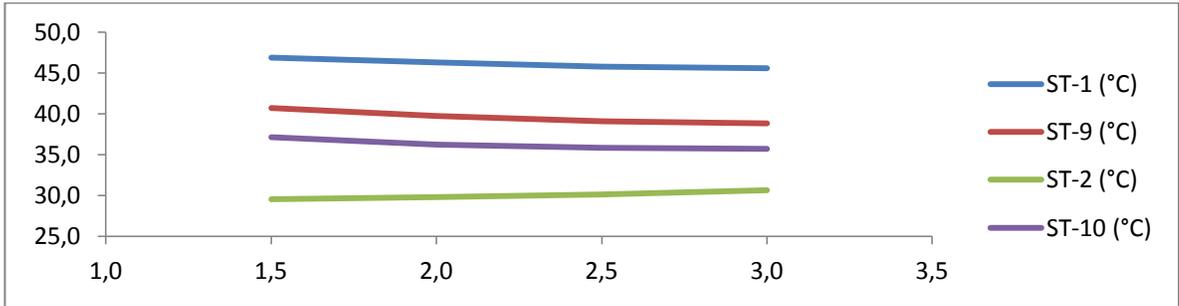
Fuente. Lecturas en el laboratorio.

Figura 118. Q_h Vs ϵ $Q_h = 2,0$ L/min ST-16 = 50°C flujos en paralelo.



Fuente. Lecturas en el laboratorio.

Figura 119. Comp. Temperaturas. $Q_h = 2,0$ L/min ST-16 = 50°C flujos en paralelo.



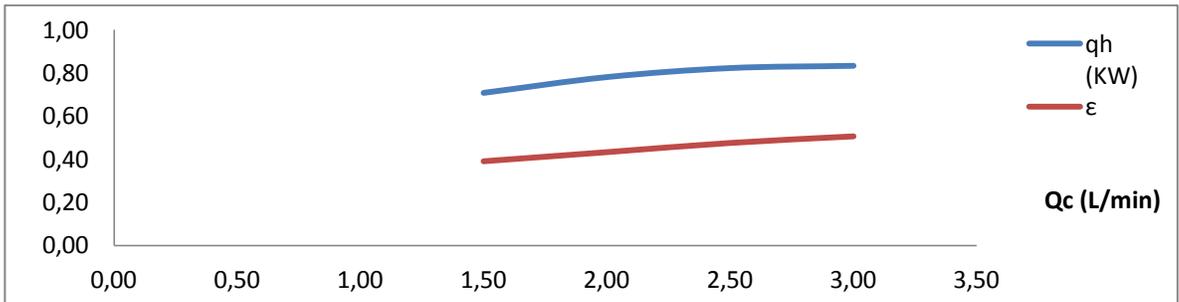
Fuente. Lecturas en el laboratorio.

Tabla 60. Hoja de datos. $Q_h = 1,5$ L/min ST-16 = 50°C flujos en paralelo.

ST-1 (°C)	ST-3 (°C)	ST-5 (°C)	ST-7 (°C)	ST-9 (°C)	ST-2 (°C)	ST-4 (°C)	ST-6 (°C)	ST-8 (°C)	ST-10 (°C)	ST-11 (°C)	ST-12 (°C)	Qc (L/min)
47,00	44,10	42,50	41,20	40,20	29,50	32,60	34,70	35,70	36,60	29,50	36,20	1,50
47,20	44,00	42,20	40,70	39,70	29,90	32,80	34,30	35,30	36,10	30,00	35,80	2,00
47,10	43,80	41,80	40,20	39,20	30,50	32,80	34,20	35,10	35,80	30,40	35,50	2,50
46,60	43,40	41,30	39,90	38,60	30,80	32,90	43,20	43,70	35,50	30,80	35,00	3,00
Qh (L/min)	X	Qc (m3/Seg)	Qh (m3/Seg)	ρc (Kg/m3)	ρh (Kg/m3)	CPc(J /Kg°C)	CPh(J /Kg°C)	ṁc (Kg/Seg)	ṁh (Kg/Seg)	v (m/Seg)	μ (N Seg/m²)	AT (m²)
1,50	47,00	0,0000250	0,0000250	990,24	997,03	4176,60	4179,05	0,02476	0,02493	0,497374	0,000798	0,000050
1,50	47,20	0,0000333	0,0000250	990,18	997,03	4176,56	4179,08	0,03301	0,02493	0,497374	0,000798	0,000050
1,50	47,10	0,0000417	0,0000250	990,21	997,03	4176,58	4179,07	0,04126	0,02493	0,497374	0,000798	0,000050
1,50	46,60	0,0000500	0,0000250	990,35	997,03	4176,68	4178,99	0,04952	0,02493	0,497374	0,000798	0,000050
A (m²)	ΔTc (°C)	ΔTh (°C)	qc (KW)	qh (KW)	Cc (W/°C)	Ch(W/°C)	qmax (KW)	ΔTlm (°C)	ε	U (KW/m² °C)	ntu	Re
0,04084	7,10	6,80	0,7341	0,71	103,40	104,17	1,81	8,7904	0,39	1,97	0,78	4971,41
0,04084	6,20	7,50	0,8547	0,78	137,85	104,17	1,80	8,7274	0,43	2,19	0,65	4971,41
0,04084	5,30	7,90	0,9133	0,82	172,32	104,17	1,73	8,3248	0,48	2,42	0,57	4971,41
0,04084	4,70	8,00	0,9721	0,83	206,82	104,16	1,65	7,7981	0,51	2,62	0,52	4971,41

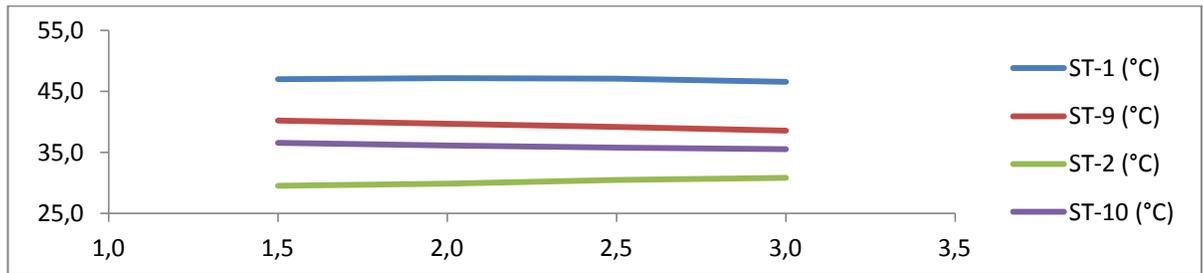
Fuente. Lecturas en el laboratorio.

Figura 120. Q_h Vs ϵ $Q_h = 1,5$ L/min ST-16 = 50°C flujos en paralelo.



Fuente. Lecturas en el laboratorio.

Figura 121. Comp. Temperaturas. $Q_h = 1,5$ L/min ST-16 = 50°C flujos en paralelo.



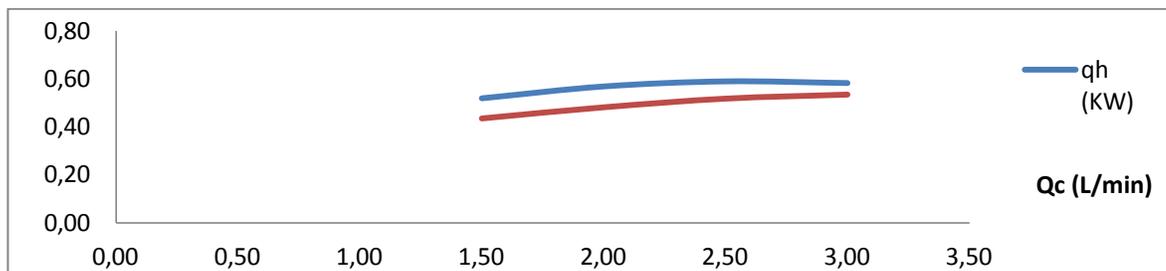
Fuente. Lecturas en el laboratorio.

Tabla 61. Hoja de datos. $Q_h = 1,0$ L/min ST-16 = 50°C flujos en paralelo.

ST-1 (°C)	ST-3 (°C)	ST-5 (°C)	ST-7 (°C)	ST-9 (°C)	ST-2 (°C)	ST-4 (°C)	ST-6 (°C)	ST-8 (°C)	ST-10 (°C)	ST-11 (°C)	ST-12 (°C)	Qc (L/min)
47,10	44,00	42,20	40,60	39,60	29,90	32,60	43,30	35,20	36,10	30,00	35,60	1,50
46,60	43,20	41,10	39,50	38,40	29,60	31,90	33,40	34,00	34,80	29,90	34,50	2,00
46,10	42,40	30,40	38,80	37,60	29,70	31,50	32,70	33,40	34,00	29,90	33,80	2,50
45,30	41,80	39,70	38,00	36,90	29,60	31,20	32,30	32,90	33,40	29,80	32,90	3,00
Qh (L/min)	X	Qc (m3/Seg)	Qh (m3/Seg)	ρ_c (Kg/m3)	ρ_h (Kg/m3)	CPc(J /Kg°C)	CPh(J /Kg°C)	\dot{m}_c (Kg/Seg)	\dot{m}_h (Kg/Seg)	v (m/Seg)	μ (N Seg/m²)	AT (m²)
1,00	47,10	0,0000250	0,0000167	990,21	997,03	4176,58	4179,07	0,02476	0,01662	0,3315826	0,000798 0	0,000050 3
1,00	46,60	0,0000333	0,0000167	990,35	997,03	4176,68	4178,99	0,03301	0,01662	0,3315826	0,000798 0	0,000050 3
1,00	46,10	0,0000417	0,0000167	990,50	997,03	4176,78	4178,92	0,04127	0,01662	0,3315826	0,000798 0	0,000050 3
1,00	45,30	0,0000500	0,0000167	990,74	997,03	4176,94	4178,80	0,04954	0,01662	0,3315826	0,000798 0	0,000050 3
A (m²)	ΔT_c (°C)	ΔT_h (°C)	qc (KW)	qh (KW)	Cc (W/°C)	Ch(W/°C)	qmax (KW)	ΔT_{lm} (°C)	ϵ	U (KW/m² °C)	ntu	Re
0,04084	6,20	7,50	0,6410	0,52	103,39	69,44	1,19	8,6047	0,44	1,48	0,59	3314,27
0,04084	5,20	8,20	0,7170	0,57	137,88	69,44	1,18	8,6325	0,48	1,61	0,48	3314,27
0,04084	4,30	8,50	0,7412	0,59	172,38	69,44	1,14	8,4413	0,52	1,71	0,41	3314,27
0,04084	3,80	8,40	0,7863	0,58	206,91	69,44	1,09	8,1285	0,53	1,76	0,35	3314,27

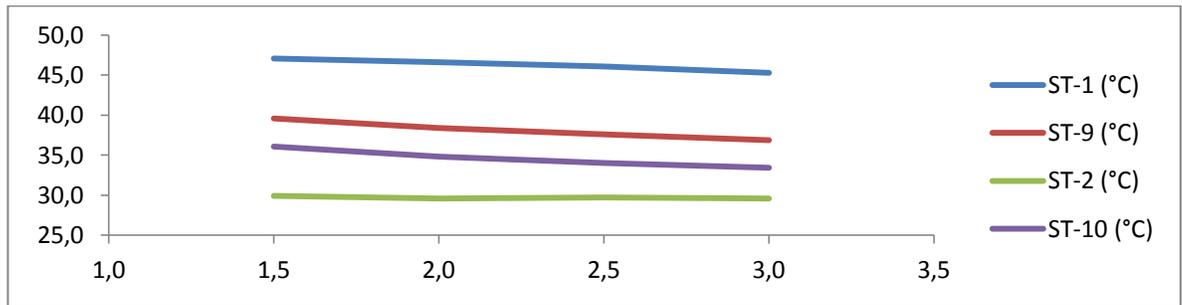
Fuente. Lecturas en el laboratorio.

Figura 122. Q_h Vs ϵ $Q_h = 1,0$ L/min ST-16 = 50°C flujos en paralelo.



Fuente. Lecturas en el laboratorio.

Figura 123. Comp. Temperaturas. $Q_h = 1,0$ L/min ST-16 = 50°C flujos en paralelo.



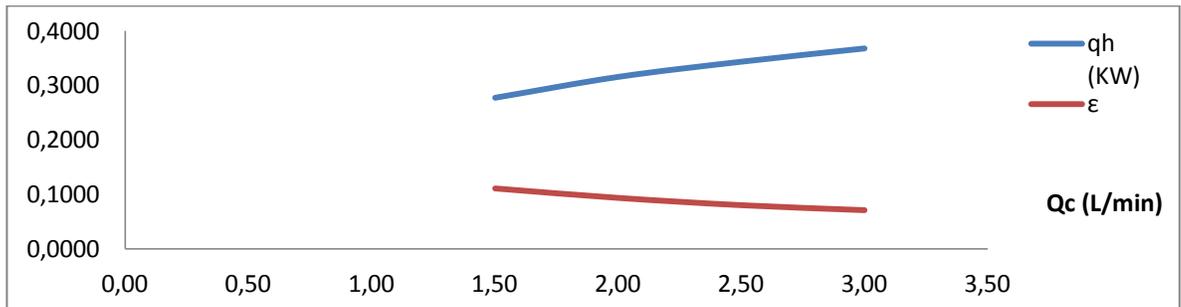
Fuente. Lecturas en el laboratorio.

Tabla 62. Hoja de datos. $Q_h = 0,5$ L/min ST-16 = 50°C flujos en paralelo.

ST-1 (°C)	ST-3 (°C)	ST-5 (°C)	ST-7 (°C)	ST-9 (°C)	ST-2 (°C)	ST-4 (°C)	ST-6 (°C)	ST-8 (°C)	ST-10 (°C)	ST-11 (°C)	ST-12 (°C)	Qc (L/min)
47,00	43,50	41,30	39,70	38,40	30,10	32,40	33,80	34,50	35,10	30,20	34,90	1,50
46,90	43,10	40,80	39,00	37,60	30,00	32,00	33,30	33,80	34,50	30,20	34,20	2,00
46,70	42,80	40,30	38,50	36,90	30,20	31,80	32,90	33,30	33,80	30,30	33,70	2,50
46,60	42,60	40,00	38,00	36,70	30,30	31,80	32,70	33,00	33,60	30,50	33,30	3,00
Qh (L/min)	X	Qc (m3/Seg)	Qh (m3/Seg)	ρ_c (Kg/m3)	ρ_h (Kg/m3)	CPc(J /Kg°C)	CPh(J /Kg°C)	\dot{m}_c (Kg/Seg)	\dot{m}_h (Kg/Seg)	v (m/Seg)	μ (N Seg/m²)	AT (m²)
0,50	47,00	0,0000250	0,0000083	990,235	997,03	4176,60	4179,05	0,02	0,00831	0,1657913	0,000798 0	0,000050 3
0,50	46,90	0,0000333	0,0000083	990,2645	997,03	4176,62	4179,04	0,03	0,00831	0,1657913	0,000798 0	0,000050 3
0,50	46,70	0,0000417	0,0000083	990,3235	997,03	4176,66	4179,01	0,04	0,00831	0,1657913	0,000798 0	0,000050 3
0,50	46,60	0,0000500	0,0000083	990,353	997,03	4176,68	4178,99	0,05	0,00831	0,1657913	0,000798 0	0,000050 3
A (m²)	ΔT_c (°C)	ΔT_h (°C)	qc (KW)	qh (KW)	Cc (W/°C)	Ch(W/°C)	qmax (KW)	ΔT_{lm} (°C)	ϵ	U (KW/m² °C)	ntu	Re
0,04084	5,00	8,60	0,5170	0,2984	103,40	34,72	0,59	8,33	0,51	0,88	0,35	1657,14
0,04084	4,50	9,30	0,6204	0,3227	137,87	34,72	0,59	8,14	0,55	0,97	0,29	1657,14
0,04084	3,60	9,80	0,6204	0,3401	172,34	34,72	0,57	8,01	0,59	1,04	0,25	1657,14
0,04084	3,30	9,90	0,6825	0,3436	206,8194	34,7216	0,5660	7,9529	0,61	1,06	0,21	1657,14

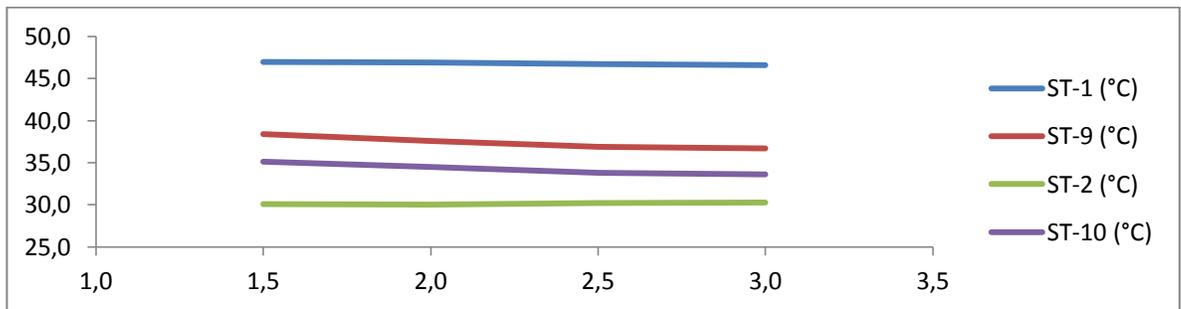
Fuente. Lecturas en el laboratorio.

Figura 124. Q_h Vs ϵ $Q_h = 0,5$ L/min ST-16 = 50°C flujos en paralelo.



Fuente. Lecturas en el laboratorio.

Figura 125. Comp. Temperaturas. $Q_h = 0,5$ L/min ST-16 = 50°C flujos en paralelo.



Fuente. Lecturas en el laboratorio.

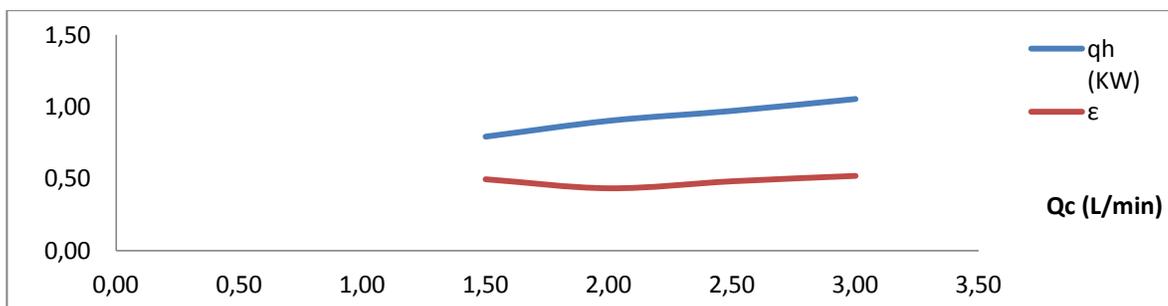
Flujos en contracorriente – flujo frio interior –, flujo caliente exterior.

Tabla 63. Hoja de datos. $Q_h = 2,0$ L/min ST-16 = 50°C flujos en contracorriente.

ST-1 (°C)	ST-3 (°C)	ST-5 (°C)	ST-7 (°C)	ST-9 (°C)	ST-2 (°C)	ST-4 (°C)	ST-6 (°C)	ST-8 (°C)	ST-10 (°C)	ST-11 (°C)	ST-12 (°C)	Qc (L/min)
45,70	44,90	43,50	41,80	40,00	38,30	36,50	34,60	32,30	30,30	38,00	30,10	1,50
45,80	44,50	43,00	41,20	39,30	37,60	36,00	34,20	32,20	30,70	37,30	30,50	2,00
45,90	44,30	42,60	40,70	38,90	37,10	35,60	34,00	32,40	31,40	36,90	30,90	2,50
45,20	43,20	41,30	39,30	37,60	35,70	34,20	32,80	31,30	30,60	35,00	29,80	3,00
Qh (L/min)	X	Qc (m3/Seg)	Qh (m3/Seg)	ρ_c (Kg/m3)	ρ_h (Kg/m3)	CPc(J /Kg°C)	CPh(J /Kg°C)	\dot{m}_c (Kg/Seg)	\dot{m}_h (Kg/Seg)	v (m/Seg)	μ (N Seg/m²)	AT (m²)
2,00	45,70	0,0000250	0,0000333	990,62	997,03	4176,86	4178,86	0,02	0,03323	0,663165	0,000798	0,000050
2,00	45,80	0,0000333	0,0000333	990,59	997,03	4176,84	4178,87	0,03	0,03323	0,663165	0,000798	0,000050
2,00	45,90	0,0000417	0,0000333	990,56	997,03	4176,82	4178,89	0,04	0,03323	0,663165	0,000798	0,000050
2,00	45,20	0,0000500	0,0000333	990,77	997,03	4176,96	4178,78	0,05	0,03323	0,663165	0,000798	0,000050
A (m²)	ΔT_c (°C)	ΔT_h (°C)	qc (KW)	qh (KW)	Cc (W/°C)	Ch(W/°C)	qmax (KW)	ΔT_{lm} (°C)	ϵ	U (KW/m² °C)	ntu	Re
0,04084	8,00	5,70	0,8275	0,79	103,44	138,88	1,59	8,50	0,50	2,28	0,90	6628,54
0,04084	6,90	6,50	0,9516	0,90	137,92	138,88	2,08	8,40	0,43	2,63	0,78	6628,54
0,04084	5,70	7,00	0,9826	0,97	172,39	138,88	2,01	8,13	0,48	2,93	0,69	6628,54
0,04084	5,10	7,60	1,0553	1,06	206,92	138,88	2,03	8,19	0,52	3,16	0,62	6628,54

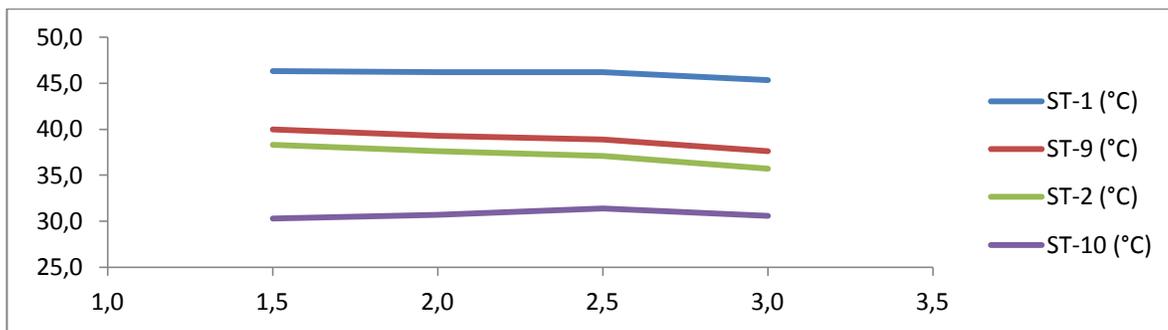
Fuente. Lecturas en el laboratorio.

Figura 126. Q_h Vs ϵ . $Q_h = 2,0$ L/min ST-16 = 50°C flujos en contracorriente.



Fuente. Lecturas en el laboratorio.

Figura 127. Comp. Temperaturas. $Q_h = 2,0$ L/min ST-16 = 50°C flujos en contracorriente.



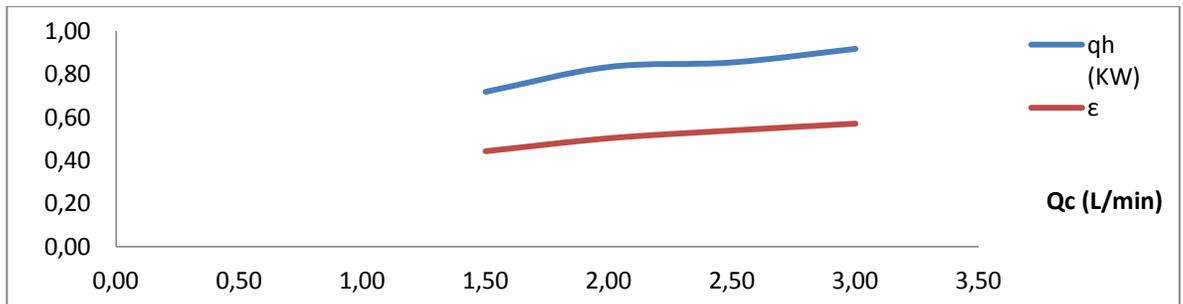
Fuente. Lecturas en el laboratorio.

Tabla 64. Hoja de datos. $Q_h = 1,5 \text{ L/min ST-16} = 50^\circ\text{C}$ flujos en contracorriente.

ST-1 (°C)	ST-3 (°C)	ST-5 (°C)	ST-7 (°C)	ST-9 (°C)	ST-2 (°C)	ST-4 (°C)	ST-6 (°C)	ST-8 (°C)	ST-10 (°C)	ST-11 (°C)	ST-12 (°C)	Qc (L/min)
46,30	44,60	43,10	41,10	39,40	37,40	36,10	34,20	32,10	30,60	37,50	30,30	1,50
46,80	44,70	42,80	40,70	38,80	36,60	35,60	33,80	32,20	30,90	37,10	30,60	2,00
46,40	44,10	42,20	40,10	38,20	35,90	35,00	33,60	32,00	31,20	36,50	30,80	2,50
46,80	45,00	43,40	41,50	38,00	36,00	35,80	34,40	32,10	31,40	37,90	30,20	3,00
Qh (L/min)	X	Qc (m3/Seg)	Qh (m3/Seg)	ρ_c (Kg/m3)	ρ_h (Kg/m3)	CPc(J /Kg°C)	CPh(J /Kg°C)	\dot{m}_c (Kg/Seg)	\dot{m}_h (Kg/Seg)	v (m/Seg)	μ (N Seg/m²)	AT (m²)
1,50	46,30	0,0000250	0,0000250	990,44	997,03	4176,74	4178,95	0,02	0,02493	0,497374	0,000798	0,000050
1,50	46,80	0,0000333	0,0000250	990,29	997,03	4176,64	4179,02	0,03	0,02493	0,497374	0,000798	0,000050
1,50	46,40	0,0000417	0,0000250	990,41	997,03	4176,72	4178,96	0,04	0,02493	0,497374	0,000798	0,000050
1,50	46,80	0,0000500	0,0000250	990,29	997,03	4176,64	4179,02	0,05	0,02493	0,497374	0,000798	0,000050
A (m²)	ΔT_c (°C)	ΔT_h (°C)	qc (KW)	qh (KW)	Cc (W/°C)	Ch(W/°C)	qmax (KW)	ΔT_{lm} (°C)	ϵ	U (KW/m² °C)	ntu	Re
0,04084	6,80	6,90	0,7033	0,72	103,42	104,16	1,62	8,85	0,44	1,99	0,78	4971,41
0,04084	5,70	8,00	0,7859	0,83	137,87	104,17	1,66	9,00	0,50	2,27	0,67	4971,41
0,04084	4,70	8,20	0,8101	0,85	172,36	104,16	1,58	8,63	0,54	2,42	0,57	4971,41
0,04084	4,60	8,80	0,9513	0,92	206,81	104,17	1,60	8,53	0,57	2,63	0,52	4971,41

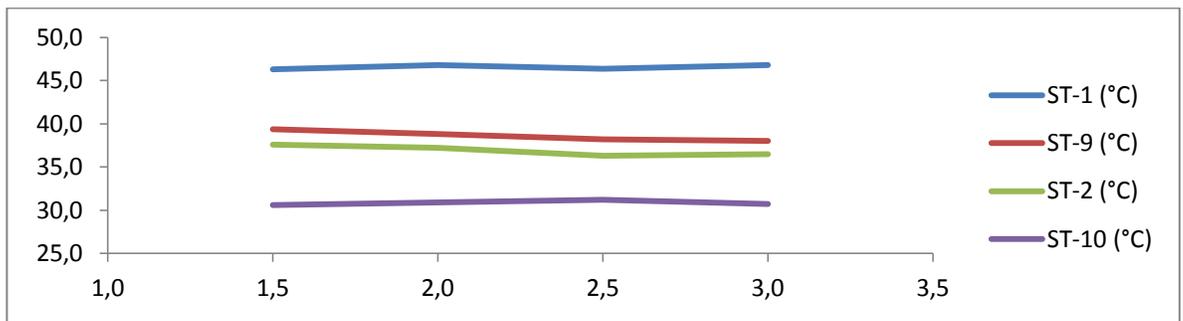
Fuente. Lecturas en el laboratorio.

Figura 128. Q_h Vs ϵ . $Q_h = 1,5 \text{ L/min ST-16} = 50^\circ\text{C}$ flujos en contracorriente.



Fuente. Lecturas en el laboratorio.

Figura 129. Comp. Temperaturas. $Q_h = 1,5 \text{ L/min ST-16} = 50^\circ\text{C}$ flujos en contracorriente.



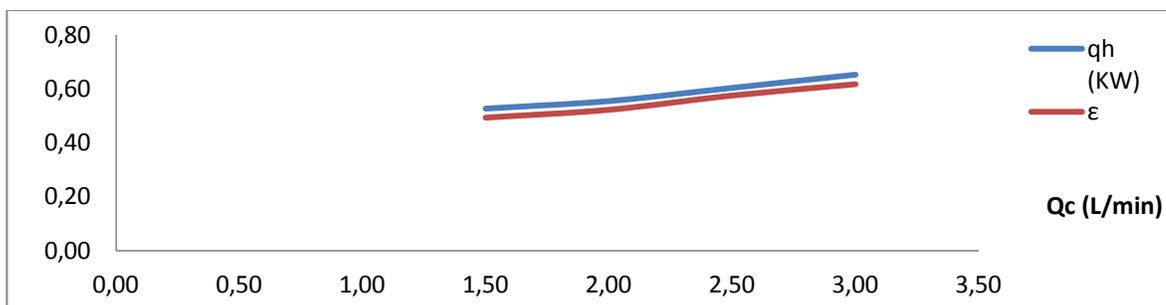
Fuente. Lecturas en el laboratorio.

Tabla 65. Hoja de datos. $Q_h = 1,0 \text{ L/min ST-16} = 50^\circ\text{C}$ flujos en contracorriente.

ST-1 (°C)	ST-3 (°C)	ST-5 (°C)	ST-7 (°C)	ST-9 (°C)	ST-2 (°C)	ST-4 (°C)	ST-6 (°C)	ST-8 (°C)	ST-10 (°C)	ST-11 (°C)	ST-12 (°C)	Qc (L/min)
45,80	43,90	42,10	40,00	38,20	36,30	35,00	33,40	31,50	30,40	36,20	30,40	1,50
45,70	43,60	41,50	39,40	37,70	35,50	34,40	33,10	31,50	30,40	36,20	30,40	2,00
46,40	43,80	41,60	39,50	37,70	35,60	34,60	33,30	32,10	31,30	35,60	31,10	2,50
46,70	44,00	41,50	39,20	37,30	35,10	34,20	33,00	31,90	31,50	35,50	31,10	3,00
Qh (L/min)	X	Qc (m3/Seg)	Qh (m3/Seg)	ρ_c (Kg/m3)	ρ_h (Kg/m3)	CPc(J/Kg°C)	CPh(J/Kg°C)	\dot{m}_c (Kg/Seg)	\dot{m}_h (Kg/Seg)	v (m/Seg)	μ (N/Seg/m²)	AT (m²)
1,00	45,80	0,0000250	0,0000167	990,59	997,03	4176,84	4178,87	0,02	0,01662	0,331583	0,000798	0,000050
1,00	45,70	0,0000333	0,0000167	990,62	997,03	4176,86	4178,86	0,03	0,01662	0,331583	0,000798	0,000050
1,00	46,40	0,0000417	0,0000167	990,41	997,03	4176,72	4178,96	0,04	0,01662	0,331583	0,000798	0,000050
1,00	46,70	0,0000500	0,0000167	990,32	997,03	4176,66	4179,01	0,05	0,01662	0,331583	0,000798	0,000050
A (m²)	ΔT_c (°C)	ΔT_h (°C)	qc (KW)	qh (KW)	Cc (W/°C)	Ch(W/°C)	qmax (KW)	ΔT_{lm} (°C)	ϵ	U (KW/m² °C)	ntu	Re
0,04084	5,90	7,60	0,6103	0,53	103,44	69,44	1,07	8,62	0,49	1,50	0,59	3314,27
0,04084	5,10	8,00	0,7034	0,56	137,92	69,44	1,06	8,67	0,52	1,57	0,46	3314,27
0,04084	4,30	8,70	0,7412	0,60	172,36	69,44	1,05	8,41	0,58	1,76	0,42	3314,27
0,04084	3,60	9,40	0,7445	0,65	206,81	69,44	1,06	8,37	0,62	1,91	0,38	3314,27

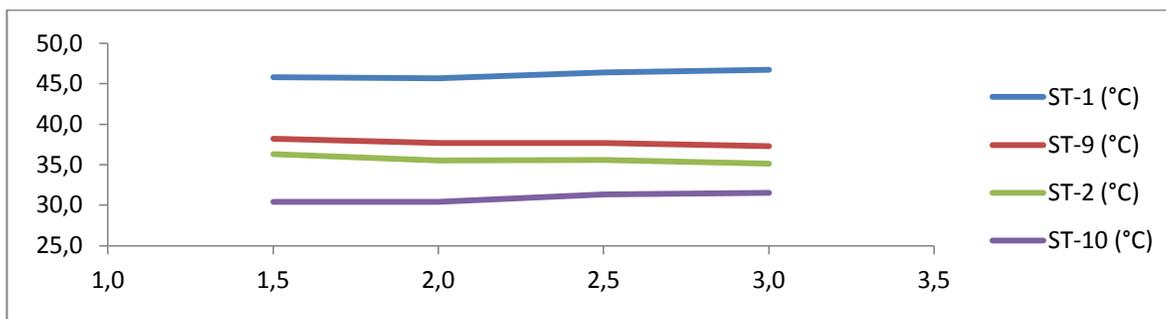
Fuente. Lecturas en el laboratorio.

Figura 130. Q_h Vs ϵ . $Q_h = 1,0 \text{ L/min ST-16} = 50^\circ\text{C}$ flujos en contracorriente.



Fuente. Lecturas en el laboratorio.

Figura 131. Comp. Temperaturas. $Q_h = 1,0 \text{ L/min ST-16} = 50^\circ\text{C}$ flujos en contracorriente.



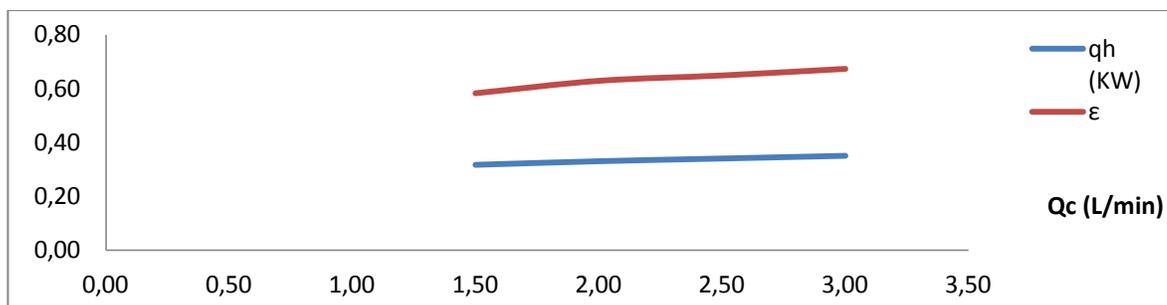
Fuente. Lecturas en el laboratorio.

Tabla 66. Hoja de datos. $Q_h = 0,5 \text{ L/min ST-16} = 50^\circ\text{C}$ flujos en contracorriente.

ST-1 (°C)	ST-3 (°C)	ST-5 (°C)	ST-7 (°C)	ST-9 (°C)	ST-2 (°C)	ST-4 (°C)	ST-6 (°C)	ST-8 (°C)	ST-10 (°C)	ST-11 (°C)	ST-12 (°C)	Qc (L/min)
46,50	43,90	41,60	39,50	37,40	35,90	34,70	33,20	31,80	30,90	36,00	30,50	1,50
46,60	43,80	41,30	39,10	37,10	35,50	34,40	33,00	32,00	31,50	35,60	31,00	2,00
45,90	42,90	40,30	38,30	36,10	34,40	33,40	32,40	31,40	30,80	34,50	30,80	2,50
45,60	42,40	39,80	37,50	35,50	33,60	32,80	31,80	31,00	30,60	33,70	30,30	3,00
Qh (L/min)	X	Qc (m3/Seg)	Qh (m3/Seg)	ρ_c (Kg/m3)	ρ_h (Kg/m3)	CPc(J /Kg°C)	CPh(J /Kg°C)	\dot{m}_c (Kg/Seg)	\dot{m}_h (Kg/Seg)	v (m/Seg)	μ (N Seg/m²)	AT (m²)
0,50	46,50	0,0000250	0,0000083	990,38	997,03	4176,70	4178,98	0,02	0,00831	0,165791	0,000798	0,000050
0,50	46,60	0,0000333	0,0000083	990,35	997,03	4176,68	4178,99	0,03	0,00831	0,165791	0,000798	0,000050
0,50	45,90	0,0000417	0,0000083	990,56	997,03	4176,82	4178,89	0,04	0,00831	0,165791	0,000798	0,000050
0,50	45,60	0,0000500	0,0000083	990,65	997,03	4176,88	4178,84	0,05	0,00831	0,165791	0,000798	0,000050
A (m²)	ΔT_c (°C)	ΔT_h (°C)	qc (KW)	qh (KW)	Cc (W/°C)	Ch(W/°C)	qmax (KW)	ΔT_{lm} (°C)	ϵ	U (KW/m² °C)	ntu	Re
0,04084	5,00	9,10	0,5171	0,32	103,41	34,72	0,54	8,38	0,58	0,92	0,36	1657,14
0,04084	4,00	9,50	0,5515	0,33	137,88	34,72	0,52	8,04	0,63	1,00	0,30	1657,14
0,04084	3,60	9,80	0,6206	0,34	172,39	34,72	0,52	8,00	0,65	1,04	0,25	1657,14
0,04084	3,00	10,10	0,6207	0,35	206,89	34,72	0,52	7,93	0,67	1,08	0,21	1657,14

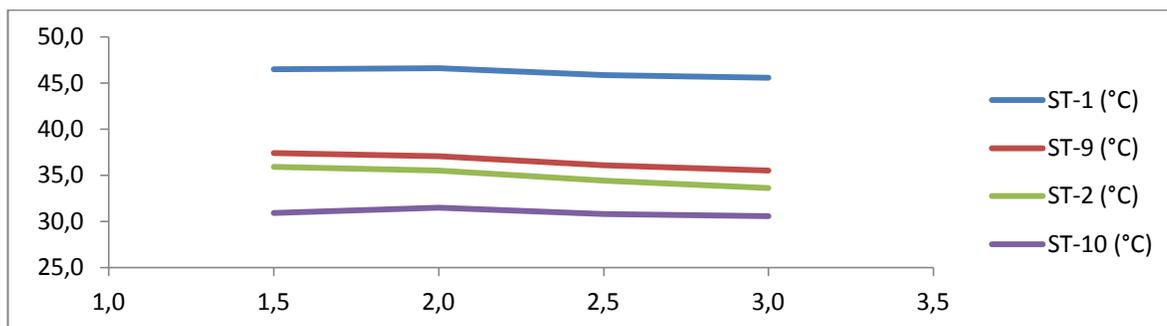
Fuente. Lecturas en el laboratorio.

Figura 132. Q_h Vs ϵ . $Q_h = 0,5 \text{ L/min ST-16} = 50^\circ\text{C}$ flujos en contracorriente.



Fuente. Lecturas en el laboratorio.

Figura 133. Comp. Temperaturas. $Q_h = 0,5 \text{ L/min ST-16} = 50^\circ\text{C}$ flujos en contracorriente.



Fuente. Lecturas en el laboratorio.

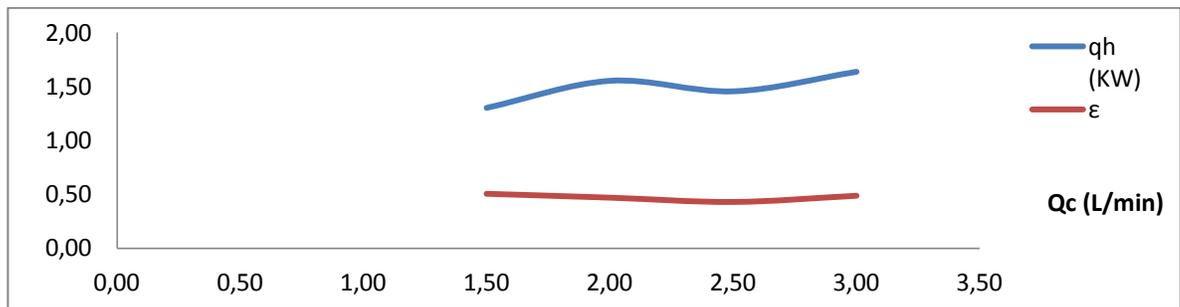
Flujos en paralelo – flujo frio – interior, flujo caliente – exterior. Se aumenta la temperatura del depósito a ST-16 = 60°C.

Tabla 67. Hoja de datos. $Q_h = 2,0$ L/min ST-16 = 60°C flujos en paralelo.

ST-1 (°C)	ST-3 (°C)	ST-5 (°C)	ST-7 (°C)	ST-9 (°C)	ST-2 (°C)	ST-4 (°C)	ST-6 (°C)	ST-8 (°C)	ST-10 (°C)	ST-11 (°C)	ST-12 (°C)	Qc (L/min)
55,20	51,80	49,20	47,30	45,80	30,20	35,30	38,30	39,90	41,50	29,70	40,20	1,50
54,40	50,10	47,00	44,70	43,20	30,30	34,20	36,40	37,50	38,60	29,60	37,70	2,00
54,80	50,80	48,00	45,80	44,30	30,30	34,60	37,10	38,50	39,80	29,70	38,70	2,50
54,80	50,20	47,00	44,60	43,00	30,60	34,30	36,30	37,40	38,90	30,20	37,90	3,00
Qh (L/min)	X	Qc (m3/Seg)	Qh (m3/Seg)	ρ_c (Kg/m3)	ρ_h (Kg/m3)	CPc(J/Kg°C)	CPh(J/Kg°C)	\dot{m}_c (Kg/Seg)	\dot{m}_h (Kg/Seg)	v (m/Seg)	μ (N Seg/m²)	AT (m²)
2,00	55,20	0,0000250	0,0000333	987,82	997,03	4174,96	4180,28	0,02470	0,03323	0,6631652	0,000798 0	0,000050 3
2,00	54,40	0,0000333	0,0000333	988,05	997,03	4175,12	4180,16	0,03294	0,03323	0,6631652	0,000798 0	0,000050 3
2,00	54,80	0,0000417	0,0000333	987,93	997,03	4175,04	4180,22	0,04116	0,03323	0,6631652	0,000798 0	0,000050 3
2,00	54,80	0,0000500	0,0000333	987,93	997,03	4175,04	4180,22	0,04940	0,03323	0,6631652	0,000798 0	0,000050 3
A (m²)	ΔT_c (°C)	ΔT_h (°C)	qc (KW)	qh (KW)	Cc (W/°C)	Ch(W/°C)	qmax (KW)	ΔT_{lm} (°C)	ϵ	U (KW/m² °C)	ntu	Re
0,04084	11,30	9,40	1,1651	1,30	103,10	138,93	2,58	11,7596	0,51	2,72	1,08	6628,54
0,04084	8,30	11,20	1,1413	1,55	137,51	138,93	3,31	11,7743	0,47	3,23	0,96	6628,54
0,04084	9,50	10,50	1,6327	1,46	171,86	138,93	3,40	11,8022	0,43	3,02	0,72	6628,54
0,04084	8,30	11,80	1,7117	1,64	206,23	138,93	3,36	11,3216	0,49	3,54	0,70	6628,54

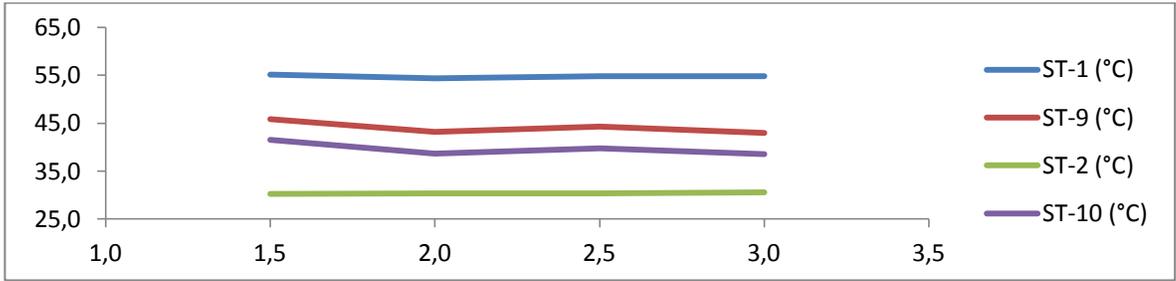
Fuente. Lecturas en el laboratorio.

Figura 134. Q_h Vs ϵ . $Q_h = 2,0$ L/min ST-16 = 60°C flujos en paralelo.



Fuente. Lecturas en el laboratorio.

Figura 135. Comp. Temperaturas. $Q_h = 2,0 \text{ L/min}$ ST-16 = 60°C flujos en paralelo.



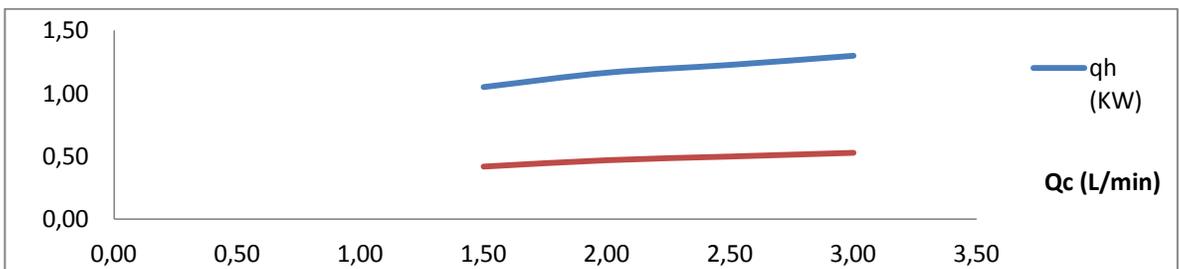
Fuente. Lecturas en el laboratorio.

Tabla 68. Hoja de datos. $Q_h = 1,5 \text{ L/min}$ ST-16 = 60°C flujos en paralelo.

ST-1 (°C)	ST-3 (°C)	ST-5 (°C)	ST-7 (°C)	ST-9 (°C)	ST-2 (°C)	ST-4 (°C)	ST-6 (°C)	ST-8 (°C)	ST-10 (°C)	ST-11 (°C)	ST-12 (°C)	Qc (L/min)
54,60	50,70	48,10	46,00	44,50	30,20	34,80	37,50	38,90	40,40	30,20	39,30	1,50
54,50	50,20	47,10	44,80	43,30	30,60	34,40	36,50	37,90	39,00	30,40	38,10	2,00
54,30	39,70	46,60	44,10	42,50	30,60	34,20	36,00	37,00	38,20	30,40	37,40	2,50
54,40	49,60	46,10	43,60	41,90	30,70	34,00	35,60	36,60	37,50	30,40	36,90	3,00
Qh (L/min)	X	Qc (m3/Seg)	Qh (m3/Seg)	pc (Kg/m3)	ph (Kg/m3)	CPc(J /Kg°C)	CPh(J /Kg°C)	rhc (Kg/Seg)	rhh (Kg/Seg)	v (m/Seg)	μ (N Seg/m²)	AT (m²)
1,50	54,60	0,0000250	0,0000250	987,99	997,03	4175,08	4180,19	0,02470	0,02493	0,4973739	0,000798 0	0,000050 3
1,50	54,50	0,0000333	0,0000250	988,02	997,03	4175,10	4180,18	0,03293	0,02493	0,4973739	0,000798 0	0,000050 3
1,50	54,30	0,0000417	0,0000250	988,08	997,03	4175,14	4180,15	0,04117	0,02493	0,4973739	0,000798 0	0,000050 3
1,50	54,40	0,0000500	0,0000250	988,05	997,03	4175,12	4180,16	0,04940	0,02493	0,4973739	0,000798 0	0,000050 3
A (m²)	ΔTc (°C)	ΔTh (°C)	qc (KW)	qh (KW)	Cc (W/°C)	Ch(W/°C)	qmax (KW)	ΔTlm (°C)	ε	U (KW/m² °C)	ntu	Re
0,04084	10,20	10,10	1,0519	1,05	103,12	104,19	2,52	11,3815	0,42	2,26	0,90	4971,41
0,04084	8,40	11,20	1,1550	1,17	137,50	104,19	2,49	11,4268	0,47	2,50	0,74	4971,41
0,04084	7,60	11,80	1,3064	1,23	171,89	104,19	2,47	11,3659	0,50	2,65	0,63	4971,41
0,04084	6,80	12,50	1,4026	1,30	206,26	104,19	2,47	11,4617	0,53	2,78	0,55	4971,41

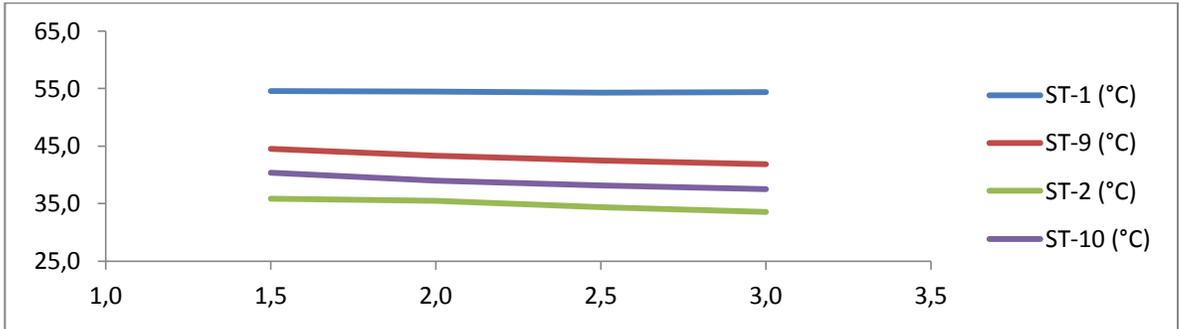
Fuente. Lecturas en el laboratorio.

Figura 136. Q_h Vs ϵ . $Q_h = 1,5 \text{ L/min}$ ST-16 = 60°C flujos en paralelo.



Fuente. Lecturas en el laboratorio.

Figura 137. Comp. Temperaturas. $Q_h = 1,5$ L/min ST-16 = 60°C flujos en paralelo.



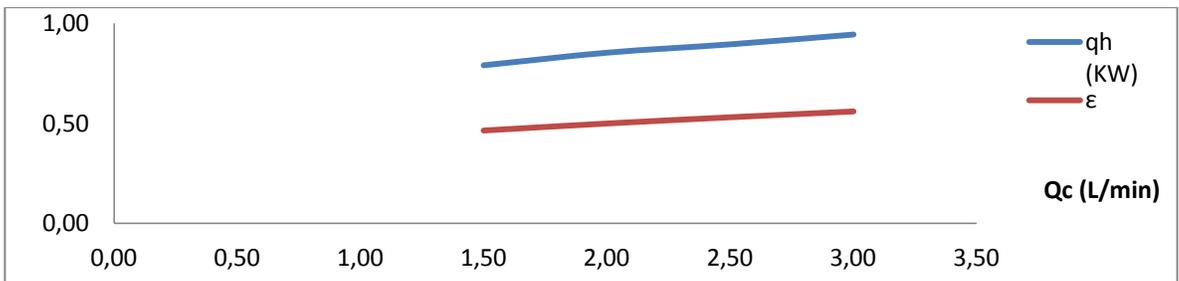
Fuente. Lecturas en el laboratorio.

Tabla 69. Hoja de datos. $Q_h = 1,0$ L/min ST-16 = 60°C flujos en paralelo.

ST-1 (°C)	ST-3 (°C)	ST-5 (°C)	ST-7 (°C)	ST-9 (°C)	ST-2 (°C)	ST-4 (°C)	ST-6 (°C)	ST-8 (°C)	ST-10 (°C)	ST-11 (°C)	ST-12 (°C)	Qc (L/min)
54,70	50,30	47,20	44,70	43,30	30,20	34,10	36,40	37,70	38,90	30,20	38,40	1,50
53,80	48,80	45,50	43,00	41,50	29,20	32,60	34,80	35,80	36,70	29,20	36,10	2,00
54,30	49,00	45,40	42,70	41,40	30,00	32,90	34,60	35,50	36,40	29,90	36,10	2,50
53,80	48,30	44,60	41,90	40,20	29,50	32,30	33,90	34,70	35,40	29,50	35,10	3,00
Qh (L/min)	X	Qc (m3/Seg)	Qh (m3/Seg)	ρc (Kg/m3)	ρh (Kg/m3)	CPc(J /Kg°C)	CPh(J /Kg°C)	ṁc (Kg/Seg)	ṁh (Kg/Seg)	v (m/Seg)	μ (N Seg/m²)	AT (m²)
1,00	54,70	0,0000250	0,0000167	987,96	997,03	4175,06	4180,21	0,02470	0,01662	0,331583	0,000798	0,000050
1,00	53,80	0,0000333	0,0000167	988,23	997,03	4175,24	4180,07	0,03294	0,01662	0,331583	0,000798	0,000050
1,00	54,30	0,0000417	0,0000167	988,08	997,03	4175,14	4180,15	0,04117	0,01662	0,331583	0,000798	0,000050
1,00	53,80	0,0000500	0,0000167	988,23	997,03	4175,24	4180,07	0,04941	0,01662	0,331583	0,000798	0,000050
A (m²)	ΔTc (°C)	ΔTh (°C)	qc (KW)	qh (KW)	Cc (W/°C)	Ch(W/°C)	qmax (KW)	ΔTIm (°C)	ε	U (KW/m² °C)	ntu	Re
0,04084	8,70	11,40	0,8971	0,79	103,12	69,46	1,70	11,7060	0,46	1,65	0,66	3314,27
0,04084	7,50	12,30	1,0315	0,85	137,54	69,46	1,71	12,1165	0,50	1,72	0,51	3314,27
0,04084	6,40	12,90	1,1001	0,89	171,89	69,46	1,69	12,2072	0,53	1,80	0,43	3314,27
0,04084	5,90	13,60	1,2172	0,94	206,30	69,46	1,69	12,0232	0,56	1,92	0,38	3314,27

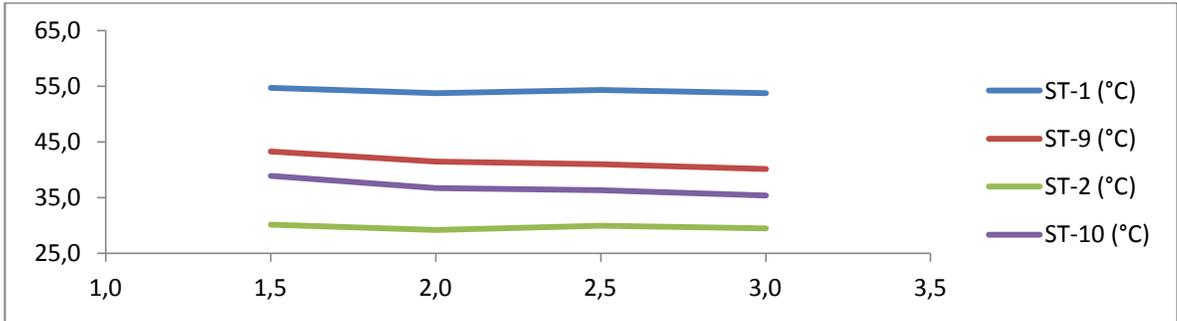
Fuente. Lecturas en el laboratorio.

Figura 138. Q_h Vs ϵ . $Q_h = 1,0$ L/min ST-16 = 60°C flujos en paralelo.



Fuente. Lecturas en el laboratorio.

Figura 139. Comp. Temperaturas. $Q_h = 1,0$ L/min ST-16 = 60°C flujos en paralelo.



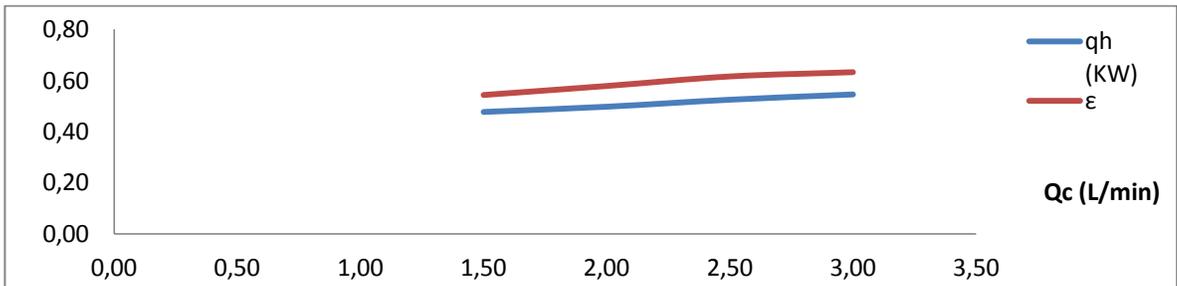
Fuente. Lecturas en el laboratorio.

Tabla 70. Hoja de datos. $Q_h = 0,5$ L/min ST-16 = 60°C flujos en paralelo.

ST-1 (°C)	ST-3 (°C)	ST-5 (°C)	ST-7 (°C)	ST-9 (°C)	ST-2 (°C)	ST-4 (°C)	ST-6 (°C)	ST-8 (°C)	ST-10 (°C)	ST-11 (°C)	ST-12 (°C)	Qc (L/min)
54,20	48,60	45,00	42,50	40,50	29,00	32,20	34,30	35,20	36,10	29,00	35,70	1,50
54,20	48,30	44,40	41,80	39,90	29,50	32,30	34,00	34,70	35,50	29,50	35,00	2,00
54,50	48,30	44,10	41,40	39,40	30,00	32,30	33,70	34,30	35,20	29,90	34,60	2,50
54,30	47,80	43,50	40,60	38,60	29,50	31,70	32,90	33,50	34,20	29,50	34,00	3,00
Qh (L/min)	X	Qc (m3/Seg)	Qh (m3/Seg)	ρ_c (Kg/m3)	ρ_h (Kg/m3)	CPc(J /Kg°C)	CPh(J /Kg°C)	\dot{m}_c (Kg/Seg)	\dot{m}_h (Kg/Seg)	v (m/Seg)	μ (N Seg/m²)	AT (m²)
0,50	54,20	0,0000250	0,0000083	988,11	997,03	4175,16	4180,13	0,02470	0,00831	0,165791	0,000798	0,000050
0,50	54,20	0,0000333	0,0000083	988,11	997,03	4175,16	4180,13	0,03294	0,00831	0,165791	0,000798	0,000050
0,50	54,50	0,0000417	0,0000083	988,02	997,03	4175,10	4180,18	0,04117	0,00831	0,165791	0,000798	0,000050
0,50	54,30	0,0000500	0,0000083	988,08	997,03	4175,14	4180,15	0,04940	0,00831	0,165791	0,000798	0,000050
A (m²)	ΔT_c (°C)	ΔT_h (°C)	qc (KW)	qh (KW)	Cc (W/°C)	Ch(W/°C)	qmax (KW)	ΔT_{lm} (°C)	ϵ	U (KW/m² °C)	ntu	Re
0,04084	7,10	13,70	0,7323	0,48	103,14	34,73	0,88	11,9181	0,54	0,98	0,39	1657,14
0,04084	6,00	14,30	0,8251	0,50	137,52	34,73	0,86	11,7668	0,58	1,03	0,31	1657,14
0,04084	5,20	15,10	0,8938	0,52	171,88	34,73	0,85	11,5106	0,62	1,11	0,26	1657,14
0,04084	4,70	15,70	0,9695	0,54	206,27	34,73	0,86	11,7971	0,63	1,13	0,22	1657,14

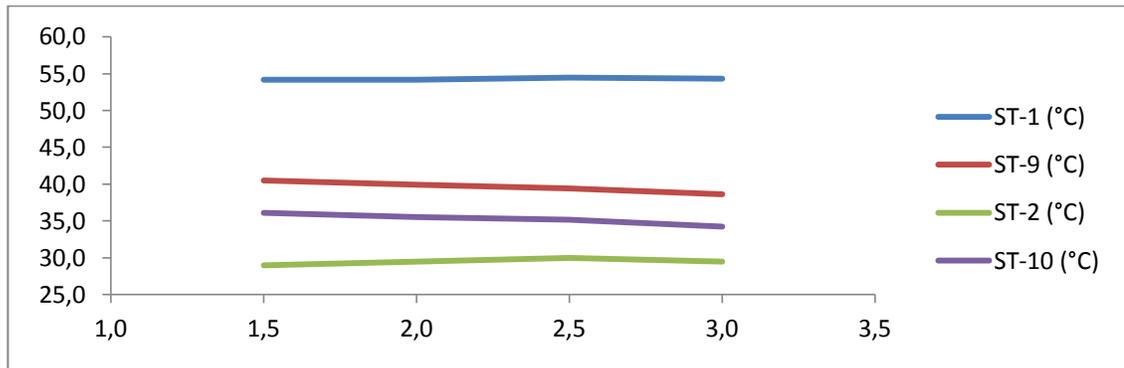
Fuente. Lecturas en el laboratorio.

Figura 140. Q_h Vs ϵ . $Q_h = 0,5$ L/min ST-16 = 60°C flujos en paralelo.



Fuente. Lecturas en el laboratorio.

Figura 141. Comp. Temperaturas. $Q_h = 0,5 \text{ L/min}$ ST-16 = 60°C flujos en paralelo.



Lecturas en el laboratorio.

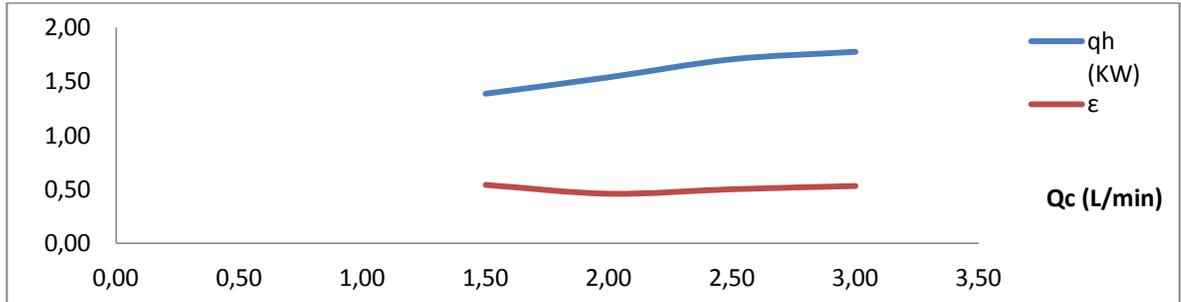
Flujos en contracorriente – flujo frio –interior, flujo caliente – exterior.

Tabla 71. Hoja de datos. $Q_h = 2,0 \text{ L/min}$ ST-16 = 60°C flujos en contracorriente.

ST-1 (°C)	ST-3 (°C)	ST-5 (°C)	ST-7 (°C)	ST-9 (°C)	ST-2 (°C)	ST-4 (°C)	ST-6 (°C)	ST-8 (°C)	ST-10 (°C)	ST-11 (°C)	ST-12 (°C)	Qc (L/min)
54,60	52,40	49,90	47,20	44,60	42,70	39,70	36,50	32,90	29,60	41,90	29,40	1,50
54,30	51,60	48,80	45,80	43,20	41,10	38,30	35,40	32,40	29,90	40,20	29,60	2,00
54,00	50,70	47,60	44,50	41,70	39,50	36,90	34,30	31,60	29,40	39,00	29,20	2,50
53,60	50,10	46,80	43,60	40,80	38,30	36,00	33,60	31,30	29,40	38,20	29,20	3,00
Qh (L/min)	X	Qc (m3/Seg)	Qh (m3/Seg)	ρc (Kg/m3)	ρh (Kg/m3)	CPc(J/Kg°C)	CPh(J/Kg°C)	ṁc (Kg/Seg)	ṁh (Kg/Seg)	v (m/Seg)	μ (N/Seg/m²)	AT (m²)
2,00	54,60	0,0000250	0,0000333	987,99	997,03	4175,08	4180,19	0,02	0,03323	0,663165	0,000798	0,000050
2,00	54,30	0,0000333	0,0000333	988,08	997,03	4175,14	4180,15	0,03	0,03323	0,663165	0,000798	0,000050
2,00	54,00	0,0000417	0,0000333	988,17	997,03	4175,20	4180,10	0,04	0,03323	0,663165	0,000798	0,000050
2,00	53,60	0,0000500	0,0000333	988,29	997,03	4175,28	4180,04	0,05	0,03323	0,663165	0,000798	0,000050
A (m²)	ΔTc (°C)	ΔTh (°C)	qc (KW)	qh (KW)	Cc (W/°C)	Ch(W/°C)	qmax (KW)	ΔTIm (°C)	ε	U (KW/m² °C)	ntu	Re
0,04084	13,10	10,00	1,3509	1,39	103,12	138,93	2,58	13,39	0,54	2,54	1,00	6628,54
0,04084	11,20	11,10	1,5401	1,54	137,51	138,92	3,36	13,25	0,46	2,85	0,85	6628,54
0,04084	10,10	12,30	1,7363	1,71	171,91	138,92	3,42	13,37	0,50	3,13	0,74	6628,54
0,04084	8,90	12,80	1,8362	1,78	206,32	138,92	3,36	13,25	0,53	3,28	0,65	6628,54

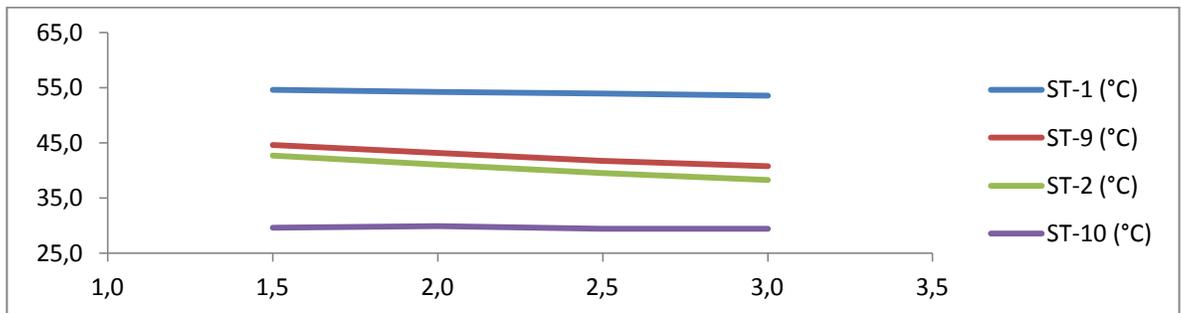
Fuente. Lecturas en el laboratorio.

Figura 142. Q_h Vs ϵ . $Q_h = 2,0$ L/min ST-16 = 60°C flujos en contracorriente.



Fuente. Lecturas en el laboratorio.

Figura 143. Comp. Temperaturas. $Q_h = 2,0$ L/min ST-16 = 60°C flujos en contracorriente.



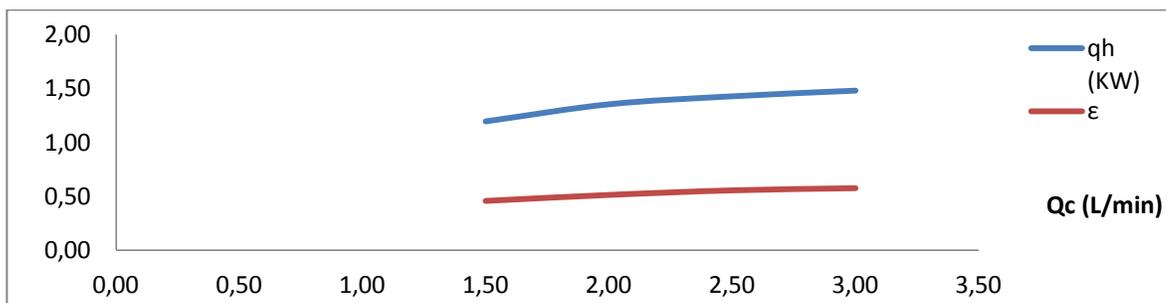
Fuente. Lecturas en el laboratorio.

Tabla 72. Hoja de datos. $Q_h = 1,5$ L/min ST-16 = 60°C flujos en contracorriente.

ST-1 (°C)	ST-3 (°C)	ST-5 (°C)	ST-7 (°C)	ST-9 (°C)	ST-2 (°C)	ST-4 (°C)	ST-6 (°C)	ST-8 (°C)	ST-10 (°C)	ST-11 (°C)	ST-12 (°C)	Qc (L/min)
54,50	51,60	48,90	45,80	43,00	41,00	38,10	35,10	31,80	29,00	40,40	28,80	1,50
54,60	51,10	47,80	44,50	41,60	39,60	36,80	34,10	31,40	29,20	39,10	29,00	2,00
54,30	50,30	46,80	43,30	40,60	38,30	35,90	33,40	31,30	29,60	38,00	29,40	2,50
54,50	50,30	46,60	43,10	40,30	37,80	35,60	33,30	31,30	29,80	37,40	29,40	3,00
Qh (L/min)	X	Qc (m3/Seg)	Qh (m3/Seg)	ρ_c (Kg/m3)	ρ_h (Kg/m3)	CPc(J /Kg°C)	CPh(J /Kg°C)	\dot{m}_c (Kg/Seg)	\dot{m}_h (Kg/Seg)	v (m/Seg)	μ (N Seg/m²)	AT (m²)
1,50	54,50	0,0000250	0,0000250	988,02	997,03	4175,10	4180,18	0,02	0,02493	0,497374	0,000798	0,000050
1,50	54,60	0,0000333	0,0000250	987,99	997,03	4175,08	4180,19	0,03	0,02493	0,497374	0,000798	0,000050
1,50	54,30	0,0000417	0,0000250	988,08	997,03	4175,14	4180,15	0,04	0,02493	0,497374	0,000798	0,000050
1,50	54,50	0,0000500	0,0000250	988,02	997,03	4175,10	4180,18	0,05	0,02493	0,497374	0,000798	0,000050
A (m²)	ΔT_c (°C)	ΔT_h (°C)	qc (KW)	qh (KW)	Cc (W/°C)	Ch(W/°C)	qmax (KW)	ΔT_{lm} (°C)	ϵ	U (KW/m² °C)	ntu	Re
0,04084	12,00	11,50	1,2375	1,20	103,13	104,19	2,63	13,75	0,46	2,13	0,84	4971,41
0,04084	10,40	13,00	1,4300	1,35	137,50	104,19	2,65	13,66	0,51	2,43	0,72	4971,41
0,04084	8,70	13,70	1,4954	1,43	171,89	104,19	2,57	13,34	0,55	2,62	0,62	4971,41
0,04084	8,00	14,20	1,6500	1,48	206,25	104,19	2,57	13,36	0,57	2,71	0,54	4971,41

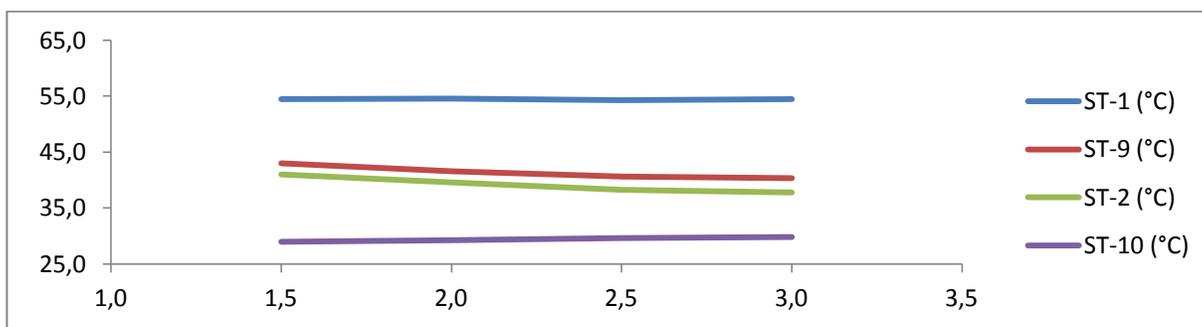
Fuente. Lecturas en el laboratorio.

Figura 144. Q_h Vs ϵ . $Q_h = 1,5$ L/min ST-16 = 60°C flujos en contracorriente.



Fuente. Lecturas en el laboratorio.

Figura 145. Comp. Temperaturas. $Q_h = 1,5$ L/min ST-16 = 60°C flujos en contracorriente.



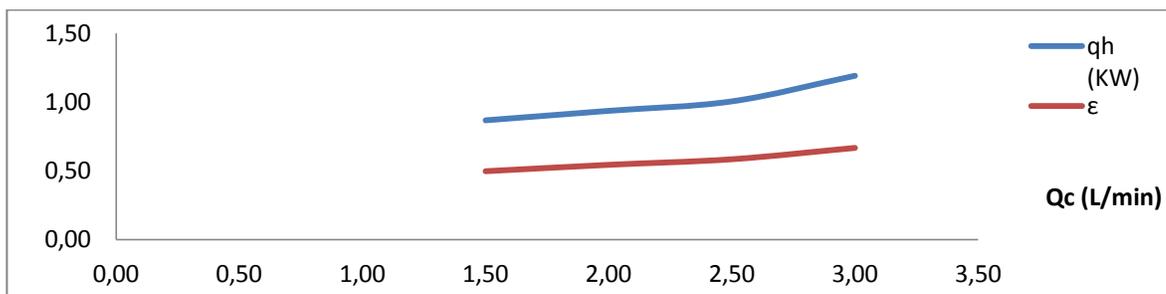
Fuente. Lecturas en el laboratorio.

Tabla 73. Hoja de datos. $Q_h = 1,0$ L/min ST-16 = 60°C flujos en contracorriente.

ST-1 (°C)	ST-3 (°C)	ST-5 (°C)	ST-7 (°C)	ST-9 (°C)	ST-2 (°C)	ST-4 (°C)	ST-6 (°C)	ST-8 (°C)	ST-10 (°C)	ST-11 (°C)	ST-12 (°C)	Qc (L/min)
54,20	50,80	47,70	44,50	41,70	39,60	36,90	34,20	31,30	29,10	39,00	29,00	1,50
54,20	50,30	46,90	43,40	40,70	38,30	36,00	33,40	31,20	29,40	37,90	29,30	2,00
54,40	50,00	46,20	42,70	39,90	37,50	35,10	33,00	30,90	29,60	37,20	29,30	2,50
54,30	48,40	43,90	40,20	37,10	34,20	32,50	31,00	29,50	28,50	34,10	28,40	3,00
Qh (L/min)	X	Qc (m3/Seg)	Qh (m3/Seg)	ρ_c (Kg/m3)	ρ_h (Kg/m3)	CPc(J /Kg°C)	CPh(J /Kg°C)	\dot{m}_c (Kg/Seg)	\dot{m}_h (Kg/Seg)	v (m/Seg)	μ (N Seg/m²)	AT (m²)
1,00	54,20	0,0000250	0,0000167	988,11	997,03	4175,16	4180,13	0,02	0,01662	0,331583	0,000798	0,000050
1,00	54,20	0,0000333	0,0000167	988,11	997,03	4175,16	4180,13	0,03	0,01662	0,331583	0,000798	0,000050
1,00	54,40	0,0000417	0,0000167	988,05	997,03	4175,12	4180,16	0,04	0,01662	0,331583	0,000798	0,000050
1,00	54,30	0,0000500	0,0000167	988,08	997,03	4175,14	4180,15	0,05	0,01662	0,331583	0,000798	0,000050
A (m²)	ΔT_c (°C)	ΔT_h (°C)	qc (KW)	qh (KW)	Cc (W/°C)	Ch(W/°C)	qmax (KW)	ΔT_{lm} (°C)	ϵ	U (KW/m² °C)	ntu	Re
0,04084	10,50	12,50	1,0829	0,87	103,14	69,46	1,74	13,58	0,50	1,56	0,62	3314,27
0,04084	8,90	13,50	1,2239	0,94	137,52	69,46	1,72	13,47	0,54	1,70	0,51	3314,27
0,04084	7,90	14,50	1,3579	1,01	171,88	69,46	1,72	13,33	0,58	1,85	0,44	3314,27
0,04084	5,70	17,20	1,1757	1,19	206,27	69,46	1,79	13,55	0,67	2,16	0,43	3314,27

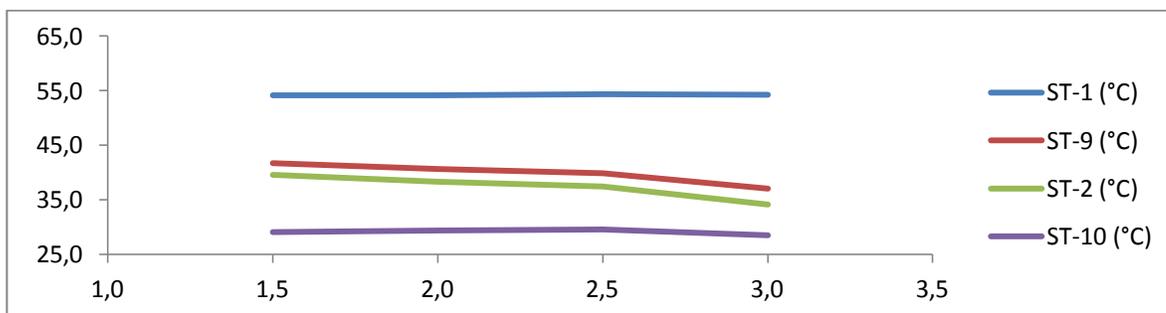
Fuente. Lecturas en el laboratorio.

Figura 146. Q_h Vs ϵ . $Q_h = 1,0$ L/min ST-16 = 60°C flujos en contracorriente.



Fuente. Lecturas en el laboratorio.

Figura 147. Comp. Temperaturas. $Q_h = 1,0$ L/min ST-16 = 60°C flujos en contracorriente.



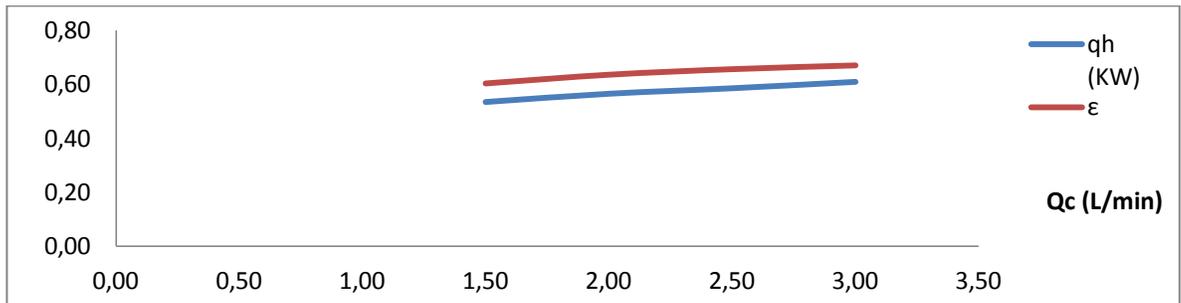
Fuente. Lecturas en el laboratorio.

Tabla 74. Hoja de datos. $Q_h = 0,5$ L/min ST-16 = 60°C flujos en contracorriente.

ST-1 (°C)	ST-3 (°C)	ST-5 (°C)	ST-7 (°C)	ST-9 (°C)	ST-2 (°C)	ST-4 (°C)	ST-6 (°C)	ST-8 (°C)	ST-10 (°C)	ST-11 (°C)	ST-12 (°C)	Qc (L/min)
54,20	49,70	45,70	42,20	38,80	36,90	34,70	32,50	30,40	28,70	35,60	29,80	1,50
54,30	49,10	44,70	41,20	38,00	35,60	33,70	31,70	30,00	28,70	35,40	28,70	2,00
54,20	48,50	44,00	40,30	37,30	34,70	32,90	31,20	29,80	28,50	34,50	28,60	2,50
54,70	48,40	43,40	40,20	37,10	34,20	32,50	31,00	29,50	28,50	34,10	28,40	3,00
Qh (L/min)	X	Qc (m3/Seg)	Qh (m3/Seg)	ρ_c (Kg/m3)	ρ_h (Kg/m3)	CPc(J /Kg°C)	CPh(J /Kg°C)	\dot{m}_c (Kg/Seg)	\dot{m}_h (Kg/Seg)	v (m/Seg)	μ (N Seg/m²)	AT (m²)
0,50	54,20	0,0000250	0,0000083	988,11	997,03	4175,16	4180,13	0,02	0,00831	0,165791	0,000798	0,000050
0,50	54,30	0,0000333	0,0000083	988,08	997,03	4175,14	4180,15	0,03	0,00831	0,165791	0,000798	0,000050
0,50	54,20	0,0000417	0,0000083	988,11	997,03	4175,16	4180,13	0,04	0,00831	0,165791	0,000798	0,000050
0,50	54,70	0,0000500	0,0000083	987,96	997,03	4175,06	4180,21	0,05	0,00831	0,165791	0,000798	0,000050
A (m²)	ΔT_c (°C)	ΔT_h (°C)	qc (KW)	qh (KW)	Cc (W/°C)	Ch(W/°C)	qmax (KW)	ΔT_{lm} (°C)	ϵ	U (KW/m² °C)	ntu	Re
0,04084	8,20	15,40	0,8457	0,53	103,14	34,73	0,89	13,38	0,60	0,98	0,39	1657,14
0,04084	6,90	16,30	0,9488	0,57	137,51	34,73	0,89	13,46	0,64	1,03	0,31	1657,14
0,04084	6,20	16,90	1,0658	0,59	171,90	34,73	0,89	13,45	0,66	1,07	0,25	1657,14
0,04084	5,70	17,60	1,1756	0,61	206,24	34,73	0,91	13,70	0,67	1,09	0,22	1657,14

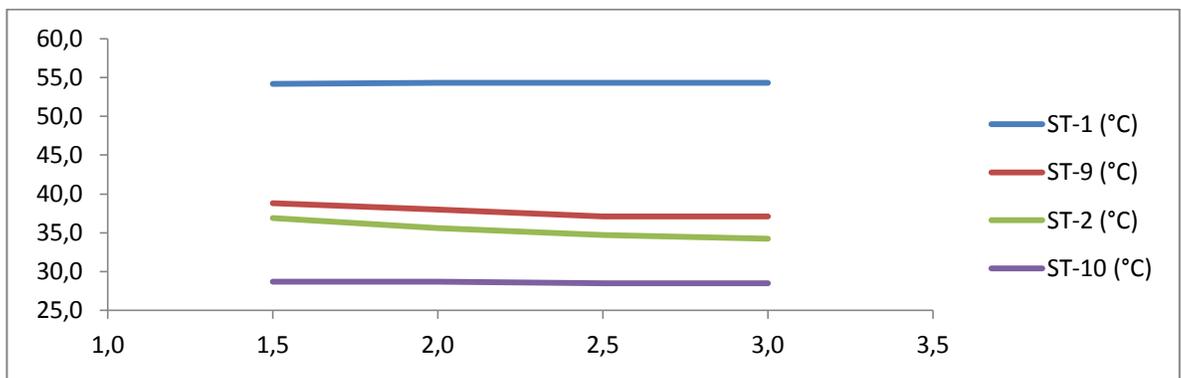
Fuente. Lecturas en el laboratorio.

Figura 148. Q_h Vs ϵ . $Q_h = 0,5$ L/min ST-16 = 60°C flujos en contracorriente.



Lecturas en el laboratorio.

Figura 149. Comp. Temperaturas. $Q_h = 0,5$ L/min ST-16 = 60°C flujos en contracorriente.



Fuente. Lecturas en el laboratorio.

5.4 PREGUNTAS DE ANALISIS.

- ¿Es posible que la temperatura del agua fría a la salida del intercambiador alcance una temperatura superior a la temperatura del agua caliente en la entrada del intercambiador? Argumente su respuesta con conceptos ingenieriles.
- En base a los datos obtenidos calcule el coeficiente de conducción del aislante en función de las temperaturas promedio y cuál debe ser el radio optimo de aislante para que la temperatura en la superficie del aislante sea igual a la del ambiente.

- ¿La eficiencia de la transferencia de calor es de tipo lineal o no lineal?
- ¿Por qué la eficiencia de la transferencia de calor es mayor cuando el fluido caliente circula por el anillo exterior?
- ¿Qué factores adicionales a los que se controlan en el experimento influyen en la transferencia de calor?
- ¿Qué conclusiones puede sacar haciendo un análisis de las graficas? (interpretación).
- ¿Qué otro tipo análisis o pruebas de laboratorio se pueden diseñar con estos intercambiadores?

6 CONCLUSIONES.

A lo largo de todo el periodo de caracterización de los equipos intercambiadores de calor de tubo concéntrico TITC y de régimen turbulento TIFT se pudieron identificar muchas características tanto en el manejo del equipo y sus componentes, como en los parámetros que en ellos se manejan, es por esto que una vez finalizado con el proceso se pueden hacer las siguientes conclusiones:

- Se determinó, después de hacer el estudio por medio de la herramienta del software de los equipos, tomando los datos de cómo variaban las temperaturas con respecto al tiempo cuando se aumentaba o disminuía el caudal del fluido frío Q_c hasta los límites definidos en la experiencia; que el tiempo de estabilización de las temperaturas en los tramos de tubería de los intercambiadores de calor es de 40 – 50 seg, pero a lo largo del proceso de hicieron las lecturas en intervalos de tiempo de 1min 20 seg.
- Se observó durante todo el proceso, que tanto en el intercambiador de calor de tubo concéntrico TITC como en el de régimen turbulento TIFT, que si importar que tipo de configuración de flujo (flujo en paralelo – flujo en contracorriente, fluido frío por fuera – fluido caliente por dentro, fluido frío por dentro – fluido caliente por fuera), ni que temperatura de trabajo ST-16 se utilizara; a medida que decrecía el flujo caliente Q_h y aumentaba el flujo frío Q_c las efectividades en los intercambiadores aumentaban es decir que la transferencia de calor en el sistema era mayor.
- Se observó que en el intercambiador de calor de régimen turbulento TIFT la efectividad es mucho mayor que al de tubos concéntricos TITC esto debido a que en el segundo el régimen de flujo es laminar y en las paredes del tubo aparece lo que se conoce como la capa límite hidrodinámica la cual actúa como una resistencia térmica que se opone a la transferencia entre el fluido y las paredes del tubo; por otra parte cuando el régimen es

turbulento la capa limite hidrodinámica tiende a desaparecer por lo tanto hay una mejor transferencia entre el fluido y las paredes del tubo.

- Se notó que al incrementar la temperatura del depósito ST-16, se incremento también la efectividad en el sistema, esto se debe a que al aumentar la temperatura del fluido, este circula por el circuito de los intercambiadores y de la unidad de servicio TIUS transportando una mayor cantidad de calor, teniendo así una mayor cantidad de energía para intercambiar con el fluido refrigerante, aumentando por ende las eficiencias.
- Se notó que al intercambiar las mangueras que conectan la unidad de servicio TIUS con el intercambiador de calor de tubos concéntricos TITC y el intercambiador de calor de régimen turbulento TIFT; es decir Q_c por el interior del tubo y Q_h por el anillo exterior, las efectividades del sistema se incremento, esto debido a que el fluido caliente ya no está circulando por un tubo sino por un anillo teniendo más área de transferencia, la primera con la superficie del tubo por donde circula el fluido frio y la segunda con la pared externa del anillo la cual tiene un área de contacto mucho mayor y se encuentra en contacto con el ambiente; cabe anotar que aunque la tubería se encuentra aislado térmicamente, hay una pérdida de calor .
- Se comprobó que los valores teóricos no son iguales a los experimentales, esto se puede observar claramente en las tablas ya que idealmente el calor cedido por el fluido caliente debe ser igual al calor absorbido por el fluido refrigerante y en los cálculos realizados con los datos obtenidos experimentalmente se observa claramente que los valores de calor que cede el fluido caliente es diferente que el recibido por el fluido refrigerante.

- Se evidenció claramente que el equipo intercambiador de calor de régimen turbulento, TIFT, al bajar el caudal del fluido caliente $Q_h = 1$ L/min, el Reynolds < 4000 , por lo tanto se calculo por medio de una interpolación lineal el Q_h mínimo para cumplir que Reynolds > 4000 , arrojando como resultado que $Q_h > 1,21$ L/min.

6.1 RECOMENDACIONES.

- Al terminar las experiencias, vaciar los tramos de tubería de los intercambiadores, es decir en lo posible no dejar agua dentro de estos.
- No exceder la temperatura de operación limite recomendada por el fabricante en el depósito de agua caliente ST-16 < 70 grados C.
- No someter el equipo a periodos de operación demasiados extensos ya que esto conllevaría al recalentamiento de la bomba.
- No hacer uso de los equipos sin una previa capacitación y supervisión de alguien ya sea el profesor o el monitor encargado.
- Seguir las instrucciones dadas por el personal encargado de los equipos y los manuales de practica; tanto para el desarrollo de las practicas como para las normas de seguridad.
- No alterar o modificar los equipos (intercambiadores de calor, interfaces, unidad de servicio o software).
- No utilizar ningún tipo de fluido de trabajo diferente a los mencionados en los manuales o agregar algún tipo de sustancia en le fluido de trabajo.

- Tener precaución al movilizar los equipos dentro del laboratorio (golpearlos o moverlos bruscamente).
- No manipular o alterar los comandos de calibración de los sensores de medición y actuadores de los equipos.
- Si se presenta alguna inquietud o problema con los equipos no tratar de resolverlos por si mismo sino comunicar de inmediato a la persona encargada (profesor o monitor).

6.2 OBSERVACIONES.

- Los transformadores de electricidad marca EDIBON (Modelo: EMPTA, Tensión: 127/220 V, 50 – 60 Hz, Potencia: 4000VA) proveídos por los equipos, son altamente deficientes, ya que en el periodo de instalación, prueba y caracterización de estos, marcaron un comportamiento irregular a tal grado que se opto por reemplazarlos por el transformador de electricidad POLYLUX (Modelo: AUR, Tensión: 125/220V, 50 – 60 Hz, Potencia: 4000VA) ya que cuando se trabajo con ellos se noto que se recalentaban demasiado al punto que expelían olor a quemado pidiendo así posiblemente si se continuaba trabajando con ellos averiarse. Cabe anotar que con el nuevo transformador, la unidad de servicio TIUS opera correctamente y no mostro ninguna irregularidad de funcionamiento.
- la bomba AB-1 que se encuentra instalada en la unidad de servicio TIUS, no debe ser sometida a largos periodos de operación ya que al exceder su tiempo regular de trabajo, tiende a recalentarse (por operación y por el fluido de trabajo), el caudal de operación asignado con los actuadores del software decrece limitando el equipo a condiciones de operatividad no mayores a SC-1 = 2 – 2,2 L/min. Se resalta que dicha bomba tiene un

máximo de SC-1 = 3,5 – 3,7 L/min cuando esta se encuentra en condiciones normales de trabajo.

Una segunda observación que se hace con respecto a las bombas de los equipos es que en los manuales podemos encontrar que estas cuentan con un adaptador para regular las bombas a 35, 55 y 85 W y esto es falso.

- Los catálogos o manuales de prácticas de los equipos, poseen muchos errores de transcripción por tanto hay que tener precaución a la hora de tomarlos como guía u objeto de estudio o capacitación para no incurrir en errores.
- Algo muy importante que se debe tener en cuenta es el diseño de un banco o depósito de agua fría para que esta circule por el sistema (dicho banco debe ser lo suficientemente grande o que sea diseñado de tal forma que, al retornar al depósito el fluido frío a una temperatura mayor a la temperatura con que ingresa al circuito, no altere la temperatura o el cambio de esta en el depósito no sea muy alto). Todo esto es debido a que actualmente en la forma de operar de los equipos en cuanto al fluido frío compete, estos se abastecen de la toma de agua del laboratorio y esta al salir del circuito simplemente va al desagüe y de esta forma se desperdicia demasiada agua, por consiguiente los costos de operación de los equipos se tornan más costosos.

7 ANEXOS.

- Tabla propiedades del agua.
- Fotos de los equipos y lugar de trabajo.

8 BIBLIOGRAFÍA.

- CENGEL, Yanus A. Transferencia De Calor Y Masa, Mc Graw Hill, 2007.
- HOLMAN, Jack Phillip. Heat Transfer, Mc Graw Hill, 2002.
- EDIBON S.A. Catálogos Online, Edición: EDO1-09, Mayo 2009, <http://www.edibon.com/products/?area=thermodynamicsthermotechnics&subarea=heatexchange>.
- EDIBON S.A. manuales de instalación, configuración operación y prácticas, EDO1-09, Mayo 2009.
- La enciclopedia libre, <http://es.wikipedia.org>.
- WILLIAM McAdams, Heat Transmission, 1993.
- FRANK P. Incropera, Fundamentos de Transferencia de Calor David P. De Witt Editorial: PEARSON, 23 Ago 2009.