

UNIVERSIDAD TÉCNICA FEDERICO SANTA MARÍA  
DEPARTAMENTO DE INGENIERÍA MECÁNICA  
VALPARAÍSO - CHILE



“Diseño de un intercambiador de calor (condensador) para el sistema de la Bomba de Vapor Desalinizadora Solar de Alta Potencia del proyecto Walfisch”

BASTIÁN MAURICIO REYES RUBILAR

MEMORIA DE TITULACIÓN PARA OPTAR AL TÍTULO DE  
INGENIERO CIVIL MECÁNICO

PROFESOR GUÍA : Dipl. Ing. Udo Rheinschmidt  
PROFESOR CORREFERENTE : Ph. D. Rodrigo Barraza

Enero 2021



*Dedicado a  
a mi madre, María Teresa  
y a mi padre, José Alberto.  
Los amo.*

# Índice general

<b>1</b>	<b>Introducción</b>	<b>2</b>
1.1	Escasez hídrica . . . . .	2
1.2	Proyecto Walficsh . . . . .	3
1.2.1	Descripción del prototipo y lugar de operación . . . . .	4
1.3	Objetivos . . . . .	7
<b>2</b>	<b>Estado del Arte</b>	<b>8</b>
2.1	Tipos de intercambiadores de calor . . . . .	8
2.1.1	Según arreglo de flujo . . . . .	9
2.1.2	Según construcción . . . . .	13
<b>3</b>	<b>Marco Teórico</b>	<b>18</b>
3.1	Conceptos termodinámicos . . . . .	18
3.2	Transferencia de calor en intercambiadores . . . . .	21
3.2.1	Coefficientes de convección . . . . .	22
3.2.2	Coefficiente de convección externo: banco de tubos . . . . .	24
3.2.3	Coefficiente de convección interno : condensación y fase líquida dentro de tubos . . . . .	31
3.2.4	Ensuciamiento . . . . .	37
3.3	Caída de presión . . . . .	40
3.3.1	Presion de una fase . . . . .	41
3.3.2	Fittings . . . . .	42
3.3.3	Presion de cambio de fase . . . . .	44

3.4	Diferencia de Temperatura efectiva . . . . .	52
3.4.1	Método de Factor F . . . . .	53
3.4.2	Método $\theta$ . . . . .	54
<b>4</b>	<b>Normas, Estándares y Manuales</b>	<b>55</b>
4.1	Normas y Estándares . . . . .	55
4.2	TEMA . . . . .	56
4.2.1	Temperatura efectiva y arreglos . . . . .	56
4.3	Manuales : procedimientos de diseño . . . . .	57
4.3.1	Criterios de selección de intercambiador . . . . .	57
4.3.2	Criterios de selección de un condensador . . . . .	59
<b>5</b>	<b>Dimensionamiento</b>	<b>63</b>
5.1	Problema . . . . .	63
5.2	Propuesta . . . . .	64
5.2.1	Velocidad del viento . . . . .	65
5.2.2	Flujo másico . . . . .	65
5.3	Diseño . . . . .	66
5.3.1	Diseño Termo-hidráulico . . . . .	67
5.4	Resultados y dimensionamiento . . . . .	87
5.4.1	Comparación . . . . .	88
5.4.2	Resultados 2 . . . . .	90
5.4.3	Dimensionamiento físico y especificación . . . . .	91
<b>6</b>	<b>Conclusiones</b>	<b>96</b>
<b>7</b>	<b>Anexo</b>	<b>102</b>
7.0.1	. . . . .	106
7.0.2	. . . . .	107
7.0.3	. . . . .	108

7.0.4	109
7.0.5	110
7.0.6	111
7.0.7	112
7.0.8	113
7.0.9	114
7.0.10	115
7.0.11	116
7.0.12	117
7.0.13	118
7.0.14	119
7.0.15	120
7.0.16	121
7.0.17	122
7.0.18	123
7.0.19	124
7.0.20	125
7.0.21	126
7.0.22	127
7.0.23	128
7.0.24	129
7.0.25	130
7.0.26	131

# Índice de figuras

Figura 1.1	Dibujo 3D del diseño del evaporador del prototipo . . . . .	5
Figura 1.2	Prototipo del condensador construido . . . . .	5
Figura 1.3	Ubicación de operación del prototipo: Laguna Verde, Valparaíso, Chile. . . . .	6
Figura 2.1	Esquema de arreglo de flujo paralelo . . . . .	9
Figura 2.2	(a) Esquema de arreglo en contra-flujo (b) Esquema de distribu- ción de temperatura . . . . .	10
Figura 2.3	Esquema de arreglo de flujo cruzado: (a) no mezclado- no mez- clado (b) no mezclado-mezclado (c) mezclado-mezclado . . . . .	11
Figura 2.4	Esquema de arreglos multipaso para intercambiadores de tubo y carcasa, de arreglo paralelo y contraflujo. . . . .	12
Figura 2.5	Esquema de un intercambiador con arreglo de flujo cruzado mul- tipaso . . . . .	13
Figura 3.1	Esquema de un banco de tubos en flujo cruzado . . . . .	25
Figura 3.2	Arreglo de tubos en banco: (a) Alineados; (b) Escalonados. . . . .	25
Figura 3.3	Esquema de una aleta con sus parámetros de dimensiones . . . . .	28
Figura 3.4	Influencia del diámetro de tubo liso en la transferencia de calor manteniendo el Número de Reynolds constante . . . . .	32
Figura 3.5	Influencia del diámetro de tubo liso en la transferencia de calor sin modificación de la geometría y módulo de la aleta . . . . .	32

Figura 3.6 Ilustración esquemática de los regímenes de flujo en condensación al interior de tubos. . . . .	34
Figura 4.1 Relaciones para diferencia de temperatura media. Para 4 tubos, 4 pasos, no-mezclado de lado de los pasos. . . . .	58
Figura 4.2 Criterios de selección de condesador . . . . .	61
Figura 5.1 Velocidad promedio horaria anual. Fuente: Elaboración Propia .	66
Figura 5.2 Diagrama Temperatura-entropía para proceso isobárico. Fuente: Elaboración Propia . . . . .	67
Figura 5.3 Diagrama de algoritmo para el cálculo de diseño termohidráulico paso-a-paso . . . . .	69
Figura 5.4 Esquema de un intercambiador de calor enfriado por aire, de 8 pasos y 8 circuitos. . . . .	95
Figura 7.1 Datos: flujo paralelo. Diámetro 3/4 in. . . . .	105
Figura 7.2 Datos: flujo paralelo. Diámetro 1 in. . . . .	106
Figura 7.3 Datos: flujo paralelo. Diámetro 4/3 in. . . . .	107
Figura 7.4 Datos: flujo paralelo. Diámetro ~2 in. . . . .	108
Figura 7.5 Datos: flujo paralelo. Diámetro 1 in. Cobre . . . . .	109
Figura 7.6 Datos: flujo paralelo. Diámetro 1 in. Aluminio. . . . .	110
Figura 7.7 Datos: flujo paralelo. Diámetro 1 in. Aleteado . . . . .	111
Figura 7.8 Datos: flujo paralelo. Diámetro 1 in. Aleteado. a/b=2.5 . . . . .	112
Figura 7.9 Datos: flujo cruzado. 6 circuitos - 4 pasos. . . . .	113
Figura 7.10 Datos: flujo cruzado. 6 circuitos - 5 pasos. . . . .	114
Figura 7.11 Datos: flujo cruzado. 6 circuitos - 6 pasos. . . . .	115
Figura 7.12 Datos: flujo cruzado. 6 circuitos - 7 pasos. . . . .	116
Figura 7.13 Datos: flujo cruzado. 6 circuitos - 8 pasos. . . . .	117
Figura 7.14 Datos: flujo cruzado. 8 circuitos - 4 pasos. . . . .	118
Figura 7.15 Datos: flujo cruzado. 8 circuitos - 5 pasos. . . . .	119

Figura 7.16	Datos: flujo cruzado. 8 circuitos - 6 pasos. . . . .	120
Figura 7.17	Datos: flujo cruzado. 8 circuitos - 7 pasos. . . . .	121
Figura 7.18	Datos: flujo cruzado. 8 circuitos - 8 pasos. . . . .	122
Figura 7.19	Datos: flujo cruzado. 8 circuitos - 9 pasos. . . . .	123
Figura 7.20	Datos: flujo cruzado. 8 circuitos - 10 pasos. . . . .	124
Figura 7.21	Datos: flujo cruzado. 8 circuitos - 11 pasos. . . . .	125
Figura 7.22	Datos: flujo cruzado. 8 circuitos - 12 pasos. . . . .	126
Figura 7.23	Datos: flujo cruzado. 10 circuitos - 4 pasos. . . . .	127
Figura 7.24	Datos: flujo cruzado. 10 circuitos - 5 pasos. . . . .	128
Figura 7.25	Datos: flujo cruzado. 10 circuitos - 6 pasos. . . . .	129
Figura 7.26	Datos: flujo cruzado. 10 circuitos - 7 pasos. . . . .	130
Figura 7.27	Datos: flujo cruzado. 10 circuitos - 8 pasos. . . . .	131

# Índice de tablas

3.1	Resistencias de ensuciamiento. Referencia heat exchanger design . . . . .	41
3.2	Factor de fricción para distintos modelos de perfil de velocidad . . . . .	43
3.3	Razones de Largo Equivalente $(L/D)_e$ para diferentes Fittings . . . . .	45
3.4	Coefficientes $K$ para diferentes Fittings . . . . .	46
3.5	Valores de $C$ del parámetro de Martinelli . . . . .	50
5.1	Modulaciones de banco de tubos y diámetros variables. . . . .	70
5.2	Conductividad según material de la tubería . . . . .	72
5.3	Largos de tramo de cada paso para un intercambiador de 6 circuitos (base condensada). . . . .	90
5.4	Largos de tramo de cada paso para un intercambiador de 8 circuitos (base condensada). . . . .	90
5.5	Promedios de largos de los pasos para cada configuración. . . . .	91
5.6	Especificaciones principales . . . . .	94
5.7	Especificaciones secundarias . . . . .	94

## **Resumen**

El cambio climático es el mayor de los desafíos a los que nuestra sociedad se enfrenta. Con este peligro presente, debemos poder ser capaces de satisfacer nuestras necesidades actuales sin poner en riesgo las futuras. Por ello, se debe hacer hincapié en el ahorro energético y uso de energías renovables para abastecernos. Concretamente, el agua potable se está convirtiendo en un bien muy escaso. Es por esta razón, que bajo el contexto investigativo del aprovechamiento de las energías que la naturaleza nos ofrece, se tiene como objetivo principal poner en marcha un prototipo capaz de dar solución a este problema de escasez de agua potable, en zonas costeras, utilizando energía solar para evaporar y bombear agua de mar, para luego condensarla y obtener agua para consumo. El presente trabajo consiste en diseñar, como módulo final de este sistema, un intercambiador de calor que condense el vapor impulsado desde la bomba.

# Agradecimientos

Agradezco a Dios por los regalos; de la vida; y de la ciencia, que permiten que esto sea posible. Agradecido del amor, apoyo y mucho más de mis padres, y de mis hermanas.

Agradezco al Profesor Udo Rheinschmidt que me permitió involucrarme en el tema del agua, y por su disposición siempre gentil para dar soluciones.

Agradecido de mis compañeros universitarios, y de este proyecto, por las co-participaciones y compañías en este paso por la Universidad.

Agradecido de amigos, familiares, y mis confraternos cristianos, pues han sido de ánimo para mí.

# Capítulo 1

## Introducción

### 1.1. Escasez hídrica

La escasez hídrica es un problema que vivimos como sociedad. Pueden buscarse distintas razones para la escasez hídrica: el problema ambiental global, la sequía por fenómenos cíclicos, o de calentamiento global, la sequía zonificada por tipo de uso del suelo, el problema social de distribución del alcantarillado, en las zonas rurales, etc. Sin duda este es un problema que aqueja a Chile en sus distintas causas. Según cuánto es afectada la comunidad por la escasez, es toma fuerza en el discurso público el tema. Sin embargo, a través de organizaciones no gubernamentales, y círculos científicos, el tema ha alcanzado escalas globales. Esto se ve reflejado en políticas públicas nacionales, e incluso internacionales, para enfrentar el problema.

La escasez de agua no ha afectado aún al consumo humano en nuestro país. Recientemente, en la región de Valparaíso, debido a la crisis hídrica de las comunas más rurales, se buscaban soluciones para que la falta de agua en el sector agrícola no afecte al consumo humano. Si bien, el problema no ha llegado a tal magnitud, la solución no es suficiente. Así, las fuentes y embalses, son llenadas por afluentes de otras cuencas y valles, distribuyendo la poca agua que hay y produciendo más sequía en favor de mantener el consumo, y no racionaliza. Esta fue la solución en la Región de Valparaíso,

dónde el río Aconcagua fue canalizado hacia el embalse Los Aromos, para abastecer a toda la región.

Otras soluciones a la escasez de agua, tienen que ver con la potabilización, purificación, o acondicionamiento de aguas. Ya sea desalinización, o filtración, tratamiento de aguas, se busca llevar aguas a lugares donde no tiene acceso a ella, o si bien lo tiene, no es factible de consumo o uso. En este marco se desarrolla el presente proyecto, donde se propone una forma alternativa de obtención de agua para uso humano. Cabe destacar que el prototipo tiene especial énfasis en usar energías renovables, siendo promotor hacer lo posible por las necesidades inmediatas, sin dejar de busca solucionar el problema principal e integral. En este sentido, el uso de energías renovables viene a resistir el avance del calentamiento global, y promover sustentabilidad amigable con el medio ambiente.

## **1.2. Proyecto Walficsh**

El proyecto Walficsh, consiste en una equipo que desaliniza agua de mar mediante evaporación, y que aprovecha la presión de vapor para bombearlo hasta cierta altura, dónde se condensa para el consumo humano. El nombre Walficsh (ballena en alemán) obedece a la simulación de la eyección de agua que hace la ballena cuando sale a la superficie. La idea matriz del Pr. Udo Rheinschmidt, fue por primera vez hecha proyecto en la tesis de Máster de Gonzalo García-Uriarte 2019 [19]. Luego tuvo su fase de prototipación, en la que participaron otros alumnos memoristas. Estos últimos, Martin Leal [4] y Sergio Anabalón, continuaron con trabajos de simulación de desempeño del prototipo. Las siguientes etapas de del proyecto, son las pruebas del prototipo en el lugar de diseño, Laguna Verde. Adicionalmente, están las etapas de diseño de piping del flujo de vapor, y el diseño del condensador. Esto último, es el objetivo del presente trabajo.

### **1.2.1. Descripción del prototipo y lugar de operación**

Se puede dividir en tres subsistemas; evaporador, cañería de transporte y condensador. En las Figuras 1.2 y 1.1 puede verse la apariencia del evaporador.

Para evaporar el agua se cuentan con tres concentradores cilindro-parabólicos (CCP) de acero inoxidable pulido, los cuales reciben y reflejan la radiación solar a una tubería receptora de acero inoxidable ubicada en el foco de los parabólicos. Antes de la puesta en marcha el sistema es llenado de agua de mar hasta cierto nivel, luego se cierra y mediante convección natural el agua circula por el sistema hasta el punto de evaporación. Aquí el vapor se acumula en el estanque a la espera de ser liberado cuando se alcanza la presión necesaria para llegar al sistema de condensación, el cual se encuentra varios metros arriba del evaporador. Cuando todo el vapor ha sido desplazado se abre la válvula de eliminación de salmuera, con la cual se puede obtener sal de mar como sub-producto.

El prototipo será operado en Laguna Verde, en la Región de Valparaíso, Chile. El lugar de operación es determinado en Laguna Verde debido a que funciona en conjunto con otros proyectos de memoristas guiados por el Profesor Udo Rheinschmidt. En la Figura 1.3 se aprecia un mapa del sector.

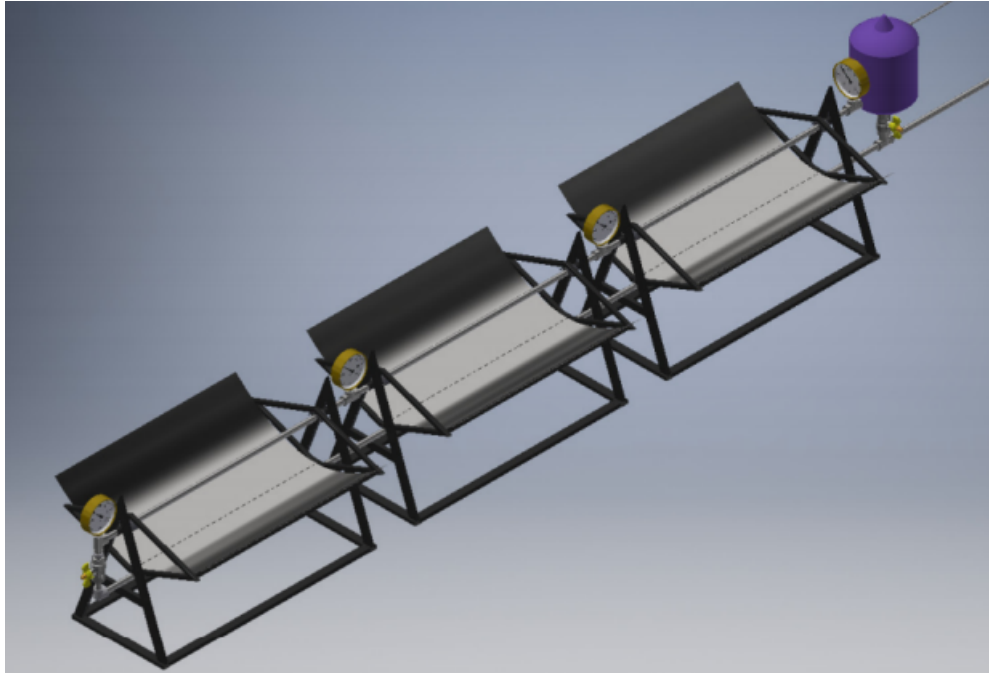


Figura 1.1: Dibujo 3D del diseño del evaporador del prototipo



Figura 1.2: Prototipo del condensador construido

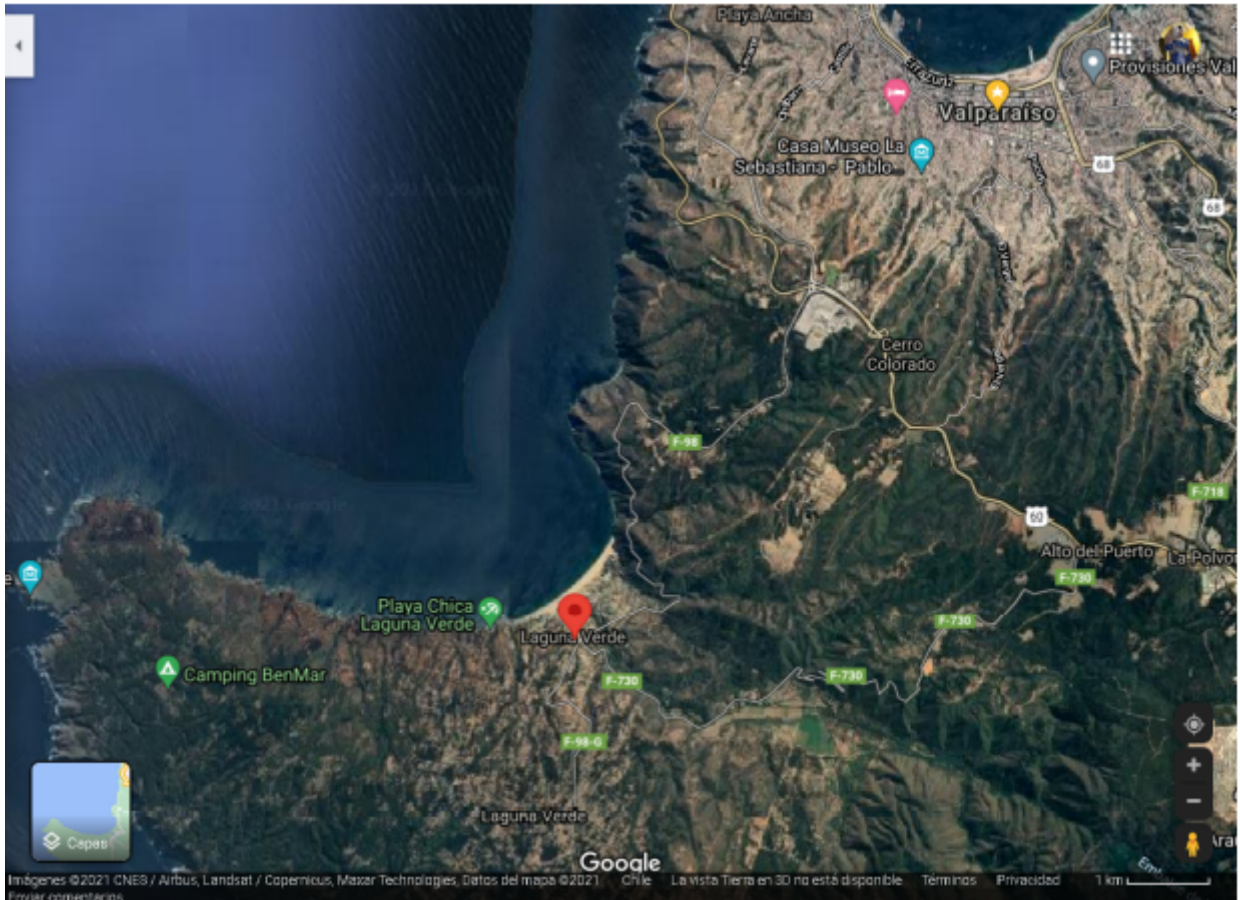


Figura 1.3: Ubicación de operación del prototipo: Laguna Verde, Valparaíso, Chile.

## **1.3. Objetivos**

### **1.3.0.1. Objetivo general**

Diseñar un intercambiador de calor de condensación para un sistema de bomba desalinizadora solar de alta presión, ó (H)SPD por sus siglas en inglés de (High) Solar-Powered Desalination (Pump).

### **1.3.0.2. Objetivos específicos**

- Investigar estado del arte.
- Dimensionar el intercambiador de calor.
- Seleccionar y especificar el equipo.
- Realizar propuesta de acople al sistema.

# Capítulo 2

## Estado del Arte

El intercambiadores de calor es un dispositivo que es usado para transferir la energía térmica interna entre dos o más fluidos que están a diferentes temperaturas. En la mayoría de los intercambiadores de calor, los fluidos están separados mediante una superficie de transferencia de calor, e idealmente ellos no se mezclan. Los intercambiadores de calor son usadas en industrias de proceso, energía, petróleo, transporte, aire acondicionado, refrigeración, criogénicas, recuperativas de calor, entre otras. Algunos ejemplos comunes de intercambiadores de calor familiares para la día a día de la gente son los radiadores de automóviles, los condensadores, evaporadores, precalentadores de aire, enfriadores de aceite.

### 2.1. Tipos de intercambiadores de calor

En general, los intercambiadores de calor se pueden clasificar de acuerdo a : construcción ; proceso de transferencias; grados de compactación de superficie; arreglo de flujos; arreglo de pasos; fase de los fluidos procesados; mecanismos de transferencia de calor. Se describen en lo siguiente solo dos de estas clasificaciones, en razón de su importancia para el diseño particular de este trabajo.

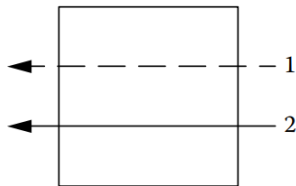


Figura 2.1: Esquema de arreglo de flujo paralelo

### 2.1.1. Según arreglo de flujo

Los arreglos de flujo básico de fluidos para un intercambiador de calor son:

- Flujo Paralelo
- A contra flujo
- Flujo cruzado

La elección de un arreglo de flujo particular es dependiente de la efectividad, recorrido del flujo, esfuerzos térmicos permitidos, niveles de temperatura, entre otros criterios. Estos tipos básicos son discutidos a continuación.

#### 2.1.1.1. Intercambiadores de flujo paralelo

En este tipo, ambas corrientes de fluido tienen la misma entrada y la misma salida, fluyen paralelamente una a la otra en la misma dirección, y se separan al final. Este arreglo tiene la menor efectividad de intercambio entre los intercambiadores de paso único para los mismas tasas de flujos, tasas de capacidad (masa  $\times$  calor específico) y área superficial. Además la existencia de grandes diferencias de temperaturas al ingreso puede inducir grandes esfuerzos térmicos en la pared del entrada del intercambiador. El flujo paralelo es ventajoso : (a) en calentamiento de fluidos muy viscoso, el flujo paralelo proporciona calentamiento rápido, (b) cuando son requeridas temperaturas moderadas para el material del tubo, y (c) cuando las mejoras en las tasas de transferencia de calor compensan la baja diferencia de temperatura.

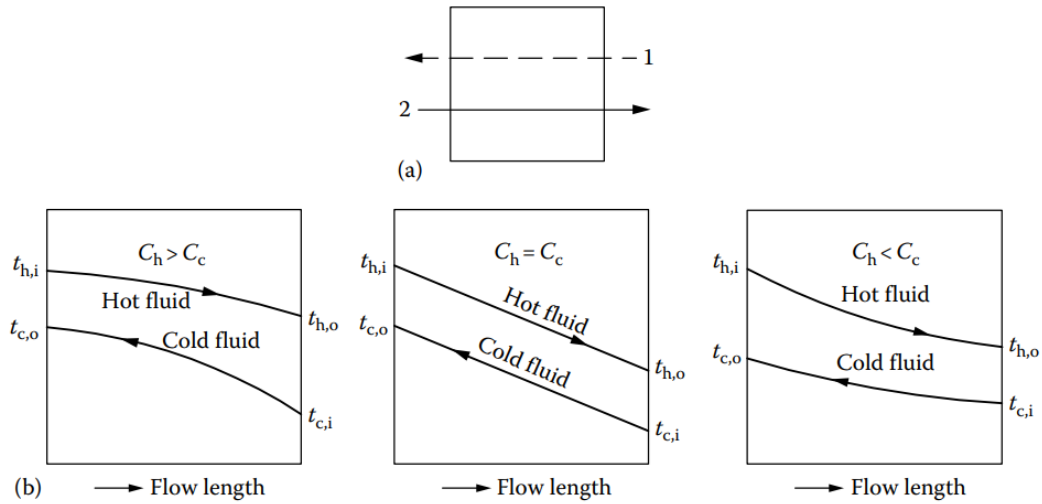


Figura 2.2: (a) Esquema de arreglo en contra-flujo (b) Esquema de distribución de temperatura

### 2.1.1.2. Intercambiador a contra flujo

En este tipo, los dos fluidos fluyen en paralelo el uno al otro pero en direcciones opuestas, y su distribución de temperatura puede ser idealizada como muestra la Figura 2.2 (b). Idealmente, este es el arreglo de flujo más eficiente de los arreglos de paso único y para condiciones iguales. Dado que las diferencias de temperaturas a través de la pared del intercambiador en un sección transversal dada es menor, produce esfuerzos térmicos mínimos respecto a los demás arreglos de flujo. En ciertos tipos de intercambiadores, el arreglo a contra flujo no puede ser logrado fácilmente debido dificultades de manufactura.

### 2.1.1.3. Intercambiador de flujo cruzado

En este tipo de arreglo como se muestra en la Figura 2.3, los dos fluidos fluyen normales el uno al otro. Tipos importantes de combinaciones de este arreglo de flujo para intercambiadores de paso único incluyen los siguientes:

- Ambos fluidos no mezclados
- un fluido mezclado y el otro no mezclado

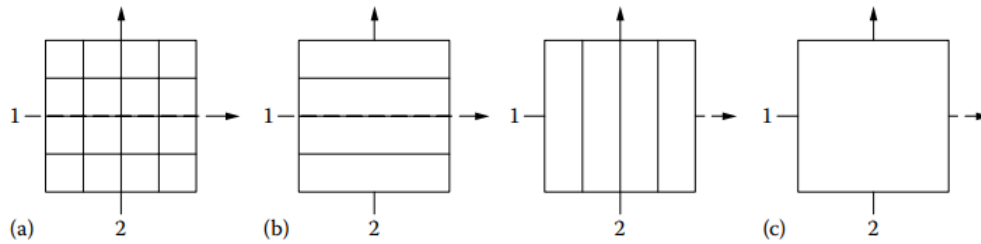


Figura 2.3: Esquema de arreglo de flujo cruzado: (a) no mezclado- no mezclado (b) no mezclado-mezclado (c) mezclado-mezclado

- Ambos fluidos mezclados

Una corriente de fluido es considerada 'no-mezclada' cuando esta pasa a través de un pasaje de flujo individual sin ninguna mezcla entre los pasajes de flujos adyacentes. Mezcla implica que un proceso de equiparación térmica toma lugar en cada sección transversal a través de todo el ancho del pasaje de flujo. Un intercambiador de tubo-aleteado con aletas planas y un intercambiador de plato-aleteado donde los dos fluidos van por pasajes separados, representan un caso de no mezclado-no mezclado. Un intercambiador tubular de flujo cruzado con tubos lisos en el exterior podría ser tratado como un caso mezclado-no mezclado, esto es, el mezclado es el lado exterior, y el no-mezclado el lado del tubo. El caso que queda, en general, no es importante.

Para el caso no mezclado-no mezclado, las variaciones de la temperatura del fluido son idealizadas a dos dimensiones solo para las secciones de entrada y salida, como se muestra en la Figura 2.3. La efectividad térmica de este caso está entre la de arreglo de flujo paralelo y arreglo a contra flujo. El tipo de arreglo de flujo cruzado es el más común usado en intercambiadores de superficie extendida a causa que simplifica grandemente el diseño de cabezales. Si la efectividad térmica deseada para el intercambiador es generalmente más que 80 %, la penalización por tamaño en flujo cruzado puede volverse excesiva. En tal caso, una unidad de contraflujo es preferida.

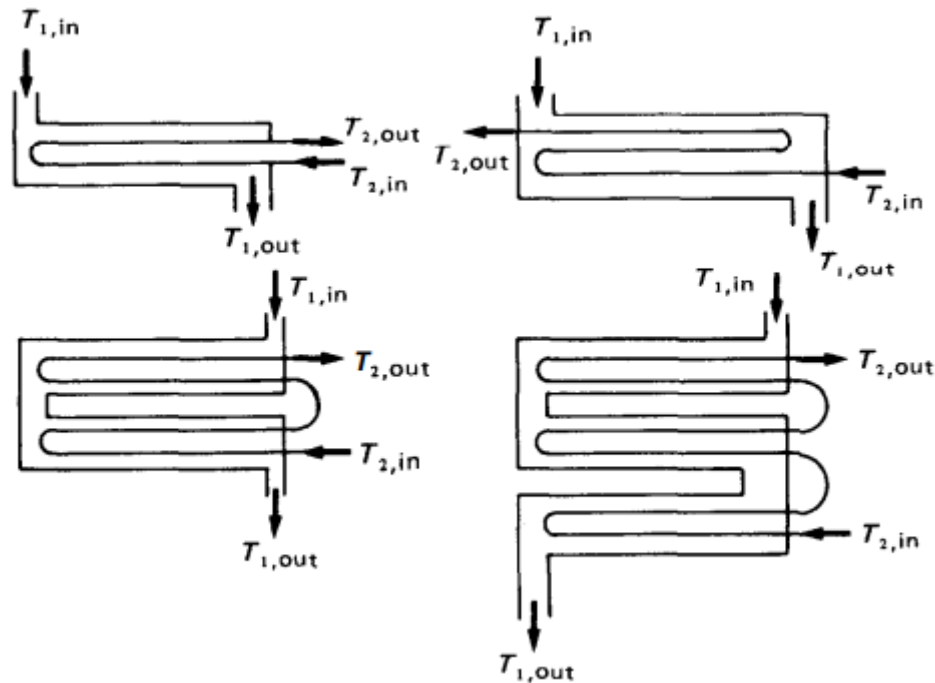


Figura 2.4: Esquema de arreglos multipaso para intercambiadores de tubo y carcasa, de arreglo paralelo y contraflujo.

#### 2.1.1.4. Multipasos

Para los arreglos anteriores de flujo es añadida también la posibilidad de arreglar los pasajes de las corrientes de flujo para que vuelvan a pasar por una sección del intercambiador, en vez de pasar por ella a través de una sola longitud por pasaje. Esto es posible, generalmente, al ser doblados al interior del lado de la carcasa, o ser doblados por fuera, es decir, saliendo y volviendo a ingresar.

Cuando el diseño de un intercambiador de calor resulta extremadamente largo, con velocidades bajas significantes, o bajas efectividad térmica, o algún otro criterio de diseño, son empleados ya sea series de varios intercambiadores de paso único o intercambiadores de multipaso. Específicamente, se recurre al multipaso para incrementar la efectividad térmica del intercambiador sobre las efectividad de los pasajes únicos. A medida que el número de pasos aumenta, la dirección global de los dos fluidos se acerca a la de un intercambiador de contraflujo puro.

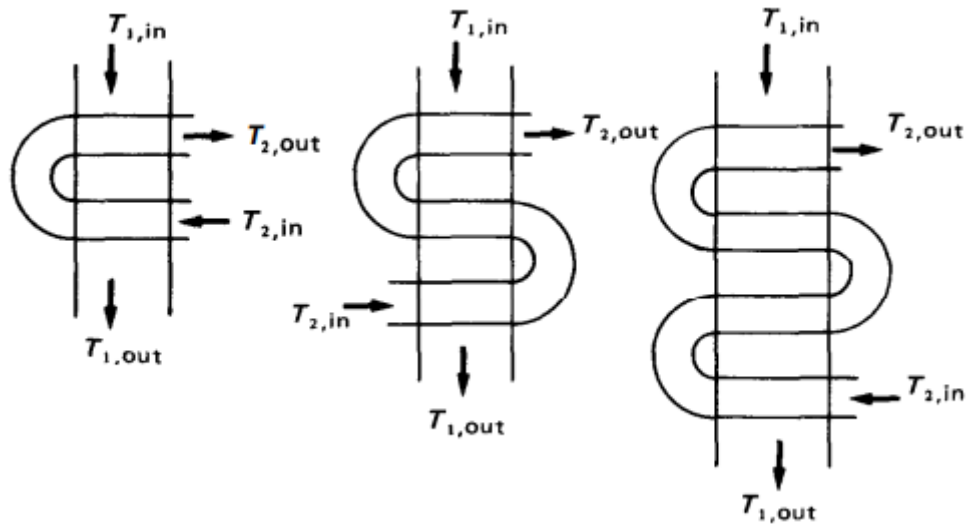


Figura 2.5: Esquema de un intercambiador con arreglo de flujo cruzado multipaso

## 2.1.2. Según construcción

Según sus detalles de construcción, los intercambiadores de calor son clasificados como sigue:

- Intercambiadores de calor tubulares: de tubo doble (uno al interior del otro), carcasa y tubo, tubo serpenteado.
- Intercambiadores de calor de plato: de tapón, soldado a latón, soldado, espiral, panel serpenteado, laminado.
- Intercambiadores de calor de superficie extendida: tubo-aleteado, plato-aleteado.
- Regeneradores: matriz fija, matriz rotatoria.

A continuación se detallan características principales de algunos de los intercambiadores clasificados anteriormente.

### 2.1.2.1. Tubo doble

- **Características de construcción:** Dos tubos concéntricos, usualmente replegados formando una  $\ddot{U}$ . El arreglo de flujo es puramente de contracorriente. El

rango de área superficial va de 30 a 550  $m^2$  (en tubos aleteados). Las presiones posibles son de vacío total hasta sobre 100 MPa. (Limitadas por tamaño, material, y condiciones de diseño) y las temperaturas desde -100 a 600 °C.

- **Características de desempeño:** El proceso produce cruce de temperaturas (que la temperatura de salida del fluido refrigerante sea más alta que la de salida del fluido caliente), con altas presiones del lado del tubo interior. Permite poca pérdida de presión en uno de los lados, cuando el intercambiador está sometido de choques térmicos. Las vibraciones inducidas por el flujo pueden ser un problema.

#### 2.1.2.2. Carcasa y tubo

- **Características de construcción:** Es el más común de los intercambiadores utilizados en la industria. Puede ser usado como enfriador de aceite, condensador de superficie, alimentador de agua calentada, etc. Los mayores componentes del intercambiador son tubos, baffles, carcasa, cabezal frontal, cabezal posterior y toberas. Diámetros desde 60 hasta arriba de 2000 mm. Temperatura de operación desde -20 hasta arriba de 500°C. Presiones de operación máxima de 600 bar.
- **Características de desempeño:** tiene por ventaja que es extremadamente flexible y robusto en su diseño, fácil de mantener y reparar. Sus desventajas son: 1. requiere de áreas grandes para su instalación, incluso espacio extra para remover el banco de tubos. 2. su construcción es pesada. 3. Los intercambiadores de calor de placa pueden ser más baratos para presiones bajo los 16 bar y temperaturas bajo los 200 °C.

#### 2.1.2.3. Tubo serpenteado

- **Características de construcción:** la construcción de estos intercambiadores involucra envolver una gran cantidad de tubos dúctiles de bajo calibre en disposición helicoidal alrededor de un tubo central. Diferentes fluidos pueden ser pasados en contraflujo hacia el fluido que viene por la carcasa de paso único.

- **Características de desempeño:** las ventajas apuntan especialmente a aplicaciones de baja temperatura donde se busca la transferencia de calor entre más de dos corrientes de flujo. No permite limpieza mecánica y por tanto deben ser eliminados las depositaciones a través de químicos.

#### 2.1.2.4. Tubo-aleteado

- **Características de construcción:** Pueden disponerse las aletas como : 1. normales a la superficie de tubos individuales. 2. longitudinales a la superficie de tubos individuales, generalmente utilizadas para aplicaciones de condensación y fluidos viscosos. 3. planas o continuas, externas a la superficie en un arreglo de tubos.
- **Características de desempeño:** sus ventajas son que se necesita poco inventario para su construcción, tiene poco peso, de fácil transporte, no necesita fundación, mejor control de temperatura. Sus aplicaciones son para condensadores y evaporadores de aire acondicionado, radiadores, aire acondicionado, interenfriador y super-cargadores para motores de combustión interna,etc.

#### 2.1.2.5. Enfriados por aire

- **Características de construcción:** banco de tubos individualmente aleteados. El banco de tubos consiste en una serie de tubos aleteados dispuestos en hileras, que son afirmados y distribuidos entre cabezales. Un dispositivo propulsor de aire (compresor, soplador, ventilador, etc) produce una corriente a través del banco de tubos que puede ser arrastre forzado o inducido. Estructura de soporte lo suficientemente alta para permitir que el aire entre hacia el intercambiador.
- **Características de desempeño:** las ventajas son que el diseño es simple comparado al de carcasa y tubo, siempre que la presión y temperatura del lado del aire pertenezcan a las condiciones de ambiente. El diseño del lado del tubo es el mismo que el de carcasa y tubo. La mantención es menor que para los sistemas

de enfriamiento por agua. El ensuciamiento del lado del aire puede ser limpiado fácilmente.

#### 2.1.2.6. Tubo doble

- **Características de construcción:** Generalmente una compresión de pilas de platos de metal coarrugados o repujados en contacto mutuo. Cada plato tiene cuatro aberturas que sirven de puertos de entrada y salida, y sellos diseñados de tal forma de dirigir los fluidos por pasajes de flujo alternantes. El estándar de desempeño es : máxima presión de operación 25 bar; máxima temperatura 160°C (con tapones especiales, 200 °C); máximo flujo de masa 3600  $m^3/h$ ; alcance de diferencia de temperatura hasta 1 °C; recuperación de calor hasta 93% ; y coeficiente de transferencia de calor global 3000-7000  $W/m^2 \cdot ^\circ C$ . Incluye variedades en materiales y arreglos de la pila de platos.
- **Características de desempeño:** las ventajas que ofrece son contraflujo real, alta turbulencia y alta desempeño de transferencia de calor. Alcance de diferencias de temperatura muy cercano. Poco ensuciamiento, puesto que la contaminación cruzada es eliminada. Múltiples cargas de trabajo con única unidad. Expansible. Fácil de limpiar e inspeccionar, necesita poco mantenimiento. Poco volumen de líquido y control de proceso rápido. Bajo costo. Las desventajas son que las operaciones de máxima temperatura y presión están limitadas por el materiales de los tapones. Estos no pueden tener medios corrosivos o abrasivos. Los tapones no pueden manipular partículas más grandes que 0,5 mm. Los tapones incrementan el riesgo de filtraciones.

#### 2.1.2.7. de Plato-aleteado

- **Características de construcción:** es una forma de intercambiador de calor compacto consistente en una pila de platos planos llamado "hojas partidas" aletas coarrugadas, en una abrazadera que forman un bloque. Diferentes tipos de aletas

pueden ser usadas entre los platos, según la aplicación. Es comúnmente usado para aplicaciones de intercambio de gas a gas. Ofrece grandes densidades de área (arriba de  $6000 \text{ m}^2/\text{m}^3$ ). Diseñado para aplicaciones de baja presión, con operaciones máximas cerca de los 1000 kPa g, y dos rangos de operaciones, desde criogénico a  $150^\circ\text{C}$  para materiales de aluminio total, y hasta  $700\text{-}800^\circ\text{C}$  para aleaciones resistentes al calor.

- **Características de desempeño:** entre sus ventajas es que ofrece desempeños térmicos superiores a los intercambiadores de calor de superficie extendida. También puede alcanzar diferencias de temperaturas hasta  $1^\circ\text{C}$  para corrientes de una fase, y  $3^\circ\text{C}$  para multi-fase. Es una opción obvia para aplicaciones criogénicas, con los debidos materiales. Puede alcanzar efectividades térmicas muy altas.

#### 2.1.2.8. Regeneradores

- **Características de construcción:** los intercambiadores usados para precalentar aire de combustión son llamados recuperadores o regeneradores. Un recuperador es un intercambiador de calor convectivo, sea tubular, de plato-aleteado o de superficie extendidas. El regenerador es clasificado en de matriz fija (o de lecho fijo) y en matriz rotatoria. La matriz es calentada alternadamente por el fluido caliente y enfriada por el fluido frío. Se desempeña para altas temperaturas:  $800\text{-}1100^\circ\text{C}$  para matrices de metal, y  $2000^\circ\text{C}$  para matrices de cerámica. Tienen tamaños compactos:  $\beta = 8800\text{m}^2/\text{m}^3$  para rotatorias y  $1600\text{m}^2/\text{m}^3$  para fijas)
- **Características de desempeño:** Tiene varios usos: para el recalentamiento del proceso de alimentación; precalentador de aire de combustión; calentador de espacios, para ventiladores de edificios y calefacciones. Calentador de aguas de alimentación para generación de vapor.

# Capítulo 3

## Marco Teórico

### 3.1. Conceptos termodinámicos

Se presentan a continuación conceptos generales de termodinámica con el propósito de mostrar las relaciones entre los elementos de un intercambiador, como son la carga calorífica o tasa de transferencia de calor dentro y entre los materiales  $q$ , el área de la superficie  $A$ , las temperaturas de los fluidos  $\Delta T_{h,c}$ , las tasas de flujo  $\dot{m}$ .

De la primera ley de la termodinámica se sigue que,

$$m\Delta e = Q - W \quad (3.1)$$

donde  $m$  es la masa de material;  $\Delta e$  es el incremento o decremento de la energía interna específica del material;  $Q$  es el calor transferido hacia el material]; y  $W$  es el trabajo realizado por este durante la transferencia. Las unidades son aquí Joules por kilogramo ( $J/kg$ ).

La entalpía específica  $h$  del material es una propiedad extensiva relacionada con la energía interna específica  $e$ , la presión  $p$ , y la densidad  $\rho$ , como se muestra en la ecuación,

$$h = e + \frac{p}{\rho} \quad (3.2)$$

, donde al igual que  $e$ ,  $h$  es una función de dos variables, por ejemplo, presión y temperatura; y sus unidades son Joule por kilogramo; la presión  $p$  es entendida como la fuerza que ejerce el material o fluido hacia sus alrededores, en dirección normal a sus superficie. Sus unidades están en (N/m); la densidad  $\rho$  es la masa de material por unidad de volumen, sus unidades son (kg/m<sup>3</sup>).

La entalpía específica es de particular importancia en los intercambiadores de calor porque participa de la ecuación de energía estacionaria,

$$\dot{m} \left( h + \frac{u^2}{2} + gz \right) = \dot{q} + \dot{w} \quad (3.3)$$

donde  $\dot{m}$  es la tasa de flujo de masa en (kg/s);  $\Delta$  se refiere al incremento o decremento del término entre paréntesis; este término es la suma de la entalpía, la energía cinética, y la energía potencial;  $\dot{q}$  es el flujo de calor transferido hacia la región que delimita el flujo de masa; y  $\dot{w}$  es el trabajo transmitido hacia al exterior por el flujo. En general, los términos de importancia usados en intercambiadores de calor son  $\dot{m}$ ,  $\Delta h$ , y  $\dot{q}$ .

En las mezcla de dos-fases, como lo es el caso de vapor y agua, la calidad  $x$  es la masa de fluido, por unidades de mezcla. En el caso, masa de vapor por masa de fluido vapor y agua. Sus unidades son (kg/kg), y sus valores deben estar siempre en el rango [0.0 – 1.0].

La entalía específica de una mezcla de dos-fases, está relacionada con las entalpías específicas del líquido y vapor saturados,  $h_l$  y  $h_g$ , respectivamente, por,

$$h = h_l(1 - x) + h_g x \quad (3.4)$$

. Una relación similar existe para las densidad, pero en recíprocos, como,

$$\frac{1}{\rho} = \frac{1 - x}{\rho_l} + \frac{x}{\rho_g} \quad (3.5)$$

, dónde  $\rho_l$  y  $\rho_g$  son densidades de saturación de líquido y vapor, respectivamente.

Las capacidades caloríficas específicas, o también llamados, calores específicos, a volu-

men y presión constante, son como su nombre lo indica, consideradas en general como constantes para el material o flujo. Sus ecuaciones están dadas, respectivamente, como,

$$c_v = \left( \frac{\partial h}{\partial T} \right)_v \quad (3.6)$$

y,

$$c_p = \left( \frac{\partial h}{\partial T} \right)_p \quad (3.7)$$

En general,  $c_v$  y  $c_p$  para cualquier sustancia, son funciones de la temperatura y la presión. Sin embargo, frecuentemente son variaciones muy pequeñas, y para el rango de temperatura encontrado en los intercambiadores de calor, suelen descartarse. A consecuencia de esto, es posible representar la entalpía específica como,

$$h = c_p(T - T_0) \quad (3.8)$$

, siendo  $T_0$  una temperatura base elegida arbitrariamente. Para un mezcla ideal, la ecuación se transforma en,

$$h = c_{p,l}(1 - x)(T - T_0) + c_{p,g}x(T - T_0) \quad (3.9)$$

. Considerando un volumen de control, la versión de flujo estacionario descrita en la ecuación (3.3), que describe la primera ley de la termodinámica lleva a,

$$\dot{m}_1(h_{1,out} - h_{1,in}) + \dot{m}_2(h_{2,out} - h_{2,in}) = 0 \quad (3.10)$$

, donde es implícito que la energía cinética, calor transferido hacia el exterior, y el trabajo realizado hacia el exterior son despreciables. Esta ecuación de conservación es de gran importancia para la interacciones de corrientes de entrada y salida, en intercambiadores de calor.

La relación de temperaturas existente entre dos corrientes que pasan a través del inter-

cambiadore de calor sin cambio de fase, puede ser expresada como,

$$\dot{m}_1 c_{p,1}(T_{1,out} - T_{1,in}) + \dot{m}_2 c_{p,2}(T_{2,out} - T_{2,in}) = 0 \quad (3.11)$$

. Y si alguno de las corrientes sufre un cambio de fase, y la otra no, como es el caso del condensador, donde el vapor pasa a fase líquida, y el otro fluido refrigerante se mantiene en su estado, puede escribirse como,

$$\dot{m}_1 c_{p,1}(T_{1,out} - T_{1,in}) + \dot{m}_2 c_{p,2} \left( (T_{2,out} - T_{2,in}) - \frac{\Delta h}{c_{p,2}} \right) = 0 \quad (3.12)$$

dónde se incluye el término  $\Delta h$ , que es el calor latente de vaporización.

## 3.2. Transferencia de calor en intercambiadores

La ecuación de transferencia de calor es,

$$q = UA\Delta T \quad (3.13)$$

donde  $\Delta T = T_1 - T_2$ , siendo las temperaturas de las corrientes de flujos 1 y 2.

El coeficiente de transferencia de calor global para tubo plano basado en el área interna [heat exchanger design cap 2]:

$$\frac{1}{U_o} = \frac{1}{h_o} + R_f + \frac{2\ln(d/d_i)}{2k} + \frac{d}{d_i h_i} \quad (3.14)$$

### 3.2.1. Coeficientes de convección

La transferencia de calor por convección ocurre cuando un fluido en movimiento de temperatura  $T_\infty$  recibe o entrega a calor a una superficie sólida con otra temperatura  $T_s$ . El problema de la convección es hallar el coeficiente de transferencia de calor por convección  $h$ .

$$q = h(T_s - T_\infty) \quad (3.15)$$

El lugar donde se encuentra una relación para  $h$  es en la superficie de contacto. En ella se desarrolla la capa límite hidrodinámica y térmica, y se cumple la condición de no deslizamiento: la capa de fluido adyacente a la superficie está en reposo en relación respecto a esta última. Por tanto, el flujo de calor es determinado por conducción pura, de la ley de Fourier:

$$q = -k_f \left. \frac{\partial T}{\partial y} \right|_{y=0} \quad (3.16)$$

Igualando las expresiones anteriores (3.15) y (3.16) es obtenida una relación para la transferencia de calor por convección conociendo el gradiente de temperatura dentro del fluido.

$$h = \frac{k_f \partial T / \partial y|_{y=0}}{T_s - T_\infty} \quad (3.17)$$

La distribución de temperatura del fluido tiene solución en las ecuaciones de capa límite térmica. Para llegar a esta solución se debe resolver un sistema acoplado de ecuaciones de conservación (masa, cantidad de movimiento, energía). Este desarrollo está ampliamente explicado en textos de transferencia de calor y mecánica de fluidos [referencias Cengel Incoprera]. No son demostradas aquí ni la conformación de esas ecuaciones. Solo es presentada la forma final de la ecuación de energía, que es de interés para la convección forzada en tuberías. A saber es que las ecuaciones de conservación son simplificadas bajo los supuestos de flujo incompresible, propiedades  $k$ ,  $\nu$  constantes, sin fuerzas de cuerpo ni generación. Además de las aproximaciones de capa límite, como es sabido, las variaciones en el eje  $x$  son despreciables respecto a las de  $y$  y  $u$  es mucho mayor que  $v$ . Para el caso de la capa límite térmica el término de disipación viscosa

también es despreciado.

$$\rho c_p \left( u \frac{\partial T}{\partial x} + v \frac{\partial T}{\partial y} \right) = k \frac{\partial^2 T}{\partial y^2} \quad (3.18)$$

La solución autosimilar de Blasius para la ecuación de momento obtiene un perfil de velocidad que puede usarse en la anterior ecuación y obtener una relación analítica para el gradiente de temperatura . Otra forma de obtener información del gradiente de temperatura en la ecuación (3.18) es empíricamente a través del análisis adimensional. Usando los siguientes parámetros característicos se obtienen nuevas variables adimensionales:

$$x^* \equiv \frac{x}{L}, \quad y^* \equiv \frac{y}{L}, \quad u^* \equiv \frac{u}{V}, \quad v^* \equiv \frac{v}{V} \quad \text{y} \quad T^* \equiv \frac{T - T_s}{T_\infty - T_s} \quad (3.19)$$

Aplicadas a la ecuación (3.18) se tiene una nueva forma adimensional de la forma:

$$u^* \frac{\partial T^*}{\partial x^*} + v^* \frac{\partial T^*}{\partial y^*} = \frac{k}{\rho c_p V L} \frac{\partial^2 T^*}{\partial y^{*2}} \quad (3.20)$$

De la ecuación (3.20) se nota que están multiplicadas inversamente las cantidades  $\mu c_p/k$  y  $\rho V L/\mu$ , que son los números adimensionales de Prandtl y Reynolds respectivamente.

La ecuación reescrita queda por tanto como:

$$u^* \frac{\partial T^*}{\partial x^*} + v^* \frac{\partial T^*}{\partial y^*} = \frac{1}{Re_L Pr} \frac{\partial^2 T^*}{\partial y^{*2}} \quad (3.21)$$

(3.21) .

De la ecuación anterior se deduce que la variable temperatura adimensional, para una configuración geométrica dada, tendrá una solución de la forma :

$$T^* = f_1(x^*, y^*, Re, Pr) \quad (3.22)$$

Si se aplica esta forma adimensional a la ecuación (3.17) para el coeficiente de convección

se obtiene

$$h = \frac{-k_f(T - T_s)}{L(T_\infty - T_s)} \left. \frac{\partial T^*}{\partial y^*} \right|_{y^*=0} = \frac{k_f}{L} \left. \frac{\partial T^*}{\partial y^*} \right|_{y^*=0} \quad (3.23)$$

Por tanto,  $h$  es una función de un parámetro dimensional que dependen de la geometría, una propiedad del material y demás parámetros adimensionales. Para fines de hallar semejanza experimental para la transferencia de calor es posible reordenar la ecuación anterior y para formar un grupo adimensional, el número de Nusselt local:

$$Nu_x = \frac{hL}{k_f} = \left. \frac{\partial T^*}{\partial y^*} \right|_{y^*=0} = f_2(x^*, Re, Pr) \quad (3.24)$$

Así, Nusselt es equivalente al gradiente de temperatura. Dos fenómenos físicos son semejantes si tienen los mismos parámetros adimensionales en las ecuaciones que los rigen. La transferencia de calor es un fenómeno dominado por las ecuaciones de capa límite, de las que se deriva el número de Nusselt. Luego Nusselt es un grupo adimensional que entrega información de  $h$  para todo fenómeno en que apliquen las condiciones de capa límite. Por tanto, de modelos experimentales donde es medido el gradiente de temperatura, pueden obtenerse relaciones de similitud con unos pocos parámetros que caractericen el fluido con  $Re$  y  $Pr$ .

La integración de la expresión (3.24) elimina la dependencia de  $x^*$  y  $h$  pasa a ser el coeficiente de transferencia promedio. A menudo, los datos experimentales para la transferencia de calor se representan mediante una simple relación de la ley de las potencias de la forma:

$$Nu_L = C Re_L^m Pr^n \quad (3.25)$$

## 3.2.2. Coeficiente de convección externo: banco de tubos

### 3.2.2.1. Flujo externo a través de cilindros

Para los objetivos de este trabajo es de interés las correlaciones obtenidas para flujos cruzado sobre bancos de tubos cilíndricos. Este tipo de bancos son encontrados frecuentemente en intercambiadores de calor. Por el interior de los tubos fluye un fluido

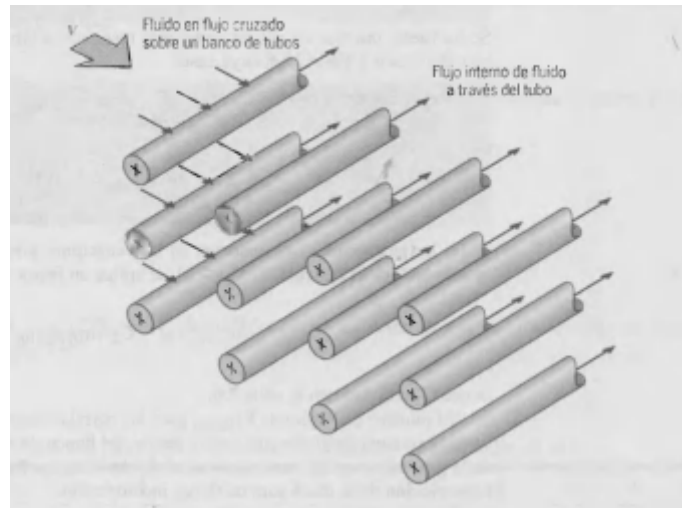


Figura 3.1: Esquema de un banco de tubos en flujo cruzado

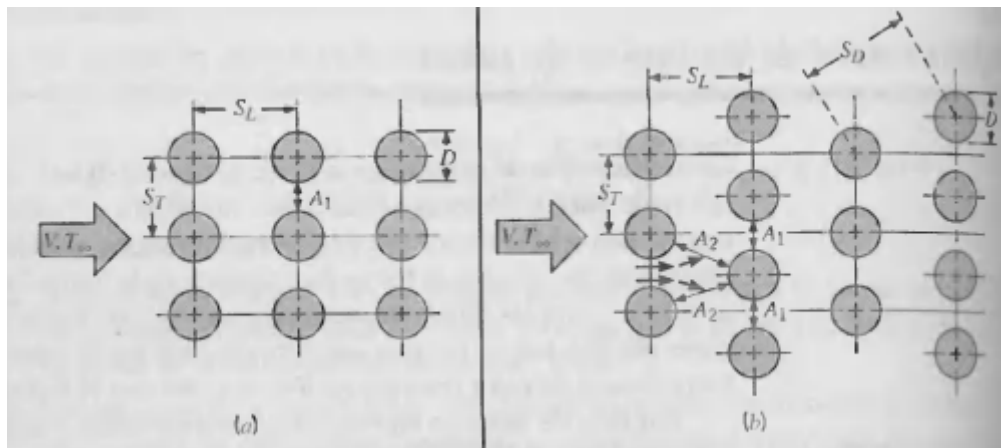


Figura 3.2: Arreglo de tubos en banco: (a) Alineados; (b) Escalonados.

mientras que por fuera hace los cruza un fluido de distinta temperatura. Los arreglos de un banco de tubos son de dos tipos: en línea o escalonados, como se muestra en la Figura 3.1. El diámetro exterior  $D$  se toma como la longitud característica, y en función de ella se determinan las separaciones longitudinales  $S_L$  y transversales  $S_T$ , medidas desde el centro de los tubos. Para el caso del arreglo escalonado la separación diagonal es:

$$S_D = \sqrt{S_L^2 + (S_T/2)^2} \quad (3.26)$$

, como se muestra en la Figura 3.2. Por el principio de conservación de masa, cuando el

fluido pasa a través del banco de tubos, su velocidad varía según la sección de área que atraviesa. Esta área es determinada por las separaciones o módulos que aparecen en la ecuación (3.26) . La velocidad máxima es alcanzada en la mínima sección y se obtiene con ella un  $Re_{max}$  . Luego las correlación experimental (3.25) son calculadas a partir de este número de Reynolds máximo.

$$Re_{L,max} = \frac{\rho V_{max} L}{\mu} \quad (3.27)$$

En adelante, no es indexado el término 'máximo' al número de Reynolds, sin embargo, está determinado siempre por la ecuación (3.27).

Para el arreglo alineado la velocidad máxima ocurre en el plano transversal, y por conservación de masa se obtiene como:

$$V_{max} = \frac{S_T}{S_T - D} U \quad (3.28)$$

Para la configuración escalonada, la velocidad máxima puede ocurrir en el plano transversal o diagonal. Ocurrirá en el diagonal si:

$$2(S_D - D) < (S_T - D) \quad (3.29)$$

en tal caso esta dada por:

$$V_{max} = \frac{S_T}{2(S_D - D)} U \quad (3.30)$$

### 3.2.2.2. Correlaciones empíricas

Según Zukauskas [20] para  $Re$  entre  $10^3$  y  $2 \times 10^5$  se obtiene una correlación para los tubos internos de un arreglo en línea de

$$Nu = 0,27 Re^{0,63} Pr^{0,36} \left( \frac{Pr_f}{Pr_s} \right)^{0,25} \quad (3.31)$$

Zukauskas hace alcances respecto a las distancias relativas transversales  $a = S_T/D$  y longitudinales  $b = S_L/D$ . Para la ecuación (3.31) no es recomendado para  $a/b < 0,7$ . En el caso del arreglo escalonado es recomendado para  $a/b < 2$ :

$$Nu = 0,35(a/b)^{0,2} Re^{0,60} Pr^{0,36} \left( \frac{Pr_f}{Pr_s} \right)^{0,25} \quad (3.32)$$

y para  $a/b > 2$ :

$$Nu = 0,40 Re^{0,60} Pr^{0,36} \left( \frac{Pr_f}{Pr_s} \right)^{0,25} \quad (3.33)$$

Zukauskas ha comparado 79 arreglos de bancos de tubos, de su investigación propia y de otros. El resultado muestra a los tubos en línea con coeficientes de transferencia menores que los escalonados para Reynolds bajos. A medida que aumenta el número de Reynolds, los tubos en líneas llegan a ser comparables a los escalonados.

### 3.2.2.3. Aletas

Las aletas son extensiones en la superficie de los intercambiadores de calor. Estas son usadas siempre que hay un intercambio entre un medio que transporta muy bien el calor (e.g. líquido) y uno que no (ej: gas con densidad pequeña). Estos elementos para extender la superficie, pueden ir dentro o fuera del tubo, y pueden ser grande o pequeños. Hay gran variedad de arreglos en los que se pueden disponer sobre la superficie del tubo y también varían las formas de las aletas, lo que es sensible a cómo es mejorada la transferencia de calor del equipo. En la Figura 3.3 es mostrado un esquema de las dimensiones elementales de la aleta respecto al tubo en el que se une.

Lo mejorado por la aleta, en cuanto a extensión del área de transferencia, no se condice con la cantidad de calor transferible si esa área fuera solo contada en tubos. Esto debido que la transferencia de calor desde el fluido externo hasta el interno debe pasar por la conducción a través de la aleta. En efecto, la aleta tiene diferencias de temperatura distintas a la diferencia entre el fluido externo e interno. Esta nueva diferencia de temperatura, es una resistencia que reduce la transferencia de calor y es medida a través

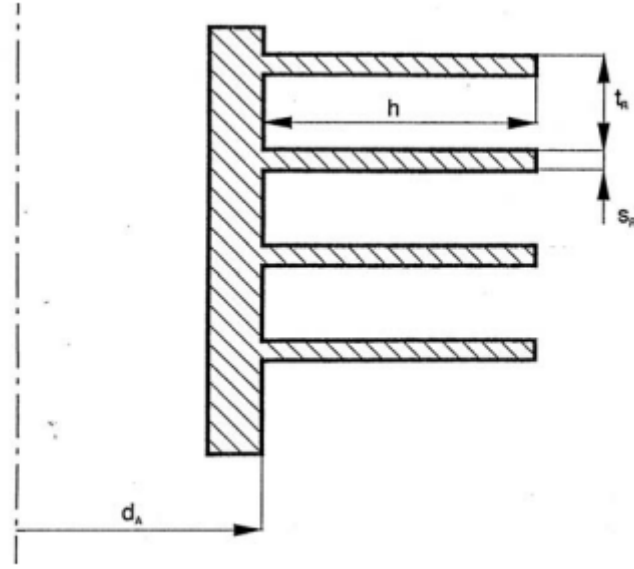


Figura 3.3: Esquema de una aleta con sus parámetros de dimensiones

de un factor. A este factor se le llama eficiencia de la aleta, y va a depender del material de la aleta y su forma. Su calculo se realiza mediante un balance de energía donde queda como coeficiente de una ecuación diferencial ordinaria. Su solución, desarrollo y autores puede ser encontrada en el estudio hecho por Frass [6]. Una solución aproximada, con una buena precisión (para  $\eta_R > 0.5$  el error es 1%)

$$\Omega_e = \eta_R = \frac{\tanh(mh'\varphi)}{mh'\varphi} \quad (3.34)$$

$$m = \sqrt{\frac{2h_f}{k_f t_f}} \quad (3.35)$$

La ecuación (3.34) es la modificación de una solución anterior donde no se consideran la transferencia de calor en los bordes de la aleta. Por esto, aparece el término  $h'$  para considerar ese factor a partir de un  $h$ .

$$h' = h + \frac{t_f}{2} \quad (3.36)$$

$$\varphi = 1 + 0,35 \ln \left( 1 + \frac{h}{r_A} \right) \quad (3.37)$$

Las bases para los coeficientes de transferencia de calor en tubos aletados son las correlaciones para flujo cruzado en tubos lisos. En general existe una reducción del número de Nusselt resultante de el factor de penetración del gas hasta el tubo liso. Para entender su desempeño, es recomendado por Taborek [13] escribir la ecuación del coeficiente global de transferencia de calor (ec. (3.14)),  $U^*$ , en términos del área de referencia  $A^*$ :

$$\frac{1}{U^*} = \left[ \frac{1}{h_f \Omega_e} + R_{fo} \right] \frac{A^*}{A_o} + \left[ \frac{1}{h_i} + R_{fi} \right] \frac{A^*}{A_i} + R_w \frac{A^*}{A_{w,aw}} \quad (3.38)$$

El término  $h_f \Omega_e$  es el coeficiente de transferencia de calor externo corregido por razón de la aleta, y además, ponderado por un factor de eficiencia de la aleta  $\Omega_e$ . Las áreas externa, interna, y un promedio de superficie de pared son respectivamente  $A_o$ ,  $A_i$ ,  $A_{w,aw}$ .  $R_{fo}$  y  $R_{fi}$  son los coeficientes de ensuciamiento, y  $R_w$  es la resistencia térmica de la pared. La ecuación así presentada resulta útil para la interpretación, y luego el criterio de selección. Si  $A^* = A_o$  la resistencia térmica interna del tubo va parecer grande, y luego  $U^*$  va a ser pequeño. Esto se ve compensado por un  $A^*$  de intercambio grande. Si  $A^* = A_{pl}$ , es decir, referenciado al área del tubo plano, o no aletado. El denominador del primer término será alto, en efecto, el coeficiente de transferencia de aleta es grande, mostrando la mejora comparada al tubo plano. También  $A^* = A_i$  puede ser útil cuando el coeficiente interno  $h_i$  es comparable

A partir de esto, algunas reglas que justifican el uso de tubos aletas son :

- La resistencia térmica del exterior del tubo debe ser considerablemente mayor a la interior, usualmente en una razón 3 : 1 o mayor. De esta forma es compensado el costo de las aletas .
- Para una mayor efectividad de las aletas externas, la resistencia térmica de la parte interior del tubo debe ser baja, esto es, alto coeficiente de transferencia de

calor, y bajo coeficiente de ensuciamiento. El autor recomienda que el diseñador tenga especial cuidado en la sobrestimación del coeficiente de ensuciamiento.

- La resistencia por ensuciamiento de la superficie aletada tiene un efecto pequeño en  $U$ . Esto debido a que el coeficiente del gas externo suele ser muy bajo, y solo un coeficiente de ensuciamiento muy grande puede afectarlo. Se recomienda no querer exagerar este coeficiente para una ilusión de factor de seguridad.

También puede el efecto de la aleta puede ser aplicado al coeficiente de convección local del tubo, para no afectar la forma de la ecuación de transferencia de calor global (ec (3.14)). Esta se aplica para las ecuaciones específicas de banco de tubos y tipo de aletas, y viene dada por,

$$\alpha_o = \alpha_0 \frac{A_{Ri}\eta_R + A_{Ro}}{A_{Ri} + A_{Ro}} \quad (3.39)$$

donde,  $\alpha_0$  es el coeficiente de transferencia externo en función de el número de Nusselt, largo y coeficiente de conducción como se muestra en la ecuación (3.24).

#### 3.2.2.4. Correlaciones

A continuación se muestran diferentes correlaciones recopiladas en el trabajo de Frass [[6]]. Son descritas solo algunas, y finalmente se muestra un gráfico comparativo de éstas y aquellas que no son descritas aquí.

La correlación de acuerdo a Schmidt,

$$Nu = CRe^{0,625}Pr^{1/3} \left( \frac{A_{tot}}{A_b} \right)^{-0,375} \quad (3.40)$$

Donde determina que el efecto de las aletas solo depende del factor de área  $A_{tot}/A_b$ , área total del lado del gas y área del tubo liso. La constante C es  $C = 0,45$  para arreglo escalonado y  $C = 0,30$  para arreglo en línea.

La ecuación anterior usa el número de Nussel modificando la relación de la longitud

característica en (3.24) como:

$$L^* = d_A \frac{A_{tot}}{A_b} \quad (3.41)$$

De acuerdo con Stasiulevicius et al. y el Heat Exchanger Design Handbook (HEDH) [15] se consigue una correlación que considera los factores geométricos de la aleta

$$Nu = C Re^{C_1} Pr^{1/3} \left( \frac{t_q}{t_l} \right)^{0,2} \left( \frac{t_R - s_R}{d_A} \right)^{0,18} \left( \frac{h}{d_A} \right)^{0,14} \quad (3.42)$$

donde se incluyen las separaciones longitudinales y transversales. Para  $10^2 < Re < 2 \cdot 10^4$ ,  $C = 0,19$  y  $C_1 = 0,65$ . Para el cálculo de  $Nu$  también se usa la longitud característica de (3.41).

Al igual que para tubos lisos, Frass ha señalado que, en general, los coeficientes de los arreglos en línea son dos tercios de los escalonados. Otras comparaciones son estudiadas en el mismo trabajo, con variaciones en los parámetros como diámetro del tubo liso, alto, módulo, forma de la aleta, para distintas correlaciones. A modo de ejemplo, se muestra en la Figura 3.4 y 3.5 la influencia del cambio de diámetro del tubo, para más de diez correlaciones empíricas (los términos MM y HE, son los referentes a las correlaciones mostradas anteriormente: "Schmidtz "Stasiulevicius et al y HEDH", respectivamente)

### **3.2.3. Coeficiente de convección interno : condensación y fase líquida dentro de tubos**

#### **3.2.3.1. Flujo interno en fase líquida**

A continuación se presentan los conceptos de transferencia de calor de flujos en estado líquido y dentro de tubos. Para los propósitos de este trabajo, el flujo es considerado como totalmente desarrollado, o en regiones que no son de entrada. También es considerado que los tubos son circulares, y que su interior es liso.

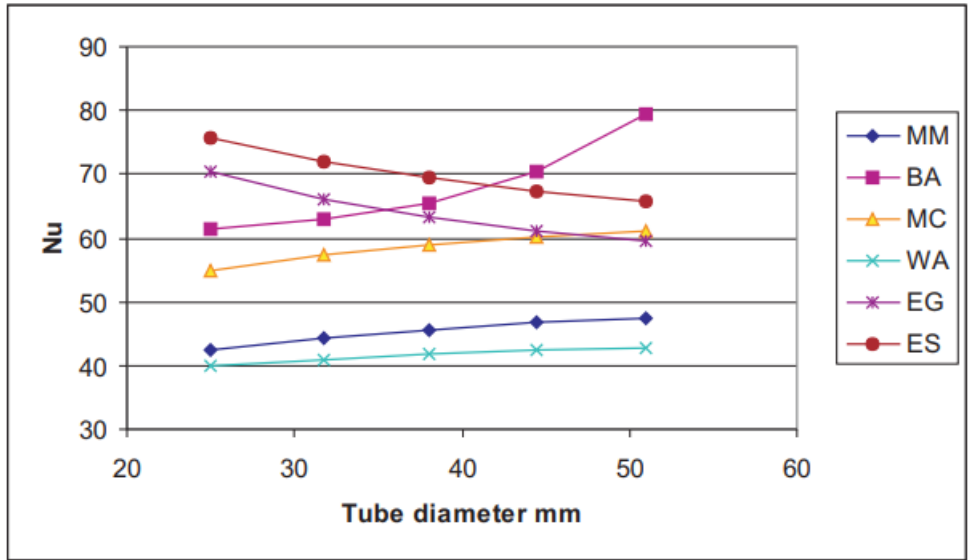


Figura 3.4: Influencia del diámetro de tubo liso en la transferencia de calor manteniendo el Número de Reynolds constante

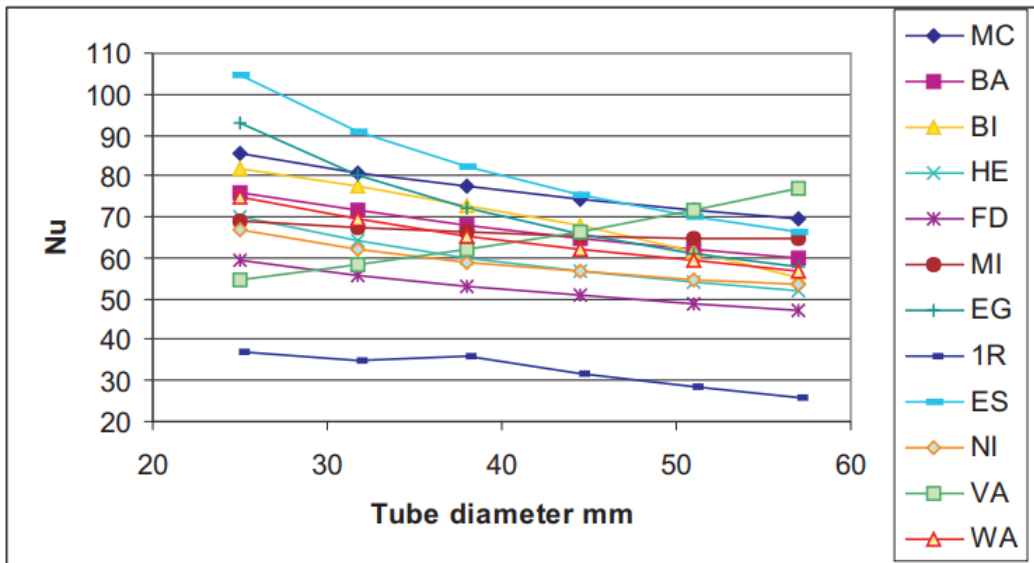


Figura 3.5: Influencia del diámetro de tubo liso en la transferencia de calor sin modificación de la geometría y módulo de la aleta

Como es mostrado en la sección anterior los modelos experimentales buscan relaciones para el número de Nusselt, desde el cual se puede obtener el coeficiente de transferencia de calor por convección. Para flujo laminar, a partir de Sieder y Tate (1936) el número de Nusselt está dado por:

$$Nu = 1,86 \left( \frac{RePrD}{L} \right)^{1/3} \left( \frac{\mu_b}{\mu_s} \right)^{0,14} \quad (3.43)$$

donde hay un término de viscosidad, para cuando la diferencia entre las temperaturas de la superficie y el fluido es grande. Todos los términos se evalúan en la temperatura media de la masa del fluido, excepto  $\mu_s$ , la cual se evalúa en la temperatura de la superficie.

Para regímenes turbulentos, el número de Nusselt está en función del coeficiente de fricción de flujo turbulento. Esta relación se le llama *analogía de Chilton-Colburn*, expresada como

$$Nu = 0,125fRePr^{1/3} \quad (3.44)$$

y como  $f$  para flujos turbulentos en tubos lisos, se obtiene como  $f = 0,0184Re^{-0,2}$ , luego la ecuación resulta

$$Nu = 0,023Re^{0,8}Pr^{1/3} \quad (3.45)$$

### 3.2.3.2. Condensación al interior de tubos

A continuación se presenta la condensación al interior de tubos en disposición horizontal y referida a la sustancia: vapor puro, que es las pertinentes a este trabajo.

La condensación en tubos horizontales puede abarcar condensación parcial o total del vapor. Dependiendo de la aplicación, el vapor entrante puede ser sobrecalentado, o saturado. Para la presente necesidad, ingresa en el estado saturado. El coeficiente de transferencia de calor de condensación es función directa de la fracción de vapor. También es función directa de la velocidad de masa,  $m_t$ , aumentando cuando la velocidad de masa aumenta. Contrariamente a la condensación externa, la condensación al interior

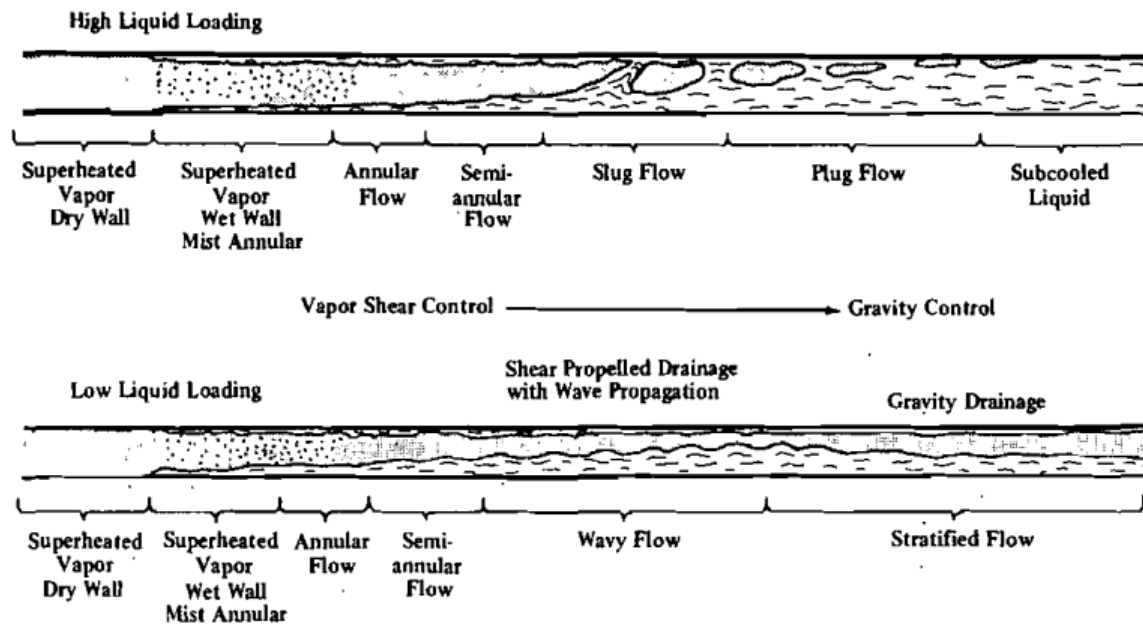


Figura 3.6: Ilustración esquemática de los regímenes de flujo en condensación al interior de tubos.

de tubos es independiente de la diferencia de temperatura de pared ( $T_{sat} - T_w$ ) para la mayoría de las condiciones, excepto para tasas de flujo bajas.

Se muestra en la Figura 3.6 de Palen, Breber y Taborek (1980) [5] los regímenes al interior de tubos horizontales. En la parte superior, para tasas de flujo altas, el flujo toma un régimen anular, donde una película de líquido está en el perímetro de la pared. El grueso del vapor va por el núcleo del tubo, y un poco de líquido entra a la zona de vapor a través de ondas. Luego, a medida que continúa la condensación a lo largo el tubo, disminuye la velocidad del vapor, lo que corresponde a una disminución del arrastre del vapor y a un aumento del grosor de la película de líquido en la parte inferior del tubo. A medida que aumenta el grosor de la película de líquido es producido un régimen intermitente (o de bache), donde el hay alternancia entre un régimen predominantemente líquido y uno gaseoso. En efecto, el vapor alterna entre predominar y formar grandes burbujas de vapor. A medida que es desarrollado este régimen las burbujas de vapor se aprecian más pequeñas, es decir, pasa a ser un régimen de pistón (o tapón). Finalmente, la condensación se completa siendo obtenido un régimen completamente líquido.

En la parte inferior de la Figura 3.6, para tasas de flujo bajas, cuando es desarrollada la condensación, el régimen de flujo anular pasa rápidamente a un régimen ondulado, donde las ondas apenas rozan la película de líquido en la parte superior del tubo sin poder generar burbujas. Si la tasa de flujo es menor, las ondas son más pequeñas, y el régimen de flujo es estratificado. Si el líquido no alcanza a pasar la sección transversal o media del tubo, es posible que sea terminado el proceso en régimen estratificado sin llegar a la condensación total. [17]

Para poder determinar cómo varía el patrón de flujo desde el régimen anular, por tanto, es necesario conocer la cantidad de arrastre que tiene el vapor. En función de que el flujo sea de arrastre o de no-arrastre va a derivar en los patrones mencionados anteriormente, esto es, de tasa de flujo alta o baja. Para determinar el arrastre del vapor, Palen, Breber y Taborek (1980) [5], han discutido los criterios para las ecuaciones de arrastre y no-arrastre. El menos recomendado es el de Jaster y Kosky, dado por la ecuación:

$$F_k = \frac{(1 + X^{2/M})^{3M/2} \rho_l y^3 G_t^3 f_v^{1.5}}{2\sqrt{2}(\rho_v \rho_l)^{1.5} \mu_l \delta^+ g} \quad (3.46)$$

dónde  $X$  es un parámetro de Martinelli, que puede ser visto en la sección ; el exponente  $M$  que ajusta a una curva dada por presión y velocidad de masa, y sus valores rondan entre 4-5;

$$\delta^+$$

es el espesor de película adimensional, que no es precisado aquí;  $G_t$  es la velocidad de masa total (líquido más vapor); y  $f_v$  es el factor de fricción de vapor de Fanning. El régimen anular debería ser observado para  $F_k > 25$  y el régimen estratificado debería ocurrir para  $F_k < 5$ . Según los autores, la ecuación es muy complicada, además no se recomienda por ser muy sensible a ciertos parámetros, y reducido en su rango de aplicaciones.

Una ecuación más simple recomendada por los autores es el coeficiente de Wallis, dada

por:

$$j_g^* = \frac{yG_t}{\sqrt{gD\rho_v(\rho_l - \rho_v)}} \quad (3.47)$$

que proporciona una mejor separación de los regímenes, más razonable para rangos de datos amplios. La zona de arrastre (régimen anular) se da cuando el parámetro de Wallis es  $j^* \geq 1,5$ , para zona de no-arrastre (régimen estratificado) para  $j^* \leq 0,5$ .

Ha sido discutido por Kamil, S. Kassim y Mahdi [8] diferentes modelos de transferencia de calor para cada patrón de los regímenes. Aquí solo es descrito la correlación de Shah para tubos horizontales que es más general que las demás [16]. Para regímenes anulares el coeficiente de transferencia de calor está dado por la ecuación de Nusselt,

$$\alpha_{in} = \alpha_{Nu} \quad (3.48)$$

. El coeficiente de Nusselt es usado para la porción de película de la parte superior del condensado, siendo despreciado el coeficiente de transferencia de calor para la capa de condensado en el fondo del tubo. Pero para corregir esta capa estratificada, referida aun régimen semi anular, se usa un coeficiente basado en la fracción de vacío (volumen de gas o liquido usado para predecir las transiciones de regímenes). Las ecuaciones son:

$$\alpha_{Nu} = \Omega \left( \frac{k^3 \rho_l (\rho_l - \rho_g) g \Delta h}{\mu_l D (T_{sat} - T_w)} \right)^{0.25} \quad (3.49)$$

donde  $\Omega$  es un coeficiente de corrección de la fracción de vacío,

$$\Omega = 0.768 \left[ 1 + \left( \frac{1-y}{y} \right) \left( \frac{\rho_g}{\rho_l} \right)^{2/3} \right]^{-3/4} \quad (3.50)$$

Para el régimen estratificado, el coeficiente de transferencia de calor es:

$$\alpha_{in} = \alpha_l \quad (3.51)$$

donde

$$\alpha_l = \alpha_{ls} \left( 1 + \frac{3,8}{Z^{0,95}} \right) \left( \frac{\mu_l}{14\mu_g} \right)^{(0,0058+0,557Pr)} \quad (3.52)$$

y,

$$\alpha_{ls} = \frac{0,023Re_{ls}^{0,8} Pr_l^{0,4} k_l}{d} \quad (3.53)$$

.....

$$\alpha = 1.32Re_{ls}^{1/3} \left[ \frac{\rho_g(\rho_l - \rho_g)gk_l^3}{\mu_l^2} \right]^{1/3} \quad (3.54)$$

donde  $Re_{ls}$  esta dado por,

$$Re_{ls} = \frac{m_t(1-x)D}{\mu_l} \quad (3.55)$$

### 3.2.4. Ensuciamiento

El ensuciamiento es definido como la formación de material indeseado que se deposita en las superficies de transferencia. Esto en efecto impide el flujo de calor y aumenta la resistencia del fluido resultando en una mayor caída de presión.

Los efectos del ensuciamiento en el rendimiento termohidráulico son:

- Incremento del coeficiente de transferencia de calor global  $U$ , debido a que la capa de ensuciamiento normalmente tiene una conductividad térmica menor que el fluido o la pared.
- Incremento de la caída de presión, debido a la fricción mayor que produce la superficie rugosa de la capa de ensuciamiento.

- Creación de un entorno que es propenso a la corrosión.
- Aumento de la carga térmica , debido a la reducción de la efectividad térmica.
- Crea un objetivo adicional de prevenir la contaminación del fluido o producto.

Se ha de notar que estos efectos inciden en los costos del equipo. La pérdida de eficiencia calórica implica sobredimensionar el equipo, por tanto, un gasto mayor de materiales. A la vez, provoca una pérdida de rendimiento. Hay que adicionar costos por los tratamientos anti-ensuciamiento, por ende, afectan a las programaciones de mantención. Esto conlleva a pérdidas de las horas de servicio.

Hay varios mecanismos de ensuciamiento: de partículas, por reacción química (polimerización), por corrosión, por precipitación o cristalización, biológico y por solidificación. Los mecanismos por particulado y por corrosión son las que podrían afectar al presente trabajo.

El **particulado** es el proceso donde se acumulan las partículas suspendidas en los fluidos que están en contacto con las superficies de transferencia de calor. Esto incluye tanto la sedimentación, como otros mecanismos de depositación. Es la que ocurre en sistemas de flujo único, donde el fluido es agua de mar, de río o de lago que contienen barro, lodos u otros sedimentos.

El **corrosión** es la depositación de partículas corrosivas en la superficie de transferencia de calor. En este caso, las partículas son producidas por una reacción corrosiva de parte de la misma superficie de transferencia. Esto depende principalmente del material de la superficie, que tan resistente a la oxidación es, y que tan en contacto está con el oxígeno, ya sea por el flujo de corriente (del lado del fluido) o humedad (del lado del aire).

Los factores que afectan al coeficiente de ensuciamiento son los siguientes:

- Las propiedades del fluido y su propensión al ensuciamiento

- Temperatura: las mayores temperaturas generalmente aumentan la tasa de corrosión, las velocidades de reacción, cristalización y polimerización. Además pueden reducir la actividad de los anti-ensuciacadores. Sin embargo, hay temperaturas muy bajas que pueden favorecer la cristalización y solidificación. Por tanto, depende de cómo va a reaccionar el fluido y sus componentes.
- Velocidad y efectos hidrodinámicos: La uniformidad de la velocidad a lo largo del camino del flujo evita que hayan depositaciones. Los cambios bruscos, hacen que el material se desposite en los lugares de baja velocidad centrifugados por un flujo brusco. También, mientras más rápido sea el flujo habrá menos ensuciamiento, porque los esfuerzos cortantes serán mayores y tienden a barrer los materiales depositados.
- Material de tubería: la selección del material de la tubería es significacnte para el manejo de la corrosión. Los aceros al carbono son muy corrosivos pero baratos. Los materiales anti-oxidables níquel, titanio, son caros.
- Fluido puro y libre de contaminantes
- Rugosidad superficial: un acabado superficial basto se hace más propenso a la depositación de partículas. Se debe tener en cuenta que este parámetro afecta la turbulencia del flujo, modificando la subcapa viscosa, lo que significa una variación en la transferencia de calor.
- Sólidos suspendidos: estos promueven el ensuciamiento por sedimentación y depositación gravitacional.

#### **3.2.4.1. Resistencia de ensuciamiento**

Las capas de ensuciamiento que empiezan a formarse al interior y exterior de las superficies de transferencia de calor generalmente tienen una conductividad térmica menor que los fluidos y que las paredes que los delimitan. Para la geometría cilíndrica

de las tuberías, la resistencia total entre dos flujos es:

$$R_T = \frac{1}{U_o A_o} = \frac{1}{h_i A_i} + \frac{R_i}{A_i} + \frac{\Delta t_w}{k_w A_m} + \frac{R_o}{A_o} + \frac{1}{h_o A_o} \quad (3.56)$$

El coeficiente de transferencia de calor global en condiciones de ensuciamiento puede ser expresado en función de el coeficiente de transferencia de calor global en condiciones limpias más las resistencias de ensuciamiento:

$$U_{o,f} = \left[ \frac{1 A_o}{h_i A_i} + \frac{\Delta t_w}{k_w A_m} + \frac{1}{h_o} \right] + \left[ R_i \frac{A_o}{A_i} + R_o \right] \quad (3.57)$$

$$= U_{o,c} + R_F \quad (3.58)$$

$$R_f = \frac{1}{U_{o,f}} + \frac{1}{U_{o,c}} \quad (3.59)$$

Hay varios modelos que determinan la resistencia  $R_F$ , entre ellos...

Sin embargo, estos modelos aplicados en experimentos, monitoreos de operación, o simulaciones computacionales han sido registrados. El manual TEMA [referencia] ofrece una tabla de rangos de resistencia para distintos flujos. A continuación se presenta una parte de la tabla de [referencia Heat exchanger manual] para fluidos industriales de agua :

#### 3.2.4.2. Prevención, control y mantención

### 3.3. Caída de presión

La caída de presión en un condensador es a lo más solo una aproximación debido a los cambios de velocidad y cambios en el régimen de flujo. A continuación son descriptas las ecuaciones que modelan la pérdida de presión en tuberías para flujo de una sola fase [14][11] y para doble-fase [18]. Las ecuaciones de una sola fase, son pertinentes al

Fluido	Resistencia de ensuciamiento $r_s \times 10^4 [m^2 K/W]$
agua de mar	1,75 - 3,5
agua salobre	3,5 - 5,3
agua de enfriamiento tratada	1,75 - 3,5
agua de embalses artificiales	1,75 - 3,5
agua de ciclo cerrado	1,75
agua de río	3,5 - 5,3
agua para camisa de motor	1,75
agua destilada	0,9 - 1,75
agua tratada para alimentación de caldera	0,9
agua de salida de caldera	3,5 - 5,3

Tabla 3.1: Resistencias de ensuciamiento. Referencia heat exchanger design

presente trabajo para la zona de sub-enfriamiento. Las ecuaciones de cambio de fase, para la zona principal de condensación, es decir, de operación del equipo.

### 3.3.1. Presion de una fase

El flujo incompresible en ductos cerrados, como lo son los flujos a través de tuberías circulares de diámetro constante, es llamado *completamente desarrollado* si el perfil de velocidad  $u(r)$ , y por tanto, el esfuerzo cortante  $\tau_w$ , son independientes de la coordenada de avance del flujo  $x$ . La pérdida de presión  $\Delta p$  entre dos puntos a una distancia  $L$  está dada por,

$$\Delta p = f \frac{L}{D} \frac{\rho}{2} u^2 \quad (3.60)$$

el coeficiente adimensional  $f$  es llamado *coeficiente de fricción* o *factor de fricción* (de *Darcy*) el cual está relacionado con el esfuerzo cortante de pared por,

$$f = \frac{8\tau_w}{\rho u^2} \quad (3.61)$$

El factor de fricción es una función del número de Reynolds y de la rugosidad, que propiedad y condición del material de la tubería. Por tanto, en general, es determinado experimentalmente a través del diagrama de Moody, o la curva ajustada a esta data,

como lo puede ser la correlación de Colebrook, dada por

$$\frac{1}{\sqrt{f}} = -2,0 \log \left( \frac{e/D}{3,7} + \frac{2,51}{Re\sqrt{f}} \right) \quad (3.62)$$

Otras fórmulas han podido describir los perfiles de velocidades dentro de los ductos y relacionarlos con los esfuerzos cortantes de pared, mediante la relación de energía cinética. Esto dado para diferentes tipos de regímenes: laminares y turbulentos con distintos niveles de rugosidad y de desarrollo de capa límite. En la Tabla ?? son presentadas fórmulas que han sido recopiladas [15] para distintos perfiles de velocidad y regímenes de flujo.

### 3.3.2. Fittings

El flujo en sistemas de tuberías requieren pasar por distintos tipos de accesorios, o fittings, estos son, codos, válvulas, mangueras, divisores de flujo, difusores, toberas, otros cambios de área, etc. Pérdidas de presión adicionales son encontradas, resultantes de la separación de flujo. Éstas pérdidas de cargas son menores para sistemas de tuberías largas de área constante. En el presente trabajo los largos de tubería son cortos y con numerosos fittings.

Son descritos algunos métodos para calcular ésta pérdida de presión [12] [1], que pueden ser clasificados, de modo general, en dos tipos. El primero consiste en encontrar un largo equivalente para el fitting,

$$\Delta p = f \frac{L_e}{D} \frac{u^2}{2} \quad (3.68)$$

, donde  $L_e$  es el largo equivalente a una tubería estirada. En teoría la pérdida de presión a través del fitting es equivalente a la pérdida a través de cierta longitud de tubería para una misma tasa de flujo. La forma más adecuada de usar este método es cuando están disponibles datos tabulados para un ratio dado, rugosidad y número de Reynolds. Cuando se usa un fitting de diferente ratio que el tabulado, el método funciona asumiendo que ese cambio mantiene una proporción con el cambio de tamaño de tubería,

Régimen de flujo	Reynolds	Rugosidad	Factor de fricción
1. Flujo Laminar	$0 < Re < 2400$		Hagen-Poiseuille $f = \frac{64}{Re} \quad (3.63)$
2. Flujo turbulento	$2400 < Re < 10^5$	$3cmk^+ < 5$	Blasius $f = \frac{0,316}{Re^{1/4}}, \quad Re < 10^5 \quad (3.64)$ $f = \frac{0,184}{Re^{1/5}}, \quad Re > 10^5$
3. Superficie suave hidráulicamente	$2400 < Re$	$k^+ < 5$	$\frac{1}{\sqrt{f}} = 2 \log(Re\sqrt{f}) \quad (3.65)$
4. Flujo turbulento superficie rugosa	$2400 < Re$	$5 < k^+ < 60$	Colebrook-White: $\frac{1}{\sqrt{f}} = 1,74 - 2 \log \left( \frac{2k}{d} + \frac{18,7}{Re\sqrt{f}} \right)$ Miller: $f = \frac{0,25}{(\log(k/3,7d) + (5,74/Re^{0,9}))^2} \quad (3.66)$
5. Flujo turbulento superficie muy rugosa	$2400 < Re$	$60 < k^+$	Von Karman $\frac{1}{\sqrt{f}} = 1,74 - 2 \log \frac{2k}{d} \quad (3.67)$

Tabla 3.2: Factor de fricción para distintos modelos de perfil de velocidad

es decir, mantiene la razón  $(L/D)$  . Usualmente, cuando los fittings aumentan de tamaño, la razón  $(L/D)$  disminuye, así para tuberías con ratio mayor al que los largos equivalentes del fitting fueron estimados producirán un pérdida de presión sobrestimada. Y viceversa, subestimado. La ventaja del método de longitud equivalente es su facilidad de cálculo. Toda la tubería más los fittings pueden ser sumados para formar un largo total, y luego calcular la caída de presión para ese largo final. En la Tabla ?? se muestran los ratios para diferentes fittings.

El segundo consiste en un *coeficiente de resistencia* o *coeficiente de pérdida*,  $K$ , que se obtiene de modo experimental.

$$\Delta p_{fit} = K \frac{u^2}{2} \quad (3.69)$$

.El valor de  $K$  es equivalente a la carga de velocidad” que tiene el flujo a través de un fitting, esto es, la pérdida de presión en razón de la velocidad de flujo por el accesorio. Es más precisa que el método de Largo Equivalente, puesto que puede se caracterizada para varias condiciones de flujo. Sin embargo, puede ser un tanto imprecisa al no tomar en cuenta la variaciones en las geometrías de los fitting para distintos tamaños. Si bien es apropiada para diferentes tipos de velocidades, o Número de Reynolds, los valores de  $K$  están asumidos para un flujo turbulento completamente desarrollado, por tanto, es impreciso para bajos Números de Reynolds. En la Tabla ?? se muestran los coeficientes  $K$  de éste método para diferentes fittings.

### 3.3.3. Presion de cambio de fase

A continuación se presentan dos grandes grupos de modelos aplicados a flujos dentro de tubos. El primero es el de flujo homogéneo, y el segundo es el de flujo separado. En este último, que es el utilizado para el presente trabajo, se mencionan dos correlaciones de la cual es elegida una.

Fitting	Tipo	$(L/D)_e$
90 Codo Curvado, con rosca	Radio Estándar (R/D = 1)	30
	Radio Largo (R/D = 1.5)	16
90 Codo Curvado, flange/soldado	Radio Estándar (R/D = 1)	20
	Radio Largo (R/D = 2)	17
	Radio Largo (R/D = 4)	14
	Radio Largo (R/D = 6)	12
90 Codo Biselado	1 soldadura (90)	60
	2 soldaduras (45)	15
	3 soldaduras (30)	8
45 Elbow Curved. con rosca	Radio Estándar (R/D = 1)	16
	Radio Largo (R/D = 1.5)	
45 Codo Biselado	1 soldadura 45	15
	2 soldaduras 22.5	6
180 Curva	Roscado, cierre-vuelta (R/D = 1)	50
	con Flange(R/D = 1)	
	Todos los tipos (R/D = 1.5)	
Tee ramificación perpendicular	Roscado (r/D = 1)	60
	Roscado (r/D = 1.5)	
	con Flange (r/D = 1)	20
	de Ramal	
Tee ramificación directa	Roscado (r/D = 1)	20
	con Flange (r/D = 1)	
	stub-in branch	
Válvula de Ángulo	45, línea llena, = 1	55
	90 línea llena, = 1	150
Válvula de globo	Estándar, = 1	340
Válvula de tapón	Flujo ramificado	90
	Desviado hacia adelante	18
	Tres-vías (flujo desviado)	30
Válvula de compuerta	Estándar, = 1	8
Válvula de bola	Estándar, = 1	3
Diafragma	dam type	
Válvula check	$V_{min} = 35 [(\text{lbm}/\text{ft}^3)] - 1/2$	100
Válvula de retención	$V_{min} = 40 [(\text{lbm}/\text{ft}^3)] - 1/2$	600
Acople de manguera	Simple, Totalmente abierto	5

Tabla 3.3: Razones de Largo Equivalente  $(L/D)_e$  para diferentes Fittings

<b>Fitting</b>	<b>Tipo</b>	<b><i>K</i></b>
90 Codo Curvado, con rosca	Radio Estándar (R/D = 1)	0.35
	Radio Largo (R/D = 1.5)	0.2
90 Codo Curvado, flange/soldado	Radio Estándar (R/D = 1)	0.75
	Radio Largo (R/D = 1.5)	0.45
90 Codo Biselado	1 soldadura (90)	1.3
45 Elbow Curved. con rosca	Radio Estándar (R/D = 1)	16
	Radio Largo (R/D = 1.5)	
45 Codo Biselado	1 soldadura 45	15
	2 soldaduras 22.5	6
180 Curva	cierre-vuelta (R/D = 1)	1.5
Tee, Run Through	Branch Blanked	0.4
	Entering in run	1
	Entering in branch	1
		1
Coplas		0.04
Unión		0.04
Válvula de compuerta	Totalmente abierto	0.17
	3/4 abierto	0.9
	1/2 abierto	4.5
	1/4 abierto	24
Válvula de diafragma	Totalmente abierto	2.3
	3/4 abierto	2.6
	1/2 abierto	4.3
	1/4 abierto	21
Válvula de globo, fondo biselado	Totalmente abierto	6
	1/2 abierto	9.5
Válvula de globo, fondo compuesto	Totalmente abierto	6
	1/2 abierto	8.5
Tapón de sico	Totalmente abierto	9
	3/4 abierto	13
	1/2 abierto	36
	1/4 abierto	112
Válvula de ángulo	Totalmente abierto	2
Y valve or blowoff valve	Totalmente abierto	3
Válvula mariposa	$\theta = 5^\circ$	0.24
	$\theta = 10^\circ$	0.52
	$\theta = 20^\circ$	1.54
	$\theta = 40^\circ$	10.8
	$\theta = 60^\circ$	118
Válvula check	Swing	2
	Disco	10
	Bola	70
Válvula de pie		15

Tabla 3.4: Coeficientes  $K$  para diferentes Fittings

### 3.3.3.1. Flujo homogéneo

El flujo homogéneo es un concepto conveniente para modelar caídas de presión de cambio de fase; este es un pseudo-fluido que obedece a las ecuaciones convencionales de caída de presión para flujos de una fase, mediante la acomodación de las propiedades a valores promedio. . La caída de presión global en este tipo de equipo es

$$\Delta p = \Delta p_{fitt} + \Delta p_{stat} + \Delta p_{mom} + \Delta p_{fase} \quad (3.70)$$

donde  $\Delta p_{fitt}$  representa las pérdidas debido a los distintos tipos de fittings, difusores, cabezales, etc;  $\Delta p_{est}$  es la carga estática;  $\Delta p_{mom}$  es debido al cambio de momento; y  $\Delta p_{fase}$  es la pérdida por fricción de la bi-fase.

La caída de presión estática para un fluido bi-fase homogéneo es:

$$\Delta p_{est} = \rho_H g H \sin \theta \quad (3.71)$$

donde  $H$  es la altura vertical;  $\theta$  es el ángulo respecto a la horizontal, y  $\rho$  es la densidad homogénea dada por,

$$\rho_H = \rho_l(1 - \varepsilon_H) + \rho_g \varepsilon_H \quad (3.72)$$

siendo  $\varepsilon_H$  la fracción de vacío homogénea, que está en función de la calidad del vapor  $x$ , tal como sigue

$$\varepsilon_H = \frac{1}{1 + \left( \frac{u_g(1-x)\rho_g}{u_l x} \right)} \quad (3.73)$$

donde  $u_g/u_l$  es la tasa de velocidad, o tasa de deslizamiento, la cual es igual a 1,0 para flujo homogéneo.

La caída de presión debido al momento, dada por unidades de longitud de tubo es,

$$\left( \frac{dp}{dz} \right)_{mom} = \frac{\partial(\dot{m}_{total}/\rho_H)}{\partial z} \quad (3.74)$$

### 3.3.3.2. Flujo separado

Para el modelo de flujo separado, la caída de presión de cambio de fase está dada por la suma de tres contribuciones: la pérdida de presión estática  $\Delta p_{stat}$ , la pérdida de momento  $\Delta p_{mom}$ , y la pérdida por fricción  $\Delta p_{fric}$ , como:

$$\Delta p_{total} = \Delta p_{stat} + \Delta p_{fric} \quad (3.75)$$

. La pérdida de presión estática dada por,

$$\Delta p_{stat} = \rho_{bi-fase} g H \sin \theta \quad (3.76)$$

. En el caso de tubos horizontales, no hay cambio de carga estática, i.e.  $H = 0$ , por tanto  $\Delta p_{stat} = 0$ .

Para la pérdida de presión por momento la ecuación se sigue del cambio de energía cinética del flujo, representada por,

$$\Delta p_{mom} = \dot{m}^2 \left\{ \left[ \frac{(1-x)^2}{\rho_l(1-\varepsilon)} + \frac{x^2}{\rho_g \varepsilon} \right]_{out} - \left[ \frac{(1-x)^2}{\rho_l(1-\varepsilon)} + \frac{x^2}{\rho_g \varepsilon} \right]_{in} \right\} \quad (3.77)$$

El modelo de flujo separado considera que las dos fases están separadas artificialmente en dos corrientes, como si cada una estuviera en su propia tubería. Las áreas de los dos tubos son consideradas proporcionales a la fracción de vacío  $\varepsilon$ . Hay numerosos métodos para predecir la fracción de vacío. La siguiente ecuación es la versión de Steiner para el modelo de Fouhuani y Axelsson, recomendadas por el autor [18],

$$\varepsilon = \frac{x}{\rho_g} \left[ (1 + 0,12(1-x)) \left( \frac{x}{\rho_g} + \frac{1-x}{\rho_l} \right) + \frac{1,18(1-x)(g\sigma(\rho_l - \rho_g))^{0,25}}{\dot{m}_{total}\rho_l^{0,5}} \right]^{-1} \quad (3.78)$$

. Este cambio de momento,  $\Delta p_{mom}$ , es debido a que la energía cinética del flujo al final de la condensación es menor que la del flujo de entrada. La pérdida de presión por

momento resulta en un incremento en la presión a la salida comparada con la entrada, es decir resulta en una recuperación de la presión. La magnitud de esta recuperación es frecuentemente pequeña, excepto en operaciones a vacío, donde esta pérdida de presión puede alcanzar o superar la pérdida por fricción.

La pérdida de presión por fricción de cambio de fase es típicamente predecida usando el modelo de flujo separado. El primero de esos análisis fue desarrollado por Lockhart y Martinelli (1949) y luego le siguieron varios otros: Friedel (1979), Grønnerud (1972), Chisholm (1973), Bankoff (1960), Chawla (1967), Müller-Steinhagen -Heck (1986). A continuación son presentadas las correlaciones Lockhart y Martinelli, y las de Chisholm. En la ecuación básica para flujo separado no hay dependencia hacia un régimen de flujo particular. En las ecuaciones es asumido que la velocidades no varían en cada fase, para cualquiera sección transversal dada.

La **Correlación Lockhart y Martinelli** es el método original que predijo la pérdida de presión de dos-fases basado en un multiplicador bi-fásico para la fase líquida, o para la fase vapor, respectivamente como:

$$\Delta p_{fric} = \Phi_{lt}^2 \Delta p_l \quad (3.79)$$

$$\Delta p_{fric} = \Phi_{gt}^2 \Delta p_g \quad (3.80)$$

donde  $\Delta p_g$  y  $\Delta p_l$  son las pérdidas de presión para el flujo de una solo fase, sea vapor, o líquido respectivamente, como fue mencionado en la subsección anterior, (3.60), dónde la velocidad está en función de la masa y calidad de vapor, da como resultado,

$$\Delta p_g = 4f \frac{L}{D} \frac{m_{total}^2 x^2}{2\rho_g} \quad (3.81)$$

, idénticamente para la fase líquida. El factor de fricción  $f$  se calcula de la misma manera que en la subsección anterior. Los multiplicadores de doble-fas, o *de Martinelli*

Líquido	Gas	C
Turbulento	Turbulento	20
Laminar	Turbulento	12
Turbulento	Laminar	10
Laminar	Laminar	5

Tabla 3.5: Valores de C del parámetro de Martinelli

son,

$$\Phi_{tt}^2 = 1 + \frac{C}{X_{tt}} + \frac{1}{X_{tt}^2}, \quad \text{para } Re_L > 4000 \quad (3.82)$$

$$\Phi_{tt}^2 = 1 + CX_{tt} + X_{tt}^2, \quad \text{para } Re_L < 4000 \quad (3.83)$$

, dónde  $X_{tt}$  es el *parámetro de Martinelli* para ambas fases que en regímenes turbulentos está definido como,

$$X_{tt} = \left( \frac{1-x}{x} \right)^{0,9} \left( \frac{\rho_g}{\rho_l} \right)^{0,5} \left( \frac{\mu_l}{\mu_g} \right)^{0,1} \quad (3.84)$$

. El valor de  $C$  en las ecuaciones (3.82) y (3.83) depende de los regímenes de líquido y vapor. Los valores apropiados a utilizar se muestran en la Tabla ???. La correlación de Lockhart y Martinelli es aplicable para calidades de vapor del rango entre  $0 < x \leq 1$ .

La **Correlación de Chisholm** es un método empírico extensivo aplicable a un amplio rango de condiciones de operación. Su gradiente de pérdida de presión friccional de doble-fase está dado por,

$$\left( \frac{dp}{dz} \right)_{fric} = \left( \frac{dp}{dz} \right)_l \Phi_{Ch}^2 \quad (3.85)$$

. Los gradientes de presión friccional para líquido y vapor son respectivamente,

$$\left( \frac{dp}{dz} \right)_l = f_l \frac{2\dot{m}_{total}^2}{d_i \rho_l} \quad (3.86)$$

$$\left( \frac{dp}{dz} \right)_g = f_g \frac{2\dot{m}_{total}^2}{d_i \rho_g} \quad (3.87)$$

, donde los factores de fricción son los obtenidos en la subsección anterior. El flujo

para esta correlación es considerado completamente turbulento para  $Re \geq 2000$  para evitar un intervalo indefinido. El parametro  $Y$  es obtenido a partir de la razón entre los gradientes de presión,

$$Y^2 = \frac{(dp/dz)_g}{(dp/dz)_l} \quad (3.88)$$

. El multiplicador de doble fase es determinado como,

$$\Phi_{Ch}^2 = 1 + (Y^2 - 1)(Bx^{(2-n)/2}(1-x)^{(2-n)/2} + x^{2-n}) \quad (3.89)$$

, donde  $n$  es el exponente del factor de fricción en la expresión de Blasius ( $n = 0,25$ ).

Para  $0 < Y < 9,5$ , el parámetro de Chisholm  $B$  es calculado como,

$$B = \frac{55}{\dot{m}_{total}}, \quad \text{para } \dot{m}_{total} \geq 1900 \text{ kg/m}^2\text{s} \quad (3.90)$$

$$B = \frac{2400}{\dot{m}_{total}}, \quad \text{para } 500 < \dot{m}_{total} < 1900 \text{ kg/m}^2\text{s} \quad (3.91)$$

$$B = 4,8, \quad \text{para } \dot{m}_{total} < 500 \text{ kg/m}^2\text{s} \quad (3.92)$$

, para  $9,5 < Y < 28$ , se calcula como,

$$B = \frac{520}{Y\dot{m}_{total}^{0,5}}, \quad \text{para } \dot{m}_{total} \leq 600 \text{ kg/m}^2\text{s} \quad (3.93)$$

$$B = \frac{21}{Y}, \quad \text{para } \dot{m}_{total} > 600 \text{ kg/m}^2\text{s} \quad (3.94)$$

y, para  $Y > 28$ , es calculado como,

$$B = \frac{15000}{Y\dot{m}_{total}^{0,5}} \quad (3.95)$$

. La correlación de Chisholm es aplicable para calidades de vapor del rango entre  $0 \leq$

$x \leq 1$ .

### 3.4. Diferencia de Temperatura efectiva

Para la evaluación de las temperaturas en ecuación (3.13) se necesita conocer el perfil de temperaturas locales de cada flujo de corriente. En efecto, no es válido determinar que esa diferencia de temperatura sea  $T_{h,in} - T_{c,in}$ . Estas temperaturas locales depende en parte del arreglo de flujos, en parte de si hay o no cambio de fase, y en parte por la magnitud de la superficie del intercambiador. Para esto se establece una temperatura promedio entre los flujos,  $\Delta T_M$ , que está dada por,

$$\Delta T_M = F \Delta T_{LM} \quad (3.96)$$

dónde  $\Delta T_{LM}$  es la temperatura media logarítmica, definida como la diferencia máxima (o más efectiva) que se da en el arreglo de flujo de tipo contra flujo. Para los demás arreglos de flujo, se necesita corregirla mediante un factor  $F$ , que está en el rango de 0 a 1, para otros regímenes de flujo. La temperatura media logarítmica está dada por,

$$\frac{(T_{1,in} - T_{2,out}) - (T_{1,out} - T_{2,in})}{\ln \left( \frac{T_{1,in} - T_{2,out}}{T_{1,out} - T_{2,in}} \right)} \quad (3.97)$$

. Mediante la temperatura efectiva es determinada la efectividad térmica de un intercambiador. La efectividad térmica  $\varepsilon$ , describe la tasa de transferencia de calor real, dividida en la tasa de transferencia de calor máxima posible del intercambiador. La tasa máxima de transferencia de calor,  $\dot{q}_{max}$ , es la que podría hacer que el fluido con menor capacidad térmica, es decir,  $C_{min} = (\dot{m}c_p)_{min}$ , alcance la temperatura de entrada del fluido con mayor capacidad térmica. Esto es,

$$\dot{q}_{max} = C_{min} \Delta T_{max} \quad (3.98)$$

. Luego la efectividad térmica está dada por,

$$\begin{aligned}\varepsilon &= \frac{\dot{q}}{\dot{q}_{max}} \\ &= \frac{AU\Delta T_M}{C_{min}\Delta T_{max}} = NTU_{min} \frac{\Delta T_M}{\Delta T_{max}}\end{aligned}\quad (3.99)$$

donde  $NTU$ , es una en la que es medida el tamaño de un intercambiador respecto a su capacidad térmica llamada "número de unidades de transferencia", que depende de la razón de tasa de capacidad de cada una de las corrientes,

$$NTU_1 = \frac{AU}{C_1} \quad (3.100)$$

para el fluido con  $C_1 = \dot{m}_1 c_{p,1}$ , y,

$$NTU_2 = \frac{AU}{C_2} \quad (3.101)$$

### 3.4.1. Método de Factor F

El factor  $F$  antes descrito, se relaciona con la efectividad  $\varepsilon$  como,

$$\varepsilon = NTU_{min} F \frac{\Delta T_{LM}}{\Delta T_{max}} \quad (3.102)$$

. El factor  $F$  depende de  $C$  y a una proporción del cambio de temperatura de una de las corrientes. Estos valores se expresan a través de los parámetros  $R$  y  $P$  como siguen,

$$R = \frac{C_2}{C_1} \quad (3.103)$$

y

$$P = \frac{T_{2,out} - T_{2,in}}{T_{1,in} - T_{2,in}} = \frac{\Delta T_2}{\Delta T_{max}} \quad (3.104)$$

### 3.4.2. Método $\theta$

$$\theta = \frac{\Delta T_M}{T_{1,i} - T_{2,i}} \quad (3.105)$$

donde,

$$\theta = \frac{P}{NTU_2} \quad (3.106)$$

# Capítulo 4

## Normas, Estándares y Manuales

### 4.1. Normas y Estándares

Cabe señalar que las normas (o códigos) se diferencian de los manuales (o estándares) en que son un sistema de regulación obligatorias en los países, estados, etc, donde se dictan para controlar la seguridad contra fallos y peligros, teniendo un requerimiento legal. En cambio, los manuales y estándares, son una serie de definiciones técnicas y guías de instrucciones para diseñadores y fabricantes. En este sentido son voluntarias por naturaleza.

Las normas y estándares pertinentes a este trabajo son

Norma : ASME III y VIII (Div 1 y 2) : es el código general para construcción de calderas y recipientes presurizados.

Estándar TEMA (Tubular Exchanger Manufacturers association): Es un estándar mecánico aplicable para intercambiadores de carcasa y tubo.

Estándar API 660-661. Estándar internacional para la industria del petróleo, donde se usan extensivamente intercambiadores. El API 660, es para intercambiadores de carcasa y tubo. Y el 661 (1 y 2) es para intercambiadores enfriados por aire.

## 4.2. TEMA

El estándar TEMA es complementario al diseño mecánico que hace ASME, siendo más específico respecto a los componentes y elementos propios de intercambiadores. Además entrega lineamientos en el diseño termohidráulico que abarcan gran parte de la experiencia de la industria. En la sección de relaciones térmicas, se dan tabulaciones y datos de los coeficientes de eficiencia térmica para distintas configuraciones de flujo. A continuación se muestran las ecuaciones para arreglos de multipaso que son pertinentes para este trabajo.

### 4.2.1. Temperatura efectiva y arreglos

En la sección 1.5.3 del Manual de Diseño de Intercambiadores de Calor (HEDH por sus siglas en inglés), se describen varias ecuaciones para arreglos de flujo cruzados, que son los pertinentes de este trabajo. Estas configuraciones están basadas en el trabajo de Nicole [9] y en los arreglos estandarizados y mostrados por el estándar TEMA. Las ecuaciones se basan en el método factor  $\theta$  y factor  $F$  descrito en el capítulo anterior. A modo de ejemplo los diagramas y gráfica están dadas para número limitados de combinaciones de pasos de flujo y tubos por paso, como se muestra en la Figura 4.1. Se muestra a continuación la generalización de este procedimiento en las fórmulas:

$$P = \frac{1}{R} \left( 1 - \frac{1}{A} \right) \quad (4.1)$$

, donde  $R$  es el parámetro del método  $F$ , que se relaciona también con el método  $\theta$ . Y  $A$  viene dado para cada configuración. Sin embargo, el mismo autor, ha hecho supuestos para generalizar analíticamente, para múltiples pasos, y circuitos, como sigue,

$$A = \left[ \frac{R}{2} K^3 (4 - K + 2RK^2) + e^{4KR} + K \left( 1 - \frac{K}{2} + \frac{K^2}{8} \right) (1 - e^{4KR}) \right] (1 + RK^2)^{-2} \quad (4.2)$$

, donde  $K$  es,

$$K = 1 - \exp\left(\frac{NTU_2}{n}\right) \quad (4.3)$$

, con  $n$  el número de pasos.

## 4.3. Manuales : procedimientos de diseño

### 4.3.1. Criterios de selección de intercambiador

Los criterios de selección de intercambiadores son principalmente sobre el tipo de fluido a ser manipulado, temperaturas y presión de operación, carga de calor, y costos. Las condiciones de operación varían en un amplio rango, y se imponen en el diseño y desempeño. A continuación se muestran algunas:

- Materiales de construcción. Para confiabilidad y uso continuo, el intercambiador debe tener una tasa de corrosión bien definida .
- Presión de operación. La presión es importante para determinar el espesor de los componentes. La presión va admitir, para el caso del fluido en fase, si las caídas de presión pueden ser altas o bajas.
- Temperatura de operación. Este parámetro es importante por varios sentidos. Con la temperatura se elige el material del intercambiador. Con el perfil de temperatura de los fluidos se hacen los cálculos de dimensión, respecto a la transferencia de calor y arreglos de flujos. Finalmente es la temperatura el parámetro principal para calcular la efectividad, y desempeño de el intercambiador.
- Tasa de flujo. A través de este término se obtienen dimensiones del intercambiador, y va a determinar también las velocidades del flujo, el cual es determinante en cálculo de pérdida de presión y carga calorífica.
- Arreglo de flujo. La disposición de los tubos y superficies, permiten ciertas efectividades requeridas, y límites de temperaturas y calor a transferir requerido.

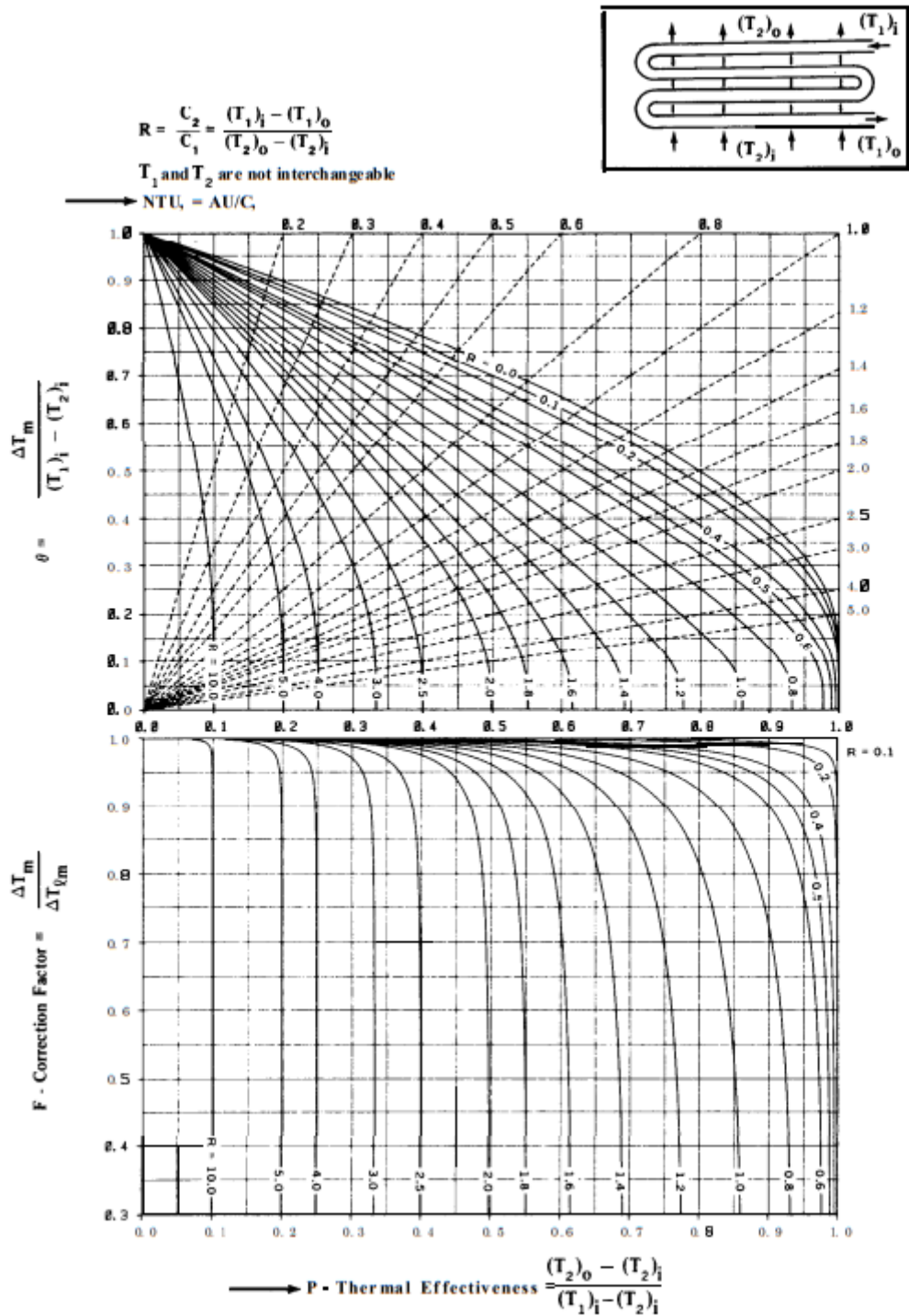


Figura 4.1: Relaciones para diferencia de temperatura media. Para 4 tubos, 4 pasos, no-mezclado de lado de los pasos.

- **Parámetros de desempeño.** La efectividad térmica es el término que determina el desempeño de un intercambiador, y el método por el cual se prefiere uno a otros. La caída de presión es un parámetro importante, puesto que los costos de bombeo pueden ser altos.
- **Tendencias del ensuciamiento.** La suciedad que cubre las superficies puede disminuir la tasa de transferencia de calor y reducir el desempeño del intercambiador. Importante a tomar en cuenta según el tipo de fluido y los costos de mantención.
- **Técnicas de fabricación.** Son importantes para los requerimientos físicos del intercambiador, como esfuerzos mecánicos. Ej: soldado del intercambiador.

#### **4.3.2. Criterios de selección de un condensador**

El arte del diseño de condensadores involucra la evaluación de condiciones específicas de ciertos procesos, junto a las otras más conocidas como energía potencial, térmica, y limitantes económicas, que se usan para determinar capacidades y dimensiones. A continuación se da un listado de los criterios para selección de qué lado debe tomar lugar la condensación. En la Figura 4.2 se muestra un diagrama de estos criterios.

- **Presión:** a grandes presiones es mejor que la condensación se de del lado de los tubos y no de las carcasas.
- **Caída de presión:** la caída de presión puede ser crítica para presiones bajas, necesitando más tubos, o más largos. Así, la condensación del lado de la carcasa es mejor.
- **Corrosión.** Los vapores corrosivos necesitan aleaciones caras. Así, el material costoso se ve mejor aprovechado en tubos, por su superficie menor.
- **Ensuciamiento.** Los mantenimientos son mas cómodos en el lado de los tubos, que de la carcasa, por su apartaje.

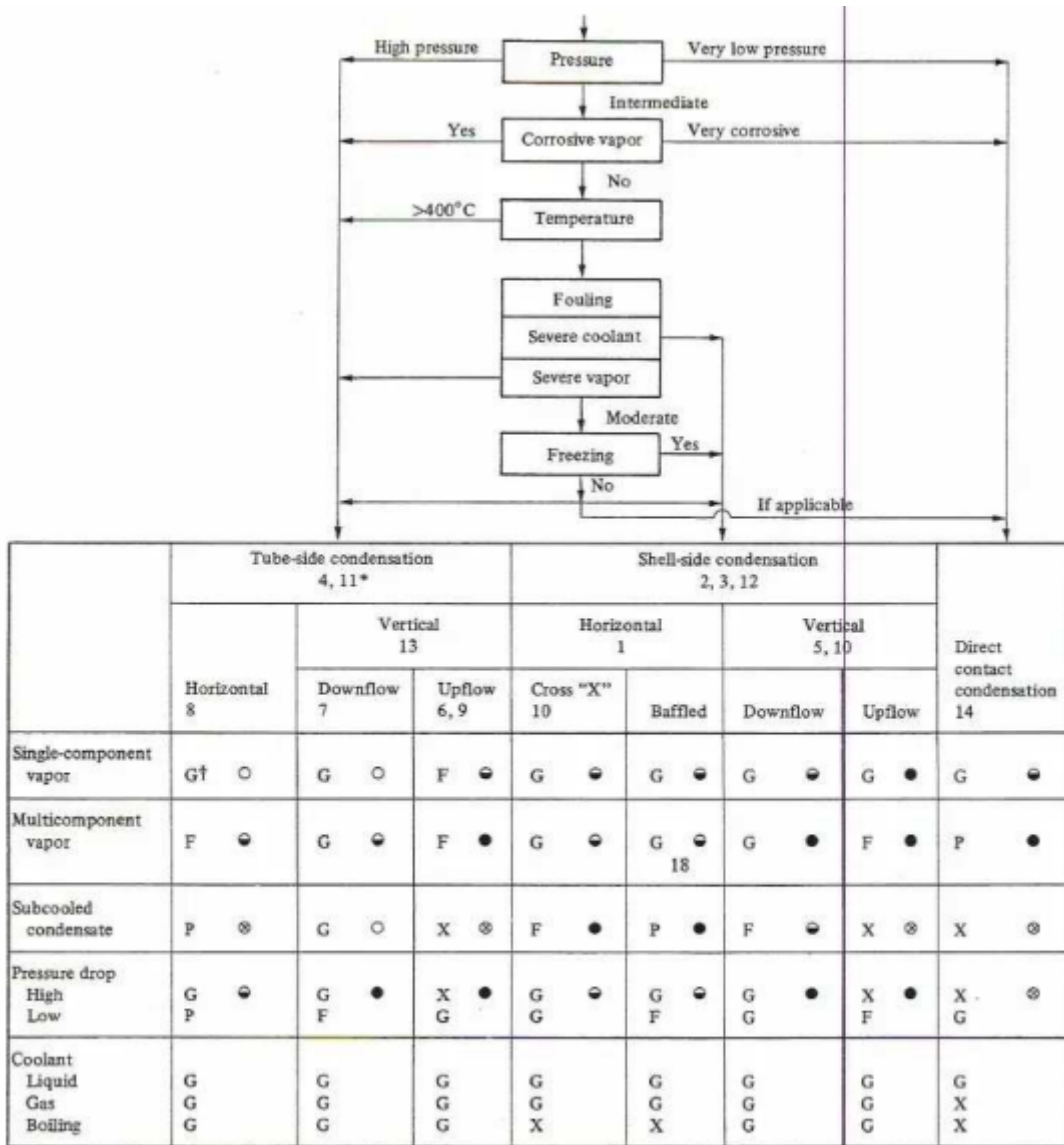
- Temperatura. A muy altas temperaturas, se producen dos problemas: estructuras grandes se dificulta su diseño, por estreses térmicos; y problemas con uniones entre tubos. Se recomienda consideración directa.
- Congelamiento: para condensados que pueden llegar a congelarse, es preferible el lado de la carcasa, que es menos susceptible a taparse.

#### 4.3.2.1. Sobre las especificaciones

Las opciones de intercambiador de calor de enfriamiento por aire que están disponibles en el mercado son variadas. Este tipo de intercambiador es muy común para acondicionamiento de aire y en general está diseñado para agua o refrigerantes. Sin embargo, el equipo es elementalmente el mismo, y su parte funcional cambia poco. Son llamados radiadores o bobinas.

Si bien no existe una norma que estandarice sus tipos como el manual TEMA, los proveedores determinan ciertos parámetros para su especificación. A continuación son especificados los parámetros que algunos proveedores mencionan y luego son presentados los valores seleccionados.

- Diámetro externo: Es el diámetro de los tubos de que está hecho todo el banco de tubos.
- Material: tipo de material que puede ser aluminio, cobre, acero, acero inoxidable.
- Aletas: Son necesarias las especificaciones del tipo de aletas: plana, sinusoidal, de Waffle, etc; de la altura y longitud de las aletas; y de la cantidad de aletas medida en general en aletas por pulgada.
- Cantidad de columnas: el banco de tubos pueden tener en profundidad varias columnas. En general, se manufacturan por números pares, de 2, 4, 6, 8, y hasta 12 columnas, dependiendo del fabricante.



\*See comments for Charts 1 and 2.  
 †Acceptability: G = good, P = poor, X = not applicable or not recommended. Predictability: ○ = average ~25%, ⊖ = fair < 50%, ● = poor 50+%, ⊗ = no method or not recommended.

Figura 4.2: Criterios de selección de condensador

- Circuito: los intercambiadores pueden tener distintas configuraciones del recorrido del fluido. Este puede ser ingresado por un múltiple de admisión, y salir por un colector. O pueden tener solo una entrada y salida. Así también hay varias combinaciones según su uso.
- Cabezales: los cabezales son el bastidor que sostienen los tubos. En general, se elige el tipo de material de este elemento.
- Conexiones: Se debe especificar las el tipo de entrada y salida. Esto es si la conexión requiere hilo, soldadura, flanges, etc. Además el diámetro nominal que admiten las normas de estos elementos.

# Capítulo 5

## Dimensionamiento

### 5.1. Problema

El problema está enmarcado dentro del proyecto de energía renovable "Walfisch02". Este tiene por objeto evaporar agua de mar a través de energía solar, luego elevar el gas aprovechando su densidad y presión recaudada en la bomba, y finalmente condensarlo, obteniéndose agua destilada a una altura de disponibilidad para su utilización. El equipo a diseñar es un intercambiador de calor que debe encargarse de la condensación del vapor bombeado desde una bomba desalinizadora solar. El proyecto está localizado en Laguna Verde, Valparaíso, Chile. Las condiciones de diseño de este intercambiador vienen dadas por los resultados de la tesis de la bomba desalinizador a vapor solar [19]. En el siguiente párrafo se encuentra la información pertinente de caracterización:

La generación de vapor dentro del depósito y en la tubería 3.7 de extracción, hace que la presión del sistema cerrado vaya aumentando. Al llegar a la presión de estudio de 6 bar relativos del manómetro, es decir 7 bar absolutos, se abre la válvula 4.4 y el vapor sale impulsado hacia la cota destino [...] La presión irá cayendo a medida que va saliendo el vapor. El aire húmedo es una mezcla de aire y vapor de agua. Este al ser menos denso que el aire seco, sube por gravedad. Además, la diferencia de presiones entre el interior y el exterior hace que se consiga una mayor distancia de bombeo. Una vez que las presiones del interior y el exterior se igualan, se cierra la válvula 4.4 y se vuelve a abrir la válvula 4.1 y se vuelve a repetir el proceso: ciclo.

(Uriarte, 2019: 10)

## 5.2. Propuesta

Son considerados los planteamientos del problema y de los recomendaciones de manuales. Luego, se hacen las siguientes observaciones y se levantan los siguientes lineamientos :

- Si bien el proceso es cíclico, el proyecto indica que nuevas mejoras podrían lograr un régimen continuo, por lo tanto el intercambiador debe estar calculado para esta última condición.
- La tesis desarrolla el diseño y la construcción de la bomba desalinizadora, pero no su operación. En efecto, los valores entregados son teóricos, no reales.
- Las actualizaciones de este proyecto advierten que la presión máxima no alcanza más de 4 bar. [4].
- El ideal de proyecto es funcionar con energía renovable por tanto los fluidos de refrigeración deben ser potenciados con los recursos que están presente en el sector de recepción del vapor. Estos son: energía eólica, energía de radiación solar.

- Las posibilidades son de potencia son:
  - Generación de potencia eléctrica para bombeo de agua o de compresión de aire
  - Captación o recepción de viento: disposición más favorable de recibir la corriente; dispositivo de direccionamiento o de alineamiento a la corriente de viento.
  
- Debido a la altura del lugar y a la cercanía a la costa, puede encontrarse un lugar de alto nivel de velocidad de viento, y con temperaturas bajas. Por tanto, en se recomienda su uso.

### 5.2.1. Velocidad del viento

En el lugar de operación la velocidad del viento es caracterizada según los datos recopilados por el Explorador de Energía Eólica. En específico sobre la base de datos de reconstrucción climatológica del periodo 1980-2017. Se calcula una velocidad promedio de los horarios de operación, de 10 a.m. a 5 p.m , de los últimos 10 años de datos, como se muestra en la Figura 5.1. La velocidad promedio calculada resulta:

$$u = 4,2 \frac{m}{s}$$

### 5.2.2. Flujo másico

Las indicaciones de la tesis anterior para una determinada masa evaporada hacen únicamente referencia a un tiempo de ciclo: tiempo de vaporización más tiempo de llenado. La masa de vapor obtenida para tal tiempo es igual a 11,708 kg. El tiempo más rápido, en los días de mayor radiación, es de 9,3 minutos. Por tanto, el el caudal

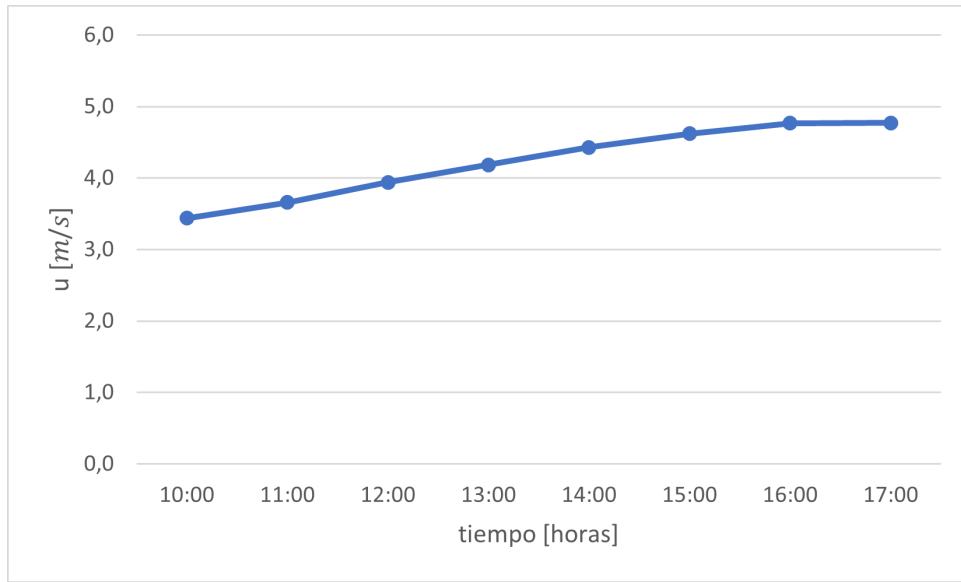


Figura 5.1: Velocidad promedio horaria anual. Fuente: Elaboración Propia

másico debe ser a lo menos tan rápido como para no hacer a los ciclos discontinuos.

$$\dot{m} = \frac{m}{t} = \frac{11,708}{558} \left[ \frac{kg}{s} \right] = 0,02098 \left[ \frac{kg}{s} \right] = 75,5 \left[ \frac{kg}{hr} \right] \quad (5.1)$$

### 5.3. Diseño

La primera decisión de diseño viene dada por las características del problema. La selección preliminar es definida por criterios gruesos. El diseño supone, según lo propuesto en la sección anterior, el dimensionamiento de un intercambiador de calor enfriado por aire, a través de un banco de tubos.

Todos los cálculos inician de un diseño asumido. Este consiste primero en la disposición del banco de tubo, es decir el arreglo del flujo. Para llegar al diseño final es necesario pasar por modificaciones e iteraciones del inicial. Tomado en dos divisiones principales, el siguiente procedimiento constará de cálculos para flujo paralelo, donde son comparados los parámetros básicos de transferencia de calor. Una vez hecho un criterio de los parámetros óptimos, es calculado el arreglo de flujo cruzado, del que participan los intercambiadores de calor enfriados por aire.

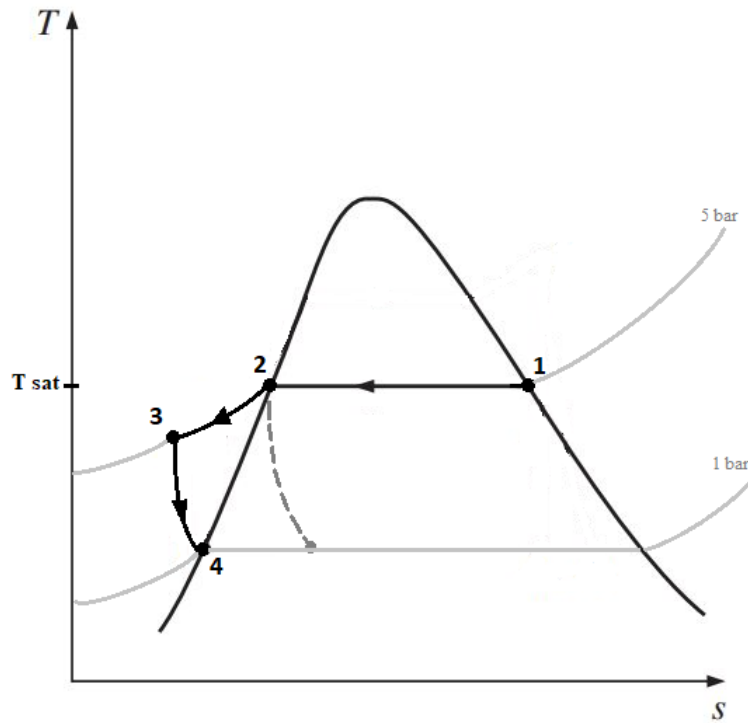


Figura 5.2: Diagrama Temperatura-entropía para proceso isobárico. Fuente: Elaboración Propia

### 5.3.1. Diseño Termo-hidráulico

La caracterización termodinámica del agua condensada requerida, se elige como el estado final un proceso de transferencia de calor isobárico, como se muestra en la Figura 5.2. En el estado inicial (1), el agua está en forma de vapor saturado y luego es condensada hasta el punto de líquido saturado (2). Para que el estado final llegue a ser líquido, necesita ser sub-enfriado debido a que al salir del condensador el cambio brusco de presión puede hacer que se revaporice el condensado, como se muestra en la línea segmentada. Así pasa por un punto (3), antes de llegar al estado final, como agua saturada a 1 bar (4).

## Cálculo paso-a-paso

En el cálculo paso a paso, las diferencias de temperaturas no son aproximadas logarítmicamente por tanto presentan mayor precisión. Además pueden considerarse los cambios en el coeficiente de transferencia de calor interno debido al régimen de flujo que varía mientras ocurre la condensación. Este régimen también incide en la cantidad de fricción, por tanto, permite conocer mejor la pérdida de presión interna.

Por tanto, cada cálculo se hace para un diferencial de temperatura, de entalpía, presión, coeficientes de convección, etc. La presentación del cálculo se apoya con líneas de código en el lenguaje de programación de Python, que es donde se van a correr las iteraciones de ser necesarias. El proceso de cálculo se sigue como se muestra en el diagrama de la Figura 5.3.

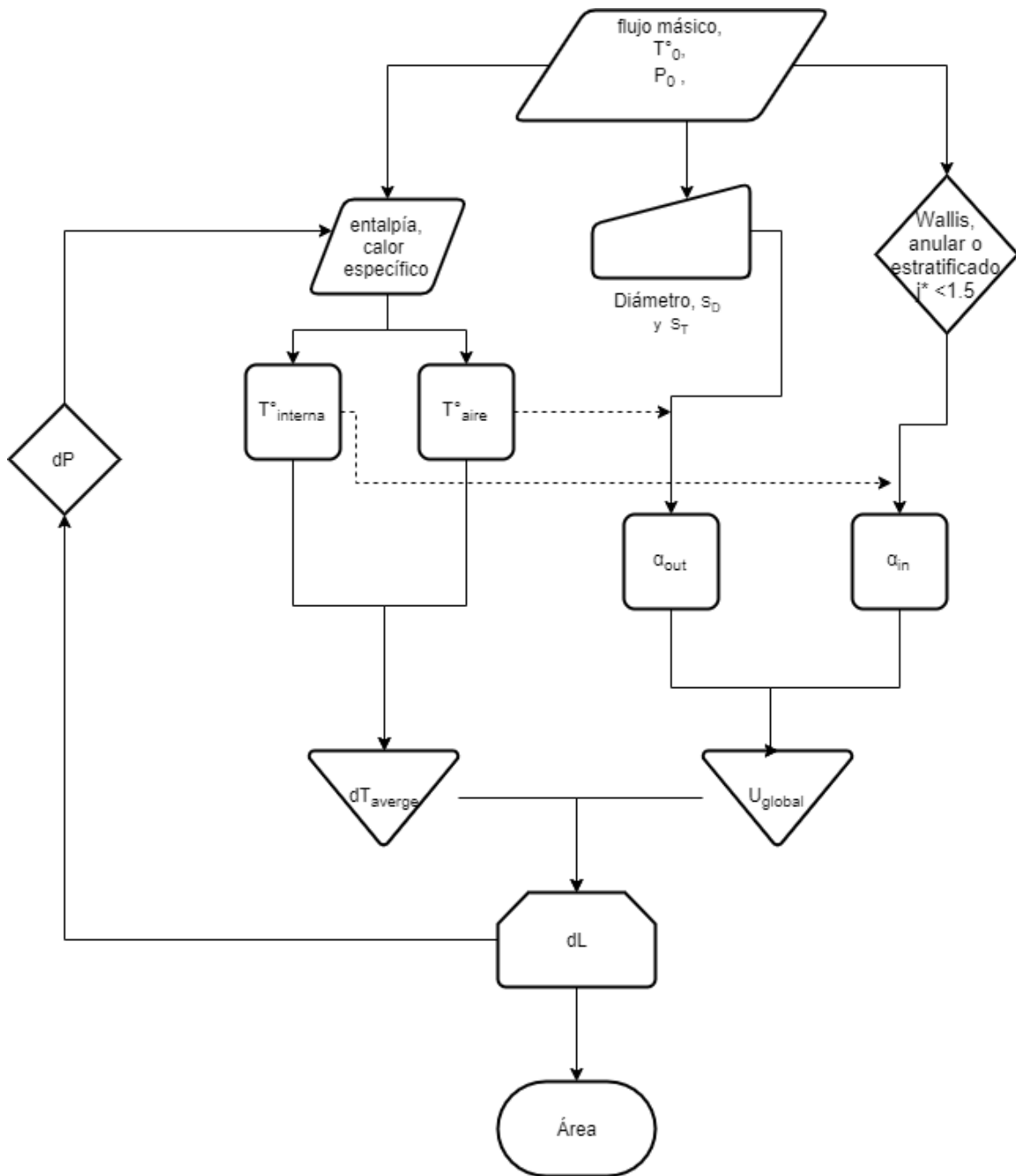


Figura 5.3: Diagrama de algoritmo para el cálculo de diseño termohidráulico paso-a-paso

### 5.3.1.1. Coeficiente de transferencia de calor externo

El fluido externo es el aire, y sus propiedades termodinámicas se muestran en la tabla

El coeficiente de transferencia de calor externo depende de la geometría a la que se ve enfrentada el flujo de aire, como se describe en la sección 3.2.1.

$$S_D = \sqrt{(S_L)^2 + \left(\frac{S_T}{2}\right)^2} \quad (5.2)$$

Para el tubo liso se hace uso de la fórmula 3.33, la cual solo admite una modulación  $S_T/S_L < 2$ :

$$Nu = 0,40Re^{0,60}Pr^{0,36}\left(\frac{Pr_f}{Pr_s}\right)^{0,25} \quad (5.3)$$

Es indicado por el autor que el número de Prandt para el aire en todos los casos experimentados hacen que  $Pr^{0,36}\left(\frac{Pr_f}{Pr_s}\right)^{0,25} = 0,88$ .

Para el tubo aletado se hace uso de la fórmula [reff], la cual tiene un factor  $S_T/S_L$  integrado:

$$Nu = 0,19Re^{0,65}Pr^{\frac{1}{3}}\left(\frac{S_T}{S_L}\right)^{0,2}\left(\frac{t_R - s_R}{D}\right)^{0,18}\left(\frac{h_a}{D}\right)^{0,14} \quad (5.4)$$

Se toman diferentes valores de diámetro para el caso de tubo liso, y en el caso aletado, una variación de la modulación. Se muestra en la tabla

Diámetro [in]	$S_T$ [m]	$S_L$ [m]	$S_D$ [m]
1	0,0508	0,1016	0.1047
1 * 3/2	0,0762	0,1524	0.1571
1 * 2	0,0976	0,1952	0.2012
1 * 3/4	0,0381	0,0762	0.0788
1	0,0635	0,1270	0,1309
1 (aletado)	0,0508	0,1016	0,1047
1 (aletado)	0,0508	0,1270	0,1295

Tabla 5.1: Modulaciones de banco de tubos y diámetros variables.

Las velocidades máximas que se producen en el interior del banco de tubos, según la

condición de la ecuación (3.29) se tiene que,

$$2(S_D - D) < (S_T - D) \quad (5.5)$$

es falso. Luego la velocidad máxima ocurre en el plano transversal, de (3.28)

$$V_{max} = \frac{S_T}{S_T - D} \cdot 4,1 \quad (5.6)$$

Luego de (3.27) Número de Reynolds máximo es,

$$Re_{max} = \frac{1,2250 \cdot 0,0254 \cdot V_{max}}{1,79 \cdot 10^{-5}} \quad (5.7)$$

Para los distintos casos los resultados son,

Diámetro [in]	$V_{max}$ [ $\frac{m}{s}$ ]	$Re$ [-]	$\alpha_{out}$ [ $\frac{W}{m^2K}$ ]
1	8,4	14935,2	112,341
1 * 3/2	8,4	22402,8	95,521
1 * 2	8,4	28694,4	86,517
1 * 3/4	8,4	11201,4	126,041
1	7,0	12446,0	100,700
1 (aletado)	8,4	14935,2	164,010
1 (aletado)	8,4	14935,2	156,851

### 5.3.1.2. Coeficiente de conductividad de tubería y de ensuciamiento

Los coeficientes de conductividad de la tubería vienen dados por la propiedades del material. Los materiales a comparar en los cálculos son tres: acero al carbono SAE ASTM 1045 [2] , cobre y aluminio [3]. Sus valores se muestran en la Tabla ?? .

### 5.3.1.3. Coeficiente de ensuciamiento

El coeficiente de ensuciamiento que se considera como factor de resistencia a la transferencia de calor depende solo de la sustancia del fluido. Como se menciona en la

Material	$k_w$
[-]	$[\frac{W}{mK}]$
Acero	50,8
Cobre	372,1
Aluminio	209,3

Tabla 5.2: Conductividad según material de la tubería

tabla ??, se tiene que,

$$r_s = 3,5[\frac{m^2K}{W}]$$

### Malla de fracción de vapor

Se realiza una malla unidimensional que va determinar la calidad del vapor o fracción de vapor  $x_i$  en incrementos de  $z$ . Siendo  $1/z$  la cantidad de nodos de la malla. Por tanto, la matriz  $x_i$  comienza en  $x = 1$  (vapor seco), pasando por vapor húmedo  $x < 1$  hasta el agua saturada  $x = 0$ . Notar que la variable funcional  $y_i$ , viene a ser su inversa, por tanto, la fracción de agua.

```
1 y = np.arange(0, 1, z)
2 x = 1-y
```

### Carga calorífica

Por cada incremento de la fracción de vapor la carga calorífica va variando según la ponderación de entalpía de mezcla por el flujo másico.

$$q_i = \dot{m} (h_g x + h_f (1 - x))$$

```
1 q = (h_g * x + h_f * (1-x)) * m
```

## Temperatura del fluido refrigerante

La temperatura del fluido frío, el aire, se calculan mediante el balance de energía. El calor perdido por el flujo interior se supone totalmente absorbido por el flujo exterior. Por tanto,

$$dq_i = dq_{aire} \quad (5.8)$$

donde,

$$dq_{aire} = \dot{m}_{aire} c_p \Delta T \quad (5.9)$$

$$\Delta T = \frac{dq_i}{\rho u c_p} \quad (5.10)$$

Se inicia con una temperatura del aire, de 15°C, para luego añadirle sus incrementos al arreglo de temperaturas de aire **n**.

```
1 dT = np.zeros(len(q))
2 for i in range(len(q)-1):
3     dT[i] = (q[i] - q[i+1]) / (rho_aire*u*c_p_aire)
4 n = np.zeros(len(q))
5 n[0] = 15 + 273.15
6 for i in range(len(n)-1):
7     n[i+1] = n[i] + dT[i]
```

## Temperatura del fluido caliente

La temperatura del fluido caliente, la mezcla pura agua-vapor, se obtiene de una curva de condensación-temperatura como la que se describe en la sección ref[[]]. Para este caso, se modela una curva de condensación a través de un balance de energía. Se toman en cuenta solo las energías internas  $u_i$  que varía por cada fracción de vapor.

El supuesto es que el calor que pierde el vapor  $du_{fi}$  opera en dos procesos. La primera pérdida permite convertir el gas a líquido,  $dq_{mezcla}$ , y el resto de la pérdida, produce un cambio de temperatura en el vapor,  $dq_{sensible}$ ,

$$dq_{gas} = dq_{mezcla} + dq_{sensible}$$

donde  $dq_{mezcla}$  es,

$$dq_{mezcla} = u_{totali} - u_{totali+1}$$

y,

$$u_{total} = u_f x + u_g(1 - x)$$

Y  $dq_{sensible}$  está dado por,

$$dq_{gas} = u_{fi} - u_{fi+1}$$

Cabe destacar que  $dq_{mezcla} < dq_{gas}$ . Por tanto, despejando el término que influye en la temperatura,

$$dq_{sensible} = dq_{mezcla} - dq_{gas}$$

Así, se obtiene una relación de temperatura, a través de la energía interna, al igual que para el fluido frío:

$$dq_{sensible} = c_{pgas} \Delta T$$

$$\Delta T = \frac{dq_{sensible}}{c_{pgas}}$$

A continuación se muestra el código del álgebra. Se denota que el término de  $dq_{gas}$ , hace sus diferencias a través de la malla  $x$ , por tanto,  $u_{fi} - u_{fi+1} = u_f \dot{m} z$ , donde  $z$  es son las distancias constantes de la malla.

Se inicia con la temperatura de saturación, y luego se añadirle sus decremenos al arreglo de temperaturas de aire **n\_gas**.

```
1 u_in = (u_s * x + u_l * (1-x))*m
2 dT_hot_gas= np.zeros(len(u_in))
```

```

3 for i in range(len(u_in)-1):
4     dT_hot_gas[i] = (u_s*m*z - (u_in[i] - u_in[i+1])) / (c_p[i])
5 n_gas = np.zeros(len(h))
6 n_gas[0] = T_sat[0]
7 for i in range(len(n)-1):
8     n_gas[i+1] = n_gas[i] - dT_hot_gas[i]

```

### Diferencias de temperatura promedio entre fluido frío y caliente

Con los valores de temperatura obtenidos a partir de los modelos anteriores, se calcula la diferencia de temperatura para cada paso de la fracción de vapor. Este es el equivalente a la temperatura media logarítmica de la ecuación

$$\Delta T = T_{vapor} - T_{aire} \quad (5.11)$$

Según la términos anteriormente usados se muestra el código de esta iteración.

```

1 dT_average = np.zeros(len(n))
2 dT_average = T_gas - n

```

### Coefficiente de transferencia de calor interno según patrón de flujo

Se calcula el coeficiente de Wallis mencionado en la sección ref[[]] para determinar el patrón de flujo en cada sección dada por  $x_i$ ,

$$j_g = \frac{xm_t}{(\sqrt{gD\rho_g(\rho_l - \rho_g)})} \quad (5.12)$$

Cabe señalar que  $m_t$  es una tasa de flujo de masa, o velocidad de masa:

$$m_t = \frac{\dot{m}}{S} \quad (5.13)$$

donde  $S$  es la sección transversal de la tubería  $D$ , por donde pasa el flujo de líquido o vapor.

Luego, se calcula el coeficiente de transferencia de calor interno según el coeficiente anterior, basado en el patrón,  
para  $j_g < 1.5$ , flujo anular [7],

$$\alpha = 1.32 Re_{ls}^{1/3} \left[ \frac{\rho_g(\rho_l - \rho_g) g k_l^3}{\mu_l^2} \right]^{1/3} \quad (5.14)$$

donde  $Re_{ls}$  esta dado por,

$$Re_{ls} = \frac{m_t(1-x)D}{\mu_l} \quad (5.15)$$

para  $j_g > 1.5$ , flujo estratificado o intermitente,

$$\alpha = \Omega \left( \frac{k^3 \rho_l (\rho_l - \rho_g) g \Delta h}{\mu_l D (T_{sat} - T_w)} \right)^{0.25} \quad (5.16)$$

donde  $\Omega$  es un coeficiente de corrección de la fracción de vacío,

$$\Omega = 0.768 \left[ 1 + \left( \frac{1-y}{y} \right) \left( \frac{\rho_g}{\rho_l} \right)^{2/3} \right]^{-3/4} \quad (5.17)$$

El código de estos coeficientes en los términos usados anteriormente: el coeficiente de Wallis como  $jj$  ; y  $\alpha$  anular e intermitente, como **alf\_ann** y **alf\_inn** respectivamente.

```

1 m_t = m/S
2 jj = x*m_t / (g *D * rho_g *(rho_l-rho_g))**0.5
3 Re_ls = m_t*(1-x)*D /mu
4 alf_ann= 1.32 * Re_ls**(-1/3)*(rho_l*(rho_l-rho_g)*g*k**3 /mu**2)**(1/3)

```

```

5 T_w      = n
6 for i in range(len(n)):
7     alf_inn[i] = (0.728*(1+(1-x[i])/x[i]*(rho_g[i]/rho_l[i])**2/3))
                **(-3/4)*((k**3*rho_g[i]*(rho_l[i]-rho_g[i])*g*(h_s[i]-h_l[i]))/(
                mu[i]*D*(T_sat[i]-T_w[i])))**1/4

```

## Coeficiente de transferencia de global

Una vez obtenidos todos los coeficientes de térmicos, es calculado el coeficiente de transferencia de calor global según la ecuación (3.14). Una formulación inversa posibilita ver la resistencia que involucra cada elemento,

$$\frac{1}{U} = \alpha_{in} + R_{foul} + R_{wall} + \alpha_{out} \quad (5.18)$$

El término de resistencia de ensuciamiento  $R_{foul}$  se considera constante para todas las iteraciones. La resistencia térmica de la pared  $R_{wall}$  varía en la obtención de resultados para otros materiales de tubo. Así también, las variantes ya calculadas para  $\alpha_{out}$ . Como el término  $\alpha_{in}$  se calcula según el patrón de flujo interno, varía en cada iteración.

En el siguiente código se muestra el operador lógico `if` para evaluar el coeficiente de Wallis y calcular el coeficiente de transferencia de calor global para cada patrón de flujo. El coeficiente externo, calculado en las ecuaciones (5.3) y (5.4), son las variables `alf_kk` y `alf_rr` respectivamente. Para la iteración de tubo liso se escribe como se muestra en el siguiente código, y luego para el modo con aletas, se reemplaza por lo que está como comentario (`#`).

```

1 U_inv     = np.zeros(len(n))
2 for i in range(len(n)):
3     if jj[i]>=1.5:
4         U_inv[i]=  R + 2*D*np.log(D/d_i)/(2*k_w)  + D/(d_i*alf_ann[i])
                    + 1/alf_kk # o alf_rr
5     else:
6         U_inv[i]=  R + 2*D*np.log(D/d_i)/(2*k_w)  + D/(d_i*alf_in[i])  +

```

```
1/alf_kk # o alf_rr
```

## Largo de tubería por condensación

Luego se puede aplicar la ecuación ref[seccion trans] despejando el largo del término de área

$$dL_i = \frac{dq_i}{\pi D U_i \Delta T_i} \quad (5.19)$$

donde para cada coeficiente de transferencia global  $U_i$ , para cada diferencia de temperatura promedio  $\Delta T_i$  y para cada carga calorífica, de los incrementos en la calidad del agua, se calcula un largo.

El código se muestra a continuación. Dónde  $dL$  es la variable que guarda cada segmento de largo asociado a los cambios de fracción de vapor  $x$ .

```
1 dL = np.zeros(len(x))
2 for i in range(len(x)-1):
3     dL[i]= (q[i]-q[i+1])/(np.pi*D*U_inv[i]**-1 *dT_average[i])
```

## Pérdida de presión friccional de cambio de fase

La pérdida de fricción depende del largo de la tubería calculado, en efecto,  $d\Delta p/dL$ . Como se presenta en la sección ref[[]]. la fricción del fluido en cambio de fase se ajusta a modelos que consideren el patrón de flujo. Por tanto, para cada incremento en la fracción de vapor se obtendrá un valor de fricción diferente. El modelo elegido es el de Chisholm.

$$\left(\frac{dp}{dL}\right)_{bifase} = \left(\frac{dp}{dL}\right)_L \Phi_{Chisholm}^2$$

dónde el término que acompaña a  $\Phi_{Chisholm}^2$  es un gradiente de la presión friccional de fase,

$$\left(\frac{dp}{dL}\right)_L = f_L \frac{2m_t^2}{D\rho_L}$$

siendo  $f_L$  el coeficiente de fricción. Para este caso donde  $Re_L \sim 5400$ , es decir, de flujo turbulento ( $Re > 3000$ ), el término es,

$$f_L = \frac{0,079}{Re_L^{0.25}}$$

El multiplicador  $\Phi_{Chisholm}^2$ , según el modelo descrito en dicha sección, le siguen las siguientes ecuaciones,

$$\Phi_{ch}^2 = (1 + (Y^2 - 1) \left[ Bx^{\frac{(2-b)}{2}} (1-x)^{\frac{(2-b)}{2}} + x^{(2-b)} \right])$$

donde,

$$Y^2 = \frac{(dp/dL)_g}{(dp/dL)_L}$$

siendo  $(dp/dL)_g$  el homólogo de  $(dp/dL)_L$  pero para el gas, calculado con su respectivo número de Reynolds ( $Re_g \sim 76000$ ).

El parámetro  $B$  de Chisholm, depende del valor de  $Y$ . Para las formulaciones hechas el valor oscila entre  $Y \sim 13 - 15$ , por tanto, cabe en la consideración de  $9,5 < Y < 28$  y  $m_t < 600 [kg/m^2s]$ . Luego el parámetro es,

$$B = \frac{520}{Y \sqrt{m_t}}$$

Cabe destacar que el largo a considerar para los cálculos de presión deben considerar los elementos de fitting en el intercambiador. El fitting que aplica a este cálculo es el 'arco de 180°' que conecta cada línea del banco de tubos con la siguiente. El método usado es el de largo equivalente como se muestra en la sección ref [1]. De esta manera, el nuevo largo pueden integrarse a las ecuaciones anteriores.

La ecuación del método es,

$$L_{eq} = \left( \frac{L}{D} \right)_{eq} D \tag{5.20}$$

donde se considera un coeficiente de equivalencia mostrado en la tabla ref [1]  $(L/D)_{eq} = 50$ . Este largo es aplicado a cada unión de dos tubos del banco. Por tanto, deben haber

$N - 1$  arcos dispuestos. Como en la variable  $dL$  se divide según la fracción de vapor y no según el largo de construcción, es realizado un algoritmo que modifique esta variable: cada cierto largo acumulado, el largo de cada tubo, es añadido el largo equivalente del fitting. Esto se muestra en el siguiente código, donde la variable  $dL\_dup$  es la modificación de la variable  $dL$ .

```

1 l_t = 1                                     #largo tuberia
2 N = (sum(dL)//l_t -1)                       #numero de
      fittings
3 dL_dup = dL.copy()
4 suma = 0
5 for i in range(len(dL)):                    #
      funcion distribucion de fitting
6     suma = suma+dL[i]
7     if suma>=l_t:
8         dL_dup[i]= dL_dup[i]+50*D
9         suma= l_t-dL[i]
```

En el siguiente cuadro se muestra, el código de el cálculo de pérdidas de fricción, ahora con el largo equivalente.

```

1 dL_eq = dL_dup.copy()                       # para integrar el
      K del fitting y obtener un L_eq de los elbows180
2 m_t = m/S
3 Re_l = m_t * D / mu                         # Reynold
      de la fase liquida , turbulento: 5300
4 f_l = 0.079 / Re_l**0.25
5 dpdz_l = f_l * 2* (m_t)**2 / rho_l /D
6 dpdz_g = f_g * 2* (m_t)**2 / rho_g /D
7 Y = np.sqrt(dpdz_g/dpdz_l)                 # Y =
      13.44 y esta entre 9.5<Y<28 entonces B...
8 B = 520 /Y /(m_t)**0.5
                                           # porque es
```

```

    m/s < 500 kg/ms^2 seg n el mismo libro
9 b = 0.25 #
    potencia de Blasius
10 Phi_ch = np.sqrt(1 + (Y**2 - 1)*(B*x**((2-b)/2) *(1-x)**((2-b)/2) + x**(2-
    b)))
11 dp_ch= dpdz_l*Phi_ch**2*dL_eq

```

## Corrección de las temperatura de condensación debido a la presión

Para ciertos diámetros, algunas caídas de presión son lo suficientemente grandes como para afectar la temperatura del fluido en condensación, como se muestra en la tabla de resultados ref[10]. Por tanto, es corregido el cálculo mediante una iteración con las nuevas propiedades termodinámicas. Son usadas fórmulas polinomiales simples para obtener las propiedades del agua-vapor [10]. Estas fórmulas están en función de la temperatura, por lo tanto, es necesario una función entregue la temperatura de saturación en función de la caída calculada.

En el siguiente código se muestra como la caída de presión calculada `dP` es usada para obtener una nueva presión inicial `p` para cada fracción de vapor. La variable auxiliar `dP_acum`, guarda en cada punto de la malla de fracción de vapor la pérdida de presión acumulada hasta ese punto.

Luego, la siguiente iteración `for`, busca el valor más parecido a `p` en una variable de datos `data_p`, y obtiene su localización (índice de variable). Todas las variables de datos están compaginadas, es decir, tienen la misma malla (diferente a la de cálculo), por tanto, el índice encontrado para la presión corresponde a la temperatura de ese estado termodinámico. Así para las demás propiedades. En el cuadro `t_new` es el nuevo arreglo de temperaturas de saturación.

```

1 dP_acum = dP.copy()
2 for i in range(len(dP)):
3     dP_acum[i] = dP_acum[i] + dP_acum[i-1]
4 p = (p - dP_acum )
5 t_new = np.zeros(len(x))

```

```

6 for i in range(len(x)):
7     mini = 1000
8     for j in datos_p:
9         if abs(j-p[i])<=mini:
10            t_new[i] = data_T[np.where(data_p==j)[0][0]]
11            mini = abs(j-p[i])

```

### Largo de subenfriamiento

Luego se calcula un largo de subenfriamiento, o de re-vaporización. Para ello se usa el mismo procedimiento descrito arriba, ahora para el fluido condensado. Esto es, cálculo de las temperaturas del fluido frío y caliente, coeficientes de convección, diferencias de temperatura y coeficientes de transferencia de calor global. Con tales variables, se calcula el largo, y la caída de presión.

Es necesario determinar un parámetro que discretize el fenómeno. En este caso, se supone que el enfriamiento tiene su recorrido por la curva de saturación hasta llegar a la presión atmosférica. Para esto, se determina la variable presión con una caída  $dP_{sub}$  constante. El paso de la malla es determinado la cantidad de nodos que pueden dividir equidistantemente la distancia de presiones máxima y mínima. Se decide una cantidad de  $z/2$  nodos. Como se muestra en las siguientes líneas de código, el arreglo  $p_{sub}$  recorre la caída de presión desde la presión obtenida en la condensación, hasta el punto de presión atmosférica.

```

1     dP_sub = (p[len(p)-1]-p_atm)/(z/2)
2     p_sub = np.arange(p[len(p)-1],p_atm,-dP_sub)

```

Luego, a través de la función descrita en la subsección anterior, se obtienen las demás propiedades en función de la malla de presión. Por lo tanto, no es necesario calcular las temperaturas del fluido interno, ni una función de entalpía latente de mezcla.

La temperatura del fluido externo se calcula con el balance de energía de las ecuaciones (5.8) y (5.10).

Las funciones que varían en el cálculo son el coeficiente de convección de lado interno y la pérdida de presión.

La primera, es el coeficiente de convección del fluido interno, que varía debido a que se encuentra en fase única, líquida. Como se señala en la sección 3.2.3.1ref[] su cálculo viene dado por,

$$\alpha = \frac{Nu_l k}{0.3} \quad (5.21)$$

$$Nu_l = 0.023 Re^{0.8} Pr^{0.3} \quad (5.22)$$

La segunda, la pérdida de presión, es diferente debido a que solo es fricción de parte del líquido en régimen turbulento. Como se señala en la sección su cálculo viene dado por,

$$p = f_{liq} \frac{L V^2}{D 2g}$$

donde el  $f_{liq}$  es el coeficiente de fricción del agua líquida. Cabe señalar que el largo para calcular esta presión debe ser corregido como se mencionó anteriormente para la caída de presión en cambio de fase.

A continuación se muestran las líneas de código de estos cambios en las funciones, y aquellas que solo cambian sus variables. Las nuevas variables vienen determinadas por el subíndice `_sub`.

```

1  # temperatura del fluido frio
2  dn = np.zeros(len(p_sub))
3  for i in range(len(p_sub)-1):
4      dn[i] = (h_sub[i] - h_sub[i+1]) / (masa_y*c_p)
5  n_sub = np.zeros(len(p_sub))
6  n_sub[0] = n[len(n)-1]
7  for i in range(len(p_sub)-1):
8      n_sub[i+1] = n_sub[i] + dn[i]
9  # diferencias de temperatura
10 dT_sub = t_sub - n_sub
11 # coeficiente de convección interna

```

```

12     m_t = m/S
13     Re_sub = m_t * D / mu_sub
14     Pr_sub = mu_sub * cp_sub / k_sub
15     Nu_sub = 0.023 * Re_sub**0.8 * Pr_sub**0.3
16     alf_liq = Nu_sub * k_sub / 0.03
17     # U global
18     U_inv_sub = np.zeros(len(p_sub))
19     for i in range(len(p_sub)):
20         U_inv_sub[i] = R + 2*D*np.log(D/d_i)/(2*k_w) + D/(d_i*
                alf_liq[i]) + 1/alf_ext
21     U_sub = U_inv_sub**-1
22     # largo subenfriado
23     dL_sub = np.zeros(len(p_sub))
24     for i in range(len(p_sub)-1):
25         dL_sub[i] = (h_sub[i]-h_sub[i+1])/(np.pi*D*U_sub[i]*dT_sub[i])
26     dL_sub_eq = correct_largo(dL_sub,D,K)
27     # caida de presion
28     f_liq = 0.079 / Re_sub**0.25
29     dp_sub = 4 * f_liq * dL_sub_eq/D * (m_t)**2 / (2*rho_sub)

```

Es necesario determinar un parámetro que defina la variación de las propiedades termodinámicas del fluido. En este caso, se supone que el enfriamiento tomará la curva de saturación hasta llegar a la presión atmosférica. Por tanto, las propiedades son las del líquido saturado.

## Flujo cruzado

Para que sean ajustadas las temperaturas a un flujo cruzado, debe asumirse una configuración de intercambio que dará como resultado una configuración geométrica. Esta configuración consiste en distribuir la carga calorífica total del flujo al menos en dos tipos de divisiones. Los intercambiadores de tienen múltiples circuitos que dividen

el flujo, y hacen que la carga total del fluido caliente se distribuya como,

$$\dot{m}_{totalC_{p,h}} = \sum_{n_1} \dot{m}_{circ,n_iC_{p,h}} \quad (5.23)$$

donde  $\dot{m}_{circ,n}$  es la fracción de flujo másico que se distribuye por  $n_1$  circuitos, a través de los cabezales. El segundo tipo de distribución es el de arreglo de flujo, que indica el número de pasos que tendrá cada uno de los circuitos cruzando el fluido frío. En cada uno de estos "pasajes", el fluido frío recibe el calor de todos los circuitos, por tanto, sus temperatura cambia  $n_2$  número de veces, en cada paso. En cambio, el fluido caliente cambia continuamente su temperatura, por cada unidad de largo.

A continuación se muestra el algoritmo que determina la fracción de la carga calorífica que va a ser considerada como "un paso". Este procedimiento impone arbitrariamente un número de pasos. Luego, el cálculo entrega el resultado de los largos correspondientes a esas divisiones.

Para el algoritmo, se hace una división del tamaño de la malla de fracción de vapor,  $z$ , en  $p$  número de pasos. Esto segmenta en tramos de  $(z/p)$  la distribución de carga calorífica. El primer tramo, obviamente, mantiene la temperatura inicial del aire  $T_{c,o}$ .

```

1   q = (h_s * x + h_l * (1-x))*m
2   p = pasos
3   dis = z // p
4   punto = dis
5   j = 0
6   n = np.zeros(len(q))
7   n[0:dis] = t0
8   nk = t0
9   for i in range(len(q)-dis):
10      n[i+dis] = nk + (q[punto] - q[punto+dis]) / (masa_y*c_p)
11      j = j + 1
12      if j>dis:
13          punto = punto + dis
14          j = 0

```

De la misma manera es operado el cálculo para el largo de subenfriamiento. En este caso, la temperatura de inicio es la temperatura ya calentada del aire, pasada por  $p = n_2$  pasos. A través de iteraciones de un nuevo número de paso, se debe encontrar un largo que se corresponda al largo calculado por el condensado, y así mantener la dimensión por donde pasa el flujo de aire.

## 5.4. Resultados y dimensionamiento

### 5.4.0.1. Resultados 1

A continuación se muestran los resultados de las iteraciones, haciendo que la malla tenga una cantidad de nodos  $z = 50$ .

Variantes diámetro materia, superficie módulo	Largo [m]	Área total [m <sup>2</sup> ]	$U$ [W/mK]	$\Delta p$ [Pa]	[—]
1" acero, tubo liso $S_T = 2D, S_L = 4D$	45,94	3,666	102,86	43447,7	
1" · 1,5 acero, tubo liso $S_T = 2D, S_L = 4D$	36,32	2,898	87,05	9379,5	
1" · 2 acero, tubo liso $S_T = 2D, S_L = 4D$	31,36	2,502	78,52	4612,1	
1" · 0,75 acero, tubo liso $S_T = 2D, S_L = 4D$	52,23	4,16	114,51	136796,3	
1" cobre, tubo liso $S_T = 2D, S_L = 4D$	46,12	3,681	103,24	43066,2	
1" aluminio, tubo liso $S_T = 2D, S_L = 4D$	46,14	3,682	103,20	43070,9	
1" acero, tubo liso $S_T = 2,5D, S_L = 5D$	51,08	4,071	92,594	44253,8	
1" acero, aletado $S_T = 2D, S_L = 4D$	20,98	10,575 (1,674)	218,57	31264,1	
1" acero, aletado $S_T = 2D, S_L = 5D$	20,98	10,575 (1,674)	218,57	31264,0	

### 5.4.1. Comparación

Los resultados muestran el valores característicos del intercambiador calculado: largo, área total, coeficiente de transferencia de calor global, y caída de presión. Las variaciones para cada cálculo se hicieron respecto al diámetro, material de los tubos, módulo del banco de tubos, y tipo de superficie: lisa o aletada. El tipo de variaciones es propuesta para obtener las siguientes diferencias:

- Comparar efecto de cambio de diámetro. La terna de resultados 1-2-3-4.
- Comparar efecto de cambio de material de tubo. La terna de resultados 1-5-6.
- Comparar efecto de cambio de módulo del banco de tubos. Los pares de resultados de 1-7 y 8-9.
- Comparar efecto de tipo de superficie. El par de resultados, 1-8.

En primer lugar, y de manera general, se ha de notar que el menor largo fue obtenido en el caso del tubo de mayor diámetro y el mayor en la variante de menor diámetro, incluyendo a los aletados.

El efecto de cambio de diámetro tiene una relación de proporción inversa con el coeficiente de transferencia de calor global. La razón de esto, es que el coeficiente de transferencia de calor interno, depende de la velocidad de flujo. Ésta aumenta en la medida que el diámetro es disminuye, por conservación de masa. Por otro lado, puede notarse que el cambio de diámetro es directamente proporcional a la caída de presión. En efecto, una mayor velocidad implica un número de Reynolds mayor, por tanto, aumentos en los coeficientes de roce. Luego, se sigue que un mayor coeficiente de transferencia de calor global implica un menor largo total. Sin embargo, en el resultado se ve el efecto contrario. La razón de esto tiene que ver con el efecto de la pérdida de presión. Al caer la presión el vapor saturado cambia su entalpía, moviéndose hacia curvas de saturación de más inclinadas, es decir,  $dh/dx$  mayor. Tal cambio implica un diferencial de carga calorífica mayor,  $dq$ , por tanto un largo mayor.

El efecto de cambio de material como se puede apreciar, no es relevante. El coeficiente de conducción del material, incide en el coeficiente de transferencia de calor global, sin embargo ofrece un cambio de apenas unas centésimas. Puede deberse a lo dominante que son los otros términos del coeficiente global, a saber, el coeficiente de convección externa, coeficiente de convección interna. En este caso, el número más pequeño domina la ecuación, es decir, el coeficiente de convección externa. La presión es prácticamente invariable.

El efecto de la modulación del banco de tubos tiene incidencia directa en el coeficiente de transferencia de calor global. Si son comparados el par 1-7, el cambio a  $S_T = 2.5$  respecto al resultado 1 mostró que disminuyó el coeficientes. Como se dijo anteriormente, el término dominante en la ecuación del coeficiente de transferencia de calor global es el coeficiente de convección externa. Al cambiar la modulación trasversal el aire atraviesa los tubos por una sección mayor, por tanto, una velocidad menor. Al comparar el par 7-8 también se ve un comportamiento similar, pero en una proporción menor. El mecanismo es diferente, y obedece más a una variable interna de la ecuación, por tanto, de corte experimental.

El efecto de la variación de superficie de tubo, liso y aletado marcó una diferencia notable en el coeficiente de transferencia global. La mejora que ofreció el cálculo con aletas está en un 41 % sobre la superficie lisa.

#### **5.4.1.1. Parámetros optimizables**

Los parámetros que optimizan el intercambiador son por tanto:

- Mayor diámetro.
- Con superficie aletada.
- Módulos menores.
- (De carácter menor) Material: aluminio o cobre.

## 5.4.2. Resultados 2

A continuación , en las Tablas 5.3 y 5.4 se muestran los resultados de los cálculos para flujo cruzado, para circuitos de 6 y 8 tubos ( o tubos por columna) variando el números de pasos. Se muestran los largos resultantes, dado el método antes descrito.

<i>N°Paso</i>	<b>Largo</b>				
	4 Pasos	5 Pasos	6 Pasos	7 Pasos	8 Pasos
Paso 1	2,567	0,500	1,278	1,118	0,958
Paso 2	2,701	0,426	1,516	1,346	1,168
Paso 3	2,617	0,358	1,626	1,426	1,227
Paso 4	2,277	0,320	1,747	1,523	1,299
Paso 5		0,280	1,886	1,624	1,378
Paso 6			1,107	1,752	1,462
Paso 7				0,458	1,566
Paso 8					0,230
Sub enfriado	1,339	1,274	1,274	1,304	1,301

Tabla 5.3: Largos de tramo de cada paso para un intercambiador de 6 circuitos (base condensada).

<i>N°Paso</i>	<b>Largo</b>				
	4 Pasos	5 Pasos	6 Pasos	7 Pasos	8 Pasos
Paso 1	1,921	1,559	0,958	1,078	0,958
Paso 2	2,013	1,572	1,133	1,151	1,015
Paso 3	2,112	1,526	1,213	1,088	0,937
Paso 4	1,580	1,508	1,299	1,133	0,967
Paso 5		0,973	1,400	1,208	1,051
Paso 6			0,819	1,298	0,952
Paso 7				0,338	1,011
Paso 8					0,190
Sub enfriado	0,933	0,976	0,976	0,996	0,996

Tabla 5.4: Largos de tramo de cada paso para un intercambiador de 8 circuitos (base condensada).

Los datos exactos se presentan en el anexo para todos los casos. Como el método usado para el flujo paralelo no es exacto, se calcula un promedio para cada tramo. En la Tabla 5.5 se realiza un promedio a los valores que están en un rango de tamaño parecido,

descartando aquellos que son muy pequeños, entre ellos el largo de subenfriado. Con esta información es posible figurar las dimensiones desde criterios ingenieriles. En la siguiente subsección se mencionan algunos.

<i>N°Paso</i>	<b>6 circuitos</b>	<b>8 circuitos</b>
4	2,541	1,906
5	2,173	1,541
6	1,611	1,137
7	1,465	1,036
8	1,294	0,984

Tabla 5.5: Promedios de largos de los pasos para cada configuración.

### 5.4.3. Dimensionamiento físico y especificación

El dimensionamiento físico de un intercambiador de este tipo esta dado por los resultados mostrados anteriormente. En específico, el área de total de transferencia de calor, y el largo de tuberías. Sin embargo de un diseño mecánico, es útil para comparar con los equipos de fabricantes, que se dimensionen las medidas de largo ancho y profundidad.

Para esto, se presenta una tabulación de rangos de dimensiones. Uno para el diámetro máximo calculado, de aproximadamente 2 pulgadas, y otro para un diámetro de 1 pulgada. Este último a propósito de ser el diámetro, que en general, es el más grande disponible en el mercado actual.

De manera general, algunos elementos de dimensionamientos básicos son:

- El largo debe ser distribuido en el banco de tubos, dando como resultado una serie de columnas de tubos de largo equivalentes. Para este caso se tiene que el largo total calculado es
- Esto es deseado, pues la transferencia de calor es creciente en columnas más internas. Desde la cuarta a adquiere un valor alto comparado a las anteriores y estable

- El área de enfrentamiento al aire es deseada que sea regular en caso de convecciones hechas por un ventilador.

#### 5.4.3.1. Selección y especificación

Tomando en cuenta los puntos antes mencionados se hace la selección de un intercambiador de 8 circuitos y 8 pasos. A continuación se mencionan su justificación:

- El largo del último paso sumado al largo del sub-enfriamiento se acerca al largo promedio
- Es más común encontrar cantidad de pasos pares, en el mercado de intercambiadores. Los 8 pasos cumple con diseños estandarizados.
- Se llega a un equilibrio entre; 1. mantener un largo mayor, para reducir la pérdida de presión por codos; y 2. aumentar el número de pasos para que el coeficiente de transferencia de calor de banco de tubos sea efectivo.
- Es recomendable secciones frontales múltiplos de cuadrados, debido a que en el caso de necesitar ventiladores, se añaden por secciones cuadradas. Pueden formar rectángulos. Es decir, se forman dos cuadrados para dos ventiladores.

Se procede a elegir un largo efectivo de los tubos del intercambiador, y para eso, se realiza un cálculo de ajuste de las temperaturas. En efecto, con un nuevo largo, en cada paso al aire en flujo cruzado le va ser transferido otro monto de calor.

El alto de cada columna se calcula por la separación del arreglo escalonado, por el número de tubos en cada columna, más las distancias sobresalientes de los tubos en escala,

$$H = ST * 8 + 2 * D = 0,4572[m] \quad (5.24)$$

El largo final de cada tubo se multiplica por un factor de seguridad: 1.1, luego,

$$L_{tubo} = 0,984 \cdot 1,1 = 1,08 \sim 1,1 \quad (5.25)$$

.Luego el área total del intercambiador está dada por,

$$A_{tot} = L_{tubo} n_{pasos} n_{circuitos} \frac{A_{fin}^*}{A_{plana}} \quad (5.26)$$

donde,  $A_{fin}^*$  es la superficie aletada, que se tiene por unidad de superficie plana de tubo, y resulta,

$$A_{tot} = 35,475[m^2] \quad (5.27)$$

También de los datos de temperatura, presión, coeficiente de transferencia de calor global se muestran en la misma Tabla 5.7. Con algunos datos se puede obtener la carga calorífica total del intercambiador, es decir, su capacidad.

$$Q = U^* A_{plana} \Delta T_{prom} \quad (5.28)$$

donde,  $U$  está en base del área plana, por tanto,

$$Q = U^* L_{tubo} n_{pasos} n_{circuitos} \pi D \Delta T_{prom} = 227165,0203[J] \quad (5.29)$$

La temperatura media logaritmica es,  $\Delta T_{LM}$ , según la ecuación (3.97).

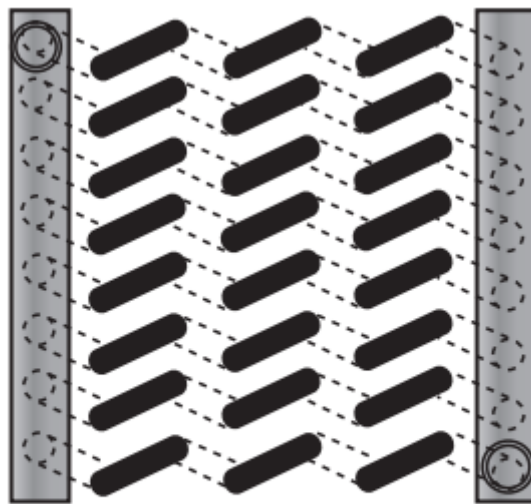
$$\Delta T_{LM} = \frac{(416,6 - 323,1) - (375,9 - 288,1)}{\ln((416,6 - 323,1)/(375,9 - 288,1))} = 90,62 \quad (5.30)$$

Característica	Unidades	Valor
Columnas	[unidades]	8
N de circuitos	[circuitos]	8
Largo de columna	[metros]	1,1
Altura de columna	[metros]	0,46
Diámetro externo tubos	[pulgada]	1
Espesor de tubos	[pulgada]	0,11
Material de tubos	[-]	cobre
Densidad de aletas	[Aletas por pulgada]	8
Espesor de aletas	[metros]	0.002
Altura de aletas	[metros]	0.0127
Material de aleta	[-]	cobre

Tabla 5.6: Especificaciones principales

Característica	Unidades	Valor
Alimentación del circuito	[unidades]	única-simple
Tipo de Conexión	[-]	NTP
Diámetro de conexión	[pulgada]	1
Material conexión	[-]	cobre
Material revestimiento	[-]	minguno
$T_{1,i}$	[grados K]	416,6
$T_{1,o}$	[grados K]	375,9
$T_{2,i}$	[grados K]	288,1
$T_{2,o}$	[grados K]	323,1
$U_{global}$	[W/m <sup>2</sup> K]	410,9
$\Delta p$	[Pa]	10298,2
Área total	[m <sup>2</sup> ]	35,475
$\Delta T_{prom}$	[grados °C]	98,4
Carga calorífica	[J]	227165

Tabla 5.7: Especificaciones secundarias



8 rows                      8 circuits  
8 tubes per row        8 passes

Figura 5.4: Esquema de un intercambiador de calor enfriado por aire, de 8 pasos y 8 circuitos.

# Capítulo 6

## Conclusiones

A continuación se dan algunas proposiciones en el sentido de dar continuidad al proyecto Walfisch, después de dimensionado el condensador, ya sea para su diseño mecánico, optimización, o conexiones con el sistema.

- Los intercambiadores de calor enfriados por aire acondicionado son prácticos para muchas aplicaciones, incluidas la condensación, de vapor. Son flexibles puesto que se puede multiplicar su área (de superficie extendida), siendo muy estandarizada su fabricación.
- En el mercado de intercambiadores de banco de tubos (o radiadores) no hay ofertas para un solo circuito.
- El coeficiente de transferencia de calor global es poco sensible a los cambios en coeficientes de transferencia de calor internos, debido al cambio de régimen de flujo de multi-fase. Esto debido a que el coeficiente de transferencia de calor externo es dominante (es mucho más pequeño).
- Para los diferentes arreglos de flujo cruzado el largo total, y/o área total, no cambia demasiado. Los diferentes largos de los pasos, varían las diferencias de temperaturas, pero este cambio, en el largo total no supera 1 metro.

- Los banco de tubos aumenta considerablemente el coeficiente de transferencia de calor local externo. Del aire, de 50 a 100. Y las aletas hasta un 200 % respecto al área.
- Siempre es conveniente el arreglo escalonado.
- Los intercambiadores de flujo cruzado son la mejor opción para aumentar el área de transferencia de calor.
- Mantener un diámetro lo más grande posible permite que la presión no caiga demasiado por roce, y mantener un largo grande, disminuye las posibilidades de caída de presión por fittings. Esto, debido a que es más corto la distancia termodinámica hasta el liquido saturado en presiones altas.
- Es relevante tomar en cuenta que aunque el cobre es el de mayor conducción es reducido en resistencia a la corrosión, considerando la localización con alta humedad por la brisa marina.
- No fueron considerados os fenómenos físicos que ocurren en el cabezal, sobretodo en cuanto en la expansión de vapor.
- Es posible que las velocidades calculadas para el flujo de aire, sean variables. Además que haya un desperfecto en el supuesto de que el aire pueda entrar al banco de tubos. Es recomendable poder implementar ventiladores, o poder hacer un dispositivo que permita orientarse a la dirección del viento. Para esto, la decisión de dimensionamiento del actual trabajo, fue disponer una sección transversal rectangular, formada por dos cuadrados, para disponer los ventiladores.
- La mayoría de las ecuaciones del Manual Tema no sirven para calcular condensadores, pues no suponen cambio de fase. Es decir, consideran constantes las propiedades transferencia de calor. Sin embargo, las numerosas ecuaciones para los arreglos de flujo en intercambiadores de carcasa y tubo, sirven para intercambios de aire acondicionado.

- Se recomienda hacer un análisis de los efectos de calentamiento de aire en el lugar

# Referencias

- [1] URL: <https://neutrium.net/fluid-flow/pressure-loss-from-fittings-in-pipe-summary/>.
- [2] URL: <https://www.theworldmaterial.com/astm-sae-aisi-1045-carbon-steel-material>.
- [3] URL: [https://es.wikipedia.org/wiki/Coeficiente\\_de\\_conductividad\\_termica](https://es.wikipedia.org/wiki/Coeficiente_de_conductividad_termica).
- [4] Martin Leal Aguila. "SIMULACION Y ANALISIS DEL VAPORIZADOR DE PROTOTIPO DE DESALINIZACION SOLAR. 2020.
- [5] G. Breber, J. W. Palen y J. Taborek. "Prediction of Horizontal Tubeside Condensation of Pure Components Using Flow Regime Criteria". En: *Journal of Heat Transfer* 102.3 (ago. de 1980), págs. 471-476. ISSN: 0022-1481. DOI: 10.1115/1.3244325. eprint: <https://asmedigitalcollection.asme.org/heattransfer/article-pdf/102/3/471/5725968/471\1.pdf>. URL: <https://doi.org/10.1115/1.3244325>.
- [6] Friedrich Frass, Rene Hofmann y Karl Ponweiser. *Principles of Finned-Tube Heat Exchanger Design for Enhanced Heat Transfer*. Ene. de 2015. ISBN: 978-960-474-389-6.
- [7] Mohammed Kamil y Louay Mahdi. "PREDICTING OF STEAM CONDENSATION HEAT TRANSFER COEFFICIENT IN HORIZONTAL FLATTENED

- TUBE”. En: *Journal of Engineering and Sustainable Development* 24 (nov. de 2020). DOI: 10.31272/jeasd.24.6.10.
- [8] Mohammed Kamil, Muna S. Kassim y Louay Mahdi. “PREDICTING OF STEAM CONDENSATION HEAT TRANSFER COEFFICIENT IN HORIZONTAL FLATTENED TUBE”. En: *Journal of Engineering and Sustainable Development* 2 (nov. de 2020), págs. 115-126.
- [9] F. J. L. Nicole. Report Rept. Chem. 223. Pretoria So. Africa: Council for Scientific e Industrial Research (CSIR), 1972.
- [10] C. Popiel y Janusz Wojtkowiak. “Simple Formulas for Thermophysical Properties of Liquid Water for Heat Transfer Calculations (from 0C to 150C)”. En: *Heat Transfer Engineering - HEAT TRANSFER ENG* 19 (jul. de 1998), págs. 87-101. DOI: 10.1080/01457639808939929.
- [11] P.J. Pritchard. “Flujo Viscoso en ductos cerrados”. En: *Fox and McDonald’s Introduction to Fluid Mechanics, 8th Edition*. John Wiley & Sons, 2010. Cap. 8. ISBN: 9781118139455. URL: <https://books.google.cl/books?id=RdIbAAAAQBAJ>.
- [12] P.J. Pritchard. “Head Losses”. En: *Fox and McDonald’s Introduction to Fluid Mechanics, 8th Edition*. John Wiley & Sons, 2010. Cap. 8.7, págs. 357-367. ISBN: 9781118139455. URL: <https://books.google.cl/books?id=RdIbAAAAQBAJ>.
- [13] D. R. Reid y J. Taborek. “Selection criteria for plain and segmented finned tubes for heat recovery systems”. En: *ASME Journal of Engineering Gas Turbines and Power* 116.2 (abr. de 1994), págs. 406-410.
- [14] E.U. Schlünder, International Center for Heat y Mass Transfer. *Ducts. Heat Exchanger Design Handbook* v. 2,pts. 2.2. Hemisphere Publishing Corporation, 1983. ISBN: 9780891161257. URL: <https://books.google.cl/books?id=kOBSAAAAMAAJ>.

- [15] E.U. Schlünder, International Center for Heat y Mass Transfer. *Heat Exchanger Design Handbook*. Heat Exchanger Design Handbook v. 2,pts. 2.2. Hemisphere Publishing Corporation, 1983. ISBN: 9780891161257. URL: <https://books.google.cl/books?id=kOBSAAAAMAAJ>.
- [16] Mirza Mohammed Shah. “General Correlation For Heat Transfer During Condensation in Plain Tubes: Further Development and Verification.” En: *ASHRAE Transactions* 119.2 (2013).
- [17] J.R. Thome. “Condensation Inside Tubes”. En: *Engineering Data Book III*. Wolverine Tube, Inc, 2006. Cap. 8, págs. 1-2.
- [18] J.R. Thome. “Two-Phase Pressure Drops”. En: *Engineering Data Book III*. Wolverine Tube, Inc, 2006. Cap. 13, págs. 1-13.
- [19] Gonzalo Gracia Uriarte. “Creación, diseño y construcción de un sistema de bomba desaladora a vapor solar”. Tesis de mtría. Universidad Técnica Federico Santa María, 2019.
- [20] A. Žukauskas. “Heat Transfer from Tubes in Crossflow”. En: ed. por James P. Hartnett y Thomas F. Irvine. Vol. 8. *Advances in Heat Transfer*. Elsevier, 1972, págs. 93-160. DOI: [https://doi.org/10.1016/S0065-2717\(08\)70038-8](https://doi.org/10.1016/S0065-2717(08)70038-8). URL: <http://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0065271708700388>.

# Capítulo 7

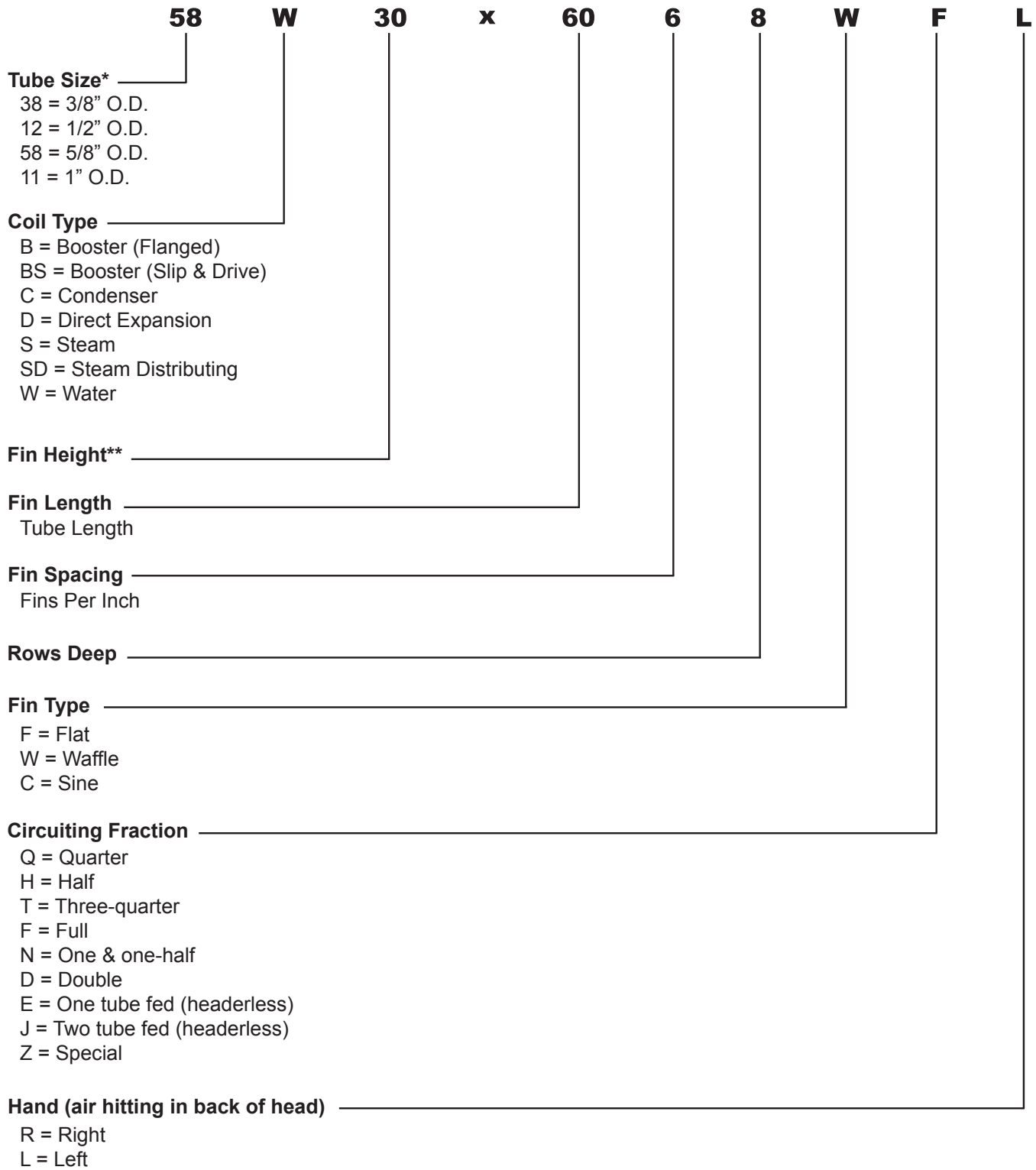
## Anexo

En el anexo, se presentan los datos de cálculo vistos en el código. Están ordenados por las cabezas de series respectivamente:

- **x**: fracción de vapor. Las filas de esta columna van de 1 a 0. Luego cuando desaparece el número, se considera como liquido saturado.
- **U**: coeficiente de transferencia de calor global-local. Es decir, adscrito a cada sección diferencial de largo.
- **dT**: diferencias de temperaturas por cada paso de fracción de vapor.
- **dP**: diferencias de presión, es decir, la caída de presión por cada diferencial de fracción de vapor.
- **dL**: diferenciales de largo. Es el resultado del cálculo, el largo correspondiente a cada monto transferido de calor.
- **t\_ext**: temperatura del fluido exterior, es decir, del aire. Notar como en las de flujo paralelo, el cambio es continuo, y en las de flujo cruzado, es después de cierta cantidad de pasos de largo.
- **t\_int**: temperatura del fluido interior, el caliente.

- **alf\_ann:** (solo aparece en flujo cruzado) Es el coeficiente de transferencia de calor por convección interna en régimen anular.
- **alf\_inn:** (solo aparece en flujo cruzado) Es el coeficiente de transferencia de calor por convección interna en régimen intermitente.
- **jj:** (solo aparece en flujo cruzado) es el parámetro de Wallis, para determinar que coeficiente de los anteriores usar, es decir, qué régimen de flujo está pasando el fluido bi-fásico.
- **dq:** (solo aparece en flujo cruzado) es la carga calorífica transferida por cada avance de largo por cambio de fracción de vapor.

# RAE Coils Model Nomenclature



**\*Notes:**

- 3/8" tube fin heights are in increments of 1"
- 1/2" tube fin heights are in increments of 1-1/4"
- 5/8" tube fin heights are in increments of 1-1/2"
- 1" tube fin heights are in increments of 3"

x	U	dT	dP	dL	t_ext	t_int
1	124,936837	128,35	1095,12019	0,93879176	288,15	416,5
0,98	123,287803	128,069694	2447,56613	0,95397819	288,323894	416,393588
0,96	122,8656	127,789488	2628,01806	0,96312313	288,497889	416,287377
0,94	122,570359	127,50987	2788,58075	0,96839305	288,672566	416,182436
0,92	122,335849	127,230403	2928,065354	0,97354374	288,847344	416,080474
0,9	122,138612	126,950517	3059,92855	0,97763084	289,021738	415,972255
0,88	121,965959	126,670545	3181,85461	0,98201713	289,19684	415,867385
0,86	121,811662	126,391507	3293,97881	0,9862718	289,372092	415,7636
0,84	121,671441	126,11264	3397,09414	0,99043322	289,547494	415,660134
0,82	121,542525	125,833913	3491,63831	0,99452262	289,723045	415,556957
0,8	121,422828	125,555356	3586,10152	1,0030206	289,898744	415,4541
0,78	121,310227	125,277719	1878,73011	1,00268549	290,075379	415,353097
0,76	121,20473	124,999477	3743,1637	1,01141869	290,2514	415,250877
0,74	121,104235	124,722246	1958,52968	1,01070306	290,428406	415,150652
0,72	121,009372	124,444344	3869,71684	1,01969969	290,604749	415,049093
0,7	120,918117	124,167555	2023,1436	1,01862356	290,782126	414,949681
0,68	120,83141	123,890004	3966,28748	1,02790396	290,958788	414,848791
0,66	120,747446	123,613615	4007,03918	1,03205734	291,136533	414,750148
0,64	120,666577	123,336864	2093,52905	1,03046886	291,314475	414,651339
0,62	120,589277	123,05985	4058,71716	1,04019991	291,491626	414,551477
0,6	120,513725	122,784121	4076,85489	1,04433083	291,669935	414,454056
0,58	120,440511	122,508622	4087,31892	1,04845775	291,848438	414,357061
0,56	120,369445	122,233356	2134,06535	1,04619973	292,027137	414,260492
0,54	120,301254	121,957099	4077,7173	1,05656359	292,204944	414,162043
0,52	120,234021	121,68224	4064,63788	1,06068706	292,384006	414,066246
0,5	120,168492	121,407661	4043,46329	1,06481112	292,563261	413,970922
0,48	120,10448	121,133323	2108,66936	1,06190349	292,74271	413,876033
0,46	120,042905	120,858273	3969,49604	1,07292227	292,921168	413,779441
0,44	119,981842	120,584403	3923,29088	1,07705437	293,100977	413,68538
0,42	119,922008	120,310726	2042,27381	1,07366465	293,280978	413,591704
0,4	119,864398	120,035847	3769,56237	1,06980991	293,459916	413,495763
0,38	119,808911	119,759609	3698,8044	1,08120467	293,637718	413,397328
0,36	119,753606	119,485079	3625,42996	1,0930755	293,816918	413,301997
0,34	122,700512	119,212362	1831,95452	1,06239923	293,997586	413,209948
0,32	122,698136	118,938236	3368,82958	1,06571178	294,177095	413,115331
0,3	122,69524	118,6643	3253,91272	1,06904115	294,356746	413,021046
0,28	122,691741	118,390489	3129,48184	1,07238877	294,536539	412,927027
0,26	122,687524	118,116938	2995,22979	1,07575454	294,716473	412,833412
0,24	122,682353	117,843581	1501,92985	1,07035031	294,896549	412,74013
0,22	122,675612	117,568552	2691,67521	1,08243071	295,075298	412,64385
0,2	122,667704	117,295559	1334,47713	1,07675187	295,255633	412,551192
0,18	122,657315	117,020982	2335,15476	1,07993562	295,434594	412,455575
0,16	122,644054	116,746364	2144,20688	1,0831596	295,613648	412,360012
0,14	122,626703	116,471958	1941,49683	1,08643259	295,792796	412,264754
0,12	122,603245	116,197606	1726,23755	1,08977443	295,972038	412,169644
0,1	122,570071	115,923382	792,913287	1,08327444	296,151373	412,074755
0,08	122,519313	115,647136	1245,38239	1,08659744	296,32917	411,976306
0,06	122,434902	115,37104	984,322571	1,09023497	296,507014	411,878054
0,04	122,268303	115,095013	372,423298	1,08415612	296,684904	411,779917
0,02	121,786587	114,816778	0	0	296,861139	411,677917
	100,67349	82,988861	0,19554936	0,03544592	296,861139	379,85
	100,652642	82,7854402	0,29418354	0,05330649	296,86456	379,65
	100,621389	82,4803094	0,19699519	0,03567749	296,869691	379,35
	100,600431	82,2768891	0,29636444	0,05365566	296,873111	379,15
	100,568811	81,971759	0,19846178	0,03591217	296,878241	378,85
	100,547743	81,7683392	0,2985767	0,05400951	296,881661	378,65
	100,516159	81,4632099	0,2999186	0,05422398	296,88679	378,35
	100,484272	81,1580811	0,20085133	0,03629404	296,891919	378,05
	100,463026	80,9546621	0,30218135	0,05458535	296,895338	377,85
	100,430971	80,649534	0,30355462	0,0548045	296,900466	377,55
	100,398814	80,3444064	0,2032961	0,03668414	296,905594	377,25
	100,377184	80,1409882	0,30587009	0,05517374	296,909012	377,05
	100,344857	79,8358614	0,30727513	0,05539761	296,914139	376,75
	100,312426	79,530735	0,20579786	0,03708273	296,919265	376,45
	100,290612	79,3273176	0,30964439	0,05577484	296,922682	376,25
	100,258009	79,0221919	0,31108222	0,05600359	296,927808	375,95
	100,225097	78,7170667	0,31253325	0,05623431	296,932933	375,65
	100,192079	78,4119419	0,313997	0,05646693	296,938058	375,35
	100,159161	78,1068175	0,2103183	0,03780143	296,943182	375,05
	100,13702	77,9034015	0,31646466	0,05685876	296,946598	374,85
	100,10372	77,5982779	5,62231163	0,05709653	296,951722	374,55
	100,070312	77,2931547	5,62675916	0,05733626	296,956845	374,25
	100,036592	76,9880319	5,63123517	0,05757811	296,961968	373,95
	100,002968	76,6829095	5,63573856	0,05782187	296,96709	373,65
	99,9692359	76,377876	0	0	296,972212	373,35

Figura 7.6. Datos de flujo paralelo. Diámetro 3/4 in.

1	111,4699	128,45	233,2139	0,786014	288,15	416,6
0,98	110,3083	128,1693	698,934	0,7937	288,3233	416,4926
0,96	110,0103	127,8881	765,6217	0,800284	288,4962	416,3843
0,94	109,802	127,6074	824,9242	0,803795	288,6696	416,277
0,92	109,6366	127,3268	878,4225	0,807013	288,843	416,1699
0,9	109,4972	127,0463	927,1725	0,810055	289,0165	416,0628
0,88	109,3756	126,7658	971,8175	0,812982	289,1901	415,9559
0,86	109,267	126,4853	1012,728	0,815827	289,3637	415,849
0,84	109,1684	126,2049	1050,205	0,818611	289,5374	415,7423
0,82	109,0779	125,9245	424,0394	0,817776	289,7111	415,6356
0,8	108,9943	125,6435	1113,478	0,820914	289,8841	415,5276
0,78	109,6055	125,3632	447,2585	0,821403	290,0579	415,4211
0,76	109,6056	125,083	1163,637	0,823477	290,2317	415,3147
0,74	109,6056	124,8028	1185,705	0,82556	290,4056	415,2084
0,72	109,6056	124,5227	1205,029	0,827651	290,5795	415,1022
0,7	109,6055	124,2426	1221,64	0,829753	290,7535	414,996
0,68	109,6054	123,9619	1235,607	0,831867	290,9275	414,8894
0,66	109,6052	123,6819	1249,633	0,833856	291,1016	414,7835
0,64	109,6052	123,403	499,3617	0,836227	291,2767	414,6797
0,62	109,6049	123,1232	1263,878	0,838366	291,4509	414,5741
0,6	109,6045	122,8433	1267,402	0,840515	291,6251	414,4685
0,58	109,6041	122,5636	1268,364	0,842674	291,7994	414,363
0,56	109,6035	122,2839	1266,738	0,844843	291,9738	414,2577
0,54	109,6029	122,0043	1265,742	0,852372	292,1482	414,1524
0,52	109,6024	121,7259	504,0635	0,849322	292,3237	414,0496
0,5	109,6015	121,4463	1248,415	0,851522	292,4982	413,9446
0,48	109,6005	121,1669	1236,422	0,853733	292,6728	413,8397
0,46	109,5994	120,8874	1221,826	0,855954	292,8474	413,7349
0,44	109,598	120,6081	1204,583	0,858187	293,0221	413,6302
0,42	109,5965	120,3287	1184,699	0,860432	293,1968	413,5255
0,4	109,5948	120,0495	1162,123	0,862688	293,3716	413,421
0,38	109,5928	119,7702	1136,848	0,864956	293,5464	413,3166
0,36	109,5904	119,4911	1108,819	0,867237	293,7212	413,2123
0,34	109,5877	119,212	1078,02	0,869531	293,8961	413,1081
0,32	109,5846	118,9329	1044,395	0,871839	294,0711	413,004
0,3	109,5809	118,6539	1007,883	0,874161	294,2461	412,9
0,28	109,5767	118,375	968,4487	0,876499	294,4212	412,7961
0,26	109,5716	118,0961	926,0057	0,878853	294,5963	412,6923
0,24	109,5656	117,8172	357,6641	0,873843	294,7714	412,5886
0,22	109,558	117,5366	830,5921	0,883513	294,9452	412,4818
0,2	109,5491	117,2579	778,7238	0,885931	295,1204	412,3783
0,18	109,5381	116,9792	295,161	0,88057	295,2957	412,2749
0,16	109,5237	116,6987	663,7084	0,890752	295,4694	412,1681
0,14	109,5056	116,4201	601,2698	0,893278	295,6448	412,0649
0,12	109,4813	116,1415	219,2017	0,887629	295,8202	411,9617
0,1	109,4465	115,861	461,702	0,890061	295,994	411,855
0,08	109,3945	115,5805	387,5913	0,901178	296,1679	411,7483
0,06	109,3093	115,3021	126,4213	0,895623	296,3433	411,6454
0,04	109,1406	115,0216	218,4087	0,899194	296,5172	411,5388
0,02	108,659	114,7411	0	0	296,6911	411,4322
	90,58658	111,2589	0,150814	0,111426	296,6911	407,95
	90,51627	110,2416	0,137172	0,101237	296,7084	406,95
	90,45231	109,3261	0,153876	0,113453	296,7239	406,05
	90,38056	108,3088	0,15554	0,114552	296,7412	405,05
	90,30796	107,2915	0,157243	0,115675	296,7585	404,05
	90,2345	106,2743	0,17488	0,1285	296,7757	403,05
	90,15271	105,1553	0,17704	0,129918	296,7947	401,95
	90,06971	104,0363	0,179257	0,13137	296,8137	400,85
	89,98583	102,9174	1,916804	0,132857	296,8326	399,75
	89,90089	101,7984	1,938239	0,146593	296,8516	398,65
	89,80672	100,5778	1,943759	0,148451	296,8722	397,45
	89,71146	99,3571	1,966612	0,162885	296,8929	396,25
	89,60656	98,03474	1,973184	0,165188	296,9153	394,95
	89,50016	96,71239	1,979941	0,167559	296,9376	393,65
	89,39202	95,39006	2,00493	0,183075	296,9599	392,35
	89,27365	93,96601	2,031323	0,19928	296,984	390,95
	89,14448	92,44026	2,040565	0,202751	297,0097	389,45
	89,01318	90,91453	2,05012	0,206347	297,0355	387,95
	88,87934	89,38881	2,098974	0,238078	297,0612	386,45
	88,72468	87,65968	2,111505	0,243059	297,0903	384,75
	88,56678	85,93057	2,144965	0,262853	297,1194	383,05
	88,39582	84,09975	2,180838	0,283879	297,1502	381,25
	88,21136	82,16725	2,197879	0,290995	297,1827	379,35
	88,02229	80,23477	2,282282	0,34559	297,2152	377,45
	87,79782	77,99718	0	0	297,2528	375,25

701

Figura 7.2. Datos.

flujo paralelo. Diámetro 1 in.

1	93,4387765	128,45	26,9479055	0,62320979	288,15	416,6
0,98	93,438872	128,168831	134,03972	0,62457631	288,322805	416,491636
0,96	93,4389523	127,887662	153,186014	0,62594894	288,495609	416,383272
0,94	93,4390162	127,606493	170,252346	0,62952736	288,668414	416,274907
0,92	93,43907345	127,325852	46,1065887	0,62879858	288,841825	416,167677
0,9	93,4391535	127,044698	199,808626	0,63018993	289,014654	416,059352
0,88	93,4392727	126,763545	212,679327	0,63158759	289,187483	415,951028
0,86	93,4392606	126,482392	224,511994	0,63299161	289,360313	415,842704
0,84	93,4392256	126,201238	235,6317	0,63707923	289,533142	415,73438
0,82	93,4393288	125,920785	61,5103399	0,63590486	289,706701	415,627486
0,8	93,4392443	125,639647	254,893935	0,63731887	289,879555	415,519202
0,78	93,4391314	125,358509	263,181808	0,63875846	290,052408	415,410918
0,76	93,4389877	125,077371	270,670046	0,64019519	290,225262	415,302634
0,74	93,4388108	124,796233	277,72594	0,64480379	290,398116	415,19435
0,72	93,4387686	124,515969	71,6322783	0,6431747	290,571823	415,087792
0,7	93,4385183	124,234847	289,010811	0,64463182	290,744702	414,979548
0,68	93,4382254	123,953724	293,891112	0,64955924	290,91758	414,871304
0,66	93,4380625	123,67358	75,5376851	0,64765266	291,091385	414,764965
0,64	93,4376743	123,392473	300,774247	0,64913081	291,264288	414,656762
0,62	93,43727304	123,111366	303,11989	0,65061609	291,437192	414,548558
0,6	93,4367253	122,830259	305,227401	0,6559755	291,610095	414,440354
0,58	93,4363379	122,55027	78,2253863	0,65369415	291,784023	414,334293
0,56	93,4356927	122,269178	306,449482	0,65520149	291,956951	414,226129
0,54	93,4349644	121,988087	306,019899	0,65671635	292,129879	414,117966
0,52	93,4341433	121,706996	305,412147	0,66251649	292,302806	414,009802
0,5	93,4334152	121,427161	78,0945703	0,65985475	292,476858	413,904019
0,48	93,4323767	121,146086	301,058252	0,66139305	292,64981	413,795896
0,46	93,4312064	120,86501	298,407364	0,66753006	292,822763	413,687773
0,44	93,4300939	120,585246	76,1513732	0,66457983	292,996913	413,582158
0,42	93,4286068	120,304184	289,862239	0,66614306	293,169889	413,474073
0,4	93,4269234	120,023122	284,589888	0,66771502	293,342866	413,365988
0,38	93,4250126	119,74206	279,158121	0,67431052	293,515843	413,257903
0,36	93,4230638	119,4625	70,933662	0,67097151	293,690116	413,152616
0,34	93,4205826	119,181449	264,916296	0,67257164	293,863118	413,044567
0,32	93,4177324	118,900398	256,781999	0,674182	294,036119	412,936518
0,3	93,41444	118,619348	247,913247	0,67580319	294,209121	412,828468
0,28	93,4106111	118,338297	238,810877	0,68299176	294,382122	412,720419
0,26	93,406389	118,058923	59,9878724	0,67916613	294,556542	412,615465
0,24	93,4010896	117,777888	217,079308	0,68082534	294,729568	412,507456
0,22	93,3947472	117,496853	205,112622	0,68250012	294,902594	412,399447
0,2	93,3870522	117,215818	192,324666	0,68419285	295,07562	412,291438
0,18	93,377559	116,934783	179,108011	0,69201796	295,248646	412,183429
0,16	93,3659523	116,6556	43,6054483	0,68773148	295,423214	412,078814
0,14	93,3505222	116,37458	148,914257	0,68950615	295,596265	411,970845
0,12	93,3298766	116,093561	132,446203	0,69132808	295,769315	411,862876
0,1	93,3009496	115,812542	114,908312	0,69322045	295,942366	411,754908
0,08	93,2576841	115,531523	96,1884064	0,69522903	296,115416	411,646939
0,06	93,1861946	115,250504	76,1147835	0,69745889	296,288467	411,53897
0,04	93,0460106	114,969484	54,3908645	0,70021705	296,461517	411,431002
0,02	92,6465186	114,688465	0	0	296,634568	411,323033
	75,5082144	118,215432	0,01649479	0,08420063	296,634568	414,85
	75,4481236	117,198068	0,01832204	0,09344032	296,651932	413,85
	75,3812545	116,07898	0,01852271	0,094364	296,67102	412,75
	75,3137196	114,959904	0,02043022	0,10396941	296,690096	411,65
	75,2388249	113,739108	0,02068114	0,10511948	296,710892	410,45
	75,1631114	112,518326	0,02093876	0,10629752	296,731674	409,25
	75,0862452	111,297557	0,02120339	0,1075049	296,752443	408,05
	75,0083714	110,076801	0,02326423	0,11780119	296,773199	406,85
	74,9228208	108,754331	0,02359239	0,11929154	296,795669	405,55
	74,8360787	107,431875	0,40307846	0,13011368	296,818125	404,25
	74,741141	106,007708	0,40409571	0,13194096	296,842292	402,85
	74,6446356	104,583557	0,40514298	0,13382357	296,866443	401,45
	74,5465355	103,159421	0,41008028	0,15515176	296,890579	400,05
	74,4326003	101,531856	0,02950146	0,14791237	296,918144	398,45
	74,3236591	100,006032	0,41472687	0,17032567	296,943968	396,95
	74,1980111	98,2767842	0,41629333	0,17349518	296,973216	395,25
	74,0699809	96,5475568	0,4200034	0,18718428	297,002443	393,55
	73,9314291	94,7166316	0,4239698	0,20163738	297,033368	391,75
	73,7820545	92,7840114	0,42603345	0,20610933	297,065989	389,85
	73,6292242	90,8514141	0,43267156	0,23296791	297,098586	387,95
	73,4562648	88,7154111	0,43990141	0,26171679	297,134589	385,85
	73,2616953	86,376009	0,44305478	0,26931539	297,173991	383,55
	73,0615942	84,0366367	0,4513075	0,30147928	297,213363	381,25
	72,837798	81,493873	0,4629869	0,34898367	297,256127	378,75
	72,57876	78,6460158	0	0	297,303984	375,95

702

Figura 7.3: Datos: Inro paralelo. Diámetro 4/3 in.

1	84,7466817	128,45	7,1586988	0,53646805	288,15	416,6
0,98	84,7467644	128,168831	51,5936795	0,5376444	288,322805	416,491636
0,96	84,7468338	127,887662	60,8676717	0,538826	288,495609	416,383272
0,94	84,746889	127,606493	69,0971927	0,5400129	288,668414	416,274907
0,92	84,7469292	127,325324	76,5736347	0,54120514	288,841219	416,166543
0,9	84,7469532	127,044155	83,4315813	0,54240276	289,014023	416,058179
0,88	84,74696	126,762986	89,749048	0,5436058	289,186828	415,949815
0,86	84,7469484	126,481818	95,5770004	0,54481431	289,359633	415,84145
0,84	84,7469169	126,200649	101,02919	0,54833203	289,532437	415,733086
0,82	84,7470186	125,92018	19,4348507	0,54732187	289,705971	415,626151
0,8	84,7469442	125,639027	106,22034	0,54854714	289,879801	415,517823
0,78	84,7468452	125,357873	114,776118	0,54977807	290,05163	415,409503
0,76	84,7467196	125,07672	118,552009	0,55101471	290,224459	415,301179
0,74	84,7465652	124,795566	121,960275	0,5522571	290,397289	415,192855
0,72	84,7463795	124,514413	125,00964	0,55350531	290,570118	415,084531
0,7	84,7461599	124,233259	127,707362	0,55475939	290,742947	414,976206
0,68	84,7459033	123,952106	130,059499	0,5560194	290,915776	414,867882
0,66	84,7456064	123,670952	132,20623	0,556035167	291,088606	414,759558
0,64	84,7454199	123,390811	24,9541341	0,55863145	291,262386	414,653197
0,62	84,7450323	123,109673	135,292381	0,55990972	291,43524	414,544913
0,6	84,7445915	122,828535	136,305194	0,5611942	291,608094	414,436629
0,58	84,744092	122,547397	136,989971	0,56248496	291,780948	414,328345
0,56	84,7435273	122,266259	137,348502	0,56378209	291,953802	414,220061
0,54	84,7428904	121,985121	137,382103	0,56508568	292,126656	414,111777
0,52	84,7421729	121,703983	137,091642	0,56639583	292,29951	414,003493
0,5	84,7413649	121,422845	136,648654	0,57148314	292,472364	413,895208
0,48	84,7406288	121,142996	25,6719479	0,56911007	292,646366	413,789362
0,46	84,7396075	120,861874	134,473419	0,57044069	292,819244	413,681118
0,44	84,7384559	120,580751	132,883925	0,57177838	292,992123	413,572874
0,42	84,7371555	120,299629	130,968043	0,57312334	293,165001	413,46463
0,4	84,735684	120,018506	128,724109	0,57447576	293,33788	413,356386
0,38	84,7340144	119,737384	126,149985	0,57583587	293,510758	413,248142
0,36	84,732114	119,456261	123,243023	0,57720396	293,683637	413,139898
0,34	84,729994	119,175139	120,000007	0,57858036	293,856515	413,031654
0,32	84,727448	118,894017	116,594205	0,58455998	294,029394	412,92341
0,3	84,7247826	118,614496	21,6774628	0,58143321	294,203642	412,818138
0,28	84,7214418	118,333389	108,363781	0,58283741	294,376545	412,709934
0,26	84,7175267	118,052282	103,723319	0,58425227	294,549448	412,60173
0,24	84,7128947	117,771175	98,7185258	0,58567884	294,722351	412,493527
0,22	84,7073524	117,490068	93,3403274	0,58711855	294,895255	412,385323
0,2	84,7006294	117,208961	87,5778047	0,58857337	295,068158	412,277119
0,18	84,6923368	116,927854	81,4176589	0,59004613	295,241061	412,168915
0,16	84,6818939	116,646748	74,8434332	0,59154102	295,413964	412,060712
0,14	84,6683929	116,365641	67,8343345	0,59306457	295,586867	411,952508
0,12	84,6503313	116,084534	60,3633556	0,59462757	295,75977	411,844304
0,1	84,6250286	115,803427	52,3940935	0,59624922	295,932674	411,7361
0,08	84,5871893	115,52232	43,874889	0,59796748	296,105577	411,627897
0,06	84,5246744	115,241213	34,726692	0,59986944	296,27848	411,519693
0,04	84,4021072	114,960106	24,8130369	0,60220952	296,451383	411,411489
0,02	84,0528802	114,678999	0	0	296,624286	411,303285
67,2346201	119,225714	0,00442408	0,07324734	296,624286	415,85	
67,1781444	118,208339	0,00491387	0,08128162	296,641661	414,85	
67,1151235	117,08924	0,00541878	0,08954081	296,66076	413,75	
67,0455309	115,868418	0,00502719	0,08297425	296,681582	412,55	
66,9809045	114,749345	0,00554542	0,09142837	296,700655	411,45	
66,9095649	113,528551	0,00608175	0,10014962	296,721449	410,25	
66,831003	112,20604	0,00569057	0,09358198	296,74396	408,95	
66,7575834	110,985274	0,00624327	0,10254067	296,764726	407,75	
66,6769265	109,662793	0,00681772	0,11181775	296,787207	406,45	
66,5887956	108,2386	0,00692252	0,11335968	296,8114	405,05	
66,499227	106,814423	0,15627241	0,11494772	296,835577	403,65	
66,4081964	105,390263	0,15713926	0,12490823	296,859737	402,25	
66,3090586	103,864394	0,15754192	0,12684565	296,885606	400,75	
66,2082298	102,338544	0,15848507	0,13743394	296,911456	399,25	
66,0987072	100,710989	0,15949033	0,14852391	296,939011	397,65	
65,9803038	98,9817323	0,1605641	0,16017865	296,968268	395,95	
65,8521676	97,1507774	0,16115201	0,16339692	296,999223	394,15	
65,7215256	95,3198449	0,16233662	0,17601074	297,030155	392,35	
65,5803806	93,3872173	0,16419767	0,19884299	297,062783	390,45	
65,4209624	91,2511822	0,16501787	0,20383966	297,098818	388,35	
65,2574887	89,1151742	0,1671215	0,22900298	297,134826	386,25	
65,0736404	86,7757668	0,16878963	0,24590388	297,174233	383,95	
64,8763382	84,3346779	0,17126982	0,27472289	297,215322	381,55	
64,6561392	81,6902002	0,17402157	0,30622307	297,2598	378,95	
64,4109975	78,8423403	0	0	297,30766	376,15	

Figura 7.4. Datos: flujo paralelo. Diámetro  $\sim 2$  in.

1	111,911573	128,45	232,293429	0,78291154	288,15	416,6
0,98	110,740843	128,169255	697,884077	0,79060033	288,323337	416,492592
0,96	110,440545	127,888102	764,468876	0,79716653	288,496166	416,384268
0,94	110,230585	127,607441	823,681069	0,80067035	288,669577	416,277018
0,92	110,063893	127,326831	877,097543	0,80387972	288,843037	416,169868
0,9	109,923426	127,046271	925,772613	0,80691465	289,016548	416,062818
0,88	109,800851	126,765761	970,348532	0,80983381	289,190107	415,955868
0,86	109,6914	126,485302	1011,1952	0,81267075	289,363716	415,849018
0,84	109,592056	126,204879	1048,61411	0,81544681	289,537375	415,742253
0,82	109,500779	125,924519	422,40161	0,81461712	289,711082	415,635601
0,8	109,416528	125,643468	1111,78663	0,82075372	289,884084	415,527552
0,78	110,03257	125,363189	443,522723	0,81821559	290,057866	415,421055
0,76	110,032615	125,082961	1161,86039	0,82028105	290,231697	415,314658
0,74	110,032621	124,802784	1183,89205	0,82235556	290,405578	415,208362
0,72	110,032586	124,522658	1203,18329	0,82443933	290,579507	415,102165
0,7	110,032527	124,242556	1219,76624	0,82653234	290,753487	414,996042
0,68	110,032397	123,961918	1233,7089	0,82863879	290,927515	414,889433
0,66	110,032215	123,681943	1247,70402	0,83530122	291,101593	414,783536
0,64	110,032202	123,403039	497,423708	0,83298129	291,276673	414,679712
0,62	110,031898	123,123184	1261,92753	0,83511232	291,450874	414,574058
0,6	110,031523	122,84335	1265,44331	0,83725333	291,625123	414,468473
0,58	110,031069	122,563601	1266,40035	0,83940399	291,799422	414,363024
0,56	110,030529	122,283905	1264,77396	0,84156467	291,973777	414,257675
0,54	110,02987	122,00426	1260,59129	0,84373566	292,148167	414,152427
0,52	110,029123	121,724668	1257,06908	0,85137636	292,322613	414,04728
0,5	110,028506	121,446351	499,135719	0,84821713	292,498234	413,944585
0,48	110,027505	121,166878	1234,49264	0,85041944	292,672802	413,83968
0,46	110,026349	120,887458	1219,91646	0,85263264	292,847419	413,734877
0,44	110,025017	120,608094	1202,6984	0,85485692	293,022086	413,63018
0,42	110,023484	120,328731	1182,84247	0,85709297	293,196801	413,525532
0,4	110,021719	120,049471	1160,29826	0,85934036	293,371564	413,421036
0,38	110,019685	119,770264	1135,06087	0,86159983	293,546377	413,316641
0,36	110,017339	119,49111	1107,0732	0,86387181	293,721238	413,212348
0,34	110,014604	119,212009	1076,31973	0,86615697	293,896148	413,108157
0,32	110,011452	118,932904	1042,74506	0,86845606	294,071107	413,004011
0,3	110,007776	118,653912	1006,28877	0,87076917	294,246114	412,900027
0,28	110,003464	118,374973	966,914312	0,87309771	294,421171	412,796144
0,26	109,998369	118,096088	924,536329	0,87544297	294,596275	412,692363
0,24	109,992298	117,817192	356,276449	0,87045289	294,771429	412,58862
0,22	109,984618	117,536637	829,270145	0,88008575	294,945163	412,4818
0,2	109,975655	117,257897	777,482484	0,88249411	295,120389	412,378286
0,18	109,964568	116,979211	294,016122	0,87715448	295,295663	412,274875
0,16	109,950099	116,698695	662,64726	0,8872972	295,469446	412,168141
0,14	109,93185	116,420103	245,077683	0,88175239	295,644794	412,064896
0,12	109,90682	116,139604	533,235469	0,89228959	295,8186	411,958204
0,1	109,872314	115,86102	189,508615	0,88661104	295,994021	411,85504
0,08	109,819869	115,580535	386,968135	0,89768727	296,167852	411,748387
0,06	109,733986	115,302121	125,931912	0,89215611	296,343345	411,645466
0,04	109,564009	115,021654	218,058833	0,895719	296,5172	411,538854
0,02	109,078665	114,741187	0	0	296,691055	411,432242
90,8780741	111,258945	0,13530095	0,09996409	296,691055	407,95	
90,8144704	110,343378	0,15176009	0,11201589	296,706622	407,05	
90,7429359	109,32609	0,15338299	0,11308967	296,72391	406,05	
90,6707291	108,30881	0,15504273	0,11418572	296,74119	405,05	
90,5976642	107,291539	0,15674067	0,11530488	296,758461	404,05	
90,5237303	106,274277	0,15847795	0,11644782	296,775723	403,05	
90,4489166	105,257023	0,17627725	0,12937374	296,792977	402,05	
90,3656374	104,138053	0,19470261	0,14270759	296,811947	400,95	
90,273462	102,917369	1,91622565	0,13243366	296,832631	399,75	
90,1879746	101,798419	1,93760095	0,14612587	296,851581	398,65	
90,0932059	100,577756	1,9431118	0,14797883	296,872244	397,45	
89,9973356	99,3571043	1,96590211	0,16236792	296,892896	396,25	
89,8917735	98,034743	1,97246348	0,164664	296,915257	394,95	
89,7846869	96,7123935	1,97921012	0,16702821	296,937606	393,65	
89,6758662	95,3900556	2,00413006	0,18249593	296,959944	392,35	
89,556744	93,9660119	2,01214718	0,1854101	296,983988	390,95	
89,4355965	92,5419809	2,03905352	0,2018763	297,008019	389,55	
89,3034124	91,0162472	2,06758299	0,21914727	297,033753	388,05	
89,1599333	89,388813	2,07850591	0,2233723	297,061187	386,45	
89,0135692	87,7613941	2,12954597	0,25622819	297,088606	384,85	
88,8453971	85,9305653	0,34629997	0,24747587	297,119435	383,05	
88,6831574	84,2014659	2,17871672	0,28262645	297,148534	381,35	
88,4975456	82,2689615	2,21714343	0,30494702	297,181038	379,45	
88,2974931	80,2347667	2,28075997	0,34451242	297,215233	377,45	
88,0716191	77,9971756	2,30476664	0,35508306	297,252824	375,25	
87,8390946	75,759608	0	0	297,290392	373,05	

Figura 7. Datos tubo paralelo. Diámetro 1 in. Cobre

1	111,857062	128,45	232,406631	0,78329307	288,15	416,6
0,98	110,687466	128,169255	698,013198	0,79098158	288,323337	416,492592
0,96	110,387458	127,888102	764,610653	0,7975499	288,496166	416,384268
0,94	110,177699	127,607441	823,833948	0,80105467	288,669577	416,277018
0,92	110,014167	127,326831	877,260489	0,804265	288,843037	416,169868
0,9	109,870834	127,046271	925,944779	0,8073009	289,016548	416,062818
0,88	109,748377	126,765761	970,529184	0,81022102	289,190107	415,955868
0,86	109,63903	126,485302	1011,38367	0,81305893	289,363716	415,849018
0,84	109,539781	126,204879	1048,80979	0,81583596	289,537375	415,742253
0,82	109,448591	125,924519	422,603022	0,81500555	289,711082	415,635601
0,8	109,364421	125,643468	1111,99458	0,8114477	289,884084	415,527552
0,78	109,979874	125,363189	445,736192	0,81860763	290,057868	415,421055
0,76	109,979919	125,082961	1162,07885	0,82067408	290,231697	415,314658
0,74	109,979925	124,802784	1184,11499	0,82274963	290,405578	415,208362
0,72	109,97989	124,522658	1203,41022	0,82483435	290,579507	415,102165
0,7	109,979831	124,242556	1219,99665	0,82692837	290,753487	414,996042
0,68	109,979702	123,961918	1233,9423	0,82903582	290,927515	414,889433
0,66	109,979519	123,681943	1247,94121	0,83570145	291,101593	414,783536
0,64	109,979506	123,403039	497,662043	0,83338041	291,276673	414,679712
0,62	109,979203	123,123184	1262,1674	0,83551245	291,450874	414,574058
0,6	109,978828	122,84335	1265,68421	0,83765449	291,625123	414,468473
0,58	109,978375	122,563601	1266,64181	0,83980618	291,799422	414,363024
0,56	109,977835	122,283905	1265,01548	0,84196789	291,97377	414,257675
0,54	109,977177	122,00426	1264,01159	0,84947077	292,148167	414,152427
0,52	109,976678	121,725857	502,347929	0,84643097	292,323715	414,049572
0,5	109,975814	121,446332	1246,70996	0,84862366	292,498234	413,944566
0,48	109,974814	121,166859	1234,72993	0,85082703	292,672802	413,839662
0,46	109,973659	120,887439	1220,15131	0,85304128	292,847419	413,734858
0,44	109,972328	120,608075	1202,9303	0,85526662	293,022086	413,630161
0,42	109,970796	120,328712	1183,07089	0,85750374	293,196801	413,525513
0,4	109,969033	120,049452	1160,52267	0,8597522	293,371564	413,421017
0,38	109,967002	119,770245	1135,28074	0,86201275	293,546377	413,316622
0,36	109,964658	119,491091	1107,28798	0,8642858	293,721238	413,21233
0,34	109,961925	119,21199	1076,52887	0,86657206	293,896148	413,108139
0,32	109,958777	118,932885	1042,948	0,86887223	294,071107	413,003992
0,3	109,955104	118,653893	1006,48491	0,87118643	294,246114	412,900008
0,28	109,950796	118,374954	967,103069	0,87351608	294,421171	412,796125
0,26	109,945706	118,096069	924,717092	0,87586244	294,596275	412,692344
0,24	109,93964	117,817173	356,447151	0,87086995	294,771429	412,588601
0,22	109,931968	117,536618	829,43277	0,8805074	294,945163	412,481781
0,2	109,923014	117,257878	777,635186	0,88291688	295,120389	412,378267
0,18	109,911937	116,979192	294,156958	0,87757464	295,295663	412,274856
0,16	109,897482	116,698676	662,777795	0,88772216	295,469446	412,168122
0,14	109,87925	116,420084	245,195042	0,88217464	295,644794	412,064878
0,12	109,854244	116,139585	533,340817	0,89271678	295,8186	411,958185
0,1	109,819771	115,861001	189,599316	0,88703538	295,994021	411,855021
0,08	109,767376	115,580517	387,044796	0,89811671	296,167852	411,748368
0,06	109,681576	115,302102	125,992108	0,89258256	296,343345	411,645447
0,04	109,511761	115,021635	218,101876	0,89614649	296,5172	411,538835
0,02	109,026879	114,741168	0	0	296,691055	411,432223
	90,8421249	111,258945	0,13535449	0,10000365	296,691055	407,95
	90,7785715	110,343378	0,1518201	0,11206019	296,706622	407,05
	90,7070935	109,32609	0,1534436	0,11313436	296,72391	406,05
	90,6349438	108,30881	0,15510394	0,1142308	296,74119	405,05
	90,5619365	107,291539	0,1568025	0,11535037	296,758461	404,05
	90,4880609	106,274277	0,17439034	0,12814007	296,775723	403,05
	90,4058093	105,155298	0,16049895	0,11777965	296,794702	401,95
	90,3300924	104,138053	0,19477923	0,14276375	296,811947	400,95
	90,2379894	102,917369	1,91629678	0,13248572	296,832631	399,75
	90,1525692	101,798419	1,93767947	0,14618326	296,851581	398,65
	90,0578748	100,577756	1,94319135	0,14803689	296,872244	397,45
	89,9620797	99,3571043	1,96598944	0,16243155	296,892896	396,25
	89,8566003	98,034743	1,9725521	0,16472846	296,915257	394,95
	89,7495974	96,7123935	1,97930006	0,16709352	296,937606	393,65
	89,6408616	95,3900556	2,0042839	0,18256719	296,959944	392,35
	89,5218324	93,9660119	2,01224714	0,18548241	296,983988	390,95
	89,4007793	92,5419809	2,03916244	0,20195492	297,008019	389,55
	89,2686979	91,0162472	2,06770132	0,21923249	297,033753	388,05
	89,1253303	89,388813	2,07862662	0,22345903	297,061187	386,45
	88,9790798	87,7613941	2,12968454	0,25632751	297,088606	384,85
	88,8110378	85,9305653	0,34643395	0,24757161	297,119435	383,05
	88,6489234	84,2014659	2,17886988	0,28273559	297,148534	381,35
	88,4634548	82,2689615	2,21730886	0,30506453	297,181038	379,45
	88,2635562	80,2347667	2,2809471	0,34464488	297,215233	377,45
	88,0378556	77,9971756	2,30495978	0,35521924	297,252824	375,25
	87,805509	75,759608	0	0	297,290392	373,05

Figura 7.6. Datos: tubo paralelo Diámetro 1 in. Aluminio.

1	255,647549	128,45	101,376027	0,34167329	288,15	416,6
0,98	249,620166	128,168831	118,872802	0,35182073	288,322805	416,491636
0,96	248,098654	127,888121	600,456021	0,35366661	288,496166	416,384287
0,94	247,04299	127,606967	645,895289	0,35720907	288,668995	416,275963
0,92	246,287451	127,326341	687,646913	0,3593139	288,842431	416,168772
0,9	245,535786	127,045766	725,052265	0,35987398	289,015916	416,061682
0,88	244,89704	126,764643	758,897089	0,36299224	289,188795	415,953438
0,86	244,353421	126,484153	790,669078	0,36471052	289,362354	415,846506
0,84	243,861158	126,203712	818,957974	0,36482213	289,535963	415,739675
0,82	243,411797	125,922621	844,64535	0,3679109	289,70889	415,631511
0,8	246,04673	125,642166	867,1489	0,3672489	289,882573	415,524839
0,78	246,046042	125,361119	885,949111	0,36575774	290,055525	415,416716
0,76	246,046235	125,080899	904,983301	0,36668127	290,229282	415,310181
0,74	246,046235	124,800678	921,806867	0,36760896	290,403088	415,203766
0,72	246,046028	124,520503	936,489918	0,36854094	290,576944	415,097447
0,7	246,045595	124,24038	949,049123	0,36947726	290,750849	414,991228
0,68	246,044914	123,960307	215,514533	0,36844173	290,924803	414,88511
0,66	246,04283	123,679304	966,349674	0,37131504	291,097878	414,777182
0,64	246,04157	123,399317	972,752158	0,37226473	291,271906	414,671223
0,62	246,040085	123,119348	977,126026	0,37321897	291,445983	414,565331
0,6	246,038139	122,838921	979,505976	0,3741796	291,62011	414,459031
0,58	246,035795	122,559087	979,876453	0,37514335	291,794285	414,353372
0,56	246,03301	122,279304	978,265071	0,37611198	291,96851	414,247814
0,54	246,029735	121,999573	974,652512	0,37708558	292,142784	414,142357
0,52	246,025911	121,719894	969,059236	0,37806428	292,317107	414,037
0,5	246,021473	121,440226	219,543211	0,37654917	292,491479	413,931704
0,48	246,015062	121,159351	950,390211	0,37999022	292,66475	413,824101
0,46	246,009127	120,879813	938,819663	0,38098514	292,839195	413,719009
0,44	246,002299	120,600328	925,221505	0,38198583	293,01369	413,614017
0,42	245,99435	120,320894	909,601398	0,3829927	293,188233	413,509127
0,4	245,985328	120,041513	891,932632	0,38400571	293,362826	413,404338
0,38	245,974947	119,762128	201,399218	0,38216683	293,537467	413,299595
0,36	245,961534	119,481333	849,080782	0,38600535	293,71086	413,192193
0,34	245,947665	119,20209	825,177042	0,38703962	293,885575	413,087665
0,32	245,931577	118,922899	799,119174	0,38808203	294,060338	412,983238
0,3	245,912829	118,643761	179,362063	0,38602955	294,235151	412,878912
0,28	245,889225	118,36302	739,344691	0,39014814	294,408617	412,771637
0,26	245,863221	118,083975	165,048305	0,38799233	294,583503	412,667478
0,24	245,830493	117,80325	670,69716	0,39225963	294,756993	412,560243
0,22	245,793142	117,524223	633,37784	0,39336021	294,931952	412,456175
0,2	245,7476	117,245317	139,461731	0,3910613	295,106959	412,352276
0,18	245,689107	116,964623	550,469326	0,39557458	295,280499	412,245122
0,16	245,617614	116,685806	119,261496	0,39319956	295,455579	412,141385
0,14	245,522472	116,405129	456,169294	0,39430038	295,629143	412,034272
0,12	245,395156	116,124452	405,943755	0,39913567	295,802707	411,927159
0,1	245,219783	115,845759	83,6384162	0,39674898	295,977885	411,823644
0,08	244,953627	115,565098	293,725287	0,39814466	296,151473	411,716571
0,06	244,514271	115,284438	232,189724	0,3998311	296,325061	411,609499
0,04	243,654617	115,003777	165,880495	0,40222097	296,498649	411,502427
0,02	241,220273	114,723117	0	0	296,672238	411,395354
167,794832	113,677762	0,07959025	0,05895096	296,672238	410,35	
167,561089	112,660444	0,08045988	0,05953375	296,689556	409,35	
167,325473	111,643135	0,08134927	0,06012868	296,706865	408,35	
167,087371	110,625835	0,08225927	0,06073627	296,724165	407,35	
166,846758	109,608544	0,09150724	0,06749087	296,741456	406,35	
166,57907	108,489534	0,0926619	0,06825891	296,760466	405,25	
166,308406	107,370535	0,10237557	0,07532032	296,779465	404,15	
166,009734	106,14982	0,10382398	0,07627976	296,80018	402,95	
165,706956	104,929117	0,10531441	0,07726487	296,820883	401,75	
165,40122	103,708426	0,10684765	0,07827599	296,841574	400,55	
165,091288	102,487746	0,11745906	0,08592232	296,862254	399,35	
164,751091	101,165355	0,1193688	0,08717606	296,884645	398,05	
164,406059	99,8429767	0,13067179	0,09527067	296,907023	396,75	
164,029522	98,4188908	1,8781733	0,09681536	296,931109	395,35	
163,64742	96,9948187	1,89360368	0,10543837	296,955181	393,95	
163,23241	95,4690422	1,91002403	0,11448667	296,980958	392,45	
162,781548	93,8415637	1,9174628	0,11672445	297,008436	390,85	
162,324051	92,2141018	1,92516015	0,11904968	297,035898	389,25	
161,857969	90,5866559	1,95421591	0,13664738	297,063344	387,65	
161,324892	88,7557979	1,96406895	0,1398407	297,094202	385,85	
160,781232	86,9249588	1,99654272	0,1590875	297,125041	384,05	
160,164727	84,8907148	2,00911224	0,16342222	297,159285	382,05	
159,535201	82,8564927	2,04588949	0,18478501	297,193507	380,05	
158,82679	80,6188727	2,07416203	0,19929878	297,231127	377,85	
158,067696	78,279569	0	0	297,270431	375,55	

Forma F.7: Dados: tubo paralelo Diâmetro 1 in. Aleteado

1	255,647549	128,45	101,376027	0,34167329	288,15	416,6
0,98	249,620166	128,168831	118,872802	0,35182073	288,322805	416,491636
0,96	248,098654	127,888121	600,456021	0,35366661	288,496166	416,384287
0,94	247,04299	127,606967	645,895289	0,35720907	288,668995	416,275963
0,92	246,267451	127,326341	687,646913	0,3593139	288,842431	416,168772
0,9	245,505786	127,045766	725,052265	0,35987398	289,015916	416,061682
0,88	244,89704	126,764643	758,897089	0,36299224	289,188795	415,953438
0,86	244,353421	126,484153	790,669078	0,36471052	289,362354	415,846506
0,84	243,861158	126,203712	818,957974	0,36482213	289,535963	415,739675
0,82	243,411797	125,922621	844,64535	0,3679109	289,70889	415,631511
0,8	246,04673	125,642266	875,467532	0,36912489	289,882573	415,524839
0,78	246,046042	125,361119	885,949111	0,36575774	290,055525	415,416716
0,76	246,046235	125,080899	904,983301	0,36668127	290,229282	415,310181
0,74	246,046235	124,800678	921,806867	0,36760896	290,403088	415,203766
0,72	246,046028	124,520503	936,489918	0,36854094	290,576944	415,097447
0,7	246,045595	124,24038	949,049123	0,36947726	290,750849	414,991228
0,68	246,044914	123,960307	215,514533	0,36844173	290,924803	414,88511
0,66	246,04283	123,679304	966,349674	0,37131504	291,097878	414,777182
0,64	246,04157	123,399317	972,752158	0,37226473	291,271906	414,671223
0,62	246,040085	123,119348	977,126026	0,37321897	291,445983	414,565331
0,6	246,038139	122,838921	979,505976	0,3741796	291,62011	414,459031
0,58	246,035795	122,559087	979,876453	0,37514335	291,794285	414,353372
0,56	246,03301	122,279304	978,265071	0,37611198	291,96851	414,247814
0,54	246,029735	121,999573	974,652512	0,37708558	292,142784	414,142357
0,52	246,025911	121,719894	969,059236	0,37806428	292,317107	414,037
0,5	246,021473	121,440226	219,543211	0,37654917	292,491479	413,931704
0,48	246,015062	121,159351	950,390211	0,37999022	292,66475	413,824101
0,46	246,009127	120,879813	938,819663	0,38098514	292,839195	413,719009
0,44	246,002299	120,600328	925,221505	0,38198583	293,01369	413,614017
0,42	245,99435	120,320894	909,601398	0,3829927	293,188233	413,509127
0,4	245,985328	120,041513	891,932632	0,38400571	293,362826	413,404338
0,38	245,974947	119,762128	201,399218	0,38216683	293,537467	413,299595
0,36	245,961534	119,481333	849,080782	0,38600535	293,71086	413,192193
0,34	245,947665	119,20209	825,177042	0,38703962	293,885575	413,087665
0,32	245,931577	118,922899	799,119174	0,38808203	294,060338	412,983238
0,3	245,912829	118,643761	179,362063	0,38602955	294,235151	412,878912
0,28	245,889225	118,36302	739,344691	0,39014814	294,408617	412,771637
0,26	245,863221	118,083975	165,048305	0,38799233	294,583503	412,667478
0,24	245,830493	117,80325	670,69716	0,39225963	294,756993	412,560243
0,22	245,793142	117,524223	633,37784	0,39336021	294,931952	412,456175
0,2	245,7476	117,245317	139,461731	0,3910613	295,106959	412,352276
0,18	245,689107	116,964623	550,469326	0,39557458	295,280499	412,245122
0,16	245,617614	116,685806	119,261496	0,39319956	295,455579	412,141385
0,14	245,522472	116,405129	456,169294	0,39430038	295,629143	412,034272
0,12	245,395156	116,124452	405,943755	0,39913567	295,802707	411,927159
0,1	245,219783	115,845759	83,6384162	0,39674898	295,977885	411,823644
0,08	244,953627	115,565098	293,725287	0,39814466	296,151473	411,716571
0,06	244,514271	115,284438	232,189724	0,3998311	296,325061	411,609499
0,04	243,654617	115,003777	165,880495	0,40222097	296,498649	411,502427
0,02	241,220273	114,723117	0	0	296,672238	411,395354
167,794832	113,677762	0,07959025	0,05895096	296,672238	410,35	
167,561089	112,660444	0,08045988	0,05953375	296,689556	409,35	
167,325473	111,643135	0,08134927	0,06012868	296,706865	408,35	
167,087371	110,625835	0,08225927	0,06073627	296,724165	407,35	
166,846758	109,608544	0,09150724	0,06749087	296,741456	406,35	
166,57907	108,489534	0,0926619	0,06825891	296,760466	405,25	
166,308406	107,370535	0,10237557	0,07532032	296,779465	404,15	
166,009734	106,14982	0,10382398	0,07627976	296,80018	402,95	
165,706956	104,929117	0,10531441	0,07726487	296,820883	401,75	
165,40122	103,708426	0,10684765	0,07827599	296,841574	400,55	
165,091288	102,487746	0,11745906	0,08592232	296,862254	399,35	
164,751091	101,165355	0,1193688	0,08717606	296,884645	398,05	
164,406059	99,8429767	0,13067179	0,09527067	296,907023	396,75	
164,029522	98,4188908	1,8781733	0,09681536	296,931109	395,35	
163,6474	96,9948187	1,89360368	0,10543837	296,955181	393,95	
163,23241	95,4690422	1,91002403	0,11448667	296,980958	392,45	
162,781548	93,8415637	1,9174628	0,11672445	297,008436	390,85	
162,324051	92,2141018	1,92516015	0,11904968	297,035898	389,25	
161,857969	90,5866559	1,95421591	0,13664738	297,063344	387,65	
161,324892	88,7557979	1,96406895	0,1398407	297,094202	385,85	
160,781232	86,9249588	1,99654272	0,1590875	297,125041	384,05	
160,164727	84,8907148	2,00911224	0,16342222	297,159285	382,05	
159,535201	82,8564927	2,04588949	0,18478501	297,193507	380,05	
158,82679	80,6188727	2,07416203	0,19929878	297,231127	377,85	
158,067696	78,279569	0	0	297,270431	375,55	

Figura 1.8: Datos tipo paralelo. Diámetro 1 in. Aleteado. a/b=2.5

x	U	dT	dP	dL	T_ext	T_int	alf_ann	alf_inn	jj	dq
1	435,582422	128,45	31,5955219	0,1593036	288,15	416,6		7106,053108	1,47684845	711,235839
0,98	435,574598	128,363915	36,6733452	0,1594133	288,15	416,513915	12408,7858	7104,135202	1,44731148	711,235839
0,96	435,566449	128,277829	40,5515714	0,15952326	288,15	416,427829	9848,85981	7102,138666	1,41777451	711,235839
0,94	435,557954	128,191744	43,9530405	0,1596335	288,15	416,341744	8603,77153	7100,058565	1,38823754	711,235839
0,92	435,549091	128,105659	47,0128971	0,15974402	288,15	416,255659	7817,04521	7097,88954	1,35870057	711,235839
0,9	435,539835	128,019573	49,9822829	0,16046091	288,15	416,169573	7256,70195	7095,625764	1,3291636	713,932425
0,88	435,533606	127,934482	468,703963	0,15998625	288,15	416,084482	6827,77191	7094,102775	1,30125488	711,337214
0,86	435,523502	127,848429	489,138186	0,16009765	288,15	415,998429	6485,79784	7091,634028	1,2716809	711,337214
0,84	435,512919	127,762375	507,971295	0,16088546	288,15	415,912375	6203,44247	7089,049871	1,24210693	714,339069
0,82	435,505006	127,677458	528,913443	0,16094168	288,15	415,827458	5962,60578	7087,118903	1,21405295	711,438549
0,8	435,493378	127,591436	549,048803	0,16117704	288,15	415,741436	5757,79808	7084,283042	1,1844419	714,644143
0,78	435,484384	127,506645	62,3458916	0,16058694	288,15	415,656645	5576,8091	7082,09107	1,15627933	711,944643
0,76	435,471545	127,420655	567,858977	0,16147001	288,15	415,570655	5417,38364	7078,964304	1,12663114	714,949022
0,74	435,461292	127,335991	65,1058014	0,16083357	288,15	415,485991	5273,86531	7076,469041	1,09835965	711,641104
0,72	435,447041	127,250033	588,778066	0,16176452	288,15	415,400033	5145,18277	7073,003549	1,06867426	715,253705
0,7	435,435309	127,165494	597,617213	0,16192244	288,15	415,315494	5027,35759	7070,153089	1,04029352	715,457014
0,68	436,158183	114,667033	611,952886	0,17836857	300,564002	415,231036	4919,52852	7249,889812	1,01184054	711,843502
0,66	436,14711	114,581139	617,534532	0,1794915	300,564002	415,145142	4821,11143	7245,699099	0,98208053	715,761346
0,64	436,12816	114,496782	76,7051693	0,17867148	300,564002	415,060784	4729,32495	7242,255328	0,9535177	711,944643
0,62	436,109575	114,410918	624,836258	0,17984818	300,564002	414,974921	4644,8546	7237,53681	0,92372027	716,065484
0,6	436,093776	114,326712	77,3865574	0,17897679	300,564002	414,890714	4565,33944	7233,530376	0,89504725	712,045745
0,58	436,072639	114,240876	626,797184	0,18020759	300,564002	414,804879	4491,69205	7228,176446	0,86521235	716,369428
0,56	436,054102	114,156793	626,291323	0,18039903	300,564002	414,720795	4421,82781	7223,48731	0,83642881	716,572154
0,54	436,033989	114,072789	77,2507621	0,17945069	300,564002	414,636792	4356,05136	7218,405888	0,80757202	712,247834
0,52	436,007923	113,987018	620,353629	0,18076341	300,564002	414,551021	4294,69035	7211,830397	0,77766195	716,875749
0,5	435,984034	113,903142	76,305581	0,17976404	300,564002	414,467144	4235,92619	7205,813848	0,74869403	712,34882
0,48	435,953623	113,817403	609,192407	0,18113197	300,564002	414,381405	4180,90793	7198,168299	0,71874627	717,179151
0,46	435,924954	113,733653	74,7094084	0,18008185	300,564002	414,297655	4127,93784	7190,974553	0,68966688	712,449767
0,44	435,898901	113,647946	592,793646	0,18150565	300,564002	414,211948	4078,19881	7181,972052	0,65968136	717,482359
0,42	435,854474	113,564282	72,4562244	0,18040514	300,564002	414,128285	4030,14508	7173,346663	0,63049016	712,550676
0,4	435,811298	113,478606	571,116926	0,18188569	300,564002	414,042608	3984,85871	7162,587357	0,60046682	717,785375
0,38	436,471387	102,627993	565,34893	0,19937561	311,330847	413,95884	3940,8684	7330,441043	0,57116345	712,651546
0,36	436,419666	102,542349	551,159118	0,20108822	311,330847	413,873196	3899,3825	7317,024116	0,54110222	718,088198
0,34	436,367343	102,458898	72,7549848	0,19978037	311,330847	413,789827	3858,93002	7303,497553	0,51168636	712,752378
0,32	436,30256	102,373368	518,316281	0,20155911	311,330847	413,704215	3820,72028	7286,814573	0,48158716	718,390829
0,3	436,234916	102,290126	68,0318079	0,20019921	311,330847	413,620973	3783,33228	7269,4709	0,45205845	712,853171
0,28	436,151369	102,204547	479,829535	0,20204706	311,330847	413,535393	3747,97197	7248,155828	0,42192122	718,693268
0,26	436,061147	102,121432	62,513455	0,20063818	311,330847	413,452279	3713,26074	7225,268771	0,39227932	712,953925
0,24	435,949249	102,035885	434,985938	0,20085794	311,330847	413,366731	3680,3983	7197,069886	0,36210399	712,953925
0,22	435,817267	101,950337	410,752397	0,20281979	311,330847	413,281184	3648,66915	7164,073009	0,33192866	719,096232
0,2	435,666063	101,867398	52,6260081	0,20134937	311,330847	413,198245	3617,38535	7126,616215	0,30213505	713,054642
0,18	435,473853	101,781886	356,68205	0,20160748	311,330847	413,112733	3587,73332	7079,526228	0,27192154	713,054642
0,16	435,234422	101,696375	327,553307	0,20371258	311,330847	413,027221	3559,03022	7021,67378	0,24170804	719,498927
0,14	434,936122	101,613552	40,696831	0,20221968	311,330847	412,944399	3530,61699	6950,819835	0,21176223	713,15532
0,12	434,711351	99,050411	264,005944	0,20755981	313,808507	412,858918	3503,66466	6898,305887	0,18151048	713,15532
0,1	434,150766	98,96493	228,719644	0,20800733	313,808507	412,773437	3477,51694	6770,501588	0,15125874	713,15532
0,08	433,31898	98,879491	191,21195	0,20858678	313,808507	412,687956	3452,1327	6588,794449	0,12100699	713,15532
0,06	432,289985	94,6609857	152,287216	0,22052844	317,94149	412,602475	3427,47377	6376,186476	0,09075524	720,102633
0,04	429,68648	94,5784935	16,0574211	0,21994685	317,94149	412,519983	3402,91864	5891,149504	0,06058012	713,255959
0,02	422,367895	94,4930448	0	0	317,94149	412,434534	3379,61024	4833,326838	0,03029006	0
367,207392	95,4085105	0,52862996	0,0255406	317,94149	413,35					
366,898768	94,4085105	0,58835813	0,02839882	317,94149	412,35					
366,555429	93,3085105	0,59612867	0,02874256	317,94149	411,25					
366,207873	92,2085105	0,6041165	0,02909528	317,94149	410,15					
365,856044	91,1085105	0,61232962	0,0294573	317,94149	409,05					
365,499887	90,0085105	0,67719297	0,03253982	317,94149	407,95					
365,106094	88,7042563	0,68835618	0,03303337	318,045744	406,75					
364,706345	87,5042563	0,75730104	0,03629379	318,045744	405,55					
364,268177	86,2042563	0,71105088	0,03402717	318,045744	404,25					
363,857535	85,0042563	0,84286525	0,04027915	318,045744	403,05					
363,371038	83,6042563	0,79765246	0,03805533	318,045744	401,65					
362,912676	82,3042563	0,93696924	0,04463156	318,045744	400,35					
362,374771	80,8042563	0,89315505	0,04246524	318,045744	398,85					
361,864728	79,2758024	0,97791476	0,04641224	318,174198	397,45					
361,309523	77,7758024	1,06626278	0,05050619	318,174198	395,95					
360,705738	76,1758024	1,16035348	0,05484522	318,174198	394,35					
360,05227	74,4758024	1,19099305	0,05616171	318,174198	392,65					
359,385595	72,7758024	1,29516531	0,06092709	318,174198	390,95					
358,66446	70,9758024	1,4073478	0,06603099	318,174198	389,15					
357,887281	69,0758024	1,52877753	0,07152419	318,174198	387,25					
357,049659	66,9056798	1,74442301	0,08136122	318,34432	385,25					
356,105159	64,7056798	29,1388059	0,08429024	318,34432	383,05					
355,134707	62,5056798	29,4843172	0,09538096	318,34432	380,85					
354,046574	60,1056798	29,8726706	0,10770483	318,34432	378,45					
352,831438	57,5056798	30,3123982	0,12155758	318,34432	375,85					
351,477872	54,7056798	0	0	318,34432	373,05					

Figura 7-9 Datos: Inno cruzado, 6 circuitos, 4 pasos

x

U	dT	dP	dL	T_ext	T_int	alf_ann	alf_inn	jj	dq	
1	435,582422	128,45	31,5955219	0,1593036	288,15	416,6	7106,05311	1,47684845	711,235839	
0,98	435,574598	128,363915	36,6733452	0,1594133	288,15	416,513915	12408,7858	7104,1352	1,44731148	711,235839
0,96	435,566449	128,277829	40,5515714	0,15952326	288,15	416,427829	9848,85981	7102,13867	1,41777451	711,235839
0,94	435,557954	128,191744	43,9530405	0,15963335	288,15	416,341744	8603,77153	7100,05857	1,38823754	711,235839
0,92	435,549001	128,105659	47,0128971	0,15974402	288,15	416,255659	7817,04521	7097,88954	1,35870057	711,235839
0,9	435,539835	128,019573	49,9822829	0,16046091	288,15	416,169573	7256,70195	7095,62576	1,3291636	713,932425
0,88	435,533606	127,934482	468,703963	0,15998625	288,15	416,084482	6827,77191	7094,10278	1,30125488	711,337214
0,86	435,523502	127,848429	489,138186	0,16009765	288,15	415,998429	6485,79784	7091,63403	1,2716809	711,337214
0,84	435,512919	127,762375	507,971295	0,16088546	288,15	415,912375	6203,44247	7089,04987	1,24210693	714,339069
0,82	435,505006	127,677458	58,913443	0,16034168	288,15	415,827458	5963,60578	7087,1189	1,21405295	711,438549
0,8	435,493378	127,591436	58,913443	0,16034168	288,15	415,827458	5963,60578	7087,1189	1,21405295	711,438549
0,78	435,484384	127,506645	62,3458916	0,16058694	288,15	415,656645	5576,8091	7082,09107	1,15627933	711,539846
0,76	435,471545	127,420655	567,858977	0,16147001	288,15	415,570655	5417,38364	7078,9643	1,12663114	714,949022
0,74	436,042986	117,408888	584,615333	0,1741996	298,077102	415,485991	5273,86531	7220,67809	1,09835965	711,641104
0,72	436,028982	117,332293	594,310404	0,17521782	298,077102	415,400033	5145,18277	7217,14197	1,06867426	715,932705
0,7	436,017924	117,238392	603,241471	0,17539845	298,077102	415,315494	5027,35759	7214,35189	1,04029352	715,457014
0,68	436,006057	117,153933	73,7887975	0,17464314	298,077102	415,231036	4919,52852	7211,36015	1,01184054	711,843502
0,66	435,989508	117,068039	615,936199	0,17573986	298,077102	415,145142	4821,11143	7207,19171	0,98208053	715,761346
0,64	435,975764	116,983682	75,1007732	0,17493431	298,077102	415,060784	4729,32495	7203,73331	0,9535177	711,944643
0,62	435,957093	116,897818	623,213863	0,17608364	298,077102	414,974921	4644,8546	7199,03989	0,92372027	716,065484
0,6	435,94109	116,813612	75,7655658	0,17522782	298,077102	414,890714	4565,33944	7195,02182	0,89504725	712,045745
0,58	435,919854	116,727776	625,16449	0,17643006	298,077102	414,804879	4491,69205	7189,69639	0,86521235	716,369428
0,56	435,9011	116,643693	624,657272	0,17661481	298,077102	414,720795	4421,82781	7184,99926	0,83642881	716,572154
0,54	435,880761	116,559689	75,6291285	0,1756837	298,077102	414,636792	4356,05136	7179,91192	0,80757202	712,247834
0,52	435,854574	116,473918	618,729868	0,17696607	298,077102	414,551021	4294,69035	7173,3715	0,77766195	715,761346
0,5	436,406016	107,282329	620,021292	0,19067344	307,184815	414,467144	4235,92619	7313,4908	0,74869403	712,34882
0,48	436,375995	107,19659	613,810747	0,19213312	307,184815	414,381405	4180,90793	7305,731	0,71874627	717,179151
0,46	436,34807	107,112841	79,2503921	0,19102757	307,184815	414,297655	4127,93784	7298,52688	0,68966688	712,449767
0,44	436,312578	107,027134	597,302791	0,19254667	307,184815	414,211948	4078,19881	7289,38973	0,65968136	717,482359
0,42	436,278872	106,94347	76,8671033	0,19138756	307,184815	414,128285	4030,14508	7280,7324	0,63049016	712,550676
0,4	436,236249	106,857794	575,475896	0,19296701	307,184815	414,042608	3984,85871	7269,81203	0,60046682	717,785375
0,38	436,194177	106,774025	73,7788549	0,19175565	307,184815	413,95884	3940,8684	7259,06273	0,57116345	712,651546
0,36	436,142014	106,688381	548,277423	0,19339674	307,184815	413,873196	3899,3825	7245,77644	0,54110222	718,088198
0,34	436,088979	106,605012	69,9700668	0,19213317	307,184815	413,789827	3858,93002	7232,31471	0,51168636	712,752378
0,32	436,032642	106,5194	515,596656	0,19383779	307,184815	413,704215	3820,72028	7215,79433	0,48158716	718,390829
0,3	435,955155	106,436158	65,4237062	0,19252427	307,184815	413,620973	3783,33228	7198,553	0,45205845	712,853171
0,28	436,439826	98,0717705	482,559509	0,21042222	315,463623	413,535393	3747,97197	7322,2483	0,42192122	718,693268
0,26	436,350683	97,9886564	65,1067971	0,20896157	315,463623	413,452279	3713,26074	7299,20044	0,39227932	712,953925
0,24	436,239771	97,9031088	437,452197	0,20919733	315,463623	413,366731	3680,3983	7270,71302	0,36210399	712,953925
0,22	436,108951	97,8175612	413,102791	0,21124751	315,463623	413,281184	3648,66915	7237,3785	0,33192866	719,096232
0,2	435,959365	97,734622	54,8144327	0,20972238	315,463623	413,198245	3617,38535	7199,61074	0,30213505	713,054642
0,18	435,768847	97,6491102	358,715661	0,2099978	315,463623	413,112733	3587,73332	7152,03843	0,27192154	713,054642
0,16	435,531522	97,5635985	329,43908	0,21219696	315,463623	413,027221	3559,03022	7093,59343	0,24170804	719,498927
0,14	435,236135	97,4807762	42,3929639	0,21064765	315,463623	412,944399	3530,61699	7022,08442	0,21176223	713,15532
0,12	434,834096	97,3952953	264,625532	0,21102746	315,463623	412,858918	3503,66466	6926,8911	0,18151048	713,15532
0,1	434,275506	97,3098144	229,257732	0,21148451	315,463623	412,773437	3477,51694	6798,5572	0,15125874	713,15532
0,08	433,511014	96,3984466	191,893938	0,2138604	316,28951	412,687956	3452,1327	6629,93464	0,12100699	713,15532
0,06	432,565918	91,3495404	153,08909	0,22837688	321,252935	412,602475	3427,47377	6431,93855	0,09075524	720,102633
0,04	429,981868	91,2670482	16,6286017	0,2277706	321,252935	412,519983	3402,91864	5942,71498	0,06058012	713,255959
0,02	422,71582	91,1815995	0	0	321,252935	412,434534	3379,61024	4875,63315	0,03029006	0
367,207392	92,0970652	0,5476374	0,02645894	321,252935	413,35					
366,898768	91,0970652	0,60974538	0,02943113	321,252935	412,35					
366,555429	89,9970652	0,61806324	0,02980014	321,252935	411,25					
366,207873	88,8970652	0,62662004	0,03017909	321,252935	410,15					
365,856044	87,7970652	0,63542488	0,03056834	321,252935	409,05					
365,499887	86,6146818	0,70372747	0,03381483	321,335318	407,95					
365,106094	85,4146818	0,71486683	0,03430559	321,335318	406,75					
364,706345	84,2146818	0,78688256	0,03771149	321,335318	405,55					
364,268177	82,9146818	0,73926126	0,03537717	321,335318	404,25					
363,857535	81,7146818	0,87679633	0,04190066	321,335318	403,05					
363,371038	80,3146818	0,83032316	0,03961403	321,335318	401,65					
362,912676	78,916132	0,97719635	0,04654774	321,433868	400,35					
362,374771	77,416132	0,93224406	0,04432373	321,433868	398,85					
361,864728	76,016132	1,08781613	0,05162821	321,433868	397,45					
361,271895	74,416132	1,04497705	0,04949138	321,433868	395,85					
360,705738	72,916132	1,21222636	0,05729704	321,433868	394,35					
360,05227	71,216132	1,24550661	0,05873232	321,433868	392,65					
359,385595	69,3988024	1,35818907	0,06389185	321,551198	390,95					
358,66446	67,5988024	1,47765398	0,06932967	321,551198	389,15					
357,887281	65,6988024	1,68769759	0,0789593	321,551198	387,25					
357,007089	63,5988024	1,75216595	0,08170952	321,551198	385,15					
356,105159	61,4988024	29,2333758	0,08868558	321,551198	383,05					
355,134707	59,2988024	29,5957045	0,10053916	321,551198	380,85					
354,046574	56,7438113	30,0110321	0,11408596	321,706189	378,45					
352,831438	54,1438113	0	0	321,706189	375,85					
351,477872	51,3424361	0	0	321,707564	373,05					

Figura 7.10: Dados de cruçada de 6 passos - 1 passo

x

U	dT	dP	dL	T_ext	T_int	alf_ann	alf_inn	jj	dq
1	435,582422	128,45	31,5955219	0,1593036	288,15	416,6	7106,05311	1,47684845	711,235839
0,98	435,574598	128,363915	36,6733452	0,1594133	288,15	416,513915	12408,7858	7104,1352	1,44731148
0,96	435,566449	128,277829	40,5515714	0,15952326	288,15	416,427829	9848,85981	7102,13867	1,41777451
0,94	435,557954	128,191744	43,9530405	0,1596335	288,15	416,341744	8603,77153	7100,05857	1,38823754
0,92	435,549091	128,105659	47,0128971	0,15974402	288,15	416,255659	7817,04521	7097,88954	1,35870057
0,9	435,539835	128,019573	49,9822829	0,16046091	288,15	416,169573	7256,70195	7095,62576	1,32916636
0,88	435,533606	127,934482	468,703963	0,15998625	288,15	416,084482	6827,77191	7094,10278	1,30125488
0,86	435,523502	127,848429	489,138186	0,16009765	288,15	415,998429	6485,79784	7091,63403	1,2716809
0,84	435,512919	127,762375	507,971295	0,16088546	288,15	415,912375	6203,44247	7089,04987	1,24210693
0,82	435,505006	127,677458	528,913443	0,16034168	288,15	415,827458	5963,60578	7087,1189	1,21405295
0,8	435,493378	127,591436	541,048803	0,16117704	288,15	415,741436	5757,79808	7084,28304	1,1844419
0,78	435,96534	119,242047	559,655272	0,17152769	296,414598	415,656645	5576,8091	7201,11231	1,15627933
0,76	435,952686	119,156057	572,226169	0,17247891	296,414598	415,570655	5417,38364	7197,93299	1,12663114
0,74	435,942966	119,071392	583,989882	0,17265452	296,414598	415,485991	5273,86531	7195,49264	1,09835965
0,72	435,932356	118,986807	70,8315216	0,17195748	296,414598	415,401405	5144,31458	7192,88194	1,07001619
0,7	435,917743	118,900881	602,234523	0,17298575	296,414598	415,315479	5027,35759	7189,16738	1,04029352
0,68	435,905756	118,816422	72,77308	0,17223915	296,414598	415,231021	4919,52852	7186,16492	1,01184054
0,66	435,889156	118,730528	614,90483	0,173319	296,414598	415,145127	4821,11143	7182,01104	0,98208053
0,64	435,875286	118,64617	74,0655191	0,17252287	296,414598	415,060769	4729,32495	7178,54355	0,95351177
0,62	435,856558	118,560307	622,167022	0,17365458	296,414598	414,974905	4644,8546	7173,86654	0,92372027
0,6	435,840421	118,4761	74,7196574	0,17280888	296,414598	414,890699	4565,33944	7169,84133	0,89504725
0,58	436,33236	110,107879	629,672673	0,18686056	304,696985	414,804864	4491,69205	7294,4798	0,86521235
0,56	436,314198	110,023795	629,169327	0,18706407	304,696985	414,72078	4421,82781	7289,80653	0,83642881
0,54	436,294474	109,939792	80,1070162	0,18608567	304,696985	414,636777	4356,05136	7284,7374	0,80757202
0,52	436,268615	109,854021	623,213758	0,18745213	304,696985	414,551005	4294,69035	7278,10149	0,77766195
0,5	436,245145	109,770444	79,1311999	0,18642076	304,696985	414,467129	4235,92619	7272,0886	0,74869403
0,48	436,214975	109,684405	612,010385	0,18784456	304,696985	414,38139	4180,90793	7264,37273	0,71874627
0,46	436,186764	109,600655	77,4801374	0,1867605	304,696985	414,29764	4127,93784	7257,17175	0,68966688
0,44	436,151096	109,514949	595,544899	0,18824232	304,696985	414,211933	4078,19881	7248,08638	0,65968136
0,42	436,117075	109,431285	75,1474728	0,18710594	304,696985	414,12827	4030,14508	7239,44048	0,63049016
0,4	436,074241	109,345608	573,776455	0,18864671	304,696985	414,042593	3984,85871	7228,58204	0,60046682
0,38	436,527395	101,805656	565,95864	0,20096028	312,153169	413,958825	3940,8684	7345,02186	0,57116345
0,36	436,475763	101,720012	551,758429	0,20268783	312,153169	413,873181	3899,3825	7331,57825	0,54110222
0,34	436,423584	101,636643	73,3341902	0,20137083	312,153169	413,789812	3858,93002	7318,03885	0,51168636
0,32	436,358913	101,551031	518,881929	0,20316505	312,153169	413,7042	3820,72028	7301,32265	0,48158716
0,3	436,291441	101,467789	68,5742806	0,20179556	312,153169	413,620958	3783,33228	7283,95848	0,45205845
0,28	436,208038	101,382209	480,355112	0,20365945	312,153169	413,535378	3747,97197	7262,60093	0,42192122
0,26	436,118028	101,299095	63,0127143	0,20224056	312,153169	413,452264	3713,26074	7239,68223	0,39227932
0,24	436,006323	101,213548	435,460718	0,20246336	312,153169	413,366716	3680,3983	7211,42709	0,36210399
0,22	435,874569	101,128	411,20486	0,20444217	312,153169	413,281169	3648,66915	7178,36439	0,33192866
0,2	436,201379	94,422807	388,641161	0,2169578	318,775422	413,19823	3617,38535	7260,90063	0,30213505
0,18	436,012259	94,3372959	360,473093	0,21724866	318,775422	413,112718	3587,73332	7212,92335	0,27192154
0,16	435,776672	94,2517842	331,068852	0,21952956	318,775422	413,027206	3559,03022	7153,98081	0,24170804
0,14	435,4837	94,168962	43,8589285	0,21793192	318,775422	412,944384	3530,61699	7081,92458	0,21176223
0,12	435,084602	94,083481	265,930331	0,21833002	318,775422	412,858903	3503,66466	6985,92004	0,18151048
0,1	434,530088	93,9980001	230,390945	0,21880743	318,775422	412,773422	3477,51694	6856,49253	0,15125874
0,08	433,70728	93,9125192	192,613179	0,21942208	318,775422	412,687941	3452,1327	6672,47756	0,12100699
0,06	432,358766	93,8270382	152,483861	0,22245314	318,775422	412,60246	3427,47377	6389,99957	0,09075524
0,04	429,981064	91,2759297	109,344529	0,22774887	321,244038	412,519968	3402,91864	5942,5734	0,06058012
0,02	422,714872	91,190481	0	0	321,244038	412,434519	3379,61024	4875,51699	0,03029006
367,207392	92,1059619	0,60232534	0,02910118	321,244038	413,35				
366,867914	91,0059619	0,55495396	0,02678384	321,244038	412,25				
366,555429	90,0059619	0,61800215	0,0297972	321,244038	411,25				
366,207873	88,9059619	0,62655733	0,03017607	321,244038	410,15				
365,856044	87,7427426	0,69360142	0,03336703	321,307257	409,05				
365,466964	86,5427426	0,64572997	0,03102468	321,307257	407,85				
365,106094	85,4427426	0,71463206	0,03429432	321,307257	406,75				
364,706345	84,2427426	0,78662045	0,03769893	321,307257	405,55				
364,268177	82,9427426	0,80057609	0,03831138	321,307257	404,25				
363,82311	81,570084	0,81576462	0,03897949	321,379916	402,95				
363,371038	80,270084	0,89467052	0,04268398	321,379916	401,65				
362,877379	78,870084	0,91276281	0,04347317	321,379916	400,25				
362,374771	77,470084	0,99811576	0,04745562	321,379916	398,85				
361,828456	75,970084	1,02065824	0,04843461	321,379916	397,35				
361,271895	74,3880385	1,11504048	0,05280967	321,461962	395,85				
360,66754	72,7880385	1,14318048	0,05402618	321,461962	394,25				
360,05227	71,1880385	1,24599814	0,0587555	321,461962	392,65				
359,385595	69,4880385	1,43177657	0,06735355	321,461962	390,95				
358,624314	67,5880385	1,47822047	0,06934599	321,461962	389,05				
357,845529	65,5912053	1,61037298	0,07533017	321,558795	387,15				
357,007089	63,5912053	1,75237528	0,08171928	321,558795	385,15				
356,105159	61,4912053	2,2336116	0,08869654	321,558795	383,05				
355,134707	59,2912053	2,95959826	0,10055204	321,558795	380,85				
354,046574	56,8912053	3,0046232	0,11379039	321,558795	378,45				
352,831438	54,1728767	0	0	321,677123	375,85				

Figura 7-11. Datos: Injeto cruzado, 6 círculos, 6 pasos

x	U	dT	dP	dL	T_ext	T_int	alf_ann	alf_inn	jj	dq
1	435,582422	128,45	31,5955219	0,1593036	288,15	416,6		7106,05311	1,47684845	711,235839
0,98	435,574598	128,363915	36,6733452	0,1594133	288,15	416,513915	12408,7858	7104,1352	1,44731148	711,235839
0,96	435,566449	128,277829	40,5515714	0,15952326	288,15	416,427829	9848,85981	7102,13867	1,41777451	711,235839
0,94	435,559054	128,191744	43,9530405	0,1596335	288,15	416,341744	8603,77153	7100,05857	1,38823754	711,235839
0,92	435,549051	128,105659	47,0128971	0,15974402	288,15	416,255659	7817,04521	7097,88954	1,35870057	711,235839
0,9	435,539835	128,019573	49,9822829	0,16046091	288,15	416,169573	7256,70195	7095,62576	1,32916636	713,932425
0,88	435,533606	127,934482	468,703963	0,15998625	288,15	416,084482	6827,77191	7094,10278	1,30125488	711,337214
0,86	435,523502	127,848429	489,138186	0,16009765	288,15	415,998429	6485,79784	7091,63403	1,2716809	711,337214
0,84	435,512919	127,762375	507,971295	0,16088546	288,15	415,912375	6203,44247	7089,04987	1,24210693	714,339069
0,82	435,936087	120,239693	529,12481	0,1700917	295,587764	415,827458	5963,60578	7193,76642	1,21405295	711,438549
0,8	435,924608	120,153672	544,756622	0,17098492	295,587764	415,741436	5757,79808	7190,88789	1,1844419	714,644143
0,78	435,916075	120,068881	66,1423924	0,17036575	295,587764	415,656645	5576,8091	7188,74927	1,15627933	711,539846
0,76	435,903401	119,982891	571,762339	0,17130968	295,587764	415,570655	5417,38364	7185,57542	1,12663114	714,949022
0,74	435,893626	119,898226	583,515762	0,17148328	295,587764	415,485991	5273,86531	7183,12898	1,09835965	715,152486
0,72	435,883164	119,813641	70,3506849	0,17079016	295,587764	415,401405	5144,31458	7180,51249	1,07001619	711,742322
0,7	435,868324	119,727715	601,744069	0,1718106	295,587764	415,315479	5027,35759	7176,80431	1,04029352	715,457014
0,68	435,856278	119,643256	72,2783618	0,17106825	295,587764	415,231021	4919,52852	7173,79672	1,01184054	711,843502
0,66	435,839653	119,557362	614,402497	0,17213992	295,587764	415,145127	4821,11143	7169,64999	0,98208053	715,761346
0,64	436,230167	112,855244	623,024392	0,18122799	302,205545	415,060769	4729,32495	7268,25624	0,95351177	711,944643
0,62	436,21164	112,769361	625,946133	0,1824235	302,205545	414,974905	4644,8546	7263,52078	0,92372027	716,065484
0,6	436,19598	112,685154	78,4955012	0,18154151	302,205545	414,890699	4565,33944	7259,5227	0,89504725	712,045745
0,58	436,174908	112,599319	627,914164	0,18279193	302,205545	414,804864	4491,69205	7254,14954	0,86521235	716,369428
0,56	436,156519	112,515235	627,409261	0,18298801	302,205545	414,72078	4421,82781	7249,46663	0,83642881	716,572154
0,54	436,136558	112,431232	78,3602328	0,18202795	302,205545	414,636777	4356,05136	7244,38937	0,80757202	712,247834
0,52	436,110573	112,345461	621,464585	0,1833615	302,205545	414,551005	4294,69035	7237,79021	0,77766195	716,875749
0,5	436,086848	112,261584	77,4031146	0,18234966	302,205545	414,467129	4235,92619	7231,77478	0,74869403	712,34882
0,48	436,484127	105,550572	615,048289	0,19508102	308,830817	414,38139	4180,90793	7333,75289	0,71874627	717,179151
0,46	436,456395	105,466823	80,4672745	0,19396079	308,830817	414,29764	4127,93784	7326,54726	0,68966688	712,449767
0,44	436,421021	105,381116	598,511213	0,19550559	308,830817	414,211933	4078,19881	7317,37503	0,65968136	717,482359
0,42	436,387529	105,297452	78,0492574	0,19433095	308,830817	414,12827	4030,14508	7308,71056	0,63049016	712,550676
0,4	436,345048	105,211776	576,644207	0,19593707	308,830817	414,042593	3984,85871	7297,74822	0,60046682	717,785375
0,38	436,303218	105,128007	74,9153031	0,19470934	308,830817	413,958825	3940,8684	7286,98369	0,57116345	712,651546
0,36	436,251229	105,042363	549,394422	0,1963781	308,830817	413,873181	3899,3825	7273,64631	0,54110222	718,088198
0,34	436,198473	104,958994	71,0495323	0,19509731	308,830817	413,789812	3858,93002	7260,15882	0,51168636	712,752378
0,32	436,530836	99,073751	520,642339	0,20816306	314,630449	413,7042	3820,72028	7345,9196	0,48158716	718,390829
0,3	436,46389	98,9905094	70,2626092	0,20676385	314,630449	413,620958	3783,33228	7328,49329	0,45205845	712,853171
0,28	436,380928	98,9049295	481,990902	0,20867782	314,630449	413,535378	3747,97197	7307,00516	0,42192122	718,693268
0,26	436,291564	98,8218154	64,5666345	0,2072279	314,630449	413,452264	3713,26074	7283,99008	0,39227932	712,953925
0,24	436,18045	98,7362678	436,93849	0,20746029	314,630449	413,366716	3680,3983	7255,56201	0,36210399	712,953925
0,22	436,049393	98,6507202	412,613205	0,20949202	314,630449	413,281169	3648,66915	7222,29696	0,33192866	719,096232
0,2	435,899476	98,567781	54,3585729	0,20797824	314,630449	413,19823	3617,38535	7184,59287	0,30213505	713,054642
0,18	436,136106	92,6857863	361,396115	0,22105688	320,426931	413,112718	3587,73332	7244,27453	0,27192154	713,054642
0,16	435,901405	92,6002746	331,924865	0,22338089	320,426931	413,027206	3559,03022	7185,07579	0,24170804	719,498927
0,14	435,609666	92,5174523	44,6289359	0,22175803	320,426931	412,944384	3530,61699	7112,7388	0,21176223	713,15532
0,12	435,212064	92,4319714	266,615715	0,2221659	320,426931	412,858903	3503,66466	7016,31655	0,18151048	713,15532
0,1	434,659627	92,3464905	230,986223	0,22265417	320,426931	412,773422	3477,51694	6886,32588	0,15125874	713,15532
0,08	433,839888	92,2610095	193,11229	0,22328156	320,426931	412,687941	3452,1327	6701,51024	0,12100699	713,15532
0,06	432,496378	92,1755286	152,883718	0,22636678	320,426931	412,60246	3427,47377	6417,80316	0,09075524	720,102633
0,04	430,132042	89,6182161	109,646143	0,23188023	322,901752	412,519968	3402,91864	5969,25056	0,06058012	713,255959
0,02	422,892738	89,5327674	0	0	322,901752	412,434519	3379,61024	4897,40397	0,03029006	0
367,207392	90,4482483	0,5576205	0,02694127	322,901752	413,35					
366,898768	89,4482483	0,62098493	0,02997364	322,901752	412,35					
366,555429	88,3482483	0,62959797	0,03035629	322,901752	411,25					
366,207873	87,2028527	0,63879427	0,03076542	322,947147	410,15					
365,856044	86,1028527	0,64792788	0,03116982	322,947147	409,05					
365,499887	85,0028527	0,71707159	0,03445603	322,947147	407,95					
365,106094	83,8028527	0,72861628	0,03496541	322,947147	406,75					
364,706345	82,5520488	0,80273071	0,03847102	322,997951	405,55					
364,268177	81,2520488	0,81723449	0,03910857	322,997951	404,25					
363,82311	79,9520488	0,83227371	0,03976834	322,997951	402,95					
363,371038	78,6520488	0,91307574	0,04356208	322,997951	401,65					
362,877379	77,1972293	0,93254227	0,04441523	323,052771	400,25					
362,374771	75,7972293	0,95215524	0,04527042	323,052771	398,85					
361,864728	74,3972293	1,11148728	0,05275165	323,052771	397,45					
361,271895	72,7972293	1,13940702	0,0539637	323,052771	395,85					
360,66754	71,1370423	1,16971218	0,05528005	323,112958	394,25					
360,05227	69,5370423	1,27558148	0,06015051	323,112958	392,65					
359,385595	67,8370423	1,38945762	0,06536278	323,112958	390,95					
358,66446	66,0370423	1,51260014	0,0709693	323,112958	389,15					
357,887281	64,1303317	1,72897454	0,08089045	323,119668	387,25					
357,007089	62,0303317	1,79647042	0,08377559	323,119668	385,15					
356,105159	59,9303317	29,2833151	0,09100663	323,119668	383,05					
355,134707	57,7303317	29,6546899	0,1032707	323,119668	380,85					
354,046574	55,2580163	30,0775462	0,11715354	323,191984	378,45					
352,831438	52,6580163	0	0	323,191984	375,85					

Figura 7.12 Datos tipo cruzado 6 circuitos - 7 pasos

x	U	dT	dP	dL	T_ext	T_int	alf_ann	alf_inn	jj	dq
1	435,582422	128,45	31,5955219	0,1593036	288,15	416,6		7106,05311	1,47684845	711,235839
0,98	435,574598	128,363915	36,6733452	0,1594133	288,15	416,513915	12408,7858	7104,1352	1,44731148	711,235839
0,96	435,566449	128,277829	40,5515714	0,15952326	288,15	416,427829	9848,85981	7102,13867	1,41777451	711,235839
0,94	435,557954	128,191744	43,9530405	0,1596335	288,15	416,341744	8603,77153	7100,05857	1,38823754	711,235839
0,92	435,549051	128,105659	47,0128971	0,15974402	288,15	416,255659	7817,04521	7097,88954	1,35870057	711,235839
0,9	435,539835	128,019573	49,9822829	0,16046091	288,15	416,169573	7256,70195	7095,62576	1,32916636	713,932425
0,88	435,533606	127,934482	468,703963	0,15998625	288,15	416,084482	6827,77191	7094,10278	1,30125488	711,337214
0,86	435,523502	127,848429	489,138186	0,16009765	288,15	415,998429	6485,79784	7091,63403	1,2716809	711,337214
0,84	435,894721	121,150626	511,035574	0,16951711	294,76175	415,912375	6203,44247	7183,40307	1,24210693	714,339069
0,82	435,887203	121,065708	62,0763992	0,16895013	294,76175	415,827458	5963,60578	7181,52243	1,21405295	711,438549
0,8	435,875707	120,979686	54,322482	0,16983654	294,76175	415,741436	5757,79808	7178,6488	1,1844419	714,644143
0,78	435,867121	120,894895	65,6978522	0,16922073	294,76175	415,656645	5576,8091	7176,50373	1,15627933	711,539846
0,76	435,854429	120,808906	571,305269	0,17015749	294,76175	415,570655	5417,38364	7173,33528	1,12663114	714,949022
0,74	435,844598	120,724241	583,048556	0,17032912	294,76175	415,485991	5273,86531	7170,88292	1,09835965	715,152486
0,72	435,83408	120,639655	69,8768653	0,16963987	294,76175	415,401405	5144,31458	7168,26076	1,07001619	711,742322
0,7	435,819219	120,55373	601,260777	0,17065261	294,76175	415,315479	5027,35759	7164,55891	1,04029352	715,457014
0,68	436,157493	114,678202	611,945665	0,17835148	300,552818	415,231021	4919,52852	7249,71422	1,01184054	711,843502
0,66	436,14102	114,592308	617,5272	0,17947429	300,552818	415,145127	4821,11143	7245,52361	0,98208053	715,761346
0,64	436,127469	114,50795	76,6978092	0,17865433	300,552818	415,060769	4729,32495	7242,07977	0,95351177	711,944643
0,62	436,108883	114,422087	624,828815	0,17983091	300,552818	414,974905	4644,8546	7237,36137	0,92372027	716,065484
0,6	436,093084	114,33788	77,379121	0,17895959	300,552818	414,890699	4565,33944	7233,35488	0,89504725	712,045745
0,58	436,071946	114,252045	626,789694	0,18019026	300,552818	414,804864	4491,69205	7228,00108	0,86521235	716,369428
0,56	436,053408	114,167962	626,283827	0,18038167	300,552818	414,72078	4421,82781	7223,31191	0,83642881	716,572154
0,54	436,400431	108,292273	628,021444	0,18887084	306,344503	414,636777	4356,05136	7312,04601	0,80757202	712,247834
0,52	436,374656	108,206502	624,414405	0,19025997	306,344503	414,551005	4294,69035	7305,38522	0,77766195	716,875749
0,5	436,351359	108,122625	80,3174065	0,18921528	306,344503	414,467129	4235,92619	7299,37463	0,74869403	712,34882
0,48	436,321287	108,036886	613,193432	0,19066264	306,344503	414,38139	4180,90793	7291,62981	0,71874627	717,179151
0,46	436,293264	107,953137	78,6433929	0,18956445	306,344503	414,29764	4127,93784	7284,42664	0,68966688	712,449767
0,44	436,257712	107,86743	596,700024	0,19107074	306,344503	414,211933	4078,19881	7275,30714	0,65968136	717,482359
0,42	436,2239	107,783766	76,2774487	0,18991941	306,344503	414,12827	4030,14508	7266,65359	0,63049016	712,550676
0,4	436,568363	101,894731	579,112546	0,20221205	312,147862	414,042593	3984,85871	7355,72183	0,60046682	717,785375
0,38	436,527032	101,810963	77,316414	0,20094997	312,147862	413,958825	3940,8684	7344,9273	0,57116345	712,651546
0,36	436,4754	101,725319	551,754531	0,20267742	312,147862	413,873181	3899,3825	7331,48386	0,54110222	718,088198
0,34	436,42322	101,64195	73,3304226	0,20136049	312,147862	413,789812	3858,93002	7317,94454	0,51168636	712,752378
0,32	436,358548	101,556338	518,878249	0,20315461	312,147862	413,7042	3820,72028	7301,22856	0,48158716	718,390829
0,3	436,291075	101,473096	68,5707519	0,20178518	312,147862	413,620958	3783,33228	7283,86452	0,45205845	712,853171
0,28	436,207672	101,387516	480,351693	0,20364896	312,147862	413,535378	3747,97197	7262,50725	0,42192122	718,693268
0,26	436,469136	96,3355544	461,903849	0,21248963	317,11671	413,452264	3713,26074	7329,85615	0,39227932	712,953925
0,24	436,358628	96,2500067	438,49763	0,21273235	317,11671	413,366716	3680,3983	7301,24908	0,36210399	712,953925
0,22	436,228284	96,1644591	414,099159	0,21482015	317,11671	413,281169	3648,66915	7267,77457	0,33192866	719,096232
0,2	436,079364	96,0815199	55,742183	0,21327199	317,11671	413,19823	3617,38535	7229,87894	0,30213505	713,054642
0,18	435,889539	95,9960082	359,577823	0,21355493	317,11671	413,112718	3587,73332	7182,10663	0,27192154	713,054642
0,16	435,653075	95,9104964	330,238602	0,21579414	317,11671	413,027206	3559,03022	7123,41592	0,24170804	719,498927
0,14	435,737508	90,8641913	301,015874	0,22572664	322,080192	412,944384	3530,61699	7144,26908	0,21176223	713,15532
0,12	435,341427	90,7787104	267,326646	0,22614476	322,080192	412,858903	3503,66466	7047,41939	0,18151048	713,15532
0,1	434,791098	90,6932294	231,603708	0,22664442	322,080192	412,773422	3477,51694	6916,85247	0,15125874	713,15532
0,08	433,974477	90,6077485	193,912219	0,22946718	322,080192	412,687941	3452,1327	6731,21756	0,12100699	720,001994
0,06	432,650665	90,525209	23,3488964	0,22822063	322,080192	412,605401	3426,88364	6449,2434	0,09087018	713,255959
0,04	430,056951	90,4397603	109,495294	0,22981398	322,080192	412,519953	3402,91864	5955,95474	0,06058012	713,255959
0,02	422,891966	89,5398979	0	0	322,894606	412,434504	3379,61024	4897,30856	0,03029006	0
	367,176813	90,3553938	0,55826089	0,02696962	322,894606	413,25		1,30102262		
	366,867914	89,3553938	0,62170778	0,03000559	322,894606	412,25				
	366,524268	88,2553938	0,57305399	0,02762724	322,894606	411,15				
	366,207873	87,2100008	0,69679033	0,03355861	322,939999	410,15				
	365,823445	86,0100008	0,6487183	0,03120458	322,939999	408,95				
	365,466964	84,9100008	0,7179596	0,03449501	322,939999	407,85				
	365,072813	83,7100008	0,72953353	0,0350056	322,939999	406,65				
	364,673515	82,4605712	0,74193543	0,03555341	322,989429	405,45				
	364,268177	81,2605712	0,81714878	0,03910446	322,989429	404,25				
	363,82311	79,9605712	0,832185	0,0397641	322,989429	402,95				
	363,371038	78,6605712	0,91297681	0,04355736	322,989429	401,65				
	362,877379	77,2057517	0,93243933	0,04441033	323,044248	400,25				
	362,374771	75,8057517	1,02002961	0,04849752	323,044248	398,85				
	361,828456	74,3057517	1,04351939	0,04951947	323,044248	397,35				
	361,271895	72,8057517	1,13927364	0,05395738	323,044248	395,85				
	360,66754	71,1455647	1,16957207	0,05527343	323,104435	394,25				
	360,05227	69,5455647	1,35042445	0,06367976	323,104435	392,65				
	359,345293	67,7455647	1,3916383	0,06545596	323,104435	390,85				
	358,624314	65,9455647	1,51503778	0,07107316	323,104435	389,05				
	357,845529	64,0374902	1,64944479	0,07715788	323,11251	387,15				
	357,007089	62,0374902	1,79626313	0,08376592	323,11251	385,15				
	356,105159	59,9374902	29,2830813	0,09099576	323,11251	383,05				
	355,134707	57,7374902	29,6544134	0,10325789	323,11251	380,85				
	354,046574	55,2679026	30,0770918	0,11713259	323,182097	378,45				
	352,831438	52,6679026	0	0	323,182097	375,85				
	351,477872	323,063689	0	0	49,9863107	373,05				

Figura 7-13 Datos Muo cruzado 6 circuitos 8 pasos

x	U	dT	dP	dL	T_ext	T_int	alf_ann	alf_inn	jj	dq
1	435,582422	128,45	14,3233303	0,1194777	288,15	416,6		7106,05311	1,10763634	533,426879
0,98	435,574598	128,385436	17,0536852	0,11953993	288,15	416,535436	13657,636	7104,1352	1,08548361	533,426879
0,96	435,566449	128,320872	19,1543205	0,11960231	288,15	416,470872	10840,0729	7102,13867	1,06333088	533,426879
0,94	435,559954	128,256308	21,003735	0,11966486	288,15	416,406308	9469,67589	7100,05857	1,04117816	533,426879
0,92	435,549091	128,191744	22,6727414	0,11972756	288,15	416,341744	8603,77153	7097,88954	1,01902543	533,426879
0,9	435,539835	128,12718	24,1940341	0,11979044	288,15	416,27718	7987,03397	7095,62576	0,9968727	533,426879
0,88	435,530161	128,062616	25,5865587	0,11985349	288,15	416,212616	7516,08673	7093,26089	0,97471998	533,426879
0,86	435,520038	127,998052	26,8626878	0,11991674	288,15	416,148052	7139,6379	7090,78799	0,95256725	533,426879
0,84	435,509434	127,933488	324,861162	0,12048637	288,15	416,083488	6828,81799	7088,19949	0,93041452	535,677412
0,82	435,501821	127,869776	29,1532767	0,12005917	288,15	416,019776	6564,90073	7086,34202	0,90939972	533,50291
0,8	435,490171	127,805235	348,622081	0,12012301	288,15	415,955235	6338,34197	7083,50136	0,88721924	533,50291
0,78	435,477926	127,740695	358,766536	0,12074564	288,15	415,890695	6140,13762	7080,5179	0,86503875	535,982307
0,76	435,468293	127,677113	31,8512007	0,12026672	288,15	415,827113	5963,60578	7078,17257	0,84391485	533,578912
0,74	435,454737	127,612597	376,144109	0,12033127	288,15	415,762597	5806,5953	7074,87472	0,82170657	533,578912
0,72	435,440432	127,548081	383,272991	0,12100714	288,15	415,698081	5664,91412	7071,39755	0,79949828	536,26997
0,7	435,428647	127,484628	33,7679462	0,12047643	288,15	415,634628	5535,18957	7068,53531	0,77826493	533,654884
0,68	436,145085	115,029599	398,402213	0,13330189	300,540537	415,570136	5417,38364	7246,55746	0,75602879	533,654884
0,66	436,128517	114,965107	402,768251	0,13411571	300,540537	415,505644	5309,00677	7242,34609	0,73379265	536,591483
0,64	436,114868	114,901785	38,6528974	0,13347841	300,540537	415,442322	5207,93508	7238,88009	0,7124495	533,7230828
0,62	436,096175	114,837316	408,728752	0,13355907	300,540537	415,377853	5114,91629	7234,13837	0,69018546	533,730828
0,6	436,076242	114,772848	410,358295	0,13443266	300,540537	415,313385	5028,20604	7229,08853	0,66792141	536,895763
0,58	436,059004	114,709656	39,1816134	0,13373812	300,540537	415,250193	4946,257	7224,72681	0,64646812	533,806742
0,56	436,036234	114,645212	411,096655	0,13465188	300,540537	415,185749	4870,14863	7218,97269	0,62417611	537,123954
0,54	436,015938	114,582115	39,1266535	0,13391925	300,540537	415,122652	4797,70761	7213,85107	0,60264032	533,882627
0,52	435,998961	114,517694	407,988389	0,13400265	300,540537	415,058231	4730,12526	7207,2327	0,58032031	533,882627
0,5	435,961315	114,453274	405,170534	0,1349772	300,540537	414,993811	4666,19681	7200,10075	0,5580003	537,427856
0,48	435,934924	114,39028	38,37351	0,13418783	300,540537	414,930817	4604,81076	7193,47478	0,53635371	533,958482
0,46	435,901631	114,325882	396,700619	0,13427367	300,540537	414,866419	4547,24459	7185,13218	0,51400563	533,958482
0,44	435,865331	114,261485	391,226342	0,13530995	300,540537	414,802022	4492,45317	7176,05687	0,49165756	537,731553
0,42	435,830119	114,198648	36,8502596	0,13446442	300,540537	414,739185	4439,45834	7167,27375	0,46989981	534,034309
0,4	435,786526	114,134271	377,365863	0,13455372	300,540537	414,674808	4389,57256	7156,42811	0,44752363	534,034309
0,38	436,492932	102,494675	373,159324	0,15071222	312,115757	414,610432	4341,85604	7336,04359	0,42514745	538,035047
0,36	436,446065	102,431966	38,3831922	0,14972045	312,115757	414,547723	4295,42005	7323,86645	0,40327817	534,110107
0,34	436,387848	102,367614	353,607299	0,14983455	312,115757	414,483371	4251,58618	7308,79297	0,38087383	534,110107
0,32	436,322421	102,303261	342,603221	0,15113836	312,115757	414,419018	4209,4885	7291,92157	0,35846949	538,338338
0,3	436,254101	102,240683	34,9359602	0,15008785	312,115757	414,35644	4168,30191	7274,38203	0,33648834	534,185875
0,28	436,169725	102,176355	317,346955	0,1502114	312,115757	414,292112	4129,34354	7252,8288	0,31405579	534,185875
0,26	436,072511	102,112026	303,435213	0,15159349	312,115757	414,227783	4091,80197	7228,14402	0,29162323	538,641425
0,24	435,965598	102,049579	30,553979	0,15048976	312,115757	414,165336	4054,89955	7201,17719	0,26952985	534,261615
0,22	435,832313	101,985275	272,190531	0,1506307	312,115757	414,101032	4019,94178	7167,82035	0,24706903	534,261615
0,2	435,672748	101,92097	254,932459	0,15078094	312,115757	414,036728	3986,15916	7128,26458	0,22460821	534,261615
0,18	435,47828	101,856666	236,592599	0,1509435	312,115757	413,972423	3953,48425	7080,60427	0,20214739	534,261615
0,16	435,236046	101,792362	217,335411	0,15249031	312,115757	413,908119	3921,85502	7022,06316	0,17968657	539,095731
0,14	434,93425	101,730116	20,9494958	0,15134176	312,115757	413,845873	3890,55146	6950,37947	0,15742396	534,337325
0,12	434,523949	101,665836	174,812222	0,15158044	312,115757	413,781593	3860,85144	6855,0848	0,13493482	534,337325
0,1	434,388568	95,8239131	152,474776	0,16087169	317,8934	413,717313	3832,03804	6824,1739	0,11244569	534,337325
0,08	433,553312	95,7596329	127,521306	0,16128981	317,8934	413,653033	3804,06596	6639,0605	0,08995655	534,337325
0,06	432,184672	95,6953527	100,833137	0,16190927	317,8934	413,588752	3776,89313	6355,14344	0,06746741	534,337325
0,04	429,528729	95,6310725	72,0243327	0,16301992	317,8934	413,524472	3750,48043	5863,94759	0,04497827	534,337325
0,02	422,10969	95,5667923	0	0	317,8934	413,460192	3724,7914	4802,35762	0,02248914	0
	367,60403	96,7566003	0,42937033	0,02077044	317,8934	414,65				
	367,269267	95,6566003	0,43487048	0,02101467	317,8934	413,55				
	366,930397	94,5566003	0,44052176	0,02126514	317,8934	412,45				
	366,587367	93,4566003	0,44632959	0,02152209	317,8934	411,35				
	366,240125	92,3566003	0,49340428	0,02376562	317,8934	410,25				
	365,856044	91,1566003	0,50071929	0,02408807	317,8934	409,05				
	365,466964	89,8763121	0,50871538	0,02444169	317,973688	407,85				
	365,072813	88,6763121	0,5595351	0,02684847	317,973688	406,65				
	364,639838	87,3763121	0,56898207	0,02726246	317,973688	405,35				
	364,20005	86,0763121	0,62326348	0,02981929	317,973688	404,05				
	363,719645	84,6763121	0,63501641	0,03033214	317,973688	402,65				
	363,230527	83,2763121	0,64722342	0,03086362	317,973688	401,25				
	362,734207	81,8763121	0,70702589	0,0336577	317,973688	399,85				
	362,193793	80,2778889	0,77125435	0,03664626	318,072111	398,35				
	361,606772	78,6778889	0,78930857	0,0374269	318,072111	396,75				
	361,009188	77,0778889	0,85870371	0,04063131	318,072111	395,15				
	360,361494	75,3778889	0,93290202	0,04404021	318,072111	393,45				
	359,661569	73,5778889	1,01261681	0,0476831	318,072111	391,65				
	358,906225	71,6778889	1,09868789	0,05159457	318,072111	389,75				
	358,093729	69,6778889	1,13535607	0,05315817	318,072111	387,75				
	357,261027	67,5451726	1,29436731	0,06041751	318,204827	385,75				
	356,322007	65,3451726	1,46742577	0,06825703	318,204827	383,55				
	355,268686	62,9451726	1,59660474	0,07397387	318,204827	381,15				
	354,138399	60,4451726	1,80765013	0,0833964	318,204827	378,65				
	352,879039	57,7451726	0	0	318,204827	375,95				
	146,338789	327,994141	0	0	45,0558588	373,05				

Figura 7.14. Datos: Injo cruzado, 8 circuitos = 4. Pasos.

x	U	dT	dP	dL	T_ext	T_int	alf_ann	alf_inn	jj	dq
1	435,582422	128,45	14,3233303	0,1194777	288,15	416,6		7106,05311	1,10763634	533,426879
0,98	435,574598	128,385436	17,0536852	0,11953993	288,15	416,535436	13657,636	7104,1352	1,08548361	533,426879
0,96	435,566449	128,320872	19,1543205	0,11960231	288,15	416,470872	10840,0729	7102,13867	1,06333088	533,426879
0,94	435,557954	128,256308	21,003735	0,11966486	288,15	416,406308	9469,67589	7100,05857	1,04117816	533,426879
0,92	435,549094	128,191744	22,6727414	0,11972756	288,15	416,341744	8603,77153	7097,88954	1,01902543	533,426879
0,9	435,539835	128,12718	24,1940341	0,11979044	288,15	416,27718	7987,03397	7095,62576	0,9968727	533,426879
0,88	435,530161	128,062616	25,5865587	0,11985349	288,15	416,212616	7516,08673	7093,26089	0,97471998	533,426879
0,86	435,520038	127,998052	26,8626878	0,11991674	288,15	416,148052	7139,6379	7090,78799	0,95256725	533,426879
0,84	435,509434	127,933488	324,861162	0,12048637	288,15	416,083488	6828,81799	7088,19949	0,93041452	535,677412
0,82	435,501821	127,869776	29,1532767	0,12005917	288,15	416,019776	6564,90073	7086,34202	0,90939972	533,50291
0,8	435,490171	127,805235	348,622081	0,12012301	288,15	415,955235	6338,34197	7083,50136	0,88721924	533,50291
0,78	435,477926	127,740695	358,766536	0,12074564	288,15	415,890695	6140,13762	7080,5179	0,86503875	535,982307
0,76	435,468293	127,677113	31,8512007	0,12026672	288,15	415,827113	5963,60578	7078,17257	0,84391485	533,578912
0,74	436,034467	117,704391	378,8376	0,13028715	298,058206	415,762597	5806,5953	7218,52659	0,82170657	533,578912
0,72	436,020409	117,639874	386,03312	0,13102444	298,058206	415,698081	5664,91412	7214,97882	0,79949828	536,286997
0,7	436,009295	117,576422	36,5648233	0,13045505	298,058206	415,634628	5535,18957	7212,17626	0,77826493	533,654884
0,68	435,993598	117,51193	397,615646	0,13053135	298,058206	415,570136	5417,38364	7208,22134	0,75602879	533,654884
0,66	435,979653	117,447438	401,968235	0,13132672	298,058206	415,505644	5309,00677	7204,03225	0,73379265	536,591483
0,64	435,963111	117,384116	37,848672	0,13070121	298,058206	415,442322	5207,93508	7200,5519	0,7124495	533,730828
0,62	435,944331	117,319647	408,13949	0,13153556	298,058206	415,377853	5114,91629	7195,8353	0,69018546	536,819849
0,6	435,928216	117,25642	38,2984234	0,13087264	298,058206	415,314626	5027,35759	7191,79255	0,66876012	533,806742
0,58	435,906858	117,191976	410,440339	0,13095102	298,058206	415,250182	4946,257	7186,44089	0,64646812	533,806742
0,56	435,883983	117,127531	410,274936	0,1318442	298,058206	415,185737	4870,14863	7180,71727	0,62417611	537,123954
0,54	435,863462	117,064434	38,3103807	0,13112538	298,058206	415,12264	4797,70761	7175,59011	0,60264032	533,882627
0,52	435,837073	117,000014	407,175572	0,13120552	298,058206	415,05822	4730,12526	7169,00685	0,58032031	533,882627
0,5	436,381076	107,840967	407,517498	0,14311558	307,152832	414,993799	4666,19681	7307,04318	0,5580003	537,427856
0,48	436,353393	107,777973	40,6885255	0,14228317	307,152832	414,930805	4604,81076	7300,41491	0,53635371	533,958482
0,46	436,322524	107,713575	398,990327	0,14237896	307,152832	414,866408	4547,24459	7291,94829	0,51400563	533,958482
0,44	436,286688	107,649178	393,501539	0,14348261	307,152832	414,80201	4492,45317	7282,73806	0,49165756	537,731553
0,42	436,252298	107,586341	39,0772405	0,14259054	307,152832	414,739173	4439,45834	7273,9203	0,46989981	534,034309
0,4	436,209261	107,521964	379,55186	0,14268999	307,152832	414,674797	4389,57256	7262,91328	0,44752363	534,034309
0,38	436,161729	107,457588	371,359742	0,14386075	307,152832	414,610421	4341,85604	7250,79274	0,42514745	538,035047
0,36	436,114069	107,394879	36,6373041	0,1429103	307,152832	414,547712	4295,42005	7238,67731	0,40327817	534,110107
0,34	436,052527	107,330527	351,90897	0,14301527	307,152832	414,483359	4251,58618	7223,77916	0,38087383	534,110107
0,32	435,98916	107,266175	340,943992	0,14425578	307,152832	414,419007	4209,4885	7207,104	0,35846949	538,338338
0,3	435,919825	107,203596	33,3441747	0,14324941	307,152832	414,356429	4168,30191	7189,68906	0,33648834	534,185875
0,28	436,399674	98,8752788	318,449283	0,1551446	315,416822	414,2921	4129,34354	7311,85014	0,31405579	534,185875
0,26	436,303143	98,8109505	304,498527	0,15657512	315,416822	414,227772	4091,80197	7286,96448	0,29162323	538,641425
0,24	436,197208	98,7485031	31,558606	0,15543792	315,416822	414,165325	4054,89955	7259,83605	0,26952985	534,261615
0,22	436,064858	98,6841988	273,140038	0,15558642	315,416822	414,10102	4019,94178	7226,20749	0,24706903	534,261615
0,2	435,906413	98,6198945	255,823069	0,15574445	315,416822	414,036716	3986,15916	7186,32951	0,22460821	534,261615
0,18	435,713309	98,555903	237,420396	0,15591514	315,416822	413,972412	3953,48425	7138,28097	0,20214739	534,261615
0,16	435,472772	98,491286	218,103196	0,15751557	315,416822	413,908108	3921,85502	7079,26301	0,17968657	539,095731
0,14	435,173322	98,4290403	21,640197	0,15633147	315,416822	413,845862	3890,55146	7007,05134	0,15742396	534,337325
0,12	434,765889	98,3647601	175,427048	0,15658023	315,416822	413,781582	3860,85144	6910,97966	0,13493482	534,337325
0,1	434,199857	98,3004799	152,050151	0,15688687	315,416822	413,717301	3832,03804	6781,51699	0,11244569	534,337325
0,08	433,816678	92,4619195	128,024792	0,16694091	321,191102	413,653021	3804,06596	6696,41174	0,08995655	534,337325
0,06	432,458077	92,3976393	101,232594	0,16758187	321,191102	413,588741	3776,89313	6410,04206	0,06746741	534,337325
0,04	429,821419	92,3333591	72,3111861	0,16872725	321,191102	413,524461	3750,48043	5914,60304	0,04497827	534,337325
0,02	422,45489	92,2690789	0	0	321,191102	413,460181	3724,7914	4843,84258	0,02248914	0
	367,60403	93,4588982	0,44452068	0,02150333	321,191102	414,65				
	367,269267	92,3588982	0,45039766	0,021765	321,191102	413,55				
	366,930397	91,2588982	0,45644031	0,02203357	321,191102	412,45				
	366,587367	90,1588982	0,46265479	0,0223093	321,191102	411,35				
	366,240125	89,0588982	0,51167421	0,02464562	321,191102	410,25				
	365,856044	87,7950148	0,51989135	0,02501038	321,254985	409,05				
	365,466964	86,5950148	0,52799186	0,02536784	321,254985	407,85				
	365,072813	85,3950148	0,58103519	0,02788012	321,254985	406,65				
	364,639838	84,0950148	0,59118314	0,02832622	321,254985	405,35				
	364,20005	82,7950148	0,6479644	0,03100107	321,254985	404,05				
	363,719645	81,3950148	0,66061598	0,03155493	321,254985	402,65				
	363,230527	79,9200438	0,67440378	0,03215975	321,329956	401,25				
	362,734207	78,5200438	0,73724707	0,03509637	321,329956	399,85				
	362,193793	77,0200438	0,80387738	0,03819635	321,329956	398,35				
	361,606772	75,4200438	0,82340355	0,03904359	321,329956	396,75				
	361,009188	73,8200438	0,89660024	0,04242446	321,329956	395,15				
	360,361494	72,1200438	0,97504357	0,04602962	321,329956	393,45				
	359,661569	70,2279287	1,0609199	0,04995764	321,422071	391,65				
	358,906225	68,3279287	1,15255402	0,05412413	321,422071	389,75				
	358,093729	66,3279287	1,19269839	0,05584298	321,422071	387,75				
	357,261027	64,3279287	1,35910273	0,06343918	321,422071	385,75				
	356,322007	62,1279287	1,54341521	0,07179166	321,422071	383,55				
	355,268686	59,7279287	1,68260583	0,07795847	321,422071	381,15				
	354,138399	57,1075949	1,91329584	0,0882704	321,542405	378,65				
	352,879039	54,4075949	0	0	321,542405	375,95				

Figura 7-13. Datos: Injeto cruzado, 8 circuitos = 3 pasos.

x	U	dT	dP	dL	T_ext	T_int	alf_ann	alf_inn	jj	dq
1	435,582422	128,45	14,3233303	0,1194777	288,15	416,6		7106,05311	1,10763634	533,426879
0,98	435,574598	128,385436	17,0536852	0,11953993	288,15	416,535436	13657,636	7104,1352	1,08548361	533,426879
0,96	435,566449	128,320872	19,1543205	0,11960231	288,15	416,470872	10840,0729	7102,13867	1,06333088	533,426879
0,94	435,557954	128,256308	21,003735	0,11966486	288,15	416,406308	9469,67589	7100,05857	1,04117816	533,426879
0,92	435,549091	128,191744	22,6727414	0,11972756	288,15	416,341744	8603,77153	7097,88954	1,01902543	533,426879
0,9	435,539835	128,12718	24,1940341	0,11979044	288,15	416,27718	7987,03397	7095,62576	0,9968727	533,426879
0,88	435,530161	128,062616	25,5865587	0,11985349	288,15	416,212616	7516,08673	7093,26089	0,97471998	533,426879
0,86	435,520038	127,998052	26,8626878	0,11991674	288,15	416,148052	7139,6379	7090,78799	0,95256725	533,426879
0,84	435,509434	127,933488	324,861162	0,12048637	288,15	416,083488	6828,81799	7088,19949	0,93041452	535,677412
0,82	435,501821	127,869776	29,1532767	0,12005917	288,15	416,019776	6564,90073	7086,34202	0,90939972	533,50291
0,8	435,490171	127,805235	348,622081	0,12012301	288,15	415,955235	6338,34197	7083,50136	0,88721924	533,50291
0,78	435,957773	119,483339	360,882512	0,12894814	296,407356	415,890695	6140,13762	7199,21083	0,86503875	535,982307
0,76	435,948662	119,419757	34,0160491	0,12844096	296,407356	415,827113	5963,60578	7196,92264	0,84391485	533,578912
0,74	435,935301	119,355241	378,357975	0,12851432	296,407356	415,762597	5806,5953	7193,56947	0,82170657	533,578912
0,72	435,921201	119,290724	385,541612	0,12924061	296,407356	415,698081	5664,91412	7190,03396	0,79949828	536,286997
0,7	435,909977	119,227272	36,066754	0,12867806	296,407356	415,634628	5535,18957	7187,22019	0,77826493	533,654884
0,68	435,894225	119,16278	397,110582	0,12875235	296,407356	415,570136	5417,38364	7183,27895	0,75602879	533,654884
0,66	435,87753	119,098287	401,454544	0,12953591	296,407356	415,505644	5309,00677	7179,10436	0,73379265	536,591483
0,64	435,863562	119,034965	37,3322879	0,12891801	296,407356	415,442322	5207,93508	7175,61515	0,7124495	533,730828
0,62	435,844726	118,970497	407,616606	0,12974	296,407356	415,377853	5114,91629	7170,91488	0,69018546	536,819849
0,6	435,828479	118,90727	37,7753498	0,1290852	296,407356	415,314626	5027,35759	7166,86522	0,66876012	533,806742
0,58	436,317747	110,582141	412,695248	0,13864768	304,66804	415,250182	4946,257	7290,7191	0,64646812	533,806742
0,56	436,295156	110,517697	412,544179	0,13959785	304,66804	415,185737	4870,14863	7284,91243	0,62417611	537,123954
0,54	436,275247	110,4546	40,5646302	0,13884103	304,66804	415,12264	4797,70761	7279,80241	0,60264032	533,882627
0,52	436,249187	110,39018	409,420325	0,13893035	304,66804	415,05822	4730,12526	7273,12353	0,58032031	533,882627
0,5	436,221055	110,325759	406,602756	0,1399436	304,66804	414,993799	4666,19681	7265,92638	0,5580003	537,427856
0,48	436,1951	110,262765	39,7862172	0,1391279	304,66804	414,930805	4604,81076	7259,29816	0,53635371	533,958482
0,46	436,162069	110,198368	398,097864	0,13921975	304,66804	414,866408	4547,24459	7250,87923	0,51400563	533,958482
0,44	436,126056	110,13397	392,614713	0,14029707	304,66804	414,80201	4492,45317	7241,72087	0,49165756	537,731553
0,42	436,091351	110,071133	38,209191	0,13942308	304,66804	414,739173	4439,45834	7232,9156	0,46989981	534,034309
0,4	436,048102	110,006757	378,699768	0,1395185	304,66804	414,674797	4389,57256	7221,97062	0,44752363	534,034309
0,38	436,492595	102,499623	373,157444	0,15070506	312,110798	414,610421	4341,85604	7335,95588	0,42514745	538,035047
0,36	436,445727	102,436914	38,381368	0,14971333	312,110798	414,547712	4295,42005	7323,7788	0,40327817	534,110107
0,34	436,38751	102,372561	353,605525	0,14982743	312,110798	414,483359	4251,58618	7308,7055	0,38087383	534,110107
0,32	436,322081	102,308209	342,601487	0,15113117	312,110798	414,419007	4209,4885	7291,8343	0,35846949	538,338338
0,3	436,253761	102,245631	34,9342969	0,15008071	312,110798	414,356429	4168,30191	7274,29488	0,33648834	534,185875
0,28	436,169383	102,181302	317,345356	0,15020424	312,110798	414,2921	4129,34354	7252,74192	0,31405579	534,185875
0,26	436,072169	102,116974	303,433671	0,15158627	312,110798	414,227772	4091,80197	7228,05743	0,29162323	538,641425
0,24	435,965255	102,054527	30,5525218	0,15048258	312,110798	414,165325	4054,89955	7201,09084	0,26952985	534,261615
0,22	435,831968	101,990222	272,189154	0,15062351	312,110798	414,10102	4019,94178	7167,73439	0,24706903	534,261615
0,2	436,146236	95,3182467	256,775148	0,16105055	318,718469	414,036716	3986,15916	7246,85009	0,22460821	534,261615
0,18	435,954533	95,2539425	238,305364	0,16123014	318,718469	413,972412	3953,48425	7198,39691	0,20214739	534,261615
0,16	435,71574	95,1896382	218,92404	0,16288811	318,718469	413,908108	3921,85502	7138,88191	0,17968657	539,095731
0,14	435,418705	95,1273924	22,3786586	0,16166621	318,718469	413,845862	3890,55146	7066,12238	0,15742396	534,337325
0,12	435,01422	95,0631122	176,084412	0,16192595	318,718469	413,781582	3860,85144	6969,24079	0,13493482	534,337325
0,1	434,452272	94,998832	152,621127	0,1622451	318,718469	413,717301	3832,03804	6838,68673	0,11244569	534,337325
0,08	433,618541	94,9345518	127,644017	0,16266712	318,718469	413,653021	3804,06596	6653,17966	0,08995655	534,337325
0,06	432,252386	94,8702716	100,930493	0,1632918	318,718469	413,588741	3776,89313	6368,65879	0,06746741	534,337325
0,04	429,821479	92,3326957	72,3112459	0,16872844	321,191765	413,524461	3750,48043	5914,61346	0,04497827	534,337325
0,02	422,45496	92,2684155	0	0	321,191765	413,460181	3724,7914	4843,85111	0,02248914	0
	367,60403	93,4582348	0,44452384	0,02150348	321,191765	414,65				
	367,269267	92,3582348	0,45040089	0,02176516	321,191765	413,55				
	366,930397	91,2582348	0,45644363	0,02203373	321,191765	412,45				
	366,587367	90,1582348	0,46265819	0,02230946	321,191765	411,35				
	366,240125	89,0097597	0,51195669	0,02465923	321,24024	410,25				
	365,856044	87,8097597	0,51980405	0,02500618	321,24024	409,05				
	365,466964	86,6097597	0,52790197	0,02536352	321,24024	407,85				
	365,072813	85,4097597	0,58093488	0,02787531	321,24024	406,65				
	364,639838	84,1097597	0,5910795	0,02832125	321,24024	405,35				
	364,20005	82,7542094	0,6482839	0,03101636	321,295791	404,05				
	363,719645	81,3542094	0,66094733	0,03157076	321,295791	402,65				
	363,230527	79,9542094	0,67411559	0,03214601	321,295791	401,25				
	362,734207	78,5542094	0,73692642	0,0350811	321,295791	399,85				
	362,193793	77,0542094	0,80352095	0,03817941	321,295791	398,35				
	361,606772	75,391624	0,82371394	0,03905831	321,358376	396,75				
	361,009188	73,791624	0,89694555	0,0424408	321,358376	395,15				
	360,361494	72,091624	0,97542795	0,04604777	321,358376	393,45				
	359,661569	70,291624	1,05995854	0,04991238	321,358376	391,65				
	358,906225	68,391624	1,1514806	0,05407372	321,358376	389,75				
	358,093729	66,3159089	1,19291457	0,0558531	321,434091	387,75				
	357,261027	64,3159089	1,35935673	0,06345104	321,434091	385,75				
	356,322007	62,1159089	1,54371387	0,07180555	321,434091	383,55				
	355,268686	59,7159089	1,68294451	0,07797416	321,434091	381,15				
	354,138399	57,2159089	1,90967383	0,08810329	321,434091	378,65				
	352,879039	54,4230699	0	0	321,52693	375,95				

Figura 7-16 Datos: Injo cruzado, 8 circuitos = 6 pasos.

x	U	dT	dP	dL	T_ext	T_int	alf_ann	alf_inn	jj	dq
1	435,582422	128,45	14,3233303	0,1194777	288,15	416,6		7106,05311	1,10763634	533,426879
0,98	435,574598	128,385436	17,0536852	0,11953993	288,15	416,535436	13657,636	7104,1352	1,08548361	533,426879
0,96	435,566449	128,320872	19,1543205	0,11960231	288,15	416,470872	10840,0729	7102,13867	1,06333088	533,426879
0,94	435,557954	128,256308	21,003735	0,11966486	288,15	416,406308	9469,67589	7100,05857	1,04117816	533,426879
0,92	435,549051	128,191744	22,6727414	0,11972756	288,15	416,341744	8603,77153	7097,88954	1,01902543	533,426879
0,9	435,539835	128,12718	24,1940341	0,11979044	288,15	416,27718	7987,03397	7095,62576	0,9968727	533,426879
0,88	435,530161	128,062616	25,5865587	0,11985349	288,15	416,212616	7516,08673	7093,26089	0,97471998	533,426879
0,86	435,520038	127,998052	26,8626878	0,11991674	288,15	416,148052	7139,6379	7090,78799	0,95256725	533,426879
0,84	435,509434	127,933488	324,861162	0,12048637	288,15	416,083488	6828,81799	7088,19949	0,93041452	535,677412
0,82	435,4931998	120,442143	339,307401	0,1271374	295,577632	416,019776	6564,90073	7192,74091	0,90939972	533,50291
0,8	435,4920498	120,377603	350,449307	0,12740903	295,577632	415,955235	6338,34197	7189,85761	0,88721924	533,50291
0,78	435,90481	120,313063	360,656849	0,12807337	295,577632	415,890695	6140,13762	7186,82935	0,86503875	535,92307
0,76	435,899244	120,249481	33,7851674	0,12756917	295,577632	415,827113	5963,60578	7184,53483	0,84391485	533,578912
0,74	435,885863	120,184965	378,121858	0,12764157	295,577632	415,762597	5806,5953	7181,18743	0,82170657	533,578912
0,72	435,871742	120,120448	385,299648	0,12836246	295,577632	415,698081	5664,91412	7177,65801	0,79949828	536,26997
0,7	435,860453	120,056996	35,8215628	0,12780327	295,577632	415,634628	5535,18957	7174,8388	0,77826493	533,654884
0,68	435,844684	119,992504	396,86195	0,12787659	295,577632	415,570136	5417,38364	7170,90435	0,75602879	533,654884
0,66	435,827964	119,928012	401,201668	0,12865435	295,577632	415,505644	5309,00677	7166,73695	0,73379265	536,591483
0,64	436,216944	113,255203	406,974365	0,13538732	302,187119	415,442322	5207,93508	7264,87582	0,7124495	533,7230828
0,62	436,198309	113,190734	409,513618	0,13625427	302,187119	415,377853	5114,91629	7260,11708	0,69018546	536,819849
0,6	436,182537	113,127507	39,673089	0,13557012	302,187119	415,314626	5027,35759	7256,09388	0,66876012	533,806742
0,58	436,161343	113,063063	411,818178	0,13565398	302,187119	415,250182	4946,257	7250,69437	0,64646812	533,806742
0,56	436,138644	112,998618	411,661516	0,13658193	302,187119	415,185737	4870,14863	7244,91958	0,62417611	537,123954
0,54	436,1185	112,935522	39,6877823	0,13583983	302,187119	415,12264	4797,70761	7239,8022	0,60264032	533,882627
0,52	436,092315	112,871101	408,547153	0,13592552	302,187119	415,05822	4730,12526	7233,16002	0,58032031	533,882627
0,5	436,064048	112,806681	405,729403	0,13691514	302,187119	414,993799	4666,19681	7226,00241	0,5580003	537,427856
0,48	436,0462963	106,134985	404,48838	0,14445013	308,79582	414,930805	4604,81076	7328,25253	0,53635371	533,958482
0,46	436,430203	106,070588	399,603261	0,14454868	308,79582	414,866408	4547,24459	7319,75363	0,51400563	533,958482
0,44	436,394484	106,006119	394,110615	0,14567045	308,79582	414,80201	4492,45317	7310,50828	0,49165756	537,731553
0,42	436,360309	105,943353	39,6734343	0,14476601	308,79582	414,739173	4439,45834	7301,68267	0,46989981	534,034309
0,4	436,317414	105,878977	380,137108	0,14486827	308,79582	414,674797	4389,57256	7290,63364	0,44752363	534,034309
0,38	436,27004	105,814601	371,93692	0,14605822	308,79582	414,610421	4341,85604	7278,46684	0,42514745	538,035047
0,36	436,226237	105,751892	37,1972503	0,14509447	308,79582	414,547712	4295,42005	7266,33086	0,40327817	534,110107
0,34	436,164019	105,687539	352,453652	0,14520233	308,79582	414,483359	4251,58618	7251,3758	0,38087383	534,110107
0,32	436,49279	99,8356935	343,489208	0,15481349	314,583313	414,419007	4209,4885	7336,00646	0,35846949	538,338338
0,3	436,424994	99,7731153	35,7859706	0,15373957	314,583313	414,356429	4168,30191	7318,40403	0,33648834	534,185875
0,28	436,341059	99,708787	318,164103	0,15386835	314,583313	414,2921	4129,34354	7296,72037	0,31405579	534,185875
0,26	436,244354	99,6444587	304,223437	0,15528632	314,583313	414,227772	4091,80197	7271,88621	0,29162323	538,641425
0,24	436,138169	99,5820112	31,2986946	0,15415776	314,583313	414,165325	4054,89955	7244,79898	0,26952985	534,261615
0,22	436,005581	99,517707	272,894383	0,15430428	314,583313	414,10102	4019,94178	7211,24007	0,24706903	534,261615
0,2	435,846851	99,4534027	255,592649	0,15446028	314,583313	414,036716	3986,15916	7171,44469	0,22460821	534,261615
0,18	436,077324	93,6063799	328,770177	0,16402175	320,366032	413,972412	3953,48425	7229,3626	0,20214739	534,261615
0,16	435,839419	93,5420756	219,355188	0,16571003	320,366032	413,908108	3921,85502	7169,59159	0,17968657	539,095731
0,14	435,543618	93,4798298	22,7665465	0,16446836	320,366032	413,845862	3890,55146	7096,55084	0,15742396	534,337325
0,12	435,140634	93,4155496	176,429713	0,16473395	320,366032	413,781582	3860,85144	6999,25206	0,13493482	534,337325
0,1	434,580768	93,3512694	152,921059	0,16505975	320,366032	413,717301	3832,03804	6868,13579	0,11244569	534,337325
0,08	433,750114	93,2869892	127,895505	0,1654898	320,366032	413,653021	3804,06596	6681,82988	0,08995655	534,337325
0,06	432,388974	93,222709	101,130019	0,16612523	320,366032	413,588741	3776,89313	6396,0838	0,06746741	534,337325
0,04	429,970858	90,6839621	72,4624286	0,17173642	322,840499	413,524461	3750,48043	5940,77812	0,04497827	534,337325
0,02	422,631174	90,6196819	0	0	322,840499	413,460181	3724,7914	4865,279	0,02248914	0
367,573005	91,7095012	0,4530534	0,02191404	322,840499	414,55					
367,237942	90,6095012	0,45914954	0,0221858	322,840499	413,45					
366,898768	89,5095012	0,46541999	0,02246485	322,840499	412,35					
366,555429	88,3744024	0,47205873	0,02276048	322,875598	411,25					
366,207873	87,2744024	0,52220712	0,02515038	322,875598	410,15					
365,823445	86,0744024	0,53035827	0,02551124	322,875598	408,95					
365,434012	84,8744024	0,53877371	0,02588309	322,875598	407,75					
365,039501	83,6362798	0,59334239	0,02846754	322,91372	406,55					
364,606131	82,3362798	0,60390475	0,02893252	322,91372	405,25					
364,16594	81,0362798	0,66213344	0,03167533	322,91372	403,95					
363,684271	79,6362798	0,67531911	0,03225343	322,91372	402,55					
363,195524	78,1941182	0,68940783	0,03287126	322,955882	401,15					
362,698744	76,7941182	0,75395027	0,03588707	322,955882	399,75					
362,157828	75,2941182	0,8224552	0,0390741	322,955882	398,25					
361,569425	73,6941182	0,84284993	0,03996046	322,955882	396,65					
360,971277	72,0479349	0,91883609	0,04347076	323,002065	395,05					
360,322969	70,3479349	0,99981154	0,04719235	323,002065	393,35					
359,622378	68,5479349	1,02995401	0,0484926	323,002065	391,55					
358,906225	66,7479349	1,17983618	0,0554053	323,002065	389,75					
358,093729	64,7418825	1,28299077	0,06007053	323,008117	387,75					
357,218664	62,6418825	1,39602028	0,06515223	323,008117	385,65					
356,278723	60,4418825	1,52077172	0,070727	323,008117	383,45					
355,268686	58,1418825	1,72850545	0,08008509	323,008117	381,15					
354,138399	55,5876315	1,96561215	0,09068402	323,062368	378,65					
352,879039	52,8876315	0	0	323,062368	375,95					

Figura 7.7. Datos fino cruzado 8 circuitos - 6 pasos.

# 7.0.17.

Figura 7.18: Datos: flujo cruzado. 8 circuitos - 8 pasos.

x	U	df	dP	dL	T_ext	T_int	aif_ann	aif_inn	ji	dq
1	435.582422	128.45	14.3233303	0.1194777	288.15	416.6		7106.05311	1.10763634	533.426879
0.98	435.574598	128.385436	17.0536852	0.11953993	288.15	416.535436	13657.636	7104.1352	1.08548361	533.426879
0.96	435.566449	128.320872	19.1543205	0.11960231	288.15	416.470872	10840.0729	7102.13867	1.06333088	533.426879
0.94	435.557954	128.256308	21.003735	0.11966486	288.15	416.406308	9469.67589	7100.05857	1.04117816	533.426879
0.92	435.549091	128.191744	22.6727414	0.11972756	288.15	416.341744	8603.77153	7097.88954	1.01902543	533.426879
0.9	435.539835	128.12718	24.1940341	0.11979044	288.15	416.27718	7987.03397	7095.62576	0.9968727	533.426879
0.88	435.530151	128.062616	25.5855587	0.11985349	288.15	416.212616	7516.08673	7093.26089	0.97471998	533.426879
0.86	435.520388	127.998052	26.8626878	0.11991674	288.15	416.148052	7139.6379	7090.78799	0.95256725	533.426879
0.84	435.890411	121.31283	326.366961	0.12693157	294.752205	416.083488	6828.81799	7182.32478	0.93041452	535.677412
0.82	435.883187	121.267571	30.7135811	0.12648482	294.752205	416.019776	6564.90073	7180.51843	0.90939972	533.50291
0.8	435.87167	121.203031	350.235258	0.12655552	294.752205	415.955235	6338.34197	7177.64003	0.88721924	533.50291
0.78	435.859664	121.138491	360.435404	0.12721494	294.752205	415.890695	6140.13762	7174.61692	0.86503875	535.982307
0.76	435.850345	121.074908	33.5586019	0.12671369	294.752205	415.827113	5963.60578	7172.31623	0.84391485	533.578912
0.74	435.836044	121.010392	37.890157	0.12678514	294.752205	415.762597	5806.5953	7168.97452	0.82170657	533.578912
0.72	435.822802	120.945876	385.06221	0.12750073	294.752205	415.698081	5664.91412	7165.45511	0.79949828	536.286997
0.7	435.811455	120.882424	35.5809605	0.12694485	294.752205	415.634628	5535.18957	7162.62663	0.77826493	533.654884
0.68	436.144787	115.034455	398.400641	0.13329636	300.535681	415.570136	5417.38364	7246.48146	0.75602879	533.654884
0.66	436.128218	114.969963	402.766653	0.13411014	300.535681	415.505644	5309.00677	7242.27014	0.73379265	536.591483
0.64	436.114568	114.906641	38.6512904	0.13347286	300.535681	415.442322	5207.93508	7238.80411	0.7124495	533.730828
0.62	436.098975	114.842172	408.952225	0.13432647	300.535681	415.377853	5114.91629	7234.06244	0.69018546	536.619849
0.6	436.079964	114.778945	39.1114705	0.13365097	300.535681	415.314626	5027.35759	7230.03102	0.66876012	533.806742
0.58	436.05704	114.714501	41.255257	0.13373257	300.535681	415.250182	4946.257	7224.65091	0.64646812	533.806742
0.56	436.035934	114.650056	411.095016	0.13464629	300.535681	415.185737	4870.14863	7218.89866	0.62417611	537.123954
0.54	436.381022	108.804501	412.220686	0.14091249	306.31814	415.12264	4797.70761	7307.02938	0.60264032	533.882627
0.52	436.355047	108.74008	410.023011	0.14100436	306.31814	415.05822	4730.12526	7300.32552	0.58032031	533.882627
0.5	436.327005	108.67566	407.20558	0.14203396	306.31814	414.993799	4666.19681	7293.10145	0.5580003	537.427856
0.48	436.301231	108.612655	40.380848	0.14120725	306.31814	414.930805	4604.81076	7286.47308	0.53635371	533.958482
0.46	436.268307	108.548268	398.686001	0.14130168	306.31814	414.866408	4547.24459	7278.02263	0.51400563	533.958482
0.44	436.232411	108.48387	393.199132	0.14239634	306.31814	414.802021	4492.45317	7268.82999	0.49165756	537.731553
0.42	436.197914	108.421033	38.7812341	0.14151043	306.31814	414.739173	4439.45834	7260.01635	0.46989891	534.034309
0.4	436.539177	102.570919	381.371994	0.14946452	312.103878	414.674797	4389.57256	7348.09618	0.44752363	534.034309
0.38	436.492125	102.506542	373.154814	0.15069505	312.103878	414.610421	4341.85604	7335.83349	0.42514745	538.035047
0.36	436.445256	102.443833	38.3788169	0.14970338	312.103878	414.547712	4295.42005	7323.6565	0.40327817	534.110107
0.34	436.387037	102.379481	353.603043	0.14981746	312.103878	414.483359	4251.58618	7308.58345	0.38087383	534.110107
0.32	436.321608	102.315129	342.599062	0.15112111	312.103878	414.419007	4209.4885	7291.12153	0.35846949	538.333325
0.3	436.252386	102.25255	34.9319707	0.15007071	312.103878	414.354629	4168.30191	7274.17329	0.33648834	534.185875
0.28	436.168907	102.188222	317.34312	0.15019424	312.103878	414.2921	4129.34354	7252.62068	0.31405579	534.185875
0.26	436.420773	97.159947	305.057271	0.15919283	317.067822	414.22772	4091.80197	7317.29954	0.29162323	538.641425
0.24	436.315296	97.0975023	32.0865274	0.15803813	317.067822	414.165325	4054.89955	7290.08869	0.26952985	534.261615
0.22	436.183424	97.031398	27.3390	0.15818068	317.067822	414.10102	4019.94178	7286.31999	0.24706903	534.261615
0.2	436.02555	96.9688938	256.201105	0.15835289	317.067822	414.036716	3986.15916	7216.27584	0.22460821	534.261615
0.18	435.883142	96.9045895	237.855435	0.15852793	317.067822	413.972412	3953.48425	7168.02708	0.20214739	534.261615
0.16	435.593471	96.8402853	218.506709	0.16015662	317.067822	413.908108	3921.85502	7108.76318	0.17966867	539.095731
0.14	435.670599	91.8276212	198.969278	0.16737876	322.018241	413.845862	3890.55146	7127.73461	0.15742396	534.337325
0.12	435.269143	91.763241	176.788361	0.16765049	322.018241	413.781582	3860.85144	7030.00828	0.13493482	534.337325
0.1	434.711394	91.6990608	153.232591	0.16798326	322.018241	413.717901	3832.03804	6898.31586	0.11244569	534.337325
0.08	433.88387	91.6347806	128.156725	0.16842171	322.018241	413.653821	3804.06596	6711.19128	0.08995555	534.337325
0.06	432.527832	91.5705004	101.337268	0.16906834	322.018241	413.588741	3776.89313	6424.18957	0.06746741	534.337325
0.04	429.8961	91.5062202	72.3863546	0.17022283	322.018241	413.524461	3750.48043	5927.65707	0.04497827	534.337325
0.02	422.613023	90.6210877	0	0	322.839093	413.460181	3724.7914	4865.26053	0.02248914	0
367.573005	91.710907	0.41187276	0.01992215	322.839093	414.55	0.99623797				
367.269267	90.710907	0.45858026	0.02216042	322.839093	413.55					
366.930397	89.610907	0.46483449	0.0243878	322.839093	412.45					
366.587367	88.4758062	0.51430119	0.0247997	322.874194	411.35					
366.207873	87.2758062	0.47869523	0.02305478	322.874194	410.15					
365.856044	86.1758062	0.52965989	0.02548031	322.874194	409.05					
365.466964	84.9758062	0.58287528	0.02800477	322.874194	407.85					
365.039501	83.6376817	0.54770535	0.02627796	322.912318	406.55					
364.639838	82.4376817	0.64944218	0.03111767	322.912318	405.35					
364.16594	81.0376817	0.6148423	0.028413	322.912318	403.95					
363.719545	79.7376817	0.67434676	0.03221079	322.912318	402.65					
363.230527	78.2955181	0.73755122	0.03517101	322.954482	401.25					
362.698744	76.7955181	0.75393653	0.03588641	322.954482	399.75					
362.157828	75.2955181	0.77105385	0.03663207	322.954482	398.25					
361.606772	73.7955181	0.894107	0.04239616	322.954482	396.75					
360.971277	72.0493326	0.91881827	0.04346992	323.000667	395.05					
360.322969	70.3493326	0.99979168	0.04719141	323.000667	393.35					
359.622378	68.5493326	1.02993301	0.04849161	323.000667	391.55					
358.906225	66.7493326	1.17981147	0.05540414	323.000667	389.75					
358.093729	64.7422571	1.28298334	0.06007018	323.007743	387.75					
357.218664	62.6422571	1.39601193	0.06515184	323.007743	385.65					
356.278723	60.4422571	1.5207623	0.07072656	323.007743	383.45					
355.268886	58.1422571	1.72849432	0.08008457	323.007743	381.15					
354.138199	55.5890293	1.96556273	0.09068174	323.060971	378.65					
352.879039	52.889029	0	0	323.060971	375.95					

x	U	dT	dP	dL	T_ext	T_int	alf_ann	alf_inn	jj	dq
1	435,582422	128,45	14,3233303	0,1194777	288,15	416,6		7106,05311	1,10763634	533,426879
0,98	435,574598	128,385436	17,0536852	0,11953993	288,15	416,535436	13657,636	7104,1352	1,08548361	533,426879
0,96	435,566449	128,320872	19,1543205	0,11960231	288,15	416,470872	10840,0729	7102,13867	1,06333088	533,426879
0,94	435,557954	128,256308	21,003735	0,11966486	288,15	416,406308	9469,67589	7100,05857	1,04117816	533,426879
0,92	435,549091	128,191744	22,6727414	0,11972756	288,15	416,341744	8603,77153	7097,88954	1,01902543	533,426879
0,9	435,539835	128,12718	24,1940341	0,11979044	288,15	416,27718	7987,03397	7095,62576	0,9968727	533,426879
0,88	435,531883	123,116923	26,5970623	0,12458693	293,095693	416,212616	7516,08673	7163,23065	0,97471998	533,426879
0,86	435,523845	123,052359	27,9241502	0,12465517	293,095693	416,148052	7139,6379	7160,73335	0,95256725	533,426879
0,84	435,515832	122,987795	325,974055	0,12524983	293,095693	416,083488	6828,81799	7158,11932	0,93041452	535,677412
0,82	435,507808	122,924082	30,306445	0,12488815	293,095693	416,019776	6564,90073	7156,29934	0,90939972	533,50291
0,8	435,500000	122,859542	349,814317	0,12487702	293,095693	415,955235	6338,34197	7153,43065	0,88721924	533,50291
0,78	435,492315	122,795002	359,999922	0,12552681	293,095693	415,890695	6140,13762	7150,41773	0,86503875	535,982307
0,76	435,484629	122,731142	33,1130564	0,12503135	293,095693	415,827113	5963,60578	7148,10509	0,84391485	533,578912
0,74	435,476944	117,715384	378,834362	0,13027518	298,047212	415,762597	5806,5953	7218,35895	0,82170657	533,578912
0,72	435,469259	117,650868	386,029802	0,13101239	298,047212	415,698081	5664,91412	7214,81126	0,79949828	536,286997
0,7	435,461574	117,586352	36,5614605	0,13044306	298,047212	415,634628	5535,18957	7212,00863	0,77826493	533,654884
0,68	435,453889	117,522924	397,612236	0,13051934	298,047212	415,570136	5417,38364	7208,0538	0,75602879	533,654884
0,66	435,446204	117,458431	401,964767	0,13131463	298,047212	415,505644	5309,00677	7203,86481	0,73379265	536,591483
0,64	435,438519	117,393938	37,8451855	0,13068917	298,047212	415,442322	5207,93508	7200,3844	0,7124495	533,7230828
0,62	435,430834	117,330641	408,135959	0,13152344	298,047212	415,377853	5114,91629	7195,66791	0,69018546	536,819849
0,6	435,423149	112,307954	411,609287	0,13654335	303,006672	415,314626	5027,35759	7269,20399	0,66876012	533,806742
0,58	435,415464	112,243509	412,10365	0,13662838	303,006672	415,250182	4946,257	7263,79473	0,64646812	533,806742
0,56	435,407779	112,179065	411,948805	0,13756355	303,006672	415,185737	4870,14863	7258,0095	0,62417611	537,123954
0,54	435,400094	112,115968	39,9731763	0,13681665	303,006672	415,122264	4797,70761	7252,89442	0,60264032	533,882627
0,52	435,392409	112,051547	408,831348	0,13690352	303,006672	415,05822	4730,12526	7246,24023	0,58032031	533,882627
0,5	435,384724	111,987127	406,013654	0,13790082	303,006672	414,993799	4666,19681	7239,06968	0,5580003	537,427856
0,48	435,377039	111,924133	39,2051356	0,13709593	303,006672	414,930805	4604,81076	7232,44207	0,53635371	533,958482
0,46	435,369354	106,901878	399,290799	0,1434426	307,96453	414,866408	4547,24459	7305,61904	0,51400563	533,958482
0,44	435,361669	106,837448	393,800118	0,14455512	307,96453	414,80201	4492,45317	7296,39155	0,49165756	537,731553
0,42	435,353984	106,774643	39,3695033	0,14365699	307,96453	414,739173	4439,45834	7287,56986	0,46989981	534,034309
0,4	435,346299	106,710267	379,838756	0,14375781	307,96453	414,674797	4389,57256	7276,54219	0,44752363	534,034309
0,38	435,338614	106,645891	371,642681	0,14493797	307,96453	414,610421	4341,85604	7264,39891	0,42514745	538,035047
0,36	435,330929	106,58182	36,911794	0,143981	307,96453	414,547712	4295,42005	7252,27331	0,40327817	534,110107
0,34	435,323244	106,51883	352,175976	0,14408738	307,96453	414,483359	4251,58618	7237,34718	0,38087383	534,110107
0,32	435,315559	101,493809	342,889137	0,15232436	312,925198	414,419007	4209,4885	7306,23692	0,35846949	538,338338
0,3	435,307874	101,43123	35,210264	0,15126629	312,925198	414,354629	4168,30191	7288,67681	0,33648834	534,185875
0,28	435,300189	101,366902	317,610652	0,15139151	312,925198	414,2921	4129,34354	7267,08123	0,31405579	534,185875
0,26	435,292504	101,302574	303,689573	0,15278517	312,925198	414,227772	4091,80197	7242,34794	0,29162323	538,641425
0,24	435,284819	101,240126	30,7942962	0,15167341	312,925198	414,165325	4054,89955	7215,34188	0,26952985	534,261615
0,22	435,277134	101,175822	272,417659	0,15181614	312,925198	414,10102	4019,94178	7181,91942	0,24706903	534,261615
0,2	435,269449	101,111518	255,145496	0,15196823	312,925198	414,036716	3986,15916	7142,28585	0,22460821	534,261615
0,18	435,261764	96,0909678	238,07529	0,15984834	317,881444	413,972412	3953,48425	7182,91647	0,20214739	534,261615
0,16	435,254079	96,0266635	218,710634	0,16149133	317,881444	413,908108	3921,85502	7123,52946	0,17968657	539,095731
0,14	435,246394	95,9644178	22,1866675	0,16027924	317,881444	413,843862	3890,55146	7050,91077	0,15742396	534,337325
0,12	434,950642	95,9001376	175,913503	0,1605361	317,881444	413,781582	3860,85144	6954,23775	0,13493482	534,337325
0,1	434,387648	95,8358574	152,472676	0,16085198	317,881444	413,717301	3832,03804	6823,96473	0,11244569	534,337325
0,08	433,55237	95,7715772	127,519545	0,16127005	317,881444	413,653021	3804,06596	6638,85701	0,08995655	534,337325
0,06	432,183694	95,707297	100,83174	0,16188943	317,881444	413,588741	3776,89313	6354,94864	0,06746741	534,337325
0,04	429,97073	90,6853679	72,4622974	0,17173381	322,839093	413,524461	3750,48043	5940,75556	0,04497827	534,337325
0,02	422,631023	90,6210877	0	0	322,839093	413,460181	3724,7914	4865,26053	0,02248914	0
367,573005	91,710907	0,41187276	0,01992215	322,839093	414,55					
367,269267	90,710907	0,45858026	0,02216042	322,839093	413,55					
366,930397	89,5881727	0,46495245	0,02244448	322,861827	412,45					
366,587367	88,4881727	0,47139007	0,02273052	322,861827	411,35					
366,240125	87,3881727	0,52145663	0,02511681	322,861827	410,25					
365,856044	86,1644354	0,52972979	0,02548367	322,885565	409,05					
365,466964	84,9644354	0,58295328	0,02800851	322,885565	407,85					
365,039501	83,6644354	0,54753021	0,02626955	322,885565	406,55					
364,639838	82,4386676	0,60306111	0,02889534	322,911332	405,35					
364,20005	81,1386676	0,6611918	0,03163392	322,911332	404,05					
363,719645	79,7386676	0,67433843	0,0322104	322,911332	402,65					
363,230527	78,3387007	0,73714466	0,03515163	322,911299	401,25					
362,698744	76,8387007	0,75351283	0,03586625	322,911299	399,75					
362,157828	75,3387007	0,7706119	0,03661108	322,911299	398,25					
361,606772	73,809882	0,893933	0,04238791	322,940118	396,75					
360,971277	72,109882	0,91804675	0,04343342	322,940118	395,05					
360,322969	70,409882	0,9434539	0,0445322	322,940118	393,35					
359,661569	68,7079003	1,08439069	0,05106286	322,9421	391,65					
358,906225	66,8079003	1,17877718	0,05535557	322,9421	389,75					
358,093729	64,8079003	1,28168382	0,06000934	322,9421	387,75					
357,218664	62,7058912	1,39459526	0,06508573	322,944109	385,65					
356,278723	60,5058912	1,51916291	0,07065218	322,944109	383,45					
355,268686	58,2058912	1,72660463	0,07999702	322,944109	381,15					
354,138399	55,6750687	1,96252517	0,0905416	322,974931	378,65					
352,879039	52,9750687	0	0	322,974931	375,95					

Figura 19. Datos fino cruzado, 8 circuitos, 9 pasos.

x	U	dT	dP	dL	T_ext	T_int	alf_ann	alf_inn	jj	dq
1	435,582422	128,45	14,3233303	0,1194777	288,15	416,6		7106,05311	1,10763634	533,426879
0,98	435,574598	128,385436	17,0536852	0,11953993	288,15	416,535436	13657,636	7104,1352	1,08548361	533,426879
0,96	435,566449	128,320872	19,1543205	0,11960231	288,15	416,470872	10840,0729	7102,13867	1,06333088	533,426879
0,94	435,557954	128,256308	21,003735	0,11966486	288,15	416,406308	9469,67589	7100,05857	1,04117816	533,426879
0,92	435,549091	128,191744	22,6727414	0,11972756	288,15	416,341744	8603,77153	7097,88954	1,01902543	533,426879
0,9	435,54091	124,005385	24,9846902	0,12370517	292,271795	416,27718	7987,03397	7153,71794	0,9968727	533,426879
0,88	435,766007	123,940821	26,4231606	0,12377234	292,271795	416,212616	7516,08673	7151,33371	0,97471998	533,426879
0,86	435,755956	123,876257	27,7414757	0,1238397	292,271795	416,148052	7139,6379	7148,84056	0,95256725	533,426879
0,84	435,745427	123,811693	325,782526	0,12443004	292,271795	416,083488	6828,81799	7146,23087	0,93041452	535,677412
0,82	435,738054	123,747981	30,1078816	0,12399084	292,271795	416,019776	6564,90073	7144,40432	0,90939977	533,50291
0,8	435,726486	123,683441	349,609127	0,12405883	292,271795	415,955235	6338,34197	7141,5404	0,88721924	533,50291
0,78	435,957022	119,495931	360,879064	0,12893478	296,394764	415,890695	6140,13762	7199,02213	0,86503875	535,982307
0,76	435,94791	119,432349	34,0125214	0,12842764	296,394764	415,827113	5963,60578	7196,73384	0,84391485	533,578912
0,74	435,934549	119,367833	378,354367	0,12850099	296,394764	415,762597	5806,5953	7193,38076	0,82170657	533,578912
0,72	435,920449	119,303316	385,537915	0,1292272	296,394764	415,698081	5664,91412	7189,84534	0,79949828	536,286997
0,7	435,909217	119,239864	36,0630076	0,12866469	296,394764	415,634628	5535,18957	7187,03149	0,77826493	533,654884
0,68	435,893471	119,175372	397,106783	0,12873897	296,394764	415,570136	5417,38364	7183,09035	0,75602879	533,654884
0,66	436,127472	114,982084	402,762663	0,13409623	300,52356	415,505644	5309,00677	7242,08058	0,73379265	536,591483
0,64	436,113821	114,918762	38,6472799	0,13345901	300,52356	415,442322	5207,93508	7238,61447	0,7124495	533,7230828
0,62	436,095128	114,854293	408,948164	0,13431252	300,52356	415,377853	5114,91629	7233,87293	0,69018546	536,819849
0,6	436,079216	114,791066	39,1074078	0,13363708	300,52356	415,314626	5027,35759	7229,84145	0,66876012	533,806742
0,58	436,057955	114,726622	411,251185	0,13371867	300,52356	415,250182	4946,257	7224,46148	0,64646812	533,806742
0,56	436,03184	114,662177	411,090919	0,13463228	300,52356	415,185737	4870,14863	7218,70758	0,62417611	537,123954
0,54	436,274397	110,467936	411,610657	0,13882454	304,654704	415,12264	4797,70761	7279,58442	0,60264032	533,882627
0,52	436,248337	110,403516	409,415527	0,13891384	304,654704	415,05822	4730,12526	7272,90574	0,58032031	533,882627
0,5	436,220203	110,339095	406,597957	0,13992696	304,654704	414,993799	4666,19681	7265,7088	0,5580003	537,427856
0,48	436,194247	110,276101	39,7814834	0,13911135	304,654704	414,930805	4604,81076	7259,80059	0,53635371	533,958482
0,46	436,161216	110,211704	398,093182	0,13920317	304,654704	414,866408	4547,24459	7250,66191	0,51400563	533,958482
0,44	436,125201	110,147306	392,610061	0,14028036	304,654704	414,80201	4492,45317	7241,50383	0,49165756	537,731553
0,42	436,359804	105,95098	387,71683	0,14475576	308,788194	414,739173	4439,45834	7301,55257	0,46989981	534,034309
0,4	436,316909	105,886603	380,134349	0,14485801	308,788194	414,674797	4389,57256	7290,50374	0,44752363	534,034309
0,38	436,269534	105,822227	371,9342	0,14604786	308,788194	414,610421	4341,85604	7278,33716	0,42514745	538,035047
0,36	436,22213	105,759518	37,1946112	0,14508418	308,788194	414,547712	4295,42005	7266,20128	0,40327817	534,110107
0,34	436,163512	105,695166	352,451085	0,14519202	308,788194	414,483359	4251,58618	7251,24648	0,38087383	534,110107
0,32	436,097632	105,630813	341,473616	0,14645269	308,788194	414,419007	4209,4885	7234,50791	0,35846949	538,338338
0,3	436,309281	101,438814	330,825663	0,15125516	312,917614	414,356429	4168,30191	7288,54223	0,33648834	534,185875
0,28	436,225047	101,374486	317,608162	0,15138036	312,917614	414,2921	4129,34354	7266,94705	0,31405579	534,185875
0,26	436,127998	101,310158	303,687171	0,15277391	312,917614	414,227772	4091,80197	7242,21422	0,29162323	538,641425
0,24	436,02132	101,24771	30,7920269	0,15166223	312,917614	414,165325	4054,89955	7215,20852	0,26952985	534,261615
0,22	435,888259	101,183406	272,415515	0,15180494	312,917614	414,10102	4019,94178	7181,78668	0,24706903	534,261615
0,2	435,728964	101,119102	255,143484	0,15195701	312,917614	414,036716	3986,15916	7142,15384	0,22460821	534,261615
0,18	435,535402	101,046623	369,790751	0,15213358	312,925782	413,972412	3953,48425	7094,54188	0,20214739	534,261615
0,16	435,29358	100,982326	217,519196	0,15369321	312,925782	413,908108	3921,85502	7035,88554	0,17968657	539,095731
0,14	434,992354	100,920008	21,1148264	0,15253613	312,925782	413,845862	3890,55146	6964,07405	0,15742396	534,337325
0,12	434,582749	100,8558	174,959389	0,15277721	312,925782	413,781582	3860,85144	6868,59162	0,13493482	534,337325
0,1	434,013708	100,79152	151,643963	0,15307508	312,925782	413,717301	3832,03804	6739,923	0,11244569	534,337325
0,08	433,169488	100,72724	126,824711	0,15347129	312,925782	413,653021	3804,06596	6557,09501	0,08995655	534,337325
0,06	432,115914	96,5387813	100,735324	0,16052026	317,04996	413,588741	3776,89313	6341,47413	0,06746741	534,337325
0,04	429,455126	96,4745011	71,9540933	0,16162241	317,04996	413,524461	3750,48043	5851,3348	0,04497827	534,337325
0,02	422,022898	96,4102209	0	0	317,04996	413,460181	3724,7914	4792,02821	0,02248914	0
	367,573005	97,5000402	0,4261465	0,02061257	317,04996	414,55				
	367,237942	96,4000402	0,43156943	0,02085315	317,04996	413,45				
	366,898768	95,2773072	0,43724484	0,02110489	317,072693	412,35				
	366,555429	94,1773072	0,44297198	0,02135805	317,072693	411,25				
	366,207873	93,0773072	0,48965011	0,02358238	317,072693	410,15				
	365,823445	91,8535713	0,49698961	0,02390614	317,096429	408,95				
	365,434012	90,6535713	0,50442686	0,02423305	317,096429	407,75				
	365,039501	89,4535713	0,5547565	0,02661626	317,096429	406,55				
	364,606131	88,1288348	0,56421114	0,02703083	317,121165	405,25				
	364,16594	86,8288348	0,57383466	0,02745127	317,121165	403,95				
	363,719645	85,5288348	0,62868678	0,0300298	317,121165	402,65				
	363,230527	84,1268078	0,68642751	0,03273312	317,123192	401,25				
	362,698744	82,6268078	0,70072835	0,03335377	317,123192	399,75				
	362,157828	81,1268078	0,763324	0,03626483	317,123192	398,25				
	361,569425	79,5010779	0,78128604	0,03704165	317,148922	396,65				
	360,971277	77,9010779	0,84979881	0,04020456	317,148922	395,05				
	360,322969	76,2010779	0,9230142	0,04356742	317,148922	393,35				
	359,622378	74,3960074	0,94899206	0,04468073	317,153993	391,55				
	358,906225	72,5960074	1,08479283	0,05094205	317,153993	389,75				
	358,093729	70,5960074	1,17659965	0,05508922	317,153993	387,75				
	357,218664	68,4939983	1,27674454	0,05958564	317,156002	385,65				
	356,278723	66,2939983	1,3865253	0,06448356	317,156002	383,45				
	355,268686	63,9939983	1,57043729	0,07276148	317,156002	381,15				
	354,138399	61,4652414	1,77765061	0,08201237	317,184759	378,65				
	352,879039	58,7652414	0	0	317,184759	375,95				

Figura 20. Datos tipo cruzado 8 circuitos = 10 pasos.

x	U	dT	dP	dL	T_ext	T_int	alf_ann	alf_inn	jj	dq
1	435,582422	128,45	14,3233303	0,1194777	288,15	416,6		7106,05311	1,10763634	533,426879
0,98	435,574598	128,385436	17,0536852	0,11953993	288,15	416,535436	13657,636	7104,1352	1,08548361	533,426879
0,96	435,566449	128,320872	19,1543205	0,11960231	288,15	416,470872	10840,0729	7102,13867	1,06333088	533,426879
0,94	435,557954	128,256308	21,003735	0,11966486	288,15	416,406308	9469,67589	7100,05857	1,04117816	533,426879
0,92	435,549091	128,191744	22,6727414	0,11972756	288,15	416,341744	8603,77153	7097,88954	1,01902543	533,426879
0,9	435,540514	124,005385	24,9846902	0,12370517	292,271795	416,27718	7987,03397	7153,71794	0,9968727	533,426879
0,88	435,766007	123,940821	26,4231606	0,12377234	292,271795	416,212616	7516,08673	7151,33371	0,97471998	533,426879
0,86	435,755956	123,876257	27,7414757	0,1238397	292,271795	416,148052	7139,6379	7148,84056	0,95256725	533,426879
0,84	435,745427	123,811693	325,782526	0,12443004	292,271795	416,083488	6828,81799	7146,23087	0,93041452	535,677412
0,82	435,738054	123,747981	30,1078816	0,12399084	292,271795	416,019776	6564,90073	7144,40432	0,90939977	533,50291
0,8	435,726486	123,683441	349,609127	0,12405883	292,271795	415,955235	6338,34197	7141,5404	0,88721924	533,50291
0,78	435,957022	119,495931	360,879064	0,12893478	296,394764	415,890695	6140,13762	7199,02213	0,86503875	535,982307
0,76	435,94791	119,432349	34,0125214	0,12842764	296,394764	415,827113	5963,60578	7196,73384	0,84391485	533,578912
0,74	435,934549	119,367833	378,354367	0,12850099	296,394764	415,762597	5806,5953	7193,38076	0,82170657	533,578912
0,72	435,920449	119,303316	385,537915	0,1292272	296,394764	415,698081	5664,91412	7189,84534	0,79949828	536,286997
0,7	435,909217	119,239864	36,0630076	0,12866469	296,394764	415,634628	5535,18957	7187,03149	0,77826493	533,654884
0,68	435,893471	119,175372	397,106783	0,12873897	296,394764	415,570136	5417,38364	7183,09035	0,75602879	533,654884
0,66	436,127472	114,982084	402,762663	0,13409623	300,52356	415,505644	5309,00677	7242,08058	0,73379265	536,591483
0,64	436,113821	114,918762	38,6472799	0,13345901	300,52356	415,442322	5207,93508	7238,61447	0,7124495	533,723028
0,62	436,095128	114,854293	408,948164	0,13431252	300,52356	415,377853	5114,91629	7233,87293	0,69018546	536,819849
0,6	436,079216	114,791066	39,1074078	0,13363708	300,52356	415,314626	5027,35759	7229,84145	0,66876012	533,806742
0,58	436,057955	114,726622	411,251185	0,13371867	300,52356	415,250182	4946,257	7224,46148	0,64646812	533,806742
0,56	436,03184	114,662177	411,090919	0,13463228	300,52356	415,185737	4870,14863	7218,70758	0,62417611	537,123954
0,54	436,274397	110,467936	411,610657	0,13882454	304,654704	415,12264	4797,70761	7279,58442	0,60264032	533,882627
0,52	436,248337	110,403516	409,415527	0,13891384	304,654704	415,05822	4730,12526	7272,90574	0,58032031	533,882627
0,5	436,220203	110,339095	406,597957	0,13992696	304,654704	414,993799	4666,19681	7265,7088	0,5580003	537,427856
0,48	436,194247	110,276101	39,7814834	0,13911135	304,654704	414,930805	4604,81076	7259,80059	0,53635371	533,958482
0,46	436,161216	110,211704	398,093182	0,13920317	304,654704	414,866408	4547,24459	7250,66191	0,51400563	533,958482
0,44	436,125201	110,147306	392,610061	0,14028036	304,654704	414,80201	4492,45317	7241,50383	0,49165756	537,731553
0,42	436,359804	105,95098	387,71683	0,14475576	308,788194	414,739173	4439,45834	7301,55257	0,46989981	534,034309
0,4	436,316909	105,886603	380,134349	0,14485801	308,788194	414,674797	4389,57256	7290,50374	0,44752363	534,034309
0,38	436,269534	105,822227	371,9342	0,14604786	308,788194	414,610421	4341,85604	7278,33716	0,42514745	538,035047
0,36	436,22213	105,759518	37,1946112	0,14508418	308,788194	414,547712	4295,42005	7266,20128	0,40327817	534,110107
0,34	436,163512	105,695166	352,451085	0,14519202	308,788194	414,483359	4251,58618	7251,24648	0,38087383	534,110107
0,32	436,097632	105,630813	341,473616	0,14645269	308,788194	414,419007	4209,4885	7234,50791	0,35846949	538,338338
0,3	436,309281	101,438814	330,825663	0,15125516	312,917614	414,356429	4168,30191	7288,54223	0,33648834	534,185875
0,28	436,225047	101,374486	317,608162	0,15138036	312,917614	414,2921	4129,34354	7266,94705	0,31405579	534,185875
0,26	436,127998	101,310158	303,687171	0,15277391	312,917614	414,227772	4091,80197	7242,21422	0,29162323	538,641425
0,24	436,02132	101,24771	30,7920269	0,15166223	312,917614	414,165325	4054,89955	7215,20852	0,26952985	534,261615
0,22	435,888259	101,183406	272,415515	0,15180494	312,917614	414,10102	4019,94178	7181,78668	0,24706903	534,261615
0,2	435,728964	101,119102	255,143484	0,15195701	312,917614	414,036716	3986,15916	7142,15384	0,22460821	534,261615
0,18	435,535402	101,046623	266,790751	0,15213358	312,925782	413,972412	3953,48425	7094,54188	0,20214739	534,261615
0,16	435,29358	100,982326	217,519196	0,15369321	312,925782	413,908108	3921,85502	7035,88554	0,17968657	539,095731
0,14	434,992354	100,920008	21,1148264	0,15253613	312,925782	413,845862	3890,55146	6964,07405	0,15742396	534,337325
0,12	434,582749	100,8558	174,959389	0,15277721	312,925782	413,781582	3860,85144	6868,59162	0,13493482	534,337325
0,1	434,013708	100,79152	151,643963	0,15307508	312,925782	413,717301	3832,03804	6739,923	0,11244569	534,337325
0,08	433,169488	100,72724	126,824711	0,15347129	312,925782	413,653021	3804,06596	6557,09501	0,08995655	534,337325
0,06	432,115914	96,5387813	100,735324	0,16052026	317,04996	413,588741	3776,89313	6341,47413	0,06746741	534,337325
0,04	429,455126	96,4745011	71,9540933	0,16162241	317,04996	413,524461	3750,48043	5851,3348	0,04497827	534,337325
0,02	422,022898	96,4102209	0	0	317,04996	413,460181	3724,7914	4792,02821	0,02248914	0
	367,573005	97,5000402	0,4261465	0,02061257	317,04996	414,55				
	367,237942	96,4000402	0,43156943	0,02085315	317,04996	413,45				
	366,898768	95,2773072	0,43724484	0,02110489	317,072693	412,35				
	366,555429	94,1773072	0,44297198	0,02135805	317,072693	411,25				
	366,207873	93,0773072	0,48965011	0,02358238	317,072693	410,15				
	365,823445	91,8535713	0,49698961	0,02390614	317,096429	408,95				
	365,434012	90,6535713	0,50442686	0,02423305	317,096429	407,75				
	365,039501	89,4535713	0,5547565	0,02661626	317,096429	406,55				
	364,606131	88,1288348	0,56421114	0,02703083	317,121165	405,25				
	364,16594	86,8288348	0,57383466	0,02745127	317,121165	403,95				
	363,719645	85,5288348	0,62868678	0,0300298	317,121165	402,65				
	363,230527	84,1268078	0,68642751	0,03273312	317,123192	401,25				
	362,698744	82,6268078	0,70072835	0,03335377	317,123192	399,75				
	362,157828	81,1268078	0,763324	0,03626483	317,123192	398,25				
	361,569425	79,5010779	0,78128604	0,03704165	317,148922	396,65				
	360,971277	77,9010779	0,84979881	0,04020456	317,148922	395,05				
	360,322969	76,2010779	0,9230142	0,04356742	317,148922	393,35				
	359,622378	74,3960074	0,94899206	0,04468073	317,153993	391,55				
	358,906225	72,5960074	1,08479283	0,05094205	317,153993	389,75				
	358,093729	70,5960074	1,17659965	0,05508922	317,153993	387,75				
	357,218664	68,4939983	1,27674454	0,05958564	317,156002	385,65				
	356,278723	66,2939983	1,3865253	0,06448356	317,156002	383,45				
	355,268686	63,9939983	1,57043729	0,07276148	317,156002	381,15				
	354,138399	61,4652414	1,77765061	0,08201237	317,184759	378,65				
	352,879039	58,7652414	0	0	317,184759	375,95				

Figura 21. Datos tipo cruzado 8 circuitos = 11 pasos.

x	U	dT	dP	dL	T_ext	T_int	alf_ann	alf_inn	jj	dq
1	435,582422	128,45	14,3233303	0,1194777	288,15	416,6		7106,05311	1,10763634	533,426879
0,98	435,574598	128,385436	17,0536852	0,11953993	288,15	416,535436	13657,636	7104,1352	1,08548361	533,426879
0,96	435,566449	128,320872	19,1543205	0,11960231	288,15	416,470872	10840,0729	7102,13867	1,06333088	533,426879
0,94	435,557954	128,256308	21,003735	0,11966486	288,15	416,406308	9469,67589	7100,05857	1,04117816	533,426879
0,92	435,549017	124,897088	23,2607885	0,12283285	291,444656	416,341744	8603,77153	7144,14752	1,01902543	533,426879
0,9	435,540117	124,832524	24,8218647	0,12289898	291,444656	416,27718	7987,03397	7141,86899	0,9968727	533,426879
0,88	435,531893	124,76796	26,2508708	0,12296529	291,444656	416,212616	7516,08673	7139,4887	0,97471998	533,426879
0,86	435,523669	124,703396	27,5604957	0,12303318	291,444656	416,148052	7139,6379	7136,99969	0,95256725	533,426879
0,84	435,515445	124,638832	325,592775	0,12361786	291,444656	416,083488	6828,81799	7134,39431	0,93041452	535,677412
0,82	435,507221	121,276755	339,098086	0,12647554	294,743021	416,019776	6564,90073	7180,38303	0,90939977	533,50291
0,8	435,499007	121,212214	350,232895	0,12654609	294,743021	415,955235	6338,34197	7177,50468	0,88921924	533,50291
0,78	435,490793	121,147674	360,432957	0,12720546	294,743021	415,890695	6140,13762	7174,48162	0,86503875	535,982307
0,76	435,482579	121,084092	33,5560984	0,12670423	294,743021	415,827113	5963,60578	7172,18087	0,84391485	533,578912
0,74	435,474365	121,019576	377,887597	0,12677568	294,743021	415,762597	5806,5953	7168,83923	0,82170657	533,578912
0,72	436,019703	117,651572	386,029589	0,13101162	298,046508	415,698081	5664,91412	7214,80053	0,79949828	536,266997
0,7	436,008588	117,58812	36,5612451	0,13044229	298,046508	415,634628	5535,18957	7211,99789	0,77826493	533,654884
0,68	435,99289	117,523628	397,612018	0,13051857	298,046508	415,570136	5417,38364	7208,04307	0,75602879	533,654884
0,66	435,976245	117,459135	401,964544	0,13131386	298,046508	415,505644	5309,00677	7203,85408	0,73379265	536,591483
0,64	435,962401	117,395813	37,8449622	0,13068884	298,046508	415,442322	5207,93508	7200,37368	0,7124495	533,7230828
0,62	436,146069	114,030629	409,226083	0,13526689	301,347224	415,377853	5114,91629	7246,80759	0,69018546	536,819849
0,6	436,130226	113,967402	39,3854373	0,13458716	301,347224	415,314626	5027,35759	7242,78013	0,66876012	533,806742
0,58	436,108998	113,902958	411,529858	0,13466986	301,347224	415,250182	4946,257	7237,39053	0,64646812	533,806742
0,56	436,086263	113,838513	411,371362	0,13559052	301,347224	415,185737	4870,14863	7231,62634	0,62417611	537,123954
0,54	436,066041	113,775417	39,3995446	0,13485327	301,347224	415,12264	4797,70761	7226,50673	0,60264032	533,882627
0,52	436,248292	110,40422	409,415274	0,13891297	304,654	415,05822	4730,12526	7272,89425	0,58032031	533,882627
0,5	436,220158	110,339799	406,597703	0,13992608	304,654	414,993799	4666,19681	7265,69732	0,5580003	537,427856
0,48	436,194202	110,276805	39,7812336	0,13911048	304,654	414,930805	4604,81076	7259,06911	0,53635371	533,958482
0,46	436,161171	110,212407	398,092935	0,1392023	304,654	414,866408	4547,24459	7250,65044	0,51400563	533,958482
0,44	436,125156	110,14801	392,609815	0,14027948	304,654	414,80201	4492,45317	7241,49237	0,49165756	537,731553
0,42	436,090211	110,088888	38,2031287	0,13940095	304,650286	414,739173	4439,45834	7232,62674	0,46989981	534,034309
0,4	436,04696	110,024511	378,693817	0,13949635	304,650286	414,674797	4389,57256	7221,68221	0,44752363	534,034309
0,38	435,999193	109,960135	370,513355	0,14063908	304,650286	414,610421	4341,85604	7209,63048	0,42514745	538,035047
0,36	435,951147	109,897426	35,8163921	0,13970819	304,650286	414,547712	4295,42005	7197,5465	0,40327817	534,110107
0,34	435,892043	109,833074	351,110453	0,139809	304,650286	414,483359	4251,58618	7182,733	0,38087383	534,110107
0,32	436,042405	106,461008	341,20273	0,14532905	307,957999	414,419007	4209,4885	7220,53128	0,35846949	538,338338
0,3	435,973232	106,398429	33,5923903	0,14431576	307,957999	414,356429	4168,30191	7203,09631	0,33648834	534,185875
0,28	435,88813	106,334101	316,055381	0,14443126	307,957999	414,2921	4129,34354	7181,7543	0,31405579	534,185875
0,26	435,790081	106,269773	302,189405	0,14575688	307,957999	414,227772	4091,80197	7157,31142	0,29162323	538,641425
0,24	435,681981	106,207325	29,3769797	0,1446926	307,957999	414,165325	4054,89955	7130,54225	0,26952985	534,261615
0,22	435,547803	106,13927	271,079122	0,14482998	307,96175	414,10102	4019,94178	7097,57448	0,24706903	534,261615
0,2	435,38687	106,074966	253,890036	0,14497134	307,96175	414,036716	3986,15916	7058,40637	0,22460821	534,261615
0,18	435,190736	106,010661	235,623738	0,14512465	307,96175	413,972412	3953,48425	7011,21314	0,20214739	534,261615
0,16	434,946429	105,946357	216,436828	0,14660896	307,96175	413,908108	3921,85502	6953,24575	0,17968657	539,095731
0,14	434,641775	105,884111	20,1411592	0,14550223	307,96175	413,845862	3890,55146	6882,20022	0,15742396	534,337325
0,12	434,462533	102,517242	174,660031	0,15034282	311,26434	413,781582	3860,85144	6841,02977	0,13493482	534,337325
0,1	433,891518	102,452962	151,38396	0,15063512	311,26434	413,717301	3832,03804	6712,87747	0,11244569	534,337325
0,08	433,044381	102,388682	126,606719	0,15102455	311,26434	413,653021	3804,06596	6530,78312	0,08995655	534,337325
0,06	431,656381	102,324401	100,107549	0,15160536	311,26434	413,588741	3776,89313	6251,49649	0,06746741	534,337325
0,04	428,963255	102,260121	71,503289	0,15265306	311,26434	413,524461	3750,48043	5768,31163	0,04497827	534,337325
0,02	421,443496	102,191155	0	0	311,269026	413,460181	3724,7914	4724,08844	0,02248914	0
	367,573005	103,280974	0,36573265	0,01769037	311,269026	414,55				
	367,269267	102,280974	0,40670547	0,01965362	311,269026	413,55				
	366,930397	101,15824	0,41177308	0,01987737	311,29176	412,45				
	366,587367	100,05824	0,41688167	0,02010211	311,29176	411,35				
	366,240125	98,9582396	0,46048861	0,02218018	311,29176	410,25				
	365,856044	97,7345023	0,46701899	0,02246685	311,315498	409,05				
	365,466964	96,5345023	0,4736282	0,02275589	311,315498	407,85				
	365,072813	95,3345023	0,520457	0,02497336	311,315498	406,65				
	364,639838	94,0097645	0,52883395	0,02533879	311,340235	405,35				
	364,20005	92,7097645	0,57866852	0,0276857	311,340235	404,05				
	363,719645	91,3097645	0,58888387	0,02812858	311,340235	402,65				
	363,230527	89,9077376	0,59948544	0,02858718	311,342262	401,25				
	362,734207	88,5077376	0,69764023	0,0332109	311,342262	399,85				
	362,157828	86,9077376	0,66802912	0,03173746	311,342262	398,25				
	361,606772	85,3809789	0,77278441	0,03664336	311,369021	396,75				
	360,971277	83,6809789	0,79110264	0,03742761	311,369021	395,05				
	360,322969	81,9809789	0,81029135	0,03824676	311,369021	393,35				
	359,661569	80,2769371	0,92811472	0,04370398	311,373063	391,65				
	358,906225	78,3769371	1,00478063	0,04718467	311,373063	389,75				
	358,093729	76,3769371	1,03577359	0,04849565	311,373063	387,75				
	357,261027	74,374928	1,1755072	0,05486945	311,375072	385,75				
	356,322007	72,174928	1,32856648	0,06179801	311,375072	383,55				
	355,268686	69,774928	1,44032482	0,06673311	311,375072	381,15				
	354,138399	67,2461657	1,62483203	0,07496204	311,403834	378,65				
	352,879039	64,5461657	0	0	311,403834	375,95				

Figura 22. Datos de un crizado de circuitos = 12 pasos.

x

U	dT	dP	dL	T_ext	T_int	alf_ann	alf_inn	jj	dq	
1	435,582422	128,45	7,75427988	0,09558216	288,15	416,6	7106,05311	0,88610907	426,741503	
0,98	435,574598	128,398349	9,43713493	0,09562233	288,15	416,548349	14712,2424	7104,1352	0,86838689	426,741503
0,96	435,566449	128,346698	10,7381246	0,0956626	288,15	416,496698	11677,1145	7102,13867	0,85066471	426,741503
0,94	435,557954	128,295046	11,886387	0,09570298	288,15	416,445046	10200,8991	7100,05857	0,83294252	426,741503
0,92	435,549091	128,243395	12,9248087	0,09574347	288,15	416,393395	9268,13193	7097,88954	0,81522034	426,741503
0,9	435,539835	128,191744	13,8731984	0,09578409	288,15	416,341744	8603,77153	7095,62576	0,79749816	426,741503
0,88	435,530161	128,140093	14,7430399	0,09582482	288,15	416,290093	8096,45899	7093,26089	0,77977598	426,741503
0,86	435,520038	128,088442	15,5418371	0,09586569	288,15	416,238442	7690,94179	7090,78799	0,7620538	426,741503
0,84	435,509434	128,03679	16,2748723	0,0959067	288,15	416,18679	7356,12118	7088,19949	0,74433162	426,741503
0,82	435,498316	127,985139	16,9460579	0,09594785	288,15	416,135139	7074,90841	7085,48709	0,72660944	426,741503
0,8	435,486643	127,933488	17,567605	0,09598916	288,15	416,083488	6828,81799	7082,64167	0,70888726	426,741503
0,78	435,474375	127,881837	18,1477625	0,09603047	288,15	416,031837	6615,27611	7079,65321	0,69116507	426,741503
0,76	436,043897	117,926506	266,677279	0,10401633	298,054446	415,980951	6425,17936	7220,90825	0,67428662	426,802328
0,74	436,030551	117,874874	272,984332	0,10406508	298,054446	415,929319	6256,01652	7217,53786	0,65654223	426,802328
0,72	436,016466	117,823242	278,545888	0,10411405	298,054446	415,877687	6103,36945	7213,98421	0,63879785	426,802328
0,7	436,00158	117,77161	283,49022	0,10470669	298,054446	415,826055	5964,60816	7210,23193	0,62105346	429,029051
0,68	435,989597	117,720857	21,838895	0,10422587	298,054446	415,775302	5836,68183	7207,21398	0,60406537	426,86313
0,66	435,979292	117,669244	291,361097	0,10427557	298,054446	415,723689	5719,91673	7203,01798	0,58629874	426,86313
0,64	435,95206	117,617631	294,205665	0,10491447	298,054446	415,672076	5611,9679	7198,56596	0,56853211	429,27271
0,62	435,94023	117,566982	22,5252863	0,10438896	298,054446	415,621427	5510,80516	7194,80594	0,55145629	426,923908
0,6	435,920166	117,515388	297,919205	0,1044396	298,054446	415,569833	5417,38364	7189,77457	0,53366738	426,923908
0,58	435,898726	117,463794	298,594776	0,10449061	298,054446	415,51824	5329,9912	7184,40528	0,51587847	426,923908
0,56	435,875763	117,4122	298,741315	0,10519169	298,054446	415,466646	5247,97829	7178,66283	0,49808956	429,576959
0,54	435,855152	117,361684	22,7068193	0,10460686	298,054446	415,416129	5169,9196	7173,51572	0,48090342	426,984662
0,52	435,828662	117,310109	297,053943	0,10465921	298,054446	415,364555	5097,09413	7166,91088	0,46309218	426,984662
0,5	436,424679	107,349351	297,101434	0,11421416	307,963629	415,31298	5028,20604	7318,32246	0,44528094	426,984662
0,48	436,394299	107,297776	294,596409	0,11505218	307,963629	415,261405	4962,89727	7310,46032	0,4274697	429,880998
0,46	436,366031	107,247392	24,0812171	0,11435437	307,963629	415,211021	4900,02759	7303,15903	0,41017287	427,045393
0,44	436,330115	107,195837	287,512694	0,11441879	307,963629	415,159466	4840,98537	7293,90192	0,39233927	427,045393
0,42	436,290803	107,144281	282,833451	0,11448416	307,963629	415,10791	4784,68973	7283,79454	0,37450567	427,045393
0,4	436,247588	107,092726	277,65167	0,11539274	307,963629	415,056355	4730,92462	7272,71409	0,35667206	430,184827
0,38	436,204914	107,042474	22,5057694	0,1146319	307,963629	415,006103	4678,70678	7261,80315	0,33926418	427,106101
0,36	436,152028	106,990938	265,130079	0,11470102	307,963629	414,954567	4629,45358	7248,32347	0,32140817	427,106101
0,34	436,092973	106,939402	257,728661	0,11477184	307,963629	414,90303	4582,21096	7233,32684	0,30355216	427,106101
0,32	436,026605	106,887865	249,798604	0,11575414	307,963629	414,851494	4536,83956	7216,54192	0,28569615	430,488446
0,3	435,95701	106,837717	20,0151794	0,11493323	307,963629	414,801345	4492,45317	7199,01904	0,26817685	427,166786
0,28	435,871421	106,786199	231,659882	0,11501126	307,963629	414,749827	4450,46517	7177,57779	0,2502984	427,166786
0,26	435,772811	106,73468	221,414807	0,11509281	307,963629	414,698309	4410,00416	7153,02222	0,23241994	427,166786
0,24	436,346349	96,7814119	212,190669	0,12676244	317,865379	414,646791	4370,97553	7298,08339	0,21454148	427,166786
0,22	436,213695	96,7298939	200,511129	0,12796318	317,865379	414,595273	4333,29283	7264,04587	0,19666303	430,852517
0,2	436,062087	96,6799356	17,0897508	0,12699624	317,865379	414,543513	4296,1489	7225,50637	0,17900945	427,227447
0,18	435,868914	96,6284343	174,540529	0,12712024	317,865379	414,493814	4260,93298	7176,95156	0,16110851	427,227447
0,16	435,628294	96,5769333	160,243377	0,12725829	317,865379	414,442313	4226,84405	7117,317	0,14320756	427,227447
0,14	435,320289	96,5254322	145,058618	0,12741627	317,865379	414,390812	4193,82048	7042,3195	0,12530662	427,227447
0,12	434,911962	96,4739311	128,931045	0,12760398	317,865379	414,33931	4161,80534	6945,13958	0,10740567	427,227447
0,1	434,34471	96,4224301	111,785806	0,12783888	317,865379	414,287809	4130,74593	6814,21564	0,08950473	427,227447
0,08	433,503175	96,370929	93,5161059	0,12815549	317,865379	414,236308	4100,59343	6628,24608	0,07160378	427,227447
0,06	432,1244	96,3194279	73,9577116	0,12863314	317,865379	414,184807	4071,30247	6343,15817	0,05370284	427,227447
0,04	429,449288	96,2679268	52,8257984	0,12950366	317,865379	414,133306	4042,8309	5850,33641	0,03580189	427,227447
0,02	421,979694	96,2164258	0	0	317,865379	414,081805	4015,1394	4786,90127	0,01790095	0
367,754752	97,2846206	0,31040649	0,01502264	317,865379	415,15					
367,451835	96,2846206	0,34538156	0,01669972	317,865379	414,15					
367,115575	95,1846206	0,3498333	0,01689722	317,865379	413,05					
366,774382	94,0846206	0,38661656	0,01865383	317,865379	411,95					
366,398535	92,8846206	0,39221881	0,01890146	317,865379	410,75					
366,016179	91,6846206	0,39799431	0,01915625	317,865379	409,55					
365,629662	90,4203739	0,40423444	0,01943215	317,929626	408,35					
365,237294	89,2203739	0,44456967	0,02134365	317,929626	407,15					
364,8071	87,9203739	0,45202179	0,02167047	317,929626	405,85					
364,370133	86,6203739	0,49508463	0,02370027	317,929626	404,55					
363,891929	85,2203739	0,50435389	0,02410506	317,929626	403,15					
363,405879	83,8203739	0,55067843	0,02627556	317,929626	401,75					
362,877379	82,3203739	0,56217009	0,0267751	317,929626	400,25					
362,338974	80,7399813	0,61302156	0,02914256	318,010019	398,75					
361,754977	79,1399813	0,66647209	0,03161877	318,010019	397,15					
361,12187	77,4399813	0,68334603	0,03234688	318,010019	395,45					
360,476848	75,7399813	0,74229647	0,03505662	318,010019	393,75					
359,778917	73,9399813	0,805612	0,03795158	318,010019	391,95					
359,026586	72,0399813	0,87395151	0,04105889	318,010019	390,05					
358,216436	70,0399813	0,94809786	0,04441068	318,010019	388,05					
357,34477	67,8321673	1,03061961	0,04812146	318,117833	385,95					
356,408448	65,6321673	1,16822306	0,05435716	318,117833	383,75					
355,358074	63,2321673	1,32163361	0,06125434	318,117833	381,35					
354,184681	60,6321673	1,44126446	0,06650463	318,117833	378,75					
352,926592	57,9321673	0	0	318,117833	376,05					

Figura 23. Datos: Inno cruzado, 10 circuitos - 4 pasos

x	U	dT	dP	dL	T_ext	T_int	alf_ann	alf_inn	jj	dq
1	435,582422	128,45	7,75427988	0,09558216	288,15	416,6		7106,05311	0,88610907	426,741503
0,98	435,574598	128,398349	9,43713493	0,09562233	288,15	416,548349	14712,2424	7104,1352	0,86838689	426,741503
0,96	435,566449	128,346698	10,7381246	0,0956626	288,15	416,496698	11677,1145	7102,13867	0,85066471	426,741503
0,94	435,557954	128,295046	11,886387	0,09570298	288,15	416,445046	10200,8991	7100,05857	0,83294252	426,741503
0,92	435,549031	128,243395	12,9248087	0,09574347	288,15	416,393395	9268,13193	7097,88954	0,81522034	426,741503
0,9	435,539835	128,191744	13,8731984	0,09578409	288,15	416,341744	8603,77153	7095,62576	0,79749816	426,741503
0,88	435,530161	128,140093	14,7430399	0,09582482	288,15	416,290093	8096,45899	7093,26089	0,77977598	426,741503
0,86	435,520038	128,088442	15,5418371	0,09586569	288,15	416,238442	7690,94179	7090,78799	0,7620538	426,741503
0,84	435,509434	128,03679	16,2748723	0,0959067	288,15	416,18679	7356,12118	7088,19949	0,74433162	426,741503
0,82	435,498316	127,985139	16,9460579	0,09594785	288,15	416,135139	7071,90841	7085,48709	0,72660944	426,741503
0,8	435,96558	119,682899	231,057411	0,10249386	296,400589	416,083488	6828,81799	7201,17246	0,70888726	426,741503
0,78	435,953486	119,631248	258,992334	0,10301722	296,400589	416,031837	6615,27611	7198,13399	0,69116507	426,741503
0,76	435,944667	119,580363	19,9134301	0,10260109	296,400589	415,980951	6425,17936	7195,91954	0,67428662	426,802328
0,74	435,93128	119,528731	272,702912	0,10264856	296,400589	415,929319	6256,01652	7192,56082	0,65654223	426,802328
0,72	435,917153	119,477099	278,258486	0,10269625	296,400589	415,877687	6103,36945	7189,01946	0,63879785	426,802328
0,7	435,902222	119,425466	283,196051	0,1032802	296,400589	415,826055	5964,60816	7185,28016	0,62105346	429,029051
0,68	435,890119	119,374713	21,5412467	0,10280534	296,400589	415,775302	5836,68183	7182,25177	0,60406537	426,86313
0,66	435,873392	119,3231	291,059658	0,10285376	296,400589	415,723689	5719,91673	7178,07029	0,58629874	426,86313
0,64	435,855625	119,271487	293,899428	0,10348333	296,400589	415,672076	5611,9679	7173,63369	0,56853211	429,27271
0,62	435,840519	119,220839	22,2178926	0,1029644	296,400589	415,621427	5510,80516	7169,86581	0,55145629	426,923908
0,6	435,820395	119,169245	297,610141	0,10301374	296,400589	415,569833	5417,38364	7164,85188	0,53366738	426,923908
0,58	436,308237	110,865842	299,923121	0,11060524	304,652397	415,51824	5329,9912	7288,27378	0,51587847	426,923908
0,56	436,285559	110,814248	300,079162	0,11135019	304,652397	415,466646	5247,97829	7282,44831	0,49808956	429,876959
0,54	436,265558	110,763732	24,0367813	0,11073379	304,652397	415,416129	5169,9196	7277,31779	0,48090342	426,984662
0,52	436,239397	110,712157	298,379199	0,11079202	304,652397	415,364555	5097,09413	7270,61738	0,46309218	426,984662
0,5	436,211156	110,660582	296,379545	0,11085083	304,652397	415,31298	5028,20604	7263,39708	0,44528094	426,984662
0,48	436,180576	110,609008	293,87546	0,11166263	304,652397	415,261405	4962,89727	7255,59395	0,4274697	429,880998
0,46	436,151927	110,558624	23,3714518	0,11098391	304,652397	415,211021	4900,02759	7248,29772	0,41017287	427,045393
0,44	436,115774	110,507068	286,812013	0,1110449	304,652397	415,159466	4840,98537	7239,11015	0,39233927	427,045393
0,42	436,076203	110,455513	282,143498	0,11110681	304,652397	415,10791	4784,68973	7229,07869	0,37450567	427,045393
0,4	436,032704	110,403957	276,969123	0,11198705	304,652397	415,056355	4730,92462	7218,08148	0,35667206	430,184827
0,38	435,989553	110,353706	21,8412532	0,11124722	304,652397	415,006103	4678,70678	7207,20294	0,33926418	427,106101
0,36	436,484029	102,045671	266,176868	0,12016811	312,908896	414,954567	4629,45358	7333,72744	0,32140817	427,106101
0,34	436,425573	101,994135	258,747293	0,12024494	312,908896	414,903003	4582,21096	7318,55412	0,30355216	427,106101
0,32	436,359878	101,942598	250,794113	0,12127671	312,908896	414,851494	4536,83956	7301,57142	0,28569615	430,488446
0,3	436,291303	101,89245	20,9705196	0,12041909	312,908896	414,801345	4492,45317	7283,92301	0,26817685	427,166786
0,28	436,206582	101,840932	232,578509	0,1205034	312,908896	414,749827	4450,46517	7262,22889	0,2502984	427,166786
0,26	436,108971	101,789414	222,293783	0,12059138	312,908896	414,698309	4410,00416	7237,38371	0,23241994	427,166786
0,24	435,995288	101,737896	211,267241	0,1206839	312,908896	414,646791	4370,97553	7208,64703	0,21454148	427,166786
0,22	435,861205	101,686378	199,630628	0,12182434	312,908896	414,595273	4333,29283	7175,02663	0,19666303	430,852517
0,2	435,707609	101,636419	16,2695639	0,12090132	312,908896	414,543515	4296,1489	7136,87175	0,17900945	427,227447
0,18	435,512356	101,584918	173,77804	0,12101685	312,908896	414,493814	4260,93298	7088,91255	0,16110851	427,227447
0,16	435,269148	101,533417	159,542381	0,12114589	312,908896	414,442313	4226,84405	7030,00953	0,14320756	427,227447
0,14	435,569396	93,228907	145,518467	0,13184621	321,161911	414,390812	4193,82048	7102,86066	0,12530662	427,227447
0,12	435,164083	93,1773997	129,340454	0,13204195	321,161911	414,33931	4161,80534	7004,8453	0,10740567	427,227447
0,1	434,601008	93,1258986	112,141456	0,13228614	321,161911	414,287809	4130,74593	6872,79585	0,08950473	427,227447
0,08	433,765648	93,0743975	93,8143308	0,13261424	321,161911	414,236308	4100,59343	6685,22755	0,07160378	427,227447
0,06	432,396934	93,0228964	74,1943185	0,13310767	321,161911	414,184807	4071,30247	6397,6888	0,05370284	427,227447
0,04	429,741147	92,9713954	52,9956861	0,13400447	321,161911	414,133306	4042,8309	5900,63037	0,03580189	427,227447
0,02	422,324137	92,9198943	0	0	321,161911	414,081805	4015,1394	4828,05313	0,01790095	0
367,784816	94,0880892	0,35299677	0,01708544	321,161911	415,25					
367,451835	92,9880892	0,35762572	0,01729174	321,161911	414,15					
367,115575	91,8880892	0,36238375	0,01750341	321,161911	413,05					
366,774382	90,7880892	0,40065468	0,01933116	321,161911	411,95					
366,398535	89,5880892	0,37277382	0,01796438	321,161911	410,75					
366,048604	88,436969	0,44692025	0,02151338	321,213031	409,65					
365,629662	87,136969	0,41946638	0,02016437	321,213031	408,35					
365,237294	85,936969	0,4615554	0,02215913	321,213031	407,15					
364,8071	84,636969	0,46955751	0,02251115	321,213031	405,85					
364,370133	83,336969	0,51459054	0,02463404	321,213031	404,55					
363,891929	81,936969	0,52456452	0,02507101	321,213031	403,15					
363,405879	80,476158	0,57356207	0,02736745	321,273842	401,75					
362,877379	78,976158	0,58597497	0,02790888	321,273842	400,25					
362,338974	77,476158	0,63884621	0,03037024	321,273842	398,75					
361,754977	75,876158	0,69514048	0,03297886	321,273842	397,15					
361,12187	74,176158	0,71341392	0,03377018	321,273842	395,45					
360,476848	72,476158	0,77572435	0,03663533	321,273842	393,75					
359,778917	70,601637	0,84370474	0,03974609	321,348363	391,95					
359,026586	68,701637	0,91641849	0,04305402	321,348363	390,05					
358,216436	66,701637	0,99554913	0,04663339	321,348363	388,05					
357,34477	64,601637	1,08215774	0,05052787	321,348363	385,95					
356,408448	62,401637	1,22870192	0,05717123	321,348363	383,75					
355,358074	60,001637	1,39279129	0,06455232	321,348363	381,35					
354,184681	57,3037319	1,524979	0,07036749	321,446268	378,75					
352,926592	54,6037319	0	0	321,446268	376,05					

Figura 24. Datos: Anillo cruzado, 10 circuitos - 3 pasos

x

U	dT	dP	dL	T_ext	T_int	alf_ann	alf_inn	jj	dq	
1	435,582422	128,45	7,75427988	0,09558216	288,15	416,6	7106,05311	0,88610907	426,741503	
0,98	435,574598	128,398349	9,43713493	0,09562233	288,15	416,548349	14712,2424	7104,1352	0,86838689	426,741503
0,96	435,566449	128,346698	10,7381246	0,0956626	288,15	416,496698	11677,1145	7102,13867	0,85066471	426,741503
0,94	435,557954	128,295046	11,886387	0,09570298	288,15	416,445046	10200,8991	7100,05857	0,83294252	426,741503
0,92	435,549091	128,243395	12,9248087	0,09574347	288,15	416,393395	9268,13193	7097,88954	0,81522034	426,741503
0,9	435,539835	128,191744	13,8731984	0,09578409	288,15	416,341744	8603,77153	7095,62576	0,79749816	426,741503
0,88	435,530161	128,140093	14,7430399	0,09582482	288,15	416,290093	8096,45899	7093,26089	0,77977598	426,741503
0,86	435,520038	128,088442	15,5418371	0,09586569	288,15	416,238442	7690,94179	7090,78799	0,7620538	426,741503
0,84	435,889898	121,4433	17,1435032	0,10102548	294,743491	416,18679	7356,12118	7182,19638	0,74433162	426,741503
0,82	435,878905	121,391648	17,8508977	0,10107102	294,743491	416,135139	7074,90841	7179,44801	0,72660944	426,741503
0,8	435,867365	121,339997	18,505554	0,10111672	294,743491	416,083488	6828,81799	7176,56486	0,70888726	426,741503
0,78	435,855236	121,288346	19,163266	0,10163266	294,743491	416,031837	6615,27611	7173,53676	0,69116507	426,744404
0,76	435,846309	121,237461	19,6456818	0,10122155	294,743491	415,980951	6425,17936	7171,30958	0,67428662	426,802328
0,74	435,832882	121,185829	20,2428598	0,1012678	294,743491	415,929319	6256,01652	7167,96234	0,65654223	426,802328
0,72	435,818713	121,134197	20,7978344	0,10131425	294,743491	415,877687	6103,36945	7164,4331	0,63879785	426,802328
0,7	435,803738	121,082565	21,2909316	0,10188976	294,743491	415,826055	5964,60816	7160,70659	0,62105346	429,029051
0,68	435,791517	121,031812	21,7511235	0,10142073	294,743491	415,775302	5836,68183	7157,66826	0,60406537	426,86313
0,66	436,174481	114,374588	21,987413	0,10722974	301,349101	415,723689	5719,91673	7254,0406	0,58629874	426,86313
0,64	436,156875	114,322975	22,484196	0,10788808	301,349101	415,672076	5611,9679	7249,55704	0,56853211	429,27271
0,62	436,142163	114,272326	22,9639968	0,10734894	301,349101	415,621427	5510,80516	7245,81426	0,55145629	426,923908
0,6	436,122222	114,220732	23,431399	0,10740234	301,349101	415,569833	5417,38364	7240,74722	0,53366738	426,923908
0,58	436,100914	114,169138	23,8929005	0,10745612	301,349101	415,51824	5329,9912	7235,33986	0,51587847	426,923908
0,56	436,078091	114,117545	24,3490144	0,1074844	301,349101	415,466646	5247,97829	7229,55671	0,49808956	429,767959
0,54	436,057779	114,067028	24,8051857	0,10757826	301,349101	415,416129	5169,9196	7224,41692	0,48090342	426,984662
0,52	436,031452	114,015453	25,266649	0,10763342	301,349101	415,364555	5097,09413	7217,76521	0,46309218	426,984662
0,5	436,003031	113,963879	25,700935	0,10768915	301,349101	415,31298	5028,20604	7210,5974	0,44528094	426,984662
0,48	436,393689	107,30712	26,1594312	0,11504233	307,954286	415,261405	4962,89727	7310,30257	0,4274697	429,808998
0,46	436,36542	107,256736	26,6091531	0,11434457	307,954286	415,211021	4900,02759	7303,00129	0,41017287	427,045393
0,44	436,329503	107,205118	27,060657	0,11440898	307,954286	415,159466	4840,98537	7293,74438	0,39233927	427,045393
0,42	436,29019	107,153625	27,51444	0,11447434	307,954286	415,10791	4784,68973	7283,63722	0,37450567	427,045393
0,4	436,246975	107,102069	27,969685	0,11538284	307,954286	415,056355	4730,92462	7272,55701	0,35667206	430,184827
0,38	436,204299	107,051818	28,43369	0,11462206	307,954286	415,006103	4678,70678	7261,64615	0,33926418	427,106101
0,36	436,151412	107,000281	28,898193	0,11469117	307,954286	414,954567	4629,45358	7248,16676	0,32140817	427,106101
0,34	436,092356	106,948745	29,36825	0,11476198	307,954286	414,90303	4582,21096	7233,17046	0,30355216	427,106101
0,32	436,025987	106,897208	29,843681	0,11574418	307,954286	414,851494	4536,83956	7216,3859	0,28569615	430,488446
0,3	436,405449	100,245122	30,32475156	0,12236592	314,556223	414,801345	4492,45317	7313,34404	0,26817685	427,166786
0,28	436,321024	100,193604	30,80524	0,12245253	314,556223	414,749827	4450,46517	7291,5623	0,2502984	427,166786
0,26	436,223756	100,142086	31,2865735	0,12254284	314,556223	414,698309	4410,00416	7266,61676	0,23241994	427,166786
0,24	436,11047	100,090568	31,769065	0,12263776	314,556223	414,646791	4370,97553	7237,76401	0,21454148	427,166786
0,22	435,976856	100,03905	32,2523648	0,12379755	314,556223	414,595273	4333,29283	7204,00781	0,19666303	430,852517
0,2	435,82391	99,9890913	32,7363193	0,12286039	314,556223	414,543513	4296,1489	7165,72711	0,17900945	427,227447
0,18	435,629339	99,9375902	33,2202312	0,12297861	314,556223	414,493814	4260,93298	7117,57401	0,16110851	427,227447
0,16	435,386979	99,8860892	33,704692	0,1231105	314,556223	414,442313	4226,84405	7058,43284	0,14320756	427,227447
0,14	435,076751	99,8345881	34,1897368	0,12326184	314,556223	414,390812	4193,82048	6984,05582	0,12530662	427,227447
0,12	435,163938	93,1792755	34,674213	0,13203934	321,160035	414,33931	4161,80534	7004,81059	0,10740567	427,227447
0,1	434,60086	93,1277744	35,158246	0,13228352	321,160035	414,287809	4130,74593	6872,76179	0,08950473	427,227447
0,08	433,765497	93,0762734	35,642551	0,13261162	321,160035	414,236308	4100,59343	6685,19442	0,07160378	427,227447
0,06	432,396777	93,0247723	36,126791	0,13310504	321,160035	414,184807	4071,30247	6397,6571	0,05370284	427,227447
0,04	429,740978	92,9732712	36,611586	0,13400181	321,160035	414,133306	4042,8309	5900,60113	0,03580189	427,227447
0,02	422,323939	92,9217702	0	0	321,160035	414,081805	4015,1394	4828,0292	0,01790095	0
367,754752	93,989965	0,32128725	0,01554923	321,160035	415,15					
367,451835	92,989965	0,35761851	0,01729139	321,160035	414,15					
367,115575	91,889965	0,36237635	0,01750306	321,160035	413,05					
366,774382	90,789965	0,4006464	0,01933076	321,160035	411,95					
366,398535	89,5503479	0,40682249	0,01960523	321,199652	410,75					
366,016179	88,3503479	0,41301431	0,01987919	321,199652	409,55					
365,629662	87,1503479	0,41940198	0,02016128	321,199652	408,35					
365,237294	85,9503479	0,46148355	0,02215568	321,199652	407,15					
364,8071	84,6503479	0,4694833	0,0225076	321,199652	405,85					
364,370133	83,3058967	0,51478248	0,02464323	321,244103	404,55					
363,891929	81,9058967	0,52476352	0,02508052	321,244103	403,15					
363,405879	80,5058967	0,5733502	0,02735734	321,244103	401,75					
362,877379	79,0058967	0,5857544	0,02789838	321,244103	400,25					
362,338974	77,5058967	0,63860108	0,03035859	321,244103	398,75					
361,754977	75,8541778	0,69534191	0,03298841	321,295822	397,15					
361,12187	74,1541778	0,71362539	0,03378019	321,295822	395,45					
360,476848	72,4541778	0,77595968	0,03664644	321,295822	393,75					
359,778917	70,6541778	0,84307734	0,03971653	321,295822	391,95					
359,026586	68,7541778	0,91571818	0,04302112	321,295822	390,05					
358,216436	66,6935987	0,99566912	0,04663901	321,356401	388,05					
357,34477	64,5935987	1,08229241	0,05053416	321,356401	385,95					
356,408448	62,3935987	1,22886021	0,05717859	321,356401	383,75					
355,358074	59,9935987	1,39297791	0,06456097	321,356401	381,35					
354,184681	57,3935987	1,52259119	0,07025731	321,356401	378,75					
352,926592	54,6176902	0	0	321,43231	376,05					

Figura 25 Datos tipo cruzado 10 circuitos - 6 pasos

x

U	dT	dP	dL	T_ext	T_int	alf_ann	alf_inn	jj	dq	
1	435,582422	128,45	7,75427988	0,09558216	288,15	416,6	7106,05311	0,88610907	426,741503	
0,98	435,574598	128,398349	9,43713493	0,09562233	288,15	416,548349	14712,2424	7104,1352	0,86838689	426,741503
0,96	435,566449	128,346698	10,7381246	0,09566626	288,15	416,496698	11677,1145	7102,13867	0,85066471	426,741503
0,94	435,557954	128,295046	11,886387	0,09570298	288,15	416,445046	10200,8991	7100,05857	0,83294252	426,741503
0,92	435,54902	128,243395	12,9248087	0,09574347	288,15	416,393395	9268,13193	7097,88954	0,81522034	426,741503
0,9	435,539835	128,191744	13,8731984	0,09578409	288,15	416,341744	8603,77153	7095,62576	0,79749816	426,741503
0,88	435,530161	128,140093	14,7430399	0,09582482	288,15	416,290093	8096,45899	7093,26089	0,77977598	426,741503
0,86	435,851986	122,31885	16,2625265	0,10031107	293,919592	416,238442	7690,94179	7172,72573	0,7620538	426,741503
0,84	435,841488	122,267198	17,0298729	0,10035587	293,919592	416,18679	7356,12118	7170,10732	0,74433162	426,741503
0,82	435,830479	122,215547	17,732528	0,10040081	293,919592	416,135139	7072,90841	7167,36357	0,72660944	426,741503
0,8	435,818923	122,163896	18,445999	0,10044594	293,919592	416,083488	6828,11996	7164,61459	0,70889926	426,741503
0,78	435,806776	122,112245	19,1603933	0,10095816	293,919592	416,031837	6615,27611	7161,46228	0,69116507	428,724404
0,76	435,797796	122,06136	19,5152481	0,10054951	293,919592	415,980951	6425,17936	7159,22897	0,67428662	426,802328
0,74	435,78435	122,009727	20,2294966	0,10059516	293,919592	415,929319	6256,01652	7155,88737	0,65654223	426,802328
0,72	435,77016	121,958095	21,7841874	0,10064103	293,919592	415,877687	6103,36945	7152,36407	0,63879785	426,802328
0,7	436,101254	116,130459	23,790359	0,10616213	299,695596	415,826055	5964,60816	7235,42626	0,62105346	429,029051
0,68	436,089392	116,079706	22,142588	0,10567524	299,695596	415,775302	5836,68183	7232,41924	0,60406537	426,86313
0,66	436,072766	116,028054	21,668662	0,10572628	299,695596	415,723689	5719,91673	7228,20856	0,58629874	426,86313
0,64	436,055106	115,97648	20,9451828	0,10637471	299,695596	415,672076	5611,9679	7223,74097	0,56853211	429,27271
0,62	436,040259	115,925831	20,2839341	0,1058425	299,695596	415,621427	5510,80516	7219,98927	0,55145629	426,923908
0,6	436,020257	115,874237	19,8234562	0,10589448	299,695596	415,569833	5417,38364	7214,94029	0,53366738	426,923908
0,58	435,998882	115,822643	19,291113	0,10594685	299,695596	415,51824	5329,9912	7209,5522	0,51587847	426,923908
0,56	435,975988	115,771049	18,7905926	0,10665835	299,695596	415,466646	5247,97829	7203,78966	0,49808956	429,576959
0,54	436,31804	109,941241	19,980261	0,11154879	305,474888	415,416129	5169,9196	7290,79469	0,48090342	426,984662
0,52	436,291922	109,889666	19,555489	0,11160783	305,474888	415,364555	5097,09413	7284,08187	0,46309218	426,984662
0,5	436,263726	109,838092	19,166745	0,11166745	305,474888	415,31298	5028,20604	7276,84821	0,44528094	426,984662
0,48	436,233195	109,786517	18,8050504	0,1124856	305,474888	415,261405	4962,89727	7269,03062	0,4274697	429,880998
0,46	436,204639	109,736133	18,4537793	0,11180224	305,474888	415,211021	4900,02759	7261,73297	0,41017287	427,045393
0,44	436,168545	109,684577	18,1186405	0,11186405	305,474888	415,159466	4840,98537	7252,52838	0,39233927	427,045393
0,42	436,129038	109,633022	17,811012	0,11192679	305,474888	415,10791	4784,68973	7242,47833	0,37450567	427,045393
0,4	436,085609	109,581466	17,534836	0,11281391	305,474888	415,056355	4730,92462	7231,46073	0,35667206	430,184827
0,38	436,0423899	103,755051	17,2547281	0,11820461	311,251052	415,006103	4678,70678	7318,12043	0,33926418	427,106101
0,36	436,371367	103,703514	16,814888	0,11827759	311,251052	414,954567	4629,45358	7304,53621	0,32140817	427,106101
0,34	436,312708	103,651978	16,4395044	0,11835231	311,251052	414,90303	4582,21096	7289,42328	0,30355216	427,106101
0,32	436,246784	103,600442	16,049855	0,11936694	311,251052	414,851494	4536,83956	7272,50818	0,28569615	430,488446
0,3	436,177862	103,550293	15,6401476	0,11852199	311,251052	414,801345	4492,45317	7254,90214	0,26817685	427,166786
0,28	436,092846	103,498775	15,260828	0,1186041	311,251052	414,749827	4450,46517	7233,29446	0,2502984	427,166786
0,26	435,994896	103,447257	14,9198981	0,11868983	311,251052	414,698309	4410,00416	7208,54827	0,23241994	427,166786
0,24	435,880818	103,395739	14,578015	0,11878005	311,251052	414,646791	4370,97553	7179,92608	0,21454148	427,166786
0,22	436,153762	97,5591853	14,2357614	0,12689288	317,036088	414,595273	4333,29283	7248,76463	0,19666303	430,852517
0,2	436,001814	97,5092269	13,9467492	0,12593358	317,036088	414,545315	4296,1489	7210,29076	0,17900945	427,227447
0,18	435,808287	97,4577258	13,6407585	0,12605608	317,036088	414,493814	4260,93298	7161,8382	0,16110851	427,227447
0,16	435,567226	97,4062248	13,3211152	0,12619253	317,036088	414,442313	4226,84405	7102,32922	0,14320756	427,227447
0,14	435,258659	97,3547237	13,0497809	0,1263488	317,036088	414,390812	4193,82048	7027,48965	0,12530662	427,227447
0,12	434,849587	97,3032226	12,7832392	0,12653459	317,036088	414,33931	4161,80534	6930,51437	0,10740567	427,227447
0,1	434,281302	97,2517216	11,700109	0,12676727	317,036088	414,287809	4130,74593	6799,86614	0,08950473	427,227447
0,08	433,438241	97,2002205	11,444247	0,12708113	317,036088	414,236308	4100,59343	6614,2882	0,07160378	427,227447
0,06	432,535852	91,3765066	74,3188352	0,13546244	322,808301	414,184807	4071,30247	6425,82	0,05370284	427,227447
0,04	429,889926	91,3250055	53,0850912	0,13637306	322,808301	414,133306	4042,8309	5926,57596	0,03580189	427,227447
0,02	422,499759	91,2735044	0	0	322,808301	414,081805	4015,1394	4849,2825	0,01790095	0
	367,754752	92,3416993	0,32702211	0,01582678	322,808301	415,15				
	367,451835	91,3416993	0,36407175	0,01760341	322,808301	414,15				
	367,115575	90,2416993	0,4025285	0,01944243	322,808301	413,05				
	366,743417	89,0127837	0,37464965	0,01807466	322,837216	411,85				
	366,398535	87,9127837	0,41440043	0,01997042	322,837216	410,75				
	366,016179	86,7127837	0,42081405	0,02025461	322,837216	409,55				
	365,629662	85,5127837	0,4274335	0,02054737	322,837216	408,35				
	365,237294	84,2822761	0,470617	0,02259417	322,867724	407,15				
	364,8071	82,9822761	0,51574783	0,02472557	322,867724	405,85				
	364,336179	81,5822761	0,48820062	0,02336807	322,867724	404,45				
	363,891929	80,2822761	0,57360394	0,02741479	322,867724	403,15				
	363,371038	78,747715	0,5471799	0,0261055	322,902285	401,65				
	362,877379	77,347715	0,59831182	0,02849647	322,902285	400,25				
	362,338974	75,847715	0,65256217	0,03102229	322,902285	398,75				
	361,754977	74,247715	0,71038669	0,03370217	322,902285	397,15				
	361,12187	72,5107601	0,72979933	0,0345458	322,93924	395,45				
	360,476848	70,8107601	0,79396861	0,03749695	322,93924	393,75				
	359,778917	69,0107601	0,86315433	0,04066234	322,93924	391,95				
	359,026586	67,1107601	0,93814241	0,04407463	322,93924	390,05				
	358,216436	65,1050993	1,01996245	0,04777696	322,944901	388,05				
	357,34477	63,0050993	1,10957942	0,05180824	322,944901	385,95				
	356,408448	60,8050993	1,26096351	0,05867235	322,944901	383,75				
	355,358074	58,4050993	1,43086406	0,0663169	322,944901	381,35				
	354,184681	55,7616935	1,56715089	0,07231344	322,988307	378,75				
	352,926592	53,0616935	1,84367246	0,08466839	322,988307	376,05				
	351,477872	50,0616935	0	0	322,988307	373,05				

Figure 26. Dates, fluorence of circuits 7 and 8

x	U	dT	dP	dL	T_ext	T_int	alf_ann	alf_inn	jj	dq
1	435,582422	128,45	7,75427988	0,09558216	288,15	416,6		7106,05311	0,88610907	426,741503
0,98	435,574598	128,398349	9,43713493	0,09562233	288,15	416,548349	14712,2424	7104,1352	0,86838689	426,741503
0,96	435,566449	128,346698	10,7381246	0,0956626	288,15	416,496698	11677,1145	7102,13867	0,85066471	426,741503
0,94	435,557954	128,295046	11,886387	0,09570298	288,15	416,445046	10200,8991	7100,05857	0,83294252	426,741503
0,92	435,549051	128,243395	12,9248087	0,09574347	288,15	416,393395	9268,13193	7097,88954	0,81522034	426,741503
0,9	435,539835	128,191744	13,8731984	0,09578409	288,15	416,341744	8603,77153	7095,62576	0,79749816	426,741503
0,88	435,531366	123,198109	15,3244686	0,09960391	293,091983	416,290093	8096,45899	7163,17685	0,77977598	426,741503
0,86	435,523062	123,146458	16,1550262	0,09964799	293,091983	416,238442	7690,94179	7160,67958	0,7620538	426,741503
0,84	435,514816	123,094807	16,9172528	0,0996922	293,091983	416,18679	7356,12118	7158,06556	0,74433162	426,741503
0,82	435,506361	123,043156	17,6152119	0,09973658	293,091983	416,135139	7074,90841	7155,32643	0,72660944	426,741503
0,8	435,497915	122,991505	250,56125	0,09978111	293,091983	416,083488	6828,81799	7152,45296	0,70888726	426,741503
0,78	435,489469	122,939853	258,477836	0,10028967	293,091983	416,031837	6615,27611	7149,43504	0,69116507	426,744404
0,76	435,481023	122,888101	19,385977	0,09988346	293,091983	415,980951	6425,17936	7147,19572	0,67428662	426,802328
0,74	436,029848	117,886523	272,982322	0,10405497	298,042796	415,929319	6256,01652	7217,36041	0,65654223	426,802328
0,72	436,015763	117,834891	278,543836	0,10410392	298,042796	415,877687	6103,36945	7213,80685	0,63879785	426,802328
0,7	436,000876	117,783259	283,488119	0,1046965	298,042796	415,826055	5964,60816	7210,05466	0,62105346	429,029051
0,68	435,988892	117,732506	21,8367694	0,10421572	298,042796	415,775302	5836,68183	7207,03664	0,60406537	426,86313
0,66	435,972215	117,680893	291,358944	0,10426542	298,042796	415,723689	5719,91673	7202,84073	0,58629874	426,86313
0,64	435,954501	117,62928	294,203478	0,10490425	298,042796	415,672076	5611,9679	7198,38882	0,56853211	429,27271
0,62	435,939524	117,578631	22,5230911	0,10437879	298,042796	415,621427	5510,80516	7194,62875	0,55145629	426,923908
0,6	436,224955	112,573405	298,896504	0,10894833	302,996429	415,569833	5417,38364	7266,92335	0,53366738	426,923908
0,58	436,203713	112,521811	299,575179	0,10900359	302,996429	415,51824	5329,9912	7261,49645	0,51587847	426,923908
0,56	436,180962	112,470217	299,728724	0,10973702	302,996429	415,466646	5247,97829	7255,69238	0,49808956	429,576959
0,54	436,160803	112,4197	23,6884018	0,10912886	302,996429	415,416129	5169,9196	7250,55696	0,48090342	426,984662
0,52	436,134559	112,368126	298,032046	0,10918552	302,996429	415,364555	5097,09413	7243,88119	0,46309218	426,984662
0,5	436,106227	112,316551	296,034393	0,10924275	302,996429	415,31298	5028,20604	7236,68745	0,44528094	426,984662
0,48	436,075549	112,264976	293,530766	0,11004204	302,996429	415,261405	4962,89727	7228,91301	0,4274697	429,880998
0,46	436,364947	107,263968	291,519413	0,11433699	307,947053	415,211021	4900,02759	7302,87919	0,41017287	427,045393
0,44	436,329029	107,212413	287,50908	0,11440138	307,947053	415,159466	4840,98537	7293,62244	0,39233927	427,045393
0,42	436,289716	107,160857	282,829891	0,11446674	307,947053	415,10791	4784,68973	7283,51544	0,37450567	427,045393
0,4	436,2465	107,109302	277,648149	0,11537517	307,947053	415,056355	4730,92462	7272,43542	0,35667206	430,184827
0,38	436,203823	107,05905	22,5023411	0,11461444	307,947053	415,006103	4678,70678	7261,52463	0,33926418	427,106101
0,36	436,159035	107,007514	265,126732	0,11468354	307,947053	414,954567	4629,45358	7248,04547	0,32140817	427,106101
0,34	436,091879	106,955977	257,725404	0,11475434	307,947053	414,90303	4582,21096	7233,04942	0,30355216	427,106101
0,32	436,359652	101,945882	250,79342	0,12127286	312,905612	414,851494	4536,83956	7301,51328	0,28569615	430,488446
0,3	436,291077	101,895733	20,9698547	0,12041527	312,905612	414,801345	4492,45317	7283,86495	0,26817685	427,166786
0,28	436,206355	101,844215	232,57787	0,12049958	312,905612	414,749827	4450,46517	7262,17101	0,2502984	427,166786
0,26	436,108744	101,792697	222,293171	0,12058755	312,905612	414,698309	4410,00416	7237,32603	0,23241994	427,166786
0,24	435,99506	101,741179	211,266659	0,12068007	312,905612	414,646791	4370,97553	7208,58957	0,21454148	427,166786
0,22	435,860976	101,689661	199,630073	0,12182047	312,905612	414,595273	4333,29283	7174,96945	0,19666303	430,852517
0,2	435,707379	101,639703	16,2690469	0,12089748	312,905612	414,543513	4296,1489	7136,81481	0,17900945	427,227447
0,18	435,868501	96,634619	174,53962	0,12711296	317,859752	414,493814	4260,93298	7176,84846	0,16110851	427,227447
0,16	435,627878	96,5825609	160,24254	0,12725099	317,859752	414,442313	4226,84405	7117,21476	0,14320756	427,227447
0,14	435,319869	96,5310598	145,05786	0,12740897	317,859752	414,390812	4193,82048	7042,21833	0,12530662	427,227447
0,12	434,911537	96,4795587	128,93037	0,12759666	317,859752	414,33931	4161,80534	6945,03981	0,10740567	427,227447
0,1	434,344279	96,4280577	111,78522	0,12783154	317,859752	414,287809	4130,74593	6814,11776	0,08950473	427,227447
0,08	433,502733	96,3765566	93,5156141	0,12814814	317,859752	414,236308	4100,59343	6628,15087	0,07160378	427,227447
0,06	432,123941	96,3250555	73,9573214	0,12862576	317,859752	414,184807	4071,30247	6343,06705	0,05370284	427,227447
0,04	429,889841	91,3259434	53,0850394	0,13637169	322,807363	414,133306	4042,8309	5926,56102	0,03580189	427,227447
0,02	422,499658	91,2744424	0	0	322,807363	414,081805	4015,1394	4849,27027	0,01790095	0
367,754752	92,3426372	0,32701879	0,01582662	322,807363	415,15					
367,451835	91,3426372	0,36406801	0,01760323	322,807363	414,15					
367,115575	90,2426372	0,36899132	0,01782256	322,807363	413,05					
366,774382	89,1137217	0,40818262	0,01969437	322,836278	411,95					
366,398535	87,9137217	0,41439601	0,0199702	322,836278	410,75					
366,016179	86,7137217	0,4208095	0,02025439	322,836278	409,55					
365,629662	85,5137217	0,42742882	0,02054714	322,836278	408,35					
365,237294	84,283214	0,47061176	0,02259392	322,866786	407,15					
364,8071	82,983214	0,47891522	0,02295977	322,866786	405,85					
364,370133	81,683214	0,52500892	0,02513278	322,866786	404,55					
363,891929	80,283214	0,53537003	0,02558745	322,866786	403,15					
363,405879	78,849475	0,58539479	0,02793204	322,900525	401,75					
362,877379	77,349475	0,5982982	0,02849582	322,900525	400,25					
362,338974	75,849475	0,65254703	0,03102157	322,900525	398,75					
361,754977	74,249475	0,71036985	0,03370137	322,900525	397,15					
361,12187	72,511698	0,72978989	0,03454535	322,938302	395,45					
360,476848	70,811698	0,79395809	0,03749646	322,938302	393,75					
359,778917	69,011698	0,86314259	0,04066179	322,938302	391,95					
359,026586	67,111698	0,9381293	0,04407401	322,938302	390,05					
358,216436	65,1068593	1,01993488	0,04777566	322,943141	388,05					
357,34477	63,0068593	1,10954843	0,05180679	322,943141	385,95					
356,408448	60,8068593	1,26092701	0,05867065	322,943141	383,75					
355,358074	58,4068593	1,43082094	0,0663149	322,943141	381,35					
354,184681	55,7626314	1,56712453	0,07231222	322,987369	378,75					
352,926592	53,0626314	0	0	322,987369	376,05					

Figura 27. Datos info cruzado 10 circuitos - 8 pasos