

ESCUELA POLITECNICA NACIONAL

ESCUELA DE INGENIERIA

CONSTRUCCIÓN DE SISTEMA PARA PRACTICAS DE LABORATORIO EN INTERCAMBIADOR DE CALOR DE CORAZA Y TUBOS AGUA/AGUA

PROYECTO PREVIO A LA OBTENCIÓN DEL TITULO DE INGENIERO MECANICO

**THUESMAN RAMIRO JIMÉNEZ JIMÉNEZ
BLANCA EULALIA MALITASIG CARPIO**



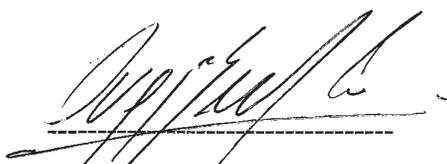
DIRECTOR: ING. ANGEL PORTILLA A.

QUITO, OCTUBRE DEL 2001

DECLARACIÓN

Nosotros, Thuesman Ramiro Jiménez Jiménez y Blanca Eulalia Malitasig Carpio, declaramos bajo juramento que el trabajo aquí descrito es de nuestra autoría; que no ha sido previamente presentada para ningún grado o calificación profesional; y, que hemos consultado las referencias bibliográficas que se incluye en este documento.

A través de la presente declaración cedemos nuestros derechos de propiedad intelectual correspondientes a este trabajo, a la Escuela Politécnica Nacional, según lo establecido por la Ley de Propiedad Intelectual, por su Reglamento y por la normatividad institucional vigente.



Ramiro Jiménez Jiménez.



Eulalia Malitasig Carpio.

CERTIFICACIÓN

Certifico que el presente trabajo fue desarrollado por Ramiro Jiménez Jiménez y Eulalia Malitasig Carpio, bajo nuestra supervisión.



Ing. Angel Portilla A.
DIRECTOR DEL PROYECTO



Ing. Orwield Guerrero B.
COLABORADOR DEL PROYECTO

AGRADECIMIENTO

Al Ing. Angel Portilla por su acertada dirección en la realización de este proyecto, gracias por la confianza y amistad sincera.

Al Ing. Orwield Guerrero por su valiosa colaboración, y por su apoyo.

A los Ing. Adrián Peña, Miguel Ortega, César Ayabaca, por su apoyo y amistad.

Eulalia M. y Ramiro J.

DEDICATORIA

A mi querida familia.

Ramiro J

DEDICATORIA

A Dios y a la Virgen.

A quién admiro y quiero mucho, y que ha sido un ejemplo a seguir mi Padre.

A mi madre por su incondicional amor y comprensión.

A mis hermanos Geovanny y Patty.

A Eduardo R.

Gracias por estar junto a mí y apoyarme siempre.

Eulalia

RESUMEN

Esta tesis tiene como objetivo el diseño y construcción de un Sistema para Prácticas de Laboratorio Intercambiador de Calor de Coraza y Tubos Flujo 1-2 A/A. Para cumplir con aquello, se procedió de la siguiente manera:

- En el Capítulo I se da una clasificación de los equipos de transferencia, así como los conocimientos necesarios para el análisis del Intercambiador de Calor de Coraza y Tubos Flujo 1-2 A/A.
- En el Capítulo II se expone el alcance, la descripción y la metodología de diseño del sistema.
- En el Capítulo III se trata específicamente de la parte tecnológica, se detallan los pasos seguidos en la construcción y montaje del sistema.
- En el Capítulo IV se presentan los resultados de las pruebas experimentales realizadas en el sistema, la interpretación, análisis y comprobación de los resultados teóricos obtenidos en la simulación con los experimentales.
- En el Capítulo V se pone de manifiesto las conclusiones, y se dan algunas recomendaciones para que los estudiantes utilicen adecuadamente el sistema.
- Por último se incluyen los anexos empleados en el desarrollo de este trabajo, una Guía Práctica y los Planos de Construcción y Montaje del Sistema.

INTRODUCCION

El progreso de un País y en particular el de una organización, depende en mayor medida de la capacidad intelectual de sus miembros, que de sus recursos físicos. Esto ha venido confirmando la Carrera de Ingeniería Mecánica, al suplir con gran éxito la falta de presupuesto para la implementación de sus laboratorios con equipos que se desarrollan como Tesis de Grado.

Este trabajo, demuestra que sobre la base de la investigación científica y tecnológica, del uso de técnicas computacionales y de simulación, de la creatividad, y de criterios de selección, se puede construir un equipo que permitirá fortalecer los conocimientos de los estudiantes sobre intercambiadores de calor.

Los proyectos de diseño y construcción de equipos experimentales para laboratorio, prestan una valiosa ayuda. En ellos se podrá comprender efectivamente, los aspectos teórico-prácticos de los fenómenos que se producen. Lo que a su vez permitirá el estudio y mejora de equipos más eficiente y menos costosos.

INDICE GENERAL

CAPITULO	1
1 INTECAMBIADORES DE CALOR.....	1
1.1 DEFINICION.....	1
1.2 CLASIFICACION DE LOS INTERCAMBIADORES DE CALOR.	2
1.2.1 LOS PROCESOS DE TRANSFERENCIA.....	2
1.2.1.1 Intercambiadores de contacto directo.....	3
1.2.1.2 Intercambiadores de contacto indirecto.....	3
1.2.1.2.1 Almacenadores.....	3
1.2.1.2.2 Recuperadores.....	3
1.2.2 EL GRADO DE COMPACTACION.....	4
1.2.3 EL TIPO DE CONSTRUCCIÓN.....	5
1.2.4 EL ARREGLO DE FLUJO.....	6
1.2.4.1 Flujo en paralelo.....	6
1.2.4.2 Flujo en contracorriente.....	6
1.2.4.3 Flujo cruzado de un solo paso.....	7
1.2.5 EL NUMERO DE FLUIDOS.....	7
1.2.6 EL MECANISMO DE TRANSFERENCIA DE CALOR.....	7
1.3 INTERCAMBIADOR DE CALOR DE CORAZA Y TUBOS.....	8
1.3.1 INTERCAMBIADOR DE CALOR DE CORAZA Y TUBOS FLUJO 1-2..	9
1.4 ANALISIS DE INTERCAMBIADORES DE CALOR.....	10
1.4.1 COEFICIENTE GLOBAL DE TRANSFERENCIA DE CALOR.....	10
1.4.2 METODO DE LA DIFERENCIA MEDIA LOGARÍTMICA DE TEMPERATURAS.....	15
1.4.2.1 Intercambiador de calor de flujo paralelo.....	17
1.4.2.2 Intercambiador de calor en contraflujo.....	20
1.4.2.3 Intercambiador de calor de pasos múltiples.....	20
1.4.3 METODO DE EFECTIVIDAD NUT.....	23
1.4.3.1 Transferencia de calor máxima posible.....	24
1.4.3.2 Efectividad de un Intercambiador de Calor.....	25
1.4.3.3 Número de unidades de transferencia de calor NUT.....	26
1.4.3.4 Relación de capacidad de calor.....	26

1.4.3.5 Relaciones Efectividad NUT.....	26
1.5 ASPECTOS COMPLEMENTARIOS PARA EL ANÁLISIS DEL INTERCAMBIADOR DE CALOR	27
1.5.1 COEFICIENTE DE TRANSFERENCIA DE CALOR DEL LADO DE LA CORAZA.....	27
1.5.3 CAIDA DE PRESION DE LOS INTERCAMBIADORES.....	33
1.5.3.1 Caída de presión en tubos y bancos de tubos.....	33
1.5.3.1.1 Fórmulas para calcular la caída de presión.....	37
1.5.3.1.2 Factor de fricción.....	37
1.5.3.1.3 Coeficiente K.....	38
1.5.3.2 Caída de presión en el intercambiador coraza y tubos.....	39
1.5.3.2.1 Caída de presión en el lado de los tubos.....	40
1.5.3.2.2 Caída de presión en el lado de la coraza.....	42
1.5.4 CORRELACION PARA LA CONVECCIÓN LIBRE SOBRE UN CILINDRO.....	43
CAPITULO II	46
2 DISEÑO DEL SISTEMA.....	46
2.1 ALCANCE	46
2.3 PARAMETROS DE DISEÑO.....	48
2.4 INTERCAMBIADOR DE CALOR DE CORAZA Y TUBOS.....	49
2.4.1 PARAMETROS DEL INTERCAMBIADOR DE CALOR.....	49
2.4.1.1 Parámetros Funcionales	49
2.4.1.2 Parámetros Geométricos	50
2.4.1.2.1 Coraza	50
2.4.1.2.2 Haz de tubos... ..	50
2.4.1.2.3 Tubos.	50
2.4.1.2.4 Arreglo triangular.....	50
2.4.2 AISLANTE TERMICO DEL INTERCAMBIADOR.....	52
2.4.2.1 Diagrama de flujo	54
2.4.2.2 Descripción del programa para el cálculo del espesor del aislante.....	55
2.5 SISTEMA DE AGUA CALIENTE.....	59
2.5.1 ALTERNATIVAS DE CALENTAMIENTO Y SELECCIÓN.....	59
2.5.1.1 Calentadores directos.....	59

2.5.1.1.1 <i>Requerimientos</i>	59
2.5.1.1.2 <i>Ventajas</i>	59
2.5.1.1.3 <i>Desventajas</i>	60
2.5.1.2 Calentadores eléctricos.....	60
2.5.1.2.1 <i>Requerimientos</i>	60
2.5.1.2.2 <i>Ventajas</i>	60
2.5.1.2.3 <i>Desventajas</i>	60
2.5.1.3 Selección.....	60
2.5.2 TANQUE CALENTADOR.....	61
2.5.3 BOMBA ELECTRICA.....	62
2.5.4 TUBERÍA	63
2.5.4.1 Tubería de entrada de agua caliente al intercambiador.....	63
2.5.4.2 Tubería de salida de agua caliente al intercambiador.....	63
2.5.5 ACOPLER Y ACCESORIOS.....	63
2.6 SISTEMA DE AGUA FRIA.....	63
2.6.1 TANQUE ELEVADO.....	63
2.6.2 RED DE ABASTECIMIENTO DE AGUA AL LABORATORIO.....	64
2.6.3 TUBERIA DE ENTRADA DE AGUA FRIA AL INTERCAMBIADOR.....	64
2.6.4 TUBERIA DE SALIDA DE AGUA FRIA AL INTERCAMBIADOR.....	64
2.6.5 ACOPLER Y ACCESORIOS.....	64
2.7 MEDIDAS.....	64
2.7.1 TERMOMETROS.....	65
2.7.2 ROTAMETROS.....	65
2.7.3 MEDIDA MANUAL DE CAUDAL.....	65
2.7.3.1 Cubeta graduada.....	67
2.7.3.2 Cronómetro.....	67
2.7.4 TERMOCUPLA.....	67
2.7.5 MEDIDOR DE TEMPERATURA.....	67
2.8 SISTEMA DE CONTROL DE TEMPERATURA.....	68
2.8.1 SENSOR.....	68
2.8.2 SELECTOR DE TEMPERATURA.....	69
2.8.3 CONTACTOR.....	70

CAPITULO III.....	71
3 CONSTRUCCIÓN Y MONTAJE DEL SISTEMA.....	71
3.1 INTERCAMBIADOR DE CALOR DE CORAZA Y TUBOS.....	71
3.1.1 OPERACIONES REALIZADAS.....	72
3.2 SISTEMA DE AGUA CALIENTE.....	74
3.2.2 TUBERIA.....	75
3.2.2.1 Tubería utilizada.....	75
3.2.2.1.1 <i>Ventajas</i>	76
3.2.2.2 Operaciones realizadas.....	77
3.2.3 ACOPLER Y ACCESORIOS.....	78
3.2.4 ENSAMBLE.....	78
3.2.5 AISLANTE.....	78
3.3 SISTEMA DE AGUA FRIA.....	80
3.3.1 TUBERIA.....	80
3.3.1.1 Tubería utilizada.....	80
3.3.1.2 <i>Ventajas</i>	80
3.3.1.3 Operaciones realizadas.....	81
3.3.2 ACOPLER Y ACCESORIOS.....	82
3.3.3 ESAMBLE.....	83
3.3.4 PINTADO.....	83
3.4 SISTEMA DE MEDICION	83
3.4.1 TERMOMETROS.....	83
3.4.2 ROTAMETROS	84
3.4.3 MEDIDA MANUAL DE CAUDAL.....	85
3.5 SISTEMA DE CONTROL DE TEMPERATURA.....	85
3.6 BASTIDOR.....	86
3.7 TABLERO.....	87
 CAPITULO IV	 89
4. PRUEBAS Y ANÁLISIS DE RESULTADOS.....	89
4.1 DESCRIPCION DEL PROGRAMA PARA SIMULACIÓN DEL FUNCIONAMIENTO DEL INTERCAMBIADOR DE CALOR.....	89
4.1.1 DIAGRAMA DE FLUJO.....	89
4.1.2 DATOS DE ENTRADA.....	89

4.1.2.1 Funcionales	91
4.1.2.2 Geométricos.....	91
4.1.2.3 Tabla de propiedades termofísicas del agua.....	92
4.1.3 TABLA DE RESULTADOS.....	89
4.1.4 CALCULOS.....	89
4.2 PRUEBAS.....	101
4.2.1 PROCEDIMIENTO EXPERIMENTAL.....	101
4.2.1.1 Funcionamiento del control de temperatura.....	103
4.2.2 MEDICIONES REALIZADAS.....	105
4.3 DETERMINACION EXPERIMENTAL DEL COEFICIENTE GLOBAL DE TRANSFERENCIA DE CALOR.....	111
4.4 DETERMINACION DE LAS PERDIDAS DE CALOR.....	112
4.4.1 DETERMINACION DE LAS PERDIDAS DE CALOR PARA LA PRUEBA 4.....	113
4.4.1.1 Primer método.....	113
4.4.1.2 Segundo método.....	114
4.5 ANALISIS DE RESULTADOS.....	116
CAPITULO V.....	119
5.1 CONCLUSIONES.....	119
5.2 RECOMENDACIONES.....	120
BIBLIOGRAFÍA.....	121

INDICE DE FIGURAS

1. CAPITULO I

Fig. 1.1 Clasificación según los procesos de transferencia	2
Fig. 1.2 Clasificación de acuerdo a la compactación de la superficie.....	4
Fig. 1.3 Intercambiadores de calor compactos.....	5
Fig. 1.4 Clasificación de acuerdo a la construcción.....	5
Fig. 1.5 Clasificación de acuerdo a los arreglos de flujo.....	6
Fig. 1.6 Configuraciones de intercambiadores de calor.....	7
Fig. 1.7 Clasificación de acuerdo al mecanismo de transferencia de calor.....	8
Fig.1.8 Intercambiador de Calor de coraza y tubos con un paso por la coraza y un paso por los tubos.....	8
Fig. 1.9 Intercambiador de calor tipo coraza y tubos flujo1-2.....	9
Fig. 1.10 Cilindro hueco.....	11
Fig. 1.11 Balances Globales de energía	16
Fig. 1.12 Distribución de temperatura para un intercambiador de calor de flujo paralelo	17
Fig. 1.13 Distribuciones de temperatura para un intercambiador de calor en contraflujo	21
Fig. 1.14 factor de corrección para un intercambiador de calor de coraza y tubo	22
Fig. 1.15 Esquema de un banco de tubos en flujo cruzado.....	28
Fig. 1.16 Arreglos de tubos.....	29
Fig. 1.17 Diagrama de Moody Factor de Fricción.....	36

2. CAPITULO II

Fig. 2.1 Sistema para prácticas de laboratorio del intercambiador de calor.....	48
Fig. 2.2 Sección longitudinal del intercambiador.....	51

Fig. 4.5 Distribución de temperatura en función del tiempo	109
Fig. 4.6 Distribución de temperatura en función del tiempo	110
Fig. 4.7 Distribución de temperatura en función del tiempo	111
Fig. 4.8 Coeficiente Global en función del Caudal de agua fría.	113
Fig. 4.8 Coeficiente Global en función del Caudal de agua caliente.	117
Fig. 4.9 Intercambiador con aislante.....	118

Fig. 2.3 Sección transversal.....	51
Fig. 2.4 Arreglo triangular de tubos.....	51
Fig. 2.5 Esquema del intercambiador con el aislante.....	53
Fig. 2.6 Tanque de calentamiento.....	61
Fig. 2.7 Bomba eléctrica.	62
Fig 2.8 Rotámetro	66
Fig. 2.9 Sistema de control de temperatura.....	68

CAPITULO III

Fig. 3.1 Sistema para prácticas en laboratorio.....	71
Fig. 3.2 Intercambiador con aislante.....	73
Fig. 3.3 Fotografía del intercambiador.....	74
Fig. 3.4 Limpieza interna del tanque.....	74
Fig. 3.5 tanque	75
Fig. 3.6 Proceso de instalación para tubería	77
Fig. 3.7 Tubería, acoples y accesorios, línea de agua caliente.....	78
Fig. 3.8 Línea de agua caliente con aislante.....	79
Fig. 3.9 Línea con aislante más Foil de aluminio.....	80
Fig. 3.10 tubería, acoples , accesorios línea agua fría.....	82
Fig. 3.11 Tubería , acoples y accesorios línea agua fría.	82
Fig. 3.12 Termómetro, tapones, tee	84
Fig. 3.13 Rotámetro	84
Fig. 3.14 Adaptación para medir manualmente el caudal	85
Fig. 3.15 Bastidor.....	87
Fig. 3.16 Tablero	88

CAPITULO IV

Fig. 4.1 Esquema del sistema	101
Fig. 4.2 Distribución de temperatura en función del tiempo	106
Fig. 4.3 Distribución de temperatura en función del tiempo	107
Fig. 4.4 Distribución de temperatura en función del tiempo	108

INDICE DE TABLAS

CAPITULO I

Tabla 1.1 Factores de impurezas.....	13
Tabla 1.2 Valores de los coeficientes K.....	39
Tabla 1.3 Constantes para convección libre	44

CAPITULO III

Tabla 3.1 Operaciones realizadas en la tubería.....	77
Tabla 3.2 Acoples y Accesorios.....	78
Tabla 3.3 Operaciones realizadas en la tubería.....	81
Tabla 3.4 Acoples y Accesorios.....	83
Tabla 3.5 Procedimiento de construcción del bastidor.....	87
Tabla 3.6 Procedimiento de construcción del tablero.....	88

CAPITULO IV

Tabla 4.1 Datos obtenidos de la Prueba 1.....	105
Tabla 4.2 Datos obtenidos de la Prueba 2.....	106
Tabla 4.3 Datos obtenidos de la Prueba 3.....	107
Tabla 4.4 Datos obtenidos de la Prueba 4	108
Tabla 4.5 Datos obtenidos de la Prueba 5.....	109
Tabla 4.6 Datos obtenidos de la Prueba 6	110
Tabla 4.7 Coeficiente Global Experimental	112
Tabla 4.8 Coeficiente Global Teórico y Experimental.....	116
Tabla 4.9 Datos obtenidos del Coeficiente Global teórico y experimental para El caudal de agua fría.....	116
Tabla 4.10 Datos obtenidos del Coeficiente Global teórico y experimental para el caudal de agua caliente.....	117

ANEXOS

ANEXO A	
ESPECIFICACIONES DEL ROTÁMETRO.....	
ANEXO B	
ESPECIFICACIONES DE LA SOLDADURA.....	
ANEXO C	
ESPECIFICACIONES DEL EMPAQUE.....	
ANEXO D	
ESPECIFICACIONES DEL AISLAMIENTO.....	
ANEXO E	
ESPECIFICACIONES DE LA TUBERÍA Y ACCESORIOS DE PVC.....	
ANEXO F	
PROGRAMA PARA SIMULACIÓN.....	
ANEXO G	
PROPIEDADES TERMOFISICAS.....	
ANEXO H	
GUIA PRACTICA.....	
ANEXO I	
DIAGRAMA ELECTRICO.....	
ANEXO J	
PLANOS DE CONSTRUCCIÓN Y MONTAJE.....	

NOMENCLATURA

Símbolo	Descripción	Unidades
A	Área de superficie para la transferencia de calor.	$[m^2]$
A_s	Área libre para el flujo en el banco de tubos	$[m^2]$
B	Espacio entre deflectores	$[m]$
β	Coefficiente de expansión	$[K^{-1}]$
C'	Claridad entre tubo y tubo	$[m]$
c_{ph}	Calor específico del fluido caliente	$[JKg^{-1}K^{-1}]$
c_{pc}	Calor específico del fluido frío	$[JKg^{-1}K^{-1}]$
D	Diámetro de tubo	$[m]$
D_o	Diámetro exterior del tubo	$[m]$
D_c	Diámetro de la coraza	$[m]$
D_h	Diámetro hidráulico	$[m]$
Gr	Número de Grashof	
g	Aceleración gravitacional	$[m.s^{-2}]$
h	Coefficiente convectivo de transferencia de calor	$[Wm^2K^{-1}]$
k_T	Conductividad térmica del material	$[Wm^2K^{-1}]$
L	Longitud del tubo	$[m]$
m	Número de filas de un banco de tubos.	
\dot{m}_h	Flujo másico del fluido caliente	$[Kg/s]$
\dot{m}_c	Flujo másico del fluido frío	$[Kg/s]$
N	Número de tubos por paso.	
Nu	Número de Nusselt	
N_D	Número de deflectores	

r_1	Radio interno del cilindro	$[m]$
r_2	Radio externo del cilindro	$[m]$
q	Transferencia de calor	$[W]$
R_e	Número de Reynolds	
R_f	Factor de impureza	$[m^2 KW^{-1}]$
S_T	Separación transversal	$[m]$
S_L	Separación longitudinal	$[m]$
$T_{h,i}$	Temperatura de entrada fluido caliente	$[K]$
$T_{c,i}$	Temperatura de entrada fluido frío	$[K]$
$T_{h,o}$	Temperatura de salida fluido caliente	$[K]$
$T_{c,o}$	Temperatura de salida fluido frío	$[K]$
$T_{\infty,1}$	Temperatura del fluido caliente	$[K]$
$T_{\infty,2}$	Temperatura del fluido frío	$[K]$
t	espesor del aislante	$[m]$
μ	Viscosidad dinámica	$[Nsm^{-2}]$
$V_{m\acute{a}x}$	Velocidad máxima del fluido	$[m/s]$
ν	Viscosidad cinemática	$[m^2s^{-1}]$
Δp	Caída de presión	$[Nm^{-2}]$
ρ	Densidad del fluido	$[Kgm^{-3}]$
V	Velocidad del fluido	$[ms^{-1}]$
α	Difusividad térmica.	
U	Coefficiente Global de transferencia de calor	$Wm^{-2}K^{-1}$
ΔT_m	Diferencia media de temperaturas	$[K]$
$DMLT$	Diferencia media logarítmica de temperaturas	$[K]$

1. CAPITULO I

INTERCAMBIADORES DE CALOR

INTRODUCCION

La aplicación de los principios de transferencia de calor en los procesos industriales es muy amplia. Es por ello que el uso de intercambiadores de calor se puede encontrar en aplicaciones específicas como en calefacción de locales y acondicionamiento de aire, producción de potencia, refrigeradores domésticos, radiadores de automóviles, radiadores de vehículos espaciales, recuperación de calor de desecho y algunos procesamientos químicos.

Básicamente un sistema de intercambio de calor consiste de elementos activos tales como una matriz que contiene una superficie de transferencia de calor; elementos pasivos de distribución tales como cámaras, tanques, toberas de entrada y salida, tubos, etc. La superficie de transferencia de calor, es la que está en contacto con los fluidos y a través de la cual el calor se transfiere por conducción.

En el presente capítulo se da una clasificación de los equipos de transferencia, así como los conocimientos de transferencia de calor necesarios para el análisis del intercambiador de calor de coraza y tubos flujo 1-2 ¹.

¹ Un paso por la coraza, dos pasos por los tubos.

1.1 DEFINICION

El dispositivo que se utiliza para llevar a cabo el proceso de intercambio de calor entre dos fluidos que están a diferentes temperaturas y separados por una pared sólida se denomina intercambiador de calor.

1.2 CLASIFICACION DE LOS INTERCAMBIADORES DE CALOR ²

Se clasifican según:

- Los procesos de transferencia.
- El grado de compactación
- El tipo de construcción.
- El arreglo de flujo
- El número de fluidos.
- El mecanismo de transferencia de calor.

1.2.1 LOS PROCESOS DE TRANSFERENCIA

CLASIFICACION DE ACUERDO A LOS PROCESOS DE TRANSFERENCIA

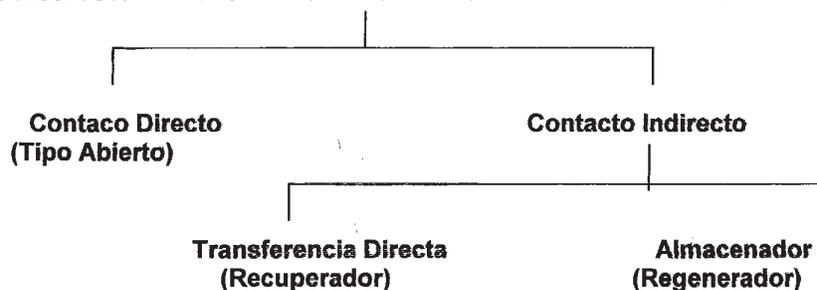


Fig 1.1 Clasificación según los procesos de transferencia

1.2.1.1 Intercambiadores de contacto directo

Conocidos también como de tipo abierto. Son dispositivos en los cuales, el calor es transferido por el contacto mutuo entre los fluidos inmiscibles caliente y frío.

Sus aplicaciones más comunes son:

- Torres de enfriamiento con un flujo de aire forzado y movimiento natural.
- Condensadores Jet para vapor de agua y otros vapores usando spray de agua.

1.2.1.2 Intercambiadores de contacto indirecto

El calor es transferido del fluido caliente a una superficie impermeable y de esta al fluido frío.

Se subdividen según la superficie de intercambio de calor en:

- Intercambiadores de transferencia directa (recuperadores).
- Almacenadores (regeneradores)

1.2.1.2.1 Almacenadores

También conocidos como regeneradores, en este caso el mismo paso de flujo es alternativamente ocupado por uno de los fluidos.

La energía térmica se almacena en la matriz de la pared durante el flujo del gas caliente, la misma que es liberada durante el flujo del gas frío que circula después.

1.2.1.2.2 Recuperadores

Las corrientes de fluido que están involucradas en esta forma, están separadas entre sí por una pared delgada (partes de placas, paredes de tubos).

En consecuencia, la transferencia de calor ocurre por la convección desde el fluido más caliente a la superficie sólida, por conducción a través del sólido y finalmente por convección desde la superficie sólida al fluido más frío.

1.2.2 EL GRADO DE COMPACTACION

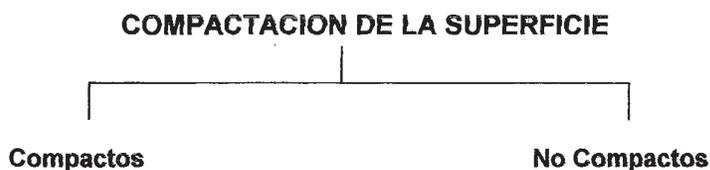


Fig 1.2 Clasificación de acuerdo a la compactación de la superficie.

Un intercambiador de calor compacto incorpora una superficie de transferencia de calor con una densidad de área alta ($> 700\text{m}^2/\text{m}^3$)³. Los mismos tienen complejos arreglos de tubos con aletas o placas y generalmente se usan cuando al menos uno de los fluidos es un gas, elemento que se caracteriza por un coeficiente de convección pequeño. Se usan para tener un área superficial de transferencia de calor por unidad de volumen muy grande. Los tubos pueden ser planos o circulares y las aletas pueden ser de placa plana o circular, como se muestra en la figura 1.3.

² WELTY, James, Transferencia de Calor Aplicada a la Ingeniería, 1ra edición, México, 1978.

³ Incropera, Fundamentos de Transferencia de Calor, 4ta edición, México, 1996.

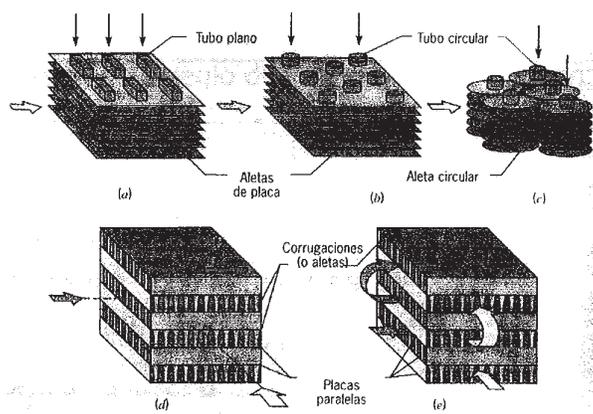


Fig.1.3 Intercambiadores de calor compactos.

1.2.3 EL TIPO DE CONSTRUCCION

Según este parámetro se tienen: intercambiadores tubulares, de placas, con superficies extendidas y regenerativos.

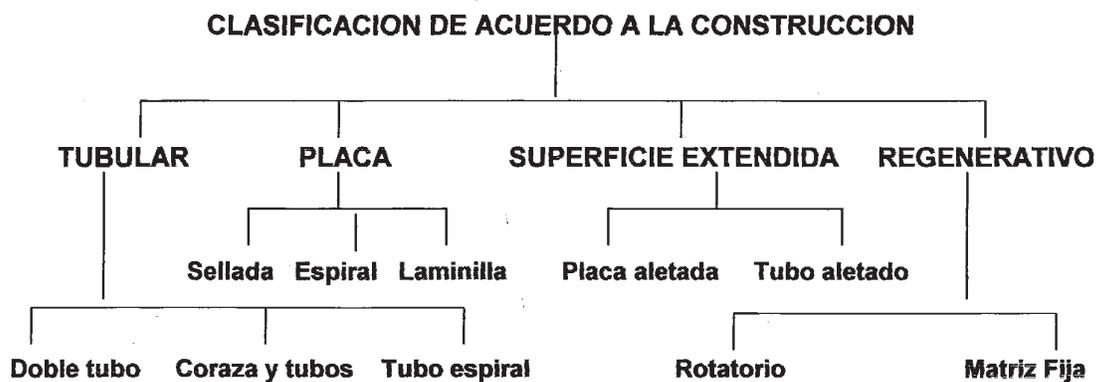


Fig. 1.4 Clasificación de acuerdo a la construcción.

1.2.4 EL ARREGLO DE FLUJO

En la selección de un arreglo de flujo particular influyen:

- La eficiencia requerida.
- El recorrido del fluido.
- La coraza que los envuelve.
- Los esfuerzos térmicos permisibles.
- Los niveles de temperatura y,
- Otros criterios de diseño.

CLASIFICACION DE ACUERDO A LOS ARREGLOS DE FLUJO

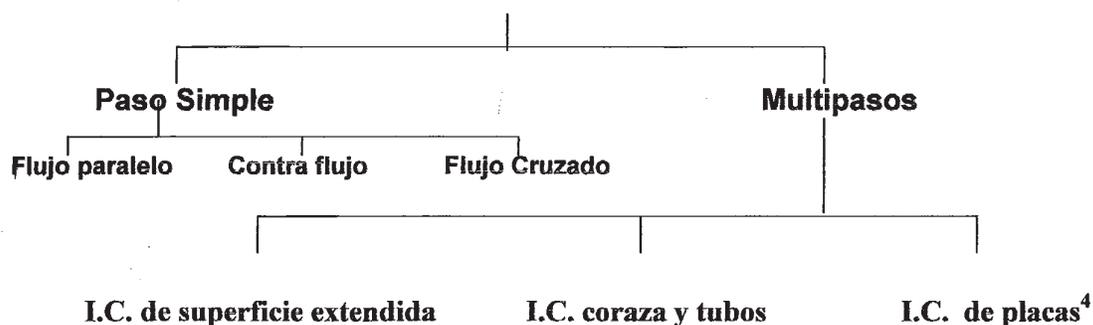


Fig.1.5 Clasificación de acuerdo a los arreglos de flujo

1.2.4.1 Flujo en paralelo

Los fluidos caliente y frío, entran por los extremos opuestos del intercambiador, fluyen a través de él en la misma dirección y salen por el otro extremo.

1.2.4.2 Flujo en contracorriente

Los fluidos caliente y frío entran por los extremos opuestos del intercambiador y fluyen en direcciones opuestas.

1.2.4.3 Flujo cruzado de un solo paso

Un fluido se desplaza dentro del intercambiador perpendicularmente a la trayectoria del otro fluido.

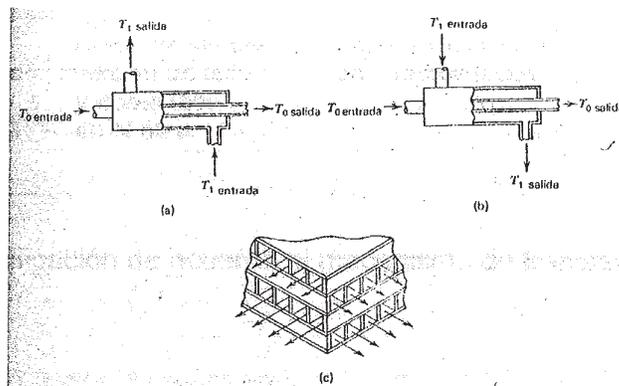


Fig. 1.6 Configuraciones de intercambiadores de calor sencillos de una sola pasada a) contraflujo b) flujo paralelo c) flujo cruzado.

1.2.5 EL NUMERO DE FLUIDOS.

Lo más común es tener dos fluidos, pero existen equipos que utilizan tres fluidos, como sucede en procesos criogénicos y en ciertos procesos químicos, como en sistemas de separación de aire, unidades de separación aire – helio, purificación y licuefacción de hidrógeno,

1.2.6 EL MECANISMO DE TRANSFERENCIA DE CALOR

Los mecanismos son: convección de simple fase (forzado o libre), convección de dos fases (condensación o evaporación mediante convección forzada o libre) y transferencia de calor por convección combinada con radiación.

⁴ I.C. = intercambiador de calor

En cada lado del intercambiador podría estar activo cualquiera de estos mecanismos individuales o cualquier combinación de ellos.

CLASIFICACION DE ACUERDO AL MECANISMO DE TRANSFERENCIA DE CALOR

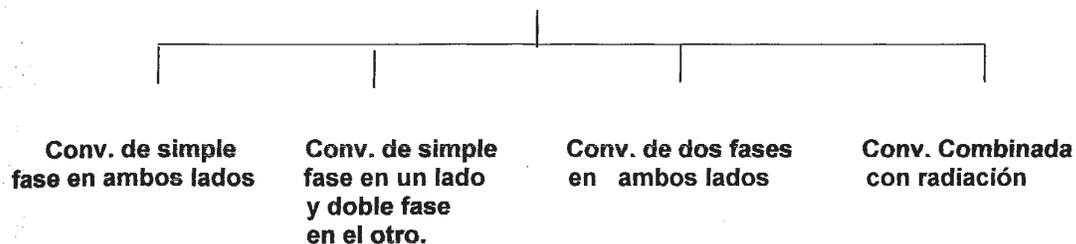


Fig. 1.7 Clasificación de acuerdo al mecanismo de transferencia de calor

1.3 INTERCAMBIADOR DE CALOR DE CORAZA Y TUBOS

Estos intercambiadores pueden tener grandes dimensiones, así como un sinnúmero de tubos dentro de la coraza. Las formas específicas difieren de acuerdo con el número de pasos en los tubos y coraza, la forma más simple que implica un solo paso por tubos y coraza se indica en la figura 1.8.

Comúnmente a este tipo de intercambiadores se incorporan deflectores con el fin de aumentar el coeficiente de convección del fluido del lado de la coraza al producir turbulencia y una componente de la velocidad de flujo cruzado.

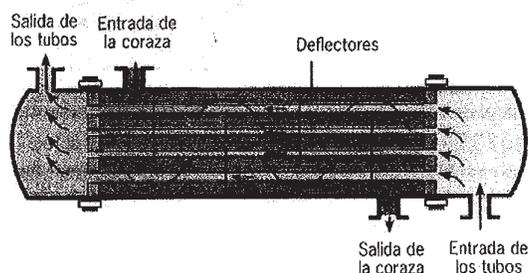


Fig.1.8 Intercambiador de Calor de coraza y tubos con un paso por la coraza y un paso por los tubos

1.3.1 INTERCAMBIADOR DE CALOR TIPO CORAZA Y TUBOS FLUJO 1-2.

En la figura 1.9 se muestra un esquema de este tipo de intercambiador. También se puede ver el sentido de flujo de las corrientes, tanto del lado de la coraza como de los tubos. El paso por la coraza corresponde a la corriente de flujo que tiene que cruzar a través de los tubos al tiempo que se desplaza en sentido paralelo al primer paso y en contraflujo con respecto al segundo paso de tubos. Las partes fundamentales en este intercambiador son:

- La coraza.
- El haz o banco de tubos.
- Las entradas y salidas de los fluidos caliente y frío.
- Las tapas laterales, una de las cuales tiene un divisor de flujo.
- Los deflectores.

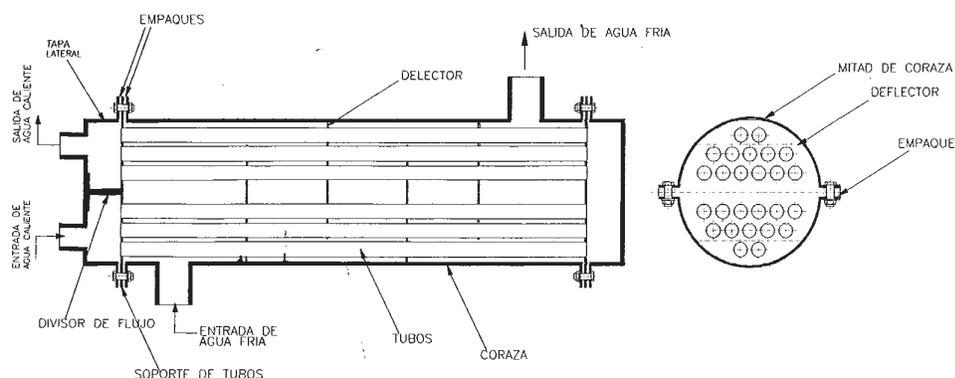


Fig 1.9 Intercambiador de calor tipo coraza y tubos flujo1-2.

1.4 ANALISIS DE INTERCAMBIADORES DE CALOR

En el análisis funcional de un intercambiador, intervienen los siguientes parámetros.

- a) \dot{m}_h, \dot{m}_c : flujo másico del fluido caliente y frío.
- b) c_{p_h}, c_{p_c} Calores específicos del fluido caliente y frío.
- c) $T_{h,i}, T_{c,i}$ Temperaturas de entrada del fluido caliente y frío.
- d) $T_{h,o}, T_{c,o}$ Temperaturas de salida de los fluidos caliente y frío.
- e) A Área de superficie disponible para la transferencia de calor.
- f) k_T Conductividad térmica del material del tubo.
- g) R_f factor de impureza.
- h) h_i, h_o Los coeficientes convectivos de transferencia de calor en las superficies interior y exterior de los tubos.

Para dicho análisis se dispone de dos métodos:

- Método de la diferencia media logarítmica de temperatura (DMLT).
- Método de Efectividad - NUT.

1.4.1 COEFICIENTE GLOBAL DE TRANSFERENCIA DE CALOR

En este apartado se trata sobre la determinación del coeficiente global de transferencia de calor, ya que es parte esencial en el análisis de un intercambiador de calor.

Se centrará su estudio para el caso particular del intercambiador de coraza y tubos, donde la transferencia de calor se da a través de un banco de tubos. Por

lo tanto a continuación, se definirá este parámetro en función de un cilindro hueco con condiciones convectivas en su superficie.

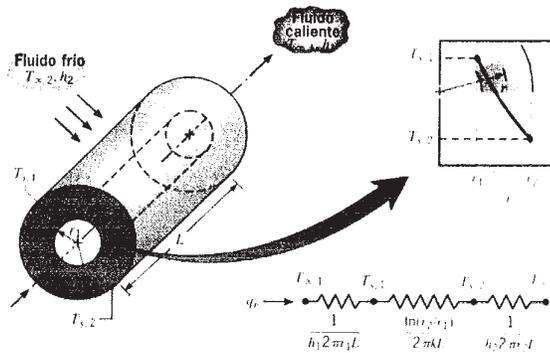


Fig 1.10 Cilindro hueco con condiciones convectivas en la superficie

Cuando se tiene un cilindro hueco (figura 1.10), cuyas superficies interna y externa se exponen a fluidos con distinta temperatura, la transferencia de calor q viene dada por la expresión:

$$q_r = \frac{T_{\infty,1} - T_{\infty,2}}{\frac{1}{h_1 2\pi r_1 L} + \frac{\ln\left(\frac{r_2}{r_1}\right)}{2\pi k_r L} + \frac{1}{h_2 2\pi r_2 L}} \quad (1.1)$$

Si la ecuación anterior se la expresa en términos de un coeficiente global de transferencia de calor, se tiene:

$$q_r = \frac{T_{\infty,1} - T_{\infty,2}}{R_{tot}} = UA(T_{\infty,1} - T_{\infty,2}) \quad (1.2)$$

donde:

$T_{\infty,1}$: temperatura del fluido caliente.

$T_{\infty,2}$: temperatura del fluido frío.

h_1 : coeficiente de transferencia de calor por convección del fluido caliente a la superficie interna del cilindro.

h_2 : coeficiente de transferencia de calor por convección de la superficie externa del cilindro al fluido frío.

r_1 : radio interno del cilindro.

r_2 : radio externo del cilindro.

L : longitud del cilindro.

R_{tot} : la resistencia térmica total.

k_T : conductividad térmica del material del cilindro.

Y si se define U en términos del área interior $A_1 = 2\pi r_1 L$, las ecuaciones 1.1 y 1.2 se igualan y dan como resultado:

$$U_1 = \frac{1}{\frac{1}{h_1} + \frac{r_1}{k_T} \ln \frac{r_2}{r_1} + \frac{r_1}{r_2} \frac{1}{h_2}} \quad (1.3)$$

El coeficiente global también se puede definir en términos de A_2 , obteniéndose de igual manera U_2 de las ecuaciones 1.1 y 1.2. Nótese que:

$$U_1 A_1 = U_2 A_2 = \left(\sum R_i \right)^{-1}$$

Según la ecuación 1.2 este coeficiente se define en términos de la resistencia térmica total para la transferencia de calor entre dos fluidos.

En la ecuación 1.3, el coeficiente se determinó tomando en cuenta las resistencias de conducción y convección entre fluidos separados por paredes cilíndricas. Sin embargo estos resultados solo se aplican a superficies limpias.

Frecuentemente durante la operación normal de un intercambiador, las superficies están sujetas a la obstrucción por impurezas, formación de moho, u otras reacciones entre el fluido y el material de la pared. Estas deposiciones o incrustaciones sobre la superficie pueden aumentar en forma significativa la resistencia a la transferencia de calor entre los fluidos. Para tomar en cuenta esto, se introduce una resistencia térmica adicional, denominada factor de impureza, R_f cuyo valor depende de la temperatura de operación, velocidad del fluido y tiempo de servicio del intercambiador. En la tabla 1.5 ⁵ se puede consultar sobre factores de impurezas representativos.

Tabla 1.1 ⁵ Factores de impurezas $R''_{f,h}$ (m^2K/W)

Temperatura del medio calefactor Temperatura del agua	Hasta 240F 125F o menos		240-400F Más de 125F	
	Velocidad del agua, pps		Velocidad del agua, pps	
Agua	3 pies o menos	Más de 3 pies	3 pies o menos	Más de 3 pies.
Agua de mar	0.0005	0.0005	0.001	0.001
Salmuera natural	0.002	0.001	0.003	0.002
Agua de compensación tratada	0.001	0.001	0.002	0.002
Sin tratar	0.003	0.003	0.005	0.004
Agua de la ciudad o de pozo	0.001	0.001	0.002	0.002
Grandes lagos	0.001	0.001	0.002	0.002
Agua de río mínimo	0.002	0.001	0.003	0.022
Agua de río Mississippi	0.003	0.002	0.004	0.003
Delaware, Schykill	0.003	0.002	0.004	0.003
East River y New York Bay	0.003	0.002	0.004	0.003
Canal sanitario de Chicago	0.008	0.006	0.010	0.008
Lodosa o turbia	0.003	0.002	0.004	0.003
Dura (más de 15 granos/gal)	0.003	0.003	0.005	0.005
Enfriamiento de máquinas	0.001	0.001	0.001	0.001
Destilada	0.0005	0.0005	0.0005	0.0005
Alimentación tratada para calderas	0.001	0.0005	0.001	0.001
Purga de calderas	0.002	0.002	0.002	0.002

⁵ Kern, Standars of the Tubular Exchanger Manufactures Association, New York, 1978.

Consecuentemente, con la inclusión de este factor el coeficiente global de transferencia de calor queda de la siguiente forma:

$$\begin{aligned} \frac{1}{UA} &= \frac{1}{U_c A_c} = \frac{1}{U_h A_h} \\ &= \frac{1}{(hA)_c} + \frac{R''_{f,c}}{A_c} + R_w + \frac{R''_{f,h}}{A_h} + \frac{1}{(hA)_h} \end{aligned} \quad (1.4)$$

Donde c y h, se refieren a los fluidos frío y caliente respectivamente. Observe que el cálculo del producto UA, no necesita la designación del lado caliente o frío ($U_c A_c = U_h A_h$), pero sin embargo, el cálculo de un coeficiente global depende de si se basa en el área de la superficie del lado frío o caliente, ya que $U_c \neq U_h$ sí $A_c \neq A_h$.

El término de conducción de la pared en la ecuación 1.4 se puede ignorar, pues por lo general se usa una pared delgada de conductividad térmica grande.

Para los intercambiadores de calor tubulares, sin aletas la ecuación 1.4 se expresa así:

$$\begin{aligned} \frac{1}{UA} &= \frac{1}{U_i A_i} = \frac{1}{U_o A_o} \\ &= \frac{1}{(h_i A_i)} + \frac{R''_{f,i}}{A_i} + \frac{\ln\left(\frac{D_o}{D_i}\right)}{2\pi k_r L} + \frac{R''_{f,o}}{A_o} + \frac{1}{(h_o A_o)} \end{aligned}$$

Sin embargo es más cómodo para el caso del intercambiador coraza y tubos, definir el coeficiente global en función del área interior de los tubos.

$$\frac{1}{U_o} = \frac{1}{h_i \frac{D_i}{D_o}} + R''_{f,i} \frac{D_o}{D_i} + \frac{D_o}{2k_T L} \ln\left(\frac{D_o}{D_i}\right) + R''_{f,o} + \frac{1}{h_o} \quad (1.5)$$

Donde los subíndices i y o se refieren a las superficies interna y externa del tubo ($A_i = \pi D_i L$, $A_o = \pi D_o L$.)

Por consiguiente se puede determinar el coeficiente global de transferencia de calor conociendo los coeficientes de convección de los fluidos caliente y frío, de los factores de impureza y de los parámetros geométricos apropiados.

1.4.2 METODO DE LA DIFERENCIA MEDIA LOGARITMICA DE TEMPERATURAS (DMLT)

Es primordial para predecir el rendimiento de un intercambiador relacionar la transferencia de calor total con cantidades tales como las temperaturas de entrada y salida de los fluidos, el coeficiente global de transferencia de calor, y el área superficial total para transferencia. Al aplicar balances globales de energía a los fluidos caliente y frío, según se ve en la Fig 1.11 se pueden obtener algunas de estas relaciones. Si se considera, que q es la transferencia total de calor entre los fluidos caliente y frío, que existen pérdidas de calor mínimas hacia los alrededores del intercambiador (El intercambiador está aislado de sus alrededores, por consiguiente el único intercambio de calor es entre los fluidos caliente y frío), que los fluidos no experimentan un cambio de fase, y que los calores específicos son constantes se tiene:

$$q = \dot{m}_h c_{p,h} (T_{h,i} - T_{h,o}) \quad (1.6)$$

$$q = \dot{m}_c c_{p,c} (T_{c,o} - T_{c,i}) \quad (1.7)$$

Se debe señalar que las ecuaciones 1.6 y 1.7 son independientes del arreglo de flujo y del tipo de intercambiador de calor.

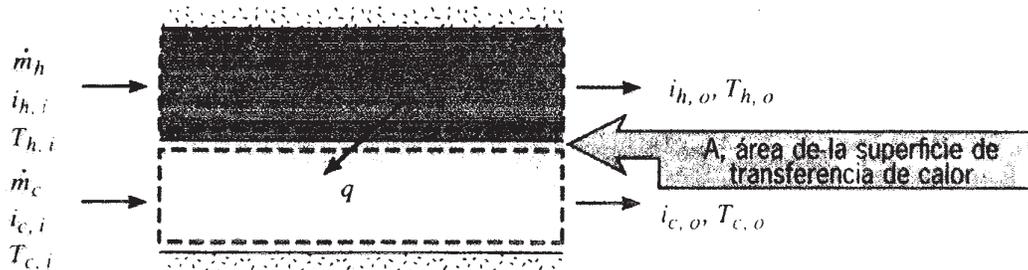


Fig. 1.11. Balances Globales de energía para los fluidos caliente y frío de un intercambiador de 2 fluidos

Relacionando la transferencia de calor q con la diferencia de temperaturas ΔT entre los fluidos caliente y frío, se tendrá otra expresión útil; que sería una extensión de la ley de enfriamiento de Newton, al usar el coeficiente global de transferencia de calor U en lugar del coeficiente único de convección h , donde:

$$\Delta T = T_h - T_c \quad (1.8)$$

Pero como ΔT varía con la posición en el intercambiador de calor es necesario trabajar con una ecuación de flujo de la forma

$$q = UA\Delta T_m \quad (1.9)$$

Donde ΔT_m es una diferencia de temperatura media apropiada.

Esta ecuación conjuntamente con las ecuaciones 1.6 y 1.7, serán de gran utilidad para realizar el análisis de cualquier intercambiador de calor.

Pero antes es necesario establecer la forma específica de ΔT_m . La misma que depende del arreglo de flujo en el intercambiador. Se analizarán los siguientes casos.

- Intercambiador de flujo paralelo
- Intercambiador en contraflujo
- Intercambiador de pasos múltiple y de flujo cruzado.

1.4.2.1. Intercambiador de calor de flujo paralelo

En la figura 1.12 se observa las distribuciones de temperaturas caliente y fría asociadas con un intercambiador de flujo paralelo

Los subíndices 1 y 2 designan los extremos opuestos del intercambiador, esta convención se mantendrá para todos los tipos de intercambiador considerados.

Para este tipo de arreglo, la temperatura de salida del fluido frío nunca excede la del fluido caliente.

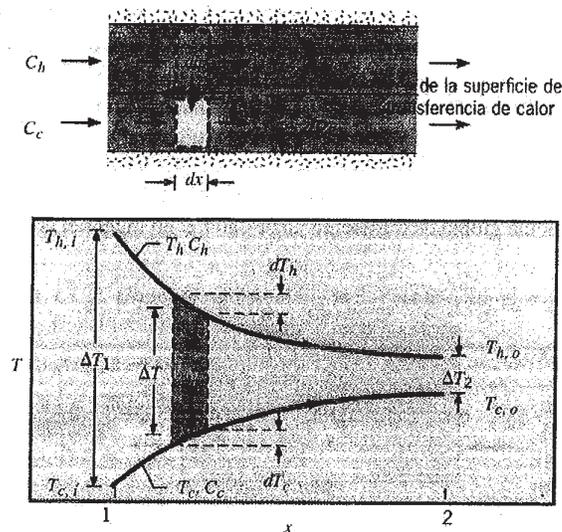


Fig 1.12 Distribución de temperatura para un intercambiador de calor de flujo paralelo

Se puede determinar la forma de ΔT_m aplicando un balance de energía para elementos diferenciales en los fluidos caliente y frío. Cada elemento es de longitud dx y área superficial de transferencia de calor dA . Como se muestra en la figura 1.12

Los balances de energía y el análisis serán suponiendo que:

- El intercambiador de calor está aislado de sus alrededores, en cuyo caso el único intercambio de calor es entre los fluidos caliente y frío.
- La condición axial a lo largo de los tubos es insignificante.
- Los cambios de energía potencial y cinética son despreciables.
- Los calores específicos del fluido son constantes.
- El coeficiente global de transferencia de calor es constante.

Los coeficientes de calor pueden cambiar, como resultado de variaciones de temperatura, y el coeficiente global de transferencia de calor también podría modificarse debido a variaciones en las propiedades del fluido y condiciones de flujo.

Sí a cada uno de los elementos diferenciales de la figura 1.12 se aplica un balance de energía se tiene que:

$$dq = -\dot{m}_h c_{p,h} dT_h \equiv -C_h dT_h \quad (1.10)$$

$$dq = \dot{m}_c c_{p,c} dT_c \equiv C_c dT_c \quad (1.11)$$

C_h y C_c son las capacitancias térmicas de los flujos caliente y frío, respectivamente.

La transferencia de calor a través del área superficial dA también se puede expresar como:

$$dq = U\Delta T dA \quad (1.12)$$

Donde: $\Delta T_h = T_h - T_c$, diferencia de temperatura local entre los fluidos caliente y frío.

Para determinar la forma integrada de la ecuación 1.11, se sustituyen las ecuaciones 1.10 y 1.11 en la forma diferencial de la ecuación 1.8.

Al sustituir para dq la ecuación 1.12 e integrar a lo largo del intercambiador de calor se tiene:

$$\int_1^2 \frac{d(\Delta T)}{\Delta T} = -U \left(\frac{1}{C_h} + \frac{1}{C_c} \right)$$

ó

$$\ln \left(\frac{\Delta T_2}{\Delta T_1} \right) = -UA \left(\frac{1}{C_h} + \frac{1}{C_c} \right) \quad (1.13)$$

Sustituyendo C_h y C_c de las ecuaciones 1.6 y 1.7 , respectivamente se tiene:

$$\ln \left(\frac{\Delta T_2}{\Delta T_1} \right) = -\frac{UA}{q} [(T_{h,i} - T_{c,i}) - (T_{h,o} - T_{c,o})]$$

De la figura 1.12 se tiene que para el intercambiador de flujo paralelo.

$$\Delta T_1 = (T_{h,i} - T_{c,i}) \quad Y \quad \Delta T_2 = (T_{h,o} - T_{c,o})$$

Por lo tanto

$$q = UA \frac{\Delta T_2 - \Delta T_1}{\ln \left(\frac{\Delta T_2}{\Delta T_1} \right)}$$

Comparando esta expresión con la ecuación 1.9 , se concluye que la diferencia de temperaturas promedio apropiada es una diferencia de temperaturas media logarítmica, ΔT_{ml} . Por lo que se puede expresar como sigue:

$$q = UA \Delta T_{ml} \quad (1.14)$$

donde

$$\Delta T_{ml} = \frac{\Delta T_2 - \Delta T_1}{\ln \left(\frac{\Delta T_2}{\Delta T_1} \right)} = \frac{\Delta T_1 - \Delta T_2}{\ln \left(\frac{\Delta T_1}{\Delta T_2} \right)} \quad (1.15)$$

Siendo:

$$\begin{aligned} \Delta T_1 &= T_{h,1} - T_{c,1} = T_{h,i} - T_{c,i} \\ \Delta T_2 &= T_{h,2} - T_{c,2} = T_{h,o} - T_{c,o} \end{aligned} \quad (1.16)$$

1.4.2.2 Intercambiador de calor en contraflujo

En la figura 1.13 se muestran las distribuciones de temperatura de los fluidos caliente y frío asociadas con este tipo de intercambiador.

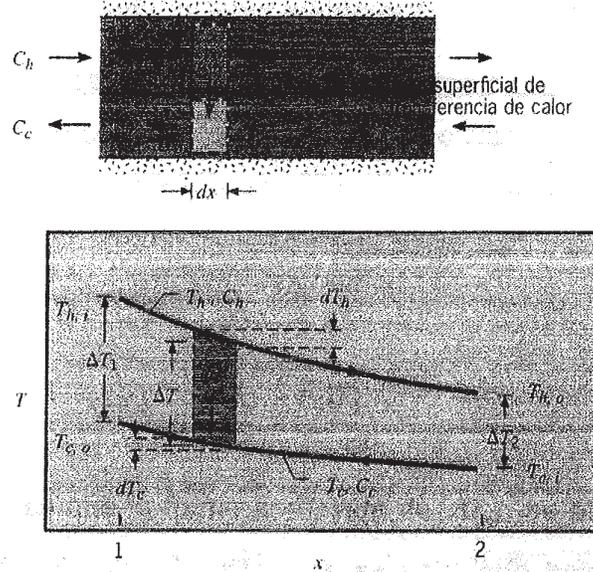


Fig 1.13 Distribuciones de temperatura para un intercambiador de calor en contraflujo.

A diferencia con el intercambiador de flujo paralelo, esta configuración mantiene transferencia de calor en un extremo entre las partes más calientes de los dos fluidos y en el otro lo hace entre las partes más frías.

El cambio en la diferencia de temperaturas, $\Delta T = T_h - T_c$, con respecto a x no es grande en ningún lugar como lo es para la región de entrada del intercambiador en flujo paralelo. Las ecuaciones 1.6 y 1.7 se aplican a cualquier tipo de intercambiador de calor y por lo tanto se pueden usar para el arreglo en contraflujo. Además, de un análisis como el que se llevó a cabo en la sección anterior, se puede mostrar que las ecuaciones 1.14 y 1.15 también se aplican⁵. Pero para el intercambiador en contraflujo las diferencias de temperaturas en los puntos extremos se deben definir como:

$$\begin{aligned} \Delta T_1 &= (T_{h,i} - T_{c,i}) = (T_{h,1} - T_{c,1}) \\ \Delta T_2 &= (T_{h,o} - T_{c,o}) = (T_{h,2} - T_{c,2}) \end{aligned} \quad (1.17)$$

1.4.2.3 Intercambiador de calor de pasos múltiples y de flujo cruzado

A pesar de que los intercambiadores de pasos múltiples y de flujo cruzado las condiciones de flujo son más complicados, las ecuaciones 1.6, 1.7, 1.14, 1.15 se pueden aplicar si se hace una modificación a la diferencia de temperatura media logarítmica:

$$\Delta T_{ml} = F \Delta T_{ml,CF} \quad (1.18)$$

Lo que significa que la forma apropiada de ΔT_{ml} , se obtiene al aplicar un factor de corrección al valor de ΔT_{ml} que se calcularía bajo la suposición de condiciones de contraflujo (CF). Para el factor de corrección F para varias configuraciones de intercambiador de coraza y tubos y de flujo cruzado, se han desarrollado diversas expresiones algebraicas, y los resultados se pueden representar en forma gráfica. En la figura 1.14 se muestran resultados también para el caso de un intercambiador de coraza y tubos. La notación (T,t) se usa para especificar las temperaturas del fluido con la variable t siempre asignadas al fluido del lado del tubo. Con esta convención no importa si el fluido caliente o el fluido frío fluye a través de la coraza o de los tubos.

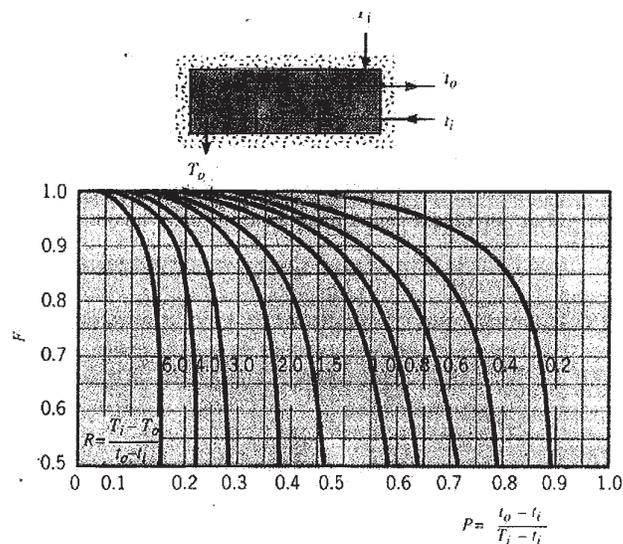


Fig. 1.14 factor de corrección para un intercambiador de calor de coraza y tubo con una coraza y cualquier múltiplo de dos pasos de tubo

Donde:

T_i = temperatura de entrada del fluido por la coraza.

T_o = temperatura de salida del fluido por la coraza

t_i = temperatura de entrada del fluido por los tubos

t_o = temperatura de salida del fluido por los tubos

La expresión algebraica de este factor, para el caso de un Intercambiador de calor de coraza y tubos Flujo 1-2 es como sigue:

$$P = \frac{t_o - t_i}{T_i - t_i}$$

$$R = \frac{T_i - T_o}{t_o - t_i}$$

$$F = \frac{\sqrt{R^2 + 1} \ln\left(\frac{1 - P}{1 - PR}\right)}{(R - 1) \ln\left[\frac{2 - P(R + 1 - \sqrt{R^2 + 1})}{2 - P(R + 1 + \sqrt{R^2 + 1})}\right]} \quad (1.19)$$

F es un parámetro adimensional que es función de la efectividad térmica P de la razón de la tasa de capacidad calórica R y el arreglo de flujo ⁶.

1.4.3 METODO DE EFECTIVIDAD - NUT

Para realizar el análisis con este método es necesario definir la efectividad de un intercambiador, para ello se necesita determinar la transferencia de calor máxima posible, $q_{m\acute{a}x}$.

⁶ JAKOB, Max, Heat transfer, Wiley, New York, 1957.

1.4.3.1 Transferencia de calor máxima posible

Se puede lograr en un intercambiador de calor en contraflujo (Fig. 1.11) de longitud infinita (área superficial infinita) operando con las mismas tasas de flujo de fluido y las mismas temperaturas de entrada de aquellos considerados como un intercambiador real. Este intercambiador perfecto se usa para medir el grado de perfección de la funcionalidad del intercambiado, además en este uno de los dos fluidos experimentará la diferencia de temperaturas máxima posible, $T_{h,i} - T_{c,i}$, Si se considera que $C_c < C_h$, entonces de las ecuaciones 1.10 y 1.11 $|dT_c| > |dT_h|$, el fluido frío experimentará el cambio de temperatura más grande, y como la longitud es infinita, se calentaría a la temperatura de entrada del fluido caliente por lo que ($T_{c,o} = T_{h,i}$), por lo que la ecuación 1.7 queda:

$$q_{m\acute{a}x} = C_c (T_{h,i} - T_{c,i}); \quad C_c < C_h$$

Si se considera $C_h < C_c$, el fluido caliente experimentará el cambio de temperatura más grande y se enfriará a la temperatura de entrada del fluido frío ($T_{h,o} = T_{c,i}$), entonces se tiene de la ecuación 1.6

$$q_{m\acute{a}x} = C_h (T_{h,i} - T_{c,i}); \quad C_h < C_c$$

En forma general se tendría que:

$$q_{m\acute{a}x} = C_{min} (T_{h,i} - T_{c,i}) \quad (1.20)$$

Donde $C_{min} = C_h$ ó $C_{min} = C_c$, el que sea menor.

Concluyendo de la ecuación 1.20, se obtiene la transferencia de calor máxima que podría entregar el intercambiador, para las temperaturas de entrada del fluido caliente o frío establecidos.

1.4.3.2 Efectividad de un Intercambiador de Calor

La efectividad ε , se define como la razón entre la transferencia real de calor para un intercambiador de calor y la transferencia de calor máxima posible:

$$\varepsilon = \frac{q}{q_{m\acute{a}x}} \quad (1.21)$$

De las ecuaciones 1.6, 1.7, 1.20 se tiene:

$$\varepsilon = \frac{C_h (T_{h,i} - T_{h,o})}{C_{m\acute{i}n} (T_{h,i} - T_{c,i})} \quad (1.22)$$

$$\varepsilon = \frac{C_c (T_{c,o} - T_{c,i})}{C_{m\acute{i}n} (T_{h,i} - T_{c,i})} \quad (1.23)$$

Por definición la efectividad ε , que es adimensional, debe estar en el rango $0 \leq \varepsilon \leq 1$. Y si se conocen ε , $T_{h,i}$ y $T_{c,i}$, la transferencia real de calor sería fácilmente determinada de:

$$q = \varepsilon C_{m\acute{i}n} (T_{h,i} - T_{c,i}) \quad (1.24)$$

En cualquier tipo de intercambiador de calor se tiene que:

$$\varepsilon = f \left(NUT, \frac{C_{m\acute{i}n}}{C_{m\acute{a}x}} \right) \quad (1.25)$$

Donde NUT es el número de unidades de transferencia de calor.

Para el intercambiador de coraza y tubos flujo 1-2 la efectividad está dada por:

$$\varepsilon = 2 \left\{ 1 + C_r + (1 + C_r^2)^{1/2} * \frac{1 + \exp \left[-NUT(1 + C_r^2)^{1/2} \right]}{1 - \exp \left[-NUT(1 + C_r^2)^{1/2} \right]} \right\}^{-1} \quad (1.26)$$

1.4.3.3 Número de Unidades de Transferencia de Calor NUT

El número de unidades de transferencia es un parámetro adimensional que se define como la relación de la conductancia global con respecto a la tasa de capacidad térmica menor.

$$NUT = \frac{UA}{C_{min}} \quad (1.27)$$

El NUT, representa una medida del "tamaño de la transferencia de calor" o "tamaño térmico" del intercambiador. En tanto que el área de la superficie de transferencia de calor indica el tamaño físico del intercambiador.

1.4.3.4 Relación de capacidad de calor C_r

Es la razón entre la menor con respecto a la mayor tasa de capacidad calórica para 2 corrientes de fluido.

$$C_r = \frac{C_{min}}{C_{max}} \quad (1.28)$$

1.4.3.5 Relaciones Efectividad NUT

La efectividad de un intercambiador, como ya se dijo es una función del NUT, C_r y del arreglo de flujo.

La relación del NUT de un intercambiador de coraza y tubos flujo 1-2 es:

$$NUT = -(1 + C_r^2)^{-1/2} \ln \left(\frac{E-1}{E+1} \right) \quad (1.29a)$$

$$E = \frac{2/\varepsilon - (1 + C_r)}{(1 + C_r)^{1/2}} \quad (1.29 b)$$

1.5 ASPECTOS COMPLEMENTARIOS PARA EL ANALISIS DEL INTERCAMBIADOR DE CALOR DE CORAZA Y TUBOS: FLUJO 1-2.

El intercambiador de coraza y tubos: flujo 1-2, tiene como partes esenciales. La coraza por donde circula el fluido frío. El haz de tubos que conduce el fluido caliente y los deflectores transversales. Entonces aquí se da el caso de flujo externo a través de un banco de tubos y de un flujo interno en tubos horizontales circulares lisos. En esta sección se establecen las correlaciones que sirven para estimar los respectivos coeficientes de convección.

Luego se analiza la teoría sobre la caída de presión en los intercambiadores, lo que permitirá evaluar la potencia de bombeo.

Finalmente se exponen las correlaciones para la convección libre sobre un cilindro circular horizontal, las que serán de gran utilidad para determinar el espesor del aislante que recubre el intercambiador, así como las pérdidas de calor que se producen a través de él.

1.5.1 COEFICIENTE DE TRANSFERENCIA DE CALOR DEL LADO DE LA CORAZA

Se entiende como el coeficiente por convección asociado con el flujo externo a través de un banco de tubos.

En la figura 1.15 se ve el esquema de un banco de tubos en flujo cruzado, donde un fluido se mueve sobre los tubos mientras que un segundo fluido circula por los tubos a temperatura diferente

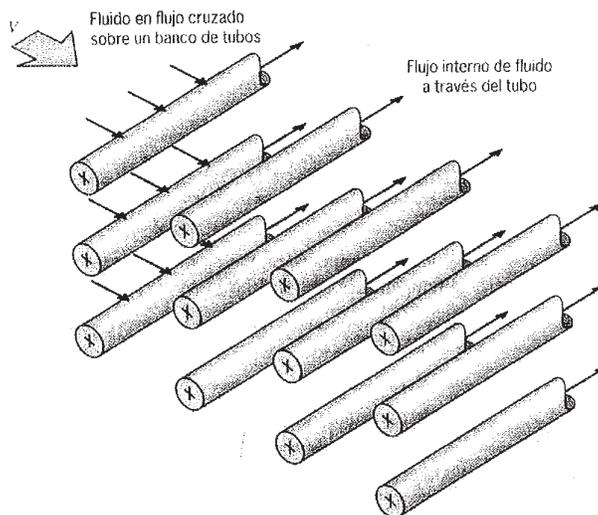


Fig. 1.15 Esquema de un banco de tubos en flujo cruzado

Las filas de tubos de un banco pueden estar escalonadas (arreglo triangular) o alineadas (arreglo cuadrado), en la dirección de la velocidad del fluido V . Fig. 1.16.

Se tiene:

D : diámetro de tubo

S_T : separación transversal

S_L : separación longitudinal medidas entre los centros de los tubos

C : claridad entre tubo y tubo.

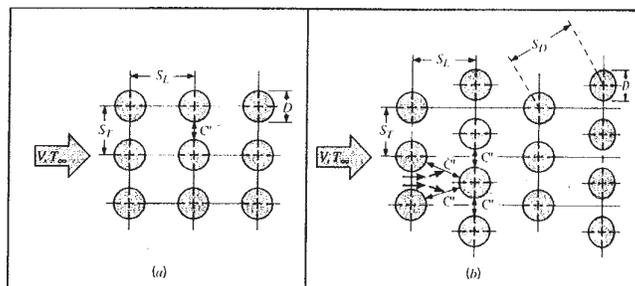


Fig 1.16 Arreglos de tubos en un banco a) alineados b) escalonados.

Cuando se usa deflectores para dirigir el flujo, los coeficientes son mayores, debido al aumento de la turbulencia.

En un arreglo cuadrado, la velocidad del fluido está sometida a continuas fluctuaciones, debido a la reducción en área entre los tubos adyacentes comparada con el área de flujo entre las hileras sucesivas.

En un arreglo triangular (tres bolillo) se usa menor espacio y existe todavía mayor turbulencia, debido a que el fluido que fluye entre los tubos adyacentes a alta velocidad golpea directamente en la hilera siguiente, lo que implicaría que, cuando la caída de presión y limpieza no es de cuidado, el arreglo triangular es superior para alcanzar altos valores del coeficiente de película en el lado de la coraza. Lo cual es el caso de este trabajo. Bajo condiciones comparables de flujo y tamaño de tubos, los arreglos triangulares dan coeficientes aproximadamente 25% más altos que en el arreglo cuadrado. ⁷

A más de los efectos del espaciado de los deflectores, los coeficientes del lado de la coraza se ven afectados también por el espaciado de los tubos, tamaño de los mismos, tolerancias y características del flujo de fluido

La posición de un tubo en el banco determina el coeficiente de transferencia de calor. El coeficiente para un tubo en la primera línea es aproximadamente al de un solo tubo en flujo cruzado, en tanto que los

coeficientes de transferencia de calor más grandes están asociados con tubos en las líneas internas.

Los tubos de las primeras líneas actúan como una rejilla de turbulencia, lo que incrementa el coeficiente de transferencia para los tubos de las líneas siguientes.

Como el propósito esencial es determinar el coeficiente promedio de transferencia de calor para todo el haz de tubos con arreglo triangular, se disponen de correlaciones que son funciones del número de Reynolds (Re), número de Prandtl (Pr), elevados a ciertos coeficientes obtenidos experimentalmente.⁸

Para $Re \leq 10^3$, se tiene:

$$Nu : 0.57 Re^{0.5} Pr^{0.36} \left(\frac{Pr}{Pr_s} \right)^{0.25} \quad (1.30)$$

Para $Re > 10^3$, se tiene:

$$Nu : 0.37 Re^{0.6} Pr^{0.36} \left(\frac{Pr}{Pr_s} \right)^{0.25} \quad (1.31)$$

La relación entre h, Nu , está dada por:

$$h = Nu \frac{k}{D_o} \quad (1.32)$$

Además:

$$Re = \frac{\rho V_{máx} D_o}{\mu}$$

$$V_{m\acute{a}x} = \frac{\dot{m}}{\rho A_s}$$

Luego :

$$\text{Re} = \frac{\dot{m}_c D_o}{A_s \mu} \quad (1.33)$$

$$A_s = \frac{D_c C' B}{S_T} \quad (1.34)$$

Con las ecuaciones (1.30 y 1.31) se obtiene el coeficiente de transferencia entre tubos y flujo de la tercera fila y posteriores, por lo que se debe aplicar un factor de correcci3n que tome en cuenta la 1ra y 2da fila.

Entonces el coeficiente de transferencia promedio para el banco de tubos, queda de la siguiente manera:

$$\bar{h} = \left(\frac{0.61A_1 + 0.7A_2 + A_3 + \dots + A_m}{\sum_1^m A_m} \right) h \quad (1.35)$$

⁷ KERN, Donald, Procesos de transferencia de Calor, Continental, M3xico, 1982

⁸ MIJEEV, MIJEEVA, Fundamentos de Termotransferencia, Mir, Mosc3, 1979.

Para el intercambiador de este trabajo queda:

$$h_o = 0.912h \quad (1.36)$$

Siendo:

$V_{m\acute{a}x}$: la velocidad máxima del flujo exterior al banco de tubos.

Nu : Número de Nusselt.

D_o : diámetro exterior del tubo.

A_s : rea libre para el flujo en el banco de tubos.

D_c : diámetro de la coraza.

C : claridad entre tubo y tubo.

ρ : densidad del agua fría.

B : espacio entre deflectores.

S_T : separación transversal entre tubos.

h_o = coeficiente de transferencia del lado de la coraza.

A_1, A_2, \dots, A_m : reas de los tubos de las filas 1,2,.....m

m : número de filas de un banco de tubos.

\dot{m}_c : flujo másico del agua fría

h : coeficiente calculado por las correlaciones 1.30, 1.31, según el caso.

μ : viscosidad dinámica del agua

k : conductividad térmica del agua.

*Todas las propiedades se calculan a la temperatura promedio $\bar{T}_c = \frac{T_{c,i} + T_{c,o}}{2}$,

excepto Pr_s , que se calcula a la temperatura de la superficie del tubo (T_s).

De la fig1.10

$$\bar{T}_s = \bar{T}_c + \frac{U_o}{h_o} F \Delta T_{ml} \quad (1.37)$$

1.5.2 COEFICIENTE DE TRANSFERENCIA DE CALOR DEL LADO DE LOS TUBOS

Primero se debe determinar si se dan simplificaciones de transferencia de calor con la temperatura de la pared constante o flujo de calor constante, para lo cual se debe cumplir las siguientes condiciones ⁹

- Flujo de calor constante

$$\text{Si } \dot{m}_c c_{p,h} = \dot{m}_c c_{p,c} \quad \text{Y} \quad \text{Re Pr } D/L < 3.514$$

- Temperatura de la pared constante .

Si $\dot{m}c_p$ de uno de los fluidos es mucho mayor que $\dot{m}c_p$ del otro.

Bajo los parámetros con que va ha funcionar el intercambiador, no se cumplen estas condiciones, por lo que para determinar el coeficiente de transferencia de calor se debe hacer uso de las correlaciones experimentales.

Sieder y Tate ¹⁰ desarrollaron una correlación tanto para el calentamiento como para el enfriamiento de varios fluidos, en tubos horizontales y verticales.

Para $\text{Re} < 2100$.

$$Nu = 1.86 \left(\text{Re Pr } \frac{D}{L} \right)^{1/3} \left(\frac{\mu}{\mu_s} \right)^{0.14} \quad (1.38)$$

⁹ L'EWCUVER, WARNER, A comparison of Constant Wall Temperature and Constant Heat Flux Heat Transfer. En Journal of Heat – Transfer. ASME Vol84 pág. 90,1962.

¹⁰ WELTY, James, Transferencia de Calor Aplicada a la Ingeniería, 1ra edición, México,1978, pág.

Según esta ecuación se producen las desviaciones máximas de la media de aproximadamente $\pm 12\%$, para Re entre 100 y 2100.

Para $Re > 10^4$,

$$Nu = 0.023 Re^{0.8} Pr^{0.3} \quad (1.39)$$

La relación entre el coeficiente de transferencia en los tubos h_i, Nu , está dado por:

$$h_i = \frac{Nu k}{D_i} \quad (1.40)$$

Además $Re = \frac{\rho V D_i}{\mu}$, para flujo en un tubo circular.

$$V = \frac{4\dot{m}_h}{N\rho\pi D_i^2}, \text{ velocidad del agua caliente en los tubos.}$$

Luego:

$$Re = \frac{4\dot{m}_h}{N\pi D_i \mu} \quad (1.41)$$

Donde:

D_i : diámetro interior de los tubos.

μ : viscosidad dinámica del agua.

\dot{m}_c : flujo másico del agua caliente.

N : número de tubos por paso.

L : longitud total de la trayectoria de transferencia de calor.

Las propiedades del fluido están evaluadas al valor promedio de la temperatura $\bar{T}_h = \frac{T_{h,i} + T_{h,o}}{2}$, excepto u_s está evaluado a la temperatura de la superficie del tubo.

1.5.3 CAIDA DE PRESION EN LOS INTERCAMBIADORES

La caída de presión necesaria para sostener un flujo interno es esencial para determinar los requerimientos de potencia de bombeo (P).

La potencia que se requiere para vencer la resistencia al flujo asociada con esta caída de presión se puede expresar como:

$$P = \frac{\dot{m}\Delta p}{\rho} \quad [W] \quad (1.42)$$

donde:

\dot{m} : flujo másico $[Kg/s]$.

Δp : caída de presión N/m^2 .

ρ :densidad del fluido Kg/m^3 .

1.5.3.1 Caída de Presión en tubos y bancos de tubos

Se acostumbra ha dividir las pérdidas de presión en mayores y menores. Las mayores se refieren a los tubos y las menores a los accesorios (codos, válvulas, visores, etc.).

Para las pérdidas mayores se considera el factor de fricción f y para las menores el coeficiente de resistencia local K .

Para régimen laminar en tubos rugosos, la rugosidad no influye en el factor de fricción, por lo cual su valor se lo tomaría, como el de los tubos lisos.

Para flujo turbulento completamente desarrollado el análisis es más complicado, depende de resultados experimentales. En el diagrama de Moody fig.1.16 se presentan factores de fricción, para un amplio intervalo del número de Reynolds. Además de la dependencia de este número, el factor de fricción es una función de la condición de la superficie del tubo. Para superficies suaves es mínimo y se incrementa al aumentar la rugosidad.

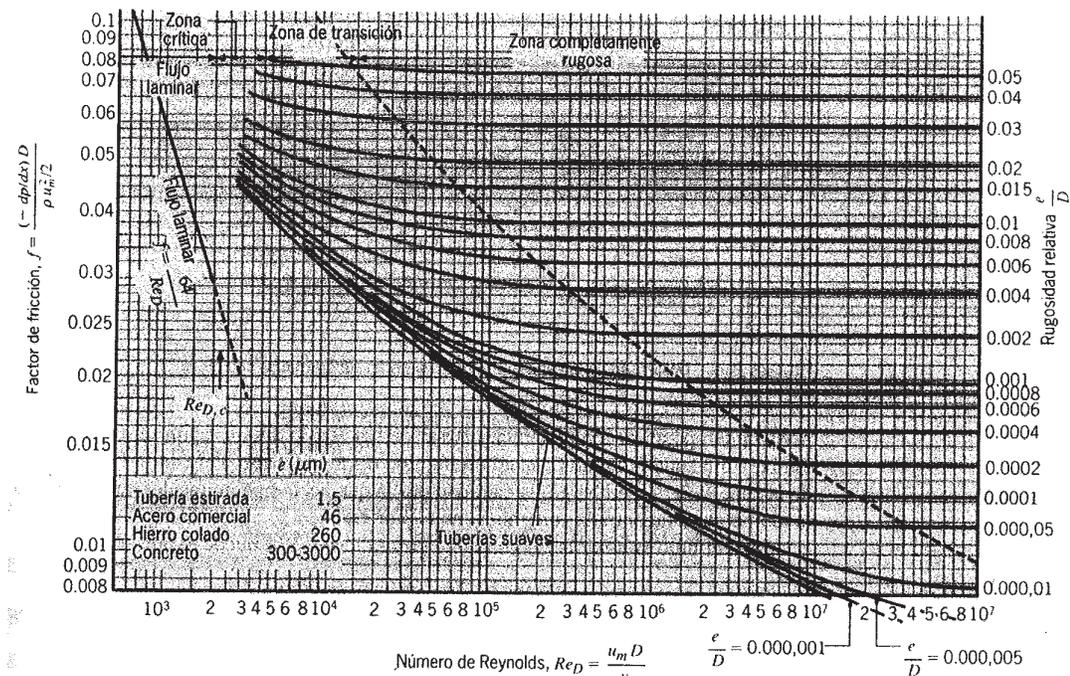


Figura 1.17 Diagrama de Moody Factor de Fricción

Cuando el flujo es no isotérmico, se deben usar los factores

$$\left(\frac{Pr_s}{Pr}\right)^n \quad \text{y} \quad \left(\frac{Gr Pr}{Re}\right)^m$$

este sobre el cambio de las propiedades del fluido¹¹.

Para calcular la caída de presión en la red exterior a los intercambiadores no se necesita la rectificación para flujo no isotérmico

¹¹ MIJEEV, MIJEEVA, Fundamentos de Termotransferencia, Mir, Moscú, 1979.

1.5.3.1.1 Fórmulas para calcular la caída de presión

- Pérdidas de presión mayores

$$\Delta p = f \frac{\rho V^2 L}{2 D h} \quad (1.43)$$

- Pérdidas de presión menores

$$\Delta p = K \frac{\rho V^2}{2} \quad (1.44)$$

siendo :

$$V = \frac{\dot{m}}{\rho A_c} ;$$

$$A_c = \pi D^2 / 4, \text{ para tubos circulares.}$$

V : velocidad del fluido

A_c : área de la sección transversal del tubo.

L : longitud del tubo

D_h : diámetro hidráulico

1.5.3.1.2 Factor de Fricción¹²

Las expresiones para calcular el factor de fricción son:

- **Para tubos lisos**

$$Re < 3000$$

$$f = \frac{64}{Re} \left(\frac{Pr_s}{Pr} \right)^{0.33} \left[1 + 0.22 \left(\frac{Gr Pr}{Re} \right)^{0.15} \right] \quad (1.45)$$

$$Gr = g \beta D_i^3 \rho^2 (\bar{T} - T_s) / \mu^2 \quad (1.46)$$

Gr : número de Grashof

g : 9.8 m/s²

β : coeficiente de expansión

Para este caso el diámetro hidráulico es igual al diámetro interior del tubo.

$Re > 3000$

$$f = \frac{0.3164}{Re^{0.25}} \left(\frac{Pr_s}{Pr} \right)^{0.33} \quad (1.47)$$

- Para el banco de tubos en arreglo triangular

$$f = (5.4 + 3.4m) Re^{-0.28} (\mu)^{0.14} \quad (1.48)$$

$$Dh = \frac{3.44S_T^2 - \pi D_o^2}{\pi D_o}$$

m : número de filas de tubos

D_o : diámetro exterior del tubo

Del valor calculado con la ecuación 1.43, se debe multiplicar por el número de cruces a través del haz, que es igual al número de deflectores más uno (N_D+1)

1.5.3.1.3 Coeficiente K ¹³

los valores representativos de los coeficientes locales de resistencia K se indican en la tabla 1.2

¹² INCROPERA, Fundamentos de Transferencia de Calor, Prentice-Hall, México 1996.

Tabla 1.2 Valores de los coeficientes K

DISPOSITIVO	K	OBSERVACIONES
Codo de retroceso	2.2	
Codo 90°	0.9	Codo normal
Expansión brusca	1.0	Desde un tubo hacia un depósito.
Contracción brusca	0.5	Desde un depósito a un tubo
Válvula de compuerta	0.19	Completamente abierta
Tee	1.8	T normal

1.5.3.2 Caída de presión en el intercambiador coraza y tubos: flujo 1-2

Las caídas de presión en este tipo de intercambiador se subdividen en:

- a) Caídas de presión en el lado de los tubos.
- b) Caídas de presión en el lado de la coraza.

Las mismas que haciendo uso de la teoría expuesta en los apartados anteriores, queda de la siguiente forma.

¹³ KAY, J.M. Mecánica de Fluidos y Transferencia de Calor, Marcombo, Barcelona, 1964

1.5.3.2.1 Caídas de presión en lado de los tubos

- a) Expansión brusca a la entrada a la tapa lateral.

$$\Delta p = \frac{\rho V^2}{2}$$

Donde:

$$V = \frac{4\dot{m}_h}{\rho\pi D_T^2}$$

\dot{m}_h : fluo másico de agua caliente

D_T : diámetro del tubo de entrada de agua caliente a la tapa-

- b) Contracción brusca a la entrada a los tubos del primer paso.

$$\Delta p = 0.5 \frac{\rho V^2}{2}$$

Donde:

$$V = \frac{4\dot{m}_h}{N\rho\pi D_i^2}$$

D_i : diámetro interior de los tubos

N : número de tubos por paso.

- c) Caída en los tubos del primer paso.

$$\Delta p = f \frac{\rho V^2 LN}{2D_i}$$

Donde:

$$V = \frac{4\dot{m}_h}{N\rho\pi D_i^2}$$

d) Expansión brusca a la salida a la tapa lateral.

$$\Delta p = \frac{\rho V^2}{2}$$

Donde:

$$V = \frac{4\dot{m}_h}{N\rho\pi D_i^2}$$

e) Curva de retorno al segundo paso

$$\Delta p = 2.2 \frac{\rho V^2 N}{2}$$

Donde:

$$V = \frac{4\dot{m}_h}{N\rho\pi D_i^2}$$

f) Contracción brusca en la entrada al segundo paso

$$\Delta p = 0.5 \frac{\rho V^2}{2}$$

Donde:

$$V = \frac{4\dot{m}_h}{N\rho\pi D_i^2}$$

g) Caída en los tubos del segundo paso

$$\Delta p = f \frac{\rho V^2 LN}{2D_i}$$

Donde:

$$V = \frac{4\dot{m}_h}{N\rho\pi D_i^2}$$

h) Expansión brusca a la salida del segundo paso.

$$\Delta p = \frac{\rho V^2}{2}$$

Donde:

$$V = \frac{4\dot{m}_h}{N\rho\pi D_i^2}$$

i) Contracción brusca a la salida del intercambiador

$$\Delta p = 0.5 \frac{\rho V^2}{2}$$

Donde

$$V = \frac{4\dot{m}_h}{\rho\pi D_T^2}, \text{ donde } D_T \text{ es el diámetro del tubo de salida de la tapa lateral.}$$

1.5.3.2.2. Caída de presión en el lado de la coraza

a) Expansión brusca a la entrada hacia la coraza

$$\Delta p = \frac{\rho V^2}{2}$$

Donde:

$$V = \frac{4\dot{m}_c}{\rho\pi D_T^2}$$

b) Caída en el paso por el banco de tubos.

$$\Delta p = f \frac{\rho V^2 D_c}{2D_h} (N_D + 1)$$

Donde:

$$V = \frac{4\dot{m}_c}{\rho A_s}$$

$$A_s = \frac{D_c C' B}{S_T}$$

Donde:

A_s : área libre para el flujo en el banco de tubos.

N_D : número de deflectores

c) Curva de paso sobre o bajo un deflector.

$$\Delta p = 2.2 \frac{\rho V^2 N_D}{2}$$

Donde:

$$V = \frac{4\dot{m}_c}{\rho A_s}$$

d) Contracción brusca a la salida de la coraza

$$\Delta p = 0.5 \frac{\rho V^2}{2}$$

Siendo

$$V = \frac{4\dot{m}_c}{\rho \pi D_T^2}$$

D_T : diámetro del tubo de salida de agua fría de la coraza.

1.5.4 CORRELACIÓN PARA LA CONVECCION LIBRE SOBRE UN CILINDRO CIRCULAR HORIZONTAL

Morgan ¹⁴ para un cilindro isotérmico sugiere una expresión de la forma:

$$\bar{Nu}_D = \frac{\bar{h}D}{k} = CRa_D^n \quad (1.49)$$

Tabla 1.3 Constantes de la ecuación 1.49 para convección libre sobre un cilindro circular horizontal.

Ra_D	C	n
10^{-10} - 10^{-2}	0.675	0.058
10^{-10} - 10^{-2}	1.02	0.148
10^2 - 10^4	0.850	0.188
10^4 - 10^7	0.480	0.250
10^7 - 10^{12}	0.125	0.333

Churchill y Chu ¹⁵ recomiendan una correlación simple para un margen amplio del número de Rayleigh:

$$Nu = \left\{ 0.60 + \frac{0.387 Ra_D^{1/6}}{\left[1 + \left(\frac{0.559}{Pr} \right)^{9/16} \right]^{8/27}} \right\}^2 \quad (1.50)$$

Las correlaciones anteriores proporcionan el número de Nusselt promedio sobre toda circunferencia de un cilindro isotérmico.

Número de Rayleigh:

$$Ra_D = \frac{g\beta(T_s - T_\infty)D^3}{\mu\alpha}$$

Donde:

g : aceleración gravitacional (m/s^2)

β : coeficiente de expansión térmica volumétrica.

T_s : temperatura superficial externa del cilindro.

T_∞ : temperatura del aire.

D : diámetro exterior del cilindro.

μ : viscosidad cinemática.

α : difusividad térmica.

Las propiedades del aire, se deben evaluar a la temperatura de película T_f , que se define como:

$$T_f = \frac{T_s + T_\infty}{2}$$

¹⁴ MORGAN, V.T. Incropera, The Overall Convective Heat Transfer from Smooth Circular Cylinders, Academic Press, New York, 1975.

¹⁵ CHURCHIL, S., CHU; Incropera, correlating Equations for Laminar and Turbulent Free Convection from a Horizontal Cylinder, 1975.

2 CAPITULO II.

DISEÑO DEL SISTEMA

INTRODUCCIÓN

En este capítulo se da el alcance, la descripción y la metodología del diseño del sistema para prácticas de laboratorio.

2.1 ALCANCE

El sistema será diseñado y construido de tal forma que permita realizar las siguientes mediciones:

- Las temperaturas de entrada y salida del agua caliente.
- Las temperaturas de entrada y salida del agua fría.
- El flujo del agua caliente.
- El flujo del agua fría.

2.2 DESCRIPCION DEL SISTEMA

El sistema está esquematizado en la figura 2.1 (los planos del diseño se adjuntan en los anexos J) y sus partes fundamentales son:

- ❖ El intercambiador de calor de coraza y tubos.
- ❖ El sistema de agua caliente.
 - Tanque de agua caliente.
 - Resistencias de calentamiento
 - Bomba.
 - Tubería.
 - Acoples y accesorios

- ❖ El sistema de agua fría.
 - Tanque elevado
 - red de abastecimiento al laboratorio.
 - Tubería.
 - Acoples y accesorios.
- ❖ El sistema de control de temperatura.
 - Sensor.
 - Selector.
 - Contactor.
- ❖ El sistema de medición.
 - Medidor de temperatura
 - Termómetros.
 - Termocupla
 - Rotámetros
 - Medición manual de caudal.
 - Cubeta graduada.
 - Cronómetro.

El tanque de calentamiento de agua, como se verá en el apartado 2.5, está provisto de resistencias eléctricas de inmersión controladas mediante un sensor de temperatura de precisión.

La bomba impulsa el agua caliente a lo largo de los tubos del intercambiador, una vez enfriada pasa por una válvula de control y un rotámetro (con la ayuda de los dos últimos elementos se puede regular y ajustar al flujo de agua deseada), para finalmente volver al tanque.

El fluido frío se lo toma de la red de abastecimiento de laboratorio, luego se dirige al intercambiador atravesando el espacio comprendido entre el haz de tubos y la coraza, posteriormente pasa por una válvula de control y un rotámetro, (cumplen iguales funciones de los anteriores), para al final circular por la tubería de salida.

Para medir las temperaturas de las corrientes de agua fría y caliente a la entrada y salida del intercambiador, se utilizan termómetros adecuados para el caso.

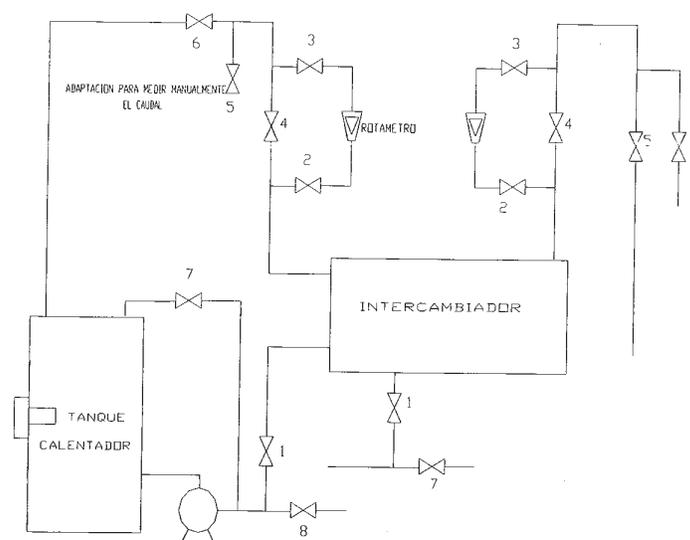


Fig. 2.1 Sistema para prácticas de laboratorio del intercambiador de calor.

2.3 PARAMETROS DE DISEÑO

Como la finalidad del sistema, es utilizarlo en las prácticas de laboratorio por lo que se toma en consideración los siguientes aspectos:

- Deberá estar instrumentado totalmente para la realización de experimentos y prácticas de los estudiantes.
- Distribución de la tubería y accesorios adecuados.
- La frecuencia de uso (discontinua).
- El espacio vacante (limitado).
- Temperatura de entrada de agua caliente, $T_{h,i} = 60^{\circ}\text{C}$
- Temperatura de entrada de agua fría, $T_{c,i}$, la de la red pública.
- Caudal de agua caliente $Q_h = 0.3 \text{ GPM}$
- Caudal de agua fría $Q_c = 0.3 \text{ GPM}$

Además de lo anteriormente citado, se debe tener presente: el costo, disponibilidad de materiales, construcción; facilidad de montaje, desmontaje, y limpieza.

2.4 INTERCAMBIADOR DE CALOR DE CORAZA Y TUBOS FLUJO 1-2 A/A.

Es importante señalar que para el diseño y cálculo del intercambiador se ha asumido lo siguiente:

- a. La transmisión de calor se produce en el sentido radial, es decir por convección del agua caliente hacia la pared interior del tubo, por conducción hacia la pared exterior y por último por convección hacia el exterior del banco de tubos.
- b. La transmisión de calor en el sentido axial, o sea en la dirección del flujo caliente es despreciable comparados con el flujo de calor en el sentido radial.
- c. Los calores específicos son constantes para cada uno de los fluidos.
- d. La densidad de los fluidos es constante.
- e. El coeficiente de transferencia de calor por convección tanto en el lado del agua caliente como en el lado del agua fría es constante.
- f. No existen pérdidas de calor al ambiente (sistema adiabático).
- g. El sistema opera en estado estable.

2.4.1 PARAMETROS DEL INTERCAMBIADOR DE CALOR

2.4.1.1 Parámetros Funcionales.

- Caudal de agua caliente $Q_h = 0.3$ GPM
- Caudal de agua fría $Q_c = 0.6$ GPM
- Temperatura de entrada de agua caliente : 60° C.

- Temperatura de entrada de agua fría : temperatura de la red pública.

2.4.1.2 Parámetros Geométricos

2.4.1.2.1 Coraza.

- Material: Tool galvanizado de 1/8 de pulgada.
- $D_c = 15.2 \times 10^{-2} m$, diámetro de la coraza.
- $L = 1.20 m$, longitud de la coraza.

2.4.1.2.2 Haz de tubos.

- $N_D = 4$, número de deflectores.
- $B = 24 \times 10^{-2}$, espacio entre deflectores.
- $m = 6$, número de filas del haz.
- $N = 13$, número de tubos por paso.
- $A = 1.55 m^2$, área de transferencia de calor total referida al diámetro exterior de los tubos.

2.4.1.2.3 Tubos

- Material : cobre.
- $D_i = 1.37 \times 10^{-2} m$, diámetro interior del tubo.
- $D_e = 1.59 \times 10^{-2} m$, diámetro exterior del tubo.
- $L = 1.20 m$, longitud de los tubos.

2.4.1.2.4 Arreglo triangular del haz de tubos.

- $S_T = 2 cm$, separación transversal.
- $S_L = 1.732 \times 10^{-2} m$, separación longitudinal.
- $C' = 0.48 \times 10^{-2} m$, claridad entre tubos.

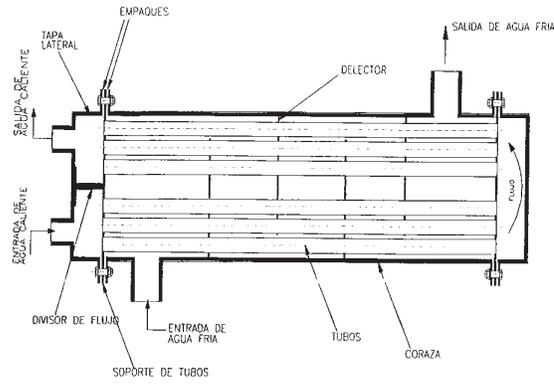


Figura 2.2 Sección longitudinal del intercambiador

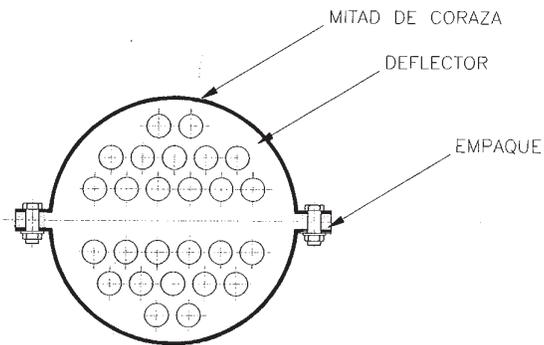


Fig. 2.3 Sección transversal.

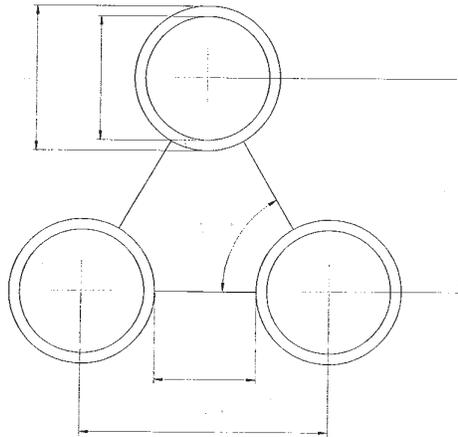


Fig. 2.4 Arreglo triangular de tubos.

En los planos generales y de detalle que se adjuntan en el anexo J, se puede consultar la información técnica referente a materiales, acabados, medidas, etc, del intercambiador de calor.

2.4.2 AISLANTE TERMICO DEL INTERCAMBIADOR

Con el propósito de que las pérdidas de calor al ambiente sean mínimas (máximo 0.15% del calor transferido), se aislará térmicamente al intercambiador. Para determinar el espesor del aislante se considerará los parámetros funcionales máximos bajo los cuales va ha funcionar el intercambiador, que son:

Temperatura de entrada 60 °C.

Temperatura entrada de agua fría : temperatura de la red pública.

Flujo de agua caliente : 0.3 GPM.

Flujo de agua fría : 0.6 GPM

Las ecuaciones que servirán para dicho cálculo son:

a) Calor cedido por el agua caliente:

$$q_{ced} = \dot{m}_h c_{p,h} (T_{h,i} - T_{h,o}) \quad (2.1)$$

\dot{m}_h : flujo másico de agua caliente

$c_{p,h}$: calor específico del agua caliente.

$T_{h,i}$: temperatura de entrada del agua caliente.

$T_{h,o}$: temperatura de salida del agua caliente.

b) Porcentaje de pérdidas:

$$q_{pér} = 0.0015q_{ced} \quad (2.2)$$

$q_{pér}$ = calor perdido

c) Calor que atraviesa el aislante.



Fig. 2.5 Esquema del intercambiador con el aislante

$$q_{pér} = \frac{2\pi L k_{ais}}{\ln \frac{D_2}{D_1}} (T_{s,1} - T_{s,2}) \quad (2.3)$$

Donde:

L : longitud del intercambiador (m).

k_{ais} : conductividad térmica del aislante (W/mK)

$T_{s,1}$: temperatura de la superficie interior del aislante (K)

$T_{s,2}$: temperatura de la superficie exterior del aislante (K)

D_1 : diámetro exterior de la coraza (m)

D_2 : diámetro exterior más aislante de la coraza (m)

d) Calor que atraviesa el aislante y pasa el aire:

$$q_{pér} = h\pi D_2 L [T_{s,2} - T_{\infty}] \quad (2.4)$$

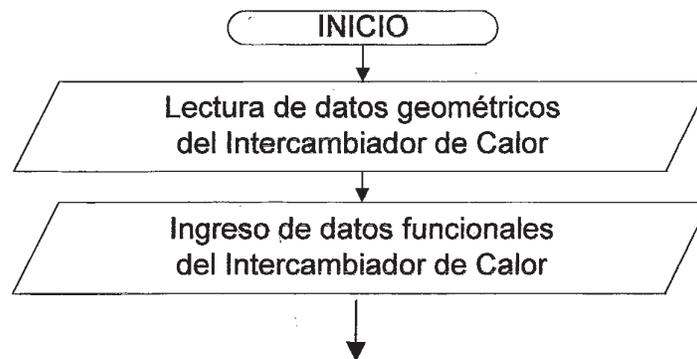
Donde:

h : coeficiente de convección para el aire (W/m^2k)

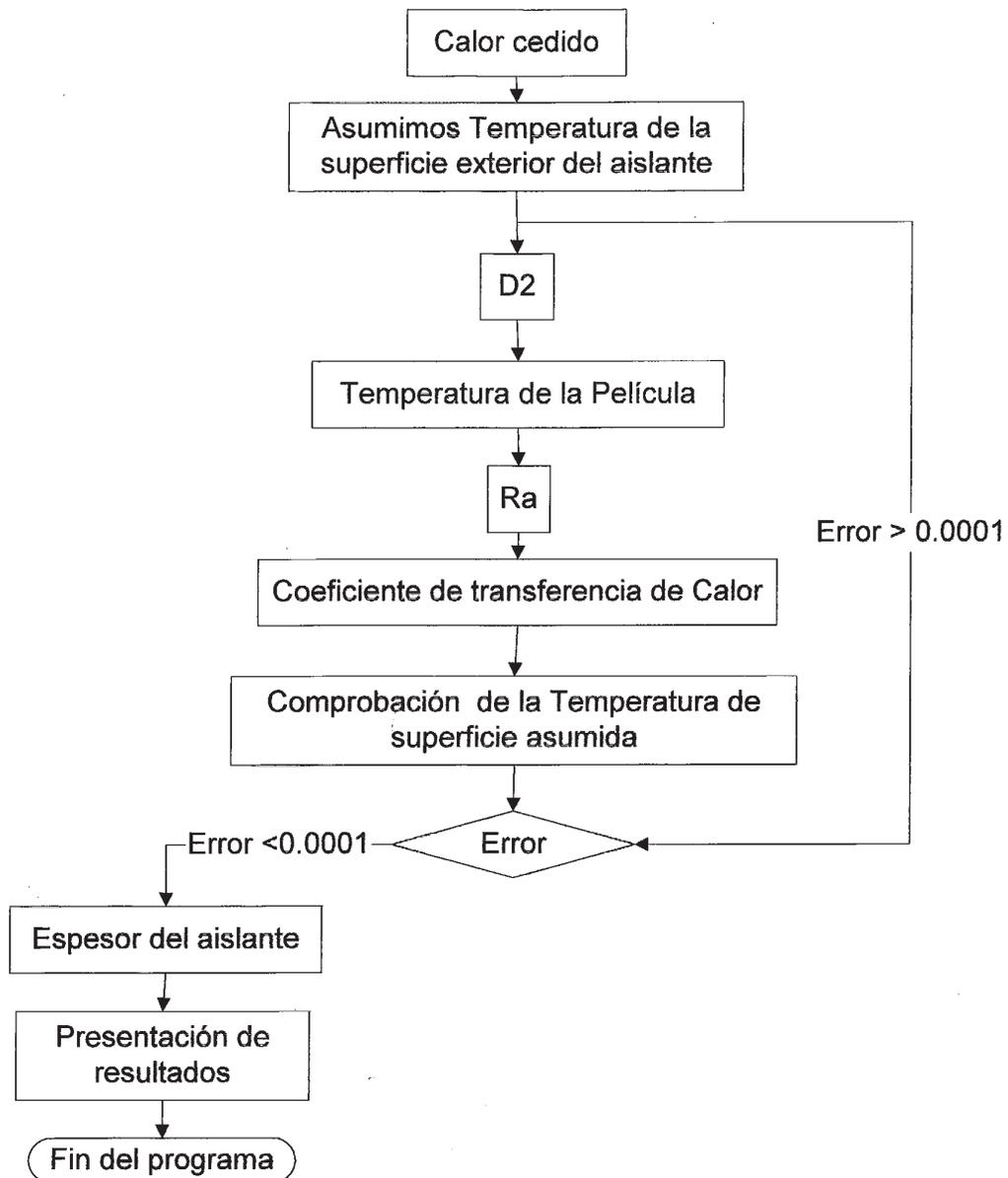
T_{∞} : temperatura del aire.

Para el cálculo del espesor del aislante se ha desarrollado un programa en Visual Basic 4.0 (Ver Anexo F). El diagrama de flujo y los pasos seguidos se dan a continuación.

2.4.2.1. Diagrama de flujo



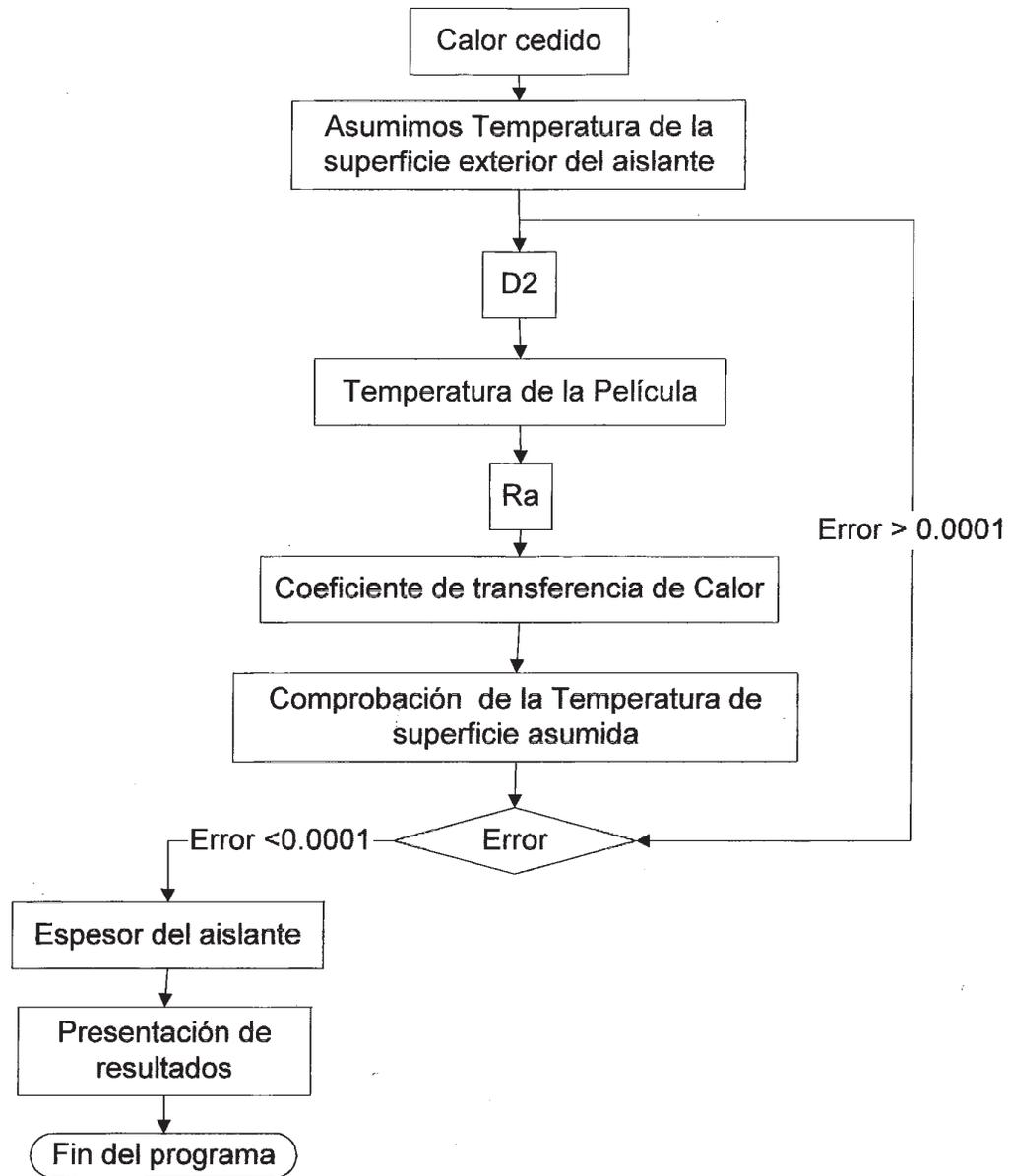
Continúa página siguiente



2.4.2.2. Descripción del programa para el cálculo del espesor del aislante del intercambiador.

2.4.2.2.1 Datos de entrada:

1. Funcionales:



2.4.2.2. Descripción del programa para el cálculo del espesor del aislante del intercambiador.

2.4.2.2.1 Datos de entrada:

1. Funcionales:

- a) $q_{ced} = q$ cedido por el agua caliente, obtenido en el programa de funcionamiento bajo los parámetros funcionales máximos:
- b) \bar{T}_c = temperatura promedio del agua fría obtenida del programa de funcionamiento bajo las mismas condiciones anteriores.
- c) $T_\infty = 16^\circ\text{C} = 289.15^\circ\text{K}$ temperatura del aire.
- d) $k_{ais} = 0.037 \text{ W/m}^2 \text{ K}$, conductividad del aislante. (Ver Anexo D).

2. Geométricos:

- a. $D_1 = 15.84 \cdot 10^{-2} \text{ m}$, diámetro exterior de la coraza.
- b. $L = 1.2 \text{ m}$, longitud de la coraza.

3. $g = 9.81 \text{ m/s}^2$.

4. Tabla de las propiedades del aire

Tabla A4 (Anexo I)

2.4.2.2.2 Resultados:

t = espesor del aislante

2.4.2.2.3 Cálculos:

Paso 1. q_{ced}

Paso 2. $q_{per} = 0.0015 q_{ced}$

Paso 3. $T_{s,1} = \bar{T}_c$

Paso 4. $T_{s,2}$: temperatura de la superficie exterior del aislante.

Se asume: $T_{s,2} = \frac{\bar{T}_c + T_\infty}{2}$

Paso 5. $D_2 = D_1 \ln^{-1} \left[\frac{2\pi k_{aisl} L (\bar{T}_c - T_{s,2})}{q_{per}} \right]$

Paso 6. T_f : temperatura de película.

$$T_f = \frac{T_{s,2} + T_\infty}{2}$$

Paso 7. $\beta = \frac{1}{T_f}$

Paso 8. De la tabla A4 (Anexo G) obtener a la temperatura T_f las siguientes propiedades. ν, α

Paso 9. Ra :

$$Ra = \frac{g\beta(T_{s,2} - T_\infty) D_2^3}{\nu\alpha}$$

Paso 10. Pr

Obtener Pr de la tabla A4 a la temperatura T_f

Paso 11. Nu

$$Nu = \left\{ 0.60 + \frac{0.387 Ra_D^{1/6}}{\left[1 + \left(\frac{0.559}{Pr} \right)^{9/16} \right]^{8/27}} \right\}^2$$

Paso 12. k :

Se obtiene de la tabla A4 a la temperatura T_f

Paso 13. h .

$$h = \frac{k}{D_2} Nu$$

Paso 14. Comprobación de $T_{s,2}$

$$T_{s,2N} = \frac{q_{per}}{h\pi D_2 L} + T_\infty$$

Paso 15. Nuevo $T_{s,2}$

$$T_{s,2} = \frac{(T_{s,2ant} + T_{s,2N})}{2}, \quad T_{s,2ant} = T_{s,2anterior}$$

Paso 16. Con el nuevo $T_{s,2}$, se repite desde el paso 5.

Proceso Iterativo hasta que $|T_{s,2N} - T_{s,2}| \leq 0.001$

Paso 17. t : espesor del aislante

$$t = \frac{D_2 - D_1}{2}$$

2.5 SISTEMA DE AGUA CALIENTE

Está constituido por:

- El tanque de calentamiento.
- Resistencias de calentamiento.
- Bomba eléctrica.
- Tubería.
- Acoples y accesorios.

2.5.1 ALTERNATIVAS DE CALENTAMIENTO Y SELECCIÓN

Para el calentamiento del agua existen dos alternativas:

- Calentadores directos.
- Calentadores eléctricos.

A continuación se presentan sus requerimientos, sus ventajas y desventajas; y por último se seleccionará la más conveniente para este trabajo

2.5.1.1 Calentadores directos.

2.5.1.1.1 Requerimientos:

- Caldero.
- Tanque de almacenamiento.
- Bomba.

2.5.1.1.2 Ventajas:

- Alto rendimiento

2.5.1.1.3 Desventajas:

- No existe disponibilidad de la fuente.
- Es necesario equipo adicional en la instalación.
- Alto costo.

2.5.1.2 Calentadores eléctricos.

2.5.1.2.1 Requerimientos:

- Energía eléctrica.
- Tanque de almacenamiento.
- Resistencias eléctricas de inmersión.
- Bomba.

2.5.1.2.2 Ventajas:

- Se dispone totalmente del sistema (tanque, resistencias, bomba, tubería).
- El suministro de calor es de fácil regulación.

2.5.1.2.3 Desventajas:

- Costo de la energía eléctrica.

2.5.1.3 Selección

El calentamiento del agua mediante calentadores eléctricos de inmersión es el más conveniente, por las ventajas comparativas que ofrece:

- Disponibilidad total del sistema en el laboratorio.

- Fácil adaptabilidad al sistema principal de este trabajo.

2.5.2 TANQUE CALENTADOR

Se realizaron medidas sobre el calentador instalado en el laboratorio sin alterar las conexiones eléctricas encontradas, y se determinó los siguientes parámetros:

(Mediciones realizadas sobre los terminales externos del conjunto total de resistencias calentadoras):

- Voltaje de alimentación: 120 Vrms
- Corriente en todo el conjunto : 28 Arms.
- Potencia medida : 3.1Kw.

Otros :

- Capacidad del tanque 40 Kg de agua.
- Material: acero
- Recubrimiento: pintura anticorrosiva.
- Aislante: fibra de vidrio.



Fig. 2.6 Tanque de calentamiento

2.5.3 BOMBA ELECTRICA

La bomba eléctrica disponible en el laboratorio se muestra en la figura 2.7 y tiene las siguientes características:

- Marca: Yamaha.
- Tipo: YP10BLG
- Potencia de salida: 200W.
- Voltaje: 120V
- Caudal 30 l/min.

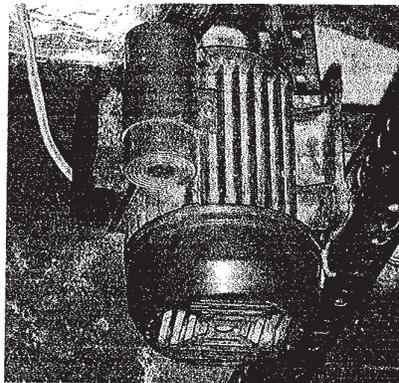


Fig. 2.7 Bomba eléctrica.

Para los caudales de agua caliente máximos con los que va a funcionar el intercambiador, (caudal máximo 1.17 l/min), y las caídas de presión correspondientes (Ver programa de funcionamiento), la bomba resulta sobredimensionada, sin embargo por el alto costo que tienen en el mercado no se puede adquirir una, por lo que se aprovecha la que existe en el laboratorio.

2.5.3 BOMBA ELECTRICA

La bomba eléctrica disponible en el laboratorio se muestra en la figura 2.7 y tiene las siguientes características:

- Marca: Yamaha.
- Tipo: YP10BLG
- Potencia de salida: 200W.
- Voltaje: 120V
- Caudal 30 l/min.

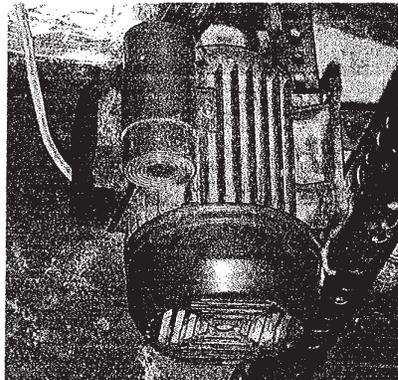


Fig. 2.7 Bomba eléctrica.

Para los caudales de agua caliente máximos con los que va a funcionar el intercambiador, (caudal máximo 1.17 l/min), y las caídas de presión correspondientes (Ver programa de funcionamiento), la bomba resulta sobredimensionada, sin embargo por el alto costo que tienen en el mercado no se puede adquirir una, por lo que se aprovecha la que existe en el laboratorio.

2.5.4 TUBERIA

2.5.4.1 Tubería de entrada de agua caliente al intercambiador.

Se utilizará tubería de $\frac{1}{2}$ pulgada, recubierta con material aislante (cañuelas de lana de vidrio) de 2cm, de espesor

2.5.4.2 Tubería de salida de agua caliente del intercambiador.

Tubería de $\frac{1}{2}$ pulgada recubierta con material aislante.

2.5.5 ACOPLEROS Y ACCESORIOS

Dentro de este grupo se tiene :

- Válvulas.
- Codos.
- Tee.
- Universales.
- uniones
- neoplos

2.6 SISTEMA DE AGUA FRÍA

2.6.1 TANQUE ELEVADO

Este tanque abastece de agua permanentemente al laboratorio y está ubicado en su parte posterior con una altura de agua aproximada de 4 m. Lo que es suficiente para las caídas de presión que se producen (ver programa de funcionamiento).

2.6.2 RED DE ABASTECIMIENTO DE AGUA AL LABORATORIO

La red de abastecimiento, esta constituida por tubería, acoples y accesorios de ½ pulg.

2.6.3 TUBERIA DE ENTRADA DE AGUA FRIA AL INTERCAMBIADOR

Se usará tubería de ½ pulg.

2.6.4 TUBERIA DE SALIDA DE AGUA FRIA DEL INTERCAMBIADOR.

Se utilizara tubería de ½ pulg.

2.6.5 ACOPLEROS Y ACCESORIOS

- Válvulas.
- codos.
- Tee.
- universales.
- Uniones.
- Nipples

2.7 SISTEMA DE MEDIDA

Esta constituido por :

- Medidor de temperatura
- Termómetros.
- Termocupla
- Rotámetros.
- Medida manual de caudal.

2.7.1 TERMÓMETROS

Se va utilizar 4 termómetros de vidrio del tipo bulbo, para las entradas y salidas tanto del agua caliente como del agua fría. Sus especificaciones son :

- Marca : Boeco
- Tipo : bulbo de mercurio.
- Rango : -10 / 110 ° C
- Apreciación : 1 °C

Este tipo de termómetros tiene numerosas aplicaciones industriales y se los usa por ser uno de los instrumentos más sencillos para medir temperatura. Tienen una buena velocidad de respuesta y el error en la medición es de $\pm 1\%$ ¹

2.7.2 ROTÁMETROS

El rotámetro es un medidor volumétrico de área interior variable adecuado para pequeños caudales, y cuyas partes principales son:

- Tubo cónico.
- Flotador.
- Escala de lectura.

El fluido entra por la parte inferior del tubo, produciéndose el punto de equilibrio cuando la fuerza hacia arriba que ejerce la corriente de fluido es igual a la fuerza hacia abajo debido al peso del flotador.

Para el sistema motivo del presente trabajo, se usarán dos rotámetros del tipo que se observa en la figura 2.8 y cuyas características son :

- Marca : Omega (USA)
- Serie : FI 4503
- Rango : 0 - 2 GPM .
- Apreciación : 0.1 GPM.
- $1\text{GPM} = 6.6 \cdot 10^{-5} \text{m}^3/\text{s}$



Fig 2.8 Rotámetro

Las instrucciones y recomendaciones para su instalación y uso, así mismo como más datos técnicos se pueden ver en el anexo A.

2.7.3 MEDIDA MANUAL DE CAUDAL.

A pesar que se instalará dos rotámetros para la medición de caudal de agua caliente y fría, se hará las adecuaciones necesarias en la tubería para poder medir manualmente en la tubería. Esto con el único propósito de preservar los rotámetros.

Para la medición manual de caudal se requiere de una cubeta graduada y un cronómetro

2.7.3.1 Cubeta graduada

- Rango : 0 - 1.75 litros.
- Apreciación : 0.25 litros.

2.7.3.2 Crónometro

- Marca : Toppa
- Tipo : digital.
- Rango : 0 - 9 horas.
- Apreciación : 1/100 seg.

2.7.4 TERMOCUPLA

- Tipo : K
- Material : Chromel – Alumel
- Inmersión.

2.7.5 MEDIDOR DE TEMPERATURA

- Marca : Physitemp
- Modelo: BAT 10
- Tipo: digital
- Rango : -200°C +400°C Apreciación 1°C
 -100°C + 199.9°C 0.1°C

¹ SOISSON, Harold; Instrumentación Industrial, Limusa, México, 1990

2.8 SISTEMA DE CONTROL DE TEMPERATURA



Fig. 2.9 Caja de control de temperatura.

Con este sistema, se podrá seleccionar y mantener la temperatura del agua caliente que ingresa al intercambiador.

Sus elementos son:

- Sensor.
- Selector de temperatura.
- Contactor.

Al momento de la inspección del sistema de control de temperatura se encontró que no existía el sensor de temperatura (termistor NTC).

Se desmontaron los elementos de la caja de control y se procedió a probarlos por separado.

2.8.1 SENSOR

Sus funciones son:

- Medir la temperatura en el tanque de calentamiento de agua.
- Enviar la señal al selector.

Dado que no se pudo encontrar el sensor original del equipo, y tampoco fue posible hallar las especificaciones técnicas del mismo; se decidió utilizar un termistor genérico de 10Kohm @ 25°C y probar con este último el funcionamiento del controlador.

Las pruebas de funcionamiento del controlador de temperatura en conjunto con el sensor se realizaron en el Laboratorio de Instrumentación del Departamento de Automatización y Control Industrial de la E.P.N. Luego se procedió a calibrar el conjunto relé térmico-termistor en un baño de agua caliente.

2.8.2 SELECTOR DE TEMPERATURA.

Las funciones son:

- Determinar la temperatura de trabajo del agua.
- Recibir la señal del termistor.
- Comparar la señal con el valor de la temperatura definida.

Sus especificaciones son:

- Marca: IZUMI
- Tipo : TCA- 5
- Rango de medidas de temperatura: 0°C a 100°C
- Banda de sensibilidad : 1.2 °C

2.8.3 CONTACTOR

Este dispositivo es del tipo ON-OFF, y sus funciones son:

- Recibir la señal del selector.
- Conectar o desconectar las resistencias eléctricas de inmersión.

Sus especificaciones son:

- Marca: SQUARE D
- Tipo : DN 8.10
- Voltaje: 110 V. CA.
- Potencia: 1.1Kw

La carga es de característica puramente resistiva, por lo que se puede guiar por la corriente máxima que es de 20A, consecuentemente se usarán los tres contactos de potencia en paralelo para distribuir la corriente de la carga (28A) entre ellos.

3 CAPITULO III

CONSTRUCCIÓN Y MONTAJE DEL SISTEMA

INTRODUCCIÓN.

En este capítulo se tratará específicamente la parte tecnológica, es decir se detallarán los pasos seguidos en la construcción, montaje y puesta a punto del sistema.



Fig 3.1 Sistema para prácticas en laboratorio

3.1 INTERCAMBIADOR DE CALOR CORAZA Y TUBOS

Este intercambiador era parte de un Banco de Pruebas de Colectores Solares, se encontraba en desuso y por lo mismo en malas condiciones. Fue recuperado y acondicionado para el propósito de este trabajo.

3.1.1 OPERACIONES REALIZADAS.

a) *Desmontaje*

El desmontaje llevó más tiempo del previsto, debido a la corrosión de pernos y tuercas. Retirándose además los empaques se encontraban en mal estado.

b) *Limpieza*

En primer lugar se procedió a lijar las superficies corroídas, para luego limpiar con solvente.

En el interior de los tubos, se uso ácido Clorhídrico diluido al 10%

c) *Soldadura*

Algunas uniones entre tubos y soportes, así como entre tubos y deflectores se encontraron defectuosas; por lo que se procedió a aplicar soldadura de plata, especificada para tales situaciones (Anexo B)

d) *Montaje*

En este proceso se usó empaques de asbesto grafitado (Anexo C), recomendados para trabajo con agua en los rangos de presión y temperatura especificados; por su gran calidad, duración y resistencia al calor.

También se procedió a colocar nuevos pernos tuercas, obteniéndose el sellado apropiado.

e) **Detección de Fugas.**

El intercambiador fue sometido a un Banco de Pruebas Hidrostáticas, para detectar posibles fugas. Se utilizó una presión de 20 psi para ingreso del agua al banco de tubos y se observó que no se encontraron fugas por lo que se determina que el intercambiador esta en condiciones de ser puesto en servicio.

f) **Aislamiento**

Para tal propósito, se usa AF/Armaflex (ver Anexo D), por su baja conductividad, y porque no se humedece. Características que lo hacen superior al aislamiento con lana de vidrio.

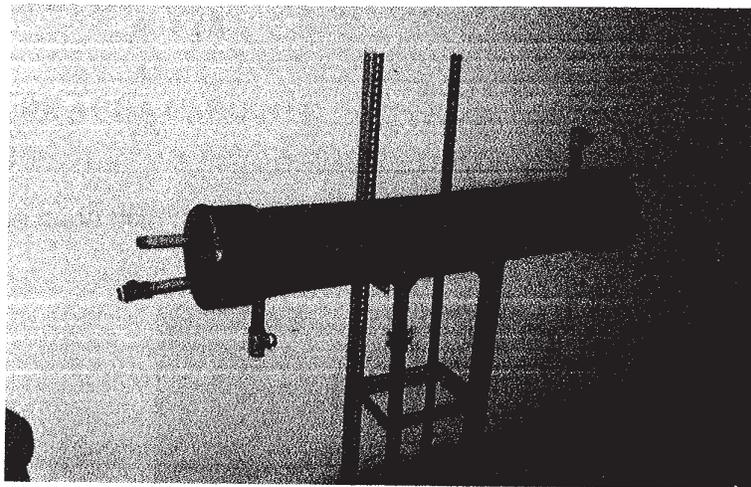


Fig 3.2 Intercambiador con aislante

g) **Recubrimiento**

El aislante es recubierto con láminas (Foil) de aluminio, por su baja emisividad, para evitar al máximo posible las pérdidas de calor por radiación, el resultado final se puede ver en la Fig 3.3.

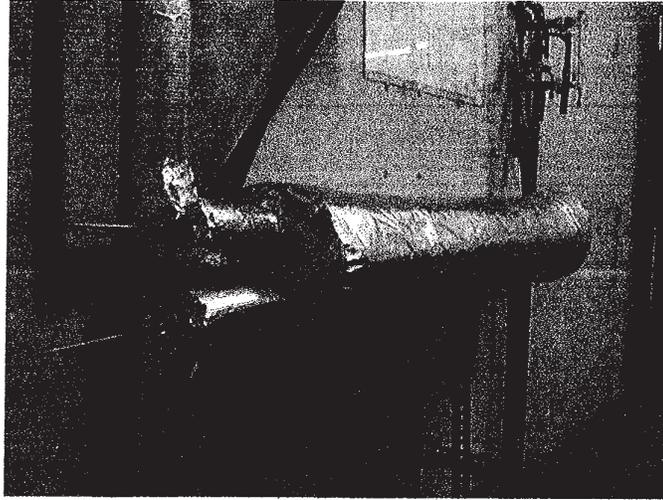


Fig 3.3 Intercambiador aislado y recubierto con foil de aluminio

3.2 EL SISTEMA DE AGUA CALIENTE

3.2.1 TANQUE DE AGUA CALIENTE

Al tanque se le hizo un lavado interior profundo durante 5 horas.

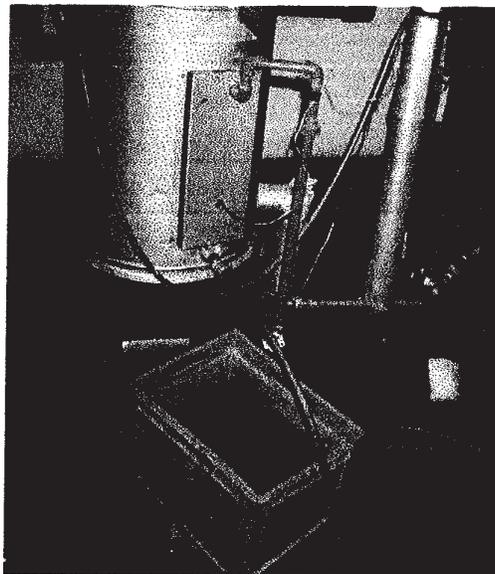


Fig 3.4 Limpieza interna del tanque

También se le instaló un termistor que forma parte del sistema de control de temperatura.

Luego se realizó la limpieza exterior , para finalmente recubrirlo con pintura anticorrosiva.



Fig 3.5 Acabado final del tanque

3.2.2 TUBERÍA

3.2.2.1 Tubería utilizada

Se uso tubería de la línea Dorada Plastigama PPC Biorientado ½ pulgada.

Norma : IRAM 13479/73

Uso : agua caliente

Color: terracota uniforme.

Diámetro exterior : 21.3mm

Espesor pared 3.4mm

3.2.2.1.1 Ventajas

Esta tubería está elaborada con compuestos de polipropileno y bajo estricto control de calidad, presentando resistencia al impacto y tracción en altas y bajas temperaturas. Por tal motivo puede reemplazar a otros materiales como cobre y hierro galvanizado. Sus ventajas entre otras son:

- Máxima flexibilidad.
- Máxima vida útil.
- Máxima polipropileno.
- Máxima resistencia al impacto
- Máxima resistencia al agua caliente.
- Máxima velocidad del agua, por su bajo coeficiente de fricción.
- Resistencia a las presiones internas y externas.
- Resistencia a la corrosión química.
- Resistencia a la formación de incrustaciones.
- Aislante térmico.
- Aislante acústico.
- No conducen la electricidad.
- Peso liviano.
- Instalación sencilla y económica.

Para más información sobre la tubería y accesorios para agua caliente (Ver anexo E).

2.2.2 Operaciones realizadas

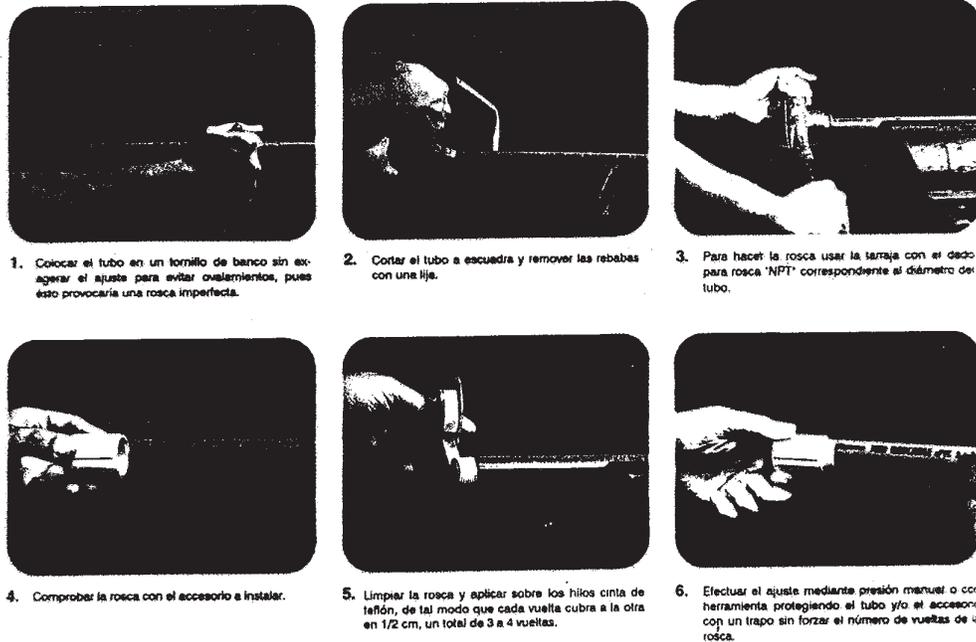


Fig 3.6 Proceso de instalación de la tubería

Se procedió a realizar las siguientes operaciones de acuerdo a las dimensiones del plano 0.02 (Ver anexo J).

Tabla 3.1 Operaciones realizadas en la tubería

Secuencia de operación	Herramientas usadas
Trazado	Flexómetro, Punzón
Corte	Sierra de arco
Roscado	Tarraja ½ pulgada.
Verificado	Flexómetro

3.2.3 ACOPLEROS Y ACCESORIOS



Fig 3.7 Tubería, acoples y accesorios, línea de agua caliente.

En la figura 3.7 , se observa estos elementos, los mismos que se detallan seguidamente en la tabla 3.2.

Tabla 3.2 Acoples y Accesorios.

Elemento	Cantidad	Dimensión
Válvula de compuerta	7	1/2"
V. de bola 1/4 de vuelta	1	1/2"
Codo	9	1/2"
Tee IPS	2	3/4"
Tee IPS	6	1/2"
Universal HH IPS	4	1/2"
Reductor Bushing	4	3/4" x 1/2"
Neplo IPS corrido	12	1/2"
Unión reductora	1	1 x 1/2"
Neplo Polimex	1	1 x 15xm
Tapón IPS Hembra	1	1"

3.2.4 ENSAMBLE

El ensamble de las partes se realiza usando cinta de teflón y pasta Hidro 3

3.2.5 AISLANTE

Toda la red de agua caliente se aisló con cañuelas de lana de vidrio de 2cm de espesor (Fig 3.8), recubiertas con láminas (FOIL) de aluminio (Fig 3.9)

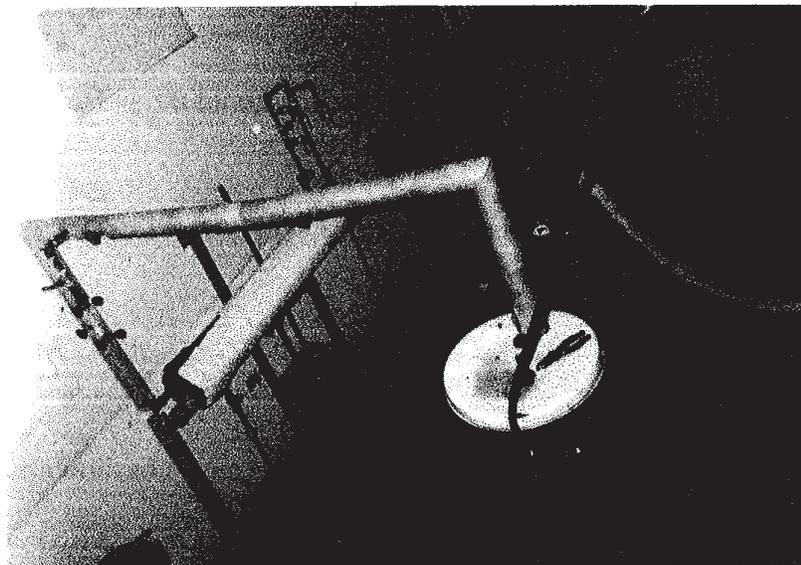


Fig 3.8 Línea de agua caliente con aislante.

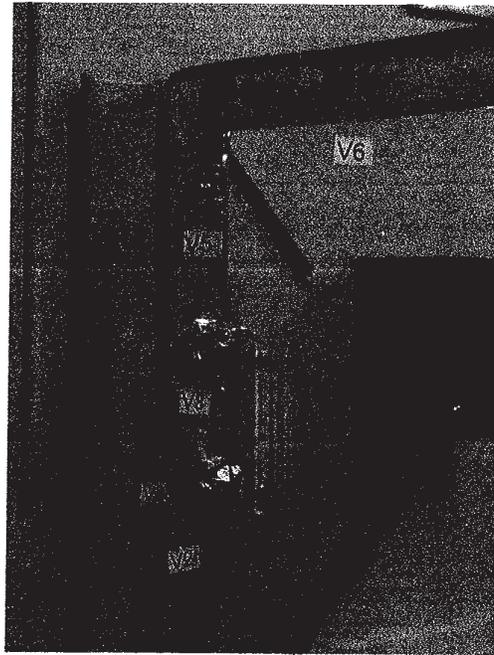


Fig 3.9 Línea con aislante más Foil de aluminio

3.3 SISTEMA DE AGUA FRIA

3.3.1 TUBERIA

3.3.1.1 Tubería utilizada

Se utilizó tubería de las siguientes características :

Material : tubo PVC roscable PN 420 PSI

Diámetro: ½"

Norma : ASTM D- 1785-89

Color : azul

Uso : agua fría.

Fábrica: plastigama

Para más información ver el anexo E

3.3.1.2 Ventajas

Esta tubería es más conveniente que la galvanizada y sus ventajas son:

- Pared gruesa.
- Alta resistencia a la presión.
- Alta flexibilidad.
- Resistencia a la corrosión y formación de depósitos o incrustaciones a las paredes interiores.
- Durabilidad.
- Livianos.
- Fácil de cortar.
- Fácil instalar.

3.3.1.3 Operaciones realizadas

Se procedió a realizar las siguientes operaciones de acuerdo a las dimensiones del plano 0.02.

Tabla 3.3 Operaciones realizadas en la tubería

Secuencia de operación	Herramientas usadas
Trazado	Flexómetro, Punzón
Corte	Sierra de arco
Roscado	Tarraja ½ pulgada.
Verificado	Flexómetro

3.3.2 ACOPLEROS Y ACCESORIOS.

En las figuras 3.10 y 3.11 se observa estos elementos, los mismos que se detallan seguidamente en la tabla 3.4

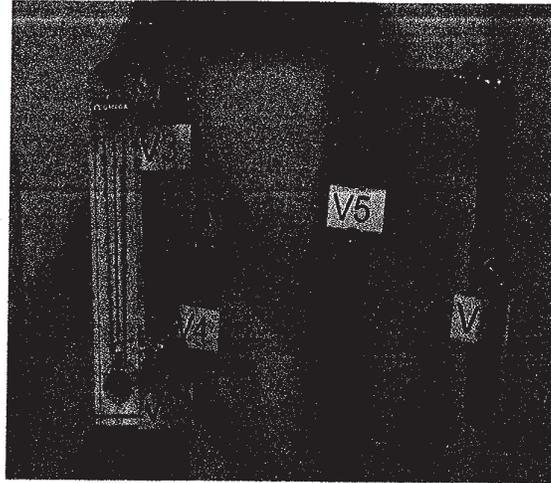


Fig. 3.10 Tubería, acoples y accesorios línea agua fría.

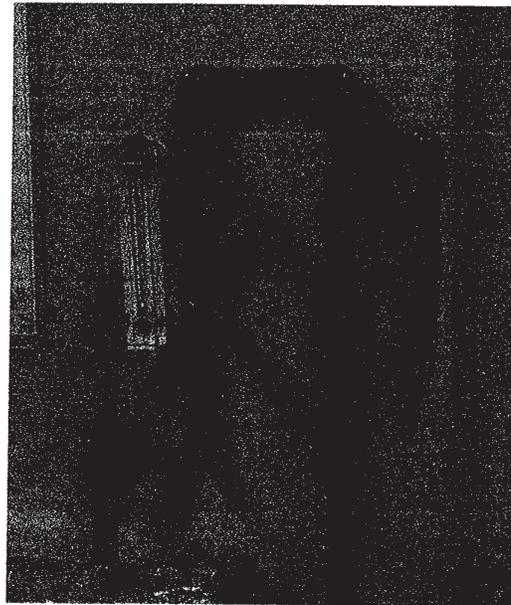


Fig 3.11 Tubería, acoples y accesorios línea agua fría.

Tabla 3.4 Acoples y Accesorios.

Elemento	Cantidad	Dimensión
Válvula de compuerta	2	1/2"
Válvula de bola 1/4 de vuelta	4	1/2"
Codo	7	1/2"
Tee IPS	2	3/4"
Tee IPS	4	1/2"
Universal HH IPS	4	1/2"
Reductor Bushing	5	3/4" X 1/2"
Neplo IPS corrido	10	1/2"

3.3.3 ENSAMBLE

El ensamble de las partes se realiza usando teflón y pasta Hidro 3.

3.3.4 PINTADO

Siguiendo la norma INEN 440, se pinta de color verde la red de agua fría.

3.4 SISTEMA DE MEDICION

3.4.1 TERMOMETROS

En la figura 3.12 se puede observar el ensamble del tapón a la Tee con el respectivo termómetro. Esto se realiza tanto a las entradas como salidas del intercambiador.

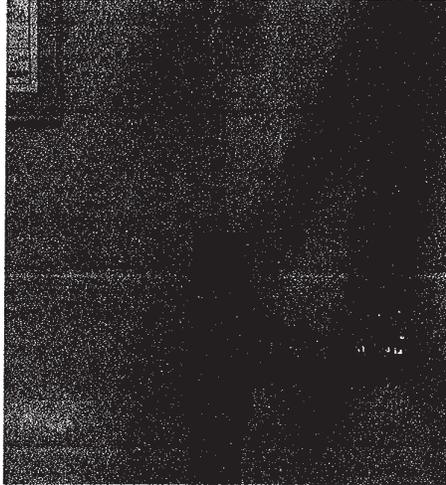


Figura 3.12 Termómetro, tapón, tee

3.4.2 ROTAMETROS

El montaje del rotámetro y las válvulas a la red de agua se ve en la fig 3.13. Las válvulas cumplen 2 funciones:

- Direccionar el flujo según se requiera usar el rotámetro o medir manualmente el caudal.
- Regular el caudal de agua deseada.

Se ha instalado los rotámetros tanto en la red de agua fría como en la caliente.



Fig 3.13 Rotámetro

3.4.3 MEDIDA MANUAL DE CAUDAL

La figura 3.14 muestra la adaptación hecha a la red, para facilitar la medición manual del caudal.

Para abrir o cerrar el flujo de agua a medir, se ha usado válvulas de Bola, que mediante un simple giro de 90° , controla el caudal.

Esta adaptación se hace tanto para la red de agua fría como caliente.

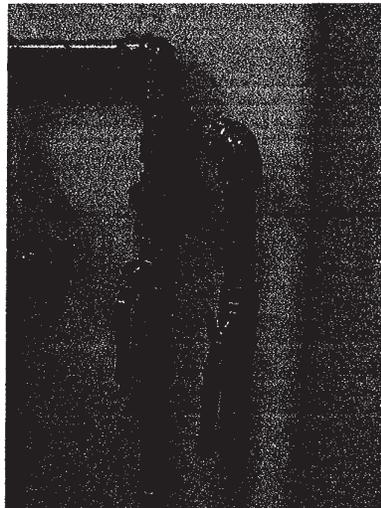


Fig 3.14 Adaptación para medir manualmente el caudal

3.5 SISTEMA DE CONTROL DE TEMPERATURA

Se procedió al montaje de los elementos del sistema de control de temperatura, reemplazando el alambrado original por uno más adecuado, de acuerdo al diagrama de conexiones que de adjunta. Se incluyó por considerarlo

conveniente un interruptor con llave que pone en funcionamiento al controlador, mas una luz piloto verde para indicar que el controlador está energizado y una luz piloto ámbar para indicar que el contactor se ha cerrado por lo que las resistencias calefactoras del tanque estarían siendo alimentadas.

En cuanto al montaje del sensor, se decidió usar uno de los tubos vacíos que están junto a las resistencias calentadoras del tanque. Estos tubos están diseñados para alojar al sensor de temperatura que viene normalmente con estas resistencias, por lo que se consideró conveniente su uso. El termistor está conectado con el controlador de temperatura por medio de dos alambres retorcidos para eliminar las interferencias que podrían darse.

La caja del controlador de temperatura se montó en el panel cerca del equipo construido; y para realizar las conexiones eléctricas hacia la alimentación de energía y al tanque calentador, como se muestra en el diagrama eléctrico del circuito de potencia que se adjunta (Anexo H).

Adicionalmente se instaló un interruptor de cuchillas con sus fusibles de protección y el alambrado respectivo, de manera que, el tanque calentador puede ser puesto a funcionar de modo manual o automáticamente con este nuevo equipo de control.

Todo el alambrado eléctrico externo a la caja del controlador se lleva a través de manguera de PVC para protección contra cualquier evento que pueda producir algún daño a los conductores.

3.6 BASTIDOR

El bastidor fue construido con perfiles DEXION L120.

Tabla 3.5 Procedimiento de construcción del bastidor

Secuencia de operación	Herramientas usadas
Trazado	Flexómetro, escuadra, punzón
Corte	Sierra de arco
Verificado	Flexómetro
Armado	Llaves, destornillador, escuadra
Verificado	Flexómetro, escuadra
Pintado	Soplete



Fig. 3.15 Bastidor

3.7 TABLERO

El tablero fue hecho de madera, mediante el procedimiento indicado en la tabla 3.6, el cual fue utilizado para sujetar la tubería, la caja de control de temperatura y el interruptor.

Tabla 3.6 Procedimiento de construcción del tablero

Secuencia de operación	Herramientas usadas
Trazado	Flexómetro, escuadra, punzón
Corte	Serrucho
Verificado	Flexómetro
Trazado	Flexómetro, escuadra, punzón.
Taladrado	Taladro, brocas
Verificado	Calibrador, flexómetro
Pintado	Soplete

El tablero fue sujetado a la pared con 4 tirafondos de $\frac{1}{4}$ " x $\frac{4}{5}$ "

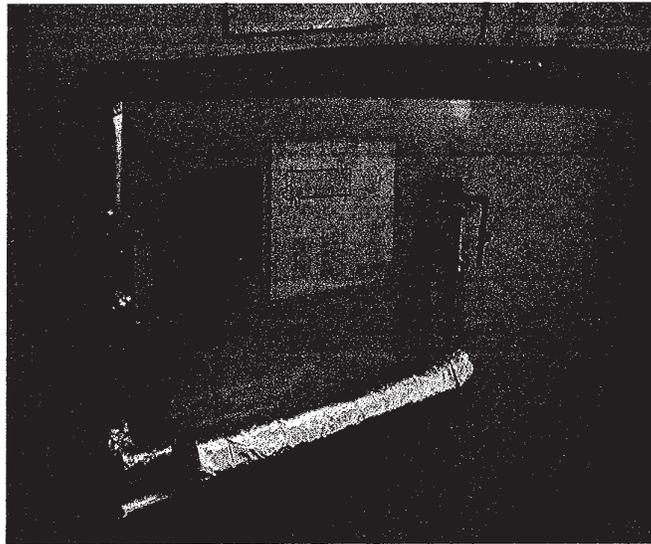


Fig 3.16 Tablero

4 CAPITULO IV

4. PRUEBAS Y ANÁLISIS DE RESULTADOS

INTRODUCCIÓN

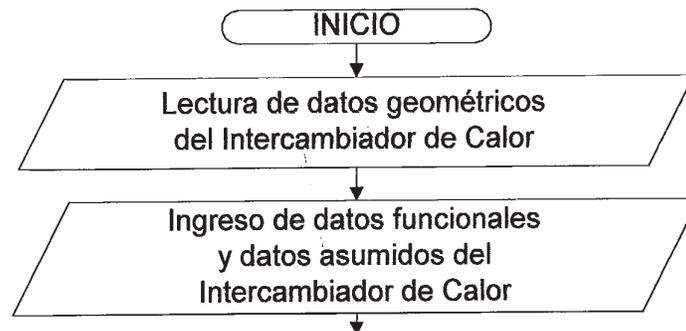
En este capítulo se exponen las pruebas realizadas en el sistema.

Los datos y resultados obtenidos se los presenta en cuadros y gráficos.

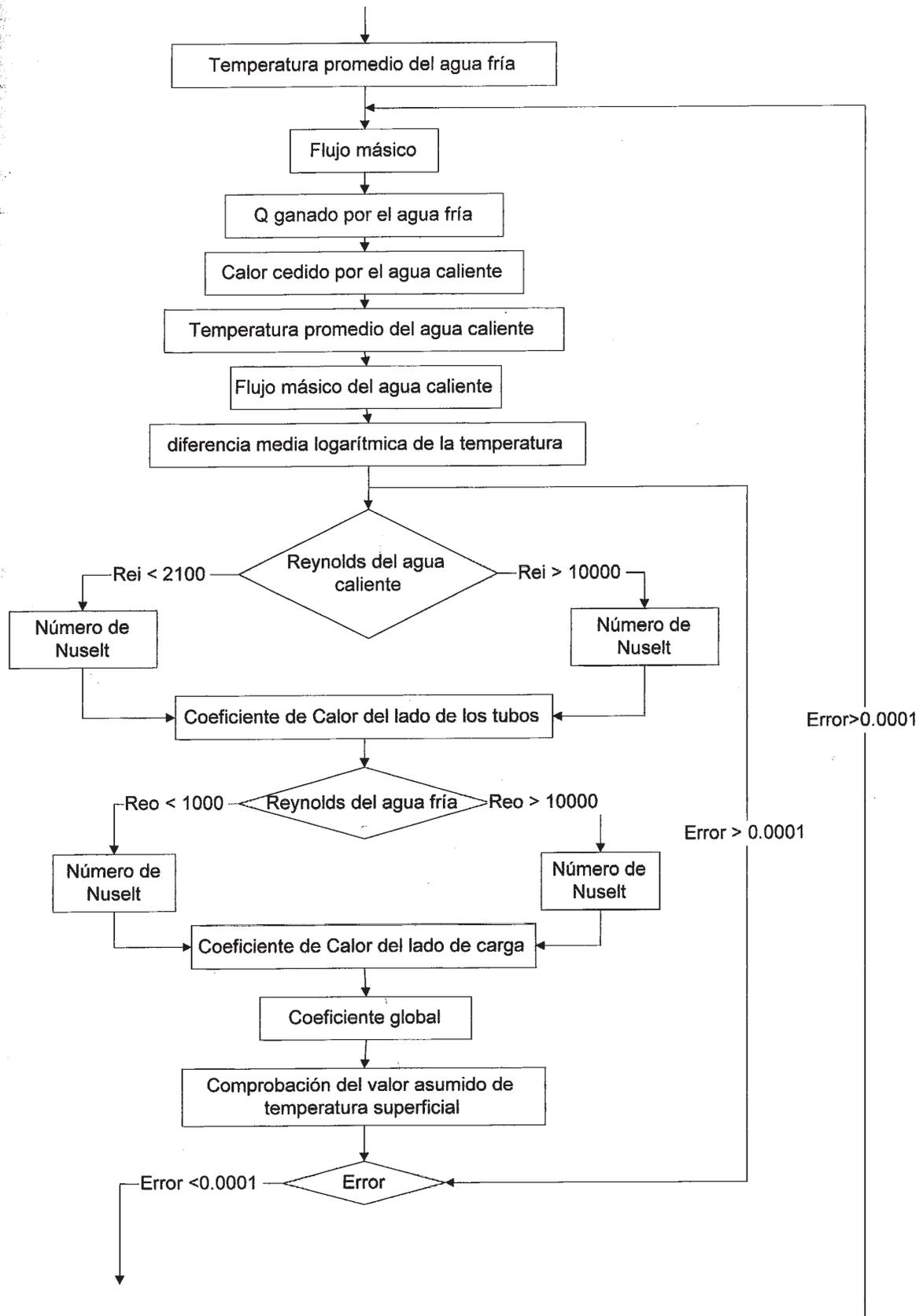
Concluyendo con la interpretación, el análisis y la correlación entre los resultados teóricos y experimentales. Para lo cual, se ha elaborado programas computacionales que simulan al comportamiento del intercambiador (Ver anexo F) Seguidamente se enumeran los pasos.

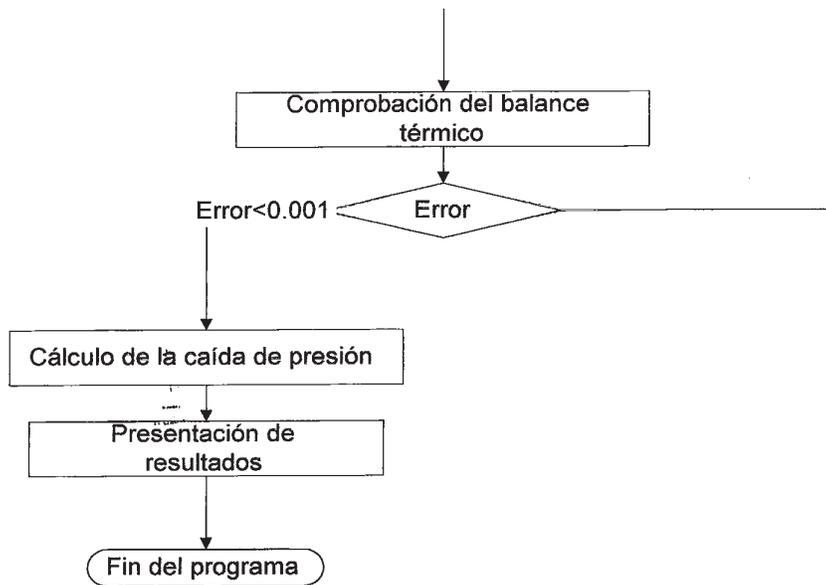
4.1 DESCRIPCION DEL PROGRAMA PARA SIMULACIÓN DEL FUNCIONAMIENTO DEL INTERCAMBIADOR.

4.1.1 DIAGRAMA DE FLUJO



Continúa en la siguiente página





4.1.2 DATOS DE ENTRADA

4.1.2.1 Funcionales

1. $T_{h,i}$: temperatura de entrada del agua caliente.
2. $T_{c,i}$: temperatura de entrada del agua fría.
3. Q_h : caudal de agua caliente.
4. Q_c : caudal de agua fría.
5. $k_T = 396 \text{ W/mK}$, conductividad de los tubos de cobre.
6. $R''_{f,i} = 0.001 \text{ m}^2\text{K/W}$, factor de impurezas interior.
7. $R''_{f,o} = 0.001 \text{ m}^2\text{K/W}$, factor de impurezas exterior.

4.1.2.2 Geométricos.

1. $A = 1.55 \text{ m}^2$, área de transferencia de calor.
2. $A_s = 87.552 \times 10^{-4} \text{ m}^2$, área libre de paso del flujo en el banco de tubos.
3. $D_i = 1.37 \times 10^{-2} \text{ m}$, diámetro interior de los tubos.
4. $D_o = 1.59 \times 10^{-2} \text{ m}$, diámetro exterior de los tubos.
5. $L = 2.4 \text{ m}$, longitud total de la trayectoria de transferencia de calor.

6. $N = 13$, número de tubos por paso.
7. $m = 6$, número de filas.
8. $C' = 0.48 \times 10^{-2} \text{m}$, claridad entre tubo y tubo.
9. $N_D = 4$, número de deflectores.
10. $S_T = 2 \times 10^{-2} \text{m}$, separación transversal entre tubos.
11. $D_c = 15.2 \times 10^{-2} \text{m}$, diámetro interior de la coraza.
12. $D_T = 1.905 \times 10^{-2} \text{m}$, diámetro de los tubos de entrada y salida del intercambiador.

4.1.2.3 Tabla de las propiedades termo físicas del agua.

Valores de ν , c_p , μ , k , P_r , β , para temperaturas entre 285 y 335 K
(Ver Anexo J)

4.1.3 TABLA DE RESULTADOS

1. $T_{h,o}$: temperatura de salida del agua caliente.
2. $T_{c,o}$: temperatura de salida del agua fría.
3. $\Delta T_{m,l}$: diferencia media logarítmica.
4. h_i : coeficiente de convección del lado de los tubos.
5. h_o : coeficiente de convección del lado de la coraza.
6. U_o : coeficiente global de transferencia de calor.
7. q : transferencia de calor.
8. Δp_i : caída de presión del lado de los tubos.
9. Δp_o : caída de presión del lado de la coraza.

4.1.4 CALCULOS

1. Asumir un valor adecuado de $T_{c,o}$.

2. \bar{T}_c : temperatura promedio del agua fría.

$$\bar{T}_c = \frac{T_{c,i} + T_{c,o}}{2}$$

3. ν : volumen específico a la temperatura \bar{T}_c

En base a los valores de las tablas, obtener ν a la temperatura \bar{T}_c .

4. \dot{m}_c : flujo másico de agua fría.

$$\dot{m}_c = \frac{Q_c \times 6.6 \times 10^{-5}}{\nu}$$

5. $c_{p,c}$: calor específico de agua fría la temperatura \bar{T}_c

En base a los valores de las tablas, obtener $c_{p,c}$ a la temperatura \bar{T}_c

6. q_{gan} : calor ganado por el agua fría.

$$q_{gan} = \dot{m}_c * c_{p,c} (T_{c,o} - T_{c,i})$$

7. q_{ced} : calor cedido por el agua caliente.

Balance térmico:

$$q_{ced} = q_{gan} = q$$

8. Asumir un valor adecuado de $T_{h,o}$

9. \bar{T}_h : temperatura promedio del agua caliente.

$$\bar{T}_h = \frac{T_{h,i} + T_{h,o}}{2}$$

10. ν : volumen específico a la temperatura \bar{T}_h

En base a los valores de las tablas, obtener ν a la temperatura \bar{T}_h .

11. \dot{m}_h : flujo másico de agua caliente.

$$\dot{m}_h = \frac{Q_c \times 6.6 \times 10^{-5}}{\nu}$$

12. $C_{p,h}$: calor específico del agua caliente a la temperatura \bar{T}_h

13. $T_{h,o}$: $T_{h,o}$ calculado

$$T_{h,o} = T_{h,i} - \frac{q_{ced}}{\dot{m}_h C_{p,h}}$$

$$14. P = \frac{T_{h,o} - T_{h,i}}{T_{c,i} - T_{h,i}}$$

$$15. R = \frac{T_{c,i} - T_{c,o}}{T_{h,o} - T_{h,i}}$$

$$16. F = \frac{\sqrt{R^2 + 1} \ln \left(\frac{1 - P}{1 - PR} \right)}{(R - 1) \ln \left[\frac{2 - P(R + 1 - \sqrt{R^2 + 1})}{2 - P(R + 1 + \sqrt{R^2 + 1})} \right]}$$

$$17. \Delta T_1 = T_{h,i} - T_{c,o}$$

$$18. \Delta T_2 = T_{h,o} - T_{c,i}$$

$$19. \Delta T_{ml,CF} = \frac{\Delta T_1 - \Delta T_2}{\ln\left(\frac{\Delta T_1}{\Delta T_2}\right)}$$

$$20. \Delta T_{ml} = F * \Delta T_{ml,CF}$$

$$21. \bar{T}_h = \frac{T_{h,i} + T_{h,o}}{2}$$

22. μ : viscosidad dinámica del agua caliente a la temperatura \bar{T}_h

23. ν : volumen específico del agua caliente a la temperatura \bar{T}_h .

$$24. \dot{m}_h = \frac{Q_h \times 6.6 \times 10^{-5}}{\nu}$$

25. $R_{e_i} = R_e$ del agua caliente

$$R_{e_i} = \frac{4\dot{m}_h}{N\pi D_i \mu}$$

26. P_r del agua caliente a la \bar{T}_h

27. T_s : temperatura superficial de los tubos

Se asume: $T_s = \frac{\bar{T}_h + \bar{T}_c}{2}$

28. μ_s a la temperatura T_s

29. Nu

Si $R_{e_i} < 2100$
$$Nu = 1.86 \left(R_{e_i} \Pr \frac{D_i}{L} \right)^{1/3} \left(\frac{\mu}{\mu_s} \right)^{0.14}$$

Si $R_{e_i} > 10^4$
$$Nu = 0.023 R_{e_i}^{0.8} \Pr^{0.3}$$

30. k : conductividad del agua caliente a la temperatura \bar{T}_h

31. h_i

$$h_i = \frac{Nu k}{D_i}$$

32. μ : viscosidad dinámica del agua fría a la temperatura \bar{T}_c

33. $R_{e_o} = R_e$ del agua fría

$$R_{e_o} = \frac{\dot{m}_c D_o}{A_s \mu}$$

34. P_r del agua fría a la temperatura \bar{T}_c

35. P_{r_s} : P_r del agua fría a la temperatura T_s

36. Nu

Si $R_{e_o} \leq 10^3$
$$Nu = 0.51 R_{e_o}^{0.5} \Pr^{0.36} \left(\frac{\Pr}{\Pr_s} \right)^{0.25}$$

Si $Re > 10^3$

$$Nu = 0.37 Re^{0.6} Pr^{0.36} \left(\frac{Pr}{Pr_s} \right)^{0.25}$$

37. k : conductividad del agua fría la temperatura \bar{T}_c

$$38. h = \frac{Nuk}{D_o}$$

39. h_o : coeficiente de convección del lado de la coraza

$$h_o = 0.912h$$

40. U_o : coeficiente global de transferencia de calor.

$$\frac{1}{U_o} = \frac{1}{h_i \frac{D_i}{D_o}} + R''_{f,i} \frac{D_o}{D_i} + \frac{D_o}{2k_T L} \ln \left(\frac{D_o}{D_i} \right) + R''_{f,o} + \frac{1}{h_o}$$

41. Comprobación de T_s

$$T_s = \bar{T}_c + \frac{U_o}{h_o} \Delta T_{ml}$$

42. Comparar T_{s41} con T_{s27}

43. Nuevo T_s

$$T_s = \frac{(T_{s27} + T_{s41})}{2}$$

44. Con el nuevo T_s , se ingresa al paso 28, y se realiza un proceso iterativo

$$\text{hasta que } |T_{s41} - T_{s27}| \leq 0.001$$

45. Comprobación de q

$$q = U_o A \Delta T_{mt}$$

46. Comparar q_{45} con q_7

47. Nuevo $q = \frac{q_{45} + q_7}{2}$

48. Nuevo $T_{c,o}$

$$T_{c,o} = T_{c,i} + \frac{q}{\dot{m}_c c_{p,c}}$$

49. Con el nuevo $T_{c,o}$, se ingresa al paso 2 y se itera hasta que $|q_{45} - q_7| \leq 0.001$

CALCULO DE LA CAIDA DE PRESION

Δp_i : caída de presión en el lado de los tubos.

Δp_o : caída de presión en el lado de la coraza.

f : factor de fricción.

V : velocidad.

Caída de presión en el lado de los tubos (Agua Caliente)

Paso 1. $Gr : g\beta D_i^3 \rho^2 (\bar{T}_h - \bar{T}_s) / \mu^2$

$g : 9.81 \text{ m/s}^2$

β : se lo obtiene de las tablas a la temperatura \bar{T}_h

μ : se lo obtiene de las tablas a la temperatura \bar{T}_h

Paso 2.

Si $Re_i < 3000$

$$f = \frac{64}{Re} \left(\frac{Pr_s}{Pr} \right)^{0.33} \left[1 + 0.22 \left(\frac{Gr Pr}{Re} \right)^{0.15} \right]$$

Si $Re_i > 3000$

$$f = \frac{0.3164}{Re^{0.25}} \left(\frac{Pr_s}{Pr} \right)^{0.33}$$

Pr a la temperatura \bar{T}_h .

Pr_s a la temperatura T_s

Paso 3. $\rho = \frac{1}{\nu}$

ν : volumen específico.

Paso 4.

$$V = \frac{4\dot{m}_h}{N\rho\pi D_i^2}$$

Paso 5.

$$\Delta p_{i,1} = \frac{f\rho V^2 LN}{D_i}$$

Paso 6.

$$\Delta p_{i,2} = \frac{2.2\rho V^2 LN}{2}$$

Paso 7.

$$\Delta p_{i,3} = 1.5\rho V^2$$

Paso 8.

$$V = \frac{4\dot{m}_h}{\rho\pi D_T^2}$$

Paso 9.

$$\Delta p_{i,3} = 1.5\rho V^2 / 2$$

Paso 10.

$$\Delta p_i = \Delta p_{i,1} + \dots + \Delta p_{i,4}$$

CAIDA DE PRESION EN EL LADO DE LA CORAZA

Paso 1.

$$D_h = \frac{3.44S_T^2 - \pi D_o^2}{\pi D_o}$$

Paso 2.

v : a la temperatura \bar{T}_c

Paso 3.

$$\rho = \frac{1}{v}$$

Paso 4:

$$V = \frac{\dot{m}_c}{\rho A_s}$$

Paso 5.

$$f = (5.4 + 3.4m) \text{Re}_o^{-0.28} \left(\frac{\mu}{\mu_s} \right)^{0.14}$$

μ a la temperatura \bar{T}_c

μ_s a la temperatura T_s

Paso 6.

$$\Delta p_{o,1} = (N_D + 1) f \rho V^2 D_c / 2 D_h$$

Paso 7.

$$\Delta p_{o,2} = 2.2 V^2 \rho N_D / 2$$

Paso 8.

$$V = \frac{4\dot{m}_c}{\rho \pi D_T^2}$$

Paso 9.

$$\Delta p_{o,3} = 1.5 V^2 \rho / 2$$

Paso 10.

$$\Delta p_o = \Delta p_{o,1} + \dots \dots \Delta p_{o,3}$$

4.2 PRUEBAS

Con los datos obtenidos en las pruebas se puede realizar los siguientes cálculos:

- Balances de energía.
- Determinación de la diferencia media logarítmica.
- Determinación del coeficiente de convección del lado de los tubos.
- Determinación del coeficiente de convección del lado de la coraza
- Determinación del coeficiente global de transferencia de calor U .
- Determinación de la transferencia de calor q
- Determinación de las pérdidas de calor.
- Análisis de la influencia de los flujos sobre el coeficiente global.

4.2.1 PROCEDIMIENTO EXPERIMENTAL

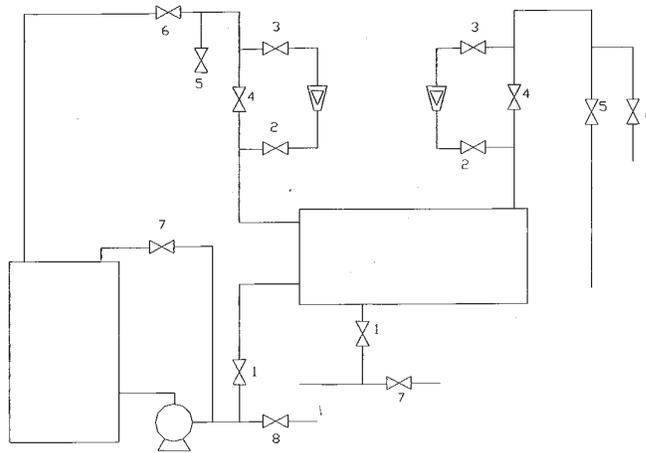


Fig. 4.1 Esquema del sistema

1. Examinar que las válvulas que cierran el paso de los fluidos a los otros sistemas estén en posición cerrada (válvula 8 en la línea de agua caliente y V7 en la línea de agua fría), así como todas las válvulas del sistema.

2. Accionar el sistema para calentar el agua del tanque hasta una temperatura próxima a 60°C (Ver la señal marcada en el selector) , la que se mantendrá constante durante toda la práctica, mediante el contactor de temperatura (véase 4.2.1.1).
3. Abrir las válvulas 4 y 5 en la línea de agua caliente, así como 4 y 6 en la línea de agua fría, con la finalidad de sacar el aire del sistema.
4. Abrir un poco la válvula de entrada de agua fría (V1).
5. Cerrar las válvulas 1,4,6 de la línea fría.
6. Abrir ligeramente la válvula de entrada de agua caliente (V1). En este punto ambos lados del intercambiador están llenos de líquido.
7. Verificar la temperatura en el tanque mediante la termocupla.
8. Colocar el tapón hembra del tanque.
9. Con la V1 cerrada y V7 completamente abierta, encender la bomba y hacer circular el agua caliente.
10. Apagar la bomba y cerrar V7.
11. Según se use los rotámetros o se mida manualmente el caudal, se manipula las válvulas correspondientes (2,3,4). En este caso se va a usar los rotámetros, entonces las válvulas de ambas líneas deberán estar siempre cerradas, así como las válvulas V6 de la línea fría y V5 de la línea caliente.
12. Abrir completamente las válvulas 3 y 5 de salida de agua fría.
13. Abrir ligeramente la V2 de la línea fría.
14. Abrir completamente la V1 de la línea fría.
15. Los pasos 12,13,14 deberán realizarse casi simultáneamente.
16. Manipular la válvula 2 hasta que en el rotámetro se vea el flujo deseado.
17. Abrir completamente las válvulas 3 y 6 de la línea caliente.
18. Abrir hasta aproximadamente la mitad la válvula 7 de la línea caliente
19. Abrir ligeramente la V2 de la línea caliente.
20. Encender la bomba y abrir lentamente la V1.
21. Así mismo los pasos 17,18,19,20 deberán ser hechos casi simultáneamente.
22. Manipular lentamente las válvulas (2,7,1) hasta que en el rotámetro este la lectura deseada.

23. Tomar lecturas de las temperaturas a la entrada y salida tanto del agua fría como caliente, cada 2 minutos hasta llegar al estado estable.
24. Con la termocupla tomar lecturas a lo largo del intercambiador, para evaluar la temperatura (T_s) de la superficie exterior del aislante.
25. Así mismo con la termocupla, tomar la lectura de la temperatura T_∞ del aire.
26. Terminadas las pruebas, desconectar las resistencias eléctricas y la bomba.
27. Cerrar las válvulas 1 que permiten la entrada de los fluidos al sistema.

4.2.1.1 Funcionamiento del control de temperatura

El tanque de agua puede operar en uno de los dos modos de trabajo: manual y automático.

Funcionamiento Manual: En este modo las resistencias calentadoras son alimentadas todo el tiempo, por lo que se entrega la máxima potencia eléctrica a las mismas. El agua del tanque subirá su temperatura hasta llegar al punto de ebullición sin ningún control hasta que se desconecte manualmente las resistencias.

Funcionamiento Automático: El sensor de temperatura (termistor) entrega al relé térmico la lectura de la temperatura del agua en el interior del tanque y éste lo compara con un valor de referencia (set point) que es el valor que indica la perilla que se encuentra en la parte superior del relé térmico. Un circuito electrónico compara la temperatura del agua con el valor deseado, y si es inferior, da la orden para que se conecte el contactor principal dejando pasar energía a las resistencias calefactoras, y se mantendrán conectadas hasta que la temperatura del agua llegue al valor deseado. Cuando la temperatura es mayor que el set point, el circuito electrónico da la orden al contactor para que abra y las resistencias quedan sin alimentación. Este ciclo se repite de acuerdo a las variaciones de temperatura del agua que puedan existir.

En el tablero de alimentación se encuentran dos interruptores de cuchillas que permiten el funcionamiento del tanque de agua en uno de los dos modos. El interruptor de la izquierda permite conectar las resistencias manualmente, y el de la derecha permite conectar el controlador automático de temperatura.

Para poner a trabajar el tanque de agua en uno de los dos modos se debe proceder así:

Modo manual: Interruptor izquierdo "Manual" cerrado y el interruptor derecho "Automático" abierto. Para apagar las resistencias se deben abrir los dos interruptores.

Modo automático: Interruptor izquierdo "Manual" abierto y el interruptor derecho "Automático" cerrado. En estas condiciones se debe poner en la perilla del relé térmico la temperatura deseada (para esto se debe abrir el gabinete del controlador), y luego se debe girar la llave para encender el equipo. El controlador de temperatura se encargará de mantener la temperatura en un valor cercano al valor deseado. Es importante indicar que en este modo de funcionamiento la bomba de agua debe estar en funcionamiento para que el líquido esté en movimiento y de esa manera la temperatura del agua dentro del tanque sea lo más homogénea posible.

Para apagar el controlador de temperatura se debe girar al otro lado la llave del panel frontal. Al desconectar el equipo por un período prolongado de tiempo, o para ponerlo a funcionar en modo manual, se debe desconectar el interruptor derecho.

Para hacer mantenimiento del equipo se recomienda dejar abiertos los dos interruptores de cuchillas y desconectar el breaker principal de alimentación al laboratorio.

Puede darse el caso de que por equivocación los dos interruptores de cuchillas estén cerrados al mismo tiempo. Esto no dañará al equipo, pero las

resistencias quedarán permanentemente conectadas como si estuvieran en modo manual de funcionamiento.

4.2.2 MEDICIONES REALIZADAS

Las pruebas se realizan con distintos caudales de agua. Inicialmente, manteniendo constante el caudal de agua caliente $Q_h = 0.3\text{GPM}$, se varía el de agua fría de 0.2 / 0.4 / 0.5 / 0.6 GPM. Inmediatamente, manteniendo constante el caudal de agua fría en 0.6 GPM, se cambia el de agua caliente de 0.3 / 0.25 / 0.2 GPM.

Los datos obtenidos de las pruebas se detallan a continuación:

Tabla 4.1 Datos obtenidos de la Prueba 1

$Q_h : 0.3 \text{ GPM}$				
$Q_c : 0.2 \text{ GPM}$				
Tiempo (min)	Thi (C)	Tho (C)	Tci (C)	Tco (C)
0	63,5	37,5	15	34
2	63	39	15	36
4	62,5	40	15	37,5
6	62,2	40,6	15	38,8
8	61,8	41	15	39,8
10	61,5	41,3	15	40,6
12	61,2	41,6	15	41,2
14	61	41,8	15	41,6
16	60,8	41,9	15	42
18	60,5	42	15	42,3
20	60,5	42	15	42,3
22	60,5	42	15	42,3
24	60,5	42	15	42,3

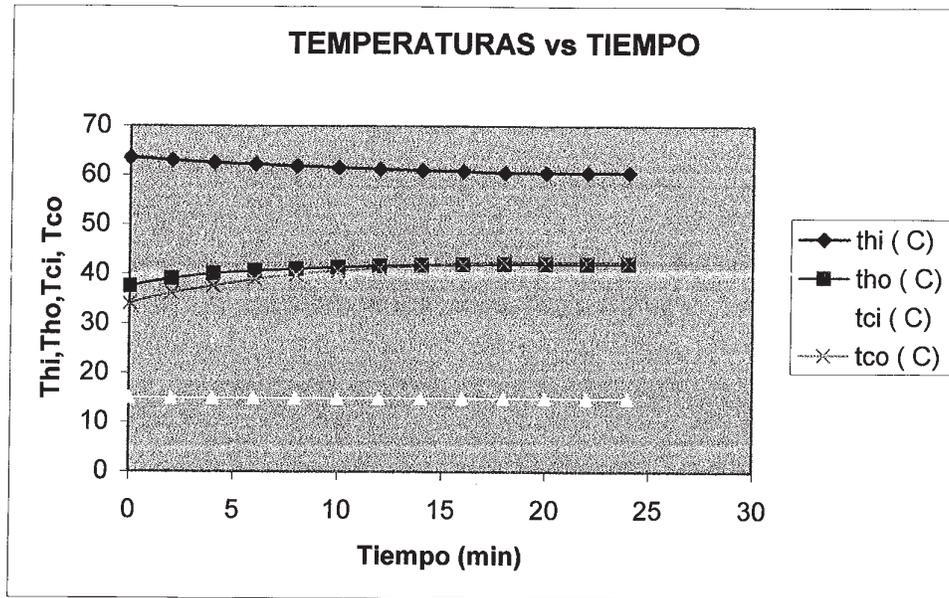


Fig. 4.2 Distribución de temperatura en función del tiempo

Tabla 4.2 Datos obtenidos de la Prueba 2

Q_h : 0.3 GPM				
Q_c : 0.4 GPM				
Tiempo (min)	Thi (C)	Tho (C)	Tci (C)	Tco (C)
0	60,5	42	15	42,3
2	60	40	15	39,8
4	60	38,5	15	37,8
6	60	37,5	15	36,3
8	60	36,8	15	35,5
10	60	36,2	15	34,8
12	59,5	35,8	15	34,2
14	59,5	35,5	15	33,7
16	59,5	35,2	15	33,2
18	59,3	35	15	32,8
20	59	34,8	15	32,6
22	59	34,8	15	32,6
24	59	34,8	15	32,6
26	59	34,8	15	32,6

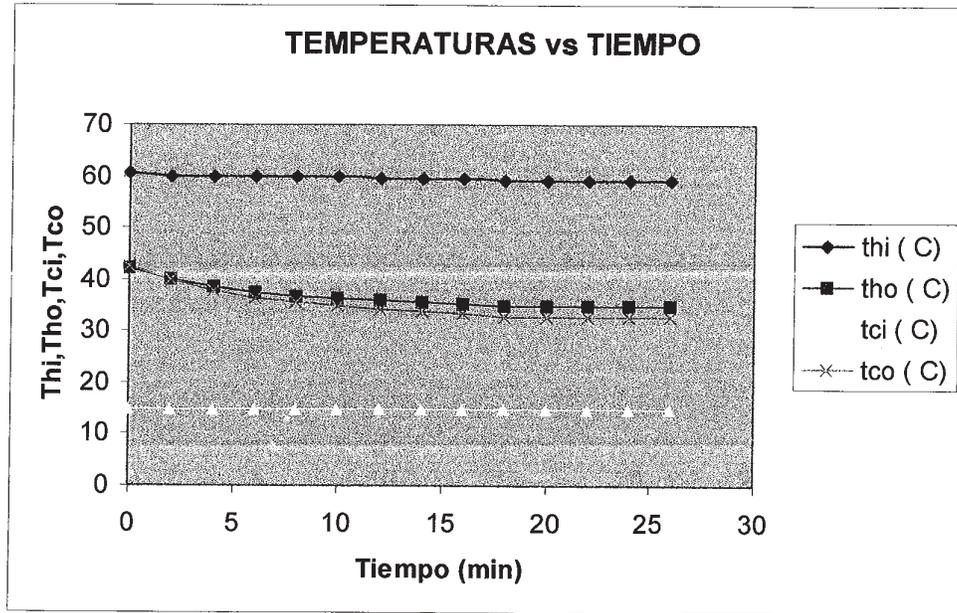


Fig. 4.3 Distribución de temperatura en función del tiempo

Tabla 4.3 Datos obtenidos de la Prueba 3

Q _h : 0.3 GPM				
Q _c : 0.5 GPM				
Tiempo (min)	Thi (C)	Tho (C)	Tci (C)	Tco (C)
0	59	34,8	15	32,6
2	58,8	34	14	31,6
4	58,8	33,6	14	31
6	58,8	33,3	14	30,5
8	58,8	33	14	30,1
10	58,8	32,8	14	29,8
12	58,8	32,6	14	29,6
14	58,5	32,5	14	29,4
16	58,5	32,4	14	29,3
18	58,5	32,4	14	29,3
20	58,5	32,4	14	29,3
22	58,5	32,4	14	29,3

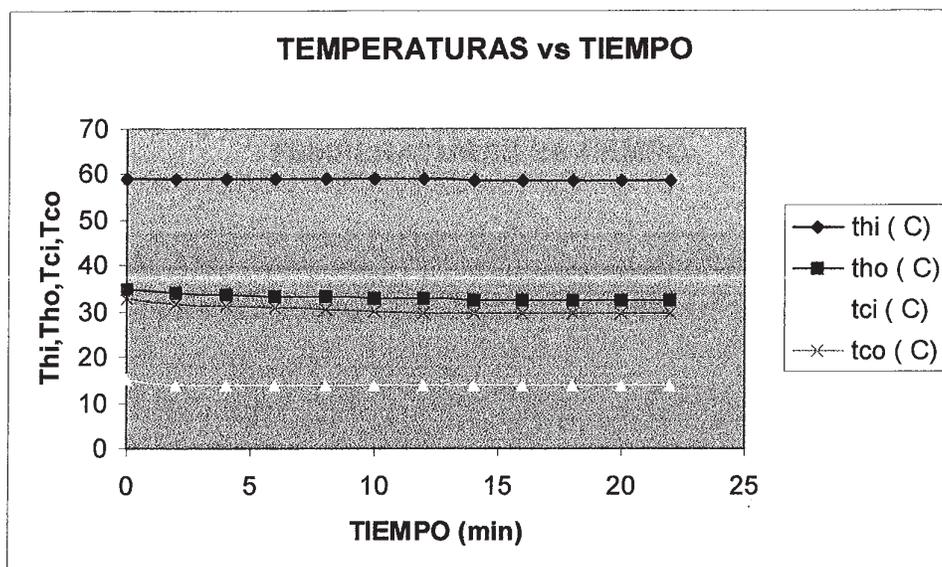


Fig. 4.4 Distribución de temperatura en función del tiempo

Tabla 4.4 Datos obtenidos de la Prueba 4

$Q_h : 0.3 \text{ GPM}$				
$Q_c : 0.6 \text{ GPM}$				
Tiempo (min)	Thi (C)	Tho (C)	Tci (C)	Tco (C)
0	58,5	32,4	14	29,3
2	58,2	31,8	14	28,6
4	58,2	31,5	14	28,2
6	58,2	31,2	14	27,9
8	58,2	31,1	14	27,7
10	58	31	14	27,6
12	58	30,9	14	27,5
14	58	30,9	14	27,4
16	58	30,9	14	27,4
18	58	30,9	14	27,4
$T_{s,2} : 17.8 \text{ } ^\circ\text{C}^1$				
$T_\infty : 16 \text{ } ^\circ\text{C}$				

¹ Valor promedio de varias medidas tomadas sobre la superficie del intercambiador.

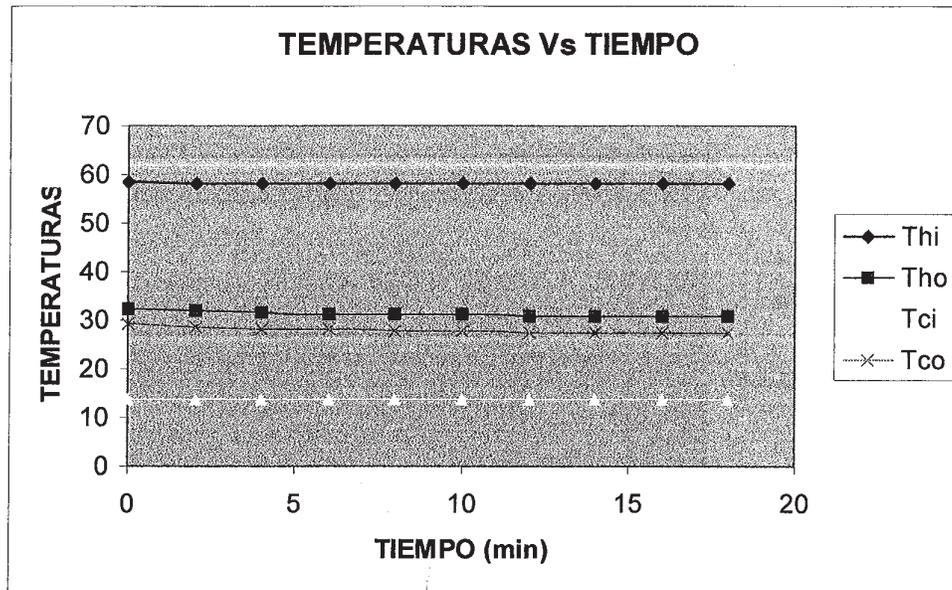


Fig. 4.5 Distribución de temperatura en función del tiempo

Tabla 4.5 Datos obtenidos de la Prueba 5

Q_h : 0.25 GPM				
Q_c : 0.6 GPM				
Tiempo (min)	Thi (C)	Tho (C)	Tci (C)	Tco (C)
0	58	30,9	14	27,4
2	57,8	30	14	26,9
4	57,8	29,5	14	26,5
6	57,8	29,2	14	26,4
8	57,8	28,9	14	26,2
10	57,8	28,7	14	26,1
12	57,8	28,5	14	26
14	57,8	28,5	14	26
16	57,8	28,5	14	26
18	57,8	28,5	14	26

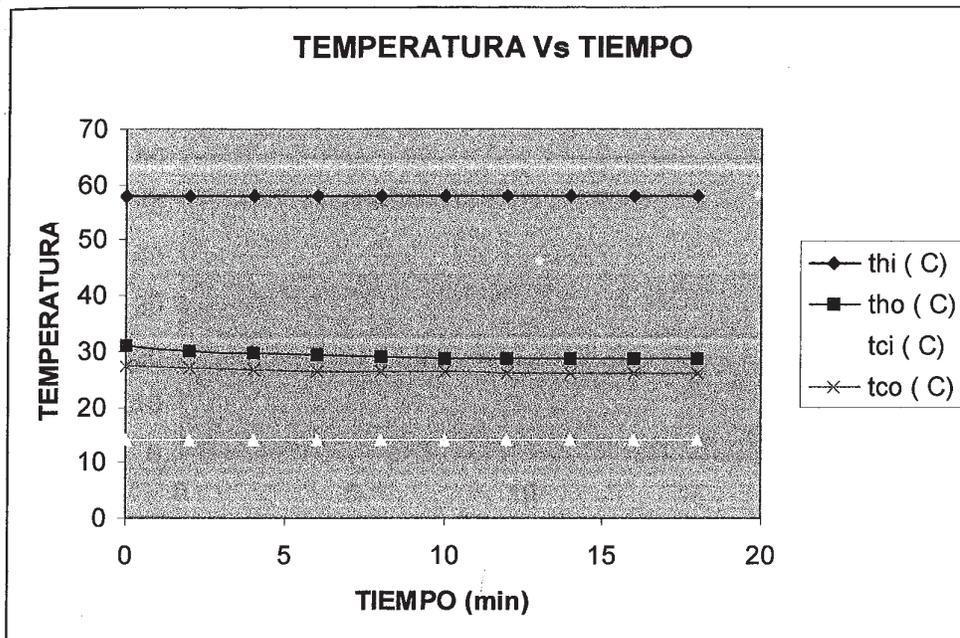


Fig. 4.6 Distribución de temperatura en función del tiempo

Tabla 4.6 Datos obtenidos de la Prueba 6

Q_h : 0.2 GPM				
Q_c : 0.6 GPM				
Tiempo (min)	thi (C)	tho (C)	tci (C)	tco (C)
0	57,8	28,5	14	26
2	57,5	27,3	14	25,2
4	57,5	26,6	14	24,8
6	57,5	26,2	14	24,6
8	57,5	26	14	24,5
10	57,5	25,8	14	24,4
12	57,5	25,8	14	24,4
14	57,5	25,8	14	24,4
16	57,5	25,8	14	24,4

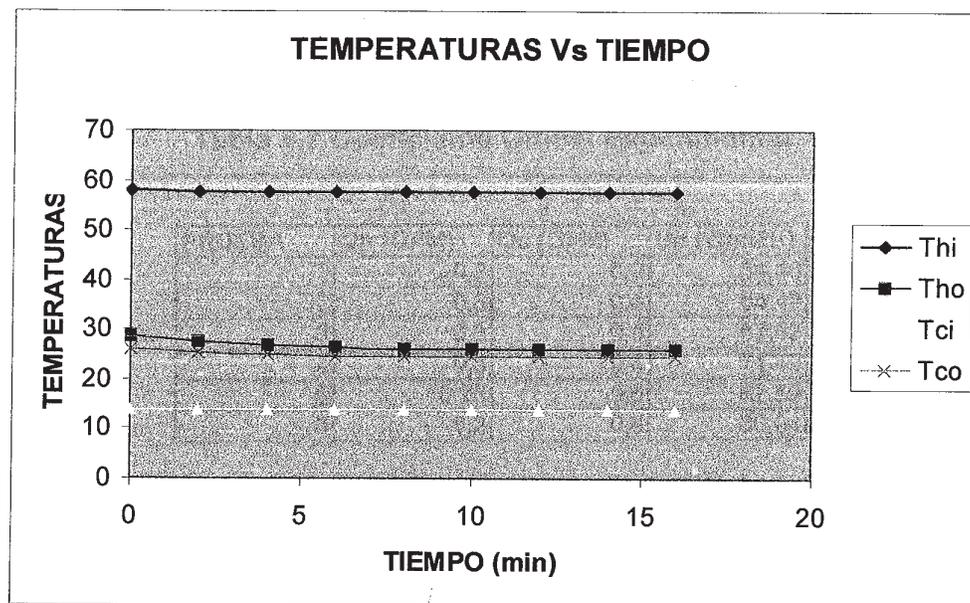


Fig. 4.7 Distribución de temperatura en función del tiempo

4.3 DETERMINACION EXPERIMENTAL DEL COEFICIENTE GLOBAL DE TRANSFERENCIA DE CALOR

El coeficiente global experimental se puede determinar por medio de las siguientes ecuaciones:

$$q_{gan} = \dot{m}_{c,p} (T_{c,0} - T_{c,i}) \quad (4.1)$$

$$q = AU\Delta T_{m,l} \quad (4.2)$$

Con los datos obtenidos en las pruebas se tienen los siguientes coeficientes globales en el estado estable.

Tabla 4.7 Coeficiente Global Experimental

PRUEBA	Qh (GPM)	Qc (GPM)	Uo (W/m2K)
1	0,3	0,2	54,46
2	0,3	0,4	64,49
3	0,3	0,5	67,82
4	0,3	0,6	71,49
5	0,25	0,6	67,59
6	0,2	0,6	60,04

4.4 DETERMINACION DE LAS PERDIDAS DE CALOR

Las pérdidas de calor para condiciones de estado estable se pueden determinar por dos métodos:

1. Por los balances Térmico

$$q_{ced} = \dot{m}_h c_{p,h} (T_{h,i} - T_{h,o}) \quad (4.3)$$

$$q_{gan} = \dot{m}_c c_{p,c} (T_{c,o} - T_{c,i}) \quad (4.4)$$

$$q_{per} = q_{ced} - q_{gan} \quad (4.5)$$

2. Por el cálculo del calor que atraviesa el aislante y pasa al aire.

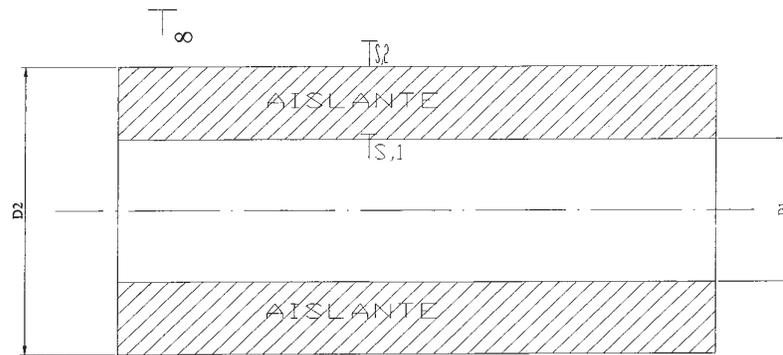


Fig. 4.8 Intercambiador con aislante

Datos :

$A_{s,2}$: área de la superficie exterior del aislante.

D_2 : diámetro exterior del intercambiador con aislante.

T_{∞} : temperatura del aire.

$T_{s,2}$: temperatura de la superficie exterior del aislante.

Cálculos:

$$q_{per} = hA_{s,2}(T_{s,2} - T_{\infty}) \quad (4.6)$$

4.4.1 DETERMINACION DE LAS PERDIDAS DE CALOR PARA LA PRUEBA 4

4.4.1.1 Primer método

$$q_{ced} = 2220.356 \text{ W}$$

$$q_{gan} = 2216,83 \text{ W}$$

$$q_{per} = q_{ced} - q_{gan} = 3.529 \text{ W}$$

4.4.1.2 Segundo Método

Datos:

$$A_{s,2} = 82.8 \times 10^{-2} \text{ m}^2$$

$$D_2 = 21.96 \times 10^{-2} \text{ m}$$

$$T_\infty = 16 \text{ }^\circ\text{C} = 289.15 \text{ K}$$

$$T_{s,2} = 17.8 \text{ }^\circ\text{C} = 290.95 \text{ K}$$

$$g = 9.81 \text{ m/s}^2$$

Cálculos:

Ya que $T_{s,2}$ es cercano a T_∞ y la superficie aluminizada tiene baja emisividad, las pérdidas por radiación son despreciables.²

1) T_f :

$$T_f = \frac{T_{s,2} + T_\infty}{2}$$

$$T_f : 290.05 \text{ K}$$

2) β :

$$\beta = \frac{1}{T_f}$$

3) ν : viscosidad valor obtenido de la tabla de propiedades termofísicas del aire (ver Anexo I)

$$\nu = 15.0045 \times 10^{-6} \text{ m}^2/\text{s}$$

4) α : valor obtenido de la tabla de propiedades termofísicas del aire (ver Anexo I)

$$\alpha = 21.1866 \times 10^{-6} \text{ m}^2/\text{s}$$

5) Ra :

$$Ra = \frac{g\beta(T_{s,2} - T_{\infty})}{\nu\alpha} D_2^3$$

$$Ra = 2.028 \times 10^6$$

6) Pr : valor obtenido de la tabla de propiedades termofísicas del aire (ver Anexo I)

$$Pr = 0.7096$$

7) Nu :

$$Nu = \left\{ 0.60 + \frac{0.387 Ra_D^{1/6}}{\left[1 + \left(\frac{0.559}{Pr} \right)^{9/16} \right]^{8/27}} \right\}^2$$

$$Nu = 17.762$$

8) k :

k valor obtenido de la tabla de propiedades termofísicas del aire (Ver anexo I)

$$k = 25.504 \times 10^{-3} \text{ W/mK}$$

9) h .

$$h = \frac{k}{D_2} Nu$$

$$h = 2.063 \text{ W/m}^2\text{K}$$

10) $q_{per} = hA_{s,2}(T_{s,2} - T_{\infty})$

$$q_{per} = 3.075 \text{ W}$$

² Incropera, Fundamentos de Transferencia de Calor, 4ta edición, México, 1996.

4.5 ANÁLISIS DE RESULTADOS.

- Los datos teóricos del coeficiente global de transferencia de calor obtenidos en la simulación, así como los experimentales conseguidos en las pruebas se tabulan en la tabla 4.8 y se grafican (Fig 4.8 y 4.9) para analizarlos.

Tabla 4.8 Coeficiente Global Teórico y Experimental

PRUEBA	Uo Exp.	Uo Teó.
1	54,46	66,49
2	64,49	73,86
3	67,82	76,04
4	71,49	77,72
5	67,59	74,89
6	60,04	71,49

Tabla 4.9 Datos obtenidos del Coeficiente Global teórico y experimental en función del caudal de agua fría.

Qc	Uo T	Uo E
0,2	66,49	54,6
0,4	73,86	64,49
0,5	76,04	67,82
0,6	77,72	71,49

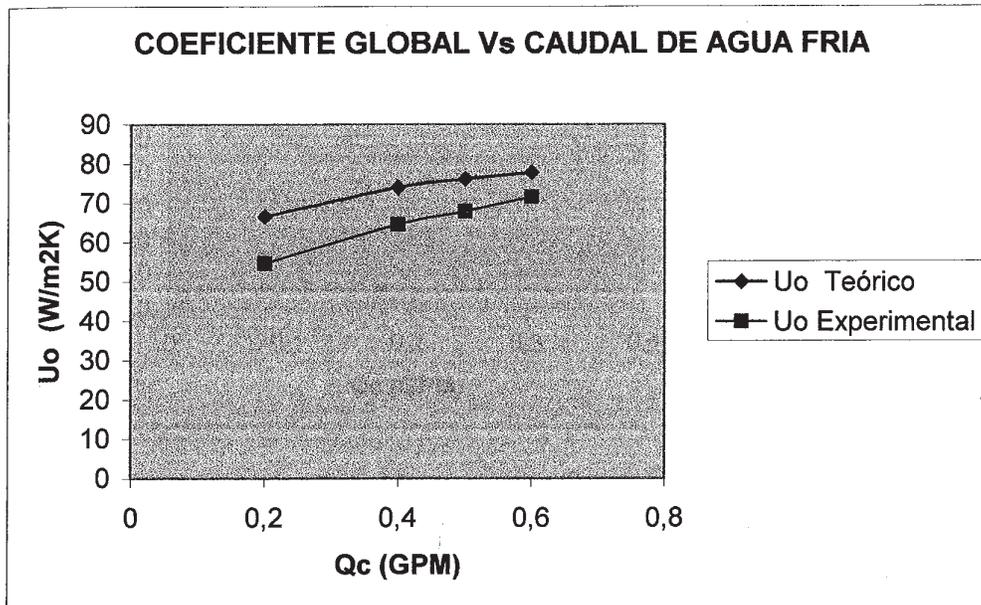


Fig. 4.8 Coeficiente Global en función del Caudal de agua fría.

Tabla 4.10 Datos obtenidos del Coeficiente Global teórico y experimental para el caudal de agua caliente.

Qh	Uo T	Uo E
0,3	77,72	71,49
0,25	74,89	67,59
0,2	71,49	60,04

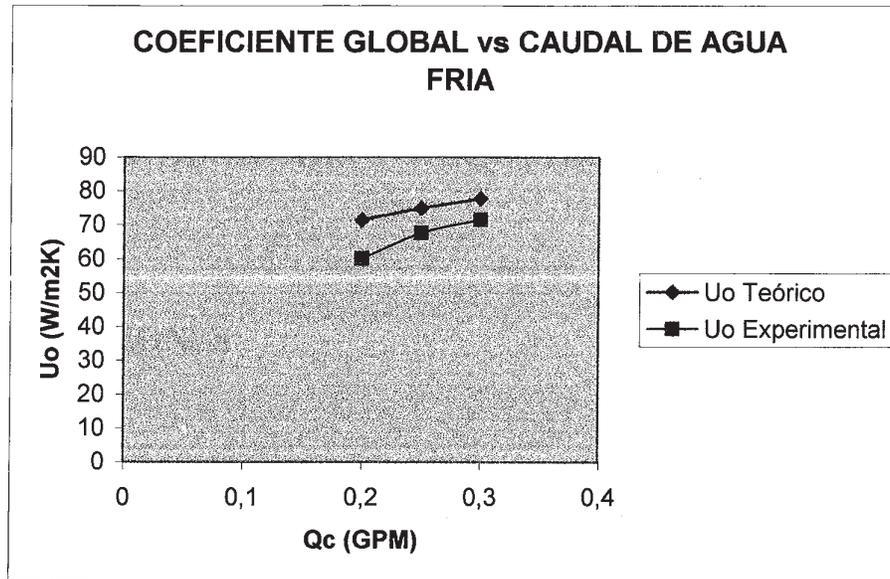


Fig. 4.9 Coeficiente Global en función del Caudal de agua caliente.

- Existe similitud entre los valores teóricos y experimentales, mostrándose errores menores porcentaje que para estos casos se considera como aceptable (20%)³
- Es claramente notable la disminución del error, conforme se aproxima a las condiciones de diseño.
- Los coeficientes globales son directamente proporcionales a los caudales de agua.
- La pérdida de calor calculada mediante los dos métodos son compatibles considerando el uso de correlaciones experimentales aproximadas y el grado de apreciación de los instrumentos.

³ KERN, Donald; Procesos de transferencia de calor, Continental, México, 1982

5 CAPITULO V

CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES

5.1 CONCLUSIONES

- Se ha cumplido con resultados satisfactorios el objetivo principal planteado al inicio de este trabajo, que fue el de diseñar y construir un Sistema de Intercambio de Calor A/A, que permita el estudio de los intercambiadores de calor de coraza y tubos flujo 1-2.
- El sistema está adecuadamente equipado para la realización de las prácticas o para su uso en proyectos investigativos si es requerido.
- Este trabajo, permitirá afianzar el conocimiento de los estudiantes sobre los intercambiadores de calor .
- Comparando los resultados teóricos y experimentales, se observan errores menores al valor que para estos casos se considera aceptable (20%). Lo que se traduce en confiabilidad en el sistema construido.
- El resultado de las pruebas depende del uso de instrumentación con suficiente apreciación y el empleo de correlaciones experimentales con la indispensable aproximación para los coeficientes convectivos de calor.
- Las condiciones óptimas de funcionamiento del intercambiador, son las de diseño. Por lo tanto en lo posible se debe trabajar bajo estos parámetros o en valores muy cercanos a ellos.

- Los coeficientes globales de transferencia de calor son directamente proporcionales a los caudales de agua.
- Del análisis de las pérdidas de calor se puede decir que el intercambiador esta apropiadamente aislado.

5.2 RECOMENDACIONES

- Revisar el procedimiento experimental de la guía.
- Observar los parámetros máximos de funcionamiento.
- Abrir las válvulas con el cuidado respectivo.
- Por seguridad comprobar siempre el buen estado de todos los elementos del sistema.
- Realizar las adecuaciones necesarias para mejorar la calidad del agua que ingresa a los sistemas.
- Para hacer mantenimiento del equipo se recomienda dejar abiertos los dos interruptores de cuchillas y desconectar el breaker principal de alimentación al laboratorio.
- Realizar la limpieza interna del tanque calentador, cada semestre.

BIBLIOGRAFÍA

1. AFGAN,N,Schlumber., Heat Exchangers, New York, McGraw-Hill,1974.
2. COMA,S, ECKERT,E.,Combined Free and Foreed Convection in a Horizontal Circular Tube, Journal of Heat Transfer , ASME,Mayo 1996.
3. CREUS,A. Instrumentación Industrial, México, Marcombo,1981.
4. CHURCHIL,S,SCHU, Correlating Equations for Laminar and Turbulent Free Convection from a Horizontal Cylinder, 1975.
5. INCROPERA,F,DEWITT,D., Fundamentos de Transferencia de Calor, Prentice Hall, México,1996.
6. INEN, Código de Dibujo Técnico, INEN, Ecuador,1989.
7. KAY,J.,Mecánica de Fluidos y Transferencia de Calor, Barcelona, Ediciones Técnicas, Marcombo,1964.
8. KAYS,W.,Compact Heat Exchangers,3ra ed, New York, Mc Graw-Hill,1984.
9. KERN,D., Procesos de Transferencia de Calor, México, Continental,1990.
10. KREITH,F,W.,Principios de Transferencia de Calor , México, Herrera Hnos, 1970.

11. L'ECUYER, M, WARNER, C., A Comparison of Constant Wall Temperature and Constant Heat Flux Heat Transfer, Journal of Heat Transfer ASME, Febrero 1962.
12. MARKS., Mechanical Engineer's HandBook, New York, Mc Graw-Hill, 1990.
13. MATA, J., Técnicas de Expresión Gráfica, Madrid, Bruño, 1978.
14. MIJEEV, MIJEEVA, M., Fundamentos de Transferencia, Moscú, Mir, 1979.
15. MONTENEGRO., y TOAPANTA, V., Intercambiadores de Calor y Almacenamiento Térmico del Banco de Pruebas para Colectores Solares, Tesis Ingeniería Mecánica, 1983.
16. MORGAN, V, T., The Overall Convective Heat Transfer from Smooth Circular Cylinders, Academic Press, New York, 1975.
17. MUELLER, A., Handbook of Heat Transfer, New York, Mc Graw-Hill, 1973.
18. OZISIK, W., Transferencia de Calor, Bogotá, Mc-Graw-Hill, 1979.
19. ROHSENOW, W., Handbook of Heat Trasnfer, New York, Mc Graw-Hill, 1973.
20. SHAH, R., Clasificación of Heat Exchangers, Washington, Hemisphere Publishing, 1981.
21. SHAH, R., Heat Exchangers-Thermal-Hidraulic Fundamentals and Design, Washington, Hemisphere Publishing, 1981.

22. SOISSON, H., Instrumentación Industrial, México, Limusa, 1990.
23. STREETER, W., y WYLIE B., Mecánica de los Fluidos, México, Mc Graw-Hill, 1980.
24. WELTY, J., Transferencia de Calor Aplicada a la Ingeniería, México, Limusa, 1981.

ANEXO A

ESPECIFICACIONES DEL ROTÁMETRO

ANEXO B

ESPECIFICACIONES DE LA SOLDADURA

GEMINI-G* CG* & GB1*

Gas/Carburante
Revestimiento
fundente dorado

Para todos los metales
incluyendo cobre y
bronce, latón, monel,
hierro colado, níquel y
todas aleaciones
(No para metales
blancos).

Características:

- Alta resistencia (108,000 psi)
- Muy fácil de usar
- Más del 85 % de plata pura
- Excelente humectabilidad
- Falso fino-reconstrucción
- Larga vida de servicio

GEMINI-G combina baja temperatura, flujo fino y alta resistencia para dar como resultado una aleación tipo brazing ideal para trabajos de reparación y mantenimiento. GEMINI-G contiene arriba del 85 % de plata y nada de cadmio. Es sobresaliente para usarse sobre metales difíciles de soldar por Brazing tales como inoxidables y otras piezas sensibles al calor.

La sobresaliente acción humectante de GEMINI-G la hace ideal para todo tipo de uniones tales como traslape en T, filete o a tope, es excepcionalmente fácil de usarse en toda aplicación.

Limpie el área completamente, alinee las piezas y caliente ensamblaje, e lo largo de la unión. Luego agregue fundente sobre el trabajo y espere a que comience a fluir. No caliente hasta el punto de causar un cambio de color en el acero. Cambiar adicional de fundente GEMINI ayudará a proteger el acero inoxidable. Lave el fundente con agua tibia.

- GEMINI-CG: EL MISMO PRODUCTO CON UN FUNDEnte BLANCO QUE NO CONTIENE AGLUTINANTES ORGANICOS.
- GEMINI-GB: DLSNUDO (SIN REVESTIMIENTO).

GEMINI-G CG & GB

APOLLO-G* AND GB**

Gas/Carburante
Revestimiento de
fundente azul oscuro

Para aceros inoxidables
cobre, bronce, latón,
monel, acero, hierro
colado, níquel (No es
para metales blancos).

Características:

- Alta resistencia (118,000 psi)
- Baja temperatura de fusión
- Fácil de usar
- Falso fino
- Para piezas delicadas
- Excelente para igualar color con el inoxidable
- Revestimiento no desprendible
- Humectabilidad muy superior
- Una excelente reparedora

APOLLO-G es una de las aleaciones para Brazing con plata más fáciles de usar. Es ideal para instrumentación, reparaciones en instrumentos tubulares delgados, y para cualquier tipo de trabajo delicado. Con acero inoxidable APOLLO-G da resultados sobresalientes. Los dispositivos se aplican sin perjuicio para el inoxidable y tienen un excelente resistencia a la corrosión.

El extraordinario revestimiento de fundente del APOLLO-G protege al trabajo contra oxidación y promueve mayor humectabilidad. Es ideal para uniones a traslape en T, orda o tope cuadrado.

Limpie el área completamente. Alinee las piezas y caliente a lo largo de la unión. Coloque el fundente sobre el trabajo y espere a que comience a fluir. No caliente hasta el punto de causar un cambio de color en el acero. Fundente Gemini adicional ayudará a proteger el acero inoxidable. Lave el fundente con agua caliente.

- APOLLO-GB: Desnudo (No recubierta con fundente)

Temperatura: 585° C (1085° F)

Diám.: 1.6 (1/16")
2.4 (3/32")
3.2 (1/8")

Use fundente Gemini

VENUS-G

5

VENUS-G
Gas / Neutra
Propano / horno

Para todos los cobres, aleaciones de cobre, latón, bronce. Flujo fino con alta resistencia.

Características:

- Alta resistencia 3068 Kg/cm² (62,000 psi)
- No requiere fundente
- Excelente flujo fino estable y fácil de usar
- No requiere preparación especial
- Se puede usar con propano

VENUS-G caracteriza economía y velocidad las uniones son tan importantes como su resistencia y ductilidad. VENUS-G hace posible soldar cobre, latón, bronce y gases de todos estos materiales. Una pequeña cantidad de VENUS-G se requiere para hacer una unión con resistencia sobresaliente.

Las uniones ideadas son de 0.002 a 0.005 pulgadas de ancho por consiguiente la hermética superior y fluidez de este producto son vitales. VENUS-G es ideal para usarse en refrigeración, aire acondicionado, plomería e industrias eléctricas.

Temperature: 634°C (1175°F)
Diam.: 1.6 (1/16")
2.4 (3/32)
3.2 (1/8)

Use fundente Gemini

Normalmente no se requiere de ningún fundente sobre cobre. Con latón o bronce use fundente Gemini. Caliente el área apropiadamente con una locuilla grande. Cuando el fundente fluye o el cobre se vuelve color rojo oscuro retire VENUS-G. Mantenga el calor para asegurar que fluya por toda la unión.

APOLLO-HB
Gas / Neutra
(No tiene revestimiento)

Para Inoxidables, cobre, monel, aceros, hierro fundido, níquel. (No metales blancos o bronce).

Características:

- Alta resistencia 10,000 P.S.I.
- Muy efectivos en aceros donde el calor del metal depositado no es esencial
- Resistente a la corrosión

APOLLO-HB provee mucho de los beneficios del APOLLO-G en una económica abstracción de plata. Este produce uniones resistentes en la mayoría de metales ferrosos y no ferrosos excepto en bronce y metales blancos.

APOLLO HB
Temperature: 1450°F (788°C)
Medida: 1/16 pulg. (1.6 mm.)

Use fundente Gemini

Use con Gemini Flux. Limpie la junta perfectamente. Alírese las partes y caliente a lo largo de la junta. Purga todo el fundente al fondo y caliente a su vez la sección. No caliente hasta cambiar el color del acero utilizado al Gemini Flux evitará proteger los aceros inoxidables. Lave el fundente con agua ligeramente caliente.

APOLLO-HB

5

GEMINI-S, & SA**

Gas/Cautin/Horno.
Soldadura blanda

Para todos los metales
incluyendo inoxidable,
cobre, bronce, latón,
monel, hierro colado,
níquel y todas las
aleaciones. (No es para
metales blancos).

Características:

- Alta resistencia 1125 Kg/cm² (10,000 psi)
- Fácil de usar
- Muy baja temperatura
- No contiene cadmio o plomo
- Igual color con el inoxidable

GEMINI-S tiene una gran variedad de características para muchos fines. En mantenimiento muchas reparaciones de metales se pueden hacer con una soldadura blanca a baja temperatura. GEMINI-S produce uniones de alta resistencia que resisten corrosión y se mantienen brillantes.

No se usan en este producto metales de bajo costo como plomo, zinc, antimonio o cadmio. El alto contenido de plata y fundente hacen de GEMINI-S una aleación universal como herramienta para reparar metales con cientos de aplicaciones en mantenimiento

Limpie la unión completamente antes que funde GEMINI (el fundente neutro) aplique calor indirecto por medio de cualquier fuente de energía. Alimente soldadura blanca cuando la temperatura funda la aleación. Asegúrese que el calor es suficiente para llenar la aleación por toda la unión.

- GEMINI-SA Contiene fundente ácido en el núcleo.
- GEMINI-SR Contiene resina en el núcleo.

Temperatura: 2150C (4200F)
Diám: 1.6 (1/16")
2.2 (1/8")

Use fundente Gemini o fundente Neutro Gemini

GEMINI-SCA*

Gas/Cautin/Horno
Pasta para soldar

Para todos los metales
incluyendo latón,
monel, hierro colado,
inoxidable, cobre,
bronce, níquel y
las aleaciones.

Características:

- Alta resistencia 663 Kg/cm² (6,000 psi)
- Muy baja temperatura
- Aplicación por unidad
- Preparación mínima
- Resultados rápidos y seguros

GEMINI-SCA es un producto de soldadura blanda inusual diseñado para una variedad muy amplia de aplicaciones en soldadura de mantenimiento y reparación. Se puede usar para unir todos los metales similares y disímiles (excepto los metales blancos). Su textura en forma de pasta hace de GEMINI-SCA ideal para trabajos difíciles de soldar.

GEMINI-SCA se pinta simplemente sobre la superficie a unir. Se aplica calor con soplete, cautín o en un horno y el trabajo está terminado. Unirnos a baja temperatura y alta resistencia se producen con facilidad.

Limpie el área completamente antes que funde GEMINI-SCA sobre todas las superficies a unir. Los alambres se pueden usar, pero caliente lentamente y evite sobre calentamiento. Cuando el fundente seque a la superficie y se despegue el trabajo está terminado. Use 2450C (4750F) para temperatura de horno. Remueva el fundente con agua caliente.

Temperatura: 1800C (3700F)
Tamaño: Recipiente de 4 lbs.

GEMINI-SCA

ANEXO C
ESPECIFICACIONES DEL EMPAQUE



CAF 40

Product	Compressed Asbestos Fibre Jointing	
Reference	CAF 40	
Service	A good quality compressed asbestos fibre jointing, suitable for sealing against 100 pressure steam, water, gases, acids and mild chemicals.	
Typical Properties	Maximum Temperature	380°C
	Maximum Pressure	10 bar
	ASTM Compressibility	11%
	ASTM Hardness	72*
	ASTM Tensile Modulus	10 MPa
Health & Safety	CAF 40 contains asbestos and fibres some of which may be respirable. It should be handled in accordance with the safety precautions detailed in our Health & Safety Bulletin, Sections 10, 11, 12 & 13 or contact our Health & Safety Dept.	

Case No.	Applicant	Address	City	State	County	Assessment	Value	Notes
10001	John Doe	123 Main St	Springfield	Ill	Springfield	10000	10000	Standard assessment
10002	Jane Smith	456 Oak Ave	Springfield	Ill	Springfield	15000	15000	Standard assessment
10003	Robert Brown	789 Pine St	Springfield	Ill	Springfield	20000	20000	Standard assessment
10004	Emily White	101 Elm St	Springfield	Ill	Springfield	8000	8000	Standard assessment
10005	Michael Green	202 Maple St	Springfield	Ill	Springfield	12000	12000	Standard assessment
10006	Sarah Black	303 Cedar St	Springfield	Ill	Springfield	9000	9000	Standard assessment
10007	David Gray	404 Birch St	Springfield	Ill	Springfield	11000	11000	Standard assessment
10008	Laura King	505 Walnut St	Springfield	Ill	Springfield	13000	13000	Standard assessment
10009	James Lee	606 Chestnut St	Springfield	Ill	Springfield	14000	14000	Standard assessment
10010	Patricia Hall	707 Spruce St	Springfield	Ill	Springfield	16000	16000	Standard assessment
10011	Christopher Young	808 Ash St	Springfield	Ill	Springfield	17000	17000	Standard assessment
10012	Nicole Adams	909 Hickory St	Springfield	Ill	Springfield	18000	18000	Standard assessment
10013	Kevin Baker	1010 Sycamore St	Springfield	Ill	Springfield	19000	19000	Standard assessment
10014	Amanda Clark	1111 Dogwood St	Springfield	Ill	Springfield	21000	21000	Standard assessment
10015	Brandon Evans	1212 Redwood St	Springfield	Ill	Springfield	22000	22000	Standard assessment
10016	Samantha Hill	1313 Cottonwood St	Springfield	Ill	Springfield	23000	23000	Standard assessment
10017	Eric King	1414 Juniper St	Springfield	Ill	Springfield	24000	24000	Standard assessment
10018	Olivia Lewis	1515 Willow St	Springfield	Ill	Springfield	25000	25000	Standard assessment
10019	Benjamin Miller	1616 Yew St	Springfield	Ill	Springfield	26000	26000	Standard assessment
10020	Mia Wilson	1717 Hawthorn St	Springfield	Ill	Springfield	27000	27000	Standard assessment

Assessment of property values for the year 2023. All values are in US dollars.

ANEXO D
ESPECIFICACIONES DEL AISLAMIENTO



Datos Técnicos

Descripción: Armaflex ofrece productos de aislamiento térmico aislado o con un alveado dentro del aislamiento e la difusión del vapor de agua.

Materia: Espuma elastomérica a base de caucho sintético.

Color: Negro.

Características técnicas: El producto es resistente al aislamiento permeable al vapor de agua, ignífugo, resistente al agua, resistente a los ácidos y álcalis.

Particularidades: Armaflex ofrece una gama de productos que garantiza la máxima independencia térmica y una seguridad que cumple con el Reglamento de Instalaciones Térmicas en los Edificios (RITE). Falso de medida alveado de espuma que tiene un peso al cuadrado inferior al de espuma EPS.

Propiedades	Unidad	Valor	Normativa	Comentarios
Coeficiente de aislamiento Resistencia térmica mínima resistencia térmica máxima	R_{min} R_{max}	0,077 0,100	EN 12542	Para resistencia térmica mínima y máxima consulte el manual de especificaciones.
Características físicas Densidad máxima permitida de EPS EPS100 y EPS100*	ρ	100	EN 12542	
Factor de resistencia Factor de resistencia de vapor	μ	100	EN 12542	Para más información consulte el Reglamento Técnico de RITE.
Comportamiento en caso de incendio Resistencia a fuego resistencia a combustión	$R_{f,15}$ $R_{f,30}$	15 30	EN 13501	Para más información consulte el Reglamento Técnico de RITE.
Propiedades acústicas ISO 10140 Aislamiento acústico resistencia al ruido aéreo	$D_{n,w}$	20	EN 12542	Para más información consulte el Reglamento Técnico de RITE.
Seguridad de utilización Resistencia para el uso de la resistencia al impacto resistencia al fuego			EN 12542	
Medio ambiente				
Compatibilidad biológica y química Resistencia al agua Resistencia al agua Resistencia a la contaminación Resistencia a la contaminación				
Resistencia a la contaminación				

Armstrong Insulation Products, S.A. - Agencia Insul - C/ Madrid 144 - 28002 Madrid - España - Tel: 91 444 11 11 - Fax: 91 444 11 12

Armaflex es un producto de la familia de productos de aislamiento térmico y acústico de Armstrong Insulation Products, S.A. que garantiza la máxima independencia térmica y una seguridad que cumple con el Reglamento de Instalaciones Térmicas en los Edificios (RITE). Falso de medida alveado de espuma que tiene un peso al cuadrado inferior al de espuma EPS.

Armaflex ofrece una gama de productos que garantiza la máxima independencia térmica y una seguridad que cumple con el Reglamento de Instalaciones Térmicas en los Edificios (RITE). Falso de medida alveado de espuma que tiene un peso al cuadrado inferior al de espuma EPS.

Medidas disponibles

AF/Armaflex

Coquillas
Disponibles en
Diámetros de 6 a 168
y espesores D, F, H, M, R y T

Coquillas autoadhesivas*
Las coquillas autoadhesivas están disponibles
en todas las dimensiones más usuales.
Diámetros de 12 a 89 mm y espesores H, M y T

Sistemas de soportes para tuberías
Están disponibles en todas las dimensiones
más usuales para la gama de espesores H,
M y T.

Espesores Técnicos Crecientes

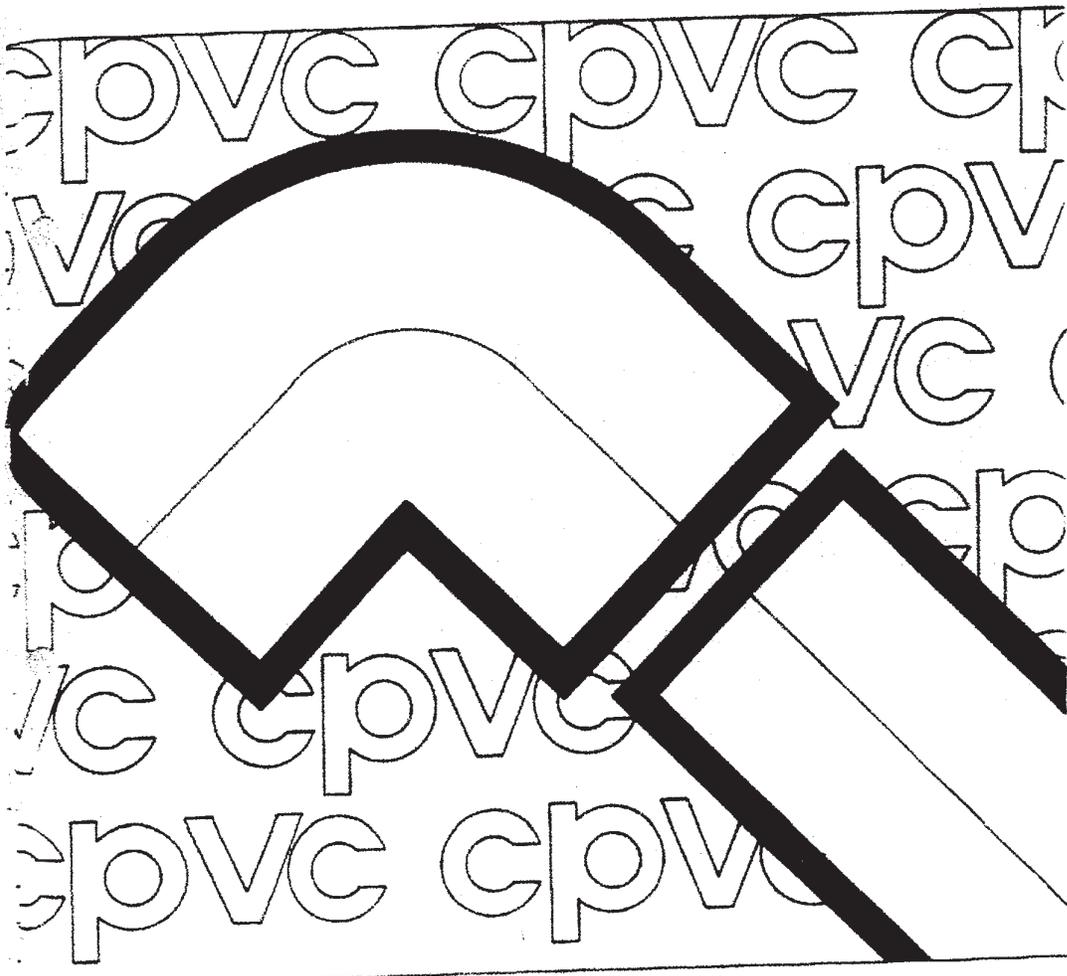
Ø exterior mm	Ø tubo de cobre Cu	Ø tubo de hierro Fe	Coquilla AF/Armaflex Ø interior	D		F		H		M		R		T		RITE Ap. 83.1
				6,0-7,5 mm	9,0-12,0 mm	13,0	16,0 mm	19,0-26,0 mm	25,0-32,0 mm	32,0-45,0 mm						
				mm	Ref.	mm	Ref.	mm	Ref.	mm	Ref.	mm	Ref.	mm	Ref.	
6			6,0	6,0	1008	9,0	1008	13,0	1008							
8			6,5	6,5	1008	9,0	1008	13,0	1008							
10			7,5	7,5	1010	9,0	1010	13,0	1010	9,0	M 10					M 10
12			7,5	7,5	1010	9,0	1010	13,0	1010	9,0	M 12					M 12
14			7,5	7,5	1010	9,0	1010	13,0	1010	9,0	M 14					M 14
16			7,5	7,5	1010	9,0	1010	13,0	1010	9,0	M 16					M 16
18			7,5	7,5	1010	9,0	1010	13,0	1010	9,0	M 18					M 18
20			7,5	7,5	1010	9,0	1010	13,0	1010	9,0	M 20					M 20
22			7,5	7,5	1010	9,0	1010	13,0	1010	9,0	M 22					M 22
24			7,5	7,5	1010	9,0	1010	13,0	1010	9,0	M 24					M 24
26			7,5	7,5	1010	9,0	1010	13,0	1010	9,0	M 26					M 26
28			7,5	7,5	1010	9,0	1010	13,0	1010	9,0	M 28					M 28
30			7,5	7,5	1010	9,0	1010	13,0	1010	9,0	M 30					M 30
32			7,5	7,5	1010	9,0	1010	13,0	1010	9,0	M 32					M 32
34			7,5	7,5	1010	9,0	1010	13,0	1010	9,0	M 34					M 34
36			7,5	7,5	1010	9,0	1010	13,0	1010	9,0	M 36					M 36
38			7,5	7,5	1010	9,0	1010	13,0	1010	9,0	M 38					M 38
40			7,5	7,5	1010	9,0	1010	13,0	1010	9,0	M 40					M 40
42			7,5	7,5	1010	9,0	1010	13,0	1010	9,0	M 42					M 42
44			7,5	7,5	1010	9,0	1010	13,0	1010	9,0	M 44					M 44
46			7,5	7,5	1010	9,0	1010	13,0	1010	9,0	M 46					M 46
48			7,5	7,5	1010	9,0	1010	13,0	1010	9,0	M 48					M 48
50			7,5	7,5	1010	9,0	1010	13,0	1010	9,0	M 50					M 50
52			7,5	7,5	1010	9,0	1010	13,0	1010	9,0	M 52					M 52
54			7,5	7,5	1010	9,0	1010	13,0	1010	9,0	M 54					M 54
56			7,5	7,5	1010	9,0	1010	13,0	1010	9,0	M 56					M 56
58			7,5	7,5	1010	9,0	1010	13,0	1010	9,0	M 58					M 58
60			7,5	7,5	1010	9,0	1010	13,0	1010	9,0	M 60					M 60
62			7,5	7,5	1010	9,0	1010	13,0	1010	9,0	M 62					M 62
64			7,5	7,5	1010	9,0	1010	13,0	1010	9,0	M 64					M 64
66			7,5	7,5	1010	9,0	1010	13,0	1010	9,0	M 66					M 66
68			7,5	7,5	1010	9,0	1010	13,0	1010	9,0	M 68					M 68
70			7,5	7,5	1010	9,0	1010	13,0	1010	9,0	M 70					M 70
72			7,5	7,5	1010	9,0	1010	13,0	1010	9,0	M 72					M 72
74			7,5	7,5	1010	9,0	1010	13,0	1010	9,0	M 74					M 74
76			7,5	7,5	1010	9,0	1010	13,0	1010	9,0	M 76					M 76
78			7,5	7,5	1010	9,0	1010	13,0	1010	9,0	M 78					M 78
80			7,5	7,5	1010	9,0	1010	13,0	1010	9,0	M 80					M 80
82			7,5	7,5	1010	9,0	1010	13,0	1010	9,0	M 82					M 82
84			7,5	7,5	1010	9,0	1010	13,0	1010	9,0	M 84					M 84
86			7,5	7,5	1010	9,0	1010	13,0	1010	9,0	M 86					M 86
88			7,5	7,5	1010	9,0	1010	13,0	1010	9,0	M 88					M 88
90			7,5	7,5	1010	9,0	1010	13,0	1010	9,0	M 90					M 90
92			7,5	7,5	1010	9,0	1010	13,0	1010	9,0	M 92					M 92
94			7,5	7,5	1010	9,0	1010	13,0	1010	9,0	M 94					M 94
96			7,5	7,5	1010	9,0	1010	13,0	1010	9,0	M 96					M 96
98			7,5	7,5	1010	9,0	1010	13,0	1010	9,0	M 98					M 98
100			7,5	7,5	1010	9,0	1010	13,0	1010	9,0	M 100					M 100
102			7,5	7,5	1010	9,0	1010	13,0	1010	9,0	M 102					M 102
104			7,5	7,5	1010	9,0	1010	13,0	1010	9,0	M 104					M 104
106			7,5	7,5	1010	9,0	1010	13,0	1010	9,0	M 106					M 106
108			7,5	7,5	1010	9,0	1010	13,0	1010	9,0	M 108					M 108
110			7,5	7,5	1010	9,0	1010	13,0	1010	9,0	M 110					M 110
112			7,5	7,5	1010	9,0	1010	13,0	1010	9,0	M 112					M 112
114			7,5	7,5	1010	9,0	1010	13,0	1010	9,0	M 114					M 114
116			7,5	7,5	1010	9,0	1010	13,0	1010	9,0	M 116					M 116
118			7,5	7,5	1010	9,0	1010	13,0	1010	9,0	M 118					M 118
120			7,5	7,5	1010	9,0	1010	13,0	1010	9,0	M 120					M 120
122			7,5	7,5	1010	9,0	1010	13,0	1010	9,0	M 122					M 122
124			7,5	7,5	1010	9,0	1010	13,0	1010	9,0	M 124					M 124
126			7,5	7,5	1010	9,0	1010	13,0	1010	9,0	M 126					M 126
128			7,5	7,5	1010	9,0	1010	13,0	1010	9,0	M 128					M 128
130			7,5	7,5	1010	9,0	1010	13,0	1010	9,0	M 130					M 130
132			7,5	7,5	1010	9,0	1010	13,0	1010	9,0	M 132					M 132
134			7,5	7,5	1010	9,0	1010	13,0	1010	9,0	M 134					M 134
136			7,5	7,5	1010	9,0	1010	13,0	1010	9,0	M 136					M 136
138			7,5	7,5	1010	9,0	1010	13,0	1010	9,0	M 138					M 138
140			7,5	7,5	1010	9,0	1010	13,0	1010	9,0	M 140					M 140
142			7,5	7,5	1010	9,0	1010	13,0	1010	9,0	M 142					M 142
144			7,5	7,5	1010	9,0	1010	13,0	1010	9,0	M 144					M 144
146			7,5	7,5	1010	9,0	1010	13,0	1010	9,0	M 146					M 146
148			7,5	7,5	1010	9,0	1010	13,0	1010	9,0	M 148					M 148

Tolerancia del espesor: ± 0,10 mm; ± 0,15 mm; ± 0,20 mm; ± 0,25 mm; ± 0,30 mm; ± 0,35 mm; ± 0,40 mm; ± 0,45 mm; ± 0,50 mm; ± 0,55 mm; ± 0,60 mm; ± 0,65 mm; ± 0,70 mm; ± 0,75 mm; ± 0,80 mm; ± 0,85 mm; ± 0,90 mm; ± 0,95 mm; ± 1,00 mm; ± 1,05 mm; ± 1,10 mm; ± 1,15 mm; ± 1,20 mm; ± 1,25 mm; ± 1,30 mm; ± 1,35 mm; ± 1,40 mm; ± 1,45 mm; ± 1,50 mm; ± 1,55 mm; ± 1,60 mm; ± 1,65 mm; ± 1,70 mm; ± 1,75 mm; ± 1,80 mm; ± 1,85 mm; ± 1,90 mm; ± 1,95 mm; ± 2,00 mm; ± 2,05 mm; ± 2,10 mm; ± 2,15 mm; ± 2,20 mm; ± 2,25 mm; ± 2,30 mm; ± 2,35 mm; ± 2,40 mm; ± 2,45 mm; ± 2,50 mm; ± 2,55 mm; ± 2,60 mm; ± 2,65 mm; ± 2,70 mm; ± 2,75 mm; ± 2,80 mm; ± 2,85 mm; ± 2,90 mm; ± 2,95 mm; ± 3,00 mm; ± 3,05 mm; ± 3,10 mm; ± 3,15 mm; ± 3,20 mm; ± 3,25 mm; ± 3,30 mm; ± 3,35 mm; ± 3,40 mm; ± 3,45 mm; ± 3,50 mm; ± 3,55 mm; ± 3,60 mm; ± 3,65 mm; ± 3,70 mm; ± 3,75 mm; ± 3,80 mm; ± 3,85 mm; ± 3,90 mm; ± 3,95 mm; ± 4,00 mm; ± 4,05 mm; ± 4,10 mm; ± 4,15 mm; ± 4,20 mm; ± 4,25 mm; ± 4,30 mm; ± 4,35 mm; ± 4,40 mm; ± 4,45 mm; ± 4,50 mm; ± 4,55 mm; ± 4,60 mm; ± 4,65 mm; ± 4,70 mm; ± 4,75 mm; ± 4,80 mm; ± 4,85 mm; ± 4,90 mm; ± 4,95 mm; ± 5,00 mm; ± 5,05 mm; ± 5,10 mm; ± 5,15 mm; ± 5,20 mm; ± 5,25 mm; ± 5,30 mm; ± 5,35 mm; ± 5,40 mm; ± 5,45 mm; ± 5,50 mm; ± 5,55 mm; ± 5,60 mm; ± 5,65 mm; ± 5,70 mm; ± 5,75 mm; ± 5,80 mm; ± 5,85 mm; ± 5,90 mm; ± 5,95 mm; ± 6,00 mm; ± 6,05 mm; ± 6,10 mm; ± 6,15 mm; ± 6,20 mm; ± 6,25 mm; ± 6,30 mm; ± 6,35 mm; ± 6,40 mm; ± 6,45 mm; ± 6,50 mm; ± 6,55 mm; ± 6,60 mm; ± 6,65 mm; ± 6,70 mm; ± 6,75 mm; ± 6,80 mm; ± 6,85 mm; ± 6,90 mm; ± 6,95 mm; ± 7,00 mm; ± 7,05 mm; ± 7,10 mm; ± 7,15 mm; ± 7,20 mm; ± 7,25 mm; ± 7,30 mm; ± 7,35 mm; ± 7,40 mm; ± 7,45 mm; ± 7,50 mm; ± 7,55 mm; ± 7,60 mm; ± 7,65 mm; ± 7,70 mm; ± 7,75 mm; ± 7,80 mm; ± 7,85 mm; ± 7,90 mm; ± 7,95 mm; ± 8,00 mm; ± 8,05 mm; ± 8,10 mm; ± 8,15 mm; ± 8,20 mm; ± 8,25 mm; ± 8,30 mm; ± 8,35 mm; ± 8,40 mm; ± 8,45 mm; ± 8,50 mm; ± 8,55 mm; ± 8,60 mm; ± 8,65 mm; ± 8,70 mm; ± 8,75 mm; ± 8,80 mm; ± 8,85 mm; ± 8,90 mm; ± 8,95 mm; ± 9,00 mm; ± 9,05 mm; ± 9,10 mm; ± 9,15 mm; ± 9,20 mm; ± 9,25 mm;

ANEXO E

ESPECIFICACIONES DE LA TUBERÍA Y ACCESORIOS DE PVC

CPVC



**tubería y accesorios de cpvc
para agua caliente**

TUBERIA DE CPVC PARA CONDUCCION DE AGUA CALIENTE

PLASTIGAMA S.A. es la única empresa en el país que viene fabricando tuberías de CPVC desde el año 1982.

Cuenta con una línea completa de accesorios, que hace posible la instalación de conductos de AGUA CALIENTE para edificios de uso residencial, comercial, industrial, hospitales, etc.

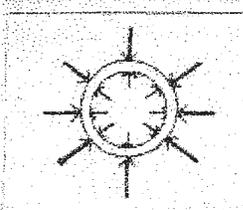
El término CPVC sirve para designar al cloruro de polivinilo clorado; éste se obtiene por un proceso petroquímico de polimerización, para formar una resina de PVC, que posee propiedades básicas de resistencia mecánica y térmica, y que mediante el proceso complementario de clorado adquiere resistencia a altas temperaturas.

Si bien el PVC es un material sumamente confiable y de aplicaciones muy amplias y variadas, la tubería fabricada con este material tiene limitado su uso al de la conducción de fluidos a temperaturas no mayores de 45° C, límite dentro del cual se conserva sus propiedades de trabajo.

Para la conducción de fluidos a temperaturas superiores a los 45° C, en las redes distribución de agua caliente o de fluidos industriales que puedan alcanzar temperaturas entre los 80 y 100° C, tienen solución las tuberías de CPVC.

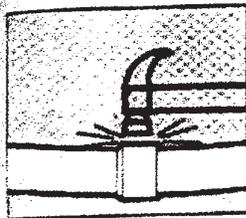


Ventajas



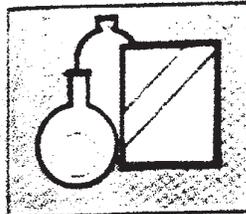
RESISTENCIA A LAS PRESIONES INTERNAS Y EXTERNAS

Las tuberías Plastigama de CPVC para agua caliente, están hechas con un compuesto que goza de alta resistencia a la tensión, lo que ha permitido la fabricación de tuberías aptas para trabajar a grandes presiones, con máxima continuidad, por tiempo ilimitado.



RESISTENCIA AL IMPACTO

Las tuberías de CPVC son muy resistentes al impacto y tienen capacidad para soportar maltrato físico o golpes, sin romperse, dañarse o aplastarse.



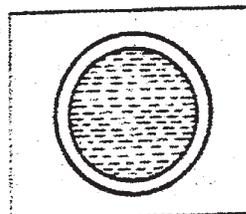
RESISTENCIA A LA CORROSION QUIMICA

Las tuberías de CPVC son inmunes a la corrosión química producida por sustancias que normalmente se encuentran en los sistemas de agua. La inercia al ataque de la mayoría de ácidos y alcalis y en general su resistencia química las hace ideales para transportar líquidos corrosivos, asegurando su utilización en la industria de sustancias químicas y en la conducción de cualquier tipo de agua, aunque no sea potable.



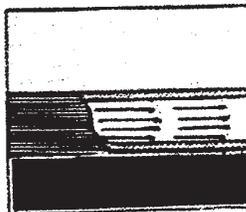
RESISTENCIA A LA FORMACION DE INCRUSTACIONES.

Las tuberías de CPVC no admiten la formación de incrustaciones, aun después de muchos años de utilización, el interior de las paredes de la tubería se mantiene en excelentes condiciones para la circulación del líquido.



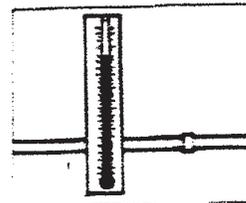
RESISTENCIA A LA CORROSION ELECTROLITICA O GALVANICA.

Las tuberías de CPVC son inmunes a la corrosión electrolítica o galvánica. No son afectadas por aguas salinas o suelos salinosos y por tanto, pueden instalarse en cualquier tipo de suelo y prácticamente en cualquier región.



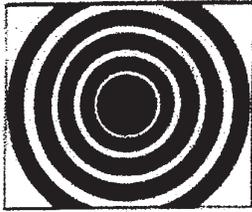
BAJO COEFICIENTE DE FRICCION

Por el acabado de la superficie interna de las tuberías de CPVC, su coeficiente de fricción es sustancialmente menor que el de cualquier otro tipo de tubería usado para conducir fluidos a altas temperaturas y se mantiene así aun después de largos periodos.



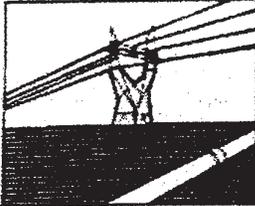
AISLANTE TERMICO

Las tuberías de CPVC constituyen un magnífico aislante térmico y reducen la transferencia de calor y el sudado de su superficie, producidos por la temperatura del agua.



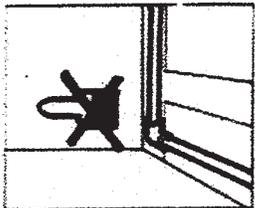
AISLANTE ACUSTICO

Las tuberías de CPVC constituyen un buen aislante acústico, su capacidad para absorber vibraciones y ruidos producidos por el movimiento del agua, asegura una operación silenciosa del sistema.



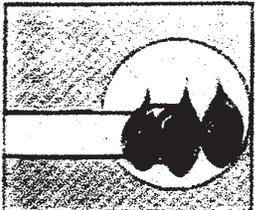
NO CONDUCE LA ELECTRICIDAD

Las tuberías de CPVC no conducen la electricidad, lo que elimina cualquier posibilidad de choque eléctrico o corto circuito causado por roce de líneas de conducción eléctrica.



NO REQUIEREN MANTENIMIENTO

Las tuberías de CPVC no requieren mantenimiento, ni la aplicación de pintura u otro tipo de protección.



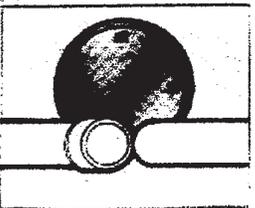
SON AUTOEXTINGUIBLES

Las tuberías de CPVC no forman llama ni facilitan la combustión, es decir no propagan el fuego, considerándose autoextinguibles.



PESO LIVIANO

Las tuberías de CPVC tienen el peso más ligero que cualquier tipo de tubería actualmente utilizada para conducción de líquidos fríos y calientes; comparadas con las tuberías de cobre pesan un 30% menos, significando una disminución de carga sobre las estructuras que soporta el sistema empotrado.



INSTALACION SENCILLA Y ECONOMICA

Las tuberías de CPVC tienen gran facilidad de instalación que supera en mucho a la de otros materiales utilizados actualmente para los mismos fines. Las tuberías de CPVC son ensambladas por medio de cemento solvente, constituyendo un sistema de unión fácil de utilizar, especialmente en lugares de difícil acceso, a diferencia de la tubería de cobre donde pueden presentarse impedimentos para soldar y riesgos de producir incendios o sufrir quemaduras con soplete, el caudín o la misma tubería caliente. La reducción del tiempo de instalación de la tubería de CPVC puede llegar a ser el 50% respecto a las tuberías metálicas.

ACCESORIOS PP

Se ofrece la línea más completa de accesorios en el mercado
producidos bajo estrictos controles de calidad

DESCRIPCION TECNICA

Presión de trabajo 10 Kg/cm²
con estabilizador de U.V.
Rosca Whitworth - gas cónica B.S.P.T y/o N.P.T.
De acuerdo norma IRAM 5063 - DIN 8077
Aprobados por O.S.N.

Temp. trabajo hasta 90°C
Hilos rosca 12, 14, 16
1" hasta 2" II
Color terracota

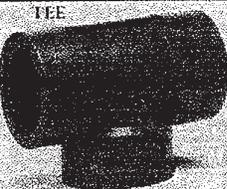
CODO HH 90°		Med.	Código
	1/2"	16-14620-002	
	3/4"	16-14620-004	
	1"	16-14620-006	
	1 1/2"	16-14620-008	
	1 1/2"	16-14620-010	
	2"	16-14620-012	

CODO HH 45°		Med.	Código
	1/2"	16-14620-001	
	3/4"	16-14620-003	
	1"	16-14620-005	
	1 1/2"	16-14620-007	
	1 1/2"	16-14620-009	
	2"	16-14620-011	

CODO MH		Med.	Código
	1/2"	16-14621-001	
	3/4"	16-14621-002	
	1"	16-14621-005	
	1 1/2"	16-14621-004	
	1 1/2"	16-14621-007	
	2"	16-14621-006	

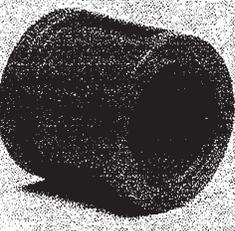
CURVA 90°		Med.	Código
	1/2"	16-14622-001	
	3/4"	16-14622-002	
	1"	16-14622-003	
	1 1/2"	16-14622-004	
	1 1/2"	16-14622-005	
	2"	16-14622-006	

TAPON MACHO		Med.	Código
	1/2"	16-14660-002	
	3/4"	16-14660-004	
	1"	16-14660-006	
	1 1/2"	16-14660-008	
	1 1/2"	16-14660-010	
	2"	16-14660-012	

TEE		Med.	Código
	1/2"	16-14661-001	
	3/4"	16-14661-003	
	1"	16-14661-005	
	1 1/2"	16-14661-007	
	1 1/2"	16-14661-009	
	2"	16-14661-011	

UNION UNIVERSAL		Med.	Código
	1/2"	16-14673-001	
	3/4"	16-14673-004	
	1"	16-14673-007	
	1 1/2"	16-14673-010	
	1 1/2"	16-14673-013	
	2"	16-14673-016	

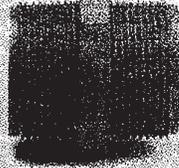
TAPA ROSCA HEMBRA		Med.	Código
	1/2"	16-14660-001	
	3/4"	16-14660-003	
	1"	16-14660-005	
	1 1/2"	16-14660-007	
	1 1/2"	16-14660-009	
	2"	16-14660-011	

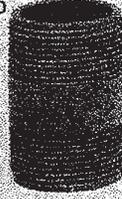
UNION R.R.		Med.	Código
	1/2"	16-14670-001	
	3/4"	16-14670-004	
	1"	16-14670-007	
	1 1/2"	16-14670-010	
	1 1/2"	16-14670-013	
	2"	16-14670-016	

ACCESORIOS PP

NEPLO 10 cm	Med.	Código
	1/2"	16-14636-007
	3/4"	16-14636-008
	1"	16-14636-009
	1 1/4"	16-14636-010
	1 1/2"	16-14636-011
	2"	16-14636-012

NEPLO 15 cm	Med.	Código
	1/2"	16-14636-013
	3/4"	16-14636-014
	1"	16-14636-015
	1 1/4"	16-14636-016
	1 1/2"	16-14636-017
	2"	16-14636-018

ROSCA C/TUERCA	Med.	Código
	1/2"	16-14635-001
	3/4"	16-14635-002
	1"	16-14635-003
	1 1/4"	16-14635-004
	1 1/2"	16-14635-005
	2"	16-14635-006

NEPLO 6 cm	Med.	Código
	1/2"	16-14636-001
	3/4"	16-14636-002
	1"	16-14636-003
	1 1/4"	16-14636-004
	1 1/2"	16-14636-005
	2"	16-14636-006

REDUCTOR	MEDIDA	1/2"x3/8"	3/4"x1/2"	1"x3/4"	1 1/4"x1"	1 1/2"x1 1/4"	2"x1 1/2"	2"x1"	2"x3/4"
	CODIGO	16-14650-001	16-14650-002	16-14650-004	16-14650-007	16-14650-011	16-14650-016	16-14650-014	16-14650-013
REDUCTOR	MEDIDA	1 1/2"x1"	1 1/2"x3/4"	1 1/2"x1/2"	1 1/4"x3/4"	1 1/4"x1/2"	1"x1/2"	2"x1/2"	2"x1 1/4"
	CODIGO	16-14650-010	16-14650-008	16-14650-008	16-14650-006	16-14650-005	16-14650-005	16-14650-012	16-14650-015

CODOS DE REDUCCION	Med.	Código
	1/2"x1/2"	16-14623-001
	1/2"x3/4"	16-14623-002
	1/2"x1/2"	16-14623-003

UNION REDUCTORA	Med.	Código
	1/2"x3/8"	16-14671-001
	3/4"x1/2"	16-14671-002
	1"x3/4"	16-14671-004
	1 1/2"x1"	16-14671-003

TEE REDUCCION	Med.	Código
	1/2"x1/2"	16-14663-001
	1/2"x3/4"	16-14663-002
	1/2"x1/2"	16-14663-003

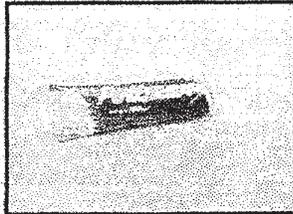
ADAPTADOR TANQUE	Med.	Código
	1/2"	16-14611-001
	3/4"	16-14611-002
	1"	16-14611-003
	1 1/4"	16-14611-004
	1 1/2"	16-14611-005
	2"	16-14611-006

PUENTE	Med.	Código
	1/2"	16-14636-019
	3/4"	16-14636-020
	1"	16-14636-021

NEPLO CURVA MH	Med.	Código
	1/2"	16-14621-007
	3/4"	16-14621-008
	1"	16-14621-009

SELLADOR PARA ROSCA LINEA DORADA PLASTIGAMA

NUEVO SELLADOR LINEA DORADA PLASTIGAMA, en práctico pomo de 125 cm³ en caja de cartón; especialmente formulado para roscas de polipropileno, color terracota.



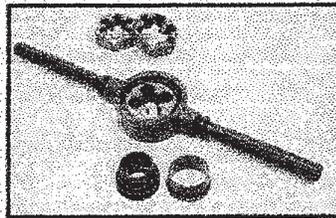
ENVASE	125 cc
CODIGO	16-14655-001

Ensayado por el
I.N.T.I.

TERRAJA

De nuevo diseño y color, con manijas roscables, peine de formato exterior hexagonal, de calce seguro.

Para hacer las roscas exactas; una herramienta precisa

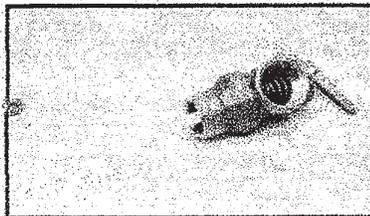


MEDIDA	1/2" - 3/4" - 1"
CODIGO	16-14659-001

VALVULA DE ALIVIO

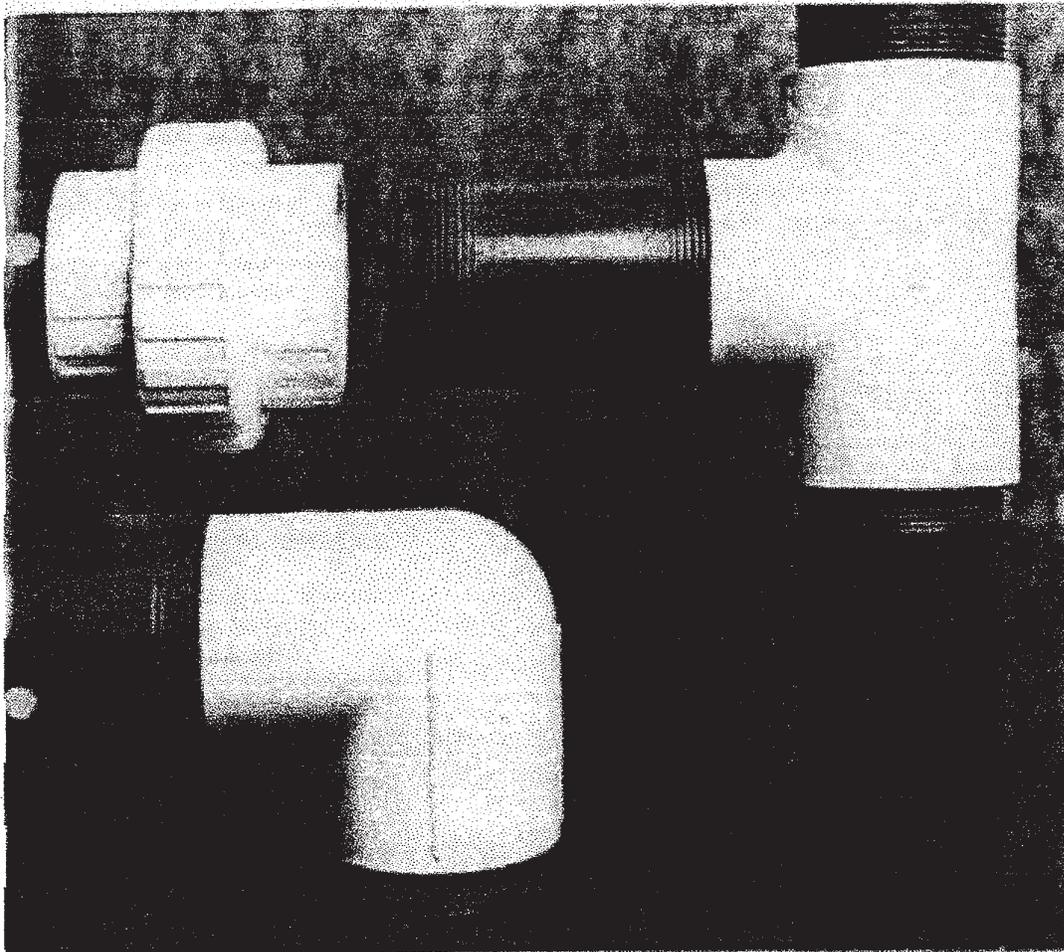
Construido en bronce para proteger el sistema. Presión de alivio 75 Psi, Temperatura de alivio 82° C.

Para hacer las roscas exactas; una herramienta precisa



MEDIDA	3/4"
CODIGO	16-14575-008

roscable



tubería y accesorios de PVC
presión unión roscable

Introducción

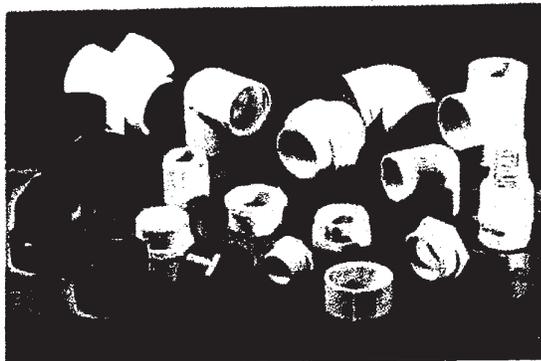
TUBERIA DE PVC PRESION - UNION ROSCABLE

PLASTIGAMA S.A. es la primera empresa en el país que, aplicando una avanzada tecnología en la fabricación de tuberías de PVC unión roscable para presión ha posibilitado el uso de este material en la mayoría de las instalaciones de agua fría en edificios para su uso residencial, comercial, industrial y hospitalario.

Este catálogo presenta toda la línea de tuberías y accesorios de PVC presión roscable, cuya fabricación y control de calidad se rige por especificaciones de normas internacionales reconocidas por el INEN.

VENTAJAS DE LOS TUBOS DE PVC PRESION - UNION ROSCABLE 'PLASTIGAMA'

- Pared gruesa
- Alta resistencia a la presión hidrostática
- Bajo módulo de elasticidad y alta resistencia al golpe de ariete
- Alta flexibilidad
- Su resistencia química impide la corrosión y formación de depósitos o incrustaciones en las paredes interiores
- Durabilidad garantizada
- No sufre reacción electrolytica
- Livianos
- Fáciles de cortar
- Fáciles de instalar
- Línea completa de accesorios

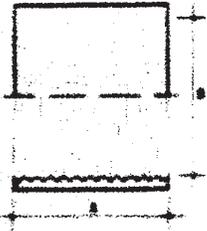


ESPECIFICACIONES PARA TUBERÍA Y ACCESORIOS DE PEQUEÑA DIMENSION (MCM EN POSICION)

TUBERÍA	CANTIDAD	DIMENSIONES		MATERIAL	VALORES	
		Ø	L		Ø	L
2000-100	1	100	100	100	100	100
1500-100	1	100	100	100	100	100
1000-100	1	100	100	100	100	100
500-100	1	100	100	100	100	100
250-100	1	100	100	100	100	100

Material: Acero ASTM A-106 - 50

Norma: ASTM A-106 - 50



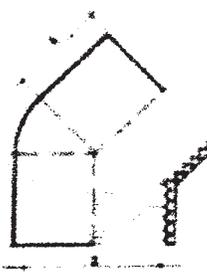
UNION

Diagram showing a pipe union with dimensions and material specifications.



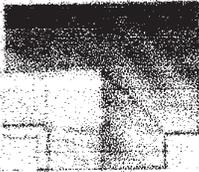
CODO DE 90°

Diagram showing a 90-degree elbow pipe with dimensions and material specifications.



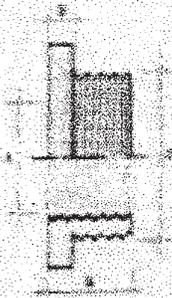
CODO DE 45°

CODIGO	DIMENSION	DIMENSION
100-100	100	100
150-100	100	100
200-100	100	100
250-100	100	100
300-100	100	100



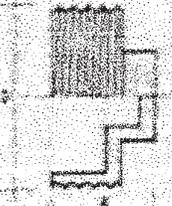
TEE

CODIGO	TAMAN TEE		DIMENSOES	
	DN	DN	A	B
00-0001-001	20	20	40	40
00-0001-002	25	25	50	50
00-0001-003	32	32	63	63
00-0001-004	40	40	80	80
00-0001-005	50	50	100	100



REDUTOR BUJE

CODIGO	TAMAN TEE		DIMENSOES			
	DN	DN	A	B	C	D
00-0002-001	20	25	25	25	25	25
00-0002-002	25	32	32	32	32	32
00-0002-003	32	40	40	40	40	40
00-0002-004	40	50	50	50	50	50
00-0002-005	50	63	63	63	63	63
00-0002-006	63	80	80	80	80	80
00-0002-007	80	100	100	100	100	100



TAPON MACHO

CODIGO	TAMAN TEE		DIMENSOES	
	DN	DN	A	B
00-0003-001	20	20	40	40
00-0003-002	25	25	50	50
00-0003-003	32	32	63	63
00-0003-004	40	40	80	80
00-0003-005	50	50	100	100



TAPON HEMBRA

CODIGO	TAMAN TEE		DIMENSOES	
	DN	DN	A	B
00-0004-001	20	20	40	40
00-0004-002	25	25	50	50
00-0004-003	32	32	63	63
00-0004-004	40	40	80	80
00-0004-005	50	50	100	100



UNION UNIVERSAL

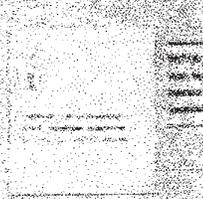
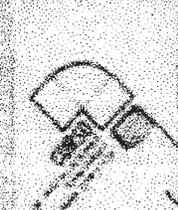
TAMANOS	DIAMETRO		DIMENSIONES	
	mm	inch	mm	inch
1/2"	12.7	1/2	30	1 1/8
3/4"	19.0	3/4	35	1 3/8
1"	25.4	1	40	1 5/8
1 1/2"	38.1	1 1/2	50	2 1/8
2"	50.8	2	60	2 3/8



VALVULA CHECK

TAMANOS	DIAMETRO		DIMENSIONES	
	mm	inch	mm	inch
1/2"	12.7	1/2	30	1 1/8
3/4"	19.0	3/4	35	1 3/8
1"	25.4	1	40	1 5/8
1 1/2"	38.1	1 1/2	50	2 1/8
2"	50.8	2	60	2 3/8

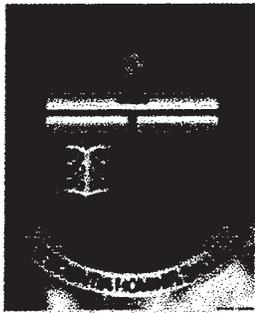
OTRAS PUBLICACIONES:



Este es el mejor material para...
 con...
 para...
 para...

ANEXO F

PROGRAMA PARA SIMULACIÓN



Programa de Simulación de un I.C.

Versión 1.0

**Todos los derechos reservados
Prohibida la reproducción total o parcial**

**Licencia para distribución:
Eulalia Malitasig
Ramiro Jimenez**

OK

VERSION 5.00

Begin VB.Form FrmAcercade

BackColor = &H00FFFFFF&

BorderStyle = 3 'Fixed Dialog

Caption = "Acerca de..."

ClientHeight = 4200

ClientLeft = 2385

ClientTop = 2295

ClientWidth = 7305

ForeColor = &H00000000&

Icon = "Presentación.frx":0000

LinkTopic = "Form2"

MaxButton = 0 'False

MinButton = 0 'False

PaletteMode = 1 'UseZOrder

ScaleHeight = 4200

ScaleWidth = 7305

ShowInTaskbar = 0 'False

Begin VB.CommandButton Command1

Caption = "OK"

Height = 375

Left = 3120

TabIndex = 5

Top = 3600

Width = 1215

End

Begin VB.PictureBox Picture1

AutoSize = -1 'True

Height = 2490

Left = 360

Picture = "Presentación.frx":0442

ScaleHeight = 2430

ScaleWidth = 1935

TabIndex = 0

Top = 720

Width = 1995

End

Begin VB.Label Label4

BackStyle = 0 'Transparent

Caption = "Licencia para distribución: Eulalia Malitasig Ramiro Jimenéz"

BeginProperty Font

Name = "Times New Roman"

Size = 12

Charset = 0

Weight = 700

Underline = 0 'False

Italic = 0 'False

Strikethrough = 0 'False

EndProperty

ForeColor = &H00000000&

```
Height = 1005
Left = 2880
TabIndex = 4
Top = 2400
Width = 2730
End
Begin VB.Label Label3
BackStyle = 0 'Transparent
Caption = "Todos los derechos reservados Prohibida la reproducción total o
cial"
BeginProperty Font
Name = "Times New Roman"
Size = 12
Charset = 0
Weight = 700
Underline = 0 'False
Italic = 0 'False
Strikethrough = 0 'False
EndProperty
ForeColor = &H000000FF&
Height = 615
Left = 2880
TabIndex = 3
Top = 1680
Width = 3975
End
Begin VB.Label Label2
AutoSize = -1 'True
BackStyle = 0 'Transparent
Caption = "Versión 1.0"
BeginProperty Font
Name = "MS Sans Serif"
Size = 12
Charset = 0
Weight = 700
Underline = 0 'False
Italic = 0 'False
Strikethrough = 0 'False
EndProperty
ForeColor = &H000000FF&
Height = 300
Left = 3000
TabIndex = 2
Top = 1200
Width = 1380
End
Begin VB.Label Label1
AutoSize = -1 'True
BackColor = &H00C0C0C0&
BackStyle = 0 'Transparent
```

```
BorderStyle = 1 'Fixed Single
Caption = "Programa de Simulación de un I.C."
```

```
BeginProperty Font
```

```
  Name = "MS Sans Serif"
```

```
  Size = 12
```

```
  Charset = 0
```

```
  Weight = 700
```

```
  Underline = 0 'False
```

```
  Italic = 0 'False
```

```
  Strikethrough = 0 'False
```

```
EndProperty
```

```
ForeColor = &H000000FF&
```

```
Height = 360
```

```
Left = 2760
```

```
TabIndex = 1
```

```
Top = 600
```

```
Width = 4230
```

```
End
```

```
End
```

```
Attribute VB_Name = "FrmAcercade"
```

```
Attribute VB_GlobalNameSpace = False
```

```
Attribute VB_Creatable = False
```

```
Attribute VB_PredeclaredId = True
```

```
Attribute VB_Exposed = False
```

```
Private Sub Command1_Click()
```

```
  Load Me
```

```
  Form1.Visible = 1
```

```
End Sub
```

```
Private Sub Form_Load()
```

```
  Me.Left = (Screen.Width - Me.Width) / 2
```

```
  Me.Top = (Screen.Height - Me.Height) / 2
```

```
  Call ExplodeForm(Me, 500)
```

```
End Sub
```

```
Private Sub Form_Terminate()
```

```
  End
```

```
End Sub
```

```
Private Sub Form_Unload(Cancel As Integer)
```

```
  Call ImplodeForm(Me, 2, 500, 1)
```

```
End Sub
```

```
BackColor = &H00C0C0C0&
BackStyle = 0 'Transparent
BorderStyle = 1 'Fixed Single
Caption = "Programa de Simulación de un I.C."
BeginProperty Font
  Name = "MS Sans Serif"
  Size = 12
  Charset = 0
  Weight = 700
  Underline = 0 'False
  Italic = 0 'False
  Strikethrough = 0 'False
EndProperty
ForeColor = &H000000FF&
Height = 360
Left = 2760
TabIndex = 1
Top = 600
Width = 4230
```

```
End
```

```
End
```

```
Attribute VB_Name = "FrmAcercade"
Attribute VB_GlobalNameSpace = False
Attribute VB_Creatable = False
Attribute VB_PredeclaredId = True
Attribute VB_Exposed = False
```

```
Private Sub Command1_Click()
  Unload Me
  Form1.Visible = 1
```

```
End Sub
```

```
Private Sub Form_Load()
  Me.Left = (Screen.Width - Me.Width) / 2
  Me.Top = (Screen.Height - Me.Height) / 2
  Call ExplodeForm(Me, 500)
```

```
End Sub
```

```
Private Sub Form_Terminate()
  End
```

```
End Sub
```

```
Private Sub Form_Unload(Cancel As Integer)
  Call ImplodeForm(Me, 2, 500, 1)
```

```
End Sub
```

VERSION 5.00

Begin VB.Form Form1

BackColor = &H00FFFFFF&
Caption = "Simulación del I.C."
ClientHeight = 5595
ClientLeft = 2310
ClientTop = 1755
ClientWidth = 6015
Icon = "principal.frx":0000
LinkTopic = "Form1"
PaletteMode = 1 'UseZOrder
ScaleHeight = 5595
ScaleWidth = 6015

Begin VB.Frame Frame2

BackColor = &H00E0E0E0&
Caption = "Resultados"
Enabled = 0 'False
BeginProperty Font
Name = "Times New Roman"
Size = 9.75
Charset = 0
Weight = 400
Underline = 0 'False
Italic = 0 'False
Strikethrough = 0 'False

EndProperty

ForeColor = &H000000C0&
Height = 2655
Left = 480
MousePointer = 2 'Cross
TabIndex = 10
Top = 2640
Width = 5055
Begin VB.TextBox dpotext
Height = 300
Left = 3315
TabIndex = 27
Top = 2160
Width = 1215

End

Begin VB.TextBox dpitext

Height = 300
Left = 3315
TabIndex = 22
Top = 1800
Width = 1215

End

Begin VB.TextBox qgantext

Height = 300

```
Left      = 3315
TabIndex = 21
Top       = 1320
Width    = 1215
End
Begin VB.TextBox hotext
  Height   = 300
  Left     = 3315
 TabIndex = 20
  Top      = 360
  Width    = 1215
End
Begin VB.TextBox Uotext
  Height   = 300
  Left     = 3315
 TabIndex = 19
  Top      = 840
  Width    = 1215
End
Begin VB.TextBox tcotext
  Height   = 300
  Left     = 1320
 TabIndex = 14
  Top      = 840
  Width    = 1215
End
Begin VB.TextBox thotext
  Height   = 300
  Left     = 1320
 TabIndex = 13
  Top      = 360
  Width    = 1215
End
Begin VB.TextBox dtmltext
  Height   = 300
  Left     = 1320
 TabIndex = 12
  Top      = 1320
  Width    = 1215
End
Begin VB.TextBox hitext
  Height   = 300
  Left     = 1320
 TabIndex = 11
  Top      = 1800
  Width    = 1215
End
Begin VB.Label Label13
  Appearance = 0 'Flat
```

```
AutoSize      = -1 'True
BackColor     = &H80000005&
BackStyle    = 0 'Transparent
Caption      = "dpo="
BeginProperty Font
  Name       = "Times New Roman"
  Size      = 9
  Charset   = 0
  Weight    = 400
  Underline = 0 'False
  Italic    = 0 'False
  Strikethrough = 0 'False
EndProperty
ForeColor    = &H00C00000&
Height      = 225
Left        = 2820
TabIndex    = 28
Top         = 2160
Width       = 390
```

End

Begin VB.Label Label9

```
Appearance   = 0 'Flat
AutoSize     = -1 'True
BackColor    = &H80000005&
BackStyle    = 0 'Transparent
Caption      = "q ="
BeginProperty Font
  Name       = "Times New Roman"
  Size      = 9
  Charset   = 0
  Weight    = 400
  Underline = 0 'False
  Italic    = 0 'False
  Strikethrough = 0 'False
```

EndProperty

```
ForeColor    = &H00C00000&
Height      = 225
Left        = 2820
TabIndex    = 26
Top         = 1320
Width       = 285
```

End

Begin VB.Label Label10

```
Appearance   = 0 'Flat
AutoSize     = -1 'True
BackColor    = &H80000005&
BackStyle    = 0 'Transparent
Caption      = "Uo="
BeginProperty Font
```

```
Name      = "Times New Roman"
Size      = 9
Charset   = 0
Weight    = 400
Underline = 0 'False
Italic    = 0 'False
Strikethrough = 0 'False
EndProperty
ForeColor = &H00C00000&
Height    = 225
Left      = 2820
TabIndex  = 25
Top       = 840
Width     = 330
End
Begin VB.Label Label11
Appearance = 0 'Flat
AutoSize   = -1 'True
BackColor  = &H80000005&
BackStyle  = 0 'Transparent
Caption    = "ho="
BeginProperty Font
Name      = "Times New Roman"
Size      = 9
Charset   = 0
Weight    = 400
Underline = 0 'False
Italic    = 0 'False
Strikethrough = 0 'False
EndProperty
ForeColor = &H00C00000&
Height    = 225
Left      = 2820
TabIndex  = 24
Top       = 360
Width     = 285
End
Begin VB.Label Label12
Appearance = 0 'Flat
AutoSize   = -1 'True
BackColor  = &H80000005&
BackStyle  = 0 'Transparent
Caption    = "dpi = "
BeginProperty Font
Name      = "Times New Roman"
Size      = 9
Charset   = 0
Weight    = 400
Underline = 0 'False
```

```
    Italic      = 0 'False
    Strikethrough = 0 'False
EndProperty
ForeColor      = &H00C00000&
Height         = 225
Left           = 2820
TabIndex      = 23
Top            = 1800
Width          = 435
End
Begin VB.Label Label8
    Appearance   = 0 'Flat
    AutoSize     = -1 'True
    BackColor    = &H80000005&
    BackStyle    = 0 'Transparent
    Caption      = "hi ="
    BeginProperty Font
        Name      = "Times New Roman"
        Size      = 9
        CharSet   = 0
        Weight    = 400
        Underline = 0 'False
        Italic    = 0 'False
        Strikethrough = 0 'False
    EndProperty
    ForeColor    = &H00C00000&
    Height       = 225
    Left         = 255
    TabIndex     = 18
    Top          = 1800
    Width        = 285
End
Begin VB.Label Label7
    Appearance   = 0 'Flat
    AutoSize     = -1 'True
    BackColor    = &H80000005&
    BackStyle    = 0 'Transparent
    Caption      = "Th,o [°K] = "
    BeginProperty Font
        Name      = "Times New Roman"
        Size      = 9
        CharSet   = 0
        Weight    = 400
        Underline = 0 'False
        Italic    = 0 'False
        Strikethrough = 0 'False
    EndProperty
    ForeColor    = &H00C00000&
    Height       = 225
```

```
Left      = 255
TabIndex  = 17
Top       = 360
Width     = 885
End
Begin VB.Label Label6
Appearance = 0 'Flat
AutoSize  = -1 'True
BackColor = &H80000005&
BackStyle = 0 'Transparent
Caption   = "Tc,o [°K] ="
BeginProperty Font
Name      = "Times New Roman"
Size     = 9
Charset  = 0
Weight   = 400
Underline = 0 'False
Italic   = 0 'False
Strikethrough = 0 'False
EndProperty
ForeColor = &H00C00000&
Height    = 225
Left      = 255
TabIndex  = 16
Top       = 840
Width     = 870
End
Begin VB.Label Label5
Appearance = 0 'Flat
AutoSize  = -1 'True
BackColor = &H80000005&
BackStyle = 0 'Transparent
Caption   = "Dtml ="
BeginProperty Font
Name      = "Times New Roman"
Size     = 9
Charset  = 0
Weight   = 400
Underline = 0 'False
Italic   = 0 'False
Strikethrough = 0 'False
EndProperty
ForeColor = &H00C00000&
Height    = 225
Left      = 255
TabIndex  = 15
Top       = 1320
Width     = 525
End
```

```
End
Begin VB.Frame Frame1
  BackColor = &H00E0E0E0&
  Caption = "Datos de Entrada"
  BeginProperty Font
    Name = "Times New Roman"
    Size = 9.75
    Charset = 0
    Weight = 400
    Underline = 0 'False
    Italic = 0 'False
    Strikethrough = 0 'False
  EndProperty
  ForeColor = &H00000080&
  Height = 2175
  Left = 480
  TabIndex = 4
  Top = 240
  Width = 3735
  Begin VB.TextBox Qctext
    Height = 300
    Left = 2160
    TabIndex = 3
    Text = "0.2"
    Top = 1680
    Width = 1215
  End
  Begin VB.TextBox Qhtext
    Height = 300
    Left = 2160
    TabIndex = 2
    Text = "0.3"
    Top = 1200
    Width = 1215
  End
  Begin VB.TextBox Thitext
    Height = 300
    Left = 2160
    TabIndex = 0

    Text = "60.5"
    Top = 240
    Width = 1215
  End
  Begin VB.TextBox Tcitext
    Height = 300
    Left = 2160
    TabIndex = 1
    Text = "15"
```

```
Top      = 720
Width    = 1215
End
Begin VB.Label Label1
Appearance = 0 'Flat
AutoSize   = -1 'True
BackColor  = &H00FF0000&
BackStyle  = 0 'Transparent
Caption    = "Qh [GPM] ="
BeginProperty Font
Name       = "Times New Roman"
Size       = 8.25
Charset    = 0
Weight     = 400
Underline  = 0 'False
Italic     = 0 'False
Strikethrough = 0 'False
EndProperty
ForeColor  = &H000000FF&
Height     = 210
Left       = 255
TabIndex   = 9
Top        = 1200
Width      = 870
End
Begin VB.Label Label2
Appearance = 0 'Flat
AutoSize   = -1 'True
BackColor  = &H00FF0000&
BackStyle  = 0 'Transparent
Caption    = "Tci [°C] ="
BeginProperty Font
Name       = "Times New Roman"
Size       = 8.25
Charset    = 0
Weight     = 400
Underline  = 0 'False
Italic     = 0 'False
Strikethrough = 0 'False
EndProperty
ForeColor  = &H000000FF&
Height     = 210
Left       = 255
TabIndex   = 8
Top        = 720
Width      = 690
End
Begin VB.Label Label3
```

```
Appearance = 0 'Flat

AutoSize = -1 'True
BackColor = &H00FF0000&
BackStyle = 0 'Transparent
Caption = "Thi [°C) ="
BeginProperty Font
  Name = "Times New Roman"
  Size = 8.25
  Charset = 0
  Weight = 400
  Underline = 0 'False
  Italic = 0 'False
  Strikethrough = 0 'False
EndProperty
ForeColor = &H000000FF&
Height = 210
Left = 255
TabIndex = 7
Top = 360
Width = 705
```

End

Begin VB.Label Label4

```
Appearance = 0 'Flat
AutoSize = -1 'True
BackColor = &H00FF0000&
BackStyle = 0 'Transparent
Caption = "Qc [GPM] ="
BeginProperty Font
  Name = "Times New Roman"
  Size = 8.25
  Charset = 0
  Weight = 400
  Underline = 0 'False
  Italic = 0 'False
  Strikethrough = 0 'False
```

EndProperty

```
ForeColor = &H000000FF&
Height = 210
Left = 255
TabIndex = 6
Top = 1680
Width = 855
```

End

End

Begin VB.CommandButton Command1

```
Appearance = 0 'Flat
BackColor = &H80000005&
Caption = "&Calcular"
```

```

BeginProperty Font
  Name      = "Times New Roman"
  Size      = 9
  Charset   = 0
  Weight    = 400
  Underline = 0 'False
  Italic    = 0 'False
  Strikethrough = 0 'False
EndProperty
Height     = 495
Left       = 4440
TabIndex   = 5
Top        = 1800
Width      = 1215
End
Begin VB.Menu mnuFile
  Caption   = "Archivo"
  Begin VB.Menu mnut
    Caption  = "Calcular espesor aislante"
  End
  Begin VB.Menu guion1
    Caption  = "-"
  End
  Begin VB.Menu mnuexit
    Caption  = "Salir"
  End
End
End
Attribute VB_Name = "Form1"
Attribute VB_GlobalNameSpace = False
Attribute VB_Creatable = False
Attribute VB_PredeclaredId = True
Attribute VB_Exposed = False
Option Explicit
Dim tmc#, tmh#, tsas#, tco#, mh#, cph#, ymc#, Vt#, mc#, cpc#, qgan#, tho#
Dim P#, R#, f#, dt1#, dt2#, dtmlcf#, dtml#, miu#, Rei#, Pr#, mius#, Prs#, Nu#
Dim K#, ho#, hi#, miuo#, Reo#, h#, Uo#, Tsn#, error#, qnuevo#, Tconuevo#
Dim betha#, rho#, v#, v1#, Gr#, vn#
Dim dpi1#, dpi2#, dpi3#, dpi4#, dpo1#, dpo2#, dpo3#, dpi#, dpo#, Dh#
Dim Thi#, Tci#, Qh#, Qc#, vh#, Tcn#

Const A = 1.55 'm^2
Const As1 = 0.0087552 'm2
Const Di = 0.0137
Const Do1 = 0.0159
Const L = 2.4
Const N = 13

```

```
Const m = 6
Const C = 0.0048
Const ND = 4
Const St = 0.02
Const Dc = 0.152
Const Dt = 0.01905
```

```
Private Sub calcular()
```

```
'dato de entrada
```

```
Dim val1, val2
```

```
val1 = InputBox("ingrese un valor de Tco [°C]", "Valor Inicial para la iteración")
```

```
If val1 = "" Then Exit Sub
```

```
val2 = InputBox("Ingrese un valor de Tho [°C]", "Valor inicial para la iteración")
```

```
If val2 = "" Then Exit Sub
```

```
tco = Val(val1) + 273.15
```

```
tsas = 313.07
```

```
tho = Val(val2) + 273.15
```

```
Do
```

```
tmc = (Tci + tco) / 2
```

```
'vt = formula
```

```
Vt = Vesp(tmc)
```

```
mc = Qc * 0.000066 / Vt
```

```
'cpc formula
```

```
cpc = caloresp(tmc)
```

```
qgan = (mc * cpc * (tco - Tci)) * 1000
```

```
tmh = (Thi + tho) / 2
```

```
vh = Vesp(tmh)
```

```
mh = Qh * 0.000066 / vh
```

```
'cpc formula
```

```
cph = caloresp(tmh)
```

```
tho = Thi - qgan / mh / cph / 1000
```

```
thotext.Text = tho
```

```
P = (tho - Thi) / (Tci - Thi)
```

```
R = (Tci - tco) / (tho - Thi)
```

$f = \frac{\sqrt{R^2 + 1} \cdot \log\left(\frac{1 - P}{1 - P \cdot R}\right) / (R - 1) / \log\left(\frac{2 - P \cdot (R + 1 - \sqrt{R^2 + 1})}{2 - P \cdot (R + 1 + \sqrt{R^2 + 1})}\right)}{2 - P \cdot (R + 1 + \sqrt{R^2 + 1})}$

dt1 = Thi - tco

dt2 = tho - Tci

dtmlcf = (dt1 - dt2) / Log(dt1 / dt2)

dtml = f * dtmlcf

dtmltext.Text = dtml

'Calculo del h

tmh = (Thi + tho) / 2

'vt, miu = formula

Vt = Vesp(tmh)

miu = VISCOSIDAD(tmh)

mh = Qh * 0.000066 / Vt

Rei = 4 * mh / (N * pi * Di * miu)

'Pr = formula

Pr = Prandtl(tmh)

' Asuminos TS

Do

'Formula mius

mius = VISCOSIDAD(tsas)

Select Case Rei

Case Is > 100000

Nu = 0.023 * Rei ^ 0.8 * Pr ^ 0.5

Case Is <= 2100

Nu = 1.86 * (Rei * Pr * Di / L) ^ 0.3333 * (miu / mius) ^ 0.14

End Select

'Fórmula K

K = conductermica(tmh)

hi = Nu * K / Di

hitext = hi

'calculo del ho (lado de la carcaza)

'formula miuo

miuo = VISCOSIDAD(tmc)

Reo = mc * Do1 / As1 / miuo

'Formula Pr

Pr = Prandtl(tmc)

'Fórmula Prs.

Prs = Prandtl(tsas)

Select Case Reo

Case Is < 10000

Nu = 0.51 * Reo ^ 0.5 * Pr ^ 0.36 * (Pr / Prs) ^ 0.25

Case Is > 10000

Nu = 0.37 * Reo ^ 0.6 * Pr ^ 0.36 * (Pr / Prs) ^ 0.25

End Select

'formula K

K = conductermica(tmc)

h = Nu * K / Do1

ho = 0.912 * h

hotext.Text = ho

'Cálculo del Uo

Uo = 1 / (1 / (hi * Di / Do1) + 0.0028 + 1 / ho)

Uotext.Text = Uo

'comprobación de Ts

Tsn = tmc + Uo / ho * dtml * f

error = Abs(Tsn - tsas)

tsas = Tsn

Debug.Print ; "error1", error

Loop Until (error <= 0.001)

q nuevo = Uo * A * dtml

qganntext.Text = q nuevo

Tcn = (q nuevo + qgan) / 2 / (mc * cpc) / 1000 + Tci

tco = (tco + Tcn) / 2

tcotext.Text = tco

error = Abs(qnuevo - qgan)

Debug.Print ; "error2", error

Loop Until (error <= 0.01)
' Calculo de la caida de Presión

Const g = 9.81

betha = coefexptermica(tmh)

miu = VISCOSIDAD(tmh)

Pr = Prandtl(tmh)

Prs = Prandtl(tsas)

v = Vesp(tmh)

rho = 1 / v

Gr = g * betha * Di ^ 3 * rho ^ 2 * (tmh - tsas) / miu ^ 2

Select Case Rei

Case Rei <= 3000

f = 64 / Rei * (Prs / Pr) ^ 0.33 * (1 + 0.22 * (Gr * Pr / Rei) ^ 0.15)

Case Rei > 3000

f = 0.3164 / Rei ^ 0.25 * (Prs / Pr) ^ 0.33

End Select

vn = 4 * mh / (N * rho * pi * Di ^ 2)

dpi1 = f * rho * vn ^ 2 * L * N / Di

dpi2 = 1.5 * rho * vn ^ 2

Vt = 4 * mh / (rho * pi * Dt ^ 2)

dpi4 = 1.5 * rho * Vt ^ 2 / 2

dpi = dpi1 + dpi2 + dpi3 + dpi4

dpitext.Text = dpi

' Caída de P en el lado de carga (agua fría)

v = Vesp(tmc)

rho = 1 / v

v1 = mc / (rho * As1)

miu = VISCOSIDAD(tmc)

miu = VISCOSIDAD(tsas)

Dh = (3.44 * St ^ 2 - pi * Do1 ^ 2) / (pi * Do1)

f = (5.4 + 3.4 * mc) * Reo ^ 0.28 * (miu / mius) ^ 0.14

dpo1 = (N + 1) * f * rho * v1 ^ 2 * Do1 / (2 * Dh)

```
dpo2 = 2.2 * Vt ^ 2 * rho * ND / 2
Vt = 4 * mc / (rho * pi * Dt ^ 2)
dpo3 = 1.5 * rho * Vt ^ 2 / 2
dpo = dpo1 + dpo2 + dpo3
```

```
dpotext.Text = dpo
```

```
End Sub
Sub Declaraciones()
Thi = Val(Thitext.Text) + 273.15
Tci = Val(Tcitext.Text) + 273.15
Qh = Val(Qhtext.Text)
Qc = Val(Qctext.Text)
```

```
End Sub
Private Sub Command1_Click()
Call Declaraciones
Call calcular
End Sub
```

```
Private Sub Form_Load()
Me.Top = (Screen.Height - Me.Height) / 2
Me.Left = (Screen.Width - Me.Width) / 2
```

```
Call ExplodeForm(Me, 500)
End Sub
```

```
Private Sub Form_Unload(Cancel As Integer)
Call ImplodeForm(Me, 2, 500, 1)
End
End Sub
```

```
Private Sub mnuexit_Click()
Call ImplodeForm(Me, 2, 500, 1)
End
```

```
End Sub
```

```
Private Sub mnut_Click()
Form1.Visible = 0
Form2.Visible = 1
End Sub
```

VERSION 5.00

Begin VB.Form Form2

BackColor = &H00FFFFFF&
Caption = "Espesor aislante"
ClientHeight = 4875
ClientLeft = 2505
ClientTop = 2415
ClientWidth = 6840
Icon = "Espesor.frx":0000
LinkTopic = "Form2"
PaletteMode = 1 'UseZOrder
ScaleHeight = 4875
ScaleWidth = 6840

Begin VB.CommandButton Command2

Caption = "&Calcular % q perdido"
Height = 495
Left = 3840
TabIndex = 10
Top = 2640
Width = 1815

End

Begin VB.CommandButton Command1

Caption = "&Calcular espesor"
Height = 495
Left = 840
TabIndex = 9
Top = 2640
Width = 1695

End

Begin VB.Frame Frame1

BackColor = &H00E0E0E0&
Caption = "Datos de Entrada"
BeginProperty Font
Name = "Times New Roman"
Size = 9.75
Charset = 0
Weight = 400
Underline = 0 'False
Italic = 0 'False
Strikethrough = 0 'False

EndProperty

ForeColor = &H000000FF&
Height = 2175
Left = 360
TabIndex = 13
Top = 240
Width = 6000

Begin VB.TextBox tcmttext

Height = 300
Left = 4440

```
    TabIndex    = 3
    Text        = "0.3"
    Top         = 1200
    Width       = 1215
End
Begin VB.TextBox Qctext
    Height      = 300
    Left        = 1440
    TabIndex    = 4
    Text        = "0.6"
    Top         = 1680
    Width       = 1215
End
Begin VB.Label Label17

    Appearance   = 0 'Flat
    AutoSize     = -1 'True
    BackColor    = &H80000005&
    BackStyle    = 0 'Transparent
    Caption      = "K aislamiento ="
    BeginProperty Font
        Name      = "Times New Roman"
        Size      = 9
        Charset   = 0
        Weight    = 400
        Underline = 0 'False
        Italic    = 0 'False
        Strikethrough = 0 'False
    EndProperty
    ForeColor    = &H00FF0000&
    Height       = 225
    Left         = 3000
    TabIndex     = 21
    Top          = 1800
    Width        = 1140
End
Begin VB.Label Label16

    Appearance   = 0 'Flat
    AutoSize     = -1 'True
    BackColor    = &H80000005&
    BackStyle    = 0 'Transparent
    Caption      = "Q cedido ="
    BeginProperty Font
        Name      = "Times New Roman"
        Size      = 9
        Charset   = 0
        Weight    = 400
        Underline = 0 'False
        Italic    = 0 'False
```

```
    Strikethrough = 0 'False
EndProperty
ForeColor = &H00FF0000&
Height = 225
Left = 3000
TabIndex = 20
Top = 240
Width = 795
End
Begin VB.Label Label15
    Appearance = 0 'Flat
    AutoSize = -1 'True
    BackColor = &H80000005&
    BackStyle = 0 'Transparent
    Caption = "Tc promedio ="
    BeginProperty Font
        Name = "Times New Roman"
        Size = 9
        Charset = 0
        Weight = 400
        Underline = 0 'False
        Italic = 0 'False
        Strikethrough = 0 'False
    EndProperty
    ForeColor = &H00FF0000&
    Height = 225
    Left = 3000
   TabIndex = 19
    Top = 600
    Width = 1080
End
Begin VB.Label Label14
    Appearance = 0 'Flat
    AutoSize = -1 'True
    BackColor = &H80000005&
    BackStyle = 0 'Transparent
    Caption = "T ambiente ="
    BeginProperty Font
        Name = "Times New Roman"
        Size = 9
        Charset = 0
        Weight = 400
        Underline = 0 'False
        Italic = 0 'False
        Strikethrough = 0 'False
    EndProperty
    ForeColor = &H00FF0000&
    Height = 225
    Left = 3000
```

```
TabIndex    = 18
Top         = 1200
Width      = 960
End
Begin VB.Label Label4
Appearance  = 0 'Flat
AutoSize   = -1 'True
BackColor   = &H80000005&
BackStyle   = 0 'Transparent
Caption     = "Qc [GPM] ="
BeginProperty Font
Name        = "Times New Roman"
Size        = 9
Charset     = 0
Weight      = 400
Underline   = 0 'False
Italic      = 0 'False
Strikethrough = 0 'False
EndProperty
ForeColor   = &H00FF0000&
Height     = 225
Left       = 255
TabIndex   = 17
Top        = 1800
Width      = 945
End
Begin VB.Label Label3
Appearance  = 0 'Flat
AutoSize   = -1 'True
BackColor   = &H80000005&
BackStyle   = 0 'Transparent
Caption     = "Thi [°C] ="
BeginProperty Font
Name        = "Times New Roman"
Size        = 9
Charset     = 0
Weight      = 400
Underline   = 0 'False
Italic      = 0 'False
Strikethrough = 0 'False
EndProperty
ForeColor   = &H00FF0000&
Height     = 225
Left       = 255
TabIndex   = 16
Top        = 240
Width      = 735
End
Begin VB.Label Label2
```

```
Appearance = 0 'Flat
AutoSize = -1 'True
BackColor = &H80000005&
BackStyle = 0 'Transparent
Caption = "Tci [°C) ="
BeginProperty Font
  Name = "Times New Roman"
  Size = 9
  Charset = 0
  Weight = 400
  Underline = 0 'False
  Italic = 0 'False
  Strikethrough = 0 'False
```

```
EndProperty
ForeColor = &H00FF0000&
Height = 225
Left = 255
TabIndex = 15
Top = 600
Width = 720
```

End

Begin VB.Label Label1

```
Appearance = 0 'Flat
AutoSize = -1 'True
BackColor = &H80000005&
BackStyle = 0 'Transparent
Caption = "Qh [GPM] ="
BeginProperty Font
  Name = "Times New Roman"
  Size = 9
  Charset = 0
  Weight = 400
  Underline = 0 'False
  Italic = 0 'False
  Strikethrough = 0 'False
```

```
EndProperty
ForeColor = &H00FF0000&
Height = 225
Left = 255
TabIndex = 14
Top = 1200
Width = 960
```

End

End

Begin VB.Frame Frame2

```
BackColor = &H00E0E0E0&
Caption = "Resultados"
Enabled = 0 'False
```

```
BeginProperty Font
  Name      = "Times New Roman"
  Size      = 9.75
  Charset   = 0
  Weight    = 700
  Underline = 0 'False
  Italic    = 0 'False
  Strikethrough = 0 'False
EndProperty
ForeColor   = &H000000C0&
Height     = 1215
Left       = 360
TabIndex   = 0
Top        = 3240
Width      = 6000
Begin VB.TextBox Tstext
  Height    = 300
  Left      = 960
  TabIndex  = 24
  Top       = 720
  Width     = 1215
End
Begin VB.TextBox Pertext
  Height    = 300
  Left      = 4440
  TabIndex  = 22
  Top       = 240
  Width     = 1215
End
Begin VB.TextBox ttext
  Height    = 300
  Left      = 960
  TabIndex  = 11
  Top       = 240
  Width     = 1215
End
Begin VB.Label Label6
  AutoSize  = -1 'True
  BackStyle = 0 'Transparent
  Caption   = "t s="
  BeginProperty Font
    Name      = "Times New Roman"
    Size      = 9
    Charset   = 0
    Weight    = 400
    Underline = 0 'False
    Italic    = 0 'False
    Strikethrough = 0 'False
  EndProperty
```

```
ForeColor = &H000000FF&  
Height = 225  
Left = 250  
TabIndex = 25  
Top = 720  
Width = 285
```

End

Begin VB.Label Label5

```
AutoSize = -1 'True  
BackStyle = 0 'Transparent  
Caption = "% Calor perdido"
```

BeginProperty Font

```
Name = "Times New Roman"  
Size = 9  
Charset = 0  
Weight = 400  
Underline = 0 'False  
Italic = 0 'False  
Strikethrough = 0 'False
```

EndProperty

```
ForeColor = &H000000FF&  
Height = 225  
Left = 3000  
TabIndex = 23  
Top = 240  
Width = 1185
```

End

Begin VB.Label Label7

```
AutoSize = -1 'True  
BackStyle = 0 'Transparent  
Caption = "t="
```

BeginProperty Font

```
Name = "Times New Roman"  
Size = 9  
Charset = 0  
Weight = 400  
Underline = 0 'False  
Italic = 0 'False  
Strikethrough = 0 'False
```

EndProperty

```
ForeColor = &H000000FF&  
Height = 225  
Left = 250  
TabIndex = 12  
Top = 240  
Width = 210
```

End

End

Begin VB.Menu mnuFile

```

Caption      = "Archivo"
Begin VB.Menu mnuBack
  Caption    = "Regresar"
End
Begin VB.Menu quion
  Caption    = "-"
End
Begin VB.Menu mnuExit
  Caption    = "Salir"
End
End
End
Attribute VB_Name = "Form2"
Attribute VB_GlobalNameSpace = False
Attribute VB_Creatable = False
Attribute VB_PredeclaredId = True
Attribute VB_Exposed = False
Option Explicit
Dim Thi#, Tci#, Qh#, Qc#, Wced#, Tcm#, Tamb#, Qced#
Dim Kais#, Qper#, Ts1#, Ts2#, D2#, Tf#, betha#, miu#
Dim alfa#, Ra#, Pr#, Nu#, K#, h#, t#, error#, Ts2n#, Percent

Const D1 = 0.1584
Const L = 1.2
Const g = 9.81
Function tensup(t#) As Double
tensup = Exp(-14.7985683314 + 0.0248405532 * t - 0.0000496081 * t ^ 2 +
0.0000000411 * t ^ 3)
End Function
Function Prandtl(t#) As Double
Prandtl = Exp(-0.123413172 - 0.0014265022 * t + 0.000003104 * t ^ 2 -
0.0000000027 * t ^ 3)
End Function
Function VISCOSIDAD(t#) As Double
VISCOSIDAD = -0.0011807791 + 0.0007108368 * Log(t) - 0.0001439326 *
(Log(t)) ^ 2 + 0.0000098339 * (Log(t)) ^ 3
End Function
Function conductermica(t#) As Double
conductermica = Exp(-5.6229285859 + 0.0121919142 * t - 0.0000248646 * t ^ 2 +
0.0000000209 * t ^ 3)
End Function

Private Sub Command1_Click()
Call datos
Call calculart
End Sub

```

```

Sub datos()
Thi = Val(Thitext.Text) + 273.15
Tci = Val(Tcitext.Text) + 273.15
Qh = Val(Qhtext.Text)
Qc = Val(Qctext.Text)
Qced = Val(qcedidotext.Text)
Tcm = Val(tcmtext.Text) + 273.15
Tamb = Val(Tambientetext.Text) + 273.15
Kais = Val(Kaislamientotext.Text)
End Sub

Sub calculart()
Percent = InputBox("Ingrese el % de calor perdido")
If Percent = "" Then Exit Sub
Qper = Percent / 100 * Qced
Ts1 = Tcm
Ts2 = (Tcm + Tamb) / 2

Do
D2 = D1 * Exp(2 * pi * Kais * L / Qper * (Tcm - Ts2))
Tf = (Ts2 + Tamb) / 2
betha = 1 / Tf
' formula
miu = VISCOSIDAD(Tf)
alfha = tensup(Tf)
Ra = g * betha * (Ts2 - Tamb) * D2 ^ 3 / miu / alfha
Pr = Prandtl(Tf)
Nu = (0.6 + 0.387 * Ra ^ 0.166666666666667 / (1 + (0.559) ^ 0.5625) ^ (8 / 27)) ^
2
K = conductermica(Tf)
h = K / D2 * Nu
'Comprobación de Ts2

Ts2n = Qper / (h * pi * D2 * L) + Tamb
error = Abs(Ts2n - Ts2)
Ts2 = Ts2n
Loop Until (error < 0.0001)
t = (D2 - D1) / 2
ttext.Text = Format(t, "0.00E+00")
Pertext.Text = Format(Percent, "0.####")
Tstext.Text = Format(Ts2, "####")
End Sub

Private Sub Command2_Click()
MsgBox ("Calcula el porcentaje de calor perdido para un espesor t = 3 cm"),
vbYes, "Calculo espesor del Aislante"
Call datos
Call calculart3
End Sub

```

```
Sub calculart3()  
For Percent = 0.01 To 1 Step 0.0001
```

```
Qper = Percent / 100 * Qced  
Ts1 = Tcm  
Ts2 = (Tcm + Tamb) / 2
```

```
Do  
D2 = D1 * Exp(2 * pi * Kais * L / Qper * (Tcm - Ts2))  
Tf = (Ts2 + Tamb) / 2  
betha = 1 / Tf  
' formula  
miu = VISCOSIDAD(Tf)  
alfa = tensup(Tf)  
Ra = g * betha * (Ts2 - Tamb) * D2 ^ 3 / miu / alfa  
Pr = Prandtl(Tf)  
Nu = (0.6 + 0.387 * Ra ^ 0.166666666666667 / (1 + (0.559) ^ 0.5625) ^ (8 / 27)) ^  
2  
K = conductermica(Tf)  
h = K / D2 * Nu  
'Comprobación de Ts2
```

```
Ts2n = Qper / (h * pi * D2 * L) + Tamb  
error = Abs(Ts2n - Ts2)  
Ts2 = Ts2n  
Loop Until (error < 0.001)  
t = (D2 - D1) / 2  
ttext.Text = Format(t, "0.0000E+00")  
Pertext.Text = Format(Percent, "0.00000")
```

```
If (t - 0.03) <= 0.00001 Then
```

```
Tstext.Text = Format(Ts2, "0.000")
```

```
Exit For  
End If
```

```
Next Percent
```

```
End Sub
```

```
Private Sub Form_Load()  
Me.Top = (Screen.Height - Me.Height) / 2  
Me.Left = (Screen.Width - Me.Width) / 2  
Call ExplodeForm(Me, 500)  
End Sub
```

```
Private Sub Form_Unload(Cancel As Integer)  
Call ImplodeForm(Me, 2, 500, 1)
```

```
End  
End Sub
```

```
Private Sub mnuBack_Click()  
Form1.Visible = 1  
Form2.Visible = 0  
End Sub
```

```
Private Sub mnuexit_Click()  
Call ImplodeForm(Me, 2, 500, 1)  
End  
End Sub
```

```

Attribute VB_Name = "Módulo1"
Option Explicit
Public Const pi = 3.14159265358979
#If Win16 Then
Type RECT
    Left As Integer
    Top As Integer
    Right As Integer
    Bottom As Integer
End Type
#Else
Type RECT
    Left As Long
    Top As Long
    Right As Long
    Bottom As Long
End Type
#End If
'User and GDI Functions for Explode/Implode to work
#If Win16 Then
Declare Sub GetWindowRect Lib "User" (ByVal hwnd As Integer, lpRect As RECT)
Declare Function GetDC Lib "User" (ByVal hwnd As Integer) As Integer
Declare Function ReleaseDC Lib "User" (ByVal hwnd As Integer, ByVal hdc As Integer) As Integer
Declare Sub SetBkColor Lib "GDI" (ByVal hdc As Integer, ByVal crColor As Long)
Declare Sub Rectangle Lib "GDI" (ByVal hdc As Integer, ByVal X1 As Integer, ByVal Y1 As Integer, ByVal X2 As Integer, ByVal Y2 As Integer)
Declare Function CreateSolidBrush Lib "GDI" (ByVal crColor As Long) As Integer
Declare Function SelectObject Lib "GDI" (ByVal hdc As Integer, ByVal hObject As Integer) As Integer
Declare Sub DeleteObject Lib "GDI" (ByVal hObject As Integer)
#Else
Declare Function GetWindowRect Lib "user32" (ByVal hwnd As Long, lpRect As RECT) As Long
Declare Function GetDC Lib "user32" (ByVal hwnd As Long) As Long
Declare Function ReleaseDC Lib "user32" (ByVal hwnd As Long, ByVal hdc As Long) As Long
Declare Function SetBkColor Lib "gdi32" (ByVal hdc As Long, ByVal crColor As Long) As Long
Declare Function Rectangle Lib "gdi32" (ByVal hdc As Long, ByVal X1 As Long, ByVal Y1 As Long, ByVal X2 As Long, ByVal Y2 As Long) As Long
Declare Function CreateSolidBrush Lib "gdi32" (ByVal crColor As Long) As Long
Declare Function SelectObject Lib "user32" (ByVal hdc As Long, ByVal hObject As Long) As Long
Declare Function DeleteObject Lib "gdi32" (ByVal hObject As Long) As Long

```

Function VISCOSIDAD(t#) As Double

VISCOSIDAD = $-0.030249611 + 31.3337457285 / t - 10913.6586279 / t^2 + 1293907.39136 / t^3$

End Function

Function conductermica(t#) As Double

conductermica = $-0.8147178572 + 1497.47684324 / t - 473300.641259 / t^2 + 45774880.9553 / t^3$

End Function

Function coefexptermica(t#) As Double

coefexptermica = $-0.0059830004 + 7.1214976125 / t - 849.928148954 / t^2 - 1210527.78024 / t^3 + 462708640.606 / t^4 - 49391547169.8 / t^5$

End Function

Function tensup(t#) As Double

tensup = $0.1683344878 - 137.780386425 / t + 51837.5049489 / t^2 - 5757384.97544 / t^3$

End Function

Function Prandtl(t#) As Double

Prandtl = $169.949440978 - 316875.972145 / t + 203652507.655 / t^2 - 55530368702.4 / t^3 + 5556629735670\# / t^4$

End Function

Function presion(t#) As Double

presion = $\text{Exp}(-58.5989546957 + 0.368403523 * t - 0.0008102094 * t^2 + 0.0000006538 * t^3)$

End Function

Function Vesp(t#) As Double

Vesp = $0.0009275574 + 0.2868640279 / t - 143.358029085 / t^2 + 19235.4263793 / t^3$

End Function

Function caloresp(t#) As Double

caloresp = $\text{Log}(611.533258617 - 4.9920884733 * t + 0.0151347285 * t^2 - 0.0000152125 * t^3)$

End Function

```

#End If
Sub ExplodeForm(f As Form, Movement As Integer)
  Dim myRect As RECT
  Dim formWidth%, formHeight%, i%, X%, Y%, Cx%, Cy%
  Dim TheScreen As Long
  Dim Brush As Long

  GetWindowRect f.hwnd, myRect
  formWidth = (myRect.Right - myRect.Left)
  formHeight = myRect.Bottom - myRect.Top
  TheScreen = GetDC(0)
  Brush = CreateSolidBrush(f.BackColor)

  For i = 1 To Movement
    Cx = formWidth * (i / Movement)
    Cy = formHeight * (i / Movement)
    X = myRect.Left + (formWidth - Cx) / 2
    Y = myRect.Top + (formHeight - Cy) / 2
    Rectangle TheScreen, X, Y, X + Cx, Y + Cy
  Next i

  X = ReleaseDC(0, TheScreen)
  DeleteObject (Brush)

End Sub
Public Sub ImplodeForm(f As Form, Direction As Integer, Movement As Integer,
ModalState As Integer)
  Dim myRect As RECT
  Dim formWidth%, formHeight%, i%, X%, Y%, Cx%, Cy%
  Dim TheScreen As Long
  Dim Brush As Long

  GetWindowRect f.hwnd, myRect
  formWidth = (myRect.Right - myRect.Left)
  formHeight = myRect.Bottom - myRect.Top
  TheScreen = GetDC(0)
  Brush = CreateSolidBrush(f.BackColor)

  For i = Movement To 1 Step -1
    Cx = formWidth * (i / Movement)
    Cy = formHeight * (i / Movement)
    X = myRect.Left + (formWidth - Cx) / 2
    Y = myRect.Top + (formHeight - Cy) / 2
    Rectangle TheScreen, X, Y, X + Cx, Y + Cy
  Next i

  X = ReleaseDC(0, TheScreen)
  DeleteObject (Brush)
End Sub

```

SIMULACION DEL INTERCAMBIADOR DE CALOR

DATOS PRUEBA 1

$T_{hi} (\text{°C}) = 60.5$
 $T_{ci} (\text{°C}) = 60.5$
 $Q_h (\text{GPM}) = 0.3$
 $Q_c (\text{GPM}) = 0.2$

RESULTADOS PRUEBA 1

$T_{h,o} = 314.3$
 $T_{c,o} = 316.9$
 $DT_{ml} = 15.42$
 $h_i = 167.96$
 $h_o = 185.06$
 $U_o = 66.16$
 $q = 1581.36$
 $d_{pi} = 179.3$
 $d_{po} = 230.5$

DATOS PRUEBA 2

$T_{hi} (\text{°C}) = 59$
 $T_{ci} (\text{°C}) = 15$
 $Q_h (\text{GPM}) = 0.3$
 $Q_c (\text{GPM}) = 0.2$

RESULTADOS PRUEBA 2

$T_{h,o} = 307.16$
 $T_{c,o} = 306.74$
 $DT_{ml} = 17.91$
 $h_i = 168.99$
 $h_o = 256.59$
 $U_o = 73.72$
 $q = 2046.3$
 $d_{pi} = 199.04$
 $d_{po} = 29.04$

DATOS PRUEBA 3

$T_{hi} (\text{°C}) = 58.5$
 $T_{ci} (\text{°C}) = 14$
 $Q_h (\text{GPM}) = 0.3$
 $Q_c (\text{GPM}) = 0.5$

RESULTADOS PRUEBA 3

$T_{h,o} = 304.64$
 $T_{c,o} = 303.21$
 $DT_{ml} = 18.77$
 $h_i = 169.83$

$h_o = 284.23$
 $U_o = 76.03$
 $q = 2212.3$
 $d_{pi} = 204.32$
 $d_{po} = 33.6$

DATOS PRUEBA 4

$T_{hi} (^\circ\text{C}) = 58$
 $T_{ci} (^\circ\text{C}) = 14$
 $Q_h (\text{GPM}) = 0.3$
 $Q_c (\text{GPM}) = 0.6$

RESULTADOS PRUEBA 4

$T_{h,o} = 303.1935$
 $T_{c,o} = 301.00$
 $DT_{mi} = 19.00$
 $h_i = 169.98$
 $h_o = 309.68$
 $U_o = 77.78$
 $q = 2233.25$
 $d_{pi} = 208.38$
 $d_{po} = 39.24$

CALCULO DEL ESPESOR

% DE CLOR PERDIDO 0.1294

$t = 3\text{cm}$

DATOS PRUEBA 5

$T_{hi} (^\circ\text{C}) = 57.8$
 $T_{ci} (^\circ\text{C}) = 14$
 $Q_h (\text{GPM}) = 0.25$
 $Q_c (\text{GPM}) = 0.6$

RESULTADOS PRUEBA

$T_{h,o} = 300.77$
 $T_{c,o} = 299.61$
 $DT_{mi} = 17.73$
 $h_i = 159.27$
 $h_o = 307.88$
 $U_o = 74.99$
 $q = 2061.4$
 $d_{pi} = 142.10$
 $d_{po} = 32.75$

DATOS PRUEBA 6

$T_{hi} (^\circ\text{C}) = 57.5$
 $T_{ci} (^\circ\text{C}) = 14$
 $Q_h (\text{GPM}) = 0.2$

$$Q_c \text{ (GPM)} = 0.6$$

RESULTADOS PRUEBA 6

$$T_{h,o} = 298.00$$

$$T_{c,o} = 297.94$$

$$DT_{ml} = 16.07$$

$$h_i = 147.09$$

$$h_o = 305.69$$

$$U_o = 71.62$$

$$q = 1785.09$$

$$d_{pi} = 85.59$$

$$d_{po} = 27.44$$

ANEXO G

PROPIEDADES TERMOFISICAS

Apéndice A ■ Propiedades termofísicas de la materia

TABLA A.4 Propiedades termofísicas de gases a presión atmosférica^a

T (K)	ρ (kg/m ³)	c_p (kJ/kg · K)	$\mu \cdot 10^7$ (N · s/m ²)	$\nu \cdot 10^6$ (m ² /s)	$k \cdot 10^3$ (W/m · K)	$\alpha \cdot 10^6$ (m ² /s)	Pr
Aire							
100	3.5562	1.032	71.1	2.00	9.34	2.54	0.786
150	2.3364	1.012	103.4	4.426	13.8	5.84	0.758
200	1.7458	1.007	132.5	7.590	18.1	10.3	0.737
250	1.3947	1.006	159.6	11.44	22.3	15.9	0.720
300	1.1614	1.007	184.6	15.89	26.3	22.5	0.707
350	0.9950	1.009	208.2	20.92	30.0	29.9	0.700
400	0.8711	1.014	230.1	26.41	33.8	38.3	0.690
450	0.7740	1.021	250.7	32.39	37.3	47.2	0.686
500	0.6964	1.030	270.1	38.79	40.7	56.7	0.684
550	0.6329	1.040	288.4	45.57	43.9	66.7	0.683
600	0.5804	1.051	305.8	52.69	46.9	76.9	0.685
650	0.5356	1.063	322.5	60.21	49.7	87.3	0.690
700	0.4975	1.075	338.8	68.10	52.4	98.0	0.695
750	0.4643	1.087	354.6	76.37	54.9	109	0.702
800	0.4354	1.099	369.8	84.93	57.3	120	0.709
850	0.4097	1.110	384.3	93.80	59.6	131	0.716
900	0.3868	1.121	398.1	102.9	62.0	143	0.720
950	0.3666	1.131	411.3	112.2	64.3	155	0.723
1000	0.3482	1.141	424.4	121.9	66.7	168	0.726
1100	0.3166	1.159	449.0	141.8	71.5	195	0.728
1200	0.2902	1.175	473.0	162.9	76.3	224	0.728
1300	0.2679	1.189	496.0	185.1	82	238	0.719
1400	0.2488	1.207	530	213	91	303	0.703
1500	0.2322	1.230	557	240	100	350	0.685
1600	0.2177	1.248	584	268	106	390	0.688
1700	0.2049	1.267	611	298	113	435	0.685
1800	0.1935	1.286	637	329	120	482	0.683
1900	0.1833	1.307	663	362	128	534	0.677
2000	0.1741	1.337	689	396	137	589	0.672
2100	0.1658	1.372	715	431	147	646	0.667
2200	0.1582	1.417	740	468	160	714	0.655
2300	0.1513	1.478	766	506	175	783	0.647
2400	0.1448	1.558	792	547	196	869	0.630
2500	0.1389	1.665	818	589	222	960	0.613
3000	0.1135	2.726	955	841	486	1570	0.536
Amoniaco (NH₃)							
300	0.6894	2.158	101.5	14.7	24.7	16.6	0.887
320	0.6448	2.170	109	16.9	27.2	19.4	0.870
340	0.6059	2.192	116.5	19.2	29.3	22.1	0.872
360	0.5716	2.221	124	21.7	31.6	24.9	0.872
380	0.5410	2.254	131	24.2	34.0	27.9	0.869

Apéndice A ■ Propiedades termofísicas de la materia

TABLA A.6 Propiedades termofísicas de agua saturada^a

Temperatura, T (K)	Presión P (bars) ^b	Volumen específico (m ³ /kg)		Entalpía de vaporización h_{fg} (kJ/kg)	Calor específico (kJ/kg · K)		Viscosidad (N · s/m ²)		Conductividad térmica (W/m · K)		Número de Prandtl		Tensión superficial $\alpha_f \cdot 10^3$ (N/m)	Coeficiente de expansión $\beta_f \cdot 10^6$ (K ⁻¹)	Temperatura T (K)
		$v_f \cdot 10^3$	v_g		$c_{p,f}$	$c_{p,g}$	$\mu_f \cdot 10^6$	$\mu_g \cdot 10^6$	$k_f \cdot 10^3$	$k_g \cdot 10^3$	Pr_f	Pr_g			
273.15	0.00611	1.000	206.3	2502	4.217	1.854	1750	8.02	569	18.2	12.99	0.815	75.5	-68.05	273.15
275	0.00697	1.000	181.7	2497	4.211	1.855	1652	8.09	574	18.3	12.22	0.817	75.3	-32.74	275
280	0.00990	1.000	130.4	2485	4.198	1.858	1422	8.29	582	18.6	10.26	0.825	74.8	46.04	280
285	0.01387	1.000	99.4	2473	4.189	1.861	1225	8.49	590	18.9	8.81	0.833	74.3	114.1	285
290	0.01917	1.001	69.7	2461	4.184	1.864	1080	8.69	598	19.3	7.56	0.841	73.7	174.0	290
295	0.02617	1.002	51.94	2449	4.181	1.868	959	8.89	606	19.5	6.62	0.849	72.7	227.5	295
300	0.03531	1.003	39.13	2438	4.179	1.872	855	9.09	613	19.6	5.83	0.857	71.7	276.1	300
305	0.04712	1.005	29.74	2426	4.178	1.877	769	9.29	620	20.1	5.20	0.865	70.9	320.6	305
310	0.06221	1.007	22.93	2414	4.178	1.882	695	9.49	628	20.4	4.62	0.873	70.0	361.9	310
315	0.08132	1.009	17.82	2402	4.179	1.888	631	9.69	634	20.7	4.16	0.883	69.2	400.4	315
320	0.1053	1.011	13.98	2390	4.180	1.895	577	9.89	640	21.0	3.77	0.894	68.3	436.7	320
325	0.1351	1.013	11.06	2378	4.182	1.903	528	10.09	645	21.3	3.42	0.901	67.5	471.2	325
330	0.1719	1.016	8.82	2366	4.184	1.911	489	10.29	650	21.7	3.15	0.908	66.6	504.0	330
335	0.2167	1.018	7.09	2354	4.186	1.920	453	10.49	656	22.0	2.88	0.916	65.8	535.5	335
340	0.2713	1.021	5.74	2342	4.188	1.930	420	10.69	660	22.3	2.66	0.925	64.9	566.0	340
345	0.3372	1.024	4.683	2329	4.191	1.941	389	10.89	668	22.6	2.45	0.933	64.1	595.4	345
350	0.4163	1.027	3.846	2317	4.195	1.954	365	11.09	668	23.0	2.29	0.942	63.2	624.2	350
355	0.5100	1.030	3.180	2304	4.199	1.968	343	11.29	671	23.3	2.14	0.951	62.3	652.3	355
360	0.6209	1.034	2.645	2291	4.203	1.983	324	11.49	674	23.7	2.02	0.960	61.4	697.9	360
365	0.7514	1.038	2.212	2278	4.209	1.999	306	11.69	677	24.1	1.91	0.969	60.5	707.1	365
370	0.9040	1.041	1.861	2265	4.214	2.017	289	11.89	679	24.5	1.80	0.978	59.5	728.7	370
373.15	1.0133	1.044	1.679	2257	4.217	2.029	279	12.02	680	24.8	1.76	0.984	58.9	750.1	373.15
375	1.0815	1.045	1.574	2252	4.220	2.036	274	12.09	681	24.9	1.70	0.987	58.6	761	375
380	1.2869	1.049	1.337	2239	4.226	2.057	260	12.29	683	25.4	1.61	0.999	57.6	788	380
385	1.5233	1.053	1.142	2225	4.232	2.080	248	12.49	685	25.8	1.53	1.004	56.6	814	385

ANEXO H

GUIA PRACTICA

GUIA PRACTICA

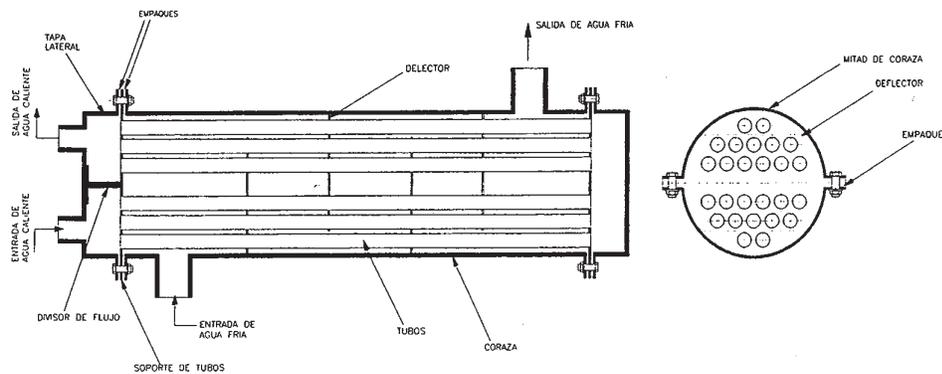
TEMA: INTERCAMBIADOR DE CALOR DE CORAZA Y TUBOS FLUJO 1-2 AGUA/AGUA.

OBJETIVO :

Determinación del coeficiente global de transferencia de calor U_o para el intercambiador de calor de coraza y tubos flujo 1-2 A/A.

TEORIA:

Los intercambiadores de calor de coraza y tubos pueden tener grandes dimensiones, así como un sin número de tubos dentro de la coraza. Las formas específicas difieren de acuerdo con el número de pasos en los tubos y coraza. Comúnmente a este tipo de intercambiador se incorpora deflectores, con el fin de incrementar el coeficiente de convección del fluido del lado de la coraza.



Intercambiador de calor tipo coraza y tubos flujo 1-2. A/A

En la figura se observa un esquema del intercambiador de calor de coraza y tubos flujo 1-2. También se puede ver el sentido del flujo de las corrientes. El agua fría fluye cruzando el banco de tubos al tiempo que se

desplaza en sentido paralelo al primer paso y en sentido contrario (contraflujo) con respecto al segundo paso de agua caliente.

EQUIPO:

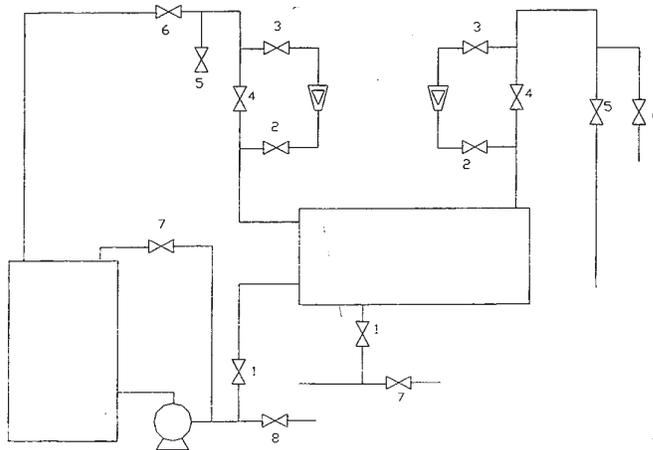
- Intercambiador de calor de coraza y tubos Flujo 1-2 A/A.
- Tanque de calentamiento de agua.
- Bomba eléctrica.
- Control de temperatura.
- Rotámetros.
- Medidor manual de caudal.
- Termómetros de vidrio.
- Termocupla.
- Medidor de temperatura.

PROCEDIMIENTO:

La práctica se realizará con los siguientes caudales:

$$Q_h = 0.3 \text{ GPM}$$

$$Q_c = 0.4/0.5/0.6 \text{ GPM}$$



Esquema del Sistema

1. Examinar que las válvulas que cierran el paso de los fluidos a los otros sistemas estén en posición cerrada (válvula 8 en la línea de agua caliente y V7 en la línea de agua fría), así como todas las válvulas del sistema.
2. Accionar el sistema para calentar el agua del tanque hasta una temperatura próxima a 60°C (Ver la señal marcada en el selector) , la que se mantendrá constante durante toda la práctica, mediante el contactor de temperatura (véase 4.2.1.1).
3. Abrir las válvulas 4 y 5 en la línea de agua caliente, así como 4 y 6 en la línea de agua fría, con la finalidad de sacar el aire del sistema.
4. Abrir un poco la válvula de entrada de agua fría (V1).
5. Cerrar las válvulas 1,4,6 de la línea fría.
6. Abrir ligeramente la válvula de entrada de agua caliente (V1). En este punto ambos lados del intercambiador están llenos de líquido.
7. Verificar la temperatura en el tanque mediante la termocupla.
8. Colocar el tapón hembra del tanque.
9. Con la V1 cerrada y V7 completamente abierta, encender la bomba y hacer circular el agua caliente.
10. Apagar la bomba y cerrar V7.
11. Según se use los rotámetros o se mida manualmente el caudal, se manipulan las válvulas correspondientes (2,3,4). En este caso se va a usar los rotámetros, entonces las válvulas de ambas líneas deberán estar siempre cerradas, así como las válvulas V6 de la línea fría y V5 de la línea caliente.
12. Abrir completamente las válvulas 3 y 5 de salida de agua fría.
13. Abrir ligeramente la V2 de la línea fría.
14. Abrir completamente la V1 de la línea fría.
15. Los pasos 12,13,14 deberán realizarse casi simultáneamente.
16. Manipular la válvula 2 hasta que en el rotámetro se vea el flujo deseado.
17. Abrir completamente las válvulas 3 y 6 de la línea caliente.
18. Abrir hasta aproximadamente la mitad la válvula 7 de la línea caliente
19. Abrir ligeramente la V2 de la línea caliente.
20. Encender la bomba y abrir lentamente la V1.

21. Así mismo los pasos 17,18,19,20 deberán ser hechos casi simultáneamente.
22. Manipular lentamente las válvulas (2,7,1) hasta que en el rotámetro este la lectura deseada.
23. Tomar lecturas de las temperaturas a la entrada y salida tanto del agua fría como caliente, cada 2 minutos hasta llegar al estado estable.
24. Con la termocupla tomar lecturas a lo largo del intercambiador, para evaluar la temperatura (T_s) de la superficie exterior del aislante.
25. Así mismo con la termocupla, tomar la lectura de la temperatura T_∞ del aire.
26. Terminadas las pruebas, desconectar las resistencias eléctricas y la bomba.
Cerrar las válvulas 1 que permiten la entrada de los fluidos al sistema.

Funcionamiento del control de temperatura

Para poner a trabajar el tanque de agua en uno de los dos modos se debe proceder así:

Modo manual: Interruptor izquierdo "Manual" cerrado y el interruptor derecho "Automático" abierto. Para apagar las resistencias se deben abrir los dos interruptores.

Modo automático: Interruptor izquierdo "Manual" abierto y el interruptor derecho "Automático" cerrado. En estas condiciones se debe poner en la perilla del relé térmico la temperatura deseada (para esto se debe abrir el gabinete del controlador), y luego se debe girar la llave para encender el equipo. El controlador de temperatura se encargará de mantener la temperatura en un valor cercano al valor deseado. Es importante indicar que en este modo de funcionamiento la bomba de agua debe estar en funcionamiento para que el líquido esté en movimiento y de esa manera la temperatura del agua dentro del tanque sea lo más homogénea posible.

Para apagar el controlador de temperatura se debe girar al otro lado la llave del panel frontal. Si se desea desconectar el equipo por un período prolongado de tiempo, o para ponerlo a funcionar en modo manual, se debe desconectar el interruptor derecho.

INFORME:

1. Elaborar un cuadro de datos.
2. Realizar el gráfico de temperatura Vs tiempo para el agua caliente y fría, tanto a la entrada como a la salida.
3. Calcular:
 - a) La transferencia de calor q
 - b) El coeficiente de convección del lado de los tubos.
 - c) El coeficiente de convección del lado de la coraza.
 - d) El coeficiente global de transferencia de calor U_o .
 - e) El calor que atraviesa el aislante y pasa al aire.
 - f) Eficiencia del intercambiador.
4. Graficar el coeficiente global experimental en función del flujo de agua fría.
5. Análisis de resultados.
6. Conclusiones y recomendaciones.

ANEXO I

DIAGRAMA ELECTRICO

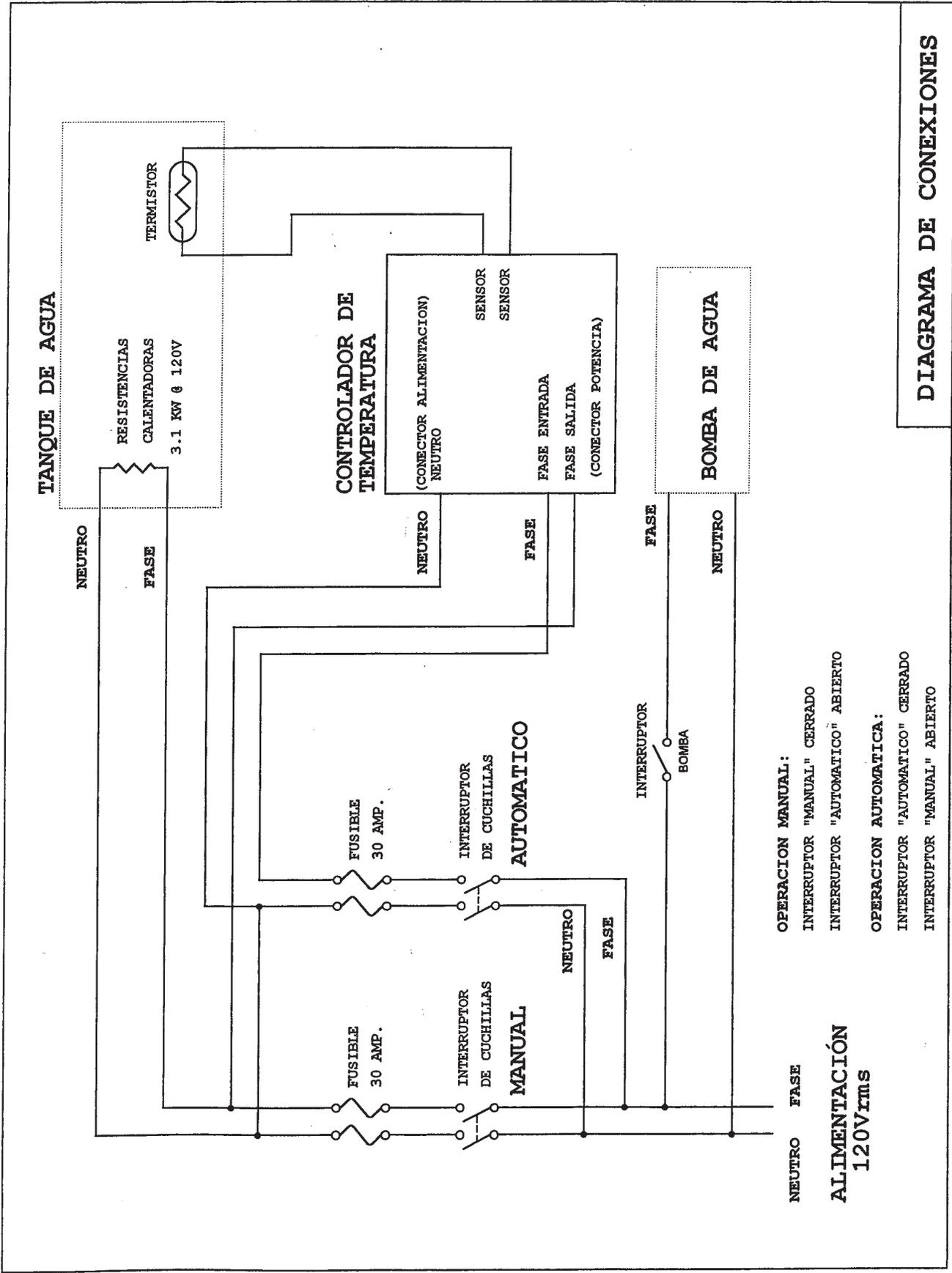


DIAGRAMA DE CONEXIONES

ANEXO J

PLANOS DE CONSTRUCCIÓN Y MONTAJE