

UNIVERSIDAD  
DON BOSCO



**DISEÑO Y CONSTRUCCION DE UN INTERCAMBIADOR  
DE CALOR AGUA-AGUA PARA FLUJO TURBULENTO  
Y LAMINAR CON FINES DE LABORATORIO**

TRABAJO DE GRADUACION  
PREPARADO PARA LA  
FACULTAD DE INGENIERIA  
PARA OPTAR AL GRADO DE  
**INGENIERO MECANICO**

POR  
**SILVIA LISSETTE JIMENEZ REYES  
MARIO ERNESTO NUÑEZ LOPEZ**



OCTUBRE 1995  
SOYAPANGO                      EL SALVADOR                      CENTROAMERICA

UNIVERSIDAD

DON BOSCO

RECTOR

ING. FEDERICO MIGUEL HUGUET RIVERA

SECRETARIO GENERAL

PBRO. LIC. PIERRE MUYSHONDT S.D.B.

DECANO FACULTAD DE INGENIERIA

ING. JOSE MIGUEL HERNANDEZ

ASESOR DE TRABAJO DE GRADUACION

ING. FRANCISCO DELEON TORRES

JURADO EXAMINADOR

ING. OSCAR OSMIN HENRIQUEZ

ING. JORGE LUIS NAVAS MINERO

## **AGRADECIMIENTOS:**

*A DIOS PADRE:*

Por hacerme lo que soy y por hacerme sentir infinitamente amada por Él.

*A JESUS:*

Por haber dado la vida por mí, por amarme tanto y por estar conmigo siempre.

*AL ESPIRITU SANTO:*

Por inspirarme, por amarme, por estar a cada instante de mi vida conmigo.

*A MI MAMI, GLORIA:*

Por darme todo lo que ella es, por su esfuerzo y por su amor incondicional hacia mí.

*A MI PAPI, SALVADOR:*

Por haberme dado la vida y por haberme legado su inteligencia.

*A MI HERMANITO, ERICK SALVADOR:*

Por ser como es, por apoyarme moralmente y por considerarme un ejemplo digno de seguir.

*A JUAN CARLOS:*

Por brindarme toda su ayuda, moral, técnica e incondicional durante toda mi carrera.

*A MARIO:*

Por haber sido un gran compañero y amigo durante toda la realización de este trabajo.

*Silvia Lissette*

**AGRADECIMIENTOS:**

*A DIOS TODOPODEROSO:*

Porque sin Él nada es posible.

*A MIS PADRES:*

Quienes me dieron siempre todo su apoyo.

*A MI COMPAÑERA DE TESIS, SILVIA:*

Por haber sido la compañera ideal.

*Mario Ernesto*

## INDICE

<b>INTRODUCCION .....</b>	<b>V</b>
<b>1. MARCO TEORICO .....</b>	<b>1</b>
<b>1.1 CIRCUITO PRIMARIO.....</b>	<b>1</b>
1.1.1 BOMBA.....	3
1.1.2 MEDIDORES DE FLUJO.....	4
1.1.3 TANQUE RESERVORIO.....	5
<b>1.2 CIRCUITO SECUNDARIO .....</b>	<b>6</b>
1.2.1 CONEXIONES DE ALIMENTACION.....	7
1.2.2 MEDIDOR DE FLUJO.....	8
<b>1.3 INTERCAMBIADOR DE CALOR.....</b>	<b>8</b>
1.3.1 INTERCAMBIADOR DE CALOR A DISEÑAR.....	9
<b>2. TRANSFERENCIA DE CALOR.....</b>	<b>11</b>
<b>2.1 TIPOS DE TRANSFERENCIA DE CALOR.....</b>	<b>11</b>
2.1.1 CONDUCCION.....	11
2.1.2 CONVECCION.....	16
<b>2.2 INTERCAMBIADOR DE CALOR.....</b>	<b>18</b>
2.2.1 CLASIFICACIÓN DE LOS INTERCAMBIADORES DE CALOR.....	18
<b>2.3 VARIABLES DINAMICAS PARA LA TRANSMISION DEL CALOR (PARAMETROS DE DISEÑO)</b>	<b>20</b>
2.3.1 COEFICIENTE DE TRANSFERENCIA DE CALOR TOTAL $U$ .....	20
2.3.2 FLUJO LAMINAR EN TUBOS A TEMPERATURA DE PARED CONSTANTE.....	22
2.3.2.1 Intercambiador de Calor de flujo encontrado (contracorriente).....	24
2.3.3 COEFICIENTE CONVECTIVO DE TRANSFERENCIA DE CALOR.....	25
2.3.4 EL NUMERO DE NUSSELT.....	25
<b>2.4 TRANSFERENCIA DE CALOR PARA FLUJO LAMINAR EN TUBOS CIRCULARES.....</b>	<b>27</b>
<b>2.5 ANALISIS DE FLUJO DE FLUIDOS PARA UN INTERCAMBIADOR DE CALOR.....</b>	<b>30</b>
2.5.1 ANALISIS DE FLUIDOS.....	30
2.5.2 CONCEPTOS.....	30
2.5.2.1 FLUIDO.....	30

2.5.2.2 PROPIEDADES DE LOS FLUIDOS.....	31
<b>2.6 ANTECEDENTES DE FLUJO DE FLUIDOS PARA TRANSFERENCIA DE CALOR POR CONVECCION.....</b>	<b>34</b>
2.6.1 FLUJO LAMINAR Y TURBULENTO.....	35
2.6.2 FLUJO DENTRO DE TUBOS CIRCULARES.....	37
2.6.2.1 FLUJO LAMINAR EN TUBOS.....	38
2.6.2.2 FLUJO TURBULENTO EN TUBOS.....	39
<b>2.7 PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA.....</b>	<b>40</b>
2.7.1 PARÁMETROS RELACIONADOS A LA EFICIENCIA DE TRANSFERENCIA DE CALOR.....	41
2.7.1.1 EFECTIVIDAD DE TRANSFERENCIA DE CALOR E.....	42
2.7.1.2 NÚMERO DE UNIDADES DE TRANSFERENCIA.....	42
2.7.1.3 RAZÓN DE CAPACIDAD.....	42
2.7.1.4 TEMPERATURA MEDIA LOGARÍTMICA.....	44
2.7.2 EFECTOS QUE INFLUYEN EN EL DESEMPEÑO DE LOS INTERCAMBIADORES DE CALOR.....	45
2.7.2.1 EFECTO DE LA CONDUCCIÓN LONGITUDINAL EN INTERCAMBIADORES DE CALOR.....	46
2.7.2.2 EFECTO DE PROPIEDADES DE FLUIDO DEPENDIENTES DE LA TEMPERATURA.....	46
2.7.2.3 RESPUESTA TRANSITORIA DE LOS INTERCAMBIADORES DE CALOR.....	47
2.7.3 CÁLCULO DE CAÍDAS DE PRESIÓN.....	47
2.7.4 RESTRICCIONES DE DISEÑO.....	48
2.7.5 SELECCIÓN DE MATERIAL PARA LOS TUBOS.....	49
2.7.6 DESARROLLO DE CÁLCULO DE DIMENSIONES.....	49
2.7.6.1 CÁLCULO DE DIMENSIONES DE TUBO INTERIOR.....	50
2.7.6.2 CÁLCULO DE DIMENSIONES DE TUBO EXTERIOR.....	50
2.7.6.3 CÁLCULO DEL COEFICIENTE GLOBAL DE TRANSFERENCIA DE CALOR.....	54
2.7.7 DESCRIPCIÓN DE TANQUE PARA EL AGUA Y ARREGLOS DE TUBOS.....	55
2.7.7.1 TANQUE PRINCIPAL.....	55
2.7.7.2 ARREGLO DE TUBERÍAS Y CIRCUITO DEL INTERCAMBIADOR.....	56
2.7.7.3 ARREGLO DE TUBOS PARA FLUJO DE AGUA.....	57
2.7.8 INSTRUMENTOS DE MEDICIÓN.....	60
2.7.8.1 ELEMENTOS PARA MEDICIÓN DE LA TEMPERATURA.....	60
<b>2.8 CALCULO DE CAUDAL, PERDIDAS Y POTENCIA DEL EQUIPO.....</b>	<b>73</b>
2.8.1 DIMENSIONES DE TUBERIA DE COBRE.....	73
2.8.2 CAUDAL NECESARIO PARA EL AGUA CALIENTE.....	73
2.8.2.1 CAUDAL.....	73
2.8.2.2 CÁLCULO DE LA COLUMNA DE CARGA.....	74

2.8.2.3 DETALLE DE PERDIDAS EN EL ARREGLO DE TUBERÍA .....	78
2.8.3 POTENCIA NOMINAL DE LA BOMBA .....	79
2.8.4 SELECCION DE LA BOMBA .....	80
<b>2.9 ELEMENTOS DE CONTROL .....</b>	<b>81</b>
2.9.1 VÁLVULA DE CONTROL DE FLUJO DE AGUA CALIENTE .....	81
2.9.1.1 VÁLVULA DE GLOBO .....	81
2.9.2 ROTAMETROS .....	81
2.9.3 CONTROLADOR DE LA TEMPERATURA .....	82
2.9.4 MEDIDOR DE TEMPERATURA .....	83
2.9.5 TANQUE O RESERVORIO .....	83
2.9.6 PANEL DE SOPORTE DEL SISTEMA .....	84
2.9.7 CÁLCULO DE POTENCIA REQUERIDA PARA EL CALENTADOR ELÉCTRICO .....	85
2.9.7.1 CALENTADOR ELÉCTRICO DE INMERSIÓN .....	85
2.9.7.2 CÁLCULO DE CALENTADORES ELÉCTRICOS .....	85
2.9.7.3 CÁLCULO DE POTENCIA REQUERIDA PARA EL CALENTADOR ELÉCTRICO .....	86
<b>2.10 PRESUPUESTO PARA LA CONSTRUCCION DEL EQUIPO .....</b>	<b>88</b>
<b>3. DESCRIPCION DE MONTAJE DEL EQUIPO .....</b>	<b>89</b>
3.1 INTRODUCCION .....	89
3.2 DESCRIPCION DE CONSTRUCCION DEL EQUIPO .....	89
3.3 DEMOSTRACIONES DIDACTICAS REALIZABLES POR EL EQUIPO .....	91
3.3.1 DEMOSTRACIONES PARA TRANSFERENCIA DE CALOR .....	91
3.3.1.1 FUNCIONAMIENTO DE UN INTERCAMBIADOR DE CALOR DE UN SOLO PASO .....	92
3.3.1.2 DEMOSTRACION DE LA LEY DE FOURIER .....	92
3.3.1.3 RELACION ENTRE EL NUMERO DE REYNOLDS Y NUMERO DE NUSSELT .....	93
3.3.1.4 OBTENCION DE LOS COEFICIENTES DE PELICULA Y GLOBAL DE TRANSFERENCIA DE CALOR .....	93
3.3.1.5 BALANCE DE ENERGIA .....	93
3.4 PREPARACION FINAL DEL EQUIPO .....	94
3.5 OPERACION DEL EQUIPO .....	95
<b>4. SUGERENCIAS PARA MEJORIAS AL EQUIPO .....</b>	<b>96</b>
4.1 EL INTERCAMBIADOR UTILIZADO COMO ENFRIADOR .....	96
4.2 INTERCAMBIO DE CALOR ENTRE DOS CIRCUITOS CERRADOS .....	97
4.3 EXPERIMENTACION EN MECÁNICA DE FLUIDOS .....	98

<b>5. INSTRUCCIONES PARA LA OPERACION DEL EQUIPO EXPERIMENTAL DE INTERCAMBIO DE CALOR AGUA-AGUA PARA FLUJO LAMINAR O TURBULENTO (DE ACUERDO A NORMAS ISO 9000).</b> .....	<b>99</b>
<b>6. CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES</b> .....	<b>113</b>
6.1 CONCLUSIONES.....	113
6.2 RECOMENDACIONES .....	115
<b>7. BIBLIOGRAFIA</b> .....	<b>117</b>
<b>8. ANEXOS</b> .....	<b>119</b>

## INTRODUCCION

El objetivo del equipo propuesto es estudiar experimentalmente los fenómenos de intercambio de calor entre dos flujos. Para esto, se requiere de un elemento que permita la transmisión de calor entre dos fluidos circulando a través de éste así como de los elementos necesarios para monitorear todos los parámetros de interés en el estudio de la transferencia de calor.

El elemento principal del equipo lo constituye un intercambiador de calor de tipo cerrado, sin mezcla de fluidos, que permita la circulación de los fluidos en dos circuitos independientes, tanto en una misma dirección de flujo (con-corriente) como en direcciones de flujo opuestas (contra-corriente). No se ha considerado el intercambio de calor en mezcla de flujos, ya que estos requerirían de intercambiadores de calor diferentes y, para fines didácticos, el empleo de un único intercambiador de calor de flujos unidireccionales resulta más simple, conveniente y práctico.

Puesto que a través del intercambiador de calor circularán dos fluidos sin mezclarse entre sí, puede considerarse que el sistema consta de dos circuitos de flujo, siendo ambos circuitos independientes el uno del otro, y por lo tanto, controlables y monitoreables por separado.

Por lo tanto, pueden describirse por separado ambos circuitos, enumerando los componentes de cada uno, con su finalidad y una breve descripción de su funcionamiento. Sin embargo, es conveniente analizar el intercambiador de calor como un elemento separado, ya que éste es el único elemento en el cual se relacionan ambos fluidos, por lo que pertenece a ambos circuitos a la vez.

# 1. MARCO TEORICO

## 1.1 CIRCUITO PRIMARIO

El fluido de control, es decir, el fluido cuyo comportamiento se estudiará, circulará en un circuito primario o de control. Puesto que este fluido se desea que tenga parámetros y condiciones de flujo determinados, que puedan establecerse según se desee para un experimento dado y que puedan mantenerse a lo largo del tiempo dentro de un rango utilizable, se necesita que este circuito de control sea cerrado e inherente al equipo, y no que provenga de una fuente externa cuyas condiciones no puedan ser controladas eficientemente. Por lo tanto, el circuito primario del equipo deberá tener los elementos necesarios para generar un flujo hidráulico y mantenerlo circulando, a la vez que pueda proporcionar a este flujo las condiciones deseadas para un estudio experimental determinado.

Para esto, el circuito primario consta de los siguientes elementos principales: (figura A)

1. Bomba, la cual impulsa el líquido de trabajo por el circuito primario.
2. Medidor de flujo para caudal elevado.
3. Medidor de flujo para caudal reducido.
4. Tanque reservorio, que sirve además para llenar el circuito de agua y para calentar el agua.
5. Intercambiador de calor, el cual pertenece también al circuito secundario.

Además, en el circuito primario deberán existir algunos elementos auxiliares como termómetros o un monitor de temperatura para el calentador de agua, controladores de las resistencias de calentamiento de éste, válvulas reguladoras de flujo, y, por supuesto, las tuberías o conductos dentro de los cuales circulará el líquido.

A continuación se describen los principios de funcionamiento, así como algunas generalidades sobre cada elemento. Sin embargo, las características específicas de cada uno de ellos, requieren de un análisis mas detallado que el que se pretende en éste capítulo introductorio, por lo que se dejará la descripción detallada de todos los elementos para más adelante.

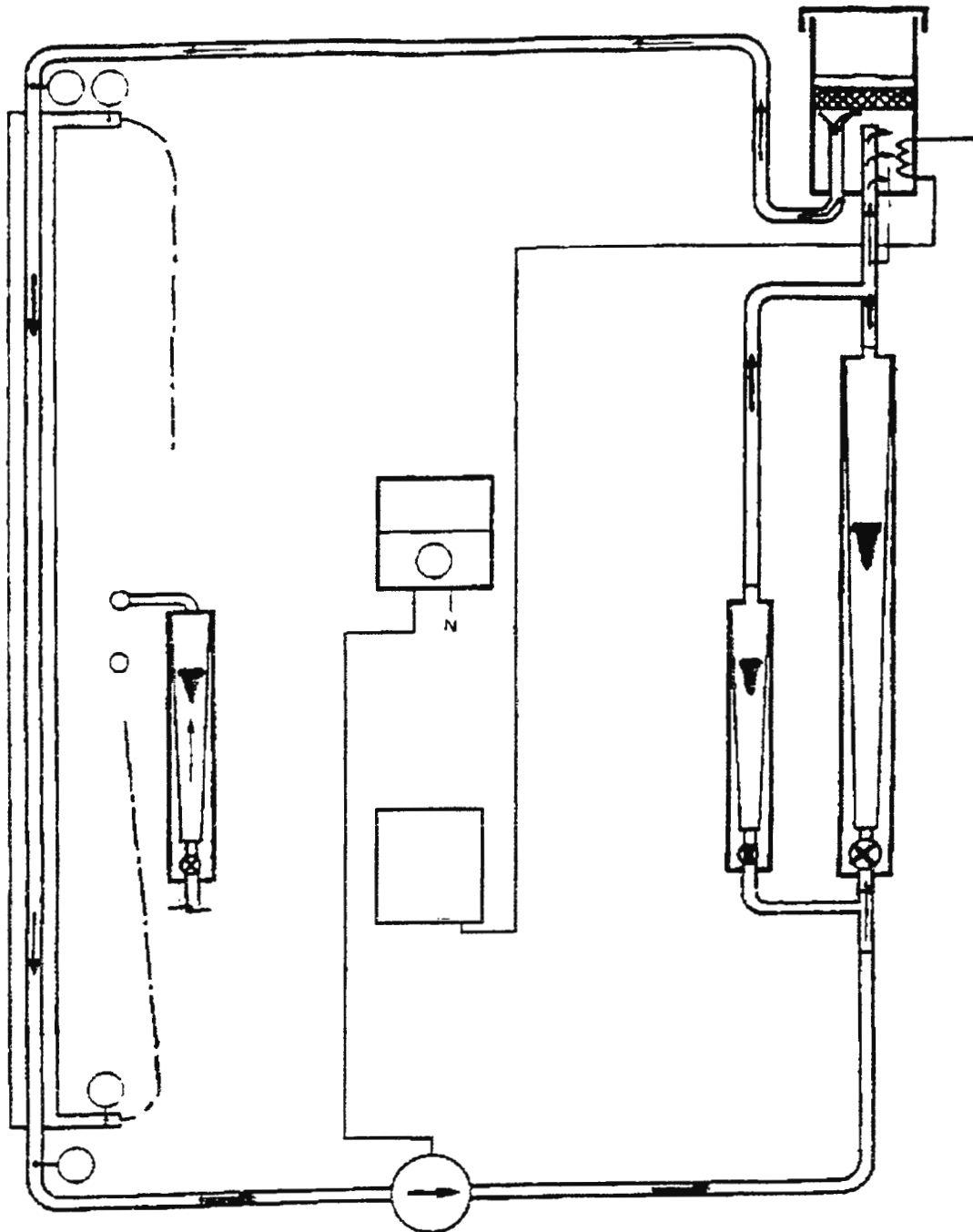


Figura A. Circuito primario y secundario del equipo a diseñar

### 1.1.1 BOMBA.

Puede considerarse que el punto de partida del flujo es una bomba hidráulica. Esta tiene la función de impulsar el fluido de trabajo, para hacerlo circular a lo largo del circuito primario.

En términos generales, una bomba puede describirse como un mecanismo capaz de proporcionar energía mecánica a un fluido hidráulico, logrando de esta manera un desplazamiento de este fluido, por medio de un incremento en la presión a la que éste está sometido.

El mecanismo por medio del cual una bomba puede impulsar un líquido se basa en una diferencia de presión. Un fluido tratará siempre de fluir de un ambiente de mayor presión, hacia uno de menor presión. La bomba lo que hace es precisamente reducir la presión en uno de sus lados, llamado lado de succión o de vacío, hasta un valor menor que la presión hidrostática a la que está sometida el fluido; e incrementar la presión ejercida sobre el fluido a un valor mayor que la presión hidrostática de éste, expulsando el fluido por el lado de salida de la bomba, llamado lado de descarga o de presión.

Este diferencial de presión mantenido por la bomba hace que el fluido tienda a circular desde el lado de succión hacia el lado de descarga. La velocidad y el caudal del fluido impulsado depende de la diferencia de presión mantenida por la bomba, de la capacidad volumétrica de ésta y de las dimensiones de los orificios de entrada y salida de fluido. Estos parámetros, a su vez, dependen del tipo y construcción de cada bomba.

Existen diversos tipos de bombas, con diversas características, construcciones y funcionamientos, para diversas aplicaciones. El tipo de bomba a utilizar en una aplicación específica depende de varios factores, siendo los principales:

- a) El caudal que se requiere bombear
- b) La presión que se manejará
- c) la viscosidad del fluido a bombear
- d) La densidad del fluido

e) Otras características del fluido que pueden influir en el funcionamiento de la bomba, como la composición química, presión y temperatura de ebullición, etc.

Para este caso, el fluido a bombear es agua a temperatura relativamente elevada, pero inferior a la temperatura de ebullición de ésta, aproximadamente 70° a 80 °C. En cambio, la presión que deberá manejar la bomba es moderada, ya que no se requiere de presiones altas en el sistema. Bastará con la presión necesaria para mantener el flujo circulando. El caudal requerido es también pequeño, solo el suficiente para lograr velocidades altas en el líquido con el objeto de tener regímenes de flujo turbulento.

Por lo tanto, podrá utilizarse una bomba sencilla, por ejemplo de tipo centrífuga, de propela, de lóbulos, de engranes, etc. La selección de la bomba se detallará en un capítulo posterior.

### 1.1.2 MEDIDORES DE FLUJO.

Los medidores de flujo o de caudal son instrumentos que permiten medir la variación del volumen de un fluido en un tiempo determinado. El caudal se define precisamente como ésta variación de volumen en el tiempo.

Existen varias maneras de medir caudales. Los principios físicos de la Hidráulica en los cuales se basa la medición de caudales se estudiarán mas adelante, pero pueden clasificarse los métodos de medición de caudales en los siguientes:

- a) Métodos directos de medición de cambio de volumen en el tiempo
- b) Métodos basados en la diferencia de presión
- c) Métodos basados en la velocidad del flujo
- d) Métodos basados en fuerza ejercida por el flujo
- e) Métodos basados en la energía cinética del flujo

La mayor parte de los instrumentos de medición de caudales de tipo de precisión o de laboratorio, se basan en estos dos últimos principios. En éstos, se aprovecha la fuerza que ejerce el fluido en movimiento para mover un elemento sensor, el cual ejerce una fuerza opuesta sobre el fluido. Esta fuerza puede entonces convertirse en una indicación del caudal, ya sea por medio de una lectura directa, o transmitiendo esta fuerza a un

mecanismo indicador. O bien, se utiliza la energía cinética del fluido en movimiento para convertirla en otras formas de energía, como energía mecánica o eléctrica, que pueda ser leída por otros instrumentos de medición.

La manera mas sencilla de medir un flujo en un laboratorio es por medio de un **Rotámetro**. Este dispositivo consiste en un tubo vertical, generalmente de vidrio, cuya área de sección transversal es variable, dentro del cual se encuentra una masa determinada que puede moverse por la fuerza ejercida por la presión dinámica del fluido al circular dentro del rotámetro, y que a la vez ejerce una fuerza opuesta a la del fluido debida a su propio peso. El hecho de que la sección transversal sea variable, hace que el nivel en el cual las fuerzas actuando sobre la masa flotante se equilibran, dependa del caudal circulando, por lo que este nivel es una indicación directa del caudal.

Los rotámetros de alto caudal y bajo caudal del equipo primario, unidos a las válvulas de control de flujo integradas a éstos, permitirán controlar la velocidad del flujo, y por lo tanto su caudal, que circularán por el circuito primario; lográndose así establecer flujos turbulentos cuyos parámetros podrán ser conocidos para la obtención de datos experimentales.

### **1.1.3 TANQUE RESERVORIO**

El tanque reservorio del circuito primario tiene dos funciones fundamentales:

En primer lugar, sirve como reservorio para permitir el llenado de agua del circuito, además de servir para purgar de aire el fluido y para amortiguar las pulsaciones que puedan producirse en la bomba.

En segundo lugar, sirve como recipiente para calentar el fluido que circulará por el circuito primario, ya que es el elemento ideal para producir el calentamiento y controlar la temperatura del agua.

Por su función, el tanque no requiere de ninguna característica especial. Es conveniente únicamente que sea de un material transparente, resistente a la temperatura, tal como vidrio PYREX o plástico resistente al calor, con el objeto de que pueda monitorearse

siempre el nivel del agua del circuito. También es preferible que se encuentre en un punto más alto que la bomba para mantener los conductos siempre llenos de agua, de esta manera se mantiene siempre cebada la bomba de ser necesario.

Además de éstos, el circuito primario consta de otros elementos básicos como son los conductos por los que circulará el fluido, válvulas de control, y el intercambiador de calor mismo.

Este último elemento se estudiará por separado. Las válvulas requeridas formarán parte integral de los rotámetros. Los conductos podrán ser tuberías rígidas de material resistente a la temperatura, como cobre, CPVC, u otros similares; o bien mangueras flexibles para conducción de agua caliente, de ser necesaria flexibilidad en los conductos. También podrá tenerse una combinación de ambos tipos de conductos, de requerirse diferentes características a lo largo del circuito. La selección de los conductos de agua se hará con más detalle posteriormente.

## 1.2 *CIRCUITO SECUNDARIO*

El segundo flujo, cuya finalidad es la de producir el efecto de intercambio de calor al entrar en contacto con el flujo primario en el intercambiador de calor mismo, circulará a través del circuito de flujo secundario.

Este fluido requiere de un control menos estricto en sus condiciones de flujo. Para estudiar el efecto del intercambio de calor basta con controlar uno de los flujos, y con monitorear las condiciones del segundo. Por esta razón, se ha dispuesto que este flujo secundario pueda ser alimentado desde una fuente externa, por ejemplo, un grifo doméstico de agua y únicamente se ha dispuesto en este circuito de los elementos medidores necesarios para monitorear las condiciones de este flujo, con un control limitado sobre estas condiciones.

Esta disposición se ha tomado para tener una mayor semejanza con los sistemas intercambiadores de calor utilizados en la práctica. Estos, por supuesto con excepciones, generalmente tienen un elemento intercambiador de calor a través del cual circula únicamente un fluido cuyas condiciones se desean controlar, cambiar o modificar;

mientras que el calor perdido o absorbido, según ocurra en una aplicación particular, es por lo general tomado de una fuente o entregado a un sumidero externo sobre el cual rara vez se tiene control. Como ejemplos de este caso, pueden mencionarse muchos cambiadores de calor prácticos, tales como radiadores, enfriadores o calentadores de agua, refrigeradores, etc.; en los cuales el calor perdido o absorbido por el fluido de trabajo, es entregado simplemente al medio ambiente, o a un fluido secundario el cual en última instancia libera el calor al ambiente.

El circuito secundario constará únicamente de los siguientes elementos:

1. Conexiones de alimentación de agua
2. Medidor de flujo, con válvula integrada.

### *1.2.1 CONEXIONES DE ALIMENTACION*

Como se ha dispuesto, el fluido secundario será únicamente agua fría, a temperatura cercana a la ambiental, la cual se tomará directamente del suministro de agua doméstico. Los conductos de alimentación, por lo tanto, serán simplemente mangueras flexibles de plástico o cualquier material similar, ya que no se requiere de resistencia a la temperatura, presión, ni condiciones críticas.

La entrada de agua de enfriamiento conectará directamente al medidor de caudal, a través de la válvula de control de éste. La salida del agua irá a dar directamente al sumidero. A la salida del rotámetro, y a la entrada de la manguera de descarga, se tendrán acoples de desconexión rápida que servirán como puertos de suministro y descarga de agua de enfriamiento.

De la parte superior e inferior del lado de enfriamiento del intercambiador de calor, saldrán mangueras flexibles terminadas en acoples adecuados, las cuales podrán ser conectadas a los puertos de suministro y descarga de agua fría, en cualquiera de las dos posiciones. De esta manera, puede hacerse que el agua fría circule ya sea en la misma dirección del flujo de agua caliente, o en dirección opuesta; pudiendo estudiarse así el intercambio de calor tanto para flujos en paralelo o en contracorriente.

### **1.2.2 MEDIDOR DE FLUJO.**

El medidor de flujo a utilizar para controlar el flujo de agua de enfriamiento será del mismo tipo que los utilizados para agua caliente en el circuito primario. Prácticamente todos los medidores de caudal de este tipo pueden manejar sin problema alguno agua caliente, por lo que la diferencia de temperatura entre ambos circuitos no representa dificultad alguna.

### **1.3 INTERCAMBIADOR DE CALOR.**

Ambos fluidos se relacionan entre ellos únicamente en el intercambiador de calor. Este, como se ha mencionado, pertenece en común a ambos circuitos, y es el elemento principal del equipo propuesto, por lo que será estudiado con gran detenimiento.

A continuación se da una descripción generalizada de los intercambiadores de calor, y, particularmente, de los intercambiadores de tipo tubos concéntricos, por ser de este tipo el que se utilizará en el equipo.

#### **1.3.1 ALGO ACERCA DE INTERCAMBIADORES DE CALOR.**

Los intercambiadores de calor pueden clasificarse de varias maneras. Particularmente, pueden diferenciarse según la independencia de los fluidos en intercambiadores de tipo cerrado y abierto; según la dirección de los flujos en intercambiadores de flujo paralelo y contracorriente, o flujo transversal; y según la construcción en intercambiadores de carcasa y tubo o tubos concéntricos, de placa plana, radiadores, etc.

Los intercambiadores de tipo abierto o de mezcla se denominan así precisamente porque varios flujos se mezclan dentro del intercambiador produciendo una salida de flujo cuyas características son resultantes de las de cada uno de los flujos.

En los intercambiadores de tipo cerrado, por otro lado, los flujos no se mezclan sino circulan independientemente el uno de los otros, por lo que el intercambio de calor se produce a través de las paredes que separan cada flujo. Estos tienen la ventaja de que

pueden manejar fluidos de naturalezas muy diferentes entre sí, ya que éstos no entran en contacto entre ellos.

Entre los intercambiadores de tipo cerrado, los hay de tipo de flujo paralelo, si los flujos circulan en una misma dirección, ya sea en un mismo sentido o en sentidos opuestos; y los hay de tipo de flujo cruzado, si los flujos son transversales entre si.

La descripción de los tipos de intercambiadores de calor se hará con más detalle posteriormente; baste por ahora esta introducción general para entender mejor el intercambiador que se utilizará en el equipo.

### 1.3.2 *INTERCAMBIADOR DE CALOR A DISEÑAR.*

Específicamente, el intercambiador de calor será del tipo de tubos concéntricos, con el fluido de trabajo, en este caso agua caliente, circulando dentro del tubo central; y el fluido secundario o de enfriamiento, el cual será agua fría de la alimentación doméstica, circulando en el espacio anular formado entre el tubo central y el tubo exterior. Este tipo de intercambiador de calor, por su geometría, permite un análisis sencillo de las superficies a través de las cuales se efectúa el intercambio de calor, puesto que esta superficie será simplemente la pared del tubo interior.

Constructivamente, por lo tanto, el intercambiador de calor consiste en un tubo cilíndrico de un diámetro determinado, el cual está colocado concéntricamente dentro de un tubo de diámetro mayor. Las conexiones de los conductos de entrada y salida de cada fluido se encuentran en los extremos del eje de los tubos. Estos tubos serán de un material metálico, tanto para que sean resistentes a la temperatura, como para aprovechar la propiedad de los metales de tener bajas resistencias térmicas, con lo que puede obtenerse transferencia de calor eficiente entre los fluidos.

Unos elementos importantes del circuito de intercambio de calor, pero que no son parte integral del intercambiador mismo, serán los elementos para monitorear la temperatura de ambos fluidos, tanto a la entrada como a la salida de cada uno de ellos.

Estos elementos de medición de temperatura son los termómetros. De éstos, existen una gran variedad de tipos, desde los mas sencillos de tipo bimetalico, hasta sofisticados monitores electrónicos de temperatura. Puesto que todos tienen la misma función, la selección de los termómetros dependerá principalmente de aspectos económicos, ponderados junto a la precisión deseada en la medición, más que de las características constructivas de éstos elementos.

Esta medición de temperatura es la clave del estudio experimental de la transferencia de calor, ya que la pérdida o ganancia de calor de cada fluido se manifestará como un cambio de temperatura en éstos, por lo que conociendo la variación de la temperatura entre el punto de entrada y el de salida de cada fluido, podrá calcularse el calor intercambiado entre ellos y verificar así los conocimientos teóricos sobre estos fenómenos.

## 2. TRANSFERENCIA DE CALOR

### 2.1 TIPOS DE TRANSFERENCIA DE CALOR

Se considera que la Transferencia de Calor se lleva a cabo, en general, por tres procesos:

**CONDUCCION:** Es la transferencia de calor de una parte de un cuerpo a otra o a otro cuerpo por la interacción en un intervalo pequeño, de moléculas o electrones.

**CONVECCION:** Es la transferencia de calor por la combinación de mecanismos de mezcla de fluidos y conducción.

**RADIACION:** Es la emisión de energía en forma de ondas electromagnéticas. Todos los cuerpos irradian a temperaturas superiores al cero absoluto. La radiación incidente en un cuerpo puede ser absorbida, reflejada y transmitida.

#### 2.1.1 CONDUCCION

La experiencia demuestra que cuando hay un gradiente de temperatura en un cuerpo, hay una transferencia de energía de la región de alta temperatura a la de baja temperatura. Se dice entonces que la energía es transmitida por conducción y que la rapidez de transferencia de energía por unidad de área es proporcional al gradiente normal de temperatura:

$$\frac{Q}{A} = -\frac{\partial T}{\partial x} \quad (1.1)$$

Cuando inserta la constante de proporcionalidad,

$$q = -kA \frac{\partial T}{\partial x} \quad (1.2)$$

A la constante positiva  $k$  se le llama conductividad térmica del material, y el signo menos se inserta para que se satisfaga el segundo principio de la Termodinámica, es decir,

el calor deberá fluir hacia abajo en la escala de temperatura, como se encuentra indicado en el sistema de coordenadas de la figura 1-1.1

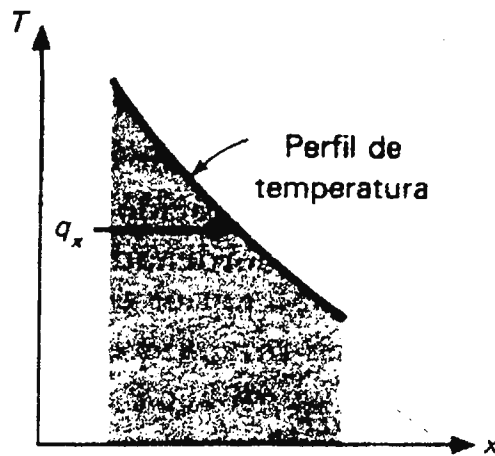


Figura 1-1 Esquema que muestra la dirección del flujo de calor

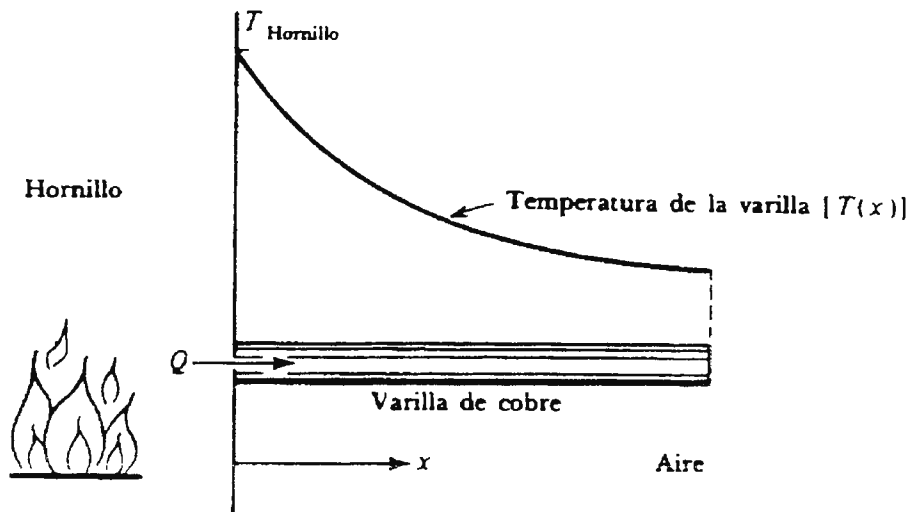


Figura 1-2. Flujo de calor en una varilla de cobre.

A la ecuación anterior se le llama la Ley de Conducción de Calor de Fourier en honor al físico matemático francés Joseph Fourier, quien realizó importantes contribuciones en el tratamiento analítico de la transferencia de calor por conducción. El

<sup>1</sup> J.P. Holman "Transferencia de Calor". CECSA. México. 1987.

flujo de calor es generalmente expresado en watts, por lo que la conductividad térmica  $k$  tiene las unidades de watts por metro por grado Celsius.

Si consideramos, por ejemplo, una barra de cobre cuyo extremo izquierdo se coloca sobre un hornillo como aparecía en la figura 1-2, sabemos que la temperatura de la barra decrece cuando consideramos puntos más y más alejados del hornillo. La cantidad,  $T(x)$ , es la temperatura de la barra, que será función de la distancia  $x$  a la pared. El calor fluye del hornillo a la barra y finalmente hacia el aire que hay en el cuarto en que se está trabajando. Por lo tanto, ya que  $dT$  es negativa para valores crecientes de  $x$ , debe haber un signo negativo en la ecuación 1.1 para que el flujo de calor sea positivo. Este ejemplo explica el porque de ese signo.

Es conveniente definir en este punto el flujo de calor unitario. El flujo de calor unitario es la razón de flujo de calor por unidad de área, así

$$q = Q / A = dQ / dA \quad (1.3)$$

Ya que el flujo de calor unitario tiene una dirección, se acostumbra definir un vector flujo de calor unitario

$$q = q_n \quad (1.4)$$

en cuya ecuación,  $n$  es un vector unitario en la dirección del flujo de calor unitario. Entonces

$$dQ_n = q_n \cdot dA = q_n \cdot n dA \quad (1.5)$$

Además la ley de Fourier de conducción del calor se puede escribir como

$$q_n = k \frac{\partial T}{\partial n} \quad (1.6)$$

En esta ecuación no aparece el área a través de la cual ocurre la conducción del calor, pero el área sigue siendo isoterma y normal a la dirección del flujo de calor. Las direcciones de  $q_n$  y  $n$  son iguales. La ley de Fourier en forma vectorial se expresa así

$$q = -k \nabla T \quad (1.7)$$

$$dQ_n = -kdA \cdot \nabla T \quad (1.8)$$

La relación entre  $q_n$  y  $q_m$ , siendo  $q_n$  el vector flujo de calor unitario normal a una superficie isoterma, y siendo  $q_m$  el vector flujo de calor unitario normal a una superficie isoterma, está dada por

$$q_m = q_n \cos \theta \quad (1.9)$$

en donde  $\theta$  es el ángulo entre los vectores  $n$  y  $m$ .

Como  $dQ_n = q_n \cdot dA$  (Ecuación 1.5) se pueden señalar las siguientes igualdades para el flujo de calor  $dQ_m$  de un área isotérmica  $dA$  en una dirección  $m$  arbitraria (ver fig. 1-3)<sup>2</sup>

$$dQ_m = dQ_n \cos \theta$$

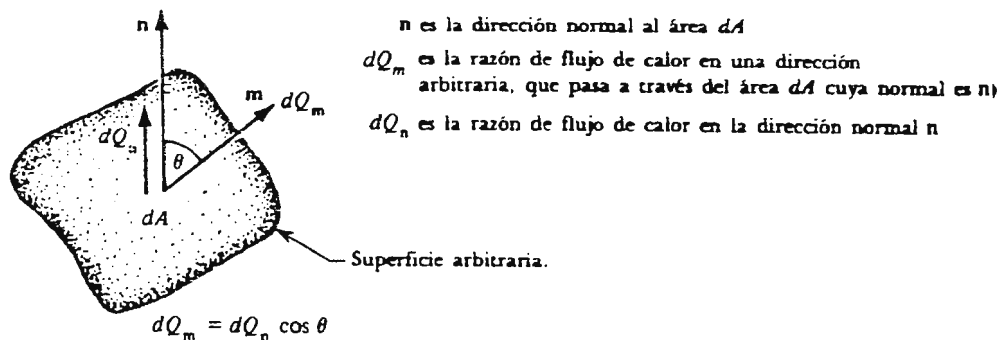


Figura 1-3 Ley de Fourier de la conducción de calor

$$dQ_m = q_m \cdot dA$$

<sup>2</sup> Karlekar, Desmond "Transferencia de Calor". Editorial Interamericana. México. 1985.

$$= qn \cos \theta \cdot dA$$

Si el área no es isoterma, se puede escribir la ecuación 1-1 en forma diferencial para obtener

$$dQ_n = -kdA \frac{\partial T}{\partial n} \quad (1.10)$$

y se considera así el área infinitesimal  $dA$  como isoterma. La derivada parcial  $\frac{\partial T}{\partial n}$  se conoce como el gradiente de temperatura. La relación entre el calor,  $dQ_n$ , que fluye en una dirección que forma un ángulo  $\theta$  con la normal  $n$ , está dada por

$$dQ_m = dQ_n \cos \theta \quad (1.11)$$

Tanto el mecanismo de conducción como el mecanismo de transporte de corriente eléctrica dependen en extremo del flujo de electrones libres. Por lo tanto se puede concluir que los materiales que son buenos conductores eléctricos también son buenos conductores térmicos.

De la teoría cinética se tiene que la energía cinética de un gas ideal es proporcional a la temperatura absoluta y, en consecuencia, se tiene que la conductividad térmica de un gas ideal es proporcional a la raíz cuadrada de la temperatura absoluta.

En la tabla 1-1, y 1-2 se presentan las conductividades térmicas de diferentes metales, aleaciones y materiales aislantes, respectivamente.<sup>3</sup>

---

<sup>3</sup> Baumeister, Avallone. "Marks Manual del Ingeniero Mecánico" 8a. edición McGraw Hill, 1992.

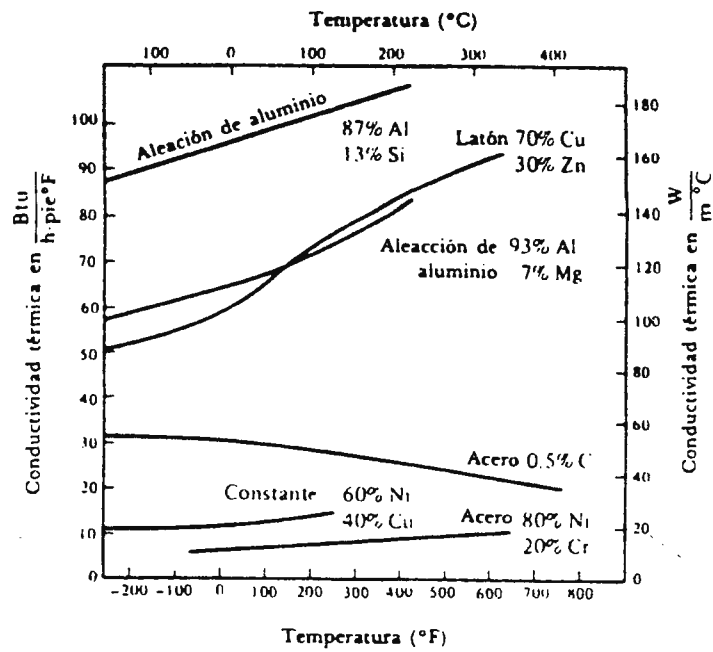


Tabla 1-1. Conductividad Térmica de las Aleaciones

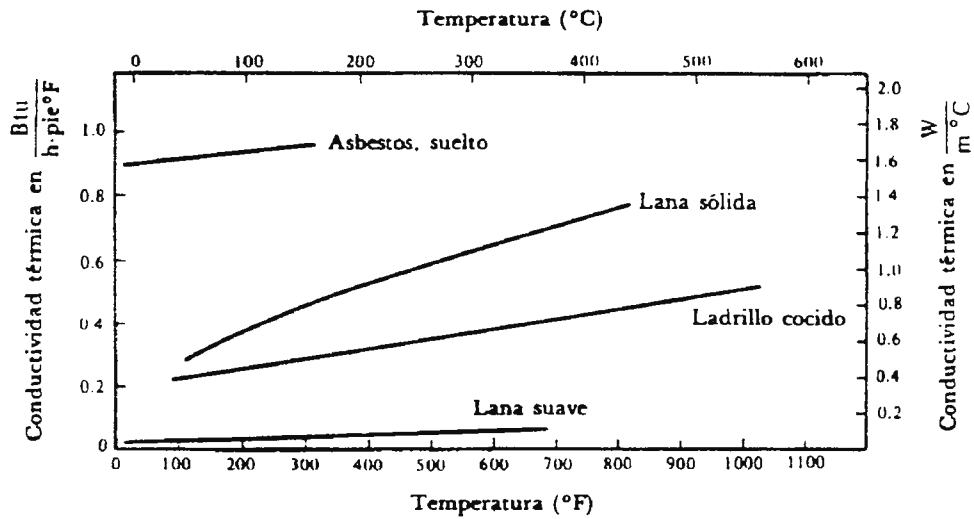


Tabla 1-2. Conductividad Térmica de materiales aislantes

### 2.1.2 CONVECCION

Los problemas de convección en la transferencia de calor son considerablemente más difíciles que los que se encuentran en la conducción y con demasiada frecuencia es imposible encontrar soluciones analíticas. Dichas dificultades surgen del hecho de que el mecanismo básico para la convección es una combinación de conducción y movimiento de

fluidos. La convección ocurre siempre que una superficie está en contacto con un fluido que tiene temperatura diferente a la de la superficie en cuestión.

Por ejemplo, considérese una pared caliente vertical y en contacto con un fluido muy frío. Con el transcurso del tiempo, el fluido en contacto inmediato con la pared se calienta por conducción, provocando que el fluido se haga menos denso. Debido a la diferencia de densidad, se obtiene una fuerza de flotación resultante, provocando que el fluido más ligero se eleve y lo reemplace otra cantidad del fluido más frío, repitiéndose continuamente este proceso. Puesto que el movimiento del fluido queda establecido por fuerzas naturales, a este tipo de convección se la llama natural o libre. Se tienen otros ejemplos de convección natural en los mecanismos asociados con el aire caliente que sale de los radiadores de calor caseros y el flujo del humo de cigarrillos en una habitación.

Si la pared antes mencionada fuera la de una habitación en una casa y se pusiera a funcionar un ventilador dirigido hacia la pared, entonces una fuente externa (el ventilador) provocaría el movimiento de fluido, dando por resultado un efecto de convección forzada. Otro ejemplo de convección forzada en los radiadores de automóvil. Hay una pequeña transferencia de calor por radiación de un "radiador" de auto, pero más bien el mecanismo para el flujo de calor es el de convección forzada. Si la velocidad del aire debida a la acción de un ventilador dirigido hacia la pared fuera suficientemente baja, suponiendo 0.5 pies/seg, entonces el movimiento total del aire sería el resultado en parte debida al ventilador y parte a la fuerza de flotación, resultando una convección combinada.

Más adelante se detallarán todos los aspectos incluidos en la transferencia de calor por convección, que son los que se tomarán en cuenta para el diseño de el Intercambiador, y que posteriormente serán objeto de estudio y comprobación en dicho equipo de laboratorio.<sup>4</sup>

---

<sup>4</sup> Karlekar, Desmond. "Transferencia de Calor". Editorial Interamericana, México. 1985

## 2.2 INTERCAMBIADOR DE CALOR

Un cambiador de calor es un aparato que transfiere energía térmica desde un fluido a alta temperatura hacia un fluido a baja temperatura con ambos fluidos moviéndose a través del aparato. El rango de temperatura, las bases de los fluidos, (líquidos o gaseosos), la cantidad de energía térmica que se deberá transferir y la caída de presión permitida para los fluidos caliente y frío, determinan la configuración del intercambiador de calor para una aplicación dada.

### 2.2.1 CLASIFICACIÓN DE LOS INTERCAMBIADORES DE CALOR

Los intercambiadores de calor se pueden clasificar de muchas formas, pero por conveniencia se tomará la basada en las direcciones relativas de los flujos a intervenir, caliente y frío, como sigue:

- a) DE FLUJO PARALELO: cuando ambos fluidos se mueven en la misma dirección,
- b) DE FLUJO ENCONTRADO: cuando los fluidos se mueven en paralelo pero en sentido opuesto;
- c) DE FLUJO CRUZADO: cuando las direcciones de flujo son mutuamente perpendiculares.

Las configuraciones arriba mencionadas se ilustran en las figuras 1-4 y 1-5.<sup>5</sup>

En el caso del intercambiador de calor a diseñar, involucrará las formas de flujo paralelo y encontrado, con dos tubos concéntricos con un fluido fluyendo en el tubo anular, en esta vez, agua fluyendo a través de los tubos, intercambiando la forma de flujo por medio de acoples.

El arreglo de flujo paralelo es usado cuando se quiere mantener lo más constante posible la acción del intercambiador de calor sobre un amplio rango de razones de flujo. El de flujo encontrado es desde el punto de vista termodinámico, uno de los más eficientes.

---

<sup>5</sup> Kariekar, Desmond. "Transferencia de Calor". Editorial Interamericana. México. 1985.

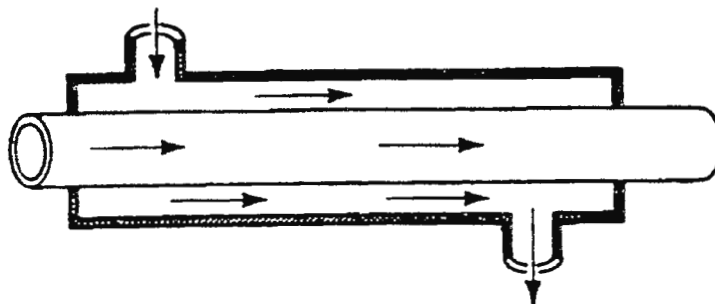


Figura 1-4 Intercambiador de Calor de Flujo Paralelo

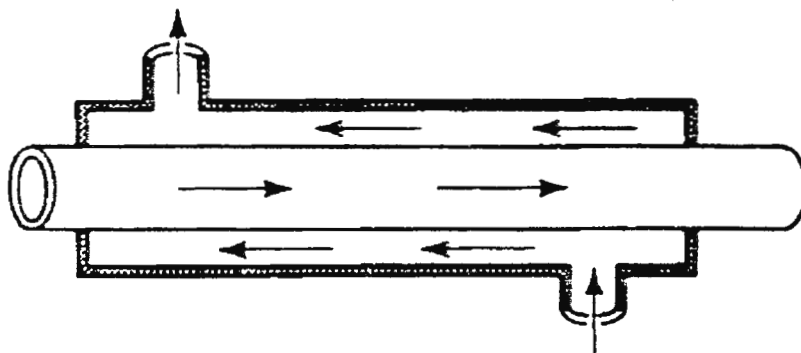


Figura 1-5 Intercambiador de Calor de Flujo Encontrado

### 2.3 VARIABLES DINAMICAS PARA LA TRANSMISION DEL CALOR (PARAMETROS DE DISEÑO)

Las variables que afectan la acción de un intercambiador de calor son las razones de flujo de masa, calores específicos, temperaturas de entrada y de salida de los fluidos calientes y fríos, área disponible para la transferencia del calor, conductividad térmica del material de los tubos, coeficientes convectivos de transferencia de calor en la superficie interna y externa de los tubos; las cuatro últimas agrupadas en un solo parámetro denominado Coeficiente de Calor Total,  $U$ . Además está la caída de presión, potencia de bombeo, costo inicial, costo de mantenimiento, etc.

#### 2.3.1 COEFICIENTE DE TRANSFERENCIA DE CALOR TOTAL, $U$

Si se tienen dos fluidos separados por una pared metálica plana de conductividad  $k$ , y espesor  $t$ , y si se mantienen los fluidos a temperaturas constantes,  $T_h$  y  $T_c$ , la cantidad de calor transferido,  $Q$ , está dada por

$$Q/A = h_h(T_h - T_1) = k(T_1 - T_2)/t = h_c(T_2 - T_c), \text{ o bien}$$

$$Q/A = U(T_h - T_c) \quad (1.12)$$

donde  $U$ , el coeficiente de transferencia de calor total, está dado por

$$1/U = 1/h_h + t/k + 1/h_c \quad (1.13)$$

donde:

$h_h$  y  $h_c$  : coeficientes convectivos de transferencia de calor en el lado caliente y en el lado frío de la pared metálica.

$T_1$  y  $T_2$ : temperaturas de dos caras de la pared.

$A_o$  y  $A_i$ : áreas del interior y exterior de los tubos.

En la situación de el intercambiador de calor que se diseñará, con el fluido yendo fuera y dentro de un tubo, figura 1-6 , se puede expresar la ecuación de la siguiente manera:

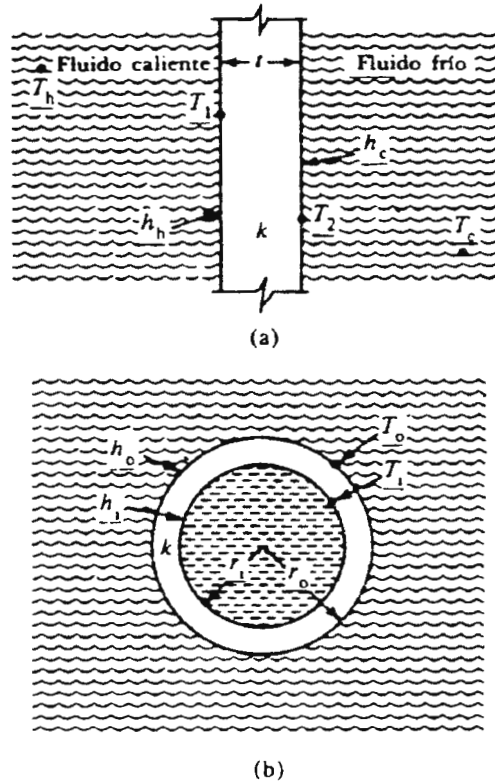


Figura 1-6 Transferencia de calor a través de una pared plana.

Transferencia de calor a través de tubo.

$$\underline{Q} = \pi r_o L h_o (T_i - T_o) = \frac{2\pi k L (T_o - T_i)}{\ln\left(\frac{r_o}{r_i}\right)} = 2\pi r_i L h_i (T_i - T_2) \quad (3.14)$$

donde:

$T_1$  = temperatura del fluido exterior

$T_o$  = temperatura de la superficie exterior del tubo

$T_i$  = temperatura de la superficie interior del tubo

$T_2$  = temperatura del fluido interior

$L$  = longitud del tubo

$r_o$  = radio exterior del tubo

$r_i$  = radio interior del tubo

$k$  = conductividad térmica del material del tubo.

ocupando  $\Delta T = T_1 - T_2$ ,  $A_o = 2\pi r_o L$ , y  $A_i = 2\pi r_i L$ , se forma la siguiente ecuación:

$$Q = A_o U_o \Delta T$$

$$Q = A_i U_i \Delta T \quad (1.15)$$

donde:

$$\frac{1}{U_o} = \frac{1}{h_o} + \frac{r_o}{k} \ln\left(\frac{r_o}{r_i}\right) + \left(\frac{r_o}{r_i}\right) \frac{1}{h_i} \quad y$$

$$\frac{1}{U_i} = \left(\frac{r_i}{r_o}\right) \frac{1}{h_o} + \frac{r_i}{k} \ln\left(\frac{r_o}{r_i}\right) + \frac{1}{h_i} \quad (1.16)$$

Estas expresiones corresponden a los coeficientes de transferencia de calor total, proporcionando la cantidad de calor transferido, para el área exterior e interior, respectivamente. Esta diferencia es necesaria, porque el área disponible para la transferencia de calor se incrementa cuando se avanza radialmente del interior del tubo al exterior del mismo.

En la tabla 1-3 se muestran valores representativos de  $U$  para diferentes materiales.

También habrá que considerar las expresiones del número de Nusselt bajo diferentes situaciones, para los cálculos de  $U$ .<sup>6</sup>

---

<sup>6</sup> Pitts, Sisson. "Transferencia de Calor". Editorial McGraw Hill, serie Shaum, 1982.

### 2.3.2 FLUJO LAMINAR EN TUBOS A TEMPERATURA DE PARED CONSTANTE

$$Nu_{promedio} = 1.86(\text{Re Pr})^{1/3} \left(\frac{D}{L}\right)^{1/3} \left(\frac{\mu}{\mu_w}\right)^{0.14} \quad (1.17)$$

El objetivo buscado al analizar al futuro intercambiador de calor, basándose en el análisis general es el poder expresar la cantidad de calor transferido  $Q$ , del fluido caliente al fluido frío en términos del coeficiente de Calor Total  $U$ , el área de la superficie del intercambiador de calor,  $A$ ; y las temperaturas de entrada y salida de los fluidos caliente y frío.

Al hacer un balance de energía en los dos fluidos da como resultado energía perdida por el fluido caliente = energía ganada por el fluido frío ó

$$m_h c_h (T_{h,i} - T_{h,o}) = Q = m_c c_c (T_{c,o} - T_{c,i}) \quad (1.18)$$

donde:

$m_h$  = razón de flujo de masa de fluido caliente

$c_h$  = calor específico del fluido caliente, a presión constante

$T_{h,i}$  = temperatura de entrada de fluido caliente

$T_{h,o}$  = temperatura de salida de fluido caliente

$m_c$  = razón de flujo de masa del fluido frío

$c_c$  = calor específico del fluido frío a presión constante

$T_{c,o}$  = temperatura de salida del fluido frío

$T_{c,i}$  = temperatura de entrada del fluido frío

La ecuación anterior es válida para todos tipos de intercambiadores de calor;  $m_c$  es conocido como la razón de capacidad de calor  $C$ .

### 2.3.2.1 Intercambiador de Calor de flujo encontrado (contracorriente)

Aquí los fluidos se mueven en sentidos paralelos pero opuestos. Ver fig. 1-7.

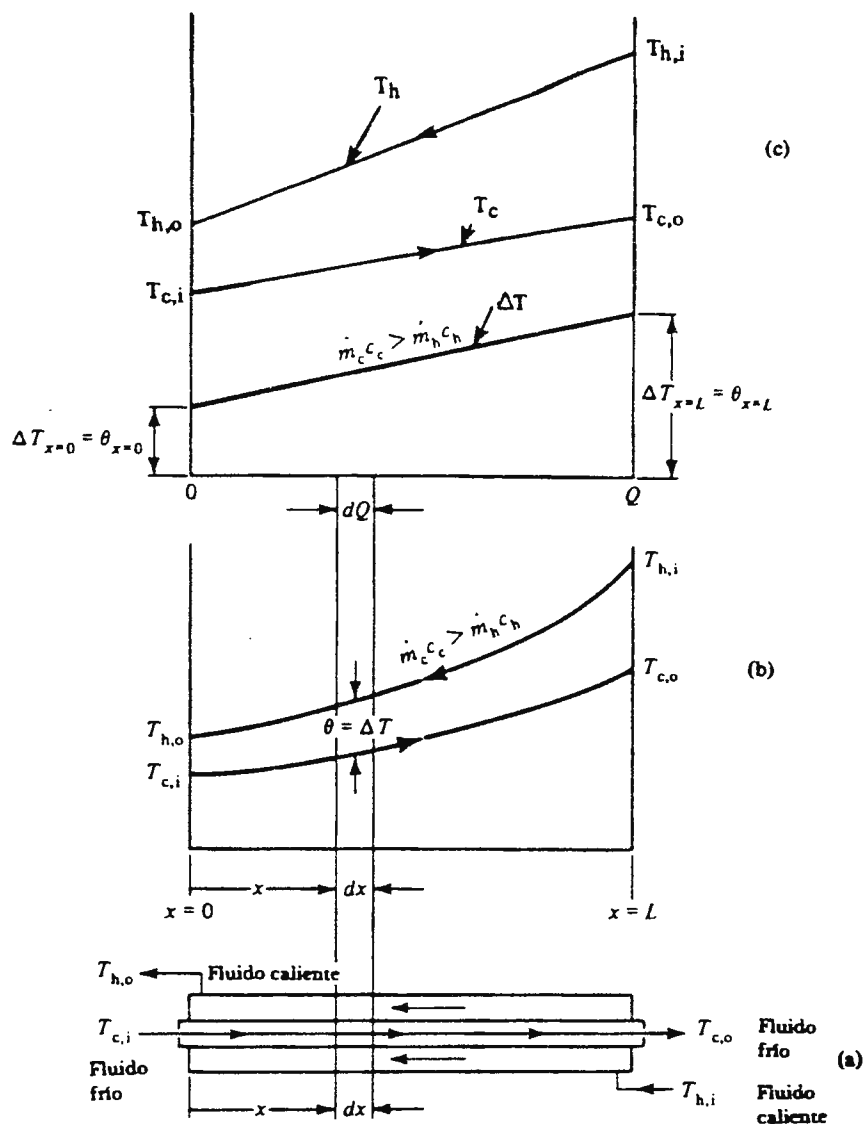


Figura 1-7 Distribución de temperatura en un intercambiador de calor de flujo encontrado

El fluido caliente entra en  $x = L$ , mientras que el fluido frío entra en  $x = 0$ . En consecuencia las variaciones serán como se ve en la figura 1-7. Si un observador se mueve a lo largo de la coordenada  $x$  una distancia  $dx$ , encontrará que ambos fluidos experimentan un aumento en la temperatura, y al efectuar un balance de energía se tiene

$$d/dQ (T_h - T_c) = (1/m_h c_h - 1/m_c c_c) = \lambda \quad (1.19)$$

$$\text{donde } \lambda = d(T_h - T_c)/dQ$$

Para poder analizar el proceso de convección en un intercambiador de calor, hay que tomar en cuenta ciertos parámetros. A continuación aparecen los diferentes aspectos a tomar en cuenta al analizar una superficie sólida, en este caso un tubo.

### 2.3.3 COEFICIENTE CONVECTIVO DE TRANSFERENCIA DE CALOR

Isaac Newton propuso la siguiente ecuación para predecir la razón de transferencia de calor por convección,  $Q$ , de una superficie sólida hacia el fluido que lo rodea.

$$Q = h_{\text{promedio}} A (T_w - T_f) \quad (1.20)$$

en cuya expresión

$h_{\text{promedio}}$  = coeficiente convectivo promedio de transferencia de calor,

$W/m^2.K$

$A$  = área de la superficie para la transferencia de calor por convección,  $m^2$ .

$T_w$  = temperatura de la superficie sólida,  $^{\circ}C$ .

$T_f$  = temperatura del fluido que se encuentra suficientemente lejos de la superficie,  $^{\circ}C$

### 2.3.4 EL NUMERO DE NUSSELT

Es costumbre expresar las correlaciones para transferencia de calor por convección experimentales, en términos de cantidades sin dimensiones tales como el Número de Reynolds y el número de Nusselt, por tanto son de vital importancia para el análisis de diseño del intercambiador de calor.

Considérese un fluido que fluye por encima de un cuerpo. Si la temperatura de la superficie  $T_w$  y la temperatura del vapor es  $T_\infty$ , la temperatura del fluido cercano a la frontera sólida variará de alguna manera, como la que se ilustra a continuación (figura 1-8)

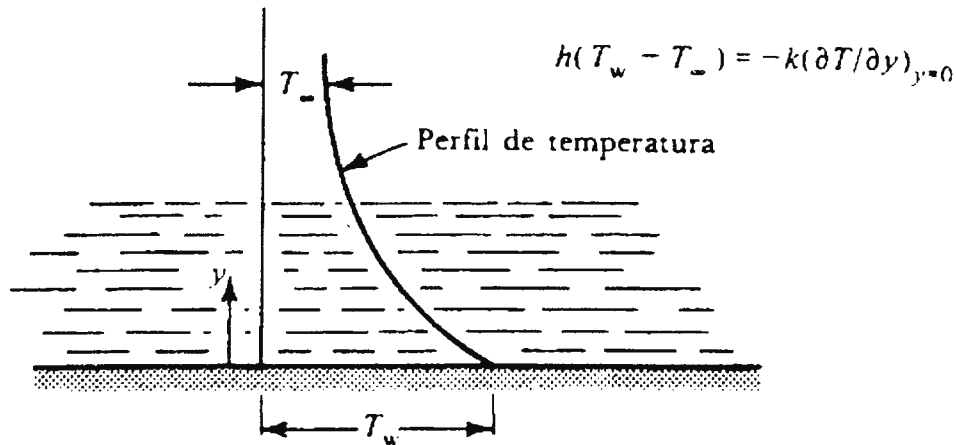


Figura 1-8 Distribución de temperatura en un fluido fluyendo cerca de una frontera sólida y expresando la razón de transferencia de calor,  $Q$ , en forma de gradiente

$$Q_y = -k_y = {}_0A \left( \frac{\partial T}{\partial y} \right)_{y=0} \quad (1.21)$$

Donde:

$k$  = la conductividad térmica del fluido, W/m.K, evaluada en  $y=0$ ,

$\left( \frac{\partial T}{\partial y} \right)_{y=0}$  = el valor del gradiente de temperatura en el fluido en  $y=0$ . La coordenada  $y$

se mide a lo largo de la normal de la superficie.

Combinando las dos ecuaciones y definiendo una distancia sin dimensiones, en cuya expresión  $L_c$  es una longitud característica, se tiene

$$\text{Nu} = hL_c/k = - \left( \frac{\partial \theta}{\partial \eta} \right)_{\eta=0} \quad (1.22)$$

donde  $\theta$  es una temperatura sin dimensiones,  $\theta = \frac{(T - T_{\infty})}{(T_w - T_{\infty})}$

## 2.4 TRANSFERENCIA DE CALOR PARA FLUJO LAMINAR EN TUBOS CIRCULARES

Considérese un flujo laminar en un fluido a través de un tubo de radio interno,  $r_w$ , con la siguiente distribución de velocidades:

$$\frac{u}{u_0} = 1 - \left(\frac{r}{r_w}\right)^2 \quad (1.23)$$

donde

$u$  = la velocidad en la dirección  $x$  en  $r = r$ ,

$u_0$  = la velocidad en la línea central del tubo, dada  $u_0 = -g_c \beta \left(\frac{r_w^2}{4\mu}\right)$

donde  $\beta = \frac{dp}{dx}$  (1.24)

Este requisito es indispensable y se encuentra en todos los flujos a través de tubos. En el problema del diseño, se necesita la aplicación del principio de la conservación de la energía, el coeficiente de transferencia de calor,  $h$  a través de los tubos, la distribución de temperatura dentro del fluido y el gradiente de temperatura en la pared. Como condición térmica se tiene el que la pared del tubo tiene que recibir un flujo de calor unitario uniforme por ser el intercambiador a diseñar un intercambiador de contraflujo o contracorriente, donde para los fluidos caliente y frío el producto de la razón del flujo de masa y el calor específico son iguales.

Se intentará también determinar la distribución de temperatura en un fluido que fluye a través de un tubo. Esto servirá para la mejor comprensión del coeficiente convectivo de transferencia de calor.

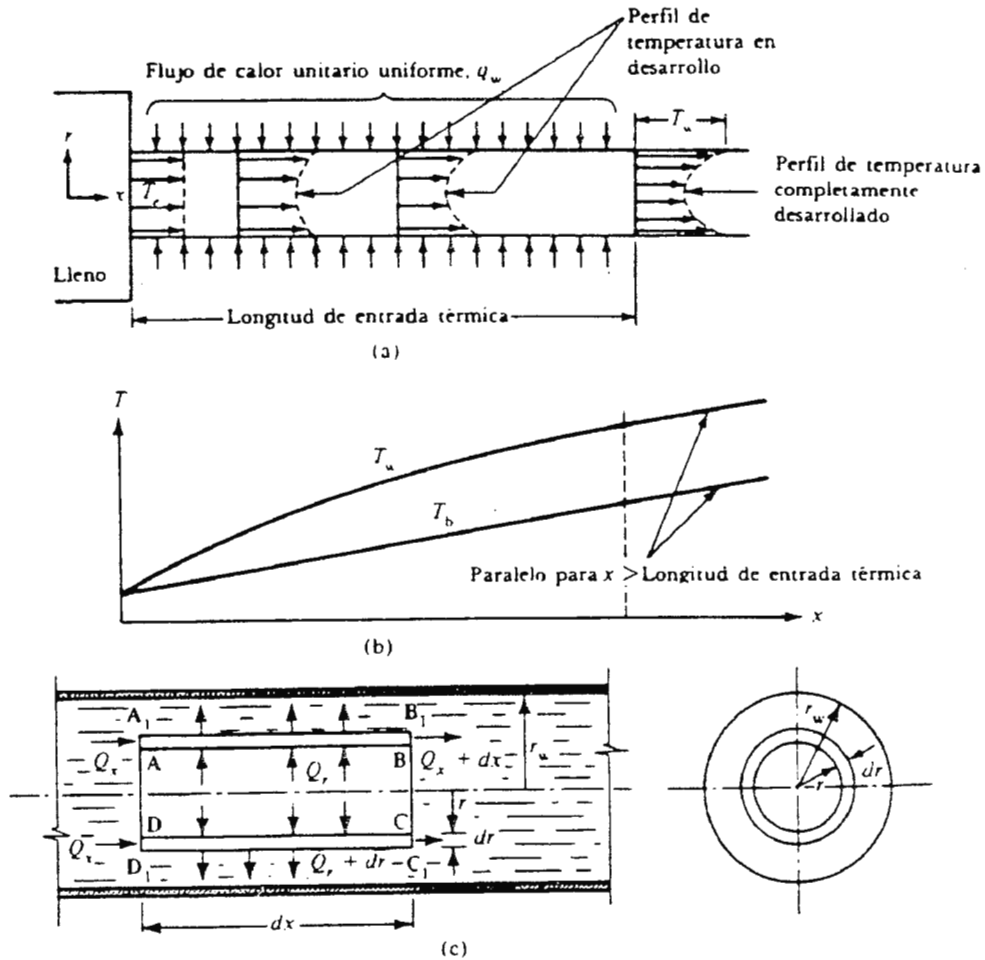


Figura 1-9 Volumen de control para balance de energía para el flujo a través de un tubo

El principio de conservación de energía requiere que bajo condiciones de estado estacionario, el calor neto que se conduce hacia dentro del volumen de control desde las direcciones axial y radial, debe ser igual al calor neto que se transfiere por convección alejándolo en la dirección  $x$ . La razón con que esta energía se transfiere por convección o se lleva hacia dentro del volumen de control se expresa en términos de la razón de flujo de

masa que entra al volumen de control, y la energía asociada con dicha razón de flujo de masa..

Al analizar todos estos parámetros, se tienen las siguientes ecuaciones, necesarias para la comprensión del análisis del fluido a través del tubo:

$$\text{Número de Nusselt: } Nu = hD/k = 2hr_w/k = 48/11 = 4.364$$

$$\text{Diferencia de temperatura: } (T - T_o) = \left( \frac{q_w r_w}{k} \right) \left[ \left( \frac{r}{r_w} \right)^2 - \frac{1}{4} \left( \frac{r}{r_w} \right)^4 \right] \quad (1.25)$$

donde:

$r_w$  = el radio interno de la pared

$T$  = la temperatura en el radio  $r$

$T_o$  = la temperatura del agua en la línea central

$k$  = conductividad térmica del agua

$q_w$  = el flujo de calor unitario que entra a la pared

La razón de cambio de temperatura axial, de una sección a otra está dada por:

$$\frac{\partial T}{\partial x} = \frac{4q_w}{u_r r_w k} \quad (1.26)$$

el coeficiente de transferencia de calor está dado por:

$$h = 4.364 k/D \quad (1.27)$$

Y para terminar, el número de Nusselt, además de depender del Número de Reynolds, depende también del Número de Prandtl, definido en términos de viscosidad, calor específico a presión constante y conductividad térmica:

$$Pr = c_p \mu / k = c_p \rho \nu / k \quad (1.28)^8$$

---

<sup>8</sup> Karlekar. Desmond. "Transferencia de Calor". Editorial Interamericana. México. 1985.

## **2.5 ANALISIS DE FLUJO DE FLUIDOS PARA UN INTERCAMBIADOR DE CALOR**

### **2.5.1 ANALISIS DE FLUIDOS**

Si bien el objetivo primordial del equipo propuesto es el estudio de los fenómenos de transferencia de calor, también se relaciona estrechamente con los conocimientos de la Mecánica de Fluidos, ya que se pretende estudiar el la transferencia de calor entre los fluidos que atravesarán un intercambiador de calor.

Por lo tanto, es conveniente hacer un análisis a nivel general de los aspectos de la mecánica de fluidos, particularmente de la rama de la Hidráulica, que se relacionan con los distintos elementos que componen el equipo.

Para empezar, se debe hacer un breve resumen de los principales conceptos de la hidráulica involucrados.

### **2.5.2 CONCEPTOS.**

#### **2.5.2.1 FLUIDO.**

Un fluido se define como un material el cual, al ser sometido a la acción de un esfuerzo cortante, se deforma continuamente.

Para comprender mejor este concepto, puede contraponerse el concepto de sólido. Un material sólido, cuando se le aplica una fuerza tal que le produce un esfuerzo cortante, reacciona con un esfuerzo igual y opuesto al aplicado. Si bien el sólido sufre alguna deformación, éste recupera su forma original al cesar el esfuerzo aplicado. Sin embargo, si el esfuerzo es suficientemente grande como para sobrepasar la resistencia del sólido a la deformación, el cuerpo sólido deja de oponerse a la deformación y "fluye", se deforma de manera continua, por lo tanto, comportándose como un fluido.

En un fluido, la fuerza de atracción entre sus moléculas es pequeña, de tal manera que con poco esfuerzo puede obligárseles a deslizarse e incluso separarse unas de otras. Por esta razón, al aplicársele a un fluido un esfuerzo cortante, las moléculas de éste entran en movimiento y cambian de posición continuamente; el fluido se deforma continuamente.

Sin embargo, esto no quiere decir que un fluido no oponga ninguna fuerza al movimiento. Tanto en reposo como en movimiento, un fluido ejerce fuerzas, y puede intercambiar energía con el medio en el que se encuentra. En esto influyen las propiedades intrínsecas de los fluidos, así como las propiedades de los fluidos en movimiento.

## 2.5.2.2 PROPIEDADES DE LOS FLUIDOS.

### 2.5.2.2.1 DENSIDAD.

Es la relación entre la masa y el volumen de un fluido. La razón de la masa que posee un volumen determinado de un fluido es la densidad. Su inverso, es decir el volumen que ocupa una masa determinada de un fluido, se denomina **volumen específico**.

Debido a la poca cohesión entre las moléculas de un fluido, los agentes externos como la presión y la temperatura influyen decisivamente en la densidad de los fluidos. Aunque en menor grado que para los gases, esto es válido para los líquidos.

Para los objetivos del diseño, es importante conocer la densidad del agua, la cual es a 4°C de temperatura y 1 atm. de presión:

$$\rho = 1 \text{ g/cm}^3 \quad (1.29)$$

### 2.5.2.2.2 VISCOSIDAD.

Es la oposición que ejerce el fluido a la deformación debida a los esfuerzos cortantes. Se debe a la fuerza de fricción interna entre las moléculas del fluido. La acción de una fuerza aplicada a un fluido, tiende a acelerar las "capas" del fluido. Entre mayor es la viscosidad de éste, menor es la aceleración que sufren las capas del fluido, y mayor es la resistencia a la deformación.

La viscosidad de los fluidos depende en alguna medida de la temperatura, y, en el caso de los gases, de la presión.

Matemáticamente se distinguen dos tipos de viscosidad:

a) *Viscosidad dinámica*: es el coeficiente de oposición a la deformación del fluido, por lo tanto, una característica propia del fluido. La manera de calcularla es compleja, por lo que se emplean comúnmente valores obtenidos de mediciones experimentales. La viscosidad dinámica del agua a 4 °C y 1 Atm. es aproximadamente:

$$\mu = 1 \times 10^{-3} \text{ centipoise} \quad (1.30)$$

$$\text{y } 1 \text{ cp} = 1 \text{ N.s / m}^2 = 1 \text{ Kg / m.s}$$

b) *Viscosidad cinemática*: es el cociente de dividir la viscosidad dinámica entre la densidad del fluido. De esta manera, se define una viscosidad del fluido que no depende de la masa. Para el agua, la viscosidad cinemática a 4 °C y 1 Atm. es:

$$\nu = 1 \text{ m}^2 / \text{s} \quad (1.31)$$

### 2.5.2.2.3 FLUJO.

Puede llamarse flujo al movimiento continuo de traslación a nivel macroscópico de un fluido.

En un fluido, aún estando éste en reposo, las moléculas del fluido están siempre en movimiento. De hecho, la temperatura de un fluido es un reflejo de la energía de las moléculas en movimiento. Sin embargo, para que se establezca un flujo, es necesario que una cantidad macroscópica de moléculas del fluido se muevan en conjunto en una dirección determinada, y que además, este movimiento se mantenga en el tiempo.

Existen varios conceptos y ecuaciones relacionadas con los flujos, que son de interés para el análisis de flujos en el equipo de transferencia de calor propuesto. Vale la pena hacer un recordatorio de estos conceptos.

#### 2.5.2.2.4 CAUDAL.

El caudal es la cantidad de un fluido que pasa por una región determinada en el tiempo. Generalmente se define como el volumen de fluido que atraviesa una sección del flujo en un tiempo determinado. El caudal, por lo tanto, tiene una relación directa con la velocidad del fluido.

Matemáticamente, el caudal se puede encontrar, conociendo la velocidad del fluido, y el área de la sección transversal del flujo:

$$Q = cA \quad [\text{m}^3/\text{s}] \quad (1.32)$$

donde  $c$  = velocidad media del flujo normal a la superficie de control.

$A$  = Area de la superficie de control.

Esta igualdad genera unidades de volumen sobre tiempo.

#### 2.5.2.2.5 CORRIENTE.

Puede entenderse por corriente la trayectoria lineal general que siguen las partículas de un flujo. Se denominan líneas de corriente a las líneas que siguen cada una de las partículas del fluido en movimiento de un flujo. La uniformidad o variabilidad de la corriente permite definir dos conceptos muy importantes en el régimen de flujo, como son el flujo laminar y el flujo turbulento.

#### 2.5.2.2.6 FLUJO LAMINAR.

Cuando las partículas de un flujo se mueven en direcciones tales que forman líneas de corriente paralelas, se tiene un régimen de flujo laminar. Este constituye una corriente de fluido con movimiento ordenado, definido, que puede estudiarse con relativa simplicidad, ya que las trayectorias de las partículas del flujo pueden visualizarse fácilmente.

#### 2.5.2.2.7 FLUJO TURBULENTO.

Ocurre cuando las trayectorias de las partículas del flujo son erráticas, se entrecruzan entre sí y no pueden definirse fácilmente. Sin embargo, en conjunto las trayectorias de cada partícula siguen una dirección determinada, que es la dirección del flujo.

Para un mismo fluido, la transición entre un flujo laminar y un turbulento depende grandemente de la velocidad del flujo, y de la viscosidad del fluido.

El flujo turbulento es mas difícil de estudiar teóricamente, por lo que la experimentación y obtención de datos empíricos es muy importante.

#### 2.5.2.2.8 FLUJO TRANSITORIO Y FLUJO PERMANENTE.

Cuando las características del flujo, es decir, su presión y velocidad, en cualquier punto del flujo, dependen únicamente de la posición, es decir, no cambian con el tiempo, se denomina a esta condición **flujo permanente**. De lo contrario, cuando hay una variación de estas características con el tiempo, se denomina **flujo transitorio**.

Nótese que esta característica de permanencia no tiene ninguna relación con el régimen de flujo laminar o turbulento. Cualquiera de estas condiciones puede darse en transición o permanencia en el flujo.

Es de interés particular el estudio de flujos en régimen permanente, es decir, cuando el flujo ya se ha estabilizado y sus características pueden considerarse invariables en el tiempo.<sup>9</sup>

## 2.6 ANTECEDENTES DE FLUJO DE FLUIDOS PARA TRANSFERENCIA DE CALOR POR CONVECCION

Para el desarrollo del análisis de diseño y posterior construcción de el modelo de intercambiador de calor, hay que tener en cuenta la dinámica de flujo de fluidos.

---

<sup>9</sup> Streeter, Victor. "Mecánica de los Fluidos". Editorial McGraw Hill. México. 1987.

Considérese a continuación flujo de fluidos a través de tubos, con las variables de densidad, viscosidad, que llevarán a la justificación de el fluido a utilizar en el proyecto; la caída de presión que experimenta un fluido al atravesar cierta longitud, la cual permitirá calcular la potencia requerida para el bombeo del fluido.

En el flujo de fluidos real, la viscosidad toma un papel primordial, ya que contribuye a la variación de velocidades y a las caídas de presión, por lo que se comenzará con el análisis de los efectos de la viscosidad, aunque se sabe que el fluido a utilizar será agua. Ver figura 1-10.

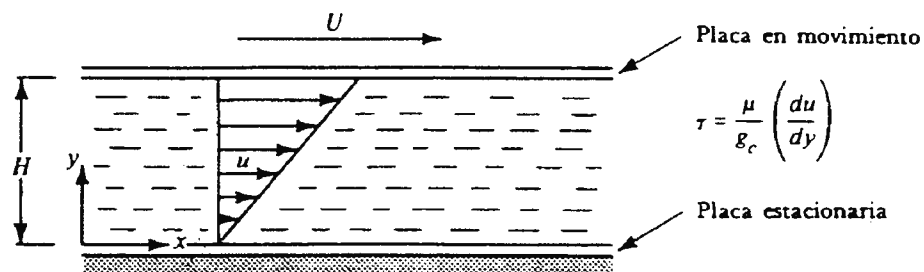


Figura 1-10. Flujo de un fluido entre dos placas paralelas

### 2.6.1 FLUJO LAMINAR Y TURBULENTO

Considérese el experimento mostrado en la figura 1-11, en la que el agua fluye a través de un flujo transparente y la razón de flujo se regula mediante una válvula que se encuentra en el extremo donde termina el flujo. Cuando la válvula de desagüe se abre un poco, el colorante formará una línea muy fina a lo largo del agua que está fluyendo. Cuando la válvula se va abriendo progresivamente más y más, el colorante continuará fluyendo en línea recta., hasta que alcanza una razón de flujo en la cual se hacen evidentes fluctuaciones en el filamento del colorante. Esto indica el principio de transición de flujo laminar a turbulento (figura 1-11b) . Cuando la válvula se abre más, el colorante,

inmediatamente después de salir del inyector del colorante, se dispersa a través del fluido, indicando un flujo completamente turbulento. (figura1-11c)<sup>10</sup>

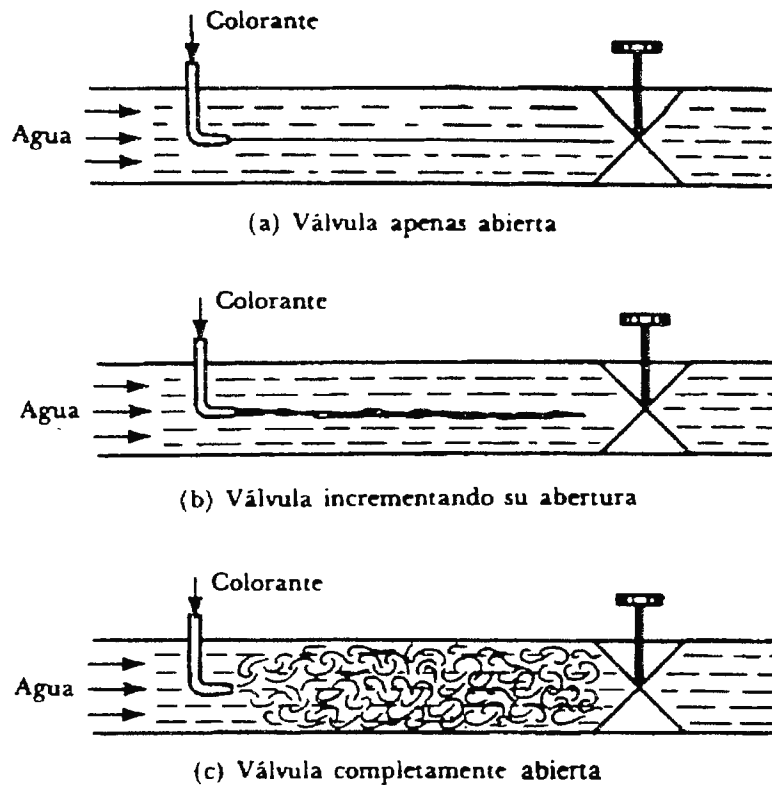


Figura 1-11 Experimento de Reynolds. a) Flujo laminar, b) flujo Transicional y c) flujo turbulento

Es posible predecir si un flujo es laminar o turbulento si se conoce su densidad, su velocidad media de flujo, su viscosidad y una dimensión característica para la geometría del flujo. Estas cuatro cantidades se combinan en un número sin dimensiones llamado Número de Reynolds.

$$Re = \rho u_{\text{promedio}} L_c / \mu \quad (1.33)$$

El Número de Reynolds es interpretado como la razón entre las fuerzas de inercia y las fuerzas viscosas, y su valor determina la naturaleza del flujo, turbulento o laminar. Se

<sup>10</sup> Karlekar, Desmond. "Transferencia de Calor". Editorial Interamericana. México. 1987.

tiene un flujo laminar en tubos circulares si el Número de Reynolds es menor de 2,300. Un flujo turbulento resulta si el Número de Reynolds es mayor de 4,000. Si el Número de Reynolds varía entre 2,300 y 4,000, se conoce el flujo como **flujo transicional**; y, el valor del Número de Reynolds en que el flujo laminar se convierte en turbulento se llama **Número Crítico de Reynolds**.

### 2.6.2 FLUJO DENTRO DE TUBOS CIRCULARES

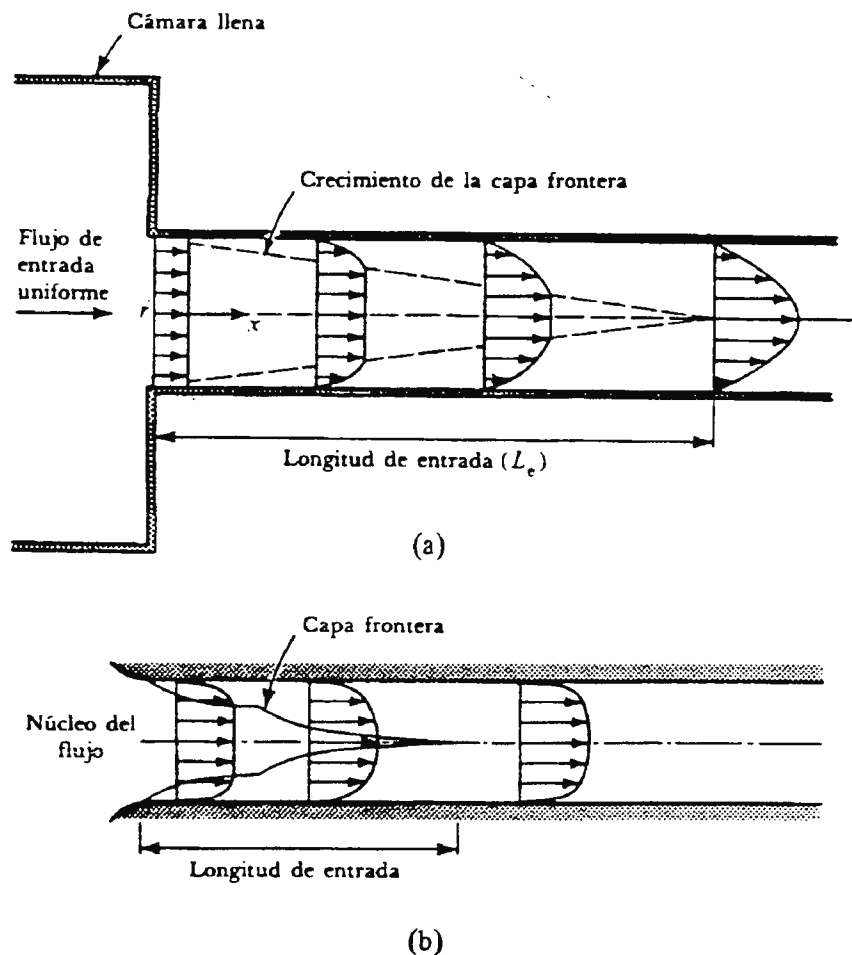


Figura 1-12 a) Desarrollo de un flujo laminar a través de un tubo  
b) Perfil de velocidad para un flujo tubular turbulento

Para el flujo dentro de tubos circulares, existen ciertas características a tomar en cuenta, numeradas a continuación:

1. Un fluido que entra a un tubo desde un gran tanque lleno, tiene una distribución de velocidad uniforme.
2. Si las condiciones permiten un flujo turbulento, entonces a cierta distancia de la entrada, un perfil de velocidad turbulento completamente desarrollado aparecerá, como lo muestra la figura 1-12b.
3. En un flujo turbulento, porciones de fluido o remolinos se mueven en la región donde existen los remolinos, en consecuencia, el perfil de velocidad para este tipo de flujo en una tubería es casi plano, como se muestra en la figura 1-12b.

### 2.6.2.1 FLUJO LAMINAR EN TUBOS

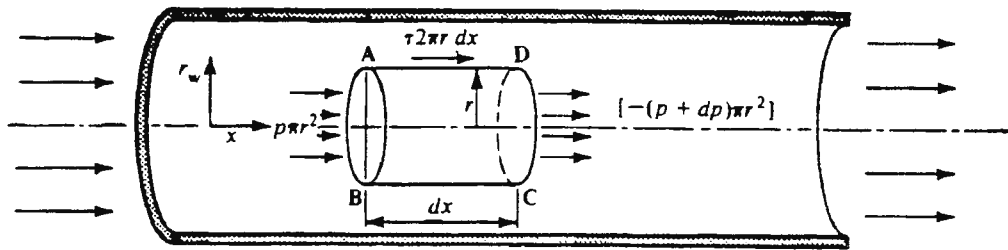


Figura 1-13 Volumen de control para flujo laminar en tubos

El objeto de mostrar en la figura el volumen de control, es para poder deducir de aquí la ecuación específica de la caída de presión, como sigue:

Considérese el flujo laminar de un fluido a través de un tubo de radio interno  $r_w$ .

Suponga que  $p$  representa la presión en un punto cualquiera del fluido y que  $u$  es la velocidad del fluido en la dirección  $x$  en un radio  $r$ . Después de determinar la distribución de velocidades, se evalúa el esfuerzo cortante en la pared,  $\tau$ , el cual a su vez, se puede utilizar para calcular la caída de presión a lo largo de la distancia dada en el sentido de la corriente,  $L$ .

donde:

$f$  = factor de fricción

$L$  = longitud del tubo entre los puntos 1 y 2.

$D$  = diámetro del tubo

$\rho$  = densidad del flujo

$u_{\text{promedio}}$  = velocidad promedio del tubo

$f = 64/\text{Re}$

Y la potencia de bombeo requerida para mantener el flujo está dada por:

$$\text{potencia} = m = \left( \frac{\Delta p}{\rho} \right)$$

### 2.6.2.2 FLUJO TURBULENTO EN TUBOS

El análisis del flujo turbulento es más complicado el de flujo laminar, pero en la aplicación práctica es el que más interesa y el que más interesa probar en el equipo de estudio. Partiendo del estudio de un tubo, se tienen tres diferentes zonas. Cerca de la pared de este, el flujo es esencialmente laminar. A esta región se le denomina *subcapa viscosa*. Para agua fluyendo a través de un tubo, en la región adyacente al eje del tubo, existe una región que si es completamente turbulenta, denominada *núcleo de la turbulencia*. La región que separa la subcapa viscosa de el núcleo de turbulencia se llama *zona de amortiguamiento*.

En el flujo turbulento, la caída de presión que ocurre en tubos suaves o ásperos se calcula mejor con ayuda de la ecuación  $f = \frac{P_1 - P_2}{(\rho u_{\text{promedio}} / 2g_c)(L / D)}$ , junto con los factores de fricción dados por el Diagrama de Moody (Ver figura 1-19). Este diagrama de Moody da factores de fricción para todos los valores de los números de Reynolds que se encuentran en la práctica y para todos los grados prácticos de aspereza medidos según el parámetro sin dimensiones ( $e/D$ ).

## **2.7 PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA.**

La teoría presentada anteriormente abarca la transferencia de calor de tres tipos de sistemas de intercambio de calor, los cuales son:

- (a) El tipo de intercambiador convencional de Transferencia Directa, en el cual los dos fluidos intercambiando energía térmica están separados por una superficie de transferencia de calor.
- (b) El tipo de intercambiador de Transferencia de calor indirecta a través de un líquido, el cual consiste esencialmente en dos unidades de transferencia conectados con un medio líquido para transferencia de calor bombeado de una unidad hacia la otra. El fluido para la transferencia circula entre el intercambiador de fluido caliente donde la energía térmica es recogida, y el intercambiador de fluido frío, donde la energía térmica es usada para calentar el fluido frío. El sistema convencional de enfriamiento del bloque de un motor a través de un radiador enfriado por aire, es un ejemplo común de intercambiador de calor de transferencia indirecta acoplado por medio de un líquido; en este caso, el calor es transferido indirectamente de los productos de la combustión a la corriente de aire de enfriamiento.

La metodología de arribar a un diseño óptimo de intercambiador de calor es compleja, no solo por la aritmética involucrada, sino particularmente por los muchos juicios cualitativos que deben ser introducidos. Para ilustrar el procedimiento de diseño en una forma esquemática se reproduce la figura 1-14.

Las entradas de información para el procedimiento de diseño incluyen junto a la declaración del problema o especificaciones, las características de diseño de transferencia de calor en la superficie e información sobre la fricción en el flujo y propiedades físicas.

La declaración del problema puede especificar una consideración de diferentes tipos de intercambiadores, como por ejemplo intercambiadores de flujo periódico y transferencia directa de calor.

El procedimiento de la teoría de diseño permite obtener una o varias soluciones óptimas, algunas de estas soluciones óptimas junto a criterios de evaluación son las entradas para el procedimiento de evaluación.

El procedimiento de evaluación es en gran medida cualitativo, dependerá de criterios de evaluación tales como consideración la caída de presión, dimensiones, peso, eficiencia, costos de materiales, propósitos a cubrir, etc.

A continuación se muestran tres factores importantes de acuerdo a las ventajas que presentan y objetivos que ayudarán a alcanzar en el diseño del equipo.

### 2.7.1 PARÁMETROS RELACIONADOS A LA EFICIENCIA DE TRANSFERENCIA DE CALOR.

TABLA 1-4

PARAMETRO	DESCRIPCIÓN
U	Coeficiente Global de Transferencia de Calor
A	Area de Superficie sobre la cual se basa U
$t_{h \text{ entrada}}$	Temperaturas terminales para el fluido frío
$t_{h \text{ salida}}$	
$t_{c \text{ entrada}}$	Temperaturas terminales para el fluido caliente
$t_{c \text{ salida}}$	
$C_h$ ( $m C_{p,h}$ )	producto del flujo de masa por el calor específico del fluido caliente
$C_c$ ( $m C_{p,c}$ )	producto del flujo de masa por el calor específico para el fluido frío
Arreglo de los flujos	Flujo paralelo, contraflujo flujo contracorriente, paralelo contracorriente o combinaciones de estos arreglos básicos

La ecuación de la tasa de transferencia de calor debe ser combinada con una ecuación de balance de energía igualando la pérdida de entalpía de el fluido caliente y la ganancia de entalpía del fluido frío, a manera de relacionar las variables listadas al comienzo de esta discusión. Estas variables son muy numerosas para permitir rápidamente una descripción gráfica de su relación. Sin embargo pueden ser reunidas en un grupo mas pequeño de parámetros adimensionales lo cual permite tal representación. Los agrupamientos adimensionales seleccionados como los más convenientes y que poseen el significado físico mas rápidamente visualizado se definen a continuación.

### 2.7.1.1 EFECTIVIDAD DE TRANSFERENCIA DE CALOR E.

$$\frac{q}{q_{max}} = \frac{C_c(t_{h,entrada} - t_{h,salida})}{C_{min}(t_{h,entrada} - t_{c,salida})} = \frac{C_c(t_{c,salida} - t_{c,entrada})}{C_{min}(t_{h,entrada} - t_{c,salida})} = \varepsilon \quad (1.34)$$

### 2.7.1.2 NÚMERO DE UNIDADES DE TRANSFERENCIA.

$$\frac{AU_{av}}{C_{min}} = NUT \quad (1.35)$$

### 2.7.1.3 RAZÓN DE CAPACIDAD.

$$\frac{C_{min}}{C_{max}} \quad (1.36)$$

donde  $C_{min}$  y  $C_{max}$  son, respectivamente, la magnitud mas pequeña y mas grande de  $C_h$  y  $C_c$ .

Estos parámetros son útiles tanto como para permitir representar en forma gráfica el desempeño, sino además poseen inmediatamente un significado físico. La

efectividad  $\varepsilon$  compara la tasa actual de transferencia de calor,  $q$ , a el máximo calor posible limitado termodinámicamente que podría ser alcanzado únicamente en un intercambiador de calor a contra flujo con un área de transferencia infinita. Así  $\varepsilon$  representa la efectividad del intercambiador desde un punto de vista termodinámico.

El número de unidades de transferencia NUT es una expresión adimensional de el volumen de la transferencia de calor del intercambiador, si se realiza la gráfica de efectividad  $\varepsilon$  contra el valor de NUT para una razón de capacidad dada, se nota que cuando el NUT es pequeño la efectividad es baja, y cuando el NUT es grande la efectividad  $\varepsilon$  se acerca asintóticamente a el límite impuesto por el arreglo del flujo y las consideraciones termodinámicas. La forma en que el área de la transferencia de calor y el coeficiente global de transferencia  $U$  se introducen en la expresión de NUT enfatiza los costos de obtener un valor grande de NUT y por ende alta efectividad, en términos de capital, espacio, y peso para el área de transferencia  $A$ , o en términos de un requerimiento de potencia para vencer la fricción del flujo y así obtener resistencias de película bajas y un valor alto de  $U$ .

El tercer parámetro adimensional, la tasa de capacidad es simplemente la razón de los productos de flujo de masa por los calores específicos de cada una de las corrientes. Estos productos pueden ser considerados como la tasa de capacidad térmica de las corrientes, por ejemplo el almacenamiento de energía en la corriente por unidad de cambio de temperatura.

La efectividad del intercambiador se puede representar en función de los parámetros Número de Unidades de Transferencia y Razón de capacidad en conjunto con el arreglo del flujo según la relación siguiente:

$$\varepsilon = \phi\left(NUT, \frac{C_{min}}{C_{max}}, \text{arreglodeflujo}\right) \quad (1.36)$$

### 2.7.1.4 TEMPERATURA MEDIA LOGARÍTMICA.

La relación convencionalmente usada en el diseño de intercambiadores de calor es la que involucra la diferencia de temperatura media logarítmica de los dos fluidos calculada como para el caso de contraflujo.

$$q = UAF_c \Delta T_{media,log} \quad (1.37)$$

Si el intercambiador es realmente una unidad a contraflujo el factor adimensional  $F_c$  es igual a 1. Para otros tipos de arreglo de flujos el factor  $F_c$  es menor a 1. Este factor a sido calculado para una variedad de arreglos de flujo y representado en forma gráfica como una función de las temperaturas terminales del intercambiador de acuerdo con los parámetros  $X$  y  $Z$ .

Un examen de las expresiones de  $X$  y de  $Z$  mostradas en la figura 1-15 lleva a la conclusión que

$$X = \varepsilon \quad \text{para} \quad C_c = C_{min} \quad \text{y} \quad X = \varepsilon \left( \frac{C_h}{C_c} \right) \quad \text{para} \quad C_h = C_{min}$$

$$Z = \frac{C_c}{C_h} \quad \text{ya sea} \quad \frac{C_c = C_{min}}{C_h = C_{max}} \quad \text{o} \quad \frac{C_c = C_{max}}{C_h = C_{min}} \quad (1.38)$$

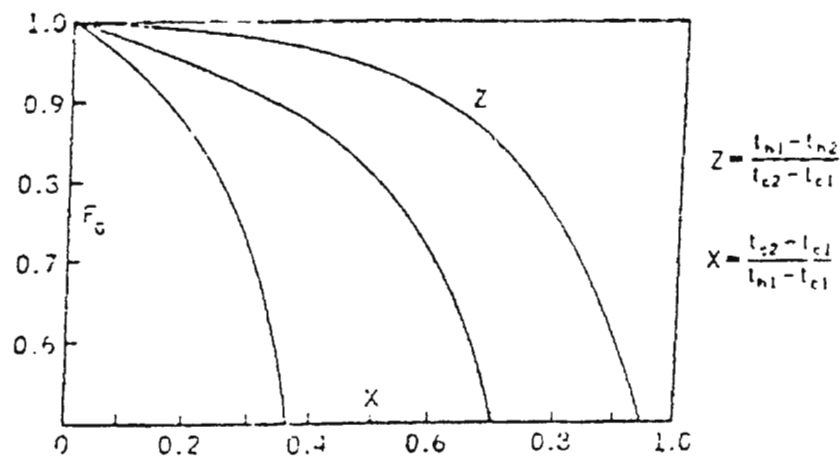


Figura 1-15. Relación entre parámetros  $X$  y  $Z$  para la efectividad térmica del intercambiador

Es por esto que se afirma que hay correspondencia de uno a uno con el enfoque de efectividad térmica y se puede afirmar que ambos enfoques son efectivos para calcular el conjunto de parámetros que definen el comportamiento del intercambiador, aunque se prefiere el enfoque de la efectividad y el Numero de Unidades de Transferencia por las razones siguientes:

a) La efectividad es un parámetro del comportamiento global simplemente definido, que tiene un significado termodinámico como un factor de eficiencia, por lo tanto será una variable dependiente.

b) La ecuación de calor que involucra la diferencia de temperatura media logarítmica desvía la noción de lo que esta involucrado en la teoría de diseño, debido a la implicación de que solo una ecuación es requerida. En realidad ambos la ecuación de flujo de calor y los principios de balance de energía están involucrados pero los últimos ocultos en el factor  $F_g$ .

c) El enfoque de efectividad y número de unidades de transferencia simplifica el álgebra involucrada en la predicción del comportamiento de arreglos complejos de flujo.

d) La comparación entre los procedimientos al resolver el mismo problema demuestra que la ecuación de diferencia de temperatura media logarítmica requiere aproximaciones sucesivas.

### ***2.7.2 EFECTOS QUE INFLUYEN EN EL DESEMPEÑO DE LOS INTERCAMBIADORES DE CALOR.***

El diseño de los intercambiadores de calor debe considerar una serie de efectos que pueden presentarse los cuales influyen sobre el comportamiento esperado del intercambiador de calor. Estos efectos pueden ser resultado del comportamiento real del intercambiador, variaciones en el régimen de flujo, variación de las propiedades del flujo, etc.

Sería imposible abarcar a plenitud todos estos efectos, así que a continuación se muestra una breve reseña de cada uno de los más frecuentes:

### **2.7.2.1 EFECTO DE LA CONDUCCIÓN LONGITUDINAL EN INTERCAMBIADORES DE CALOR.**

La teoría de diseño presentada esta basada en la idealización de que no existe conducción longitudinal ( en la dirección del flujo ), ya sea en la pared sólida o en el fluido. Los fluidos generalmente tienen una conductividad térmica baja ( excepto los metales líquidos ), pero la conductividad de la pared puede ser más bien alta. En consecuencia, únicamente se considera la conducción en la pared. La influencia de la conducción longitudinal es reducir la efectividad del intercambiador un número dado de unidades de transferencia, y esta reducción puede ser más bien seria en intercambiadores con longitudes cortas de flujo diseñados para un efectividad alta ( $\epsilon > 90\%$ )<sup>11</sup>

### **2.7.2.2 EFECTO DE PROPIEDADES DE FLUIDO DEPENDIENTES DE LA TEMPERATURA.**

En la aplicación de características básicas de transferencia de calor y fricción del flujo a el diseño de intercambiadores de Calor donde las diferencias de temperaturas entre los fluidos y la superficie son grandes, se debe considerar el hecho de que las propiedades de transporte del fluido viscosidad, densidad y conductividad térmica pueden variar considerablemente con la temperatura. La variación de éstas propiedades distorsionan los perfiles de velocidad y temperatura, y se presenta la incógnita de que temperatura usar en la evaluación de las propiedades del fluido.

---

<sup>11</sup> "Compact Heat Exchangers". Editorial Mc Graw Hill. 1975

Los problemas de variación de propiedades para gases y líquidos difieren substancialmente, para los gases la conductividad térmica, viscosidad y densidad varían con la temperatura en un grado considerable. En el caso de los líquidos la única propiedad que es altamente dependiente de la temperatura es la viscosidad, pero la viscosidad típicamente varía más con la temperatura que todas las propiedades de un gas.

### *2.7.2.3 RESPUESTA TRANSITORIA DE LOS INTERCAMBIADORES DE CALOR.*

En un intercambiador de calor la respuesta de la temperatura de salida de un fluido a un cambio en la temperatura de entrada del fluido no es instantánea. El retraso es influenciado por la capacitancia térmica de los fluidos y de la pared sólida, así como también por las resistencias al flujo de calor. Por ejemplo la respuesta del comportamiento de los intercambiadores de calor de una planta generadora de turbina de gas es de particular interés para el diseñador del sistema de control de combustible, porque la potencia de salida de eje es influenciada por el retraso introducido por los intercambiadores. En plantas de proceso y sistemas de aire acondicionado, así como en plantas de potencia, la respuesta transitoria de el intercambiador de calor es necesitada por el ingeniero de control.

En esta breve exposición se destacó el proceso de diseño para un intercambiador de calor de tipo directo, los parámetros de eficiencia a considerar para evaluar su desempeño, una comparación cualitativa de los mismos y los posibles efectos que se pueden presentar debido a la longitud de los tubos, variación de propiedades de flujo por la temperatura y la importancia de la respuesta transitoria para ciertas aplicaciones.

### *2.7.3 CÁLCULO DE CAÍDAS DE PRESIÓN.*

En forma general se puede afirmar que la determinación de la caída de presión en ambas corrientes de flujo a través del intercambiador de calor de tipo paralelo, dependerá

de tres variables como son: propiedades físicas de los flujos ( densidad, viscosidad, calor específico a presión constante, en este caso, la del agua ), arreglo o disposición de los tubos ( número de pasos, perfil del tubo, rugosidad de las paredes, etc ), dimensiones de los tubos y régimen de flujo (laminar o turbulento).

El cálculo de caídas de presión para un intercambiador dependerá de el tipo de intercambiador que se considere en particular, aquí no se detalla el cálculo en general, aunque se expondrá posteriormente para el tipo de intercambiador que se pretende diseñar, los flujos seleccionados y las dimensiones de tubo seleccionados.

El cálculo se realiza en base a la selección de material para las tuberías, los diferentes parámetros para el fluido (agua) y las restricciones de diseño que se mencionarán posteriormente.

#### **2.7.4 RESTRICCIONES DE DISEÑO.**

Las únicas restricciones de diseño existentes son las siguientes:

- a) La diferencia de temperatura entre la entrada y la salida del intercambiador para el flujo de agua debe ser observable, es decir de un orden de magnitud apreciable con un instrumento standard para medición de temperatura.
  
- b) El régimen de flujo en ambas corrientes, aunque llegará a ser turbulento, se tomará como mínimo un Número de Reynolds igual a 2300.
  
- c) Las dimensiones del intercambiador y en general del equipo completo deben ser tales que permitan la operación del equipo libremente, además de permitir su traslado.

Además de las restricciones descritas se deben tomar en cuenta las siguientes condiciones:

- a) El flujo de agua de enfriamiento se tomará de la distribución de agua potable que realiza la Administración Nacional de Acueductos y Alcantarillados, de esta manera el

caudal y la presión que son entregados será medido en forma experimental y utilizado en el cálculo como el flujo disponible.

b) El material de la tubería a emplear deberá tener un valor de conductividad térmica elevado de manera que la resistencia térmica por conducción que se presente en la pared de los tubos no sea tan grande.

### 2.7.5 SELECCIÓN DE MATERIAL PARA LOS TUBOS.

Como se mencionó con anterioridad se desea seleccionar el material de los tubos del intercambiador de manera tal que éste tenga un alto valor de conductividad térmica. Se ha seleccionado usar tubos de Cobre, material que tiene un valor elevado de conductividad térmica y costo menor al de otros materiales con valores similares de la propiedad antes mencionada, por ejemplo la plata y el aluminio.<sup>12</sup>

Específicamente se va a usar tubería de cobre tipo K la cual es utilizada para aplicaciones de plomería. Los diámetros disponibles, el espesor de pared de tubo y el peso por unidad de longitud se toman de acuerdo con valores proporcionados por American Brass Co.<sup>13</sup>

### 2.7.6 DESARROLLO DE CÁLCULO DE DIMENSIONES.

El cálculo de dimensiones para el intercambiador de calor se ha seccionado en tres etapas, que son:

1. Cálculo para selección de diámetro de tubo interior (flujo en tubo, sección circular).
2. Cálculo para selección de diámetro de tubo exterior (flujo en espacio de sección anular).
3. Cálculo de efectividad para el arreglo de tubos ( efectividad del intercambiador ).

En forma global el cálculo se desarrolla a partir de las siguientes suposiciones:

---

<sup>12</sup>J.P. Holman. "Transferencia de Calor". Editorial CECSA. México. 1987.

<sup>13</sup>Marks. Avallone. "Marks Manual del Ingeniero Mecánico". 8 a. edición. McGraw Hill. México. 1992.

1. La disposición de las corrientes de flujo será tanto paralelo como cruzado (contracorriente).
2. El perfil de velocidad y de temperatura de ambos flujos se considera completamente desarrollado y los flujos estables.
3. Propiedades del líquido (agua) evaluadas a temperatura ambiente para el agua fría y a 80 °C para el agua caliente, ambos a presión atmosférica.
4. La transferencia de calor por unidad de área de tubo será constante.

#### *2.7.6.1 CÁLCULO DE DIMENSIONES DE TUBO INTERIOR.*

El método seguido para la selección del diámetro de tubo interior se basa en el comportamiento que presentaría el flujo de agua al cambiar la velocidad de la corriente y el diámetro de tubo manteniendo constante la diferencia de temperatura deseada y la longitud del tubo, la selección se hace de acuerdo con el valor de coeficiente de transferencia de calor por convección que se obtiene como resultado al combinar las propiedades del flujo y el diámetro del tubo.

Para la selección del diámetro de tubo por el cual se hará circular el flujo de agua caliente, se asume un valor de temperatura de entrada al intercambiador de 80 °C como máximo aproximadamente, la cual se considera de una magnitud apreciable comparado con la temperatura ambiente, además se asume que el agua al pasar por el intercambiador sufrirá una disminución de temperatura de 15 °C, es decir se tendrá una temperatura de 65 °C al salir del intercambiador.

#### *2.7.6.2 CÁLCULO DE DIMENSIONES DE TUBO EXTERIOR.*

El régimen de flujo y la transferencia de calor que se lleva a cabo en el flujo de agua de enfriamiento depende de varios elementos entre ellos: la cantidad de calor que se transfiere desde el flujo de agua caliente, las propiedades del agua de enfriamiento a la entrada del intercambiador, la dimensión seleccionada para el diámetro del tubo interior y la dimensión seleccionada para el diámetro de tubo exterior, que define el espacio anular

en el que fluirá el agua de enfriamiento. En la figura 1-15 se muestra la sección transversal del arreglo de tubos y los coeficientes de película de las corrientes de flujo a ambos lados del tubo interior, de esta figura se muestra que el espacio en el cual fluye el agua de enfriamiento depende directamente del diámetro del tubo interior y el espesor de pared del tubo.

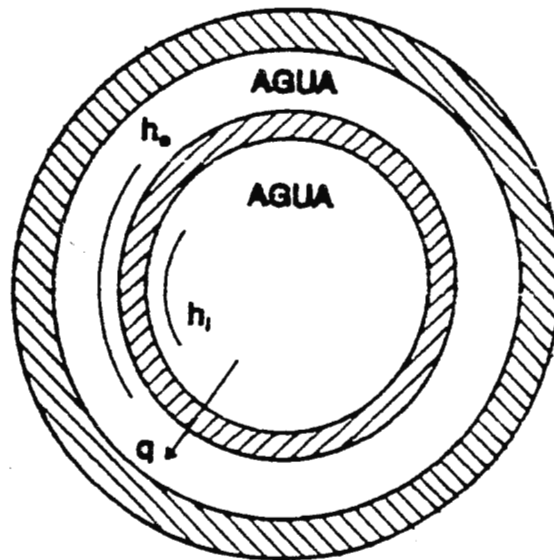


Figura 1-15

El procedimiento usado para la selección de diámetro de tubo exterior se realiza tomando como entrada la siguiente información:

1. El valor de diámetro de tubo seleccionado para el flujo de agua caliente y su espesor de pared
2. Las propiedades para el agua de enfriamiento a temperatura ambiente ( 27 °C ).
3. La cantidad de calor transferida para la combinación del diámetro de tubo seleccionado y el valor más alto de Número de Reynolds para el flujo interior.

El cálculo se realiza en base a la máxima cantidad de calor transferido, la cual corresponde a el número de Reynolds de 4000 para el flujo de agua caliente. Para seleccionar el diámetro del tubo exterior, se calcula lo que sigue:

1. Determinación de las propiedades del agua a temperatura ambiente, a excepción del caudal de agua todos los datos se obtienen de tablas a una temperatura de 27°C, el caudal de agua se mide en forma experimental del servicio de agua potable, realizando varias

veces mediciones de tiempo para el llenado de un volumen conocido y obteniendo un valor promedio.

2. A partir del diámetro y espesor de pared de tubo seleccionado para el flujo de agua caliente calcular el área de sección transversal del espacio anular para el flujo de agua fría, suponiendo un valor de diámetro para el tubo exterior, los valores usados para la prueba son: 3/4, 1, y 1.25 pulgadas.

3. Cálculo del diámetro equivalente de la sección transversal anular para el flujo de agua.

4. Cálculo del número de Reynolds a partir de la velocidad que se obtiene como el cociente de la división entre el caudal de agua y el área de sección transversal, esto se hace para verificar que el régimen de flujo pueda lograrse hasta ser turbulento.

5. Cálculo del flujo de masa como el producto del caudal promedio de agua y la densidad del agua.

6. Determinación de la temperatura de salida para el agua de enfriamiento.

7. Determinación del número de Nusselt local para la relación entre el diámetro menor y mayor de la sección anular, a partir de gráfica de resultados todos experimentales.

8. Evaluación del coeficiente de transferencia de calor obtenido a partir del Número de Nusselt, la diferencia de temperatura y la conductividad térmica del agua.

9. Selección del diámetro de tubo exterior basándose en el mayor valor obtenido para el coeficiente de transferencia de calor al realizar la evaluación para cada uno de los tres diámetros de tubo.

Todo ese procedimiento a seguir se lleva a cabo para el valor más grande de calor transferido desde el flujo de agua caliente, este valor ocurre para un número de Reynolds de 2300 en combinación con un diámetro de tubo de 1/2 pulgada, así se utilizan como datos fijos para la realización del cálculo la cantidad de calor transferido, el diámetro de tubo de 1/2 pulgada con su respectivo espesor de pared y las propiedades del agua a temperatura ambiente.

Las propiedades para el agua de enfriamiento se asumen a temperatura ambiente ( 27 grados centígrados ) y se obtienen para agua fresca dulce, de las tablas del Manual de el Ingeniero Mecánico, como se muestra en la TABLA 1-5.

El valor del caudal de agua de enfriamiento a usar no se incluye en la tabla anterior, ya que este se obtuvo de forma experimental, al realizar cinco veces la medición del tiempo que transcurre al llenar un recipiente de volumen conocido ( 1 galón ) con el flujo disponible de la distribución de agua potable y obtener un valor promedio ( 22.5 seg ), el valor de caudal se obtiene al dividir el valor de volumen conocido entre el valor promedio de tiempo, el valor resultante es  $1.682 \times 10^{-4} \text{ mt}^3/\text{seg}$ . Tomando en cuenta las variaciones que puedan haber en el suministro de agua se decidió usar el valor medio del caudal de agua obtenido esto es  $8.412 \times 10^{-5} \text{ mt}^3/\text{seg}$ .

TABLA 1-5. Propiedades de Agua a la temperatura Ambiente.

PROPIEDAD	MAGNITUD
Calor específico a presión constante	4.17 KJ / Kg - °C
Densidad	995.74 Kg / mt <sup>3</sup>
Conductividad Térmica	6.6145 Watts / mt - °C
Número de Prandtl	5.81
Viscosidad Dinámica	$8.54 \times 10^{-6} \text{ mt}^2 / \text{seg}$
Viscosidad Absoluta	$8.5435 \times 10^{-4} \text{ Kg - mt} / \text{seg}$

El diámetro a seleccionar para el tubo exterior es aquel que al realizar los pasos anteriores, reporte **el mayor valor de coeficiente de transferencia de calor**, el cálculo se ha realizado utilizando tres valores posibles de diámetro.

A manera de resumen las dimensiones obtenidas para el arreglo de tubos de acuerdo a las operaciones anteriores se presentan en la tabla 1-6.

TABLA 1-6. Dimensiones para el arreglo de Tubos.

DESCRIPCION	MAGNITUD
Tubería interior para flujo de agua caliente	Diámetro interior 0.43" Diámetro exterior 0.465" Espesor de la pared 0.035"
Tubería exterior de agua de enfriamiento	Diámetro interior 1.5"
Longitud de los tubos	1300 milímetros

### 2.7.6.3 CÁLCULO DEL COEFICIENTE GLOBAL DE TRANSFERENCIA DE CALOR.

Las dimensiones resultantes del cálculo se obtienen para el menor número de Reynolds posible en el flujo de agua caliente ( tubo interior ) es decir 2300, para las cuales existe un valor específico de transferencia de calor por convección. El coeficiente global de transferencia de calor para el arreglo de tubos resultante, se calcula evaluando la resistencia térmica de la pared del tubo interior con un valor para la conductividad térmica del material, sustituyendo valores en la ecuación la cual considera el valor del coeficiente global de transferencia en el área de la superficies interior del tubo por el cual fluye el agua caliente.

Los elementos mencionados en la descripción anterior del equipo, clasificados de acuerdo a la finalidad para la cual han sido escogidos, pueden ahora ser descritos de manera específica y real de acuerdo al diseño y como irán ya en la construcción final del equipo, y son:

## **2.7.7 DESCRIPCIÓN DE TANQUE PARA EL AGUA Y ARREGLOS DE TUBOS.**

### **2.7.7.1 TANQUE PRINCIPAL**

Es el reservorio para el volumen de agua caliente que circulará por el circuito, de manera tal que sea calentado en su interior por medio de un calentador eléctrico, ser succionado por la bomba para circular por todo del circuito, derivar una porción del flujo por la tubería destinada para retorno la cual lo devuelve al tanque y a la vez fluir por el tramo de tubo destinado para el intercambio de calor para ser devuelto al tanque a través del volumen de prueba.

El volumen del tanque ha sido calculado de manera tal que éste permita tener un volumen disponible de agua mientras opera la bomba y se impulsa la circulación del agua, esto es necesario para evitar fricción en el impulsor de la bomba, si llegara en determinado momento a secarse.

La capacidad del tanque ha sido calculada para 1 galón de agua caliente, es un recipiente de polypropileno con las medidas 10 cms de frente, 20 cms de profundidad. Además es necesario elevar el tanque 100 centímetros sobre la base para obtener una altura de nivel de liquido favorable sobre la toma de succión de la bomba.

Además en el existen dos agujeros, uno de ellos destinado a la conexión de la toma de el propio intercambiador de calor y el otro para la conexión de la tubería de recirculación, también en el costado derecho existe un agujero, uno de ellos para el montaje del calentador eléctrico.

El tanque posee una abertura que servirá como orificio de drenaje que se encuentra en su parte superior, que servirá también para el cambio de agua del depósito.

Los tubos seleccionados para el arreglo son de cobre, esto permite obtener ciertas ventajas de acuerdo con la finalidad del equipo. Según se observa en el diseño no se usan codos a 90° para cambiar la dirección del flujo, sino dobleces del tubo en la dirección deseada, esto es posible por la maleabilidad del material escogido.

## **2.7.7.2 ARREGLO DE TUBERÍAS Y CIRCUITO DEL INTERCAMBIADOR**

### **2.7.7.2.1 CARACTERÍSTICAS DEL TUBO DE COBRE.**

El tubo de cobre usado para el arreglo es considerado como tubo especial tipo K el cual es destinado para aplicaciones de tubería en aplicaciones de aire comprimido, control hidráulico de maquinaria, quemadores domésticos de petróleo y sistemas de calefacción y obras de plomería.

Este tubo se vende en longitudes rectas de 12 y 20 pies ( 3.7 y 6.1 metros ) o en rollo de 100 pies ( 30.5 metros ). El cobre se deteriora rápidamente a alta temperatura y bajo esfuerzos repetidos. A una temperatura de 362 °F ( 182 °C ), su resistencia se reduce en 15 %, por lo cual no deberá emplearse en altas temperaturas y presiones. Las características del tubo que se usa para el arreglo se muestran en la tabla 1-7.

### **2.7.7.2.2 ACCESORIOS PARA TUBO DE COBRE.**

Para hacer los respectivos virajes de dirección del flujo de agua caliente y enfriada, se utilizarán dobleces hechos en el propio material de cobre. Dos uniones en "T" para la derivación del flujo a los medidores (rotámetros) son accesorios de latón con uniones soldables con dimensiones normalizadas del Instituto Nacional Americano de Estándares (ANSI), las dimensiones en pulgadas de los accesorios para diferentes tamaños nominales de tubo se encuentran disponibles bajo la norma ANSI B16.18-1972. En el arreglo de tubos mostrado las uniones de los tubos a los accesorios se hacen por medio de uniones roscadas.

El sistema americano de rosca para tubos se clasifica de acuerdo al tipo de unión que se desea obtener y su designación o abreviación lo específica, se encuentran disponibles los siguientes tipos de juntas: a) Hermética a presión con sellador, b) hermética a presión sin sellador, c) de ajuste suelto o flojo y d) de ajuste libre, las dimensiones de los perfiles, tipo de ajuste y designación se resumen en el Anexo 6.

TABLA 1-7. Características tubo de cobre tipo K.<sup>14</sup>

CARACTERISTICA	MAGNITUD
Tamaño Nominal	0.5 de pulgada (12.7 mm)
Diámetro Interior	0.527 pulgadas (13.38 mm)
Diámetro Exterior	0.625 pulgadas (15.87 mm)
Masa del tubo	0.344 libras/pie(0.509 kg/mt)
Espesor de la pared	0.049 pulgadas (1.24 mm)

### 2.7.7.3 ARREGLO DE TUBOS PARA FLUJO DE AGUA.

Según la figura A que muestra el conjunto del equipo se observa que se dispone un arreglo de tubería para hacer fluir agua sobre la longitud de tubo de cobre que hace las veces de tubo interior en un intercambiador de calor de doble tubo. Este arreglo de tubería en conjunto con 2 mangueras permite tomar agua desde la distribución local y conducirla a través de un elemento medidor de flujo de baja presión, el cual cuenta con una válvula de control para monitorear la descarga a través del tubo exterior. Se dispone un arreglo de tubo que consiste en una longitud lineal que hace las veces de el tubo exterior de un intercambiador de calor de doble tubo. Se hace uso de mangueras para cambiar la dirección del flujo al salir del rotámetro, esto se hace de manera tal que sea posible intercambiar la alimentación del flujo a el arreglo de tubos y obtener el efecto de intercambio de calor en flujo paralelo y en contracorriente.

#### 2.7.7.3.1 CARACTERÍSTICAS DE TUBO DE C.P.V.C.

Los tubos destinados para el flujo de agua fría conducido a través de la pared del tubo de cobre se han seleccionado de las dimensiones disponibles de tubo de C.P.V.C ( Chlorinated Poly Vinyl Chloride ) y sus accesorios, aunque en una primera instancia se

<sup>14</sup> Tomado del Manual del Ingeniero Mecánico, editorial McGraw Hill, México, 1992. Volumen III, pág. 8-189

seleccionaron tubos de cobre, los tubos de C.P.V.C. presentan ventajas sobre los tubos de cobre que se enumeran a continuación:

1. El tubo de C.P.V.C es más liviano que el tubo de cobre por unidad de longitud en las dimensiones de diámetro correspondientes.
2. El tubo de C.P.V.C es un buen aislante del calor por lo cual se podría afirmar que el flujo de calor desde el agua de enfriamiento hacia el ambiente a través de la pared del tubo será menor al flujo de calor existente a través de la pared de un tubo de cobre.
3. La pared del tubo de C.P.V.C se puede considerar como lisa, ya que la caída de presión del flujo a través del tubo no es muy relevante, pues el hecho de que la pared sea lisa favorece a que no se adhieran elementos extraños a la superficie de tubo.

Los productos de C.P.V.C se encuentran cubiertos por la especificación estándar de la Sociedad Americana de Prueba de Materiales ( American Society of Testing of Materials ), la cual se identifica por ASTN F 441 - 77, esta especificación cubre tubería elaborada en tamaños especificados por cédula 40 y 80, clasificado de acuerdo a presión destinada para agua, el estándar incluye criterios para clasificar materiales plásticos C.P.V.C. y tubería plástica de C.P.V.C., requerimientos, métodos de prueba para materiales, manufactura, dimensiones, presión sostenida, presión de rotura, resistencia química y calidad de extrusión ( Ver Anexo 1).

De la información presentada por el estándar se hace referencia a las dimensiones especificadas para los tubos de cédula 80. Las dimensiones para el diámetro nominal de 1 1/2 de pulgada se resumen en la tabla siguiente:

TABLA 1-8. Dimensiones de Tubo CPVC, cédula 80.

CARACTERISTICA	MAGNITUD
Tamaño Nominal	1 ½ pulgada
Diámetro Interior	1.7488 pulgadas
Diámetro Exterior	1.9 pulgadas
Espesor de la Pared	0.1512 pulgadas

### 2.7.7.3.2 CARACTERÍSTICAS DE ACCESORIOS DE TUBERÍA DE C.P.V.C.

Los accesorios a utilizar para el arreglo de tubo de C.P.V.C. pueden ser de dos tipos de acuerdo con la cédula de los tubos, y pueden ser acoplados por medio de juntas roscadas o por medio de juntas unidas con cemento de contacto, se prefieren los accesorios de este tipo de unión pegada sobre los accesorios de unión roscada por la facilidad de obtener la unión de los tubos a los accesorios, aunque para nuestro caso, se hacen por medio de juntas roscadas.

Al igual que los tubos de C.P.V.C. los accesorios están cubiertos por norma estándar del American Society of Testing of Materials, la norma regula manufactura, dimensiones, presión sostenida, presión de rotura, resistencia química y calidad de extrusión.

Específicamente la norma que regula los accesorios para tubería de C.P.V.C. de cédula 80 es la norma ASTM F 439 - 77, esta norma cubre aquellos accesorios que se obtienen por moldeo y extrusión. Las dimensiones mínimas admisibles para los accesorios de C.P.V.C. de cédula 80, de acuerdo al diámetro de tubo se muestran en el Anexo 1.

## **2.7.8 INSTRUMENTOS DE MEDICIÓN**

### **2.7.8.1 ELEMENTOS PARA MEDICIÓN DE LA TEMPERATURA.**

Para la evaluación de la transferencia de calor en el intercambiador de calor es necesario conocer las temperaturas terminales a la entrada y a la salida de las corrientes de flujo de agua fría y caliente, esto permite realizar el cálculo de la cantidad de calor transferido. Además es necesario medir la temperatura del agua en el tanque de manera tal que un controlador de temperatura pueda controlar el funcionamiento del calentador para mantener el agua a un valor de temperatura constante.

#### **2.7.8.1.1 MONITOR DE TEMPERATURA.**

Para la medición de las temperaturas se utilizará un medidor electrónico digital de temperatura ( ver Anexo 2) que funciona en base a un circuito medidor de fuerza electromotriz del rango producido por un elemento sensor termoelectrónico ( termocupla ), la señal recibida por el circuito es evaluada contra una junta de referencia y su valor transformado en forma analógica a unidades de temperatura, mostrando el valor en una pantalla de diodos led.

Al sustituir los termómetros convencionales de columna por el medidor de temperatura se obtienen las ventajas siguientes:

- \* Velocidad de respuesta elevada, el intervalo de equilibrio para un sensor de termocupla es aproximadamente 9 segundos.
- \* Facilidad de medición de temperatura en puntos localizados en diferentes posiciones con el mismo aparato.
- \* Amplio rango de temperaturas posible.

Las especificaciones del panel medidor de temperatura escogido para el equipo son: Un margen de error de 0.5 °C, una exactitud de 0.1 grados, funcionando a una temperatura máxima de 0 a 50 °C, 110 VAC.

### 2.7.8.1.2 TERMOCUPLAS.

#### 2.7.8.1.2.1 DESCRIPCIÓN DE LAS TERMOCUPLAS.

Las termocuplas son dispositivos para medición de la temperatura los cuales se basan en el efecto de Seebeck según el cual una corriente eléctrica fluye en un circuito continuo formado por líneas de alambres de metales disimilares, si las uniones entre los dos metales se encuentran a diferentes temperaturas. Una termocupla es un elemento comúnmente usado en la industria para la medición de temperatura porque es simple y de bajo costo, y porque combinaciones de materiales de termocuplas se han desarrollado para su uso en amplios rangos de temperatura. Un circuito simple de termocupla se muestra en la figura 1-16.

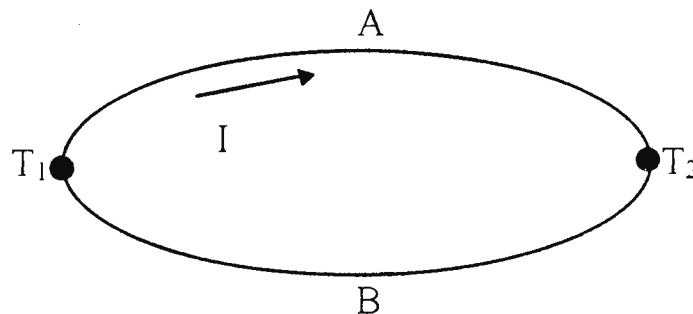


Figura 1-16 Circuito simple de Termocupla.

La corriente termoeléctrica  $I$  fluye en el circuito cuando las uniones se encuentran a las temperaturas  $T_1$  y  $T_2$  respectivamente. Si  $T_1$  es la unión más fría y la corriente fluye en la dirección mostrada, A se considera termoeléctricamente positivo respecto a B.

El efecto Seebeck es una combinación de dos efectos, nominalmente los efectos de Peltier y Thompson. El efecto Peltier, el cual es el más grande, fue descubierto por Peltier en 1834 cuando el demostró que el calor es liberado o absorbido cuando una

,corriente eléctrica fluye entre metales disimilares. Este es un efecto reversible, medido en vatios por amperio, y depende de la temperatura de la unión. El efecto Thompson, también reversible, relaciona el flujo de corriente a través de un material homogéneo en el cual hay un gradiente de temperatura debido a la absorción o liberación de calor.

#### 2.7.8.1.2.2 LEYES TERMOELÉCTRICAS.

En el diseño y uso de termocuplas tres leyes son de especial aplicación:

a)**Ley del circuito homogéneo.** Una corriente eléctrica no puede ser sostenida en un circuito de un solo material homogéneo por la aplicación de calor solamente. El significado práctico de esta ley es que en una termocupla, construida de dos materiales homogéneos, la fuerza electromotriz producida es independiente de la distribución de el gradiente de temperatura, depende únicamente de la temperatura de las juntas.

b)**Ley de los metales intermedios.** Si la temperatura es uniforme entre un punto N y un punto M, en cualquier circuito termoeléctrico, la fuerza electromotriz termoeléctrica es independiente de cualquier material intermedio entre los puntos M y N.

c)**Ley de las temperaturas intermedias.** La fuerza electromotriz térmica desarrollado por cualquier termocupla de metales homogéneos con uniones a temperaturas  $T_1$  y  $T_3$  es la suma algebraica de la fuerza electromotriz de las termocuplas a  $T_1$  y  $T_2$  y la fem cuando las uniones están a  $T_2$  y  $T_3$ . La ley de aleación de metales intermedios permite la conexión del instrumento de medición con la termocupla usando líneas de cobre, como se muestra en la figura 1-17.

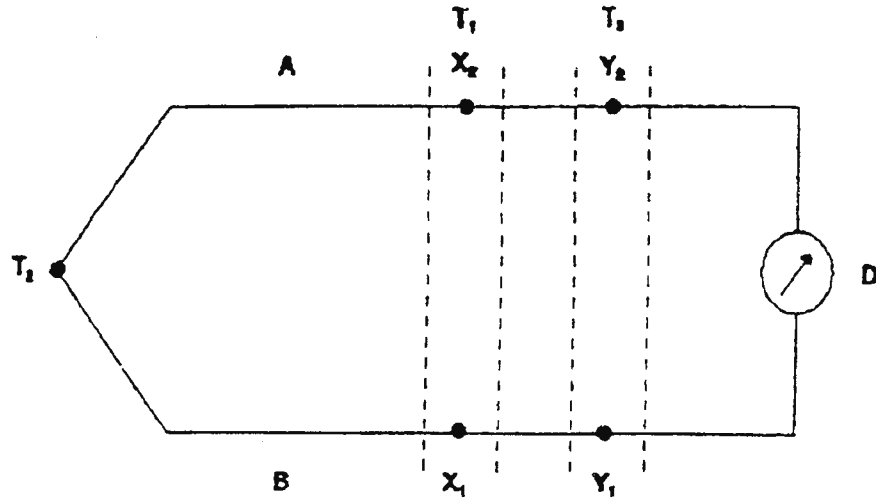


Figura 1-17

Así como las temperaturas en las juntas de las líneas de cobre y las de la termocupla sean iguales, el dispositivo de medición no sufrirá ningún efecto sobre la respuesta de la termocupla. La ley de temperaturas intermedias permite encontrar la fuerza electromotriz de la termocupla cuando la junta esta a  $0\text{ }^{\circ}\text{C}$  y la otra junta se encuentra a varias temperaturas y entonces interpretar en aplicaciones posteriores la fuerza electromotriz de la termocupla en términos de temperatura cuando la junta fría se encuentra a algún otra temperatura diferente a  $0\text{ }^{\circ}\text{C}$ .

#### 2.7.8.1.2.3 CONFIGURACIÓN DE TERMOCUPLAS

El sistema más simple de termocuplas es un par de líneas aisladas de termocupla unidos para formar una junta caliente. Para temperaturas bajo los 500 °F, esta disponible el aislamiento usando plásticos; en el rango de 500 °F a 2000 °F, se usan materiales tales como asbesto, fibra de vidrio y fibra de cuarzo; o aislantes cerámicos se utilizan para recubrir las líneas sobre el rango completo de temperaturas hasta los 4000 °F. En muchas aplicaciones, un tubo protector o un pozo metálico aísla la termocupla de fluidos y gases corrosivos, mantiene la presión en un tanque de proceso y protege la termocupla de daño mecánico. Un tubo protector además sirve a menudo como un medio para la función práctica de soportar la termocupla.

#### 2.7.8.1.2.4 CONSIDERACIONES DE DISEÑO.

La selección de una termocupla depende de varios factores, incluyendo:

- 1- Costo,
- 2- disponibilidad,
- 3- resistencia a la corrosión,
- 4- fuerza electromotriz de las líneas en el rango de temperaturas de operación,
- 5- velocidad de respuesta

Además deberá asumirse que la fuerza electromotriz de la termocupla deberá ser directamente proporcional con el incremento de temperatura sobre el rango de uso y los puntos de fusión de los metales deberán estar sobre la temperatura de aplicación. La selección del tamaño del alambre utilizado es siempre una consideración entre velocidad y respuesta, resistencia mecánica y resistencia a la corrosión o contaminación. Diámetros pequeños de alambre proporcionan alta velocidad, pero se rompen con facilidad, se corroen, tuercen y rápidamente desarrollan irregularidades derivadas del trabajo mecánico o contaminación de los materiales con los que entran en contacto.

#### 2.7.8.1.2.5 *FABRICACIÓN DE LA JUNTA CALIENTE.*

Fabricación de la junta caliente. La junta de los materiales de la termocupla puede ser hecha por cualquier medio que asegure buena continuidad eléctrica en el uso. Comúnmente, los dos alambres son enrollados juntos ya sea soldados por medio de soldadura normal o soldadura de plata, así como también por medio de tornillos fijados a la tubería. La unión mecánica de los alambres provee conexión adecuada para uso en aplicaciones temporales en atmósferas limpias a baja temperatura.

#### 2.7.8.1.2.6 *INSTALACIÓN DE TERMOCUPLAS.*

Una termocupla debería ser colocada a el punto de control de temperatura deseado. Para prevenir conducción a lo largo de los alambres o prevenir que el tubo protector afecte la temperatura medida, la termocupla debería ser inmersa al menos 10 diámetros en el fluido al cual se desea medir la temperatura. Para medición de la temperatura de sólidos, la junta debería estar introducida o de otra manera firmemente sujeta a el material. Para el caso, serán colocadas en el intercambiador 4 termocuplas: una a la entrada del fluido caliente, otra a la salida para observar el rango de transferencia y las últimas a la entrada y salida del agua de enfriamiento.

#### 2.7.8.1.2.7 *JUNTAS DE REFERENCIA.*

Al realizar la medición de la temperatura en la junta de referencia, ésta deberá ser mantenida a un valor conocido y constante de temperatura, o una compensación automática de la fuerza electromotriz de termocupla para cambios en la temperatura de referencia de la junta deberán ser usados.

#### 2.7.8.1.2.8 *EXTENSIÓN DE ALAMBRE DE TERMOCUPLA.*

En muchas instalaciones, la termocupla y el instrumento usado para medir su fuerza electromotriz están localizados a distancia. Es innecesario y no es económico el utilizar alambre de termocupla desde el proceso hasta las terminales del instrumento de medición. Típicamente, la diferencia en temperatura entre el instrumento y la cabeza de conexión de termocupla es menor a 400 °F. Los alambres de conexión entre la cabeza de la termocupla y el instrumento necesitan ser precisos únicamente sobre este rango de temperatura. De esta manera para las termocuplas más comunes, hay alambre de extensión el cual esta acorde a las curvas temperatura - fuerza electromotriz de sobre un rango limitado de temperatura. Estos alambres son proporcionados en diferentes tamaños de manera que una selección razonable puede ser hecha entre costo y resistencia del alambre. Con instrumentos de medición potenciométricos la resistencia de la extensión de alambre no es importante. La resistencia del alambre de extensión deberá ser mantenida a un porcentaje pequeño de la resistencia total del circuito de manera que los cambios en la resistencia del alambre de extensión no afecten el valor significativo de la temperatura indicada.

#### 2.7.8.1.2.9 CONSIDERACIONES PARA CÁLCULO DE DISEÑO.

Los siguientes párrafos describen las consideraciones principales al diseñar la instalación de las termocuplas para medir la temperatura de un cuerpo sólido, y aunque este no sea el caso de la medición de temperatura de un flujo se incluyen como lineamientos generales básicos.

(a) **Contacto térmico.** Para asegurar que la temperatura medida corresponde a la temperatura actual del cuerpo, el contacto térmico deberá ser establecido entre el elemento sensitivo y el cuerpo. La resistencia térmica en el punto de contacto deberá ser lo suficientemente pequeña comparado con la resistencia térmica del elemento sensitivo y el ambiente. Si esta condición es alcanzada, la temperatura asumida por el elemento sensitivo corresponderá a la del cuerpo dentro del grado requerido de precisión. De esta manera el elemento sensitivo asume una temperatura intermedia entre la temperatura del cuerpo en el punto especificado de medida y la temperatura de los alrededores. Esta temperatura asumida por el elemento sensitivo varía de acuerdo con la proporción de las dos resistencias térmicas consideradas.

(b) **Temperatura no uniforme.** Si la temperatura del cuerpo no es uniforme, en particular si variaciones substanciales de temperatura ocurren en muy cortos intervalos de distancia dentro del cuerpo, el diseño de una instalación adecuada deberá ser empleado para asegurar la medición de las temperaturas locales, con un grado de precisión adecuado. Se debe dar consideración a posibles alteraciones de la distribución de temperatura en el cuerpo y a errores correspondientes en la temperatura, resultantes de remover material para proveer espacio para la inserción del elemento sensitivo. La instalación del elemento sensitivo puede ser utilizada parcialmente para restaurar las vías de flujos de calor cortados por la remoción de materiales, con una correspondiente disminución de error. Sin embargo mientras menor sea la cantidad de material removido (especialmente en la vecindad del punto al cual se desea medir la temperatura), menor será la distorsión en la distribución de temperatura, con un error menor en la temperatura medida.

(c) **Temperatura Inconstante.** Si la temperatura del cuerpo varía con el tiempo en el punto al cual se desea medir la temperatura, es esencial que la temperatura de el elemento sensitivo refleje estos cambios de temperatura en el cuerpo. La instrumentación externa deberá responder con suficiente rapidez para seguir los cambios de temperatura del elemento sensitivo. El intervalo de tiempo por el cual la temperatura del elemento sensitivo se retrasa detrás de la temperatura correspondiente a la sección adyacente del cuerpo será en proporción a el producto de la capacidad térmica del elemento sensitivo y la resistencia térmica del sendero del flujo de calor desde el material adyacente a la zona vital dentro del elemento sensitivo. Este producto será menor para elementos sensitivos de menor tamaño hechos de material de conductividad térmica elevada y para instalaciones que provean una resistencia térmica pequeña entre el elemento sensitivo y el material.

(d) **Transferencia de Calor.** Si la resistencia térmica entre el elemento sensitivo y el ambiente es pequeña, entonces la tasa de flujo de calor hacia o desde el punto en el cuerpo al cual se desea medir la temperatura deberá ser tal que resulta en perturbaciones locales de la temperatura del cuerpo apreciables. La resistencia térmica entre el elemento sensitivo y el punto del cuerpo al cual se desea medir la temperatura deberá ser considerada como la resistencia térmica fuera de esta región de perturbación local. Esta dependerá de la conductividad térmica del material del cual el cuerpo esta compuesto, el tamaño de la excavación, y el grado de contacto térmico entre el elemento sensitivo y los puntos adyacentes en el cuerpo. Entonces para un valor dado de resistencia térmica entre el elemento sensitivo y el punto del cuerpo al cual se desea medir la temperatura, el valor de la resistencia térmica entre el elemento sensitivo y el ambiente deberá ser aumentado a la magnitud necesaria de manera tal que el error en la medición de la temperatura sea llevado hasta un límite aceptable. Entonces un aumento en la resistencia térmica entre el elemento sensitivo y el ambiente reduce el flujo de calor, el cual a su vez resulta en una disminución en el error en la medición de temperatura.

**(e) Consideraciones para el diseño de la instalación.**

La resistencia térmica entre el elemento sensitivo y el ambiente puede ser incrementada por los siguientes medios:

- \* Usando las líneas de mínimo valor de área de sección transversal;
- \* Usando líneas de material de conductividad térmica mínima;
- \* Aislando térmicamente las líneas externas y
- \* Proveyendo una longitud suficiente en las líneas a el primer punto al cual ocurre un buen contacto térmico con el ambiente. Tal punto puede ser un punto de unión en un elemento auxiliar o en una junta fría.

Asumiendo que las líneas externas están aisladas y de longitud adecuada, las condiciones que permiten obtener el más alto grado de precisión en una instalación son:

- \* Máximo contacto térmico entre el elemento sensitivo y las porciones adyacentes del cuerpo;
- \* Dimensiones mínimas en el elemento sensitivo;
- \* Area de sección transversal mínima en las líneas;
- \* Conductividad térmica mínima en los materiales de los cuales las líneas están compuestas.

Alcanzar las dos primeras condiciones es deseable en todas las instalaciones pero es limitado por las posibilidades de métodos actuales y materiales. Alcanzar las dos últimas condiciones puede ser obtenido únicamente a expensas de resistencia. De esta manera los tamaños pequeños de alambre resultan en mayor precisión pero son más frágiles. Dificultades en taladrar los agujeros y en manejar las partes durante la preparación de la instalación aumentan así como el tamaño disminuye. De esta manera, en el interés de obtener el mínimo costo y máxima resistencia, el tamaño más grande de alambre usado es aquel que permita satisfacer los requerimientos de precisión.

#### 2.7.8.1.2.9.1 SELECCIÓN DEL TIPO DE TERMOCUPLA A UTILIZAR.

Para la medición de la temperatura en las corrientes de flujo de agua caliente y de agua de enfriamiento así como también la temperatura en el tanque del agua, se utilizarán 4 elementos sensitivos o termocuplas con una junta formada por hierro y constantan, el código que describe al tipo de termocupla es T de acuerdo con la normalización ISA, los rangos de temperatura que es posible medir con este tipo de termocupla son de 32 a 221 °F (105 °C), el límite de error para el elemento estándar es de 1 °F (0.05 °C)

Específicamente se utilizará una termocupla comercial para montaje en cámaras presurizadas y en líneas de tubería, esta viene provista de un elemento que permite montar la termocupla sobre un agujero roscado con rosca standard ANSI NPT y a la vez regular la longitud de inmersión en el flujo. ( ver Anexo 3).

#### 2.7.8.1.3 ROTÁMETRO.

Para realizar una medición y a la vez una regulación del caudal de agua recibido a través de la distribución local, se utiliza un dispositivo medidor de flujo o Rotámetro el cual se monta sobre la línea de tubería por la que se alimenta agua al sistema.

El Rotámetro consiste en un flotador situado dentro de un tubo cónico cuya posición varía por la acción de la corriente del fluido que asciende por el tubo. Este flotador puede moverse libremente arriba y abajo. Al circular el líquido de abajo hacia arriba el flotador ocupa una posición tal que las tres fuerzas verticales que actúan sobre el mismo, a saber, el peso hacia abajo, el empuje hidrodinámico y la resistencia ambas hacia arriba, están en equilibrio. Al aumentar el caudal la presión dinámica sobre el flotador aumenta y este sube; pero al mismo tiempo el área de paso aumenta y la presión dinámica disminuye, estableciéndose un nuevo equilibrio pero a un área mayor. El flotador tiene ranuras inclinadas en su periferia, gracias a las cuales el líquido al pasar lo hace girar con lo que disminuye el rozamiento. La restricción a la circulación es ahora la superficie anular entre el flotador y el tubo ( su área aumenta a medida que se eleva el flotador ). La presión diferencial ( o diferencia de presiones ) es fija y determinada por el peso del flotador y las fuerzas de empuje. El área anular ( y por lo tanto, el nivel del flotador ) tiene

que aumentar con el gasto o flujo. En consecuencia el rotámetro puede graduarse para la lectura directa del gasto ( o caudal ) grabando al ácido una escala apropiada sobre la superficie del tubo de vidrio o de plástico. Esta graduación depende de las dimensiones del flotador, la conicidad del tubo y las propiedades del fluido. Hay flotadores de diseño especial que son relativamente insensibles a los efectos de la viscosidad. La lectura o indicación de rotámetro puede transmitirse, para fines de registro y control, añadiendo al flotador un vástago unido a la armadura de un imán permanente. Esta armadura forma parte de un puente de inducción cuya señal es amplificada electrónicamente para mover el motor eléctrico que lleva la pluma a su posición. En la figura 1-18 se muestra un modelo sencillo de rotámetro.

Para el equipo de intercambiador a diseñar, se necesitarán 3 rotámetros, 2 de baja presión para medir el flujo en el agua de enfriamiento y otro para el agua caliente; y uno de alta presión para la medición y regulación del flujo turbulento en el agua caliente.

Los rotámetros se escogerán de acuerdo a el caudal máximo y mínimo que generará la bomba para la creación del flujo turbulento y laminar. El cálculo de los caudales se detalla a continuación, en el cálculo de dimensiones de tubería.

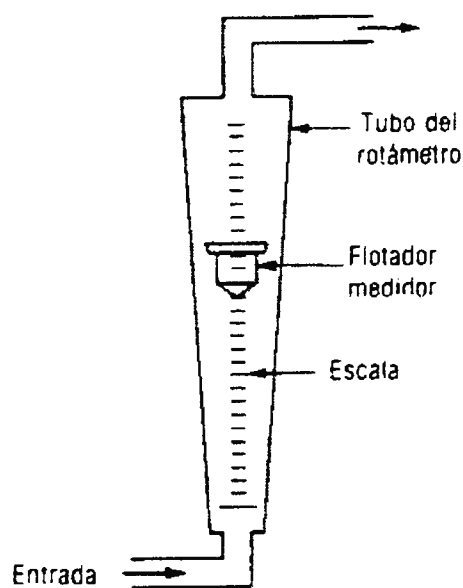


Figura 1-18 Rotámetro corriente

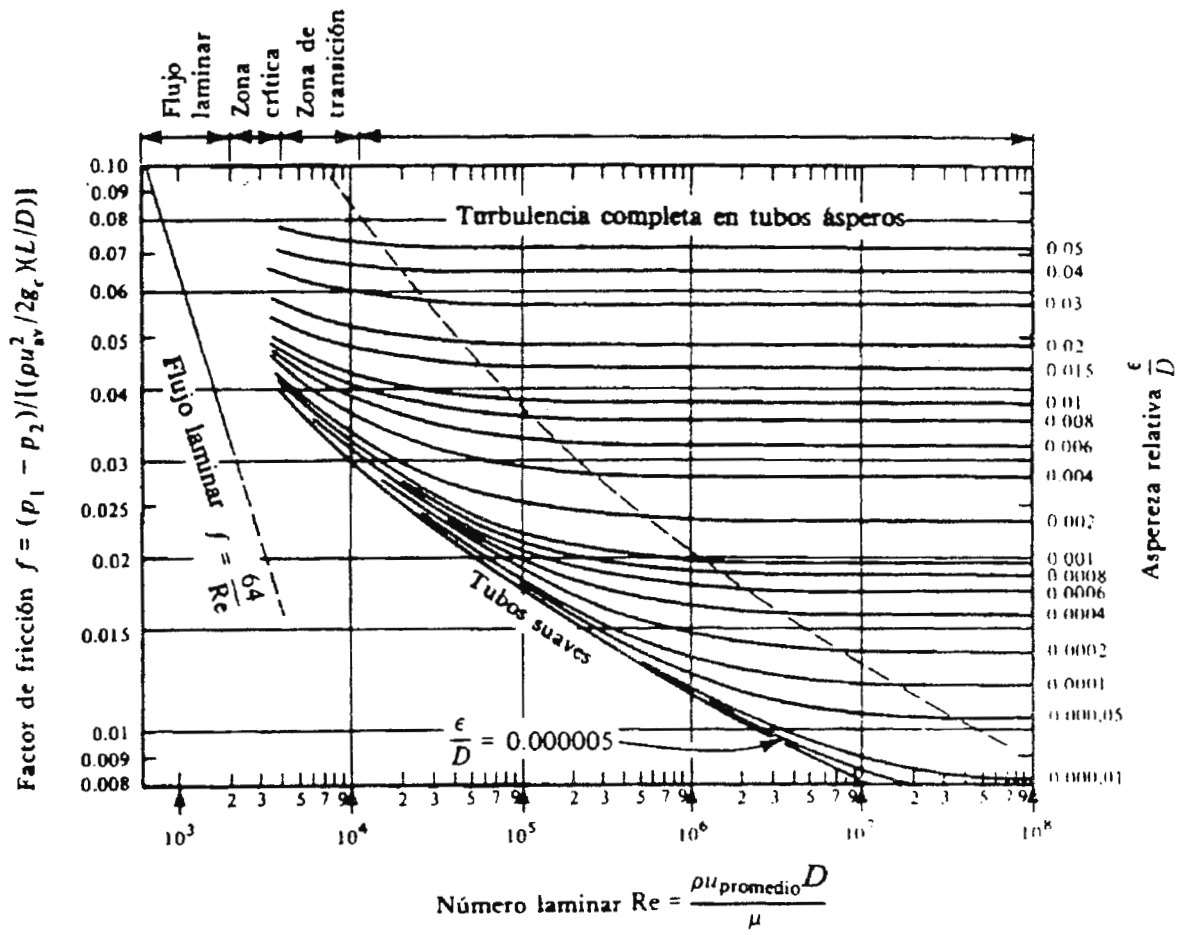


Figura 1-19. Diagrama de Moody

## 2.8 CALCULO DE CAUDAL, PERDIDAS Y POTENCIA DEL EQUIPO

### 2.8.1 DIMENSIONES DE TUBERIA DE COBRE

Las dimensiones de tubería de cobre que se utilizarán son las necesarias para el cálculo del número de Reynolds y el caudal. Estas dimensiones se resumen en la tabla 1-9.

TABLA 1-9. Dimensiones de tubo de cobre.

CARACTERISTICA	MAGNITUD
DIAMETRO INTERIOR DEL TUBO	0.5 pulgadas (0.0127 mts)
AREA DE LA SECCION TRANSVERSAL INTERNA	pulgadas cuadradas ( 1.2667 x 10 <sup>-4</sup> mts <sup>2</sup> )

### 2.8.2 CAUDAL NECESARIO PARA EL AGUA CALIENTE.

#### 2.8.2.1 CAUDAL.

El caudal requerido para el agua caliente se supone el necesario para que el flujo al pasar a través del tubo de cobre de media pulgada vaya de régimen laminar a turbulento con un número de Reynolds de 2300 como mínimo. Para calcular se hace primero la evaluación de la velocidad promedio del flujo en la tubería para un número de Reynolds de 2300, usando la ecuación siguiente que es una forma equivalente de expresar la ecuación

$$Re = (V \times D)/\nu \quad (1.39)$$

sustituyendo  $Re$ ,  $D$  y  $\nu$  tenemos el siguiente valor para la velocidad de flujo:

$$V = 0.067 \text{ mt/seg}$$

realizando el producto de la velocidad promedio por el área de sección transversal interior de tubo se tiene el valor de caudal necesario para  $Re = 2300$ , de acuerdo con la ecuación

$$Q = V \times A \quad (1.40)$$

sustituyendo  $V$  y  $A$  se obtiene el caudal necesario para el número de Reynolds especificado:

$$Q_{\text{laminar}} = 8.22 \times 10^{-6} \text{ mt}^3/\text{seg} \text{ (8 GPH, 0.13 GPM)}$$

Pero se sabe que para un número de Reynolds de 2300, existe la frontera entre flujo laminar y turbulento, así que tomando como base un número de Reynolds para flujo turbulento (que es el que se quiere generar) de 4000, se tiene un nuevo caudal, como se ve a continuación

$$Q_{\text{turbulento}} = 1.43 \times 10^{-5} \text{ mt}^3/\text{seg} \text{ (13 GPH, 0.22 GPM)}$$

### 2.8.2.2 CÁLCULO DE LA COLUMNA DE CARGA.

Como segundo paso para el cálculo de potencia de la bomba se elabora el cálculo de la altura de columna equivalente a la carga en el sistema a partir del cálculo de pérdidas de carga primarias y pérdidas de carga secundarias en la tubería.

#### 2.8.2.2.1 PÉRDIDAS PRIMARIAS EN EL ARREGLO DE TUBOS.

Las pérdidas de carga primarias en el arreglo de tubos son aquellas pérdidas debidas a la fricción que existe al fluir el agua caliente a través de los tubos. La pérdida de carga se expresa como una altura equivalente de columna en metros. Para el cálculo de la

pérdida de carga debida a la fricción del flujo se utiliza la ecuación de Darcy-Weisbach que se define como:

$$h_f = f L/D V^2/2g \quad (1.41)$$

en donde  $h_f$  es la pérdida de carga o caída en la línea hidráulica de altura en la longitud  $L$ , con diámetro interior  $D$  y una velocidad promedio  $V$ . La pérdida de carga  $h_f$  se expresa en dimensiones de longitud, el factor de fricción  $f$  es adimensional y se requiere para que la ecuación de el valor correcto de las pérdidas. El factor de fricción  $f$  debe seleccionarse de manera que la ecuación produzca correctamente la pérdida de carga,  $f$  depende de la velocidad  $V$ , del diámetro  $D$ , de la densidad  $\rho$ , de la viscosidad  $\mu$  y de ciertas características de rugosidad para la pared representadas por  $e$ . Como  $f$  es un factor adimensional que depende de la agrupación de estas cantidades en parámetros adimensionales, se define una relación que se comprueba en forma experimental. Para la determinación de factores de fricción en tubos limpios se utiliza el gráfico de Moody ( ver figura 1-19). El gráfico muestra  $f$  como una función de rugosidad y el número de Reynolds.

### 2.8.2.2.2 PERDIDAS SECUNDARIAS EN EL ARREGLO DE TUBOS.

En cualquier arreglo de tuberías además de la pérdida de carga por fricción a lo largo de los tubos, existen otras pérdidas, que en general, son poco dignas a tomarse en consideración causadas por :

- a) Codos
- b) Válvulas
- c) Conexiones
- d) Entrada o salida de tuberías
- d) Ensanchamiento o contracción brusca
- e) Curvas, té y otros accesorios.
- f) Ensanchamiento o contracciones graduales

Como la configuración del flujo en estos elementos es bastante complicada, la teoría existente es deficiente, por lo que hay que considerar el diseño de cada fabricante y los datos que este proporcione cada vez que se dispongan de ellos, sobre todo para válvulas, debido a la gran cantidad de diseños que hay, del mismo tipo.

Las pérdidas vienen dadas usualmente por la siguiente ecuación:

$$K = \frac{hm}{V^2 / 2g} \quad (1.42)$$

donde:

- $h_m$ : pérdida de carga en unidades lineales
- V: velocidad de la corriente
- g: aceleración de la gravedad

En la tabla 1-9 se muestran los valores de K considerados para el diámetro de tubería a utilizar. Las pérdidas causadas por codos deben tener especial consideración ya que causan un número de pérdida mayor al de la fricción de Moody, debido a la

separación de flujo en las paredes y a la formación de flujos secundarios inducidos por la aceleración centrípeta. En la figura 1-20 se muestran estas pérdidas adicionales por medio de el coeficiente K específico.

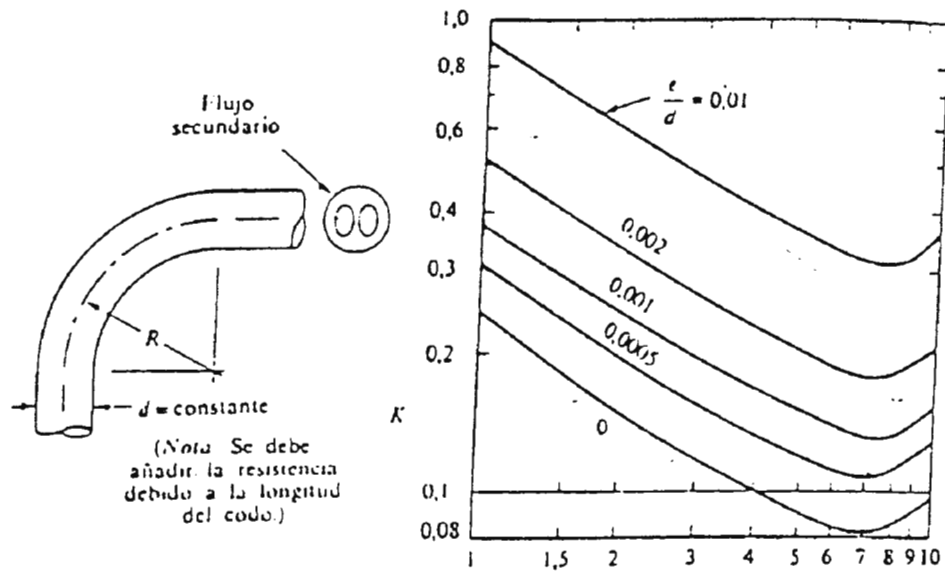


Figura 1-20. Coeficiente K de pérdidas secundarias

TABLA 1-9. Coeficientes de pérdida para válvulas abiertas codos y tés. ( Diámetro nominal de 1/2 pulgada )

DESCRIPCION ACCESORIO	DEL ROSCADO	ACOPLADO
<b>Válvulas (abiertas)</b>		
Esfera	14	13
Compuerta	0.30	0.80
Antiretorno	5.1	2.0
De ángulo	9.0	4.5
<b>Codos</b>		
90° normal	2.0	0.50
90° suave	1.0	0.40
<b>Tés</b>		
Flujo Directo	0.90	0.24
Flujo Lateral	2.4	1.0

Además es necesario considerar las pérdidas por entrada y por salida de flujo, las pérdidas en la entrada dependen mucho de la geometría, mientras que las de salida no. Los bordes vivos y los tramos de tubo que penetran en los depósitos provocan la separación del flujo y por ello grandes pérdidas. Una ligera redondez en los bordes arregla en gran parte el problema y una entrada muy suave tiene prácticamente pérdidas despreciables.

### 2.8.2.3 DETALLE DE PÉRDIDAS EN EL ARREGLO DE TUBERÍA.

Longitud aproximada de tubería: 1.3 mts.

Aceleración de la gravedad: 9.8 mts/seg<sup>2</sup>

TABLA 1-10. Pérdidas Primarias

PERDIDAS PRIMARIAS	METROS
Pérdida por fricción:	0.359526
Altura de toma de succión bomba. Hs	0
Altura de descarga aprox. bomba. Hd	0.205
Cambios de nivel aprox. en línea de flujo	0.177918

*Total pérdidas primarias: 0.742444 mts*

TABLA 1.11. Pérdidas Secundarias

DESCRIPCION	CANTIDAD	COEFICIENTE (K)	PERDIDA (metros)
Codo normal 90°	5	2	0.81992
T flujo directo	4	0.9	0.368964
Entrada bomba	1	0.78	0.079942
Salida Descarga	1	1	0.10249
Válvula de control	1	0.3	0.030747

*Total pérdidas secundarias: 1.402063 mts*

La columna de carga total que se deriva de las pérdidas primarias y secundarias del arreglo de tubos es: **1.43 mts.**

### 2.8.3 POTENCIA NOMINAL DE LA BOMBA.

La potencia nominal de la bomba se calcula mediante el producto entre: altura de bomba, Peso específico del agua caliente, y caudal requerido para el flujo.

Para el caso propuesto se obtiene

$$\text{Pot} = 8.01381240114 \text{ N} \cdot \text{mt} / \text{seg} (\text{Watts}) = 0.01075 \text{ HP} \quad (1.43)$$

Aplicando un factor de seguridad de 2 por tener una potencia requerida menor a los dos caballos de potencia se obtiene que la potencia necesaria para hacer circular el agua caliente a un valor de número de Reynolds de 2300 es : 0.0215 HP

El par de motor requerido depende en gran medida de la presión a que debe trabajar la bomba, la eficiencia mecánica de la misma y el tipo de transmisión mecánica entre el motor y la bomba, tomando como base la potencia mecánica requerida, sugerida por el fabricante en la tabla No. del Anexo 4 para obtener una presión de 50 PSI (1/25 HP) y asumiendo una eficiencia mecánica del 40% se obtiene un par de motor de aproximadamente 0.25 HP.

#### **2.8.4 SELECCION DE LA BOMBA**

La bomba escogida debe ser apta para operar con flujo de agua, a una temperatura de 80 °C (aunque se escogerá con un rango de 120 °C para dejar un margen de seguridad) y pasar un caudal aproximado de 13 GPH (0.22 GPM) como mínimo a una presión moderadamente baja y un valor moderado de potencia nominal. Para esto se ha escogido una bomba que trabaje de acuerdo al valor de potencia obtenida y baja presión, quedando ajustada a estas condiciones una bomba centrífuga, tipo magnética, con una potencia de 1/25 HP, con una capacidad de 645 GPH como máximo, a 60 HZ, una fase. (Ver anexo 4)

## **2.9 ELEMENTOS DE CONTROL**

### **2.9.1 VÁLVULA DE CONTROL DE FLUJO DE AGUA CALIENTE.**

#### **2.9.1.1 VÁLVULA DE GLOBO**

La función de una válvula de control de flujo, es reducir el caudal que envía la bomba, a la rama del circuito en el cual actúa. En el caso de una válvula de globo, que es la nominada para actuar en el circuito, el fluido que pasa a través de ella, gira 90° y pasa a través de una abertura que es el asiento de un vástago con la punta en forma de cono. El tamaño de la abertura se modifica posicionando el cono en relación al asiento. El tamaño del orificio se puede modificar gradualmente debido a una rosca de paso muy fina sobre el eje de la válvula y a la forma del cono. (Ver anexo 5)

Girando la perilla hacia afuera y abriendo el orificio de la válvula de globo pasa más fluido de la válvula hacia el Rotámetro de alta presión. Los materiales de construcción suelen ser de bronce, acero inoxidable, latón y otras aleaciones, los extremos suelen ser roscados y sus tamaños van de 1/8 a 1 pulgada. Se necesitan otras 2 válvulas reguladoras, una para cada medidor de flujo de baja presión, una colocada en el suministro de agua fría y otra en el medidor paralelo al regulador de alta presión, las cuales vienen incorporadas en el diseño de dichos medidores.

Para el fin del equipo a construir, se escogió una válvula de globo plástica.

#### **2.9.2 ROTAMETROS**

Los rotámetros o medidores de caudal se seleccionaron de acuerdo a los caudales calculados y al flujo en el que estarán involucrados, siendo que para el lado de generación de flujo turbulento se utilizará un rotámetro de 1 GPM, y para el lado de flujo laminar un rotámetro de 6 GPH. Para el suministro de agua de enfriamiento se utilizará un rotámetro de 12 GPH, que es también para flujo laminar. Ambos rotámetros de bajo caudal, traen incorporada su propia válvula reguladora de presión. (Ver anexo 7)

### 2.9.3 CONTROLADOR DE LA TEMPERATURA.

El controlador de temperatura seleccionado para activar o desactivar el calentador eléctrico de inmersión, recibe como entrada la señal de un sensor de termistor montado en un circuito electrónico diseñado especialmente para el equipo. La configuración de este controlador de temperatura es la siguiente:(Ver el circuito en la figura 1-21)

El circuito controlador de temperatura está basado en un puente de resistencias ajustable para controlar la conexión y desconexión del calentador.

El circuito funciona de la siguiente manera:

El termistor  $T$  es una resistencia que varía con la temperatura y está sensando la temperatura el agua de salida del tanque. La resistencia del termistor se compara por su caída de voltaje con una resistencia variable (reóstato). Los voltajes de ambas resistencias entran a un amplificador operacional LM741 configurado como comparador. El voltaje del termistor se conecta a la entrada no inversora del amplificador operacional y el voltaje del reóstato, a la entrada de la inversora.

Si la resistencia del termistor es mayor que la del reóstato el comparador arroja una salida de 11.5 voltios, si la resistencia del termistor es menor que la del reóstato el comparador da una salida de 1.4 V.

La salida del comparador (amplificador operacional) alimenta la base de un transistor NPN 2N2222A que a su vez le da paso a la corriente por la bobina del relé que conecta el calentador. Cuando el transistor recibe una entrada de 11.5 V para una corriente de 35 mA por la bobina que cierra los contactos del relé. Cuando el transistor recibe una señal de 1.4 V la corriente de la bobina del relé se corta hasta aproximadamente 9 mA, la cual es insuficiente para mantener el relé, entonces sus contactos se abren.

El termistor es de pendiente negativa, o sea que sube la temperatura, su resistencia disminuye. La temperatura a la cual se conecta y desconecta el relé es ajustada por medio del reóstato R. El circuito conecta y desconecta el calentador para mantener constante la temperatura del agua.

El circuito de control requiere una alimentación de 12 VAC y es independiente del circuito de potencia del calentador, el cual requiere una alimentación de 120 VAC.

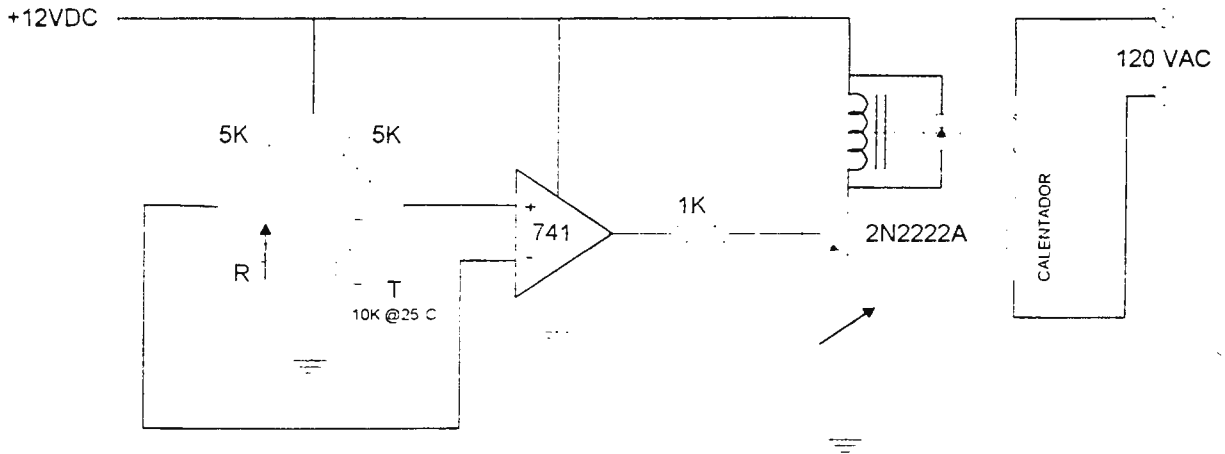


Figura 1-21

#### 2.9.4 MEDIDOR DE TEMPERATURA

El medidor de temperatura, fue escogido debido a las características estándar que este mostraba, el cual tiene una sola entrada a la que se le colocará un selector al cual irán conectadas las cuatro termocuplas, y por medio de este se podrá seleccionar la lectura de la medición que cada una de estas este haciendo en determinado momento. El medidor es del tipo de monitor digital, con selección para grados Fahrenheit o Celsius, de la marca JENCO. (Anexo 2)

#### 2.9.5 TANQUE O RESERVORIO

Por necesitarse un depósito que además de almacenar el agua necesaria para hacer funcionar el sistema soportara también temperaturas elevadas, se escogió un recipiente de 1 galón hecho de polycarbonato, que soporta temperaturas elevadas hasta un máximo de 270°F. Este tipo de recipientes y materiales son utilizados en medicina y biomédica, por lo que es de uso delicado y de precio elevado.

### 2.9.6 PANEL DE SOPORTE DEL SISTEMA.

Este será un cajón de plywood de 1/2" que tendrá las siguientes medidas 600 mm de base por 1250 mm de altura, forrado con fórmica color gris mate. Esta base dará albergue a todo el circuito, en el que irán montados el Intercambiador de calor, la bomba y el calentador, los rotámetros (3) y el termómetro digital.

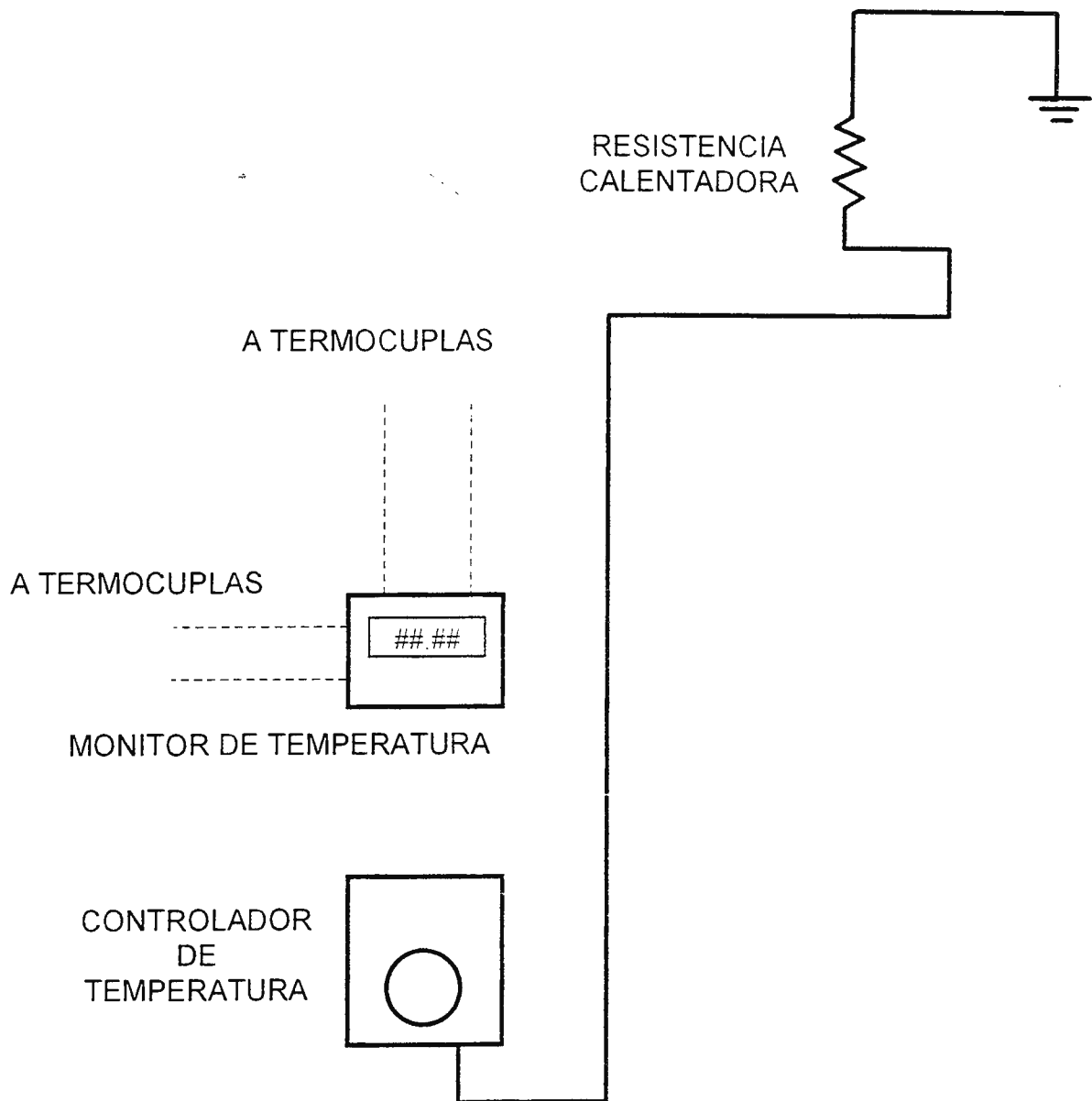


Figura 1-22

### 2.9.7 CALCULO DE POTENCIA REQUERIDA PARA EL CALENTADOR ELECTRICO

Los calentadores eléctricos consisten en alambres de resistencia cubiertos en un material tipo refractario que a su vez es cubierto con una capa metálica.

A continuación mostramos algunas de las ventajas de los elementos eléctricos de calefacción, tamaño estándar:(Ver figura 1-22)

- (a) Facilidad con que se generan altas temperaturas.
- (b) Eliminación de riesgos de combustión.
- (c) Fácil aplicación y adaptación para el control y la regulación automática.

Los elementos calefactores por resistencia más comunes son de tres tipos, el calentador por inmersión, el calentador de tira y calentador de tira aleteado.

#### 2.9.7.1 CALENTADOR ELÉCTRICO DE INMERSIÓN

El calentador seleccionado para el equipo es un calentador eléctrico de inmersión. Los calentadores por inmersión se usan para introducción directa en líquidos y se fabrican con cubierta de cobre para calentamiento de agua y de acero para aceite y otros derivados orgánicos. La temperatura de las cubiertas de cobre no debe exceder de los 350 °F, mientras que los calentadores con cubierta de acero pueden operar a temperaturas máximas de 750 °F.

#### 2.9.7.2 CÁLCULO DE CALENTADORES ELÉCTRICOS.

El método para calcular la potencia generada por un calentador eléctrico es dado por la industria eléctrica, para el cual existen estándares ya establecidos de acuerdo a los requerimientos de la industria e ingeniería en general.

Las leyes que gobiernan el calentamiento de las resistencias eléctricas, despreciando el efecto de la resistencia en el circuito, son:

$$I = E/R \quad (\text{Ley de Ohm para corriente eléctrica}) \quad (1.44)$$

$$P = I^2R \quad (\text{Ley de Joule, razón con que la energía eléctrica se convierte en calor}) \quad (1.45)$$

donde I es amperios, E es el voltaje, R la resistencia en ohms, y P la potencia en watts.

La razón de la energía cedida es watt o kilowatt, y es equivalente a BTU por hora. En forma similar, la cantidad total de energía es el kilowatt-hora o watt-hora, y es equivalente a BTU por unidad de tiempo.

En el calentamiento por resistencia eléctrica el elemento es capaz de alcanzar muy elevada temperatura. La temperatura más alta alcanzada por este tipo de calentador es aquella que causa que la energía en forma calor se disipe a la misma velocidad que se produce. Para evitar que el elemento se quemé, el fluido frío o sólido debe ser capaz de recibir calor a una velocidad tal que mantenga a la envoltura metálica por debajo de la máxima temperatura permisible. En otras palabras, el diseño de elementos eléctricos es condicionado por el flujo térmico que pueda disiparse en el material frío. El flujo térmico es la energía cedida en BTU por hora, por pie cuadrado de superficie. En unidades eléctricas se expresa en watts por pulgada cuadrada de la superficie del elemento o watts por pulgada cuadrada de la longitud lineal del elemento correspondiente a watts por pulgada cuadrada para elementos de superficie uniforme por pulgada de longitud.

Los watts indican el rendimiento del elemento pero no indican la temperatura que se alcanza solamente lo que pueden disipar al fluido o sólido frío.

### **2.9.7.3 CÁLCULO DE POTENCIA REQUERIDA PARA EL CALENTADOR ELÉCTRICO.**

La potencia nominal para el calentador eléctrico se calcula bajo condiciones máximas de operación cuando se tiene el tanque lleno a su máxima capacidad, esto es cuando la bomba no está operando, el cálculo se hace en base a las propiedades del agua caliente a presión atmosférica y 80 °C, también en base a las dimensiones del tanque y a el volumen de agua contenido en él.

El calor necesario para elevar la temperatura del agua contenida en el tanque se calcula por medio de la ecuación

$$q = V \times \rho \times C_p \times \Delta T \quad (1.46)$$

en donde  $q$  es el calor necesario para elevar la temperatura de la masa de agua que se obtiene del producto del volumen por la densidad, multiplicado por el calor específico a presión constante del agua y la diferencia de temperatura deseada, así se tiene:

$$V = 1 \text{ galón (0.003785 mts}^3\text{)}$$

$$C_p = 4178.4 \text{ J / Kg.K}$$

$$\rho = 971.53 \text{ Kg / m}^3$$

$$T = 80 \text{ }^\circ\text{C} - 27 \text{ }^\circ\text{C} = 53 \text{ }^\circ\text{C}$$

El calor necesario entonces será:  $q = 814.344 \text{ KJ}$

Para obtener la potencia en watts del calentador eléctrico se debe suponer el tiempo prudencial para que se entregue esa cantidad de calor, si se supone un tiempo de aproximadamente 15 minutos, se tiene que la potencia será igual a 750 Kw, con un solo elemento de longitud igual a 9 1/4 pulgadas y alimentación de 110/120 VAC, una sola fase, 50/ 60 Hz. No se toman en cuenta o se consideran despreciables las pérdidas de calor a través de las paredes del tanque y la superficie del fluido.

## 2.10 PRESUPUESTO PARA LA CONSTRUCCION DEL EQUIPO

MATERIAL	CANTIDAD	PRECIO (U.S.\$)
Bomba	1	89.89
Flujómetro de alta presión	1	58.00
Flujómetro de baja presión	2	80.00
Termocuplas tipo "T"	4	100.00
Monitor Indicador de Temperatura	1	200.00
Controlador de Temperatura	1	15.00
Válvula controladora de flujo	1	1.00
Manguera para suministro de agua	2.5 mt.	6.00
Acople "T" de cobre 1/2"	2	4.00
Tanque de polycarbonato	1	50.00
Resistencia calentadora	1	13.00
Tubería de CPVC 3/4"	0.7 mt.	1.50
Tubería de cobre 1/2"	1.3 mt.	1.0
Tapones de CPVC 3/4"	2	1.50
Soporte de Madera	1	60.00

Valor total: **\$680.89** (Sin gastos de envío)

### 3. DESCRIPCION DE MONTAJE DEL EQUIPO

#### 3.1 INTRODUCCION

A continuación se detalla la descripción técnica del montaje de cada uno de los dispositivos y accesorios de que consta el equipo demostrativo de Intercambio de Calor, considerando que describiendo a detalle el proceso de armado se da lugar a una mayor comprensión y entendimiento de dicho proceso, necesario para aquellos estudiantes que deseen hacer uso de este equipo y/o necesiten saber que procedimientos se llevaron a cabo para la construcción del mismo.

#### 3.2 DESCRIPCION DE CONSTRUCCION DEL EQUIPO

El primer paso fue fijar la bomba al piso de la base de madera que sostiene a todo el sistema. Cabe mencionar que la base está hecha de plywood de  $\frac{1}{2}$  pulgada, con un forro decorativo de fórmica color gris mate. Luego de fijada la bomba, fueron colocados un conector macho de cobre de  $\frac{3}{8}$ " para manguera, seguido de una "T" galvanizada de  $\frac{3}{8}$ " y un niple también galvanizado de  $\frac{3}{8}$ ", para finalizar con un reductor de cobre de  $\frac{1}{2}$ " a  $\frac{3}{8}$ " que desemboca en la entrada de una válvula de globo plástica, a la que le sigue en la salida un niple de cobre de  $\frac{1}{2}$ " que acopla con el rotámetro de Alto Caudal, que será el encargado de suministrar el caudal necesario para mantener un flujo turbulento del tanque hacia el intercambiador, para dar lugar a las demostraciones con flujo turbulento que el equipo pueda realizar. Después se tiene, a la salida del rotámetro de Alto Caudal, un reductor de  $\frac{1}{2}$ " a  $\frac{3}{8}$ ", otro niple galvanizado de  $\frac{3}{8}$ ", una "T" galvanizada de  $\frac{3}{8}$ " y finalmente un conector macho para manguera de  $\frac{3}{8}$ ". Todo esto sirve para conectar el rotámetro a la manguera que conducirá el flujo, que es del tipo de hule reforzado, de  $\frac{3}{8}$ ", de aproximadamente 22 cms. de largo, que va a dar hacia el tanque reservorio, este tanque posee en su parte inferior un conector macho fijo, de cobre de  $\frac{1}{4}$ " para manguera, que

interconecta con un acople hembra de  $\frac{1}{4}$ " también para manguera. Todo esto forma parte del circuito que se encargará de producir flujo turbulento cuando se requiera.

Como se describió y explicó en el primer capítulo, el equipo posee dos funciones: producir flujos laminar y turbulento. Para la parte del circuito que producirá flujo laminar, ésta comienza de la "T" primera que está conectada antes de la entrada de la válvula de globo, con un conector de cobre de  $\frac{3}{8}$ " para seguir con manguera de hule (es color azul), que entra al rotámetro de Bajo Caudal por medio de un conector macho de  $\frac{3}{8}$ " para manguera. Este rotámetro posee de fábrica su propia válvula incluida, con la que se monitoreará la salida de flujo exclusivamente laminar, y que se une a un trozo de manguera de 20 cms. de largo por medio de un conector macho de  $\frac{3}{8}$ " para manguera, y que finalmente va a desembocar a la otra conexión en "T" que está en el extremo superior o salida del rotámetro de Alto Caudal.

Luego, a la salida del tanque, hay colocado un codo macho de salida de  $\frac{1}{4}$ " que se une con un conector hembra de  $\frac{1}{4}$ " que sirve para conectar al tanque con una manera de hule reforzado de color negro de  $\frac{3}{8}$ ". Esto va a dar a un conector macho de  $\frac{3}{8}$ ", conectado a un codo de  $\frac{3}{8}$ " galvanizado que entra al propio Intercambiador de Calor por medio de un acople macho de  $\frac{3}{8}$ " que facilita la unión a la tubería de cobre de  $\frac{1}{2}$ " que es la encargada de transportar el agua caliente que servirá para realizar los efectos de intercambio de calor con el agua de enfriamiento. A la salida del intercambiador hay conectado a la tubería de cobre un acople macho de  $\frac{3}{8}$ " , luego va un codo de  $\frac{3}{8}$ " galvanizado interconectado con un conector macho de  $\frac{3}{8}$ " a una manguera de hule reforzado, que a su otro extremo posee otro conector de  $\frac{3}{8}$ " macho que conecta el sistema a la bomba por medio de un reductor de campana de  $\frac{1}{2}$ " a  $\frac{3}{8}$ ", ya que esta bomba posee su entrada de  $\frac{1}{2}$ ". Todo esto cierra el circuito de agua caliente. Aunque se observan bastantes dispositivos utilizados para conectar, tales como codos, tés, conectores machos y hembras, etc., estos no afectan en lo que son las pérdidas, porque si bien es cierto que las causan no son relevantes por el tamaño del sistema y porque la presión a manejar en el equipo es relativamente baja.

Para el circuito encargado del Enfriamiento, viene el caudal de agua fría directo del rotámetro de bajo caudal, por medio de un conector macho de 3/8" para manguera, que al igual que el encargado de producir flujo laminar en el lado del agua caliente, posee su propia válvula controladora de flujo, de fábrica. Luego, a la salida del rotámetro, se encuentra otro de estos conectores con una manguera de hule y da la vuelta hacia un conector macho de 1/4" para manguera y va a dar hacia la manguera de la entrada de agua de enfriamiento. Este conector se encuentra empotrado en la manguera, que se une con el conector hembra de 1/4" para manguera, seguido de manguera de hule. Esta conexión va a parar a otro conector hembra de 1/4" que entra al Intercambiador por medio de un codo macho de 1/4". La salida lleva exactamente los mismos elementos. Todos los acoples llevan teflón como sellante y preventivo contra las fugas.

Para el suministro de agua de enfriamiento, como se describió en el capítulo I, se contará con una manguera plástica de hule común con acople para chorro o tubería, y otra manguera exactamente igual para el drenaje (desagüe).

Para el montaje y conexión de las termocuplas, éstas van colocadas dos sujetas a presión contra el tubo de cobre y otras dos sujetas con tornillos en la parte superior e inferior del tubo de PVC. Estas dos últimas serán utilizadas para medir los cambios en el agua de enfriamiento. Todas estarán selladas además con silicón resistente a altas temperaturas

### *3.3 DEMOSTRACIONES DIDACTICAS REALIZABLES POR EL EQUIPO*

#### *3.3.1 DEMOSTRACIONES PARA TRANSFERENCIA DE CALOR*

El equipo diseñado y montado permite realizar las siguientes demostraciones con fines didácticos para los cuales fue construido, basándose en el Proceso de Intercambio de Calor.

- a) Mostrar el funcionamiento de un Intercambiador de un solo Paso
- b) Establecer la relación entre los Números de Nusselt y Número de Reynolds
- c) Obtención del Coeficiente Global de Transferencia de Calor.
- d) Obtención del Coeficiente de Película
- e) Planteamiento de Balance de Energía Simple para un Intercambiador de Calor de un sólo paso
- f) Demostración de la Ley de Fourier para Transferencia de Calor en sistemas de geometría cilíndrica.

### *3.3.1.1 FUNCIONAMIENTO DE UN INTERCAMBIADOR DE CALOR DE UN SOLO PASO*

Básicamente, el funcionamiento se puede demostrar por medio de mediciones a la entrada y salida de el intercambiador. Para eso, el equipo está provisto de sistemas de medición de termocuplas, que pueden ser monitoreadas desde el medidor de temperatura, con la ayuda del selector que éste trae incorporado. La transferencia de calor se comprueba con la diferencia de las mediciones tomadas a la entrada y salida del intercambiador.

### *3.3.1.2 DEMOSTRACION DE LA LEY DE FOURIER*

La ley de Fourier muestra la transferencia de calor por conducción, prediciendo cómo se conduce el calor a través de un medio, partiendo de una región de alta temperatura a una de baja temperatura. Aquí, la razón de calor transferido es proporcional al área de la superficie de la pared, que se encuentra normal a la dirección de flujo de calor, directamente proporcional a la diferencia de temperaturas entre las paredes, e inversamente proporcional al espesor de éstas, aplicando el coeficiente de conductividad térmica . (Referirse al capítulo I)

### 3.3.1.3 RELACION ENTRE EL NUMERO DE REYNOLDS Y NUMERO DE NUSSELT

Esta relación se puede establecer al efectuar mediciones de temperatura a diferentes condiciones de flujo, variando así el Número de Reynolds, provocando también una variación de flujos de turbulento a laminar, y, utilizando las relaciones numéricas y expresiones matemáticas para cada uno de estos números (capítulo I) . Luego para comparar ambos parámetros, se realiza una gráfica bajo la misma escala Reynolds vs. Nusselt y así concluir el comportamiento de ambos al variar las condiciones de flujo.

### 3.3.1.4 OBTENCION DE LOS COEFICIENTES DE PELICULA Y GLOBAL DE TRANSFERENCIA DE CALOR

Para este caso, la evaluación de ambos coeficientes se hace para varios valores y condiciones de flujo, con los que se obtienen gracias a las termocuplas, medidor de temperatura y rotámetros, valores de temperatura y caudal para dichos valores en combinación con las dimensiones físicas del intercambiador y las propiedades del material del que están hechos los tubos (cobre y PVC)

### 3.3.1.5 BALANCE DE ENERGIA

Para realizar un balance de energía en un Intercambiador de Calor además de los dispositivos de medición de temperatura , se utilizan los medidores de flujo (rotámetros), y recopilando todos los datos relacionados con el flujo y las temperaturas y despreciando las pérdidas de calor hacia el ambiente, se puede hacer un balance de energía simple igualando los flujos de calor en ambas corrientes de flujo.

### 3.4 PREPARACION FINAL DEL EQUIPO

Los detalles principales a tomar en cuenta antes de echar a andar el equipo para que este funcione en forma óptima y aprovechar dicho funcionamiento al máximo se describen a continuación:

- a) Realizar las conexiones de los sensores de termocupla al monitor de temperatura
- b) Colocar las identificaciones de dichas termocuplas a la entrada y salida del intercambiador de calor, etc.
- c) Hacer la conexión de las líneas de las termocuplas de manera tal que coincidan los números de cada una de ellas con el número de lectura hecha por el medidor de temperatura.
- d) Comprobar que el controlador de temperatura será capaz de mantener la temperatura no más de 80 grados centígrados.

Para obtener el resultado deseado en el funcionamiento del equipo, deben observarse y cumplirse las siguientes condiciones:

1. El tanque de almacenamiento de agua, debe estar lleno, hasta donde está la línea de indicación de llenado.
2. La bomba, por ser centrífuga debe cebarse antes de hacerla funcionar, de acuerdo a las especificaciones del fabricante. (Ver anexo 4)
3. Debe conectarse la manguera para el agua de enfriamiento del intercambiador del rotámetro a una llave del suministro de agua potable. Verificar por medio de la lectura del rotámetro si el flujo de dicho suministro es relativamente constante.
4. Revisar la conexión de las mangueras de alimentación y descarga del flujo de agua con el intercambiador, de manera que se obtenga la disposición de flujo deseada.

5. Revisar y verificar la lectura del rotámetro para el suministro del agua de enfriamiento y ajustar el flujo recibido por este por medio de la válvula que este trae incorporada, para regular el flujo y obtener así el caudal con que se desee trabajar.

### 3.5 OPERACION DEL EQUIPO

Luego de haber considerado las indicaciones arriba mencionadas puede procederse a la operación y manejo del equipo, llevando el interruptor de encendido a la posición de "ON", cerrando el circuito para que a través del calentador eléctrico que es una resistencia, eleve la temperatura mediante una producción de un voltaje aproximadamente de 1 Kw, por medio del controlador de temperatura y todos los dispositivos electrónicos que lo conforman. Luego de lograr la temperatura deseada, se lleva el Interruptor de la Bomba a la posición de encendido que da paso a la energía que accionará al motor de la bomba, con lo que se establece el flujo de agua caliente, lista a enfriar.

Luego, se abre la válvula de paso, para dejar libre el agua que viene impulsada por la bomba y que pasará por el rotámetro de alto caudal hacia el reservorio donde se cierra el ciclo y pasa al intercambiador de calor, donde se podrán efectuar las correspondientes medidas de temperatura por medio de los sensores de termocupla, y según sean los requerimientos del experimento a efectuar, podrá jugarse con las variaciones de flujo que se efectuarán con los diversos medidores de flujo instalados para ese fin.

#### 4. SUGERENCIAS PARA MEJORIAS AL EQUIPO.

El aparato ha sido diseñado para realizar experimentos demostrativos de transferencia de calor en un intercambiador de calor de tipo tubos concéntricos. El intercambio de calor se muestra como un incremento en la temperatura del agua fría que circula a través del circuito secundario. Por medio de la medición de la temperatura en la entrada y la salida del agua fría, se pueden determinar parámetros relacionados con el intercambio de calor.

Sin embargo, la utilidad del equipo no se limita sólo a lo anteriormente mencionado. Al adicionar o hacer ciertos cambios en los componentes del aparato, éste puede permitir hacer experimentos didácticos en otras materias relacionadas con la transferencia de calor en medios fluidos.

A continuación se sugieren algunos cambios que permitirán mejorar el funcionamiento del aparato mismo, así como su versatilidad en los estudios de ingeniería mecánica.

##### 4.1 *EL INTERCAMBIADOR UTILIZADO COMO ENFRIADOR.*

Tal como el aparato está construido actualmente, el intercambiador se utilizaría para calentar un fluido suplido externamente por medio de un flujo de trabajo con condiciones controladas. De ésta manera, el agua calentada en el circuito principal se utiliza para elevar la temperatura del agua corriente del circuito secundario. Un ejemplo real de esta aplicación son los sistemas de calefacción por agua caliente, en los cuales se utiliza agua calentada a temperaturas de hasta 100 o 110 °C para proveer de calefacción un edificio.

Puede invertirse la utilidad del intercambiador, supliendo un fluido a temperatura relativamente baja (tal como agua de enfriamiento) para reducir la temperatura de un fluido de trabajo, en este caso el agua caliente. Esta es una aplicación muy común para los intercambiadores de calor. Ejemplos son los radiadores, enfriadores de agua o "chillers", enfriadores de aceite, etc.

Si se desea utilizar el equipo para hacer experimentos demostrativos de esta aplicación, bastará con sustituir el rotámetro del agua de enfriamiento por uno con mayor capacidad de flujo. Se sugiere un rotámetro de 1 GPM, con el cual se tendría un flujo de agua de enfriamiento suficiente para reducir efectivamente la temperatura del agua fría, cuyo cambio se podrá medir por medio del termómetro digital. El costo de un rotámetro de éste tipo (similar al rotámetro de flujo turbulento instalado) es de 65 a 70 US\$.

#### *4.2 INTERCAMBIO DE CALOR ENTRE DOS CIRCUITOS CERRADOS.*

Otra aplicación práctica de intercambiadores de calor de tipo tubos concéntricos, tal como el utilizado en el equipo, es la de permitir el enfriamiento o calentamiento de fluidos no mezclables. Por ejemplo, uno de los fluidos puede ser aceite y otro agua, o uno de ellos agua destilada o desmineralizada y el otro agua de enfriamiento.

Puede utilizarse el equipo para experimentos de sistemas que funcionen con estas condiciones. Se desearía tener condiciones controladas para el agua de enfriamiento, de manera similar a las que se tienen actualmente para el agua caliente. Para esto podría utilizarse un circuito secundario cerrado, donde el agua esté en un reservorio adecuado, y sea impulsada por medio de una bomba. Para garantizar que se mantenga fría la temperatura del agua podría utilizarse un tanque suficientemente grande, abierto a la atmósfera o con extracción de vapor, o incluso una torre de enfriamiento o un sistema de refrigeración.

Incluso puede diseñarse y construirse un circuito secundario que utilice aceite u otro fluido de trabajo, al cual se le desee elevar la temperatura; o bién un sistema que utilice alcohol u otro fluido "refrigerante" para enfriar el agua caliente del circuito primario.

El único cambio que el aparato requeriría para ésta aplicación sería sustituir el rotámetro de agua de enfriamiento por uno adecuado a las condiciones que se deseen producir. El intercambiador no requerirá ninguna modificación aún cuando se utilice aceite u otro fluido, siempre y cuando éste no sea corrosivo ya que esto podría dañar el tubo central de cobre.

### 4.3 EXPERIMENTACIÓN EN MECÁNICA DE FLUIDOS.

El circuito principal del equipo consiste en un sistema de circulación de un fluido. Esto significa que con la adición de unos pocos componentes, podrían realizarse experimentos relativos a la mecánica de los fluidos, tales como determinación de pérdidas en accesorios de conducción de fluidos (codos, válvulas, acoples, etc.)

Colocando manómetros para medir las presiones en varios puntos del circuito, por ejemplo a la entrada y salida de la bomba, antes y después de los rotámetros, codos y otros accesorios; podrían medirse las caídas de presión que ocurren en éstos elementos. Los manómetros que se coloquen tendrían que ser de tipo "by-pass", que midan la presión de un flujo sin producir una restricción a éste.

Los manómetros pueden ser colocados un las mangueras de hules del circuito principal, o bien éstas pueden ser sustituidas por tuberías rígidas.

## **5. INSTRUCCIONES PARA LA OPERACION DEL EQUIPO EXPERIMENTAL DE INTERCAMBIO DE CALOR AGUA-AGUA PARA FLUJO LAMINAR O TURBULENTO (De acuerdo a normas ISO 9000).**

### **PROPOSITO:**

El propósito de este instructivo es describir la manera de operar el INTERCAMBIADOR DE CALOR AGUA-AGUA de tipo experimental, con el objeto de conocer la secuencia correcta de arranque, la operación durante su funcionamiento, y las precauciones que se deben tener para su manejo.

### **REQUERIMIENTOS:**

#### **A. EQUIPO.**

1. Set experimental INTERCAMBIADOR DE CALOR AGUA-AGUA.

#### **B. SUMINISTROS.**

1. Voltaje: 110 Voltios AC, con línea aterrizada.
2. Agua: Agua de suministro doméstico, a temperatura ambiente.

2.1 Caudal requerido: mínimo 5.0 GPH

#### **C. MATERIALES**

1. El set experimental es autosuficiente; no se requieren materias primas constantes para abastecerlo. El fluido de trabajo es agua potable regular.

### **PAPELERIA RELACIONADA:**

1. Guías de trabajo para laboratorio.
2. Especificaciones técnicas del equipo.

### **I. PROCEDIMIENTO DE ENCENDIDO.**

#### **A. Preparación del equipo.**

1. Conecte el equipo a un tomacorriente de 110 voltios.
    - 1.1 Asegúrese de que el tomacorriente está polarizado correctamente.
    - 1.2 Utilice un tomacorriente con conector central a tierra. No corte el conector de tierra del enchufe. Este es para proteger al usuario contra choques eléctricos.
  2. Conecte la manguera de alimentación de agua de enfriamiento a un grifo de agua corriente.
  3. Conecte la manguera de descarga de agua de enfriamiento a un drenaje. Si esto no es posible, ponga la manguera sobre un drenaje adecuado.
  4. Verifique el nivel de agua del tanque reservorio.
    - 4.1 Agregue agua si es necesario. No llene demasiado.
- NOTA: No es necesario agregar agua si el nivel está solamente un poco abajo del máximo. Será necesario agregar únicamente si el nivel está abajo del mínimo.
- 4.2 Para agregar agua, refiérase a la sección IV.- MANTENIMIENTO.
5. Llene completamente el lado de agua fría del intercambiador. Refiérase a la sección IV. MANTENIMIENTO.
6. Conecte las mangueras de agua de enfriamiento a los conectores apropiados, de acuerdo a si desea flujo en con-corriente o en contra-corriente. Para esto efectúe los siguientes pasos:
  - 6.1 Cierre la válvula reguladora de flujo de agua de enfriamiento. Esta es la válvula situada en el rotámetro de agua de enfriamiento.
  - 6.2 Asegúrese de que el tapón de des-airado del intercambiador esté cerrado.
  - 6.3 Desconecte primero la manguera superior del agua fría del intercambiador.
    - a) Desconecte las mangueras de los conectores marcados "ENTRADA" "SALIDA".

NOTA: NUNCA DESCONECTE LAS MANGUERAS DE LOS CONECTORES SITUADOS EN LOS EXTREMOS DEL INTERCAMBIADOR.

b) Algo de agua podría derramarse. Tenga a la mano papel o tela absorbente para secar.

c) Si es necesario utilizar una llave de tuercas para aflojar la conexión, tenga cuidado de no ejercer demasiada fuerza.

6.4 Desconecte a continuación la manguera inferior del agua fría del intercambiador.

a) Podría derramarse mucha agua. Tape con el dedo el conector para reducir el derrame. Tenga a la mano con que secar el agua.

6.5 Rápidamente, conecte las mangueras del agua fría al conector apropiado según el flujo que requiera:

DIRECCION DEL FLUJO	MANGUERA SUPERIOR	MANGUERA INFERIOR
CON-CORRIENTE	ENTRADA	SALIDA
CONTRA-CORRIENTE	SALIDA	ENTRADA

NOTA: CONECTE PRIMERO LA MANGUERA INFERIOR, LUEGO SUPERIOR. ESTO MINIMIZARA LOS DERRAMES.

6.6 Aprete CON LA MANO los conectores. NO UTILICE LLAVES DE TUERCAS.

7. Des-aire el lado de agua fría del intercambiador:

7.1 Abra el paso de agua de enfriamiento, si la manguera de alimentación está conectada a una válvula.

7.2 Afloje el tapón de des-aireado del intercambiador.

a) Si es necesario, remueva completamente el tapón. Tenga cuidado de no extraviarlo.

7.3 Abra la válvula reguladora del rotámetro del agua de enfriamiento.

7.4 Espere a que comience a derramarse agua por el orificio de des-aireado del intercambiador.

7.5 Cuando se derrame agua, coloque y cierre completamente el tapón de des-aireado.

a) Aprete el tapón CON LA MANO. Evite utilizar llaves.

8.- El equipo esta listo para operar.

B. Encendido.

1.- Abra la válvula reguladora de flujo turbulento. Esta es la válvula de color café situada abajo del rotámetro de flujo turbulento. Esto permite cebar la bomba.

2.- Encienda primero el interruptor marcado "BOMBA".

3.- Deje circular el agua de trabajo por un minuto al menos, para des-airear el circuito principal.

4.- Apague el interruptor marcado "BOMBA".

5.- Encienda luego el interruptor marcado "CALENTADOR".

6.- Después de algunos minutos, la resistencia del calentador habrá elevado la temperatura del agua en el tanque a la temperatura de operación, y se mantendrá estable a esta temperatura.

6.1 La temperatura máxima del calentador puede regularse con la perilla marcada "CONTROLADOR."

6.2 La temperatura deberá ajustarse a un máximo de 80 °C, leídos en el punto T-1 del termómetro digital.

7.- Encienda de nuevo el interruptor marcado "BOMBA".

8.- El equipo está listo para ser utilizado.

### C.- Chequeo final.

Al completar las operaciones de preparación y encendido del aparato, éste deberá estar en las siguientes condiciones:

- 1.- El aparato estará conectado a la alimentación eléctrica y a la alimentación del agua de enfriamiento.
- El paso de agua de enfriamiento deberá estar abierto, tanto desde su entrada como en la válvula de regulación del rotámetro de agua fría.
- 2.- El intercambiador deberá estar completamente lleno de agua fría.
- 3.- El intercambiador deberá haber sido des-aireado.
- 4.- La bomba estará encendida, y el agua circulando por el circuito principal.
- 5.- El termómetro digital estará encendido.
- 6.- La resistencia calentadora estará encendida y la temperatura del agua del circuito principal habrá alcanzado el valor de operación.

### D.- Apagado.

- 1.- Apague primero la resistencia del calentador.
- 2.- Deje el agua circular por 2 a 3 minutos para enfriar el sistema.
- 3.- Apague la bomba.
- 4.- Cierre todas las válvulas.
- 5.- Cierre la válvula de entrada del suministro de agua fría, si la hubiese.

## II.- OPERACION

### A.- Operación de los rotámetros.

- 1.- El rotámetro de alto caudal mide la razón de flujo de agua a través del circuito principal (agua caliente), cuando se tiene régimen de flujo turbulento.
  - 1.1 El paso a través de este rotámetro se regula con la válvula de alto caudal (color café), situada bajo el rotámetro.

NOTA: Es posible cerrar completamente esta válvula por un corto tiempo sin peligro de daño a la bomba.

1.2 En el rotámetro puede leerse el caudal de agua en galones por minuto.

1.3 La válvula nunca debe abrirse hasta el punto de sobrepasar la máxima lectura del rotámetro.

1.4 Para garantizar que se tiene flujo turbulento, el caudal debe regularse entre 0.6 y 1.0 GPM.

2.- El rotámetro de bajo caudal mide el flujo de agua cuando se tiene régimen laminar.

2.1 El caudal a través de este rotámetro se regula por medio de la válvula incorporada a éste.

2.3 El rotámetro mide el caudal en galones por hora.

2.4 Cuando se quiera flujo laminar, la válvula de alto caudal debe cerrarse, y abrirse únicamente la de bajo caudal.

2.5 La válvula de bajo caudal debe permanecer cerrada cuando se trabaje con régimen turbulento.

3.- El rotámetro de agua fría mide el caudal de agua de enfriamiento.

3.1 El caudal a través de este rotámetro se regula por medio de la válvula incorporada a éste.

3.2 El rotámetro mide el caudal en galones por hora.

3.3 La válvula del rotámetro de agua fría también se utiliza cuando se efectúa el procedimiento de llenado o des-aireado del intercambiador.

3.4 Para mejores resultados, ajuste el caudal de agua fría a la máxima lectura del rotámetro.

## B.- Operación de la bomba.

- 1.- Para activar la bomba de agua, basta con encender el interruptor marcado "BOMBA".
- 2.- Antes de encender la bomba, siempre debe abrirse la válvula reguladora de flujo turbulento. Esto garantiza que la bomba este cebada, y previene los arranques en seco.
- 3.- El cabezal de la bomba es de tipo sellado, impulsado por acople magnético, que no requiere de mantenimiento alguno. No debe abrirse el cabezal en ningún caso, a menos que se requiera darle servicio o reparación de éste.

## C.- Operación del tanque y calentador.

- 1.- La resistencia del calentador de agua se enciende por medio del interruptor marcado "CALENTADOR".
- 2.- La temperatura máxima del calentador puede ajustarse con la perilla marcada "CONTROLADOR".
  - 2.1 Si al estar operando el equipo, la lectura de la temperatura en el punto T-1 es mayor de 80 °C, mueva ésta perilla en el sentido contrario a las agujas del reloj.

## D.- Operación del termómetro digital.

- 1.- El termómetro digital se enciende con el mismo interruptor marcado "BOMBA".
- 2.- Para seleccionar el punto del intercambiador del cual se desea medir la temperatura, se presiona el botón correspondiente al punto deseado, de los cuatro botones blancos situados bajo el termómetro digital.
  - 2.1 Al presionar los botones hágalo con suavidad.
  - 2.2 Evite presionar dos botones simultáneamente. Esto dará lecturas erróneas.

La correspondencia de cada botón se da en la siguiente tabla:

PUNTO DE MEDICION	BOTON
ENTRADA DE AGUA CALIENTE	T - 1
ENTRADA DE AGUA FRIA (CON-CORRIENTE)	T - 2
SALIDA DE AGUA FRIA (CONTRA-CORRIENTE)	
SALIDA DE AGUA FRIA (CON-CORRIENTE)	T - 3
ENTRADA DE AGUA FRIA (CONTRA-CORRIENTE)	
SALIDA DE AGUA CALIENTE	T - 4

3.- Para seleccionar la escala de temperatura (grados centígrados o Fahrenheit), presione el botón "C/F" situado en la parte frontal del termómetro digital.

3.1 Un punto rojo situado al lado izquierdo de la pantalla del termómetro indica la escala en la cual se está tomando la lectura.

#### E.- Operación del intercambiador.

1.- El intercambiador de calor no requiere de manejo alguno durante la operación del aparato.

2.- Para preparar el intercambiador para la operación del equipo, deben seguirse los procedimientos de llenado, des-aireado y conexión de las mangueras para la dirección del flujo.

2.1 Para el procedimiento de llenado, refiérase a la sección

#### IV.- MANTENIMIENTO.

2.2 Para el procedimiento de des-aireado, refiérase a la sección I A PREPARACION DEL EQUIPO, numeral 7.

2.3 Para el procedimiento de conexión de las mangueras según la dirección del flujo, refiérase a la sección I - A, PREPARACION DEL EQUIPO, numeral 6.

### III.- PRECAUCIONES

#### A.- Con el Tanque.

1.- Para prevenir cualquier sobrecalentamiento, aunque poco probable, debe mantenerse la bomba funcionando y el agua circulando tanto por el circuito principal como por el de agua de enfriamiento, cuando la resistencia del calentador esté encendida.

1.1 Aunque puede cerrarse momentáneamente la circulación de agua, no debe permitirse al calentador estar encendido por mucho tiempo sin que circule el agua.

2.- Si es necesario agregar agua al tanque, debe tenerse cuidado con la resistencia calentadora para prevenir quemaduras, choques eléctricos o daños al equipo. Refiérase a la sección IV.- MANTENIMIENTO.

3.- Evite todo tipo de golpes al tanque.

4.- No intente desconectar sin razón las mangueras que entran al tanque. Si es necesario desconectarlas, tenga mucho cuidado de no dañar los acoples fijos al tanque. No ejerza mucha fuerza ni al aflojar ni al apretar los conectores.

#### B.- Con los rotámetros.

1.- Aunque los rotámetros no requieren de ningún mantenimiento continuo, se deben de tener precauciones simples con relación a su uso:

1.1 Las válvulas de los rotámetros no deben apretarse excesivamente al cerrarlas.

1.2 El flujo debe regularse de tal manera que no exceda la capacidad de los rotámetros.

1.3 Debe evitarse golpear o dañar de manera física los rotámetros y las válvulas asociadas.

C.- Con el intercambiador de calor.

- 1.- El intercambiador ha sido construido sellado y no requiere de mantenimiento.
- 2.- Antes de operar el equipo, asegúrese siempre de que el intercambiador se encuentra lleno de agua de enfriamiento, y de que ha sido des-aireado.
  - 2.1 Si el intercambiador no ha sido des-aireado, Las lecturas que obtenga de temperatura no serán correctas.
- 3.- No desconecte las mangueras de entrada y salida de agua fría desde los extremos del intercambiador. Siempre desconéctelas de los conectores marcados "ENTRADA" y "SALIDA".
  - 3.1 Trate de no utilizar llaves de tuercas para aflojar y apretar los conectores. Aprételes con la mano.

D.- Con el equipo en general.

- 1.- Conecte el equipo a un tomacorriente polarizado y con conector de tierra. No corte el pin de tierra del enchufe.
  - 1.1 No toque los alambres y conexiones internas del aparato.
- 2.- Evite los derrames grandes de agua.
  - 2.1 Tenga siempre a la mano papel o tela con la cual absorber derrames.
  - 2.2 Deje el aparato seco después de utilizarlo. Evite que se acumule humedad en el aparato o en los alrededores.
- 3.- No exponga el equipo al sol directo, a la lluvia, o a condiciones atmosféricas extremas.
- 4.- Limpie el aparato con una tela ligeramente húmeda. No utilice ningún tipo de solventes.
  - 4.1 Limpie el aparato por el lado de adentro con una brocha seca.
  - 4.2 Desconecte el aparato de la alimentación eléctrica antes de limpiarlo.

#### IV.- MANTENIMIENTO

##### A.- PROCEDIMIENTO DE LLENADO DEL LADO DE AGUA FRÍA DEL INTERCAMBIADOR.

- 1.- Cierre la válvula reguladora del flujo de agua fría del rotámetro.
- 2.- Asegúrese de que el tapón de des-aireado del intercambiador esté cerrado.
- 3.- Observe si las mangueras de entrada y salida de agua fría están conectadas para flujo en CONTRA-CORRIENTE.
  - 3.1 La manguera superior al conector marcado "SALIDA", y la manguera inferior al conector marcado "ENTRADA".
  - 3.2 Si es así, vaya al paso 7.- Si no es así, continúe con los siguientes pasos.
- 4.- Desconecte primero la manguera superior del agua fría del intercambiador.
  - 4.1 Desconecte las mangueras de los conectores marcados "ENTRADA" y "SALIDA".
  - 4.2 Algo de agua podría derramarse. Tenga a la mano papel o tela absorbente para secar.
- 5.- Desconecte a continuación la manguera inferior del agua fría del intercambiador.
  - 5.1 Podría derramarse mucha agua. Tape con el dedo el conector para reducir el derrame. Tenga a la mano con que secar el agua.
- 6.- Conecte las mangueras para flujo en CONTRA-CORRIENTE.
  - 6.1 La manguera superior al conector marcado "SALIDA", y la manguera inferior al conector marcado "ENTRADA".
- 7.- Afloje el tapón de des-aireado del intercambiador.
  - 7.1 Si es necesario, remueva completamente el tapón. Tenga cuidado de no extraviarlo.
- 8.- Abra la válvula reguladora del rotámetro del agua de enfriamiento.

9.- Espere a que empiece a derramarse agua por el orificio de des-aireado del intercambiador.

10.- Cuando se derrame agua, coloque y cierre completamente el tapón de des-aireado.

#### B.- PROCEDIMIENTO DE LLENADO DEL TANQUE

NOTA. UTILIZE ESTE PROCEDIMIENTO SI EL NIVEL DE AGUA EN EL TANQUE ESTA POR DEBAJO DEL MINIMO.

1.- Desconecte la alimentación eléctrica del aparato. Esto es muy importante para prevenir choques eléctricos.

2.- Asegúrese de que la resistencia calentadora esta fría.

3.- Con cuidado, afloje y levante la tapadera del tanque.

3.1 Tenga mucho cuidado de no dañar los cables eléctricos que entran a la resistencia calentadora.

4.- Agregue agua hasta el nivel máximo.

4.1 Abra la válvula reguladora de flujo turbulento, para asegurarse de llenar completamente el sistema.

5.- Coloque nuevamente la tapadera del tanque.

5.1 Aprete la tapadera solamente hasta que cierre. No ejerza fuerza sobre ella.

6.- Conecte el aparato nuevamente a la alimentación eléctrica.

#### ESPECIFICACIONES TECNICAS.

##### 1.- ELECTRICO:

1.1 VOLTAJE: 110 - 120 VAC, 60 HZ, Monofásico.

1.2 CORRIENTE: 10 A Máximo.

##### 2.- AGUA DE ENFRIAMIENTO:

2.1 CAUDAL: 5 - 7 GPH (19 - 26 LPH)

2.2 TEMPERATURA REQUERIDA: AMBIENTE (20 - 28 °C)

3.- FLUIDO DE TRABAJO: Agua potable

4.- BOMBA:

4.1 TIPO: Centrífuga, sellada, impulsada por acople magnético.

4.2 PRESION INTERNA: 150 PSI máximo.

4.3 PRESION DE OPERACION: 5.0 SI.

4.4 ALTURA DE BOMBA: 3.5 M máximo.

4.5 CAUDAL: 645 GPH (40.7 LPM) máximo.

Aprox. 6 GPM (22.7 LPM) en operación normal.

4.6 POTENCIA: 1/25 HP.

5.- TERMOMETRO:

5.1 TIPO: Digital, pantalla LED.

5.2 PRECISION:  $\pm 0.5$  °C

5.3 RESOLUCION: 0.1 °C

5.4 TERMOCOUPLAS: Tipo T.

6.- TANQUE:

6.1 CONSTRUCCION: Policarbonato, para alta temperatura.

7.- ROTAMETROS:

7.1 TIPO: Area variable, para flujo vertical.

7.2 CONSTRUCCION: Acrílico, sellos de tipo O-RING, con válvulas reguladoras incorporadas (bajo caudal), o con válvula externa de globo de PVC (alto caudal).

8.- INTERCAMBIADOR:

8.1 TUBO CENTRAL: De cobre, para agua caliente.

DIAMETRO EFECTIVO: 0.5 " (0.0127 mm)

LONGITUD EFECTIVA: 1.0 M

8.2 TUBO EXTERIOR: PVC para alta presión.

DIAMETRO NOMINAL: 1.5 "

8.3 CONSTRUCCION: Sellado con adhesivo, aislamiento de CPVC entre tubo central y tubo exterior.

8.4 AREA EFECTIVA DE INTERCAMBIO DE CALOR:  $0.040 \text{ M}^2$  (  $61.84 \text{ in}^2$ )

9.- MANGUERAS:

9.1 AGUA CALIENTE: Hule reforzado, para alta temperatura.

9.2 AGUA DE ENFRIAMIENTO: Hule - vinil.

10.- GABINETE:

10.1 CONSTRUCCION: Madera tipo PLYWOOD, 1/2" de espesor, con refuerzos internos, forrada de FORMICA.

10.2 DIMENSIONES: Aprox.  $1500 \times 700 \times 500 \text{ mm}$ .

## 6. CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES

### 6.1 CONCLUSIONES

- \* El diseño presentado y posteriormente construido tiene un gran valor teórico práctico, porque se muestra y ofrece como una buena solución al problema de ausencia de equipos de laboratorio que permitan hacer demostraciones objetivas y reales de fenómenos, leyes, tablas y valores que se describen en el salón de clases, así que de parte de los realizadores de este trabajo de graduación, se espera una respuesta positiva a dicho trabajo, y, sobre todo, que al equipo construido se le dé el valor y la utilización que este merece.
- \* El funcionamiento y respuesta del equipo ha sido durante las pruebas muy eficiente, por lo que se espera que el funcionamiento ya en el salón de clases o el laboratorio también dé resultados satisfactorios y veracidad en las pruebas.
- \* El diseño y la posterior construcción del equipo de laboratorio cumple con los requisitos generales y necesarios para realizar demostraciones básicas y específicas de diferentes áreas de la Mecánica, tales como Transferencia de Calor, Mecánica de Fluidos, Termodinámica y Sistemas de Vapor.
- \* El diseño y la construcción de este equipo de laboratorio puede ser mejorada, por lo que en el capítulo 3 se hacen las respectivas sugerencias para la implementación de nuevos dispositivos que ampliarán la capacidad de demostración y eficiencia del equipo.
- \* El costo de todos los dispositivos y en sí los costos de la construcción del equipo, se hizo porque se llegó a la conclusión de que la Universidad y los alumnos necesitan un equipo como el que se construyó, con elementos, accesorios y dispositivos de calidad que

puedan operar eficientemente por largo tiempo, claro, si se le da al equipo el trato y mantenimiento necesario, así como también seguir las instrucciones de operación y manejo que contiene el documento.

## 6.2 RECOMENDACIONES

- \* El equipo construido permite realizar las demostraciones sugeridas y cumple con los objetivos iniciales de la construcción del trabajo. El principal objetivo es demostrar las leyes básicas de la Transferencia de Calor, pero también se recomienda darle todo el uso posible a este equipo, no dejarlo subutilizado solamente en el área de transferencia de Calor, sino también realizar demostraciones en las demás áreas sugeridas en el documento. Por ejemplo, en el área de mecánica de Fluidos, demostraciones de fenómenos relacionados con el flujo laminar y turbulento en conductos cerrados pueden realizarse.
  
- \* Se recomienda que a la hora de utilizar el equipo, se traslade con gran cuidado, ya que ciertos elementos, como los rotámetros, el medidor de temperatura y el controlador, son instrumentos delicados y de precisión. A la hora de hacer las demostraciones, colocarlo en un lugar plano y fijo, como el piso o en un escritorio grande.
  
- \* Se recomienda almacenar el equipo en un lugar fresco y seco, con su respectiva cubierta plástica o de tela, para evitar que algún elemento se contamina de polvo o cualquier otra partícula que lo pueda dañar.
  
- \* A la hora de echar a andar el equipo, revisar las mangueras del suministro de agua potable, que son las que se utilizan para el suministro de agua de enfriamiento, así como también el agua del tanque, estén limpias; ya que esto puede dañar los rotámetros, causándoles alguna obstrucción y posible daño.
  
- \* Ya que se trabaja con agua, evitar en lo posible derramarla cerca o en el circuito del controlador de temperatura, ya que este consta de elementos electrónicos delicados y sensibles, fácilmente deteriorables con el agua o el ambiente.

\* Se recomienda también tomar en cuenta las sugerencias para mejoras del equipo, ya que éstas han sido hechas con el afán de mejorarlo aún más y optimizar su eficiencia. Incluso su mejoramiento puede ser el tema de un trabajo final de Transferencia de Calor o de Termodinámica.

## 7. BIBLIOGRAFIA

- Avner *Introducción a la Metalurgia Física.* Editorial McGraw Hill, México 1985
- Baumister, Avallone, Baumister III *Marks Manual del Ingeniero Mecánico.* Editorial McGraw Hill, México 1992.
- Hicks, Tyler *Bombas Selección y Aplicación.* CECSA, México, 1987.
- Karlekar B.V., Desmond R.M. *Transferencia de Calor.* Editorial Interamericana, México, 1985.
- Kern Donald Q. *Procesos de Transferencia de Calor.* CECSA, México, 1982.
- Kraas *Heat Exchanger Design.* (s.f.)
- Holman, J.P. *Transferencia de Calor.* CECSA, México, 1987.
- Pitts, D.R. y Sissom, L.E. *Transferencia de Calor.* Editorial McGraw Hill, Serie Shaum México 1987
- Streeter, Víctor L. *Mecánica de los Fluidos.* Editorial McGraw Hill, México 1987.
- Wark, Kenneth *Termodinámica.* Editorial McGraw Hill, México 1987.

Welty, James R.

*Fundamentos de Transferencia de Momento, Calor y Masa.* Editorial LIMUSA, 1987.

White, Frank M.

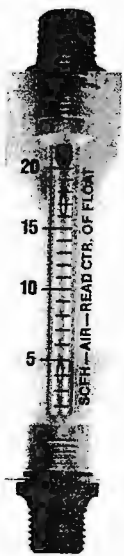
*Mecánica de los Fluidos.* Editorial McGraw Hill, México, 1987.

# ECONOMICAL DIRECT READING FLOWMETERS

- Choose from flowmeters with 50-mm, 60-mm, or 127-mm scales
- Select liquid-calibrated or air-calibrated models
- Made of sturdy acrylic

Use these direct reading flowmeters for your general-purpose applications. They're easy to operate and install—mount vertically in your in-line system. Precision bored to close tolerances for high resolution. Flowmeters for air are factory-calibrated at STP; flowmeters for liquids are factory calibrated for liquids with 1.0 specific gravity.

Flowmeters are constructed of a solid block of clear acrylic. All flowmeters come with a 316 stainless steel float. Other wetted materials include acrylic metering tube, 316 stainless steel guide rod, PVC end fittings, polysulfone float stops, and EPR O-rings.



50-mm flowmeter  
03279-06



60-mm flowmeter  
03279-50



127-mm flowmeter  
03248-56



127-mm flowmeter  
03248-68

## SPECIFICATIONS

### Accuracy

- 50-mm flowmeters:  $\pm 6\%$  full-scale
- 60-mm flowmeters:  $\pm 4\%$  full-scale
- 127-mm flowmeters:  $\pm 2.5\%$  full-scale

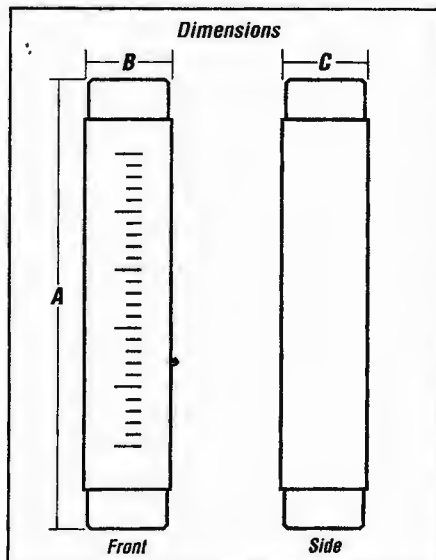
### Repeatability

- 50-mm flowmeters:  $\pm 2\%$  full-scale
- 60-mm flowmeters:  $\pm 1\%$  full-scale
- 127-mm flowmeters:  $\pm 0.5\%$  full-scale

Maximum operating temperature: 130°F (54°C)

Maximum pressure: 150 psi

Detail letter	A	B	C	Connections
50 mm	4 3/4"	1"	1 1/8"	1/4" NPT(M)
60 mm	6 1/2"	1 3/8"	1 3/8"	1/2" NPT(F)
127 mm (square)	9 1/4"	1 3/8"	1 3/8"	1/2" NPT(F)
03248-96 and -97, 03248-64 thru -70	10 1/4"	2" dia	1" NPT(F)	
03248-72 and -73	12 1/16"	2" dia	1 1/2" NPT(M)	
03248-98 and -99, 03248-74 thru -83	13 3/4"	3" dia	2" NPT(F)	



## 50-MM FLOWMETERS (square)

Cat. no.	Maximum flow	Price
For air. Shpg wt 1 lb (0.5 kg).		
H-03279-00	2 scfh	\$32.00
H-03279-02	5 scfh	32.00
H-03279-04	10 scfh	32.00
H-03279-06	20 scfh	32.00
H-03279-08	30 scfh	32.00
H-03279-10	60 scfh	32.00
For liquid. Shpg wt 1 lb (0.5 kg).		
H-03247-32	7 GPH	32.00
H-03247-34	12 GPH	32.00
H-03247-36	22 GPH	32.00
H-03247-38	40 GPH	32.00
H-03248-40	60 GPH	32.00
H-03248-41	75 GPH	32.00

## 60-MM FLOWMETERS (square)

Cat. no.	Maximum flow	Price
For air. Shpg wt 1 lb (0.5 kg).		
H-03279-50	4 scfm	\$ 38.00
H-03279-52	8 scfm	38.00
H-03279-54	14 scfm	38.00
H-03279-56	20 scfm	38.00
For liquid. Shpg wt 1 lb (0.5 kg).		
H-03248-46	1.0 GPM	47.00
H-03248-48	2.0 GPM	47.00
H-03248-49	3.5 GPM	45.00
H-03248-50	5.0 GPM	52.25

## 127-MM FLOWMETERS (square)

Cat. no.	Maximum flow	Price
For air. Shpg wt 2 lbs (0.9 kg).		
H-03248-92	4 scfm	\$56.00
H-03248-93	6.8 scfm	56.00
H-03248-94	8 scfm	56.00
H-03248-95	20 scfm	56.00
For liquid. Shpg wt 2 lbs (0.9 kg).		
H-03248-56	1.0 GPM	56.00
H-03248-57	100 GPH	56.00
H-03248-58	2.0 GPM	56.00

## 127-MM FLOWMETERS (round)

Cat. no.	Maximum flow	Price
For air. Shpg wt 2 lbs (0.9 kg).		
H-03248-96	40 scfm	\$140.00
H-03248-97	62 scfm	140.00
H-03248-98	165 scfm	425.00
H-03248-99	245 scfm	425.00
For liquid. Shpg wt 2 lbs (0.9 kg).		
H-03248-64	10.0 GPM	140.00
H-03248-66	15.0 GPM	140.00
H-03248-68	21.0 GPM	140.00
H-03248-70	30.5 GPM	148.00
H-03248-72	40.0 GPM	178.00
H-03248-73	50.0 GPM	178.00
H-03248-74	60.0 GPM	425.00
H-03248-75	80 GPM	425.00
H-03248-77	100 GPM	425.00
H-03248-79	120 GPM	425.00
H-03248-81	160 GPM	425.00
H-03248-83	200 GPM	425.00

See pages 1590-1606 for our complete selection of valves.

# BLOCK-TYPE FLOWMETERS

**FLOW METERS**

Variable area



Five scale sizes for readability and accuracy—50, 75, 100, 127, and 250 mm

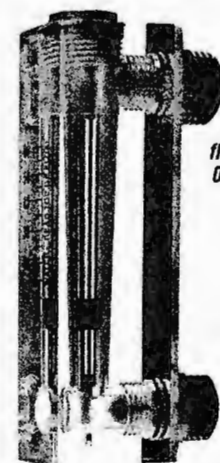
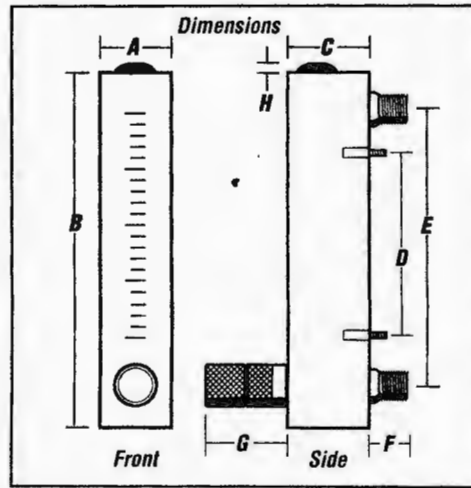
Direct reading for liquid—GPH and GPM scales

Direct reading for air—SCFH and SCFM scales

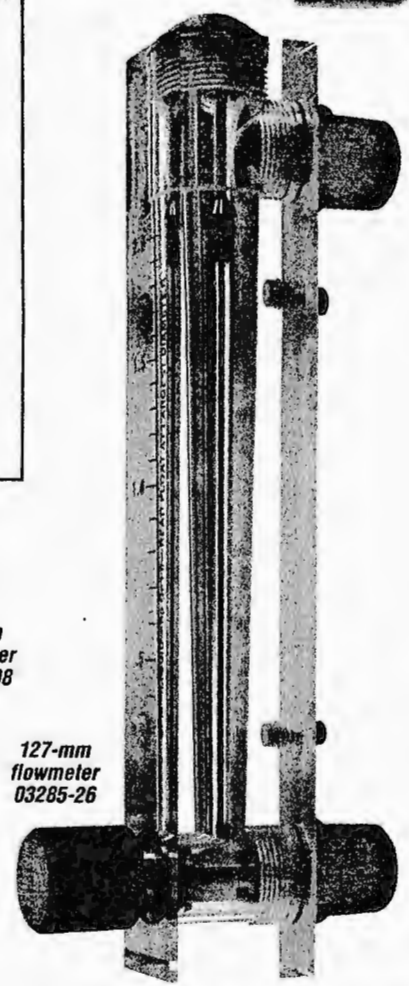
Monitor many flow applications with these economical flowmeters. Machined from solid acrylic blocks, they have integral metering tubes. Calibrated to air at standard temperature and pressure (STP)—other scale calibrations are available upon special request.

Materials of construction include a cast acrylic metering block, 316 stainless steel float and guide rod, PVC plumb fittings and plug (brass on 50-mm models), EPR O-rings, and brass metering valve (see table below for models with valves). Optional materials for O-rings and for the metering valve are available upon request—call for details.

These flowmeters are designed for front-panel mounting—inlet and outlet ports and mounting studs extend through the panel for easy installation. Instead of mounting studs, the 50-mm models include nickel-plated brass retaining nuts that thread onto the OD of plumbing connections. Maximum operating temperature is 130°F (54°C); maximum operating pressure is 125 psi.



50-mm flowmeter 03286-08



127-mm flowmeter 03285-26

Detail letter	Dimensions				
	50 mm	75 mm	100 mm	127 mm	250 mm
A	1"	1 3/16"	1 3/8"	1 3/8"	1 3/4"
B	4 1/2"	7"	9"	8 3/8"	15"
C	1 3/16"	1 1/2"	1 3/8"	1 1/2"	1 3/4"
D	—	3"	3 3/8"	3 1/8"	8 3/4"
E	3"	5"	6 1/8"	6 7/8"	12 3/8"
F	3/8"	1 3/8"	1 1/4"	1 1/8"	3/4"
G	1"	1 1/8"	—	1 1/8"	2 1/2"
H	1/8"	3/8"	1/8"	3/8"	1/4"
Mounting thread size*	—	1/4-20	1/4-20	1/4-20	3/8 x 24

\*The 50-mm (2") scale has a 10 x 32 brass insert; other sizes use threaded stud for mounting.

For liquid applications					For air applications					Specifications		
Maximum flow	Without valve		With valve		Maximum flow	Without valve		With valve		Accuracy (full-scale)	Repeatability (full-scale)	Port size
	Cat. no.	Price	Cat. no.	Price		Cat. no.	Price	Cat. no.	Price			
Flowmeters with 50-mm scale. Shpg wt 1 lb (0.5 kg).												
7 GPH	H-03286-00	\$ 32.00	H-03285-00	\$ 39.50	2 scfh	H-03292-00	\$ 32.00	H-03291-00	\$ 39.50	±6%	±2%	1/4" NPT(F)
12 GPH	H-03286-02	32.00	H-03285-02	39.50	5 scfh	H-03292-02	32.00	H-03291-02	39.50			
22 GPH	H-03286-04	32.00	H-03285-04	39.50	10 scfh	H-03292-04	32.00	H-03291-04	39.50			
44 GPH	H-03286-06	32.00	H-03285-06	39.50	20 scfh	H-03292-06	32.00	H-03291-06	39.50			
60 GPH	H-03286-08	32.00	H-03285-08	39.50	30 scfh	H-03292-08	32.00	H-03291-08	39.50			
—	—	—	—	—	60 scfh	H-03292-10	32.00	H-03291-10	39.50			
—	—	—	—	—	100 scfh	H-03292-14	32.00	H-03291-14	39.50			
—	—	—	—	—	165 scfh	H-03292-16	32.00	H-03291-16	39.50			
—	—	—	—	—	4 scfm	H-03292-17	32.00	H-03291-17	39.50			
Flowmeters with 75-mm scale. Shpg wt 1 lb (0.5 kg).												
1 GPM	H-03286-14	45.00	H-03285-14	55.25	—	—	—	—	—	±4%	±1%	1/4" NPT(F) x 1/2" NPT(M)
2 GPM	H-03286-16	45.00	H-03285-16	55.25	—	—	—	—	—			
3.5 GPM	H-03286-18	45.00	H-03285-18	55.25	—	—	—	—	—			
5 GPM	H-03286-20	45.00	H-03285-20	55.25	—	—	—	—	—			
Flowmeters with 100-mm scale. Shpg wt 2 lbs (0.9 kg).												
10 GPM	H-03286-40	70.00	—	—	40 scfm	H-03292-46	70.00	—	—	±2.5%	±0.5%	1" NPT(M)
15 GPM	H-03286-42	70.00	—	—	62 scfm	H-03292-48	70.00	—	—			
20 GPM	H-03286-44	70.00	—	—	—	—	—	—	—			
Flowmeters with 127-mm scale. Shpg wt 2 lbs (0.9 kg).												
1 GPM	H-03286-22	55.25	H-03285-22	67.50	4 scfm	H-03292-18	55.25	H-03291-18	67.50	±2.5%	±0.5%	1/4" NPT(F) x 1/2" NPT(M)
100 GPH	H-03286-24	55.25	H-03285-24	67.50	6.8 scfm	H-03292-20	55.25	H-03291-20	67.50			
2 GPM	H-03286-26	55.25	H-03285-26	67.50	8 scfm	H-03292-22	55.25	H-03291-22	67.50			
5 GPM	H-03286-28	55.25	H-03285-28	67.50	20 scfm	H-03292-24	55.25	H-03291-24	67.50			
—	—	—	—	—	—	—	—	—	—			
Flowmeters with 250-mm scale. Shpg wt 4 lbs (1.8 kg).												
2 GPM	H-03286-50	105.00	H-03285-50	125.00	8.5 scfm	H-03292-60	105.00	H-03291-60	122.89	±2%	±0.5%	1/2" NPT(F)
3.5 GPM	H-03286-52	105.00	H-03285-52	125.00	14.5 scfm	H-03292-62	105.00	H-03291-62	125.00			
5 GPM	H-03286-54	105.00	H-03285-54	125.00	20 scfm	H-03292-64	105.00	H-03291-64	125.00			
10 GPM	H-03286-56	105.00	H-03285-56	125.00	40 scfm	H-03292-66	105.00	H-03291-66	125.00			

NOTE: Please observe that maximum flow rates are given in both GPH and GPM; both scfh and scfm.

Call us toll-free at 1-800-323-4340

# COLE-PARMER® MULTI-TYPE THERMOCOUPLE PANEL METERS

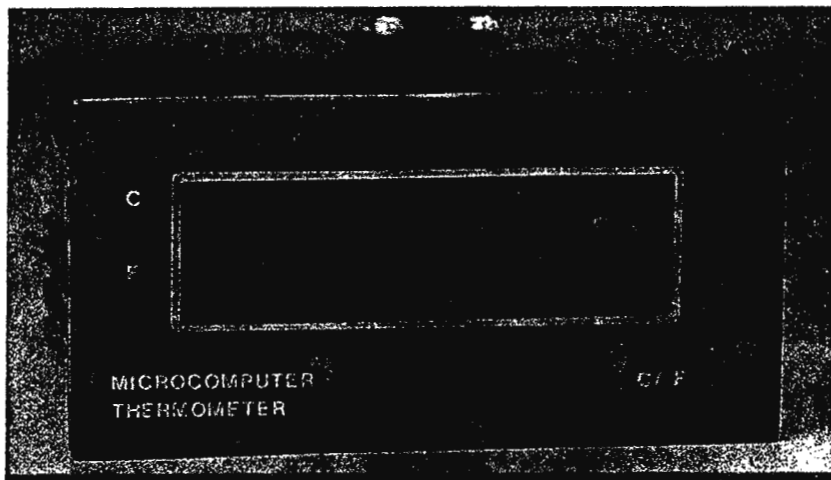
Choose a standard or a minimum/maximum model

Monitor temperature accurately and economically with these 1/8 DIN thermocouple panel meters. Select °F or °C display via convenient front-panel keypad. Select thermocouple types via internal DIP switch—meters accept most thermocouple types with stripped-wire leads. Probes are not included—order thermocouple probes and accessories separately from pages 1375-1424.

Model 89500-10 also features minimum/maximum capabilities—lets you check minimum and maximum temperatures or display them constantly. Power cord and plug are not included with either model.

**I-89500-00 Multi-type thermocouple panel meter.....\$195.00**

**I-89500-10 Multi-type thermocouple panel meter with minimum/maximum capabilities.....\$217.00**



## SPECIFICATIONS

### Ranges

J: -335.0 to 1652.0°F (-204.0 to 900.0°C)  
 K: -200.0 to 2408.0°F (-129.0 to 1320.0°C)  
 T: -207.0 to 752.0°F (-133.0 to 400.0°C)  
 E: -300.0 to 1292.0°F (-184.0 to 700.0°C)  
 N: -310.0 to 1999.8°F (-190.0 to 1300.0°C)  
 R: 32 to 3200 (0 to 1760°C)  
 S: 32 to 3200 (0 to 1760°C)  
 DIN J: -296.0 to 1652.0°F (-182.0 to 900.0°C)  
 DIN T: -107.0 to 1112.0°F (-77 to 600.0°C)

Resolution: 0.1°/1°F or °C, user-selectable

### Accuracy

0.1° resolution mode\*

Types J, K, T, E, N: ±0.05% of rdg or ±1.4°F (0.7°C), whichever is greater  
 Types DIN J, DIN T: ±0.05% of rdg or ±3.2°F (1.7°C), whichever is greater

1° resolution mode

Types J, K, T, E, N: ±0.05% of rdg or ±1°F (1°C), whichever is greater  
 Types R, S: ±0.05% of rdg or ±4°F (2°C), whichever is greater  
 Types DIN J, DIN T: ±0.05% of rdg or ±3°F (2°C), whichever is greater

Display: 4½-digit LED, 5/16"H

Operating ambient: 14 to 140°F (-10 to 60°C)

Power: 115/230 VAC, 50/60 Hz

Overall dimensions: 4.50"W x 1.94"H x 4.13"D  
 (114 mm W x 49 mm H x 105 mm D)

Panel cutout: 1/8 DIN, 3.622"W x 1.772"H x 4.00"D  
 (92 mm W x 45 mm H x 102 mm D)

Shpg wt: 2 lbs (0.9 kg)

\*The 0.1° resolution mode is not recommended for types R and S thermocouples.



# "Bolt-On" Washer Thermocouple Assemblies

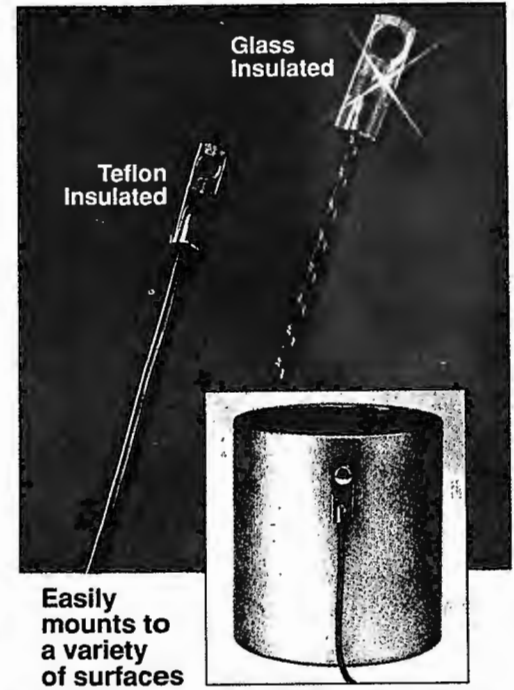
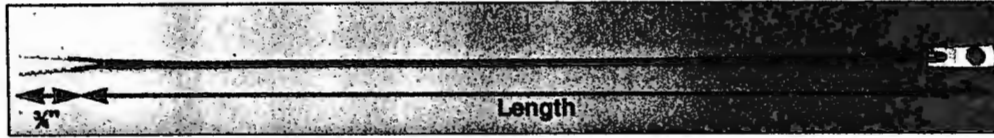


- ✓ New Rugged Design
- ✓ For #6, #8, #10 and 1/4" Screw Sizes
- ✓ Made from 20 AWG Glass-On-Glass or Teflon Insulated Wire
- ✓ Stocked in 12, 24, 36 and 60" Lengths with Stripped End Leads
- ✓ Rated to 900°F (482°C)

**\$8**  
Basic Unit

### Washer Dimensions

#6 and #8 screw size: 0.875" L x 0.250" W  
 #10 and 1/4" screw size: 1" L x 0.360" W



Easily mounts to a variety of surfaces

### To Order (Specify Model Number)

**IN STOCK FOR FAST DELIVERY!**

Model No. 12" L \$8.00 each	Model No. 24" L \$9.00 each	Model No. 36" L \$10.00 each	Model No. 60" L \$12.00 each	"A" Washer Diameter	Nominal Screw Size	
					American	Metric
WT(*)-6-S-12	WT(*)-6-S-24	WT(*)-6-S-36	WT(*)-6-S-60	0.145"	#6	M3.5
WT(*)-8-S-12	WT(*)-8-S-24	WT(*)-8-S-36	WT(*)-8-S-60	0.170"	#8	M4
WT(*)-10-S-12	WT(*)-10-S-24	WT(*)-10-S-36	WT(*)-10-S-60	0.195"	#10	M4.5
WT(*)-14-S-12	WT(*)-14-S-24	WT(*)-14-S-36	WT(*)-14-S-60	0.260"	1/4"	M6

\*Specify calibration: J, K, T or E.  
 Stripped leads are standard. To order other terminations, replace the "S" with "L" for #10 spade lugs (\$4 add'l), "M" for OST male connector (\$4 add'l), or "F" for OST female connector (\$5 add'l).  
 To order with lead lengths over 60", change "60" in model number to desired length in inches, and add \$1 per add'l. foot to the 60" price.  
 To order with Teflon insulated lead wires, add suffix "-TT" to model no. No additional cost. **Example:** WTK-14-S-12-TT; 1/4" washer probe, type K, 12" length, stripped leads, Teflon insulated wire, \$8.  
**Ordering Example:** WTK-6-S-12, washer thermocouple, type K, #6 screw, 12" length. glass braid insulated wire, \$8.



# MARCH

## "MAGNE-BOOST"™ HOT WATER PUMP

### MODEL 809 SERIES PUMP

# INSTALLATION INSTRUCTIONS SERVICE AND REPAIR PARTS LIST

**DESCRIPTION:** Your March hot water booster pump is a non-self priming unit built to handle liquid transfer in heating and cooling operations. Applications include home heating systems, solar heating systems, heat recovery systems and recirculating water in domestic and commercial hot water tanks.

Contact the factory for applications other than those listed, and for liquids other than water.

#### SPECIFICATIONS

<b>INLET AND OUTLET CONNECTIONS:</b>		1/2" MPT or 5/8 Flare Tube Conn. or Center Inlet Style
<b>ELECTRICAL:</b>	809	115 Volts, 60 Hz, 1 Phase, 30 Watts, 0.3 Amps, 1600 RPM, 1/100 HP
	809 HS	115 Volts, 60 Hz, 1 Phase, 80 Watts, 1.2 Amps, 3400 RPM, 1/25 HP
	809 HS-815	115 Volts, 60 Hz, 1 Phase, 85 Watts, 1.4 Amps, 3400 RPM, 1/25 HP
<b>MAXIMUM LIQUID TEMPERATURE:</b>		250°F
<b>MAXIMUM INTERNAL PRESSURE:</b>		150 PSI
<b>CONSTRUCTION:</b>		Bronze, Stainless Steel, Ryton Plastic
<b>DIMENSIONS:</b>		Height over Threads 4-7/8" Width 3-3/8" Length w/1600 RPM Mtr. 6-1/2" Length w/3400 RPM Mtr. 7-1/2"
<b>CAPACITY:</b>	809	1600 RPM 3.1 GPM Maximum and 1.8 PSI Maximum
	809 HS	3400 RPM 5.3 GPM Maximum and 5.0 PSI Maximum
	809 HS-815	3400 RPM 5.5 GPM and 6.53 PSI Maximum
<b>APPROVAL:</b>		Motors are U.L. Yellow Card listed, impedance protected or thermal overload protected. Complete pump under U.L. file E43564(N)*

\*UL recognition on pumps, file E43564, is for water only.

**INSTALLATIONS:** The 809 Series pump is assembled and ready for installation. The pump should be mounted with the Electric Conduit Box (Item 18) on the bottom. The oil ports will then be on the top of the motor. The pump housing should be installed with the arrow on our housing pointing in the direction of the water flow within the system. If the arrow indicating water flow is not in the direction you require when the motor is in position, remove the four round housing screws (Item 1) holding the housing to the motor assembly and rotate the housing assembly as required. Replace the four screws and tighten.

The pump is made up of two basic sub-assemblies. They are the Wet End Assembly; and the Drive Magnet, Bracket and Motor Assembly (Items 19 or 20). To separate the 2 assemblies, simply remove the 4 round head screws (Item 1). The pump will then separate into the 2 sub-assemblies. The water will still be contained within the Wet End assembly unless you loosen the screws (Item 10) on the rear of the Wet End assembly.

**LUBRICATION:** The motor should be oiled at least once a year at the start of the heating season with 4 or 5 drops of SAE 20 weight non-detergent oil in each bearing. If the pump is used year around it should be oiled every six months. Do not over oil. No oiling is required on the ball bearing motors.

**GENERAL SAFETY INFORMATION:** Follow all local electrical and safety codes, and the Occupational Safety and Health Act (OSHA). Make certain that the power source conforms to the requirements of your equipment. Always disconnect power source before performing any work on or near the electric motor. Caution must be exercised to relieve any pressure in the system and in draining hot water from the pump or the system.

#### DISASSEMBLY AND REASSEMBLY:

1—The motor assembly (Items 19 or 20) can be removed from the Wet End assembly without having to drain the liquid out of the system.

2—Remove four screws (Item 1) and slide the motor assembly away from the Wet End assembly.

3—If you must replace parts inside the pump housing assembly, then first close off the valves that supply water to the heating system or to the hot water tank. Drain the system to relieve any pressure.

4—After the system is drained and cool enough to handle, then remove the four screws (Item 10) on the rear of the housing.

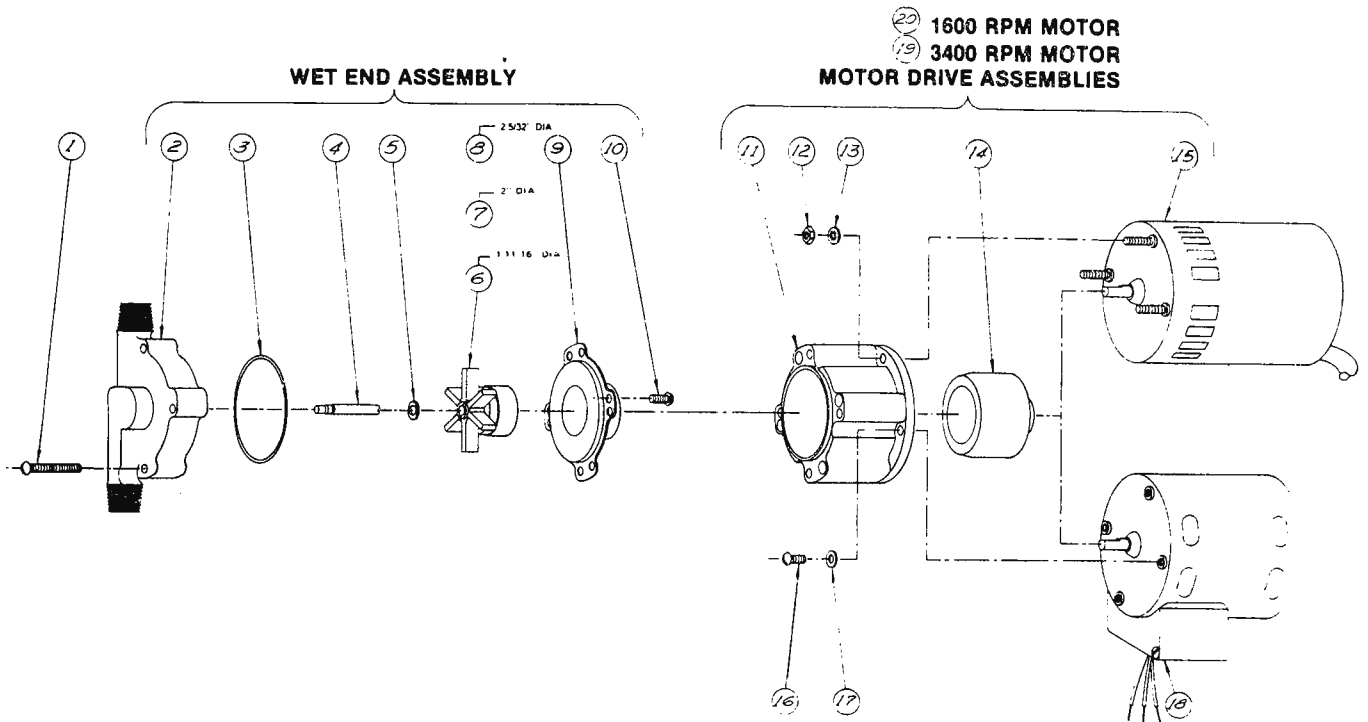
5—The impeller magnet housing (Item 9) can now be removed. It may be snug fit into the pump housing and it may be necessary to pry evenly, under the four ears to loosen it.

6—Remaining pump parts can now be lifted out in sequence as shown on the exploded view. Replace any worn or damaged parts. Replace the "O" ring (Item 3) anytime the impeller magnet housing is removed.

**MARCH MANUFACTURING, INC.**



1819 PICKWICK AVE., GLENVIEW, ILLINOIS 60025-0087  
PHONE: (708) 729-5300  
FAX: (708) 729-7062



REPAIR PARTS LIST			
ITEM	DESCRIPTION	PART NUMBER	QUANTITY
1	#8 x 1-1/4 Long Rd. Hd. Screw	923-003-10	4
2a	Pump Housing w/1/2" MPT	809-013-10	1
2b	Pump Housing w/Center Inlet Style*	809-142-00	1
2c	Pump Housing Plastic w/1/2" MPT*	809-079-10	1
3	"O" Ring, Silicon Rubber	809-027-10	1
4a	Impeller Shaft w/Thread	809-008-10	1
4b	Impeller Shaft w/"D" Flat	809-161-10	1
5	Thrust Washer	809-043-10	1
6	Impeller & Magnet Assembly 1-11/16 Dia. (3400 RPM) 809 HS	809-005-02	1
7	Impeller & Magnet Assembly 2 Dia. (1600 RPM) 809	809-005-01	1
8	Impeller & Magnet Assembly 2-5/32 Dia. (3400 RPM) 815	809-107-02	1
9	Impeller Magnet Housing	809-012-10	1
10	#8 x 3/8 Long Rd. Hd. Screw	135-040-10	4
11	Connecting Bracket	809-058-10	1
12	#8 Hex Nut	410-039-10	3
13	#8 Lock Washer	620-010-10	3
14	Drive Magnet Assembly	125-083-01	1
15	Motor, 115 Volt, 3400 RPM	809-090-10	1
16	#8 x 3/8 Long Rd. Hd. Screw	135-040-10	4
17	#8 Flat Washer	858-004-10	4
18	Motor, 115 Volt, 1600 RPM	809-064-10	1
19	Motor, Drive Magnet, Bracket Assembly (3400 RPM)	809-070-01	1
20	Motor, Drive Magnet, Bracket Assembly (1600 RPM)	809-071-01	1

\* Old Style Housings Require Threaded Imp. Shaft (4a)  
New Housings Require Round Imp. Shaft with "D" Flat (4b)

