

T621.4022

CH0w



Escuela Superior Politécnica del Litoral

**Facultad de Ingeniería en Mecánica y Ciencias de la
Producción**

**“Actualización de los Equipos de
Transferencia de Calor por Conducción
y Convención del Laboratorio de
Termofluidos de la FIMCP Mediante
un Sistema de Adquisición de Datos”**

TESIS DE GRADO

**Previa a la Obtención del Título de:
INGENIERO MECANICO**

Presentada por:

Wilter Guillermo | Chóez Pincay

Guayaquil - Ecuador

Año - 2002

AGRADECIMIENTO

A la ESCUELA SUPERIOR POLITECNICA DEL LITORAL representada por los señores profesores de la FIMCP, por haberme brindado los conocimientos ingenieriles para el desarrollo de mi vida profesional.

A todas las personas que de una u otra manera ayudaron a la culminación de este proyecto.

DEDICATORIA

A MIS PADRES, quienes guiaron mis pasos para la realización de este sueño.

A MIS HERMANOS, motivadores incondicionales durante el transcurso de mis estudios.

A MIS AMIGOS, por la confianza depositada en mi.

Y en especial, A KAREM, mi esposa por su valiosa ayuda y gran apoyo en los momentos difíciles.

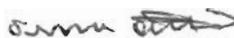
TRIBUNAL DE GRADUACIÓN



Ing. Jorge Duque R.

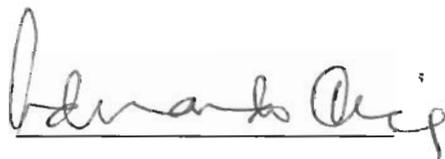
DELEGADO DEL DECANO
DE LA FIMCP

PRESIDENTE



Ing. Francisco Andrade S.

DIRECTOR DE TESIS



Ing. Eduardo Orces P.

VOCAL

DECLARACIÓN EXPRESA

“La responsabilidad del contenido de esta Tesis de Grado, me corresponden exclusivamente; y el patrimonio intelectual de la misma a la ESCUELA SUPERIOR POLITÉCNICA DEL LITORAL”

(Reglamento de Graduación de la ESPOL).



Wilter Guillermo Chóez Pincay.

RESUMEN

El presente trabajo desarrolla un Sistema de Adquisición de Datos para los equipos de Transferencia de Calor por Conducción y Convección del Laboratorio de Termofluidos de la FIMCP.

En el primer capítulo se describirán los equipos de transferencia de calor mencionados, detallando cada uno de sus componentes y describiendo la práctica que en ellos se realiza.

En el segundo capítulo se tratará del sistema de adquisición implantado, describiendo cada uno de los parámetros que son necesarios considerar para que las señales de las termopares sean leídas en el computador. Entre estos parámetros está el equipo traductor de señales analógicas a digital, que en este caso es el sistema modular FieldPoint, el cual necesita del software FieldPoint Explorer para comunicarse con el computador. Las señales transmitidas son acondicionadas y tratadas por medio de un lenguaje gráfico de programación como es Labview; de tal forma que nos permita monitorear en tiempo real cada una de las variables de temperatura de los equipos de transferencia de calor.

Además, se reacondicionarán los equipos para implementar el sistema de adquisición de datos, diseñando y construyendo cada uno de los elementos que sean necesarios, así como la construcción de una tarjeta electrónica que servirá para controlar la temperatura y mantenerla en un rango de operación adecuado.

En el tercer capítulo se desarrollará el programa para la adquisición de datos, utilizando como lenguaje de programación el software de LabView 5.0, en el cual se procesarán los datos de temperatura adquiridos y se mostrarán los resultados de una manera gráfica.

En el cuarto capítulo se elaborarán cuatro guías de prácticas de laboratorio, detallándose de una manera didáctica e interactiva para los estudiantes, e introduciéndolos en un campo muy poco explorado por los Ingenieros Mecánicos.

Finalmente, el último capítulo se referirá a las conclusiones y recomendaciones sobre esta tesis.

ÍNDICE GENERAL

	Pág
RESUMEN.....	II
ÍNDICE GENERAL.....	IV
ABREVIATURAS.....	X
SIMBOLOGÍA.....	XII
ÍNDICE DE FIGURAS.....	XII
ÍNDICE DE TABLAS.....	XVI
ÍNDICE DE PLANOS.....	XVII
INTRODUCCIÓN.....	1

CAPITULO 1.

1. DESCRIPCIÓN GENERAL DE LOS EQUIPOS DE TRANSFERENCIA DE CALOR.....	3
1.1. Consideraciones generales: Conceptos fundamentales.....	3

1.2. Descripción general del equipo de transferencia de calor por conducción.....	6
1.2.1. Características técnicas.....	8
1.2.2. Componentes y partes constitutivas.....	9
1.2.3. Practicas realizadas.....	11
1.3. Descripción general del equipo de transferencia de calor por convección.....	14
1.3.1. Características técnicas.....	15
1.3.2. Componentes y partes constitutivas.....	16
1.3.3. Practicas realizadas.....	18

CAPITULO 2.

2. SISTEMA DE ADQUISICIÓN DE DATOS.....	21
2.1 Equipos para adquisición de datos: Field Point.....	23
2.1.1. Descripción general.....	23
2.1.2. Módulo FP 1000.....	24
2.1.2.1. Especificaciones técnicas.....	27
2.1.2.2. Instalación.....	29
2.1.3. Módulo FP TC 120.....	31
2.1.3.1. Especificaciones técnicas.....	35
2.1.3.2. Instalación y cableado.....	39
2.1.4. Base terminal.....	43

2.2. Lenguaje de comunicación: Drivers.....	45
2.2.1. Descripción general.....	45
2.2.2. Configuración del módulo FP 1000.....	46
2.2.3. Configuración del módulo FP TC 120.....	51
2.3. Lenguaje gráfico de programación.....	56
2.3.1. Descripción general.....	56
2.3.1.1. Panel frontal.....	58
2.3.1.2. Ventana de programación.....	60
2.3.1.3. Icono conector.....	62
2.3.2. Requerimientos.....	63
2.3.3. Aplicaciones.....	64
2.4. Diseño y construcción de accesorios necesarios en los equipos de transferencia de calor para la implementación del sistema de adquisición de datos.....	65
2.4.1. Sensores de temperatura.....	65
2.4.1.1. Selección y construcción de termopares.....	67
2.4.2. Equipo de transferencia de calor por conducción lineal... ..	72
2.4.2.1. Diseño y construcción de las probetas de ensayo.....	73
2.4.2.2. Diseño y selección del aislante térmico.....	76
2.4.2.3. Instalación de termopares.....	78
2.4.2.4. Bomba de agua.....	81

2.4.3. Equipo de transferencia de calor por conducción radial..	83
2.4.3.1. Diseño y construcción de las probetas de ensayo.....	84
2.4.3.2. Diseño y selección del aislante térmico.....	86
2.4.3.3. Instalación de termopares.....	87
2.4.3.4. Bomba de agua.....	89
2.4.4. Equipo de transferencia de calor por convección.....	90
2.4.4.1. Instalación de termopares.....	90
2.5. Diseño y construcción de una tarjeta electrónica para el control de temperatura a través del puerto paralelo del PC.....	93
2.5.1. Diagrama del circuito.....	95
2.5.2. Descripción de los elementos.....	99
2.5.2.1. El relé.....	100
2.5.2.2. El transistor.....	102
2.5.2.3. El circuito integrado SN 7407.....	103
2.6. Distribución de los equipos en el laboratorio.....	106

CAPITULO 3.

3. DESARROLLO DEL PROGRAMA PARA ADQUISICIÓN DE DATOS Y CONTROL DE TEMPERATURA.....	110
3.1. Desarrollo del programa para adquisición de datos con la utilización de Labview como lenguaje de programación.....	111

3.1.1. Diagrama de flujo del programa principal.....	112
3.1.2. Subrutinas utilizadas.....	115
3.1.3. Subrutinas creadas.....	117
3.1.3.1 Estabilización de temperatura.....	120
3.1.3.2 Control de temperatura usando el puerto paralelo.....	121
3.1.3.3. Adquisición de datos.....	122
3.1.3.4. Selección de practicas.....	123
3.1.3.5. Ingreso de datos.....	124
3.1.3.6. Graficación de curvas.....	125
3.1.3.7. Cálculos matemáticos.....	128
3.1.3.8. Exportar datos a excel.....	129
3.2. Desarrollo del programa de ayuda en lenguaje HTML.....	130
3.3. Presentación de las aplicaciones desarrolladas.....	131
3.2.1. Ventana de menú principal.....	132
3.2.2. Ventana de ingreso de datos.....	133
3.2.3. Ventana de resultados esquemáticos.....	135
3.2.4. Ventana de resultados gráficos.....	138

CAPITULO 4.

4. DESARROLLO DE PRACTICAS PARA ESTUDIANTES.....	140
--	-----

4.1. Practica # 1 “Determinación del perfil de temperatura para conducción lineal de calor en estado estable a través de diferentes configuraciones.”	141
4.2. Practica # 2 “determinación del coeficiente de conductividad térmica de diferentes materiales.”	150
4.3. Practica # 3 “Determinación del perfil de temperatura para conducción radial de calor en estado estable.”	153
4.4. Practica # 4 “determinación del coeficiente de transferencia de calor por convección de una pared plana.”	156
CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES	162
APÉNDICES	
BIBLIOGRAFÍA	

ABREVIATURAS

°C	Grados Centígrados.
°F	Grados Fahrenheit.
°K	Grados Kelvin.
A,B,C	Material de termopar
ADC	Conversión de Analógica a Digital.
ASCII	Código binario de computadora
AISI	American Institute of Steel Construction
Bits	Bits
Bits/seg	bits por segundo
COM	Terminal común a tierra
DAQ	Tarjeta de adquisición de datos
dB	Decibeles
DV	Conector
E _{AB} , E _{BC} , E _{AC}	Fuerza electromotriz generada por el termopar
E/S	Entrada / salida
FP	FieldPoints (Punto de Campo)
FP 1000	Módulo de red para adquisición de datos
FP 1001	Modulo de red para control
FP TC 120	Modulo de entrada de señales de temperatura
FP TB 1	Base terminal
GND	Tierra
GPIB	Tarjeta de interfaz
Hz	Hertz
ITS	International Temperature Scale
IN (+)	Terminal positiva del FP TC 120
IN (-)	Terminal negativa del FP TC 120
Kbits/seg	Kilo bits por segundo
KOhms	Kilo Ohmios (1000 Ohms).
Lb	Libra
LabView	Laboratory Virtual Instrument Engineering Workbench

LED	Diodo Emisor de luz.
mA	Miliamperios
mm	Milímetro.
ms	Milisegundos
NA	Normalmente abierto
NC	Normalmente cerrado
NIST	National Institute of Standards and Technology
Ohm	Ohmio.
OFF	Apagado
ON	Encendido
pulg	Pulgada
RS-232	Puerto serial de la computadora
S.A.D.	Sistema de Adquisición de Datos.
SCADA	Supervisory Control And Data Acquisition (Adquisición de datos y control de supervisión)
TH-1	Heat Thermal Conduction
TH-2	Heat Thermal Convection
VDC	Voltaje de corriente continua
VI	Virtual Instrument (Instrumento virtual)
W	Watts

SIMBOLOGÍA

%	Porcentaje.
m°	Flujo masico [Kg/s]
c_p	Calor especifico [J/Kg $^{\circ}$ K]
Q	Caudal [m ³ /s]
ρ	Densidad [Kg/m ³]
Δ	Incremento.
Ω	Ohmios.
q	Flujo de calor por unidad de tiempo [W]
q_x	Flujo de calor por unidad de tiempo en la direccion x [W]
ΔT	Cambio de temperatura.
dT/dx	Gradiente de temperatura en la dirección x
A	Area [m ²]
K	Conductividad térmica [W/m $^{\circ}$ K]
T_s	Temperatura de la superficie [$^{\circ}$ K]
h	Coefficiente de convección [W/m ² $^{\circ}$ K]

ÍNDICE DE FIGURAS

Figura 1.1	Modos de transferencia de calor.....	5
Figura 1.2	Equipo de transferencia de calor por conducción modelo TH.1.....	11
Figura 1.3	Equipo de transferencia de calor por convección modelo TH.2	17
Figura 2.1	Configuración de computadora sobre la línea (ON LINE).....	22
Figura 2.2	Equipo FieldPoint.....	23
Figura 2.3	Módulo de red FP 1000.....	25
Figura 2.4	Conector de alimentación para el FP 1000 y el FP 1001.....	26
Figura 2.5	Instalación del FP 1000 en el carril DIN.....	30
Figura 2.6	Conector RS 232 del FP 1000.....	31
Figura 2.7	Módulo de entrada/salida FP TC 120.....	32
Figura 2.8	Circuito de entrada análoga del FP TC 120.....	34
Figura 2.9	Diagrama de instalación del módulo FP TC 120.....	40
Figura 2.10	Conexiones básicas de campo del FP TC 120.....	42
Figura 2.11	Base terminal.....	44
Figura 2.12	Ventana de inicio de configuración del FieldPoint Explorer...	47
Figura 2.13	Añadiendo un recurso de comunicación al servidor.....	48
Figura 2.14	Ventana de configuración de los recursos de comunicación.	49
Figura 2.15	Ventana final de configuración del Fieldpoint Explorer.....	50
Figura 2.16	Ventana de inicio del menú contextual del FP TC 120.....	51
Figura 2.17	Ventana detallada del menú contextual del FP TC 120.....	52
Figura 2.18	Ventana completa del menú contextual del FP TC 120.....	33
Figura 2.19	Ventana de configuración de los canales del FP TC 120.....	53
Figura 2.20	Selección del tipo de termopar.....	54
Figura 2.21	Selección del rango de temperatura.....	55
Figura 2.22	Ventana de ayuda del módulo FP TC 120.....	56

Figura 2.23	Paleta de herramientas.....	58
Figura 2.24	Panel frontal.....	59
Figura 2.25	Paleta de controles.....	60
Figura 2.26	Diagrama de bloques.....	61
Figura 2.27	Paleta de funciones.....	61
Figura 2.28	Icono conector.....	62
Figura 2.29	Relación temperatura vs. milivoltios para termopares comerciales.....	67
Figura 2.30	Esquema de la probeta de ensayo en el equipo de conducción lineal.....	73
Figura 2.31	Instalación de termopares para el equipo de conducción lineal.....	79
Figura 2.32	Bomba de agua.....	82
Figura 2.33	Esquema de la probeta de ensayo del equipo de conducción radial.....	84
Figura 2.34	Instalación de termopares para el equipo de conducción radial.....	88
Figura 2.35	Distribución de termopares en el equipo de convección.....	91
Figura 2.36	Control de temperatura ON/OFF con computadora.....	94
Figura 2.37	Diagrama del circuito para el control de temperatura.....	96
Figura 2.38	Conexiones externas de la tarjeta electrónica.....	98
Figura 2.39	Tarjeta impresa con su pista.....	98
Figura 2.40	Tarjeta de control de temperatura.....	99
Figura 2.41	Diagrama del circuito del relé.....	101
Figura 2.42	El transistor NPN.....	102
Figura 2.43	Diagrama lógico del circuito integrado SN 7407.....	104
Figura 2.44	Amplificación de las señales de entrada mediante un buffer 7407.....	105
Figura 2.45	Equipo de conducción lineal acondicionado para el sistema de adquisición de datos.....	106
Figura 2.46	Equipo de conducción radial acondicionado para el sistema de adquisición de datos.....	107
Figura 2.47	Equipo de convección acondicionado para el sistema de adquisición de datos.....	107
Figura 2.48	Banco de transferencia de calor.....	109
Figura 3.1	Diagrama de bloques del programa principal.....	113
Figura 3.2	Diagrama de flujo del programa principal.....	114
Figura 3.3	Subrutina de estabilización de temperatura.....	126
Figura 3.4	Subrutina de control de temperatura.....	122
Figura 3.5	Subrutina de adquisición de datos.....	123
Figura 3.6	Subrutina de selección de practicas.....	124
Figura 3.7	Subrutina de ingreso de datos.....	125
Figura 3.8	Subrutina de graficación de curvas.....	126
Figura 3.9	Subrutina de graficación de curvas.....	127

Figura 3.10	Subrutina de cálculos matemáticos.....	128
Figura 3.11	Subrutina de cálculos matemáticos.....	129
Figura 3.12	Subrutina de exportar datos a excel.....	130
Figura 3.13	Ventana del menú principal.....	133
Figura 3.14	Ventana de ingreso de datos.....	134
Figura 3.15	Ventana de resultados esquemáticos.....	137
Figura 3.16	Ventana de resultados gráficos.....	139
Figura 4.1	Distribución de temperaturas a través de una pared plana..	143
Figura 4.2	Distribución de temperaturas a través de una pared compuesta.....	144
Figura 4.3	Circuito térmico equivalente para una pared compuesta serie paralelo.....	145
Figura 4.4	Dependencia de la conductividad térmica con respecto a la temperatura de sólidos seleccionados.....	151
Figura 4.5	Transferencia de calor en un cilindro hueco.....	155

ÍNDICE DE TABLAS

Tabla 1	Dimensiones del equipo de transferencia de calor por conducción modelo TH.1.....	9
Tabla 2	Dimensiones del equipo de transferencia de calor por convección modelo TH.2.....	16
Tabla 3	Señales de entrada y salidas para conexiones del FP TC 120.....	33
Tabla 4	Características de termopares comerciales.....	66
Tabla 5	Conexiones de los termopares con el módulo FP TC 120 en el equipo de conducción lineal.....	80
Tabla 6	Características de la bomba.....	83
Tabla 7	Conexiones de los termopares con el módulo FP TC 120 en el equipo de conducción radial.....	89
Tabla 8	Conexiones de los termopares con el módulo FP TC 120 en el equipo de convección.....	92
Tabla 9	Parámetros de entrada.....	134

ÍNDICE DE PLANOS

•

Plano 1	Elementos del equipo de conducción lineal
Plano 2	Probetas de ensayo del equipo de conducción lineal
Plano 3	Elementos del equipo de conducción radial
Plano 4	Probeta de ensayo del equipo de conducción radial
Plano 5	Distribución de equipos
Plano 6	Banco de transferencia de calor
Plano 7	Caja de Field Point
Plano 8	Estructura soporte de caja de Field Point

INTRODUCCIÓN

Los grandes avances en el campo electrónico y computacional han influido significativamente en el desarrollo de la Ingeniería Mecánica, por lo que es indispensable que con mayor frecuencia involucremos esta moderna tecnología a la Ingeniería Mecánica, tanto para su desarrollo como para su análisis y validación. Por esta razón se realiza esta tesis, con el fin de introducir a los estudiantes en el campo de la mecánica computacional en la búsqueda de nuevas herramientas que permitan mejorar su desarrollo y aplicabilidad en el sector industrial, y en la parte académica, nos permitan recolectar información para la demostración de leyes y teorías como es el proceso de transferencia de calor.

Con este trabajo se tiene como fin demostrar la Ecuación de la Ley de Fourier, aplicada a la transferencia de calor lineal por conducción unidimensional en estado estable a través de cuerpos sólidos cilíndricos de diferentes materiales; además de la transferencia de calor radial por

conducción unidimensional en estado estable a través de la pared de un tubo. Así mismo se demostrará la ecuación de la Ley de enfriamiento de Newton para determinar el coeficiente de transferencia de calor por convección de una placa plana enfriada por aire de manera libre y de manera forzada.

CAPITULO 1

1. DESCRIPCION GENERAL DE LOS EQUIPOS DE TRANSFERENCIA DE CALOR.

1.1 Consideraciones generales: Conceptos fundamentales.

La transferencia de calor es la transmisión de energía de un sitio a otro, debido a la diferencia de temperaturas entre ambos. Se reconocen generalmente tres tipos de modos de transferencia de calor: conducción, convección y radiación.

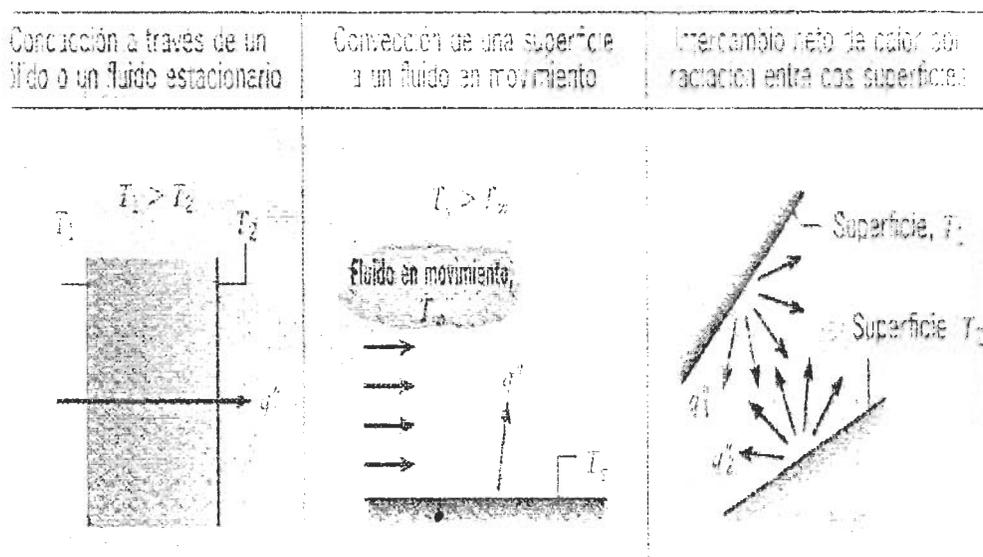
La **conducción**, es el proceso mediante el cual fluye calor desde una región de temperatura alta a una región de temperatura baja dentro

de un medio (sólido, líquido o gaseoso) o entre medios diferentes en contacto físico directo.

La **convección**, es un proceso mediante el cual, el transporte de energía se realiza por la acción combinada de conducción de calor, almacenamiento de energía y movimiento de mezcla. Es decir, la convección es el mecanismo mediante el cual se transfiere el calor entre un sólido y un fluido. •

La **radiación**, es el proceso mediante el cual el calor fluye de un cuerpo a otro a una temperatura dada en forma de energía electromagnética en diferentes longitudes de onda, cuando estos están separados por un espacio, que incluso puede ser el vacío.

En esta tesis se va a tratar con dos de los modos de transferencia de calor, la conducción y la convección, por lo que a continuación se procede a cuantificar los procesos de transferencia de calor en términos de las ecuaciones para cada modo.



**FIGURA 1-1 MODOS DE TRANSFERENCIA DE CALOR:
CONDUCCION, CONVECCION Y RADIACION.**

La transferencia de calor por conducción se basa en la relación fundamental propuesta por el Francés J. B. Fourier, en la cual proponía que la razón de flujo de calor por conducción en una material se puede expresar como:

$$q = -KA \frac{dT}{dx}$$

Ecuación 1-1

El "flujo de calor o transferencia de calor por unidad de tiempo, q , es la velocidad con que se transfiere el calor en una dirección dada por el área perpendicular a la dirección de la transferencia, y es proporcional al gradiente de temperatura, dT/dX en esta dirección".

La constante de proporcionalidad, K , es una propiedad de transporte conocida como “conductividad térmica” y es una característica del material. El signo menos es una consecuencia del hecho de que el calor se transfiere en la dirección de la temperatura decreciente.

La transferencia de calor por convección se basa en la relación propuesta por Newton, la cual establece que:

$$q = hA(T_s - T_\infty) \quad \text{Ecuación 1-2}$$

La ecuación 1.2 define el coeficiente de convección de la transferencia térmica, h , como la constante de proporcionalidad entre la transferencia de calor por unidad de tiempo, q , y una unidad de área, A , y la diferencia de temperatura.

1.2 Descripción general del equipo de transferencia de calor por conducción.

El equipo de transferencia de calor por conducción modelo TH-1 existente en el laboratorio de termofluidos, forma parte de un grupo de equipos para ensayos de transferencia de calor pertenecientes a la Facultad de Ingeniería en Mecánica y Ciencias de la Producción.

Este equipo sirve para demostrar la ley de Fourier y realizar ensayos de transferencia de calor unidimensional y en estado estable para

determinar el coeficiente de conductividad térmica de materiales sólidos, para ello, el equipo se alimenta con una fuente de 110 V que son transformados en potencia eléctrica y disipados en forma de calor por una resistencia de cartucho que actúa como un elemento calentador.

La temperatura del elemento calentador es controlada mediante un termostato bimetalico, el cual tiene inherente a él una histéresis que hace que el control de encendido/apagado sea alternante, prendiendo y apagando dentro de un determinado tiempo.

El elemento enfriador de este equipo lo compone un recipiente de agua, de tal manera que, cuando se coloca una barra de ensayo con sus extremos en contacto con el elemento calentador y el elemento enfriador se origina una diferencia de temperaturas que provoca un flujo de calor a lo largo del eje de la barra de ensayo.

Las temperaturas longitudinales sobre el eje de la barra se obtienen por medio de termómetros colocados convenientemente a cada extremo de la barra, y cuya diferencia de temperatura se utiliza para calcular el coeficiente de conductividad térmica dado en la ecuación 1.1, que puede reescribirse como:

$$K = \frac{q_x L}{A \Delta T}$$

Ecuación 1-3

A continuación se presentan las características técnicas y los elementos que conforman este equipo.

1.2.1 Características técnicas.

El equipo de transferencia de calor modelo TH-1 posee las siguientes características:

- Es una unidad auto regulada para 120 VAC, 60 Hz.
- Tiene incorporada un reloj interno con manecillas indicadoras de segundos.
- Posee una resistencia de cartucho de 150 W., que actúa como fuente de calor.
- Posee un recipiente de agua fría, que actúa como sumidero de calor.

Las dimensiones de la unidad están tabuladas en la TABLA 1.

TABLA 1 DIMENSIONES DEL EQUIPO DE TRANSFERENCIA DE CALOR POR CONDUCCION MODELO TH-1.

Característica	Dimensión (m)
Largo	0.30
Ancho	0.20
Alto	0.15

1.2.2 Componentes y partes constitutivas.

El equipo de transferencia de calor por conducción esta compuesto de los siguientes elementos, los mismos que se pueden observar en la FIGURA 1-2.

- Una resistencia de cartucho de 150 W., insertado en una cubierta metálica y regulado por un termostato bimetálico para mantener la temperatura constante, la operación del termostato es monitoreada visualmente por un diodo emisor de luz roja y un reloj construido interiormente. Ambos parten de la posición "off" y son automáticamente dependientes de la posición del interruptor de poder.

El interruptor esta marcado en tres posiciones: "power", "off" y "power and timer", por medio de los cuales se controla la operación de la resistencia y del reloj .

- Cuatro barras metálicas sólidas de aluminio, bronce, cobre y acero, cada una de 9 pulgadas de longitud con un diámetro de 3/8 de pulgadas.
- Un bloque de cerámica ajustable que aísla la barra de ensayo y facilita su remoción cuando ésta se encuentra caliente.
- Un vaso plástico de 100 ml. utilizado como sumidero de calor, el cual tiene dos agujeros taladrados opuestamente sobre su base para colocarlos sobre el final de las barras metálicas. Cada agujero posee una arandela que impide el escape de agua. El agua puede ser vaciada fácilmente en cualquier momento sin molestar otro equipo simplemente girando el vaso plástico sobre el eje longitudinal de la barra a la que este es conectado. El Agua siempre deberá estar presente en el sumidero de calor durante los ensayos de conductividad.
- Un termómetro con escala de -10°F a 230°F para el sumidero de calor.
- Dos termómetros con abrazaderas en un extremo y escala de 100°F a 400°F para ajustarlos a las barras metálicas.

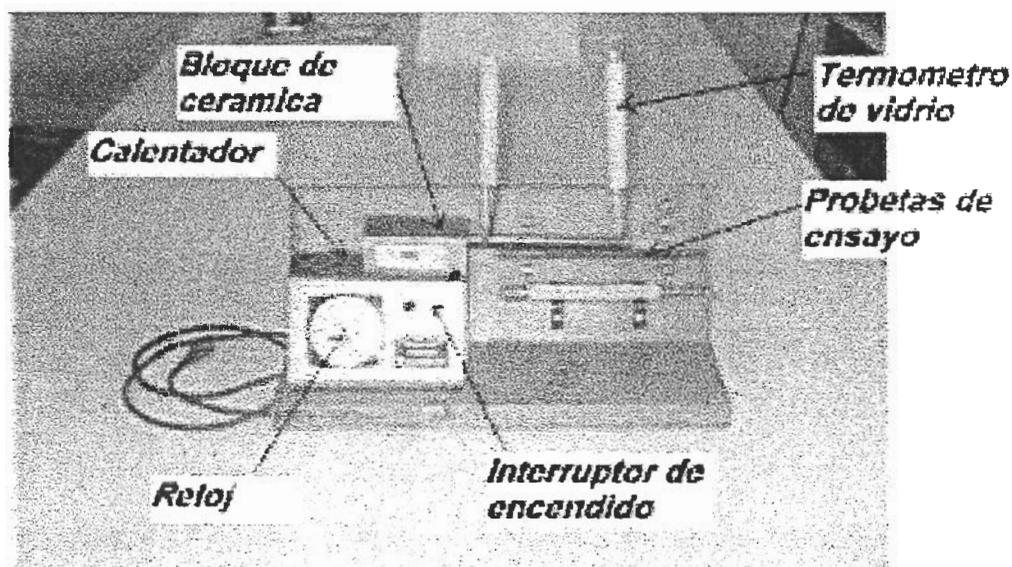


FIGURA 1-2 EQUIPO DE TRANSFERENCIA DE CALOR POR CONDUCCION MODELO TH-1.

1.2.3 Practicas realizadas.

La practica realizada en este equipo corresponde a la practica TH.1 del manual de operación, cuyo objetivo principal es determinar el coeficiente de transferencia de calor por conducción de cuatro barras metálicas redondas.

El procedimiento para la realización de la practica en el equipo de transferencia de calor por conducción implica determinar la cantidad de calor que fluye por la barra de ensayo durante el experimento de conducción.

Para determinar la cantidad de calor que fluye por la barra de ensayo, debe medirse el calor producido por el calentador antes y después de que la barra sea instalada. La diferencia entre estas dos mediciones será la cantidad de calor que fluye por la barra.

$$\left[\begin{array}{l} \text{Cantidad} \\ \text{de calor que} \\ \text{fluye por la} \\ \text{barra} \end{array} \right] = \left[\begin{array}{l} \text{Cantidad de} \\ \text{calor antes} \\ \text{de que la barra} \\ \text{sea instalada} \end{array} \right] - \left[\begin{array}{l} \text{Cantidad de} \\ \text{calor despues} \\ \text{de instalar} \\ \text{la barra} \end{array} \right]$$

La cantidad promedio de calor producido por el calentador antes de que la barra de ensayo sea instalada, se puede calcular de la siguiente manera:

$$q = Pkn$$

Ecuación 1-4

donde P es la tasa de poder del calentador (150 W.), k es el factor de corrección igual a 3.41 Btu/W*H, y n representa la fracción de tiempo que el calentador está actuando durante un ciclo .

$$n = \frac{\text{tiempo "on"}}{\text{tiempo "ciclo"}}$$

Ecuación 1-5

La cantidad de calor que fluye por la barra una vez que es instalada se obtiene de la misma forma que en el caso descrito anteriormente, utilizando la ecuación 1.4 para el cálculo respectivo.

Después de obtener la cantidad de calor que fluye por la barra de ensayo se calcula el coeficiente de conductividad térmica de la barra aplicando la ecuación 1.3.

Estos pasos se repiten para cada una de las cuatro barras que se tiene en este equipo.

1.3 Descripción general del equipo de transferencia de calor por convección.

El equipo de transferencia de calor por convección modelo TH-2 forma parte de los equipos de transferencia de calor existentes en el Laboratorio de termofluidos de la Facultad de Ingeniería en Mecánica y Ciencias de la Producción.

Este equipo sirve para determinar el coeficiente convectivo de una placa plana, sujeta a las dos maneras conocidas de convección: convección libre y convección forzada.

El coeficiente convectivo de la placa puede ser determinado variando los siguientes parámetros:

- Rotando la placa desde la posición vertical hacia la posición horizontal.
- Variando la potencia de la resistencia para aumentar o disminuir la temperatura sobre la placa.
- Variando la velocidad del flujo de aire cuando se realiza el ensayo de convección forzada.

La ecuación 1.2 puede ser reescrita de la siguiente manera para calcular el coeficiente convectivo.

$$h = \frac{q}{A\Delta T}$$

Ecuación 1.6

A continuación se presentan las características técnicas y los elementos que conforman este equipo.

1.3.1 Características técnicas.

El equipo de transferencia de calor modelo TH-2 posee las siguientes características:

- Es una unidad auto regulada para 120 VAC, 60 Hz.
- Tiene incorporada un ventilador con una entrada de aire regulable para aumentar la velocidad del flujo de aire y permitir realizar los ensayos de convección forzada.
- Posee un conmutador de cinco posiciones para seleccionar la potencia de la resistencia ubicada en la placa.

Las dimensiones de la unidad están tabuladas en la TABLA 2

TABLA 2 DIMENSIONES DEL EQUIPO DE TRANSFERENCIA DE CALOR POR CONVECCION MODELO TH-2.

Característica	Dimensión (m)
Largo	0.30
Ancho	0.20
Alto	0.15

1.3.2 Componentes y partes constitutivas.

El equipo de transferencia de calor por convección esta compuesto de los siguientes elementos, los mismos que se pueden observar en la FIGURA 1-3.

- Una placa metálica de 4*8 pulgadas con una resistencia eléctrica insertada en toda su superficie. La placa está unida a la base de la unidad TH-2 por medio de dos bisagras que permiten variar los grados de posición desde un plano vertical hasta un plano horizontal.
- La temperatura de la placa es controlada por un conmutador de 5 posiciones marcado con: off, 24, 40, 60, 100, con los números referidos a watts.

- Un termómetro de vidrio con escala de +50 a +500 °F, para medir la temperatura de la placa al ser insertado a lo largo del borde de la placa.
- Dos termómetros líquidos que tienen escalas marcadas con -10 a +230 °F y -20 a +110 °C, para medir la temperatura del flujo de aire.
- Una jaula metálica perforada que actúa como una pantalla protectora contra quemaduras accidentales cuando se realiza el ensayo de convección libre.

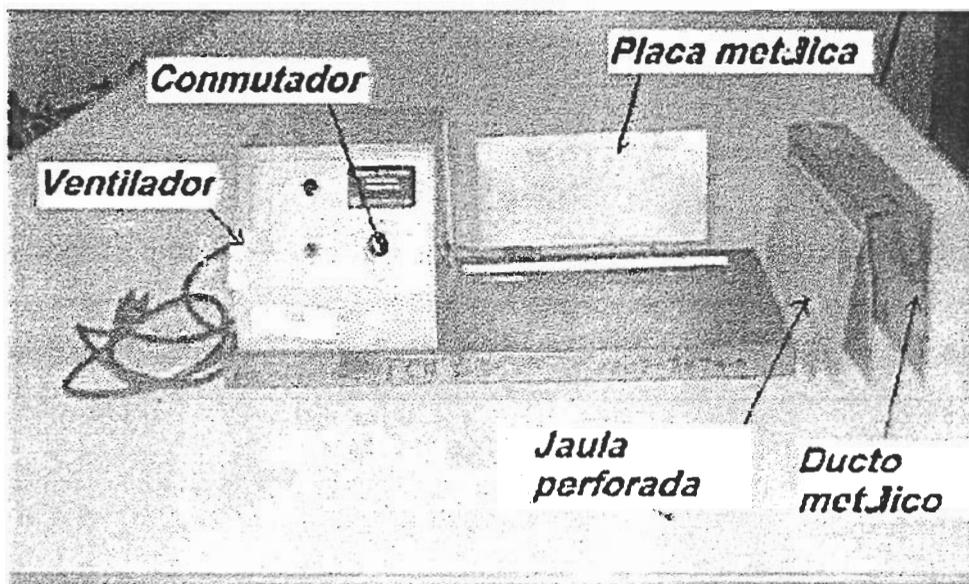


FIGURA 1-3 EQUIPO DE TRANSFERENCIA DE CALOR POR CONVECCION MODELO TH-2.

- Un ducto metálico en forma de “U”, el cual reemplaza a la pantalla protectora durante el ensayo de convección forzada.

Este ducto es diseñado para guiar el flujo de aire suavemente sobre la placa y no se usa cuando se realiza el ensayo de convección libre.

- Un ventilador construido interiormente en la caja de control del TH-2, operado por un interruptor marcado con las posiciones “*blower*” y “*off*”.

La velocidad del flujo de aire sobre la placa metálica, se selecciona por medio de una compuerta deslizante ubicada en el lado derecho de la caja de control.

1.3.3 Practicas realizadas.

La practica realizada en este equipo corresponde a la practica TH.4 del manual de operación, cuyo objetivo principal es identificar las propiedades principales de transferencia de calor por convección y determinar el coeficiente de transferencia de calor por convección desde la superficie de una placa plana hacia el aire.

El procedimiento para la realización de la práctica en el equipo de transferencia de calor por convección implica determinar los parámetros que indica la ecuación 1.6. Estos son: el área de la superficie de la placa, considerando ambos lados de la placa. El diferencial de temperatura que existe entre la temperatura ambiente y la temperatura de la placa, la cual se obtiene con termómetros colocados en el interior de la placa y en los bordes. Y por último la potencia de la resistencia que se selecciona con el conmutador de cinco posiciones.

Como se ha visto en las secciones anteriores, los equipos de transferencia de calor por conducción y convección son de operación manual, esto genera diferentes tipos de errores que alteran los resultados obtenidos en las prácticas desarrolladas para cada caso.

En vista de aquello se hace necesario implantar un sistema que disminuya estos errores mejorando los resultados y permitiendo a su vez que la operación sea dinámica. Un sistema de este tipo, es el Sistema de Adquisición de datos a través de un computador, el cual presenta las siguientes ventajas:

- √ Permite realizar las tareas en tiempo real.

- √ Permite un rápido acceso a la información del proceso y tomar la decisión conveniente para corregir errores.

- √ Brinda flexibilidad en el procesamiento de datos.

- √ Brinda una plataforma de interrelación amigable del software con el operador.

En los capítulos siguientes se desarrollará el Sistema de Adquisición de Datos con su software correspondiente, el cual será aplicado en la actualización de los equipos de transferencia de calor acondicionados para realizar practicas de: conducción lineal, conducción radial y convección, de una manera ágil, rápida y flexible.

CAPITULO 2

2. SISTEMA DE ADQUISICIÓN DE DATOS.

En este capítulo desarrollaremos el Sistema de Adquisición de Datos para los equipos de transferencia de calor por conducción, así como para el equipo de transferencia de calor por convección.

Para la aplicación de este sistema es necesario considerar las interacciones entre el equipo, la computadora y el operador, siendo la más adecuada la interacción sobre la línea (FIGURA 2-1), debido a que la computadora está conectada directamente a los equipos de ensayo a través de una interfaz electrónica (6).

Además, este tipo de interacción permite operar en modo de tiempo real, de manera que la computadora pueda responder instantáneamente a los datos captados del equipo, lo que mejora la operación dinámica del proceso de transferencia de calor que se está analizando, ya que el operador interacciona tanto con la computadora como con el equipo para obtener y procesar los datos, controlar la operación de la computadora y obtener los resultados de una manera ágil y precisa.

Durante el desarrollo de este capítulo se explicará cada uno de los componentes que forman el Sistema de Adquisición de Datos distribuidos de la siguiente manera:

- ❖ En la sección 2.1 se tratará sobre el equipo de adquisición de datos utilizado en este proyecto, que en este caso es el Field Point.
- ❖ En la sección 2.2 se explicará el lenguaje de comunicación utilizado para la adquisición de datos, este es el programa Field Point Explorer.
- ❖ En la sección 2.3 se explicará sobre el lenguaje gráfico de programación utilizado para desarrollar las prácticas de laboratorio.

- ❖ En la sección 2.4 se proceden al diseño y construcción de los accesorios necesarios para la implementación del sistema de adquisición de datos en los equipos de transferencia de calor tales como: probetas de ensayo, termopares, etc.

- ❖ En la sección 2.5 se procede al diseño y construcción de una tarjeta electrónica para controlar la temperatura de la resistencia de cartucho insertada en los equipos de conducción a través del puerto paralelo de la computadora.

- ❖ Finalmente se presenta la distribución final del banco de transferencia de calor en el laboratorio de termofluidos de la FIMCP.

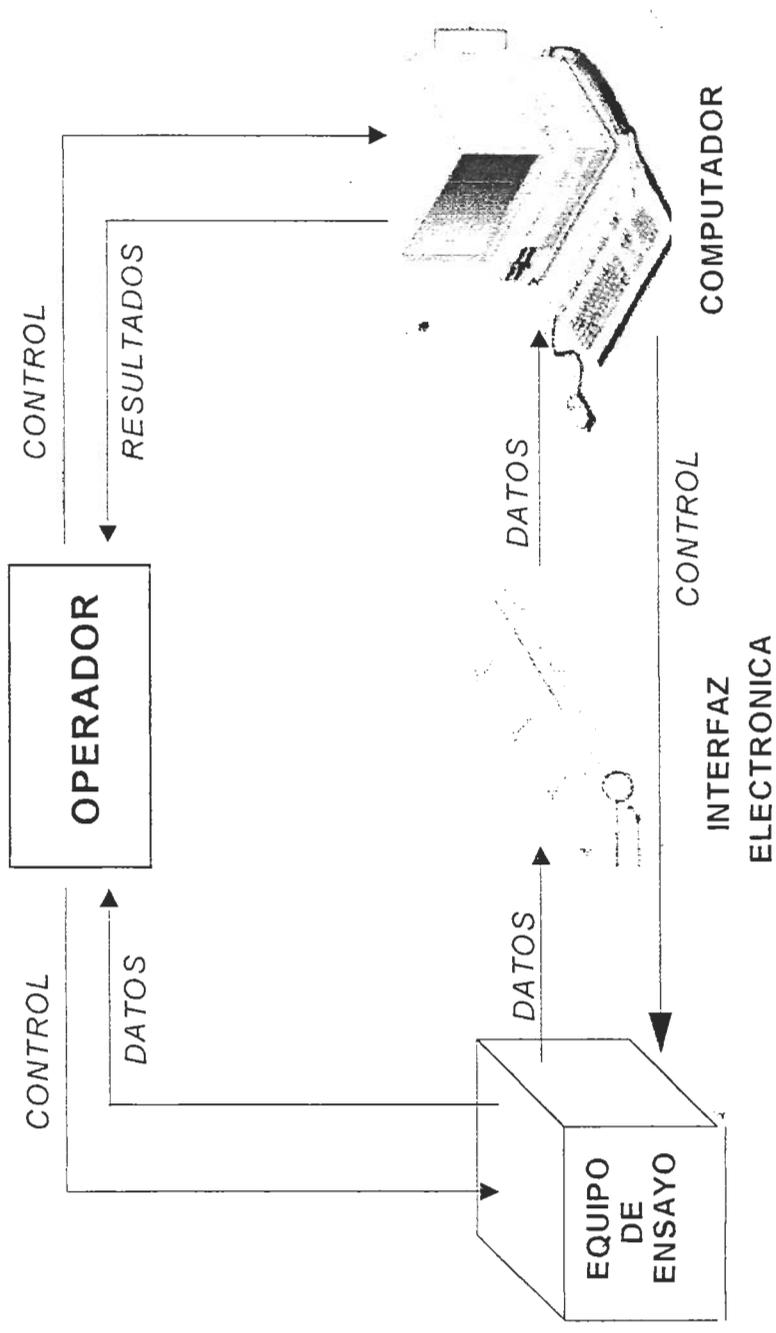


FIGURA 2-1 CONFIGURACIÓN DE COMPUTADORA SOBRE LA LINEA (on line).

2.1 Equipos para adquisición de datos: Field-Point.

2.1.1 Descripción general.

Como se observa en la FIGURA 2-1, el equipo de adquisición de datos o interfase entre el equipo de prueba y el computador, es el FieldPoint, el mismo que se muestra en la FIGURA 2-2

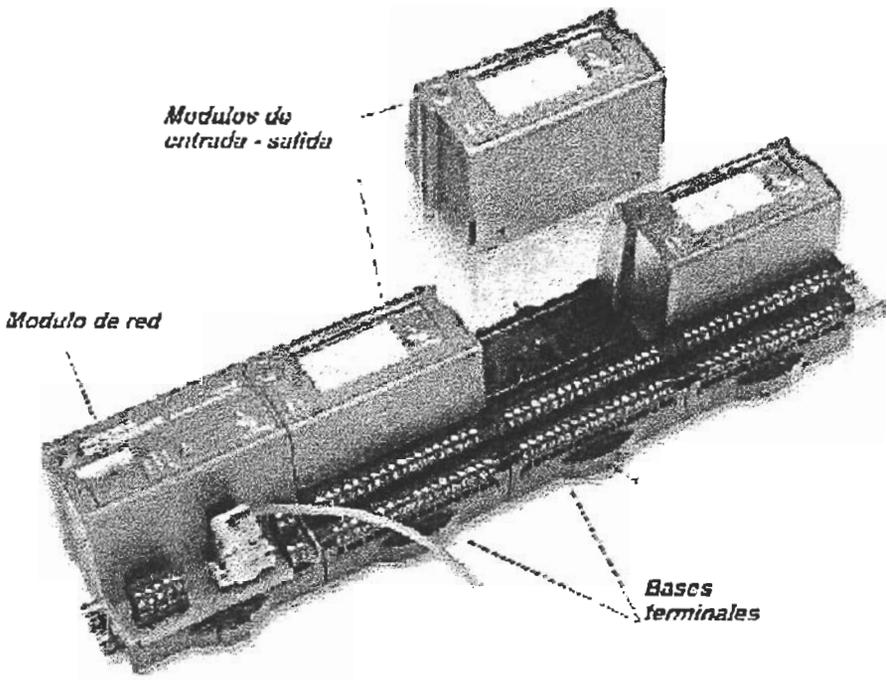


FIGURA 2-2 EQUIPO FIELDPOINT.

El FieldPoint es un sistema de distribución modular de entradas y salidas (E/S) que permiten monitorear y controlar aplicaciones industriales (10) (18), el cual consiste de tres elementos básicos, como son: módulos de red, módulos E/S y bases terminales.

La combinación de estos tres elementos permiten obtener flexibilidad en la comunicación entre el equipo y el computador, para monitorear los procesos de transferencia de calor por conducción y convección de los equipos mencionados en el Capítulo 1.

2.1.2 Módulo FP-1000.

El módulo FP 1000 que se observa en la FIGURA 2-3, es un módulo de red que se utiliza para monitorear un proceso (10); este módulo provee la comunicación entre los módulos E/S y el computador a través de las bases terminales y el puerto serial RS-232, usando el código ASCII.

Cada módulo FP 1000 puede dirigir hasta 9 módulos E/S a velocidades de 300 b/s a 115,2 Kb/s, las cuales son controladas desde el módulo de red a través de los indicadores

que se observan al remover la tapa superior que se encuentra sobre el FP 1000. Así mismo, tienen un convertidor repetidor RS-232 a RS-485, el cual permite conectar otros módulos de red como el FP 1001 para controlar procesos industriales complejos, esta serie de módulos conectados no debe ser mayor a 25 módulos a través del mismo puerto serial de la computadora.

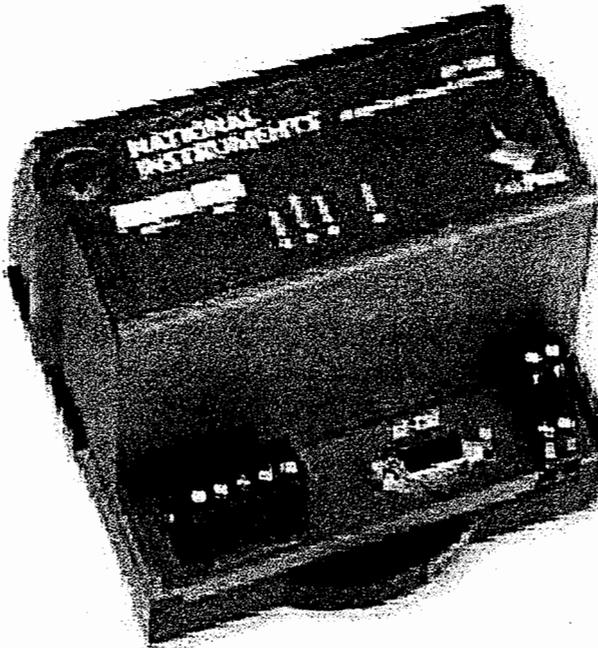


FIGURA 2-3 MODULO DE RED FP-1000.

La alimentación requerida por el FieldPoint es de 11 a 30 VDC, el FP 1000 filtra y regula esta alimentación suministrada y provee energía para todos los módulos E/S del conjunto. Por lo tanto no es necesario proveer alimentación separadamente para cada módulo del conjunto. La alimentación se la realiza a través de un conector de 4 pines tipo tornillo. Estos pines se muestran en la FIGURA 2-4.

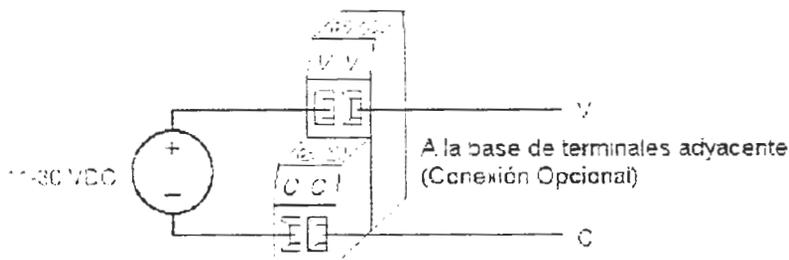


FIGURA 2-4 CONECTOR DE ALIMENTACIÓN PARA EL FP 1000 Y FP 1001.

Las dos terminales etiquetadas "V" están internamente conectados al módulo de red, así como lo están las dos terminales etiquetadas "C". La terminal "C" es la conexión a tierra que protege a todos los módulos E/S contra sobrecargas. Para la operación del sistema FieldPoint la energía debe ser aplicada a un par "V" y "C".

2.1.2.1 Especificaciones técnicas.

Las especificaciones técnicas del módulo FP 1000 son las siguientes:

Comunicación de red.

Puertos de red	1 puerto RS-232, 1 puerto repetidor RS-485.
Velocidad de baudios.....	300, 1200, 2400, 9600, 19200, 38400, 57600, 115200 b/s (seleccionable por interruptores.)
Parámetros de comunicación.....	1 bit de inicio, 8 bits de datos, 1 bit de parada
Distancia máxima del FP 1000 al RS-232.....	15.24 m.
Número máximo de módulos E/S por banco...	9
Número máximo de bancos sobre una entrada simple del computador (RS-232).....	25

Aislamiento de RS-485... 2500 Vrms colapso, 230
Vrms operacional.

Requerimientos de poder

Voltaje de alimentación...	11 a 30 VDC
Consumo de potencia.....	1 W + 1.15 *
	Σ (Requerimientos de potencia de los módulos E/S)

Parámetros ambientales.

Temperatura de operación.....	-40°C a +70°C
Temperatura de almacenamiento.....	-55°C a +100°C
Humedad relativa.....	5% a 90% sin condensación.

Parámetros físicos.

Peso.....	250 g. (8.7 oz)
Dimensiones.....	109*109*91 mm.
Indicadores de estado (Led's)	
Power (verde).....	Indica suministro de

	energía.
Network (amarillo)...	Indica comunicación con el computador.
Access (amarillo).....	Indica acceso a un módulo E/S.
Status (rojo).....	Indica condición de falla.

*

2.1.2.2 Instalación.

El FP 1000 tiene un carril sujetador para montarse apropiadamente en un carril de 35 mm. fabricado según la norma DIN. Para instalar el FP 1000 al carril DIN se deben seguir los siguientes pasos:

1. Con un destornillador plano cambiar a la posición de abierto el sujetador del carril, deslizando el seguro del FP 1000.
2. Enganchar la parte inferior del módulo FP 1000 a la parte superior del carril DIN, como se muestra en la FIGURA 2-5.

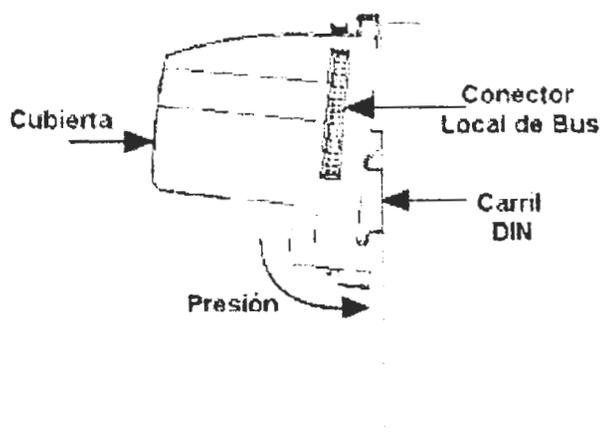
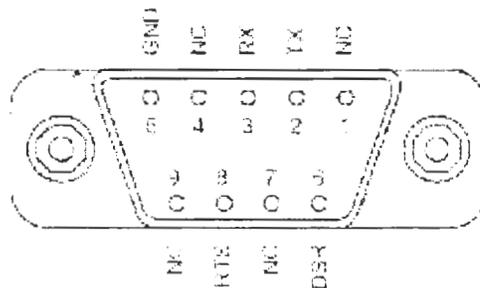


FIGURA 2-5 INSTALACION DEL FP 1000 EN EL CARRIL DIN.

3. Deslizar el FP 1000 a la posición deseada a lo largo del carril DIN. Luego de que el FP 1000 este en posición, asegurarlo al carril DIN presionando el sujetador del carril.

4. Añadir las bases terminales al carril DIN con sus conectores locales firmemente empatados al conector local del FP 1000. El módulo FP 1000 viene con una cubierta protectora sobre el conector local. Remover esta cubierta protectora, y colocarla sobre el conector local de la última base terminal en el conjunto.

5. Conectar el FP 1000 a la computadora usando el conector RS-232 de 9 pines que se encuentra en el FP 1000, usando un cable hembra a macho. A continuación en la FIGURA 2-6 se muestran los pines de salida del conector RS-232 del FP 1000.



NC: No conectado.	TX: Transmite.
GND: Tierra.	RTS: Petición de envío.
RX: Recibe.	DSR: Conjunto de datos listos.

FIGURA 2-6 CONECTOR RS-232 DEL FP 1000.

2.1.3 Modulo FP-TC-120.

El módulo FP-TC-120 que se observa en la FIGURA 2-7, es un módulo de entrada de termopares para el sistema del FieldPoint (10), el cual se conecta al módulo FP 1000 por medio de la base terminal.



FIGURA 2-7 MODULO DE ENTRADA – SALIDA FP-TC-120

El módulo FP-TC-120 tiene las siguientes características:

- Ocho entradas de termopares o milivoltios.
- Linealización construida y compensación para junta fría para 8 tipos de termopares: K, S, R, T, N, E y B.
- Cuatro rangos de voltajes: ± 25 , ± 50 , ± 100 , -20 a +80 mV.
- Detección de termopares abiertos con diodos emisores de luz (LEDs).

- Entradas diferenciales.
- Filtrado contra ruido de 50 y 60 Hz.
- Resolución de 16 bit.
- Aislamiento de entrada para 3000 V.
- Temperatura de operación de -40 a $+70^{\circ}\text{C}$.

En esta tesis se van a utilizar los 8 canales diferenciales de entrada de termopar. Cada canal tiene asignado unas terminales las cuales se listan en la TABLA 3.

TABLA 3 SEÑALES DE ENTRADAS Y SALIDAS PARA CONECCIONES DEL FP-TC-120

<i>Canal</i>	<i>Numero de terminal</i>		
	<i>IN (+)</i>	<i>IN (-)</i>	<i>COM</i>
0	1	2	18
1	3	4	20
2	5	6	22
3	7	8	24
4	9	10	26
5	11	12	28
6	13	14	30
7	15	16	32

Las terminales IN(+) e IN(-) son conectadas a las terminales positiva y negativa del termopar respectivo, la terminal COM sirve para conectar una protección para cada canal, igual que la terminal "C" del FP-1000.

El circuito de entrada para cada canal del FieldPoint se muestra en la FIGURA 2-8, en ella se observa que la señal proveniente del termopar es filtrada y luego convertida en una señal digital por medio de un convertidor analógico – digital (ADC) de 16 bit.

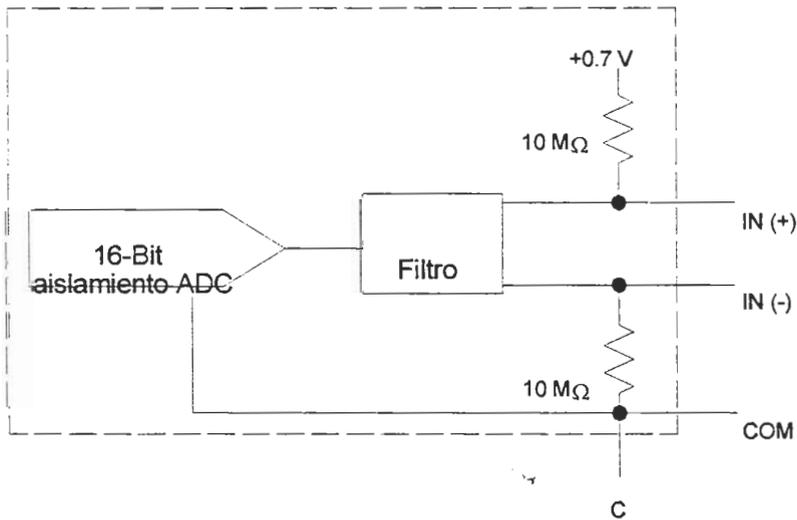


FIGURA 2-8 CIRCUITO DE ENTRADA ANÁLOGA DEL FP TC 120.

El FP-TC-120 linealiza los voltajes del termopar y retorna una lectura en unidades de temperatura. Los rangos disponibles de

temperatura son: 0 a 2048 °K, -270 a 1770 °C, -454 a 3218 °F, y, los tipos de termopares que se pueden conectar son: J, K, R, S, T, N, E y B.

Los algoritmos en el FP-TC-120 linealizan las mediciones acorde al National Institute of Standards and Technology NIST 175, el cual establece los estándares para características de termopares basados sobre la ITS-90 (International Temperature Scale). Estos algoritmos de linealización son típicamente aproximados a ± 0.05 °C del estándar NIST sobre el rango de entrada de temperatura definidos por el NIST para el tipo de termopar utilizado.

Los rangos de temperatura válidos para el tipo de termopar utilizado son listados en la sección siguiente.

2.1.3.1 Especificaciones técnicas.

El FP-TC-120 tiene las siguientes especificaciones técnicas las cuales son típicas para un funcionamiento a temperaturas de -40 a $+70$ °C.

Características de entradas análogas

Número de canales

diferenciales..... 8

Resolución ADC..... 16 bits, 1 en 65536

Tipo de ADC..... Delta – Sigma

Rango de señales de entrada (seleccionables por canal)	
<i>Rangos de medición de voltajes</i>	
<i>Rango de entrada</i>	<i>Compensación de error (-40°C a +70°C)</i>
± 25 mV	4.5 µV típico, 13 µV máx.
± 50 mV	5 µV típico, 13 µV máx.
± 100 mV	5.5 µV típico, 15 µV máx.
-20 a + 80 mV	5 µV típico, 13 µV máx.

Rangos de medición de temperatura

<i>Tipo de termocuplas</i>	<i>Rango válido</i>
J	-210 a 1200 °C
K	-270 a 1372 °C
R	-50 a 1768 °C
S	-50 a 1768 °C

T	-270 a 400 °C
N	-270 a 1300 °C
E	-270 a 1000 °C
B	-40 a 1770 °C

Precisión de la junta fría. 0.15 °C típico, 0.3 °C máx.

(Hay típicamente adicionado 0.2 °C de diferencia entre la temperatura de la unión fría del sensor y la terminal actual)

Tiempo de actualización.. Cada canal es leído cada 0.8 s.

Ancho de banda de la

señal de entrada..... 3 Hz

Rechazo de ruido (a 50/60 Hz)

Modo normal..... 85 dB

Módo común

referenciado a 110 dB

terminal COM.....

Modo común

referenciado a >160 dB

tierra.....

Protección de

sobrevoltaje.....	± 40 V
Impedancia de entrada...	20 M Ω
Corriente de entrada.....	35 η A típico, 140 η A máx.
Ganancia de error	
25 °C.....	0.01 % típico, 0.03 % max
-40 a + 70 °C.....	0.046 % típico, 0.12 % max.

Parámetros físicos

Peso.....	140 g. (4.8 oz)
Dimensiones.....	109*109*91 mm.
Indicadores de estado	
Power (verde).....	Indica suministro de energía y auto ensayo aprobado.
Ready (verde).....	Indica configuración del módulo y lectura.
Open TC 0..7(rojo)..	Indica termocupla abierta o cerrada sobre cada canal.

Requerimientos de poder

Poder requerido desde el	350 mW.
--------------------------	---------

 módulo de red.....

Parámetros ambientales

Temperatura de

operación..... -40 a +70 °C

Temperatura de

almacenamiento..... -55 a 85 °C

 Humedad relativa..... 5% a 90% sin
condensación.

2.1.3.2 Instalación y cableado

INSTALACIÓN.

El módulo FP-TC-120 se monta sobre una unidad de base terminal del FieldPoint sin perturbar la operación de otros módulos instalados. Para instalarlo se siguen los siguientes pasos los cuales están referidos a la FIGURA 2-9.

1. Deslice la llave de la base terminal a la posición 1 usada por el módulo FP-TC-120.

2. Alinee las ranuras de alineamiento del FP-TC-120 con las guías del carril sobre la base terminal.
3. Presione firmemente el asiento del FP-TC-120 sobre la base terminal. El pestillo de la base terminal se ajusta al interior del FP-TC-120 cuando es firmemente asentado.

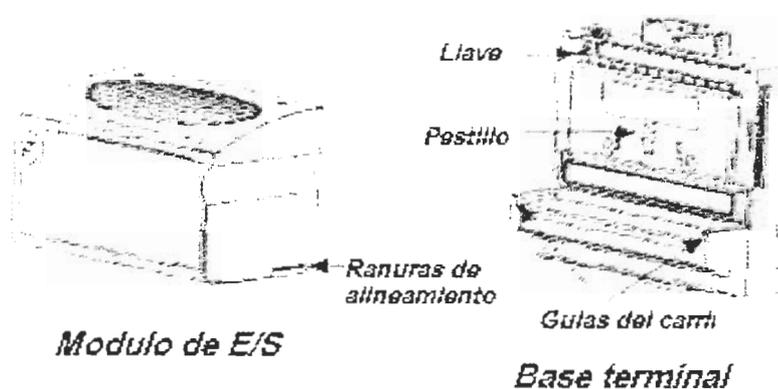


FIGURA 2-9 DIAGRAMA DE INSTALACIÓN DEL MODULO FP-TC-120.

Después de que el FP TC 120 ha sido insertado sobre la base terminal, y el poder ha sido aplicado al módulo de red (Módulo FP 1000), el indicador de luz verde

("power") informa la presencia del módulo conectado. Cuando el módulo de red reconoce al módulo FP TC 120, envía una información de configuración inicial a este módulo representada por el indicador de luz roja ("ready") , en ese instante el módulo FP TC 120 se encuentra en su modo normal de operación.

CABLEADO.

Los cables de termopar son codificados con colores los cuales dependen del país de manufactura, por medio de estos colores se puede diferenciar la terminal positiva (+) y la terminal negativa (-) del termopar, estas terminales son acopladas a los canales del FP-TC-120 con sus respectivas terminales IN(+) y IN(-) mencionados en la TABLA 3.

En la FIGURA 2-10 se representa la forma correcta para la conexión de dos canales de entrada, con señales de voltaje y de temperatura.

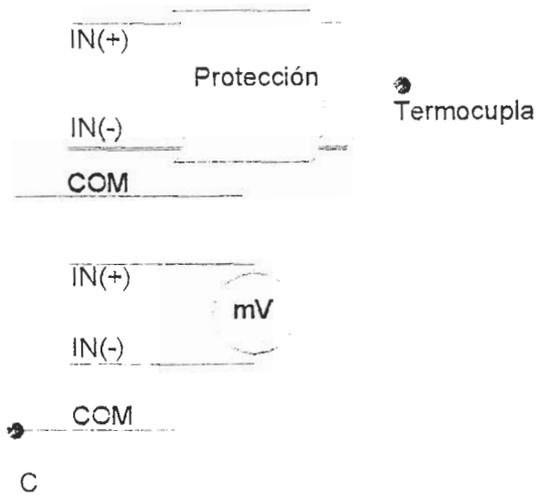


FIGURA 2-10 CONEXIONES BASICAS DE CAMPO DEL FP-TC-120.

Cuando una terminal del termopar es conectada a la base terminal, se forman nuevas uniones entre el alambre del termopar y la terminal, estas uniones frías afectan la lectura de una medición del termopar y debe ser compensada.

La base terminal del Field Point tiene elementos de medición de temperatura contruidos interiormente, estos elementos detectan la temperatura de la unión formada y la transmiten al FP-TC-120 para compensar la lectura medida. Esta compensación es

automáticamente habilitada por el FP-TC-120 cuando se ha seleccionado un rango de temperaturas, no así cuando se selecciona un rango de voltajes.

La temperatura de la junta fría (temperatura en la unión de la base terminal) puede ser leída desde el FP-TC-120 a través del canal 8.

2.1.4 Base terminal.

Las bases terminales FP-TB-1 son los elementos del sistema de fieldpoint que proveen el nexo de comunicación interno del sistema entre los módulos de E/S y los módulos de red (10), proveyendo un medio para el cableado de las conexiones de campo y el mecanismo de montaje tal como se observa en la FIGURA 2-11.

Las bases terminales tienen sujetadores de carril para ser montados sobre un carril DIN de 35 mm. Para instalar la base terminal al carril DIN, se procede de la manera explicada en la sección 2.1.2.2

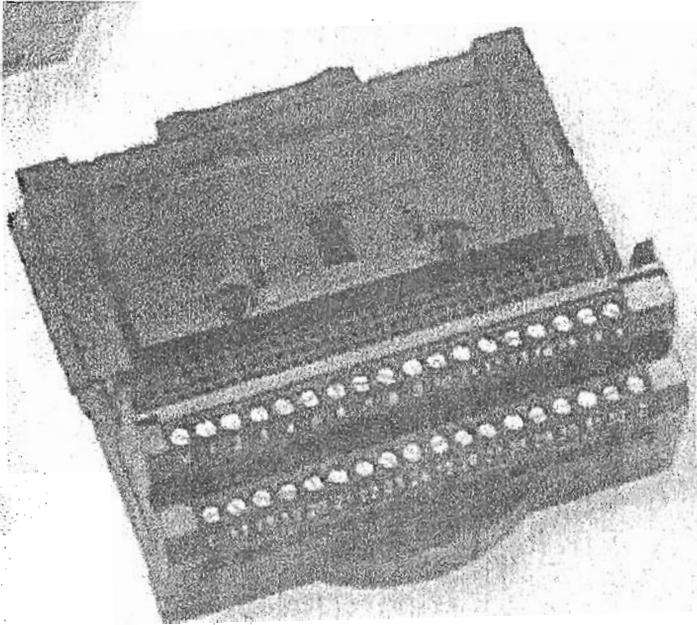


FIGURA 2-11 BASE TERMINAL.

Los módulos de E/S y los módulos de red son instalados sobre las bases terminales, deslizando una llave ajustable marcada con las posiciones de 1 a 12, la cual puede moverse manualmente hasta ubicarse en la posición requerida por el módulo que va a ser instalado.

Las especificaciones técnicas de las bases terminales se muestran a continuación:

Parámetros ambientales

Temperatura de operación.....	-40 a +70 °C
Temperatura de almacenamiento.....	-55 a 85 °C
Humedad relativa.....	5% a 90% sin condensación.

Parámetros físicos

Número de terminales de conexión.....	36
Dimensiones.....	109.5*109.5*90.9 mm
Peso.....	210 g (7.4 oz)

2.2 Lenguaje de comunicación: Drivers.

2.2.1 Descripción general.

El lenguaje de comunicación que utiliza el FieldPoint para la configuración de su hardware y software, es el FieldPoint Explorer. Con el FieldPoint Explorer se puede configurar interactivamente los módulos de red y los módulos E/S, mencionados en la sección 2.1

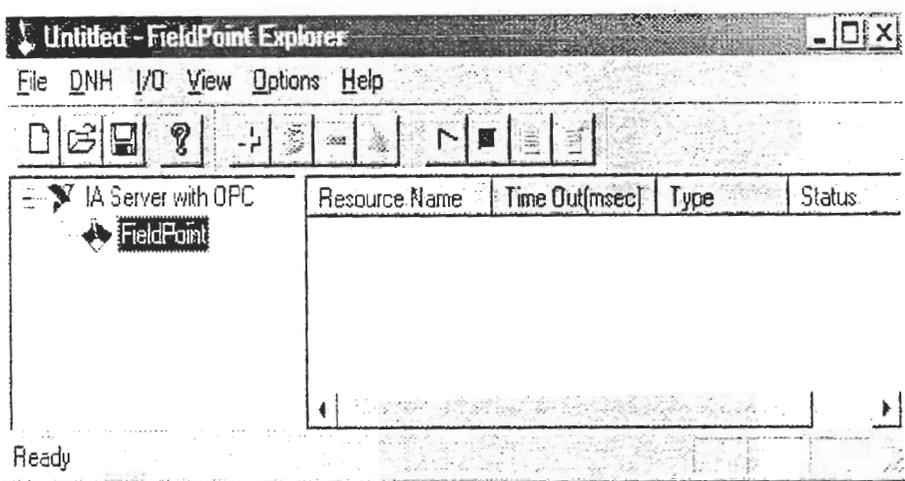
El Fieldpoint Explorer es un programa fácil de usar, ya que funciona bajo el sistema Windows 95 ó Windows NT, lo cual simplifica la instalación configuración y mantenimiento del programa.

2.2.2 Configuración del módulo FP-1000.

Una vez que el programa FieldPoint Explorer ha sido instalado en un computador, se procede a la configuración del módulo FP 1000, siguiendo los siguientes pasos:

1. Verifique que el sistema FieldPoint está enchufado y que los módulos tienen encendidos sus diodos de lectura (LEDs READY)
2. Abra el programa FieldPoint Explorer seleccionando *Inicio >> Programas >> National Instruments >> FieldPoint Explorer.*

Cuando aparezca la pantalla de inicio (FIGURA 2-12), abra el archivo con extensión .iak seleccionando *File >> Open.*



**FIGURA 2-12 VENTANA DE INICIO DE CONFIGURACION
DEL FIELDPOINT EXPLORER.**

3. Para añadir un recurso de comunicación (communications resource) al servidor del Fieldpoint Explorer, expandir el menú contextual haciendo click en el símbolo + que se encuentra junto a "IA Server With OPC" en la ventana de jerarquía de dispositivos de red. Haga click derecho en la palabra FieldPoint en la vista de árbol y seleccione "Add a comm resource to this server..." Tal como se muestra en la FIGURA 2-13.

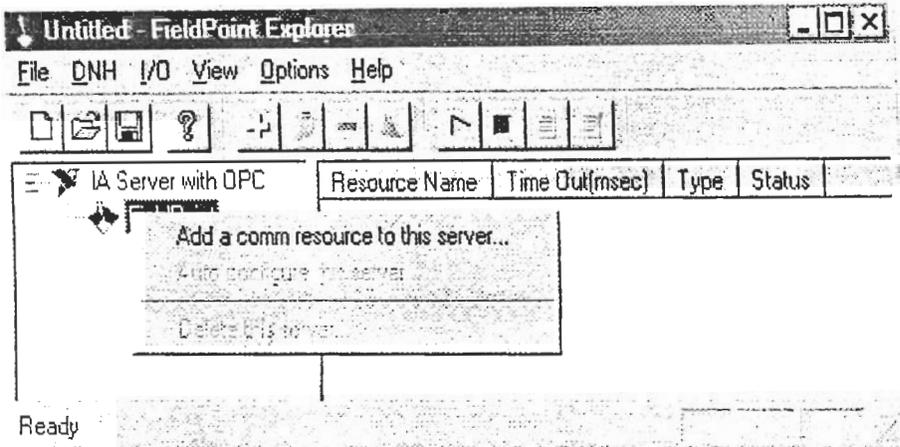


FIGURA 2-13 AÑADIENDO UN RECURSO DE COMUNICACIÓN AL SERVIDOR.

4. La siguiente ventana de dialogo (“Comm Resource Configuration”) en aparecer representa el camino a través del cual el servidor del Fieldpoint accesa a la red de dispositivos del sistema FieldPoint, es decir, esta ventana representa el puerto serial de la computadora.

Los parámetros de configuración de esta ventana (FIGURA 2-14) son los siguientes:

“Port”, permite seleccionar el puerto “Com” de la computadora al cual se ha cableado el sistema FieldPoint. El nombre que se le da al puerto “Com” es FP Res.

“*Baud Rate*”, aquí se selecciona la velocidad de transmisión en baudios. El valor establecido para el módulo de red FP 1000 es de 115200 Kbps.

“*Timeout*”, se selecciona el tiempo de retardo del programa. El valor establecido es de 200 ms.

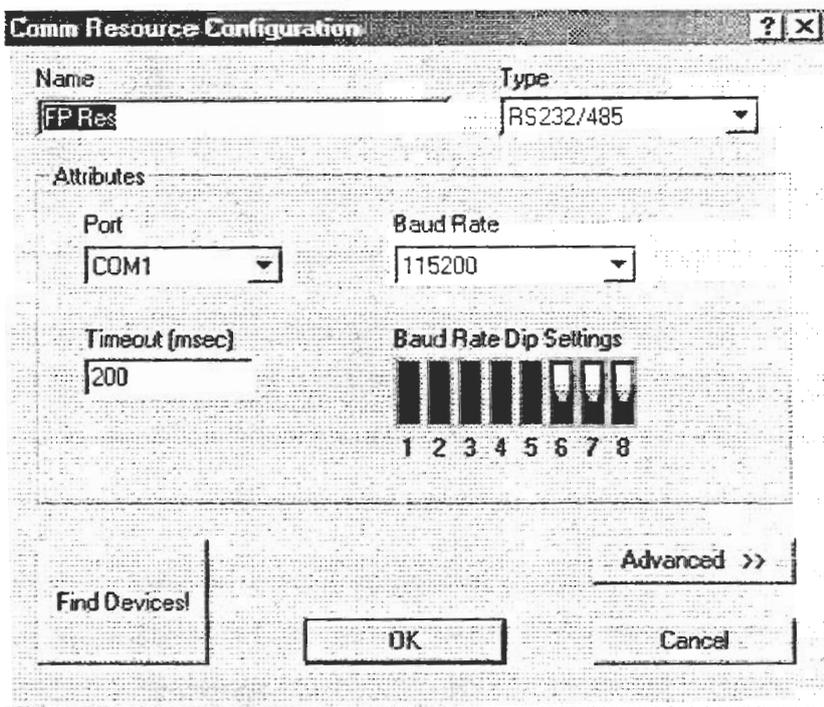


FIGURA 2-14 VENTANA DE CONFIGURACION DE LOS RECURSOS DE COMUNICACIÓN.

5. Seleccione el numero del puerto “Com” utilizado y haga click en el botón “*Find Devices*”.

El FieldPoint Explorer encontrará todos los módulos del FieldPoint conectados al FP 1000 y los añadirá al archivo de configuración con extensión * .iak (FIGURA 2-15).

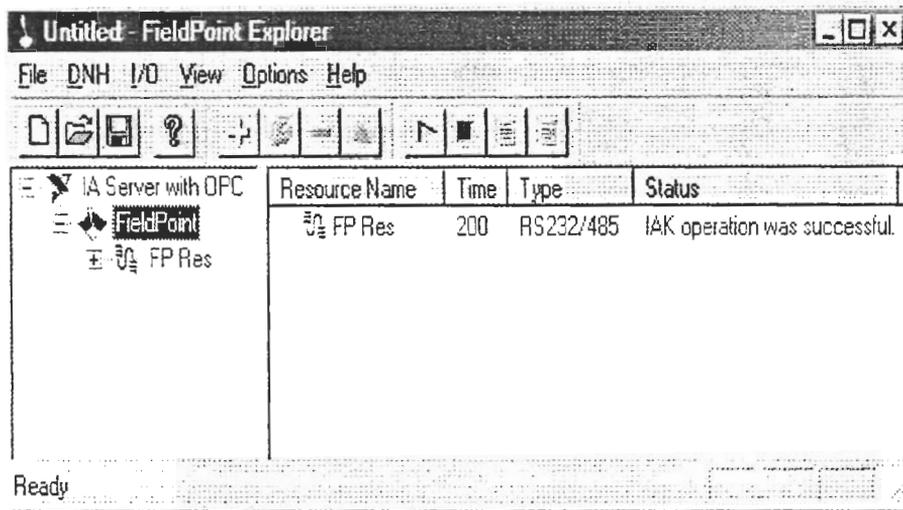


FIGURA 2-15 VENTANA DE CONFIGURACION DEL FIELDPOINT EXPLORER.

Si no se encuentran dispositivos conectados, verifique que el equipo FieldPoint está encendido y de que se seleccionó el puerto de comunicación al que se conectó el sistema FieldPoint. Asegúrese también de que la fijación de los interruptores para la velocidad de transmisión en baudios hecha en la ventana de configuración coincida con la que se realizó en el módulo de red.

2.2.3 Configuración del módulo FP-TC-120.

La configuración del módulo FP-TC-120 se realiza siguiendo los siguientes pasos:

1. Haga click derecho en FP Res en la ventana del menú contextual (FIGURA 2-16).

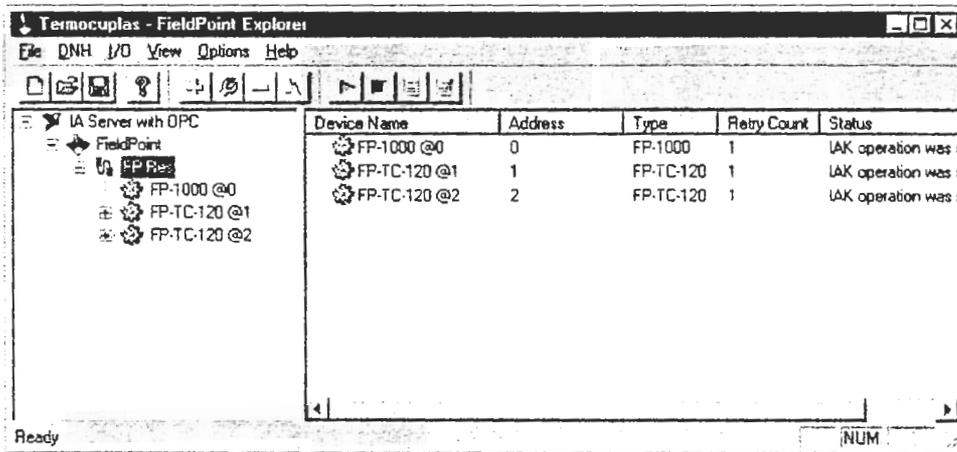


FIGURA 2-16 VENTANA DEL MENU CONTEXTUAL DEL FP-TC-120.

Para observar todos los canales de comunicación que contiene cada modulo FP-TC-120 (estos canales fueron descritos en la sección 2.1.3) se hace clic derecho sobre uno de ellos.

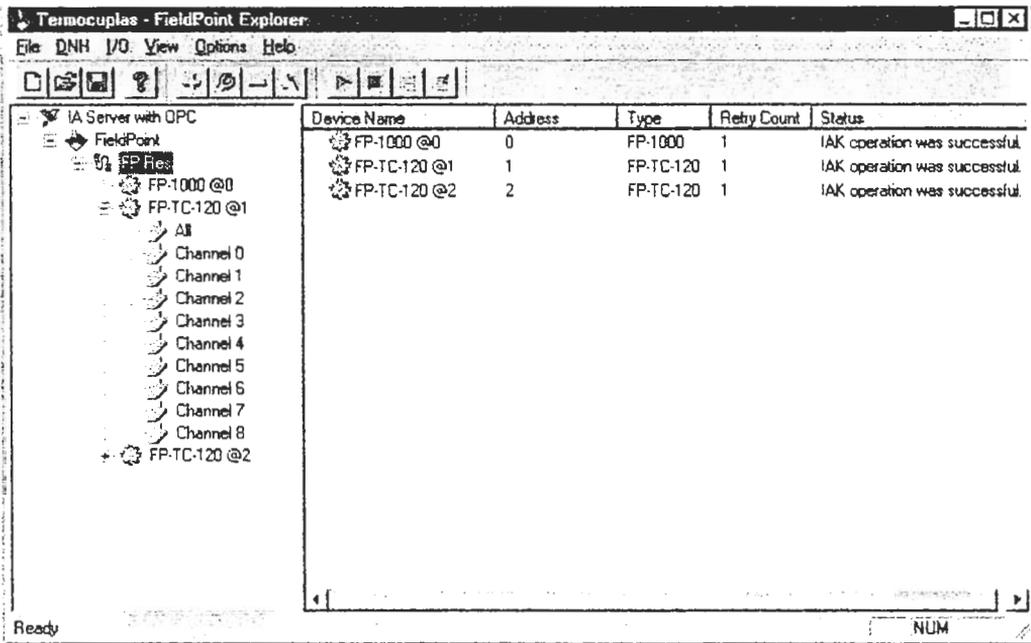


FIGURA 2-17 VENTANA DETALLADA DEL MENU CONTEXTUAL DEL FP-TC-120.

2. Configure los módulos `FP-TC-120@1` y `FP-TC-120@2` haciendo clic derecho sobre él y seleccionando "Edit this device...", tal como se observa en la FIGURA 2-18
3. Una vez que aparezca la ventana de configuración del módulo FP-TC-120 (FIGURA 2-19), presione sobre el botón "channel configurations" para configurar los canales del módulo.

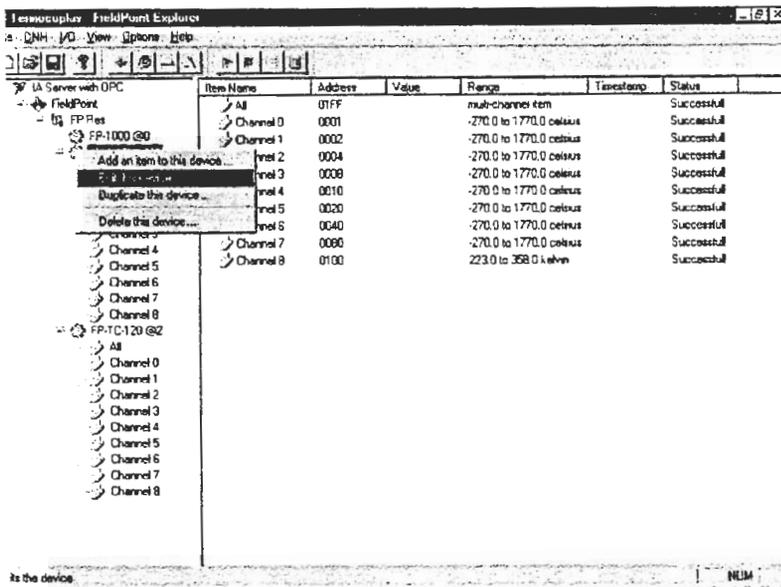


FIGURA 2-18 VENTANA COMPLETA DEL MENU CONTEXTUAL DEL
FP-TC-120.

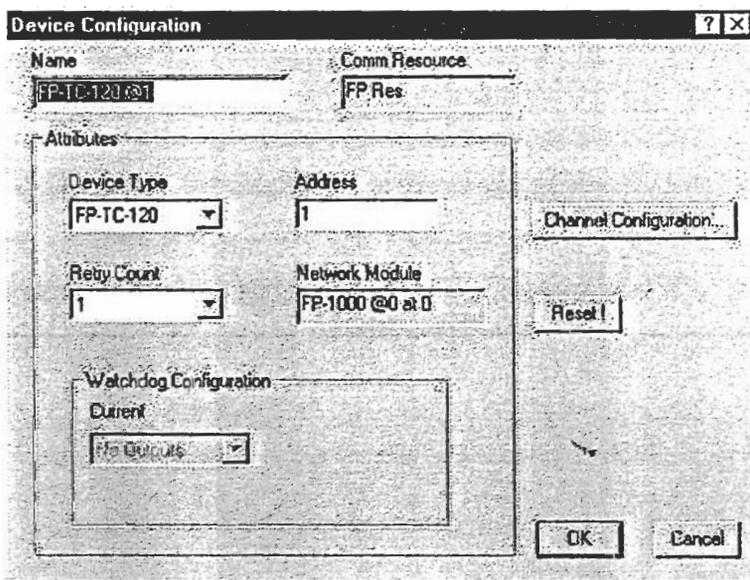


FIGURA 2-19 VENTANA DE CONFIGURACIÓN DE LOS CANALES
DEL FP-TC-120.

4. En la ventana de configuración de canales del módulo FP-TC-120 (FIGURA 2-20) se seleccionan el tipo de termopar y el rango de temperatura ó rango de voltaje para cada canal.

Se puede configurar cada canal por separado ó todos los canales al mismo tiempo, simplemente activando la casilla "All".

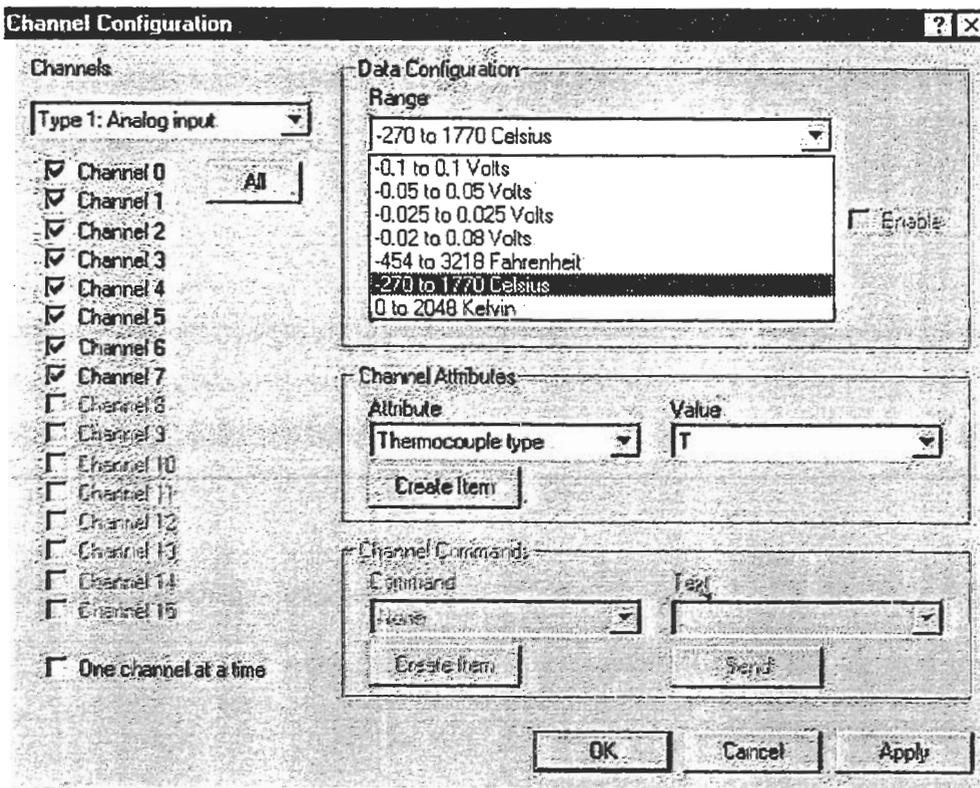


FIGURA 2-20 SELECCIÓN DEL TIPO DE TERMOPAR.

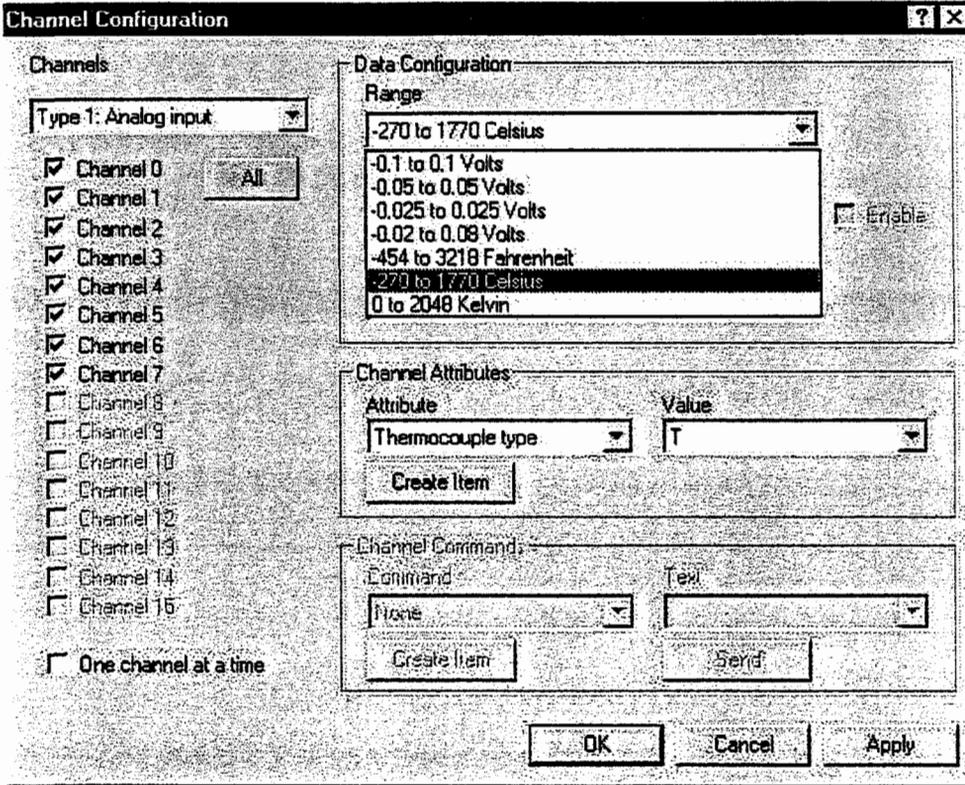


FIGURA 2-21 SELECCIÓN DEL RANGO DE TEMPERATURA.

Además, se puede acceder a una ventana de ayuda donde se indican las terminales de conexión para cada canal del módulo, haciendo clic sobre un canal cualquiera para acceder a la ventana "item configuration" que se muestra en la FIGURA 2-22.

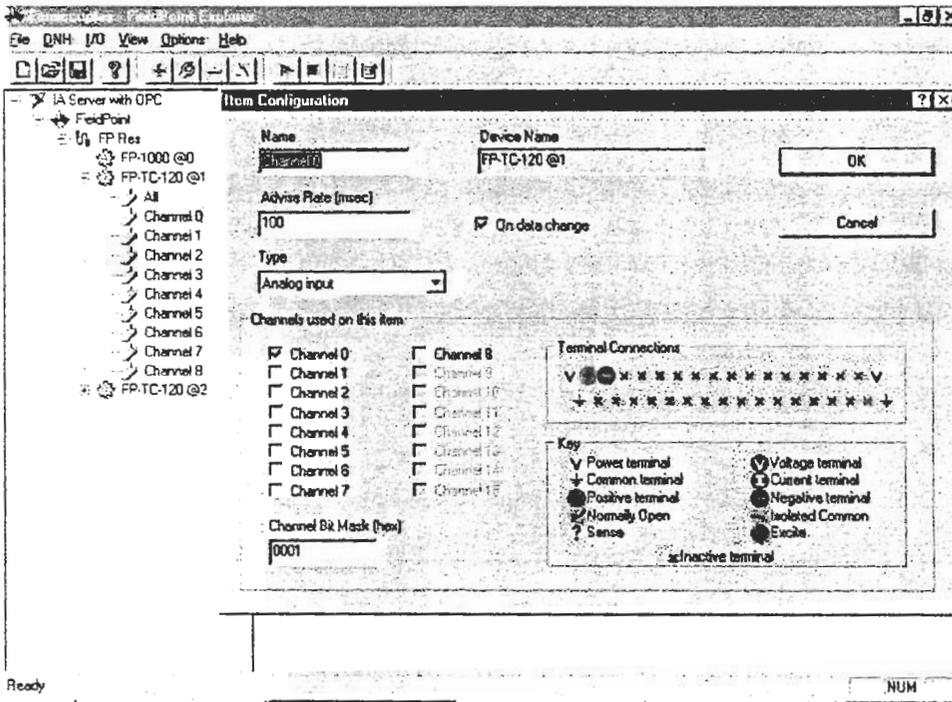


FIGURA 2-22 VENTANA DE AYUDA DEL MODULO FP-TC-120.

2.3 Lenguaje gráfico de programación: LabVIEW.

2.3.1 Descripción general.

LabVIEW (Laboratory Virtual Instrument Engineering Workbench) es un lenguaje poderoso de instrumentación y análisis para computadoras que corren bajo el sistema Microsoft Windows. LabVIEW se distingue de la naturaleza secuencial de los lenguajes tradicionales de programación y provee un ambiente de programación gráfico con todas las herramientas necesarias para la adquisición, análisis y presentación de datos en una sola ventana. Con este lenguaje

de programación llamado "G", se puede programar utilizando una notación de diagramas de bloques, que es la notación de diseño natural para los Ingenieros y Científicos (5). Después de que se ha creado el programa con diagramas de bloques, LabVIEW lo compila en código de máquina.

Para adquirir datos y controlar instrumentos, LabVIEW tiene funciones de RS-232/485, IEEE 488 (GPIB), VXI y VISA (Virtual Instrument Software Architecture), también soporta tarjetas insertables de adquisición de datos, DAQ.

Para desarrollar un programa en LabVIEW, se ensamblan una serie de objetos del paquete de presentación de datos creando rápidamente interfaces, gráficos y construyendo códigos fuentes esquemáticos a través de unas paletas flotantes que ayudan a crear y operar los programas, estas paletas son: la paleta de herramientas, la paleta de controles y la paleta de funciones.

Con la paleta de herramientas mostrada en la FIGURA 2-23 se pueden crear, modificar y depurar programas de una manera fácil y rápida.

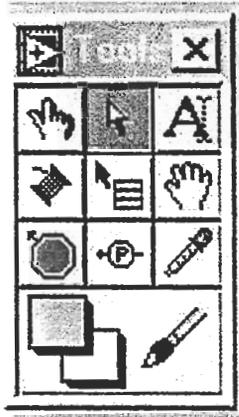


FIGURA 2-23 PALETA DE HERRAMIENTAS.

Los programas creados en LabVIEW reciben el nombre de Instrumentos Virtuales (VIs), los cuales tienen tres partes principales, que son: el panel frontal, el diagrama de bloques y el icono conector.

2.3.1.1 Panel frontal.

El panel frontal permite dar valores de entrada y ver los valores de salida del diagrama de bloques del VI. Dado que el panel frontal es análogo al panel frontal de un instrumento, las entradas son llamadas controles y las salidas son llamadas indicadores. Se pueden utilizar gran variedad de controles e indicadores como perillas, interruptores, botones,

gráficos, etc., estos elementos ayudan a que el panel frontal sea más fácil de entender y a que dichos elementos se identifiquen rápidamente. En la FIGURA 2-24 se muestra un ejemplo del panel frontal de un VI.

Para añadir controles e indicadores a este panel se utiliza la paleta de controles que se observa en la FIGURA 2-25, esta paleta sólo está disponible cuando la ventana del panel frontal está activada.

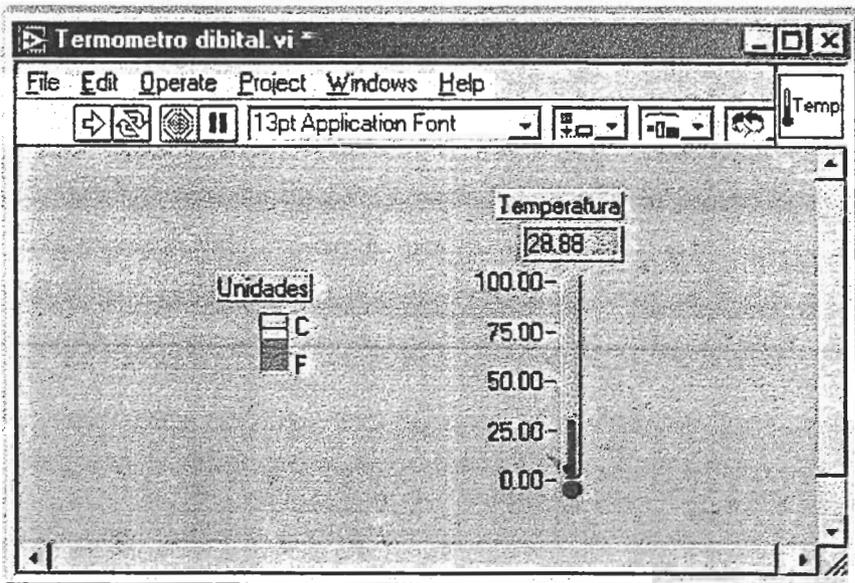


FIGURA 2-24 PANEL FRONTAL.



FIGURA 2-25 PALETA DE CONTROLES.

2.3.1.2 Ventana de programación.

En la ventana de programación se colocan los elementos que forman el diagrama de bloques o código fuente del programa del VI. Cada panel frontal es acompañado de un diagrama de bloques, cuyos componentes representan los nodos del programa, por ejemplo: ciclos for, estructuras case, funciones aritméticas, etc., estos componentes se conectan entre sí para definir el flujo de datos dentro del programa. A continuación se muestra un diagrama de bloques de un VI.

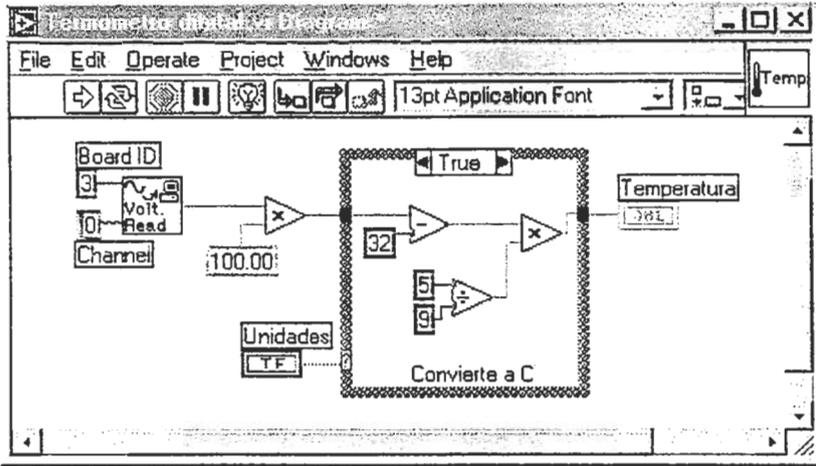


FIGURA 2-26 DIAGRAMA DE BLOQUES.

Para construir el diagrama de bloques se utiliza la paleta de funciones mostrada en la FIGURA 2-27, la cual está disponible únicamente cuando la ventana de programación está activada.

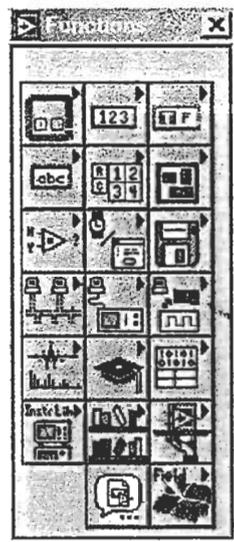


FIGURA 2-27 PALETA DE FUNCIONES.

2.3.1.3 Icono conector.

El icono conector es un elemento que se utiliza para convertir un VI en un objeto (SubVI), los cuales se pueden utilizar como una subrutina dentro de los diagramas de bloques de otros VI.

Los SubVI se representan gráficamente por un icono dentro del diagrama de bloques, este icono presenta varias terminales en donde se deben conectar las entradas y salidas del programa, dichas terminales son análogas a los parámetros de una subrutina y corresponden a los controles e indicadores del panel frontal del VI. En la FIGURA 2-28, se muestra el icono conector para un SubVI.

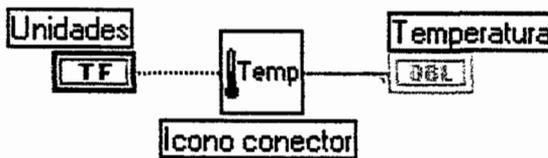


FIGURA 2-28 ICONO CONECTOR.

El poder de LabVIEW reside en la naturaleza jerárquica de un VI, ya que una vez creado se lo puede transformar en un SubVI para utilizarlo en un diagrama de bloques de un VI de nivel más alto, sin existir un límite en el número de jerarquías. Esta característica hace que los diagramas de bloques sean modulares y fáciles de depurar, entender y mantener.

2.3.2 Requerimientos.

Los requerimientos de LabVIEW para operar bajo un ambiente Windows 95 ó Windows NT, son los siguientes:

- Computador IBM o compatible.
- Memoria 12 MB RAM, 16/32 MB
- Disco duro 486/ DX Pentium.
- Espacio en disco para instalación de 75 MB.
- Tarjeta de adquisición de datos (DAQ).
- Tarjeta de interfaz (GPIB).

- Cable serial.

2.3.3 Aplicaciones.

Siendo LabVIEW un programa desarrollado con un lenguaje gráfico de programación, a través de la visualización de bloques que conforman la estructura del programa, lo cual es muy característico en la solución implantada a los problemas por los ingenieros y científicos, puede ser utilizado en diversos campos aplicado a sistemas de instrumentación.

Las aplicaciones más importantes desarrolladas hasta ahora por medio de LabVIEW se dan en los siguientes campos:

- Instrumentación virtual.
- Aeroespaciales.
- Automotriz.
- Biomédico.
- Comunicaciones.
- Electrónicas.
- Automatización.

2.4 Diseño y construcción de accesorios necesarios en los equipos de transferencia de calor para la implementación del sistema de adquisición de datos.

2.4.1 Sensores de temperatura.

De todos los sensores de temperatura investigados en el mercado el que presta mayores ventajas en todo aspecto es el termopar.

El termopar además de su agilidad de respuesta, gran precisión, linealidad, puede medir rangos de temperaturas bastantes amplios, soporta grandes temperaturas hasta alrededor de 2000 °C (Termopar Hierro – Constantan), es barato, fácil de adquirir, no necesita mayor mantenimiento, es resistente a la presión, vibración y temperaturas bajas; su única desventaja es que su lectura es muy pequeña.

Existen variadas combinaciones de alambres que se pueden unir para formar un termopar, sin embargo ciertas combinaciones son mejores que otras y algunas han sido estandarizadas para ciertos rangos de temperatura. En la

TABLA 4 se presentan los tipos de termopares más utilizadas en la actualidad.

TABLA 4 CARACTERISTICAS DE TERMOPARES COMERCIALES.

<i>Termopar</i>	<i>Cable Aleación positivo</i>	<i>Cable Aleación Negativo</i>	<i>Rango Temperatura (Min, Max) [°C]</i>	<i>Tensión Max [mV]</i>
J	Hierro	Cobre / nickel	(0, 750)	42.2
K	Nickel / cromo	Nickel / aluminio	(-180, 1372)	54.8
T	Cobre	Cobre / nickel	(-250, 400)	20.8
R	87% Platino 13% Rhodio	100%Platino	(0, 1767)	21.09
S	90% Platino 10% Rhodio	100%Platino	(0, 767)	18.65
B	70% Platino 30% Rhodio	94% Platino 6% Rhodio	(0, 1820)	13.814

Como se menciona anteriormente, la desventaja del termopar es que su lectura es muy pequeña, esto lo podemos apreciar en la FIGURA 2-29 donde se aprecia la relación temperatura vs. milivoltios para diferentes tipos de termopares.

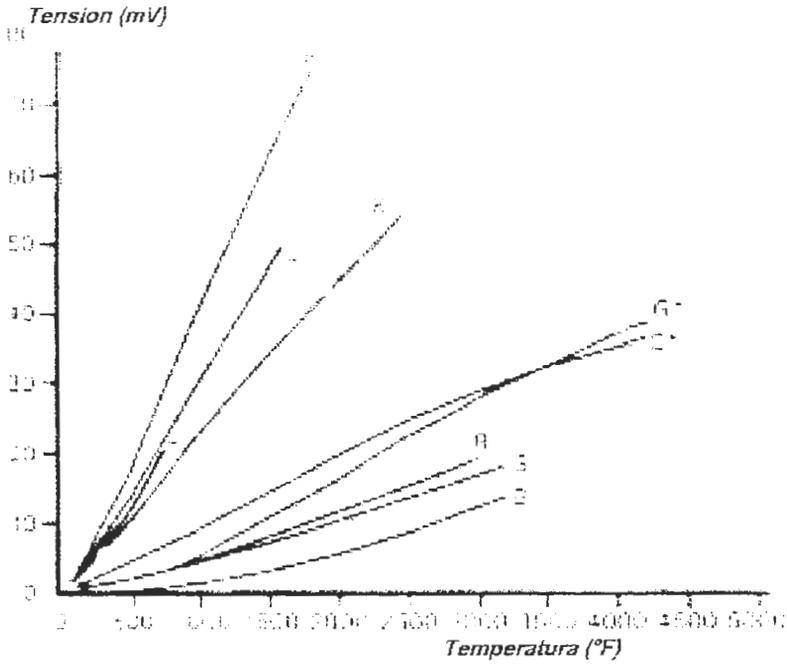


FIGURA 2-29 RELACION TEMPERATURA Vs. MILIVOLTIOS PARA TERMOPARES COMERCIALES.

En el APÉNDICE A se presentan una información más detallada de los termopares.

2.4.1.1 Selección y construcción de termopares.

La selección de los termopares que se utilizarán para la adquisición de datos en los procesos de transferencia de calor propuestos están basados en los siguientes parámetros:

- Rango de temperatura de trabajo, desde temperatura ambiente hasta aproximadamente 180°C.
- Estará sometida a una atmósfera oxidante.
- Alta precisión en la medición.
- Tiempo de rapidez de respuesta mayor.

Selección de la combinación de termo elementos.

Cumpliendo con los parámetros establecidos, se observa FIGURA 2-29 y de la TABLA 4, que la combinación de termoelementos más adecuada para las condiciones a la cual estará sometida el termopar es la de Cobre – Constantan ó termopar Tipo T.

Selección del diámetro de los termoelementos.

Es importante considerar la temperatura máxima de servicio y el tiempo de respuesta requerido del proceso realizado para seleccionar el diámetro del termoelemento.

Un diámetro pequeño del alambre del termoelemento tiene un tiempo de respuesta más rápido que un alambre de diámetro mayor, pero al mismo tiempo, las temperaturas de servicio la expectativa de vida son correspondientemente menores (4) (11).

De las TABLAS B.5 dadas en el APÉNDICE B, se selecciona un diámetro del termoelemento igual a 0.127 mm (0.005 pulgadas).

Selección del tipo de junta de medición.

Siendo la rapidez de respuesta un parámetro influyente en el proceso de adquisición de datos (11), se selecciona de la FIGURA B.1 del APÉNDICE B una junta de medición tipo expuesta, la misma que reduce el tiempo de respuesta del sensor.

Selección del material del tubo de protección.

Los tubos de protección son usados para proteger a los termoelementos del ataque de la atmósfera del medio en que es introducido ó aun por medida de

seguridad en el proceso aplicado dándole el soporte mecánico al elemento sensitivo.

De acuerdo a los parámetros de operación del termopar y al diámetro del termoelemento seleccionado, se escoge del APÉNDICE B un tubo de protección de acero AISI 304 con un diámetro de 3.175 mm (1/8 de pulgada).

Selección de la longitud de inmersión.

Ya que el efecto de conducción de calor a través del tubo de protección provoca errores en la lectura del termopar (1), la profundidad de inmersión del sensor debe ser reducida al mínimo.

En la referencia utilizada se recomienda que el termopar sea sumergido una distancia mínima de 4 veces el diámetro exterior del tubo de protección.

Por lo tanto:

$$L_{\text{inmersión}} = 4 \cdot d_{\text{tubo}}$$

$$L_{\text{inmersión}} = 4 \cdot 3.175 \text{ mm}$$

$L_{inmersión} = 12.7 \text{ mm.}$

Una vez seleccionada el termopar se procede a la construcción, siguiendo los siguientes pasos:

- Una los termoelementos que van a formar el termopar por medio del proceso de arco eléctrico y córtelas a la longitud requerida por la instalación.
- Corte el tubo de protección y el aislante mineral a la longitud requerida por la instalación.
- Inserte los alambres del termopar en el interior del aislante mineral, uno por cada agujero.
- Inserte el aislante mineral en el interior del tubo de protección.
- Conecte los alambres del termopar en el cabezal conector, teniendo la precaución de colocar cada alambre en la terminal correcta del cabezal.

2.4.2 Equipo de transferencia de calor por conducción lineal.

Los elementos del equipo de transferencia de calor por conducción lineal se diseñarán asumiendo las siguientes suposiciones:

- Condiciones en estado estable, es decir la temperatura en cada punto es independiente del tiempo.
- Conducción unidimensional a lo largo de la barra, debido a que la superficie de la barra está aislada, lo que implica que los cambios de temperatura en la dirección longitudinal sean mucho más grandes que en la dirección radial.
- Propiedades constantes.
- Superficies adiabáticas.
- Conductividad térmica constante.

2.4.2.1 Diseño y construcción de las probetas de ensayo.

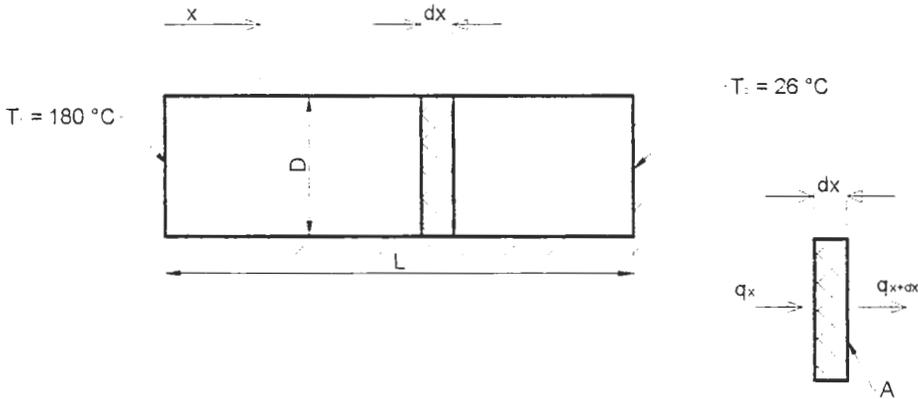


FIGURA 2-30 ESQUEMA DE LA PROBETA DE ENSAYO EN EL EQUIPO DE CONDUCCIÓN LINEAL.

Al aplicar la ecuación de conservación de energía al elemento diferencial de la FIGURA 2-30, se tiene que:

$$q_x = q_{x+dx} \quad \text{Ecuación 2-1}$$

de la Ley de Fourier sabemos que:

$$q_x = -KA \frac{dT}{dx} \quad \text{Ecuación 2-2}$$

y la conducción de calor en $x + dx$ se expresa como:

$$q_{x+dx} = q_x + \frac{dq_x}{dx} dx \quad \text{Ecuación 2-3}$$

se sigue que:

$$q_{x+dx} = -KA \frac{dT}{dx} - K \frac{d}{dx} \left(A \frac{dT}{dx} \right) dx \quad \text{Ecuación 2-4}$$

Sustituyendo las ecuaciones 2.3 y 2.4 en el balance de energía, ecuación 2.1, obtenemos:

$$-KA \frac{dT}{dx} = -KA \frac{dT}{dx} - K \frac{d}{dx} \left(A \frac{dT}{dx} \right) \quad \text{Ecuación 2-5}$$

Simplificando se tiene que:

$$\frac{d^2T}{dx^2} = 0 \quad \text{Ecuación 2-6}$$

Integrando dos veces para obtener la solución general y con las condiciones de frontera: $T(0) = T_1$ y $T(L) = T_2$, se obtiene:

$$T(x) = (T_2 - T_1) \frac{x}{L} + T_1 \quad \text{Ecuación 2-7}$$

Es evidente que la distribución de temperatura es lineal por lo que la rapidez de transferencia de calor por conducción viene dada por

$$q = -KA \frac{(T_2 - T_1)}{L} \quad \text{Ecuación 2-8}$$

Cada término en la ecuación 2.8 se calcula como sigue:

La rapidez de transferencia de calor, q , esta dada por el elemento calentador descrito en la sección 1.2.2, cuyo valor es de 150 Watts.

La temperatura en el extremo caliente está dada por la temperatura máxima de operación descrita en la sección 2.4.1.1, ($T_1 = 180^\circ\text{C}$).

La temperatura en el extremo frío está dada por la temperatura de circulación del agua ($T_2 = 26^\circ\text{C}$).

El material a utilizar en la probeta de ensayo es el bronce, por lo que del APÉNDICE C a una T_{promedio} de 103°C se tiene que $K = 58 \text{ W/m}^\circ\text{K}$.

El diámetro de la probeta, está dado por el doble de la longitud de inmersión del termopar, es decir:

$$\text{Diámetro} = 2 * 12.7 \text{ mm} = 25.4 \text{ mm}$$

Entonces, el área es:

$$A = \frac{\pi}{4}(0.0254m)^2 = 5.06 * 10^{-4} m^2$$

Despejando L, de la ecuación 2.8 se tiene que:

$$L = \frac{KA}{q}(T_2 - T_1) \quad \text{Ecuación 2-9}$$

entonces

$$L = \frac{(58 \frac{W}{m^{\circ}K})(5.06 * 10^{-4} m^2)}{150W} (180 - 26)^{\circ}K$$

$$L = 0.0301 m. = 30.1 mm.$$

2.4.2.2 Diseño y selección del aislante térmico.

Con el fin de reducir las pérdidas de calor en la dirección radial, de tal forma que el flujo de calor que se transmite en la barra de ensayo sea unidimensional, se aísla esta barra del medio ambiente por medio de un material que tenga baja conductividad térmica (material aislante).

El hecho de agregar material aislante a la barra, aparentemente siempre reduce las pérdidas de calor que esta experimenta. Sin embargo, a través de análisis experimentales se ha observado que el efecto

del material aislante sobre la transferencia de calor en una barra es doble. Es decir, al agregar material aislante a una barra se incrementa la resistencia a la conducción, al mismo tiempo que disminuye la resistencia de convección debido al aumento del área de la superficie exterior. Por ello puede existir un espesor de aislamiento que minimice las pérdidas de calor al maximizar la resistencia total a la transferencia de calor. Esta relación se plantea en la ecuación siguiente:

$$r_{\text{critico}} = \frac{K}{h} \quad \text{Ecuación 2-10}$$

Del APENDICE C, se escoge un valor típico para h y K .

$$h = 15 \text{ W/m}^2 \text{ } ^\circ\text{K}$$

$$K = 0.38 \text{ W/m } ^\circ\text{K (Teflón)}$$

Por lo tanto;

$$r_{\text{critico}} = \frac{0.38 \text{ W/m } ^\circ\text{K}}{15 \text{ W/m}^2 \text{ } ^\circ\text{K}}$$

$$r_{\text{critico}} = 0.0253 \text{ m} = 25.3 \text{ mm.}$$

De los materiales aislantes existentes en el mercado, una operación importante es la temperatura. En los requerimientos mencionados en la sección 2.4.1.1 la temperatura de operación es de 180°C, por lo que del catalogo de materiales aislantes se escoge el Lamigamid estilo 319 con un diámetro de 2 pulgadas y cuyas características se muestran en el APÉNDICE D.

2.4.2.3 Instalación de termopares.

Al instalar los termopares se debe tener presente minimizar las perdidas de calor por el tubo de protección del termopar, para ello la instalación se realizará de acuerdo a las indicaciones presentadas en la FIGURA 2-31.

Cabe recalcar que, antes de introducir el termopar construido tal como se indica en la sección 2.4.1.1 en el interior de la probeta de ensayo, se debe colocar primeramente una composición aislante de alta conductividad térmica para que la transferencia de calor desde el elemento hacia el termopar sea lo más rápido posible y a su vez aisle la unión del termopar

de la superficie del elemento, con el fin de evitar la formación de una nueva unión (11).

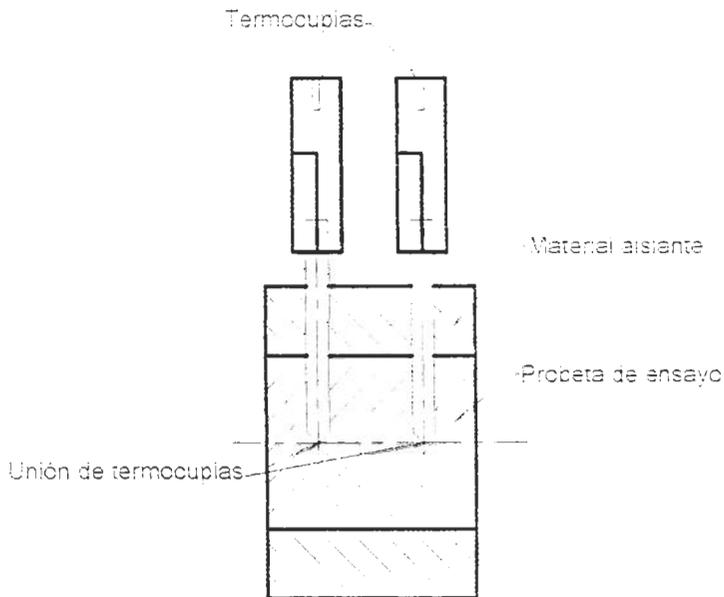


FIGURA 2-31 INSTALACION DE TERMOPARES PARA EL ENSAYO DE CONDUCCIÓN LINEAL.

Para medir la temperatura tanto en el elemento calentador como en el elemento enfriador, se colocarán termopares separados una distancia igual (15 mm) que la del elemento de ensayo. La distribución de dichos elementos se observan en el plano 1.

Los valores sensados por los termopares son transmitidos al módulo de entrada – salida FP-TC-120 utilizando un cable de compensación para termopares Tipo T, para ello se hace necesario la utilización de un conector DV 25 los cuales están descritos en el APÉNDICE E.

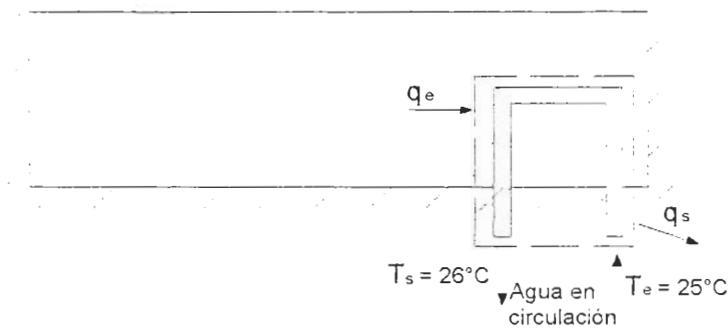
En la tabla siguiente se detallan las conexiones de los termopares con el módulo FP-TC-120.

TABLA 5 CONEXIONES DE LOS TERMOPARES CON EL MÓDULO FP-TC-120 EN EL EQUIPO DE CONDUCCIÓN LINEAL.

TERMOPAR	PIN (DV25)		BORNERA		CANAL
	Cable (+)	Cable (-)	IN (+)	IN (-)	
FP – TC @ 1					
1	3	2	1	2	0
2	5	4	3	4	1
3	7	6	9	10	4
4	15	14	11	12	5
5	17	16	13	14	6
6	19	18	15	16	7
FP – TC @ 2					
7	22	23	7	8	3
8	24	25	9	10	4
9	10	11	13	14	6
10	12	13	15	16	7

2.4.2.4 Bomba de agua.

El flujo de agua requerido para obtener un gradiente de temperatura de 1°C en el extremo derecho de la barra en la FIGURA 2-30, se la obtiene aplicando un balance de energía tal como se muestra en el siguiente esquema.



$$q_{entra} = q_{sale} \quad \text{Ecuación 2-11}$$

$$q = \dot{m} c_p \Delta T \quad \text{Ecuación 2-12}$$

despejando el flujo másico, se tiene que:

$$\dot{m} = \frac{q}{c \Delta T}$$

$$\dot{m} = \frac{150 \text{ J/s}}{(4179 \text{ J/Kg}^\circ\text{K})(1^\circ\text{K})} = 0.0359 \text{ Kg/s}$$

El caudal viene dado por la siguiente ecuación:

$$Q = \frac{\dot{m}}{\rho} \quad \text{Ecuación 2.13}$$

$$Q = \frac{0.0359 \text{ Kg/s}}{1000 \text{ Kg/m}^3}$$

$$Q = 0.0359 * 10^{-3} \text{ m}^3/\text{s} = 0.0359 \text{ l/s} = 2.154 \text{ l/min}$$

La bomba que se tiene en el Laboratorio de Termofluidos es de flujo variable (FIGURA 2.32), el mismo que puede ser regulado con una perilla marcada con los números del 2 al 8, asociados con ello un caudal y un número de revoluciones de acuerdo a la TABLA 6.

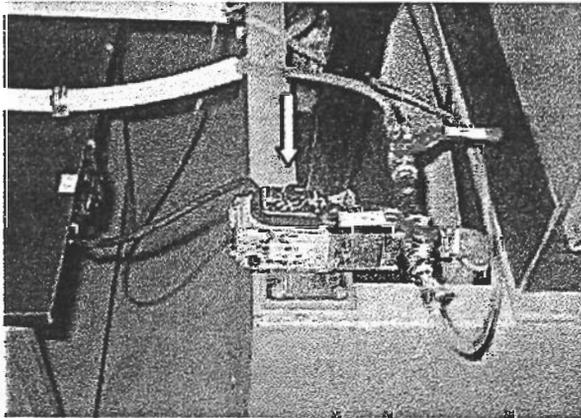


FIGURA 2-32 BOMBA DE AGUA.

TABLA 6 CARACTERISTICAS DE LA BOMBA.

<i>Número</i>	<i>Caudal (l/min)</i>	<i># de revoluciones (rpm)</i>
2	1.7	1545
3	3.7	2554
4	6.5	3862
5	9.2	6028
6	11.88	7681
7	12.66	8025
8	12.73	8088

De la TABLA 6, se observa que el caudal requerido para el ensayo de conducción ($Q = 2.154$ l/min) se satisface ubicando la perilla de la bomba en el número 3 ($Q = 3.7$ l/min).

2.4.3 Equipo de transferencia de calor por conducción radial.

Los elementos del equipo de transferencia de calor por conducción radial se diseñaran y seleccionarán bajo las mismas suposiciones hechas en la sección 2.4.2.

2.4.3.1 Diseño y construcción de las probetas de ensayo.

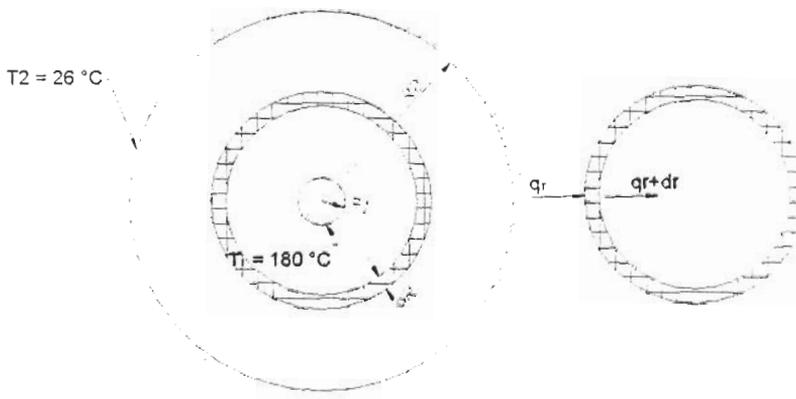


FIGURA 2-33 ESQUEMA PARA LA PROBETA DEL EQUIPO DE CONDUCCIÓN RADIAL DE CALOR.

Aplicando la ecuación de conservación de energía al elemento diferencial de la FIGURA 2-33

$$q_r - q_{r+dr} = 0 \quad \text{Ecuación 2.14}$$

Utilizando un procedimiento similar al realizado en la sección 2.4.2.1 se llega a la relación que expresa la distribución de temperaturas asociada con la conducción radial de calor.

$$T(r) = \frac{T_1 - T_2}{\ln\left(\frac{r_1}{r_2}\right)} \ln\left(\frac{r}{r_2}\right) + T_2 \quad \text{Ecuación 2.15}$$

Derivando la ecuación 2.15 con respecto al radio (r) y reemplazando en la ecuación de la Ley de Fourier, se obtiene la expresión para la transferencia de calor para un sistema radial.

$$q_r = \frac{2\pi ek}{\ln\left(\frac{r_2}{r_1}\right)} (T_1 - T_2) \quad \text{Ecuación 2.16}$$

Cada término en la ecuación 2.16 se calcula como sigue:

La rapidez de transferencia de calor radial, q , está dada por el elemento calentador, cuyo valor en este caso es de 110 Watts.

La temperatura en el extremo caliente está dada por la temperatura máxima de operación descrita en la sección 2.4.1.1, ($T_1 = 180^\circ\text{C}$).

La temperatura en el extremo frío está dada por la temperatura de circulación del agua ($T_2 = 26^\circ\text{C}$).

El material a utilizar en la probeta de ensayo es el bronce, por lo que del APÉNDICE C a una T_{promedio} de 103°C se tiene que $k = 58 \text{ W/m}^{\circ}\text{K}$.

El espesor de la placa es de 1.3 mm.

El diámetro interior esta dado por el diámetro del cartucho de la resistencia ($r_1 = 5.56 \text{ mm}$.)

Despejando el radio exterior, r_2 , de la ecuación 2.16 se tiene que:

$$r_2 = \left(e^{\frac{2\pi ek(T_1 - T_2)}{q_r}} \right) r_1 \quad \text{Ecuación 2.17}$$

$$r_2 = (e^{0.66})(5.56 \text{ mm})$$

$$r_2 = 10.79 \text{ mm}$$

2.4.3.2 Diseño y selección del aislante térmico.

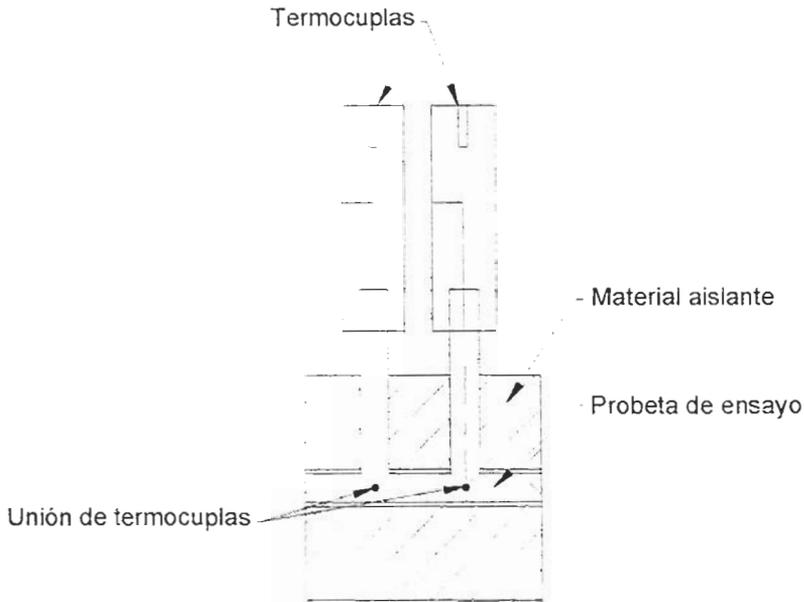
Considerando que el flujo de calor sobre la placa, sólo se da en la dirección radial, lo cual permite considerar que el aislante sobre la placa superior e inferior no tendrá un espesor critico de aislamiento y dada las mismas condiciones de la sección 2.4.2.2 el radio critico seguirá siendo de 25.3 mm, por tal motivo,

como r_2 es mayor que r_{critico} cualquier aumento de aislante incrementará la resistencia total y, por tanto, disminuirá la pérdida de calor.

De los catálogos para aislantes comerciales dados en el mercado se selecciona un aislante tipo Lamigamid estilo 310 con un espesor de 15.875 mm (5/8 pulgadas) cuyas características se presentan en el APENDICE D.

2.4.3.3 Instalación de termopares.

Los termopares irán instaladas sobre la placa de material aislante de tal forma que la unión soldada del termopar quede sobre la superficie del disco de bronce (FIGURA 2-34) colocando primeramente una composición (cemento de alta temperatura) de alta conductividad térmica como se explicó en la sección 2.4.2.3.



**FIGURA 2-34 INSTALACION DE TERMOPARES PARA EL
ENSAYO DE CONDUCCIÓN RADIAL.**

La separación entre cada termopar será de 11 mm con una distribución que se puede observar en el plano 3.

Los valores sensados por los termopares son transmitidos al módulo de entrada – salida FP-TC-120 tal como se describió en la sección 2.4.2.4 y cuyas conexiones se detallan en la TABLA 7.

TABLA 7 CONEXIONES DE LOS TERMOPARES CON EL MÓDULO
FP-TC-120 EN EL EQUIPO DE CONDUCCIÓN RADIAL.

TERMOPAR	PIN (DV25)		BORNERA		CANAL
	Cable (+)	Cable (-)	IN (+)	IN (-)	
FP - TC @ 1					
11	3	2	1	2	0
12	5	4	3	4	1
13	7	6	9	10	4
14	15	14	11	12	5
15	17	16	13	14	6
16	19	18	15	16	7

2.4.3.4 Bomba de agua.

El flujo de agua necesario para obtener un gradiente de temperatura de 1°C, se obtiene aplicando un balance de energía en el contorno del disco de bronce.

$$q_{entra} = q_{sale}$$

$$q = \dot{m} c \Delta T$$

de donde

$$\dot{m} = \frac{q}{c\Delta T}$$

$$\dot{m} = \frac{110 \cdot J_s}{(4179 \cdot J_{Kg^\circ K})(1^\circ K)}$$

$$\dot{m} = 0.02632 \frac{Kg}{s}$$

El caudal viene dado por

$$Q = \frac{\dot{m}}{\rho}$$

$$Q = \frac{0.02632 \frac{Kg}{s}}{1000 \frac{Kg}{m^3}}$$

$$Q = 0.02632 \frac{l}{s} = 1.579 \frac{l}{min}$$

De las características de la bomba dadas en la TABLA 6, se observa que el caudal requerido para el ensayo de conducción radial ($Q = 1.579 \text{ l/min}$) se satisface colocando la perilla de la bomba en el número 2 ($Q = 1.7 \text{ l/min}$).

2.4.4 Equipo de transferencia de calor por convección.

2.4.4.1 Instalación de termopares.

Para la adquisición de datos del equipo de convección, se hace necesario instalar termopares en lugar de los

termómetros originales de este equipo los cuales fueron descritos en la sección 1.3.2.

Los termopares instalados tienen las mismas características de los termopares seleccionadas en la sección 2.4.1.1, y estarán ubicadas en los mismos lugares donde se colocaban los termómetros mencionados anteriormente, tal ubicación se observa en la FIGURA 2-35.



FIGURA 2-35 DISTRIBUCION DE TERMOPARES EN EL EQUIPO DE CONVECCION.

Como se aprecia en la FIGURA 2-35, el termopar 1 (T1) mide la temperatura de entrada del flujo de aire, el termopar 4 (T4) mide la temperatura de salida del

flujo de aire, y, tanto el termopar 2 (T2) como el termopar 3 (T3) miden la temperatura a la cual se está calentando la placa.

Los valores sensados por los termopares instalados en el equipo de convección son transmitidos al módulo de entrada – salida FP-TC-120 tal como se describió en la sección 2.4.2.4 y cuyas conexiones se detallan en la siguiente tabla.

TABLA 8 CONEXIONES DE LOS TERMOPARES CON EL MÓDULO FP-TC-120 EN EL EQUIPO DE CONVECCION.

TERMOPAR	PIN (DV25)		BORNERA		CANAL
	Cable (+)	Cable (-)	IN (+)	IN (-)	
FP – TC @ 1					
17	3	2	1	2	0
18	5	4	3	4	1
19	7	6	9	10	4
20	15	14	11	12	5

.5 Diseño y construcción de una tarjeta electrónica para el control de temperatura a través del puerto paralelo del PC.

El control de temperatura con computadora como no es un controlador de tipo mecánico con masa, necesita que a través de un programa se compare la temperatura medida con un rango y se tome la decisión de encender o apagar el calentador dependiendo de si la temperatura es mayor o menor que la temperatura del rango establecido.

Una estrategia simple de lazo cerrado para controlar la temperatura, es el control de dos posiciones ON/OFF, en el que la acción controladora se alterna entre un encendido completo y un apagado total cuando el valor de la variable controlada cambia respectivamente hacia abajo o sobre la condición especificada deseada.

La curva de calentamiento y mantención de temperatura para un control ON/OFF se muestra en FIGURA 2-36, donde se puede observar la curva de calentamiento de la resistencia calentadora, desde la temperatura ambiente hasta la temperatura de referencia al activar o desactivar un contactor gobernado a su vez por un relé.

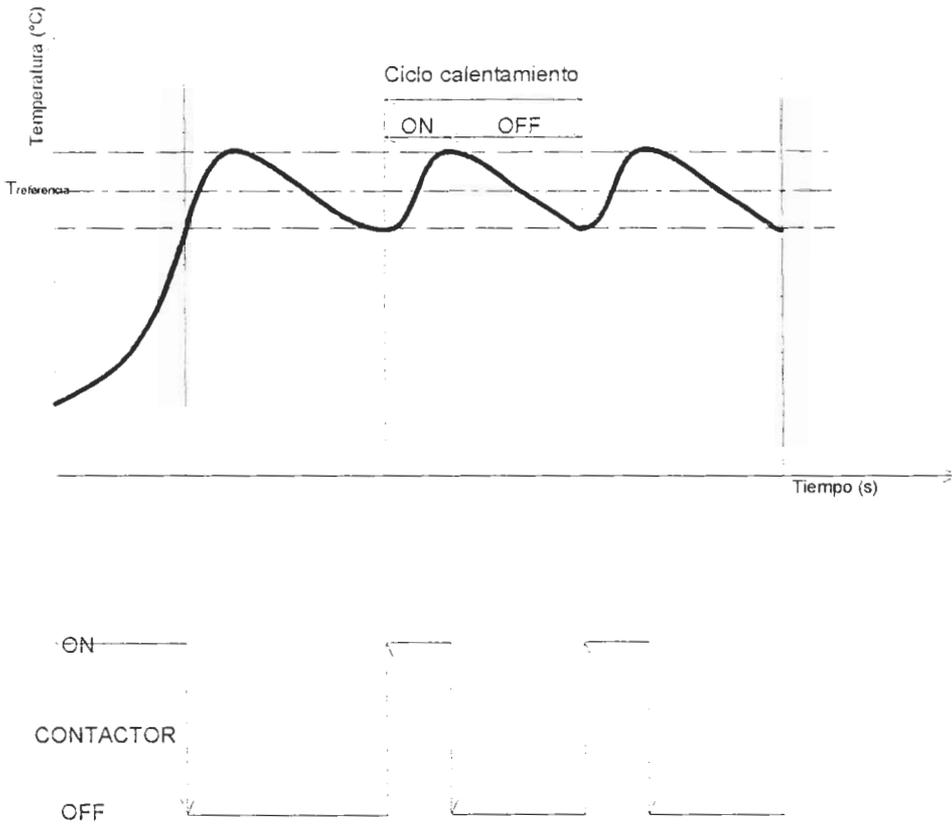


FIGURA 2-36 CONTROL DE TEMPERATURA ON/OFF CON COMPUTADOR.

Luego viene la parte de mantención de la temperatura, donde tenemos una parte de calentamiento y otra de enfriamiento dentro de la brecha diferencial con una estabilidad limitada para reducir el desgaste de los contactores electromecánicos, pues estos se activan y desactivan lo mínimo necesario.

Para realizar el control de la temperatura con computadora se necesita transmitir una señal de salida hacia un periférico (circuito electrónico) a través de uno de los puertos de comunicación del PC. Esta comunicación puede ser en serie o en paralelo, siendo la transmisión en paralelo más rápida que la transmisión en serie por lo que se utiliza para comunicaciones de alta velocidad.

Para esta tesis se eligió la comunicación en paralelo ya que es rápida, eficiente, y de fácil implementación.

En una computadora el puerto paralelo es aquel donde se conecta la impresora, teniendo una dirección específica con la que el computador reconoce el canal del puerto. Este puerto usa un conector conocido como DB25 hembra el cual está descrito en el APÉNDICE E.

2.5.1 Diagrama del circuito.

En las figuras siguientes se presentan el esquema del circuito que se ha implantado para controlar la temperatura en los equipos de transferencia de calor por conducción lineal y conducción radial, así como la pista del circuito impreso donde se puede observar la conexión de cada uno de los elementos que conforman el circuito de control de temperatura.

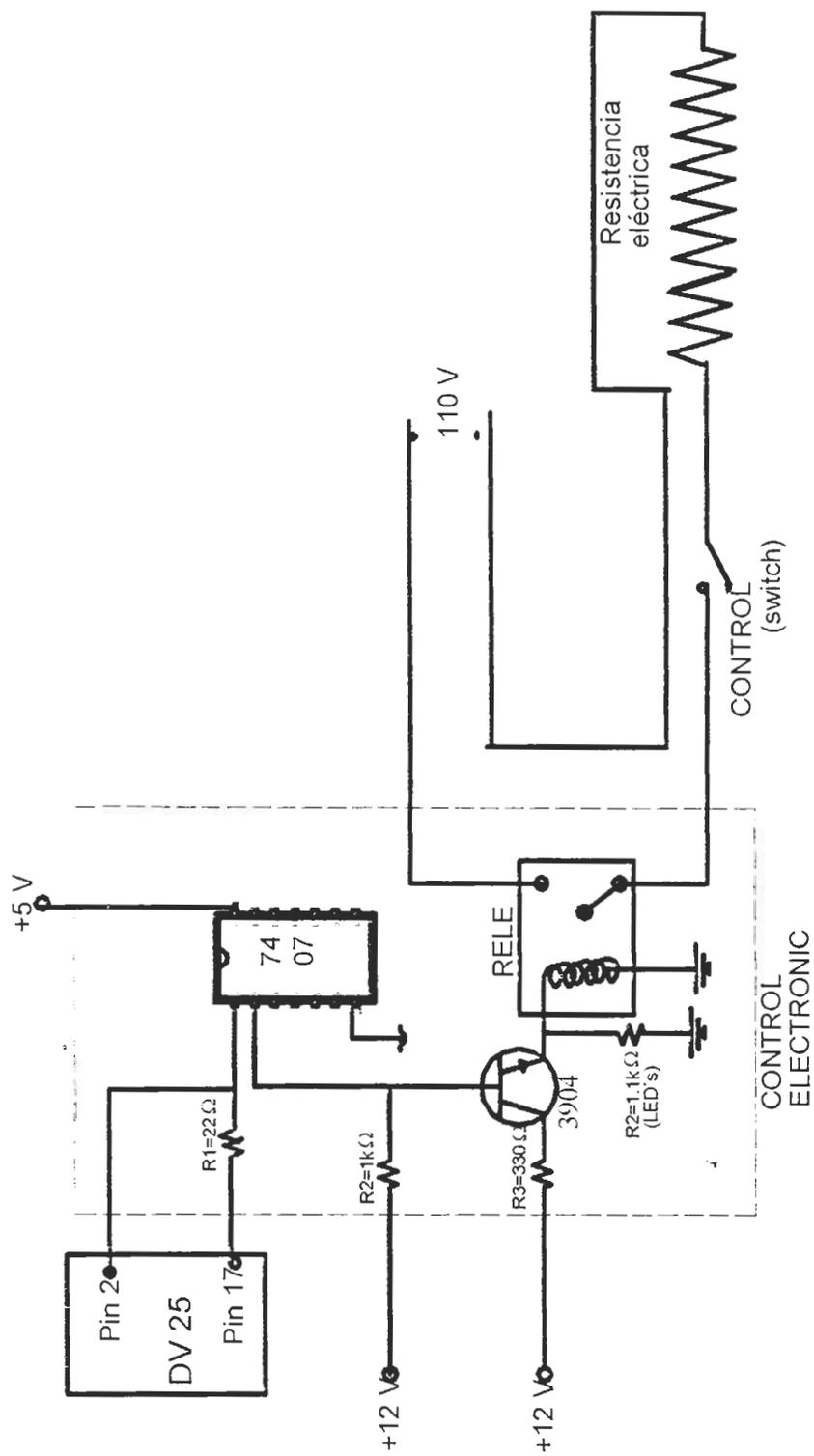


FIGURA 2-37 DIAGRAMA DEL CIRCUITO PARA EL CONTROL DE TEMPERATURA .

Del esquema anterior se observa lo siguiente:

- El control mecánico se encuentra ubicado en serie con el control electrónico del equipo, con el fin de dar mayor seguridad a las probetas de ensayo que se diseñaron en las secciones 2.4.2.1 y 2.4.3.1.
- La comunicación entre la computadora y la tarjeta electrónica se realiza a través de un conector DV 25, utilizando los pines 2 y 17 como línea viva y tierra respectivamente.
- La alimentación de +5 VDC y +12 VDC que necesita la tarjeta, se obtienen de una fuente de computadora que transforma el voltaje de 110 VAC a los voltajes indicados.
- La tarjeta electrónica será instalada en la caja de control de los equipos de conducción y alimentada por un conector DV15.

A continuación se muestra el esquema de conexión externa de la tarjeta electrónica

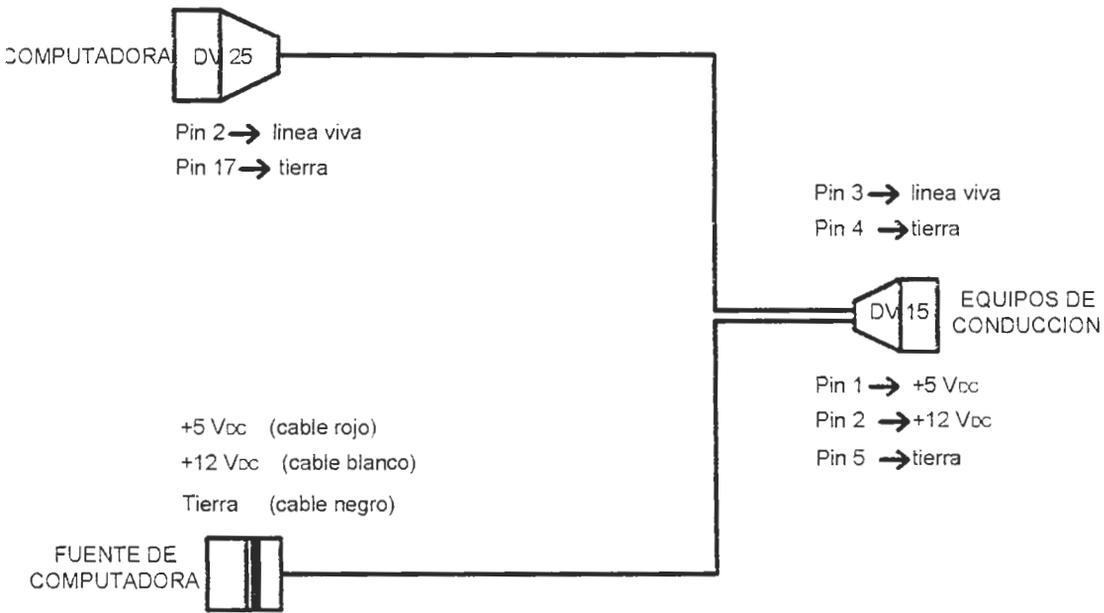


FIGURA 2-38 CONEXIONES EXTERNAS DE LA TARJETA ELECTRÓNICA.

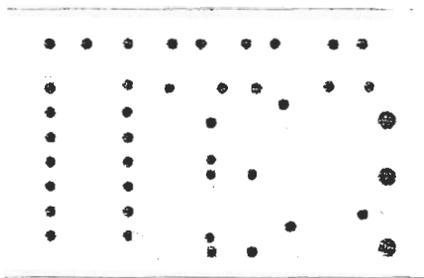


FIGURA 2-39 TARJETA IMPRESA CON SU PISTA.

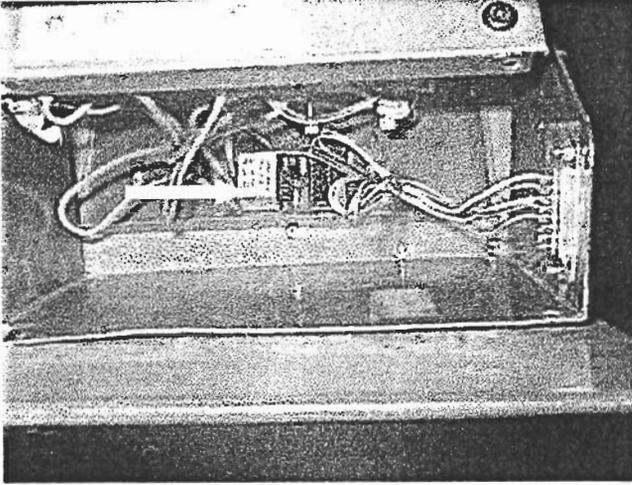


FIGURA 2-40 TARJETA DE CONTROL DE TEMPERATURA.

2.5.2 Descripción de los elementos.

Como observamos en la FIGURA 2-37, el circuito se conecta con la computadora a través del pin 2 como línea viva, y el pin 17 como tierra, los cuales se activan enviando una salida de “cero” ó “uno” por el pin 2 de acuerdo a lo que queremos si es encender o apagar el equipo.

El envío de datos de la computadora hacia el equipo a controlar no es directo, ya que el máximo voltaje que sale de un pin del puerto del computador es de un voltaje de 5V. y la intensidad máxima es de 1 mA.

Para amplificar esta señal se utilizan los siguientes elementos:

2.5.2.1 El relé.

El relé es un dispositivo electrónico que está constituido por una bobina que cuando es excitada o energizada por un valor de voltaje especificado por el fabricante, abre o cierra unos contactos de un circuito, produciendo una señal de salida. Estos dispositivos son aprovechados como interruptores para corriente alterna y voltajes de 110 V ó 220 V.

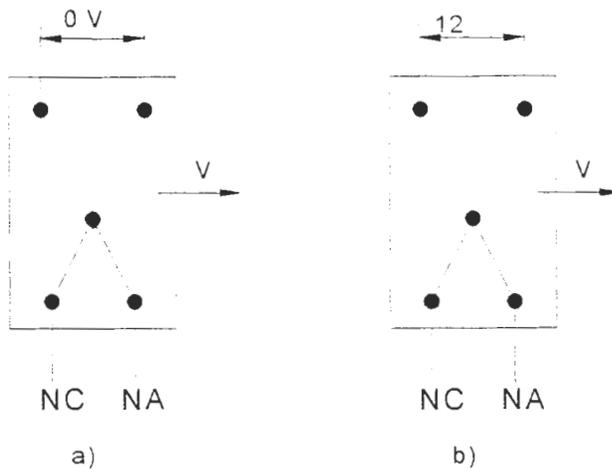
Para este caso se utilizará un relé con las siguientes características:

Bobina12 VDC

Carga120 VAC máximo 2 A.

Un contactonormalmente abierto (NA).

Un contacto ... normalmente cerrado (NC).



**FIGURA 2-41 DIAGRAMA DEL CIRCUITO DEL RELE
 (a) BOBINA DESENERGIZADA Y (b) BOBINA ENERGIZADA.**

Como se aprecia en la FIGURA 2-41, la bobina se energiza con 12 VDC, el voltaje de la carga puede ser de 120 VAC, habiendo un contacto normalmente cerrado y uno normalmente abierto.

Cuando la bobina está desenergizada fluye corriente por el contacto NC mientras que por el contacto NA no. Cuando se energiza la bobina en este caso fluyen 12 VDC, el contacto NC se abre y el contacto NA se cierra, entonces por el contacto NA fluye corriente, no así por el contacto NC.

2.5.2.2 El transistor.

Debido a que ninguna carga puede ser conectada directamente al puerto del computador, por riesgo de dañarlo, se debe usar un transistor que en este caso es el NPN 2N2222 o el 2N3904.

El transistor tiene tres terminales: base, colector y emisor, como se muestra en la FIGURA 2-42.

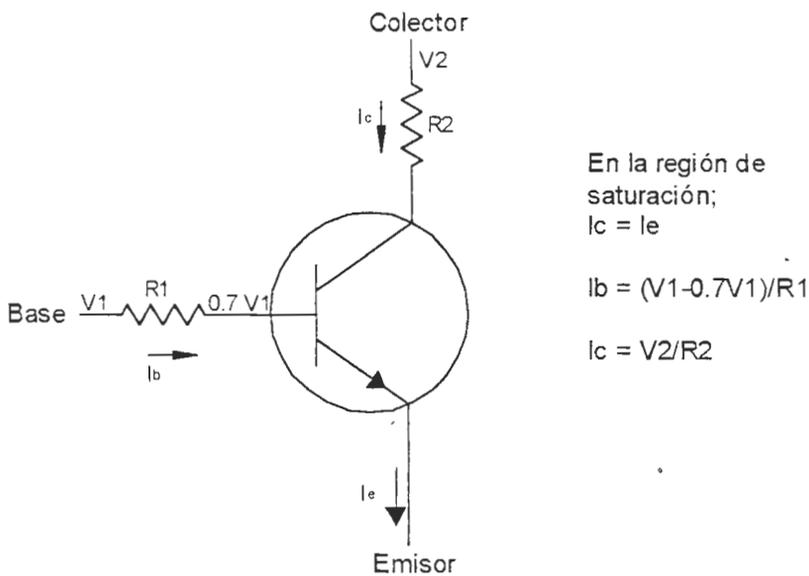


FIGURA 2-42 EL transistor NPN

En este caso el transistor va a trabajar como interruptor, esto significa que se está operando en el

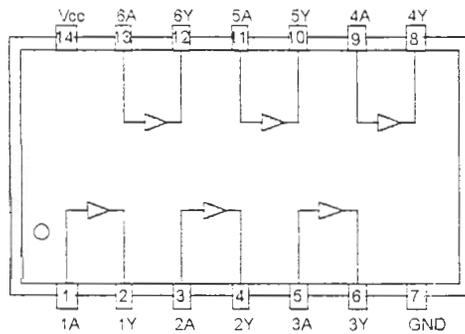
punto de saturación o de corte y no en alguna otra parte de la trayectoria de la línea de carga. Cuando por el terminal base hay un nivel lógico bajo "0", en este caso 0V, el circuito entre el colector y el emisor está en corte (abierto), por tanto no fluye corriente entre estos, cuando por el terminal base hay un nivel lógico alto "1", en este caso 5V que sale del pin 2 del puerto paralelo, hace que el circuito entre el colector y el emisor se sature (cerrado) produciendo un flujo de corriente entre estos, cabe mencionar que para que fluya corriente entre el colector y el emisor, el voltaje en el terminal base puede ser igual o mayor a 0.8V.

2.5.2.3 El circuito integrado SN 7407.

El SN7407 es un circuito integrado que actúa como un aislador (buffer) entre el proceso y la computadora ya que, como se explicó en la sección 2.5.2, la señal proveniente del computador es de una corriente muy baja, con la cual no es posible saturar el transistor y que a su vez active al relé.

El chip SN7407 pertenece a la familia lógica TTL, tiene 6 etapas y es empaquetado como un semiconductor IC, de 14 patas duales en línea.

En la FIGURA 2-43 se muestra el esquema del SN7407, en el cual se observa que las puertas de entrada y salida son de dos en dos, teniendo además una puerta a tierra (GND) y una puerta de alimentación (Vcc) de +5V nominales.



**FIGURA 2-43 DIAGRAMA LOGICO DEL CIRCUITO
INTEGRADO SN 7407.**

El "buffer" que se está utilizando es de colector abierto, lo cual significa que para que se pueda obtener un voltaje a la salida es necesario conectarle una resistencia de "pull down" tal como se muestra en

la FIGURA 2-44, de tal forma que, cuando por el pin 2 sale una señal de "cero", las terminales 1 y 2 del SN7407 permanezcan abiertas, manteniendo la línea de la base del transistor a un nivel bajo que permita mantener en corte el transistor. Cuando por el pin 2 sale una señal de "uno", las terminales 1 y 2 del SN7407 se cierran y a su vez alimentan a la base del transistor el mismo que se satura.

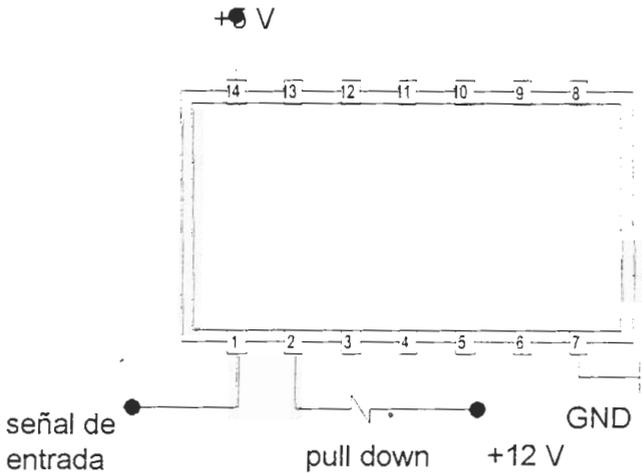


FIGURA 2-44 AMPLIFICACION DE LAS SEÑALES DE ENTRADA MEDIANTE UN BUFFER 7407

2.6 Distribución de los equipos en el laboratorio.

Los equipos de transferencia de calor por conducción lineal (FIGURA 2.45) y conducción radial (FIGURA 2-46), así como el equipo de transferencia de calor por convección (FIGURA 2-47) una vez que han sido acondicionados para la adquisición de datos estarán ubicados en el Laboratorio de Termofluidos de la FIMCP, de acuerdo a la distribución mostrada en los PLANOS 5 y 6.

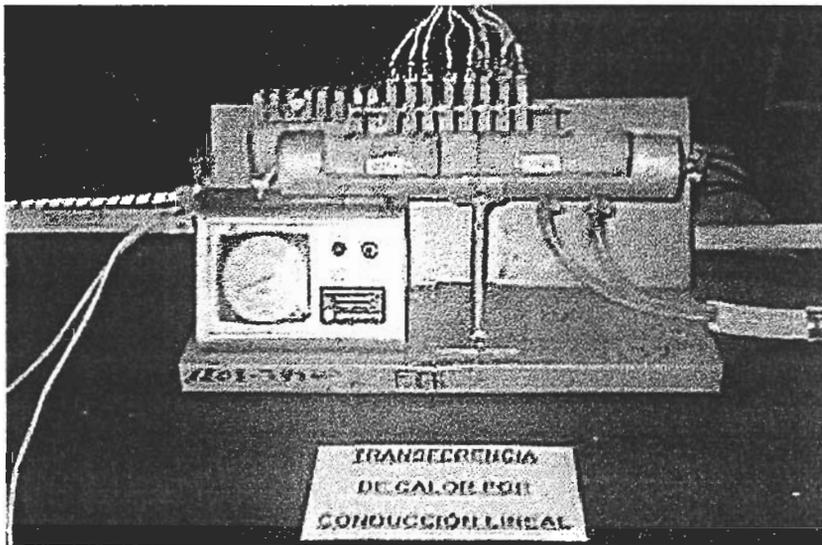


FIGURA 2-45 EQUIPO DE CONDUCCION LINEAL ACONDICIONADO PARA EL SISTEMA DE ADQUISICIÓN DE DATOS

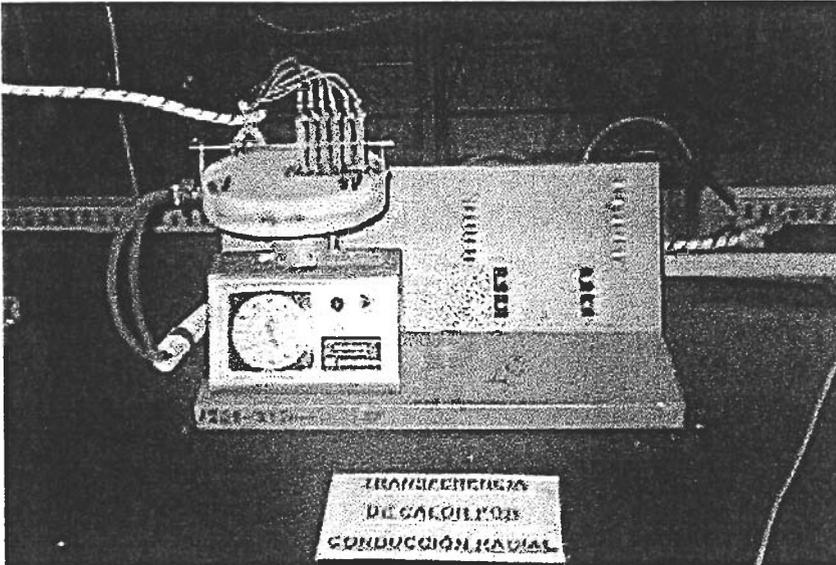


FIGURA 2-46 EQUIPO DE CONDUCCION RADIAL ACONDICIONADO PARA EL SISTEMA DE ADQUISICIÓN DE DATOS

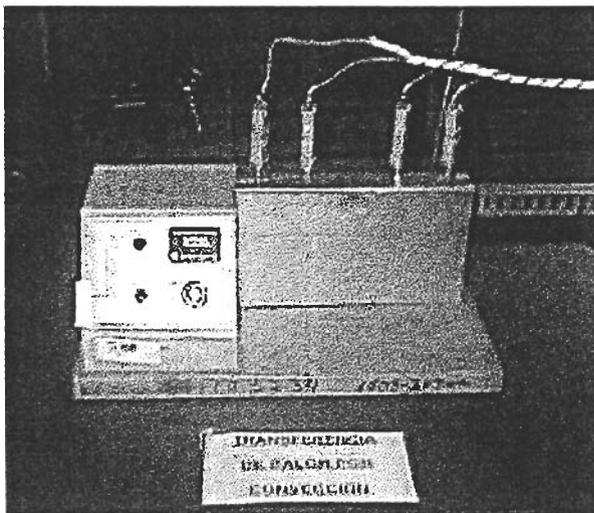


FIGURA 2-47 EQUIPO DE CONVECCION ACONDICIONADO PARA EL SISTEMA DE ADQUISICIÓN DE DATOS.

Esta distribución permite aprovechar el tanque de almacenamiento de agua del banco de bombas como un sumidero de calor para los equipos de transferencia de calor por conducción; así como la ventaja de compartir los módulos Field Point con otros equipos que lo requieran.

Cabe mencionar que, como parte de este proyecto se diseñó adicionalmente una caja metálica que contenga los módulos FieldPoint, y permita centralizar los equipos que son parte del Sistema de Adquisición de Datos a través de un solo computador en este laboratorio. La distribución interior de esta caja se muestra en los PLANOS 7 y 8,

En la FIGURA 2-48 se muestra la distribución de los equipos que han formado parte de este proyecto en el Laboratorio de Termofluidos, la cual ofrece la opción de integrar más equipos que a futuro serán también parte de este sistema.



FIGURA 2-48 BANCO DE TRANSFERENCIA DE CALOR.

CAPITULO 3

3. DESARROLLO DEL PROGRAMA PARA ADQUISICIÓN DE DATOS Y CONTROL DE TEMPERATURA.

En este capítulo desarrollaremos el programa para la adquisición de datos y control de temperatura del proceso de transferencia de calor por conducción y convección cuyo lenguaje de programación tiene como misión, una vez definido el problema que el sistema quiere resolver: controlar el proceso de transferencia de calor y establecer la forma en que el equipo tiene que actuar para realizar su función indicando todas las actividades, cálculos y otras operaciones a efectuar y la forma de

realizarlas con todas las circunstancias que puedan darse durante la ejecución de la practica que se está desarrollando.

El lenguaje utilizado es la programación G, este lenguaje es de tipo secuencial en los que las acciones tienen un estricto orden en el tiempo sin influir en el comportamiento del problema y la duración de su ejecución, los resultados dependen únicamente de los efectos de cada acción y de su orden.

La finalidad de este programa es obtener resultados inmediatos al ingresar los parámetros de entrada y ejecutar la práctica, obteniéndose resultados necesarios para el entendimiento del proceso de transferencia de calor.

Las unidades que se utilizan en los parámetros de entrada y de salida van acorde al léxico del Sistema Internacional de Unidades (SI).

3.1 Desarrollo del programa para adquisición de datos con la utilización de LabView como lenguaje de programación.

El programa está orientado en forma de un menú principal y sus respectivos submenús para facilitar:

- ❖ La selección de la practica que se va a realizar.
- ❖ La introducción de valores con la ayuda del "mouse".

- ❖ La visualización de ayudas por medio de dibujos explicativos del proceso que se está realizando.
- ❖ La visualización progresiva de los resultados, expuestos en gráficos o tablas.
- ❖ El poder trabajar bajo ambiente “Windows” (diversas pantallas activadas).

En las secciones siguientes se expone una explicación detallada del programa principal con sus respectivos submenús.

3.1.1 Diagrama de flujo del programa principal.

Para resolver el problema de transferencia de calor con el computador es necesario comprenderlo muy bien antes que nada, y definir los datos que se requieran ingresar en la memoria del computador a fin de formular un algoritmo, es decir una lista que describa el manejo deseado de estos datos.

En la FIGURA 3.1 se expone el diagrama de bloques del programa principal con sus respectivos submenús, la secuencia de introducción de datos y presentación de resultados esta expuesta en el diagrama de flujo de la FIGURA 3.2.

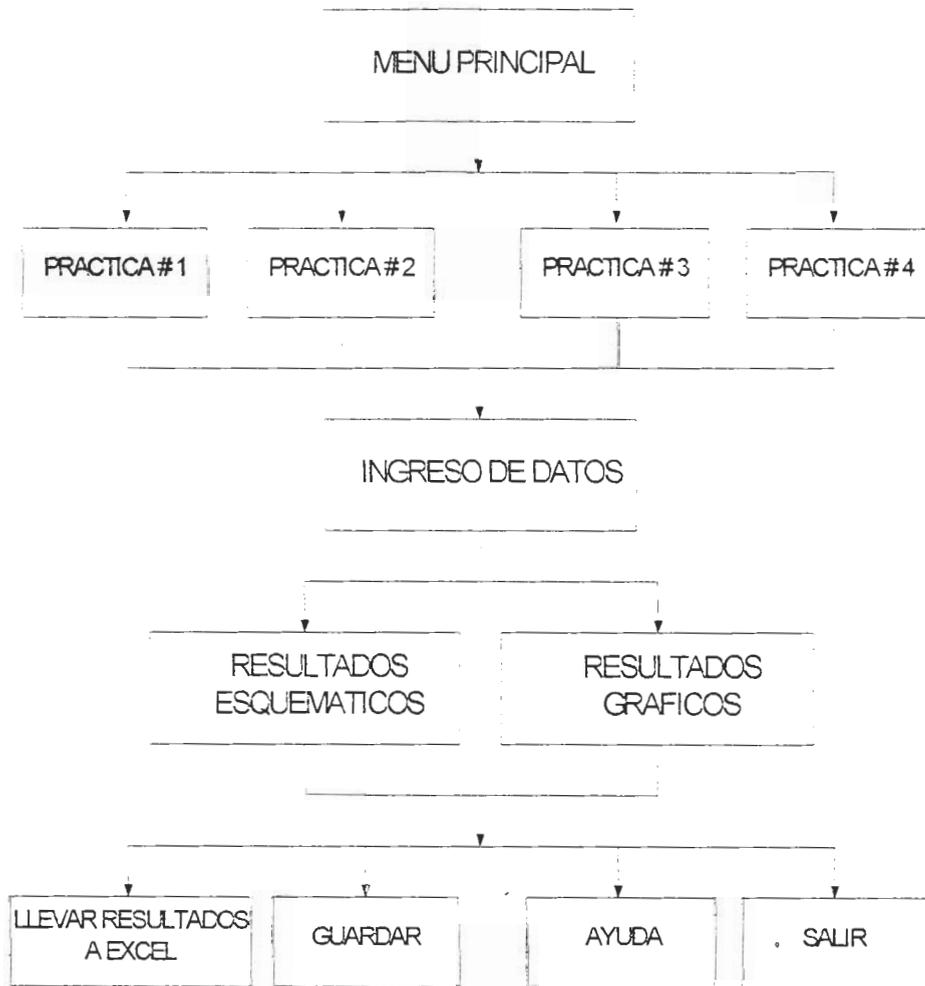


FIGURA 3-1 DIAGRAMA DE BLOQUES DEL PROGRAMA PRINCIPAL.

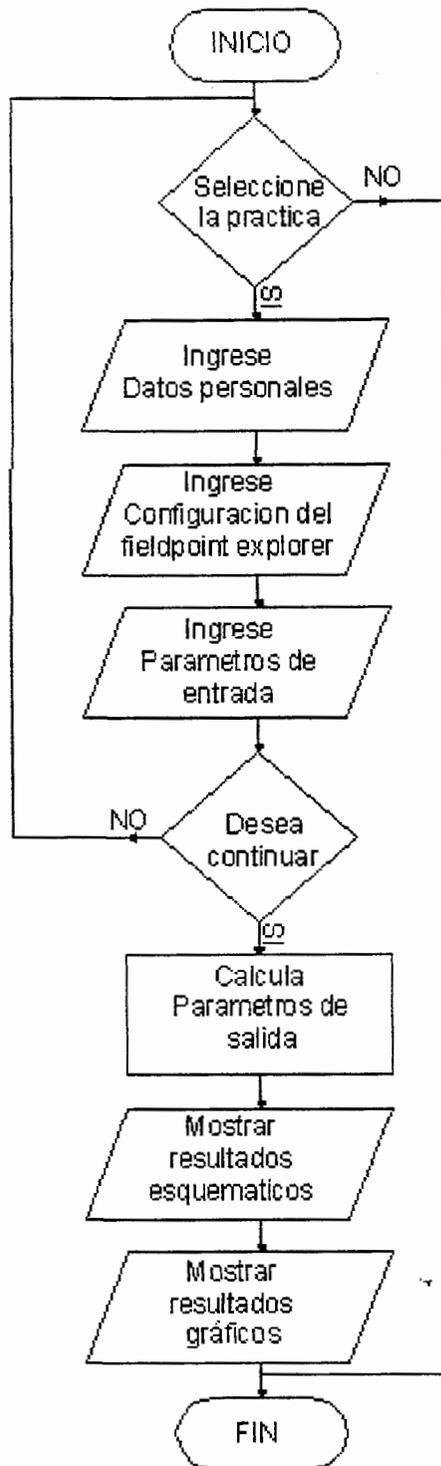


FIGURA 3-2 DIAGRAMA DE FLUJO DEL PROGRAMA PRINCIPAL.

3.1.2 Subrutinas utilizadas.

Las subrutinas (SubVi s.) utilizados en el desarrollo del programa para la adquisición de datos y control de temperatura están incluidas en el software de LabView 5.0 y son las siguientes:

FP OPEN : Este SubVI. crea una sesión de comunicación con el servidor del FieldPoint y configura el archivo con extensión *.iak.

FP CREATE TAG : Este SubVI. crea una etiqueta de referencia para los datos de entrada. Esta referencia es guardada en la sesión FP Server Refnum.

FP ADVISE : Este SubVI. Inicia una operación de información sobre la etiqueta configurada y especificada en FP CREATE TAG. Un FP ADVISE opera periódicamente leyendo los datos en el tiempo especificado. Este VI. es usado para monitorear cambios en los valores de los datos sobre un largo periodo de tiempo.

FP CLOSE : Este SubVI. cierra la sesión de comunicación con el servidor del FieldPoint, abierta por el FP OPEN.

MANAGE RADIO BUTTON : Este SubVI. detecta el estado en que se encuentran los botones de operación (Bolean) del panel frontal. Si se ha producido un cambio en uno de ellos, el VI. detecta la posición en que se encuentra el botón indicándola con un valor verdadero.

OUTPORT : Este SubVI. es una plataforma que transforma los diagramas de bloques realizados en lenguaje G, a un código escrito en lenguaje de programación convencional, tal como el lenguaje "C", de tal manera que exista comunicación con equipos externos a través de las salidas convencionales de la computadora como son el puerto paralelo y el puerto serial.

LINEAR FIT : Este SubVI. deriva los parámetros que mejor representan los datos de entrada tales como: pendiente y la intercepción con la ordenada del plano cartesiano.

OPEN URL : Con este SubVI. se accede a una pagina Web, la misma que puede encontrarse en una red ó en el disco duro del computador.

BARRA DE PROGRESO : Este SubVI. es un indicativo del desarrollo del proceso que se esta realizando.

3.1.3 Subrutinas creadas.

Las subrutinas (SubVI s.) creadas para desarrollar el programa de adquisición de datos y control de temperatura han sido realizadas aprovechando la ventaja que tiene la programación en LabView en establecer una jerarquía secuencial entre los VI. convirtiéndolos en SubVI, para lo cual se crearon varias subrutinas secundarias que son comunes para el desarrollo de las subrutinas explicadas en esta sección.

Las subrutinas secundarias creadas, son las siguientes:

ACERCA DE : Esta subrutina brinda información general sobre el desarrollo de este programa.

DATOS PERSONALES : Esta subrutina sirve de plataforma para ingresar datos que se utilizarán en las respectivas practicas. Estos datos son: Nombre, fecha, hora, sección, tipo, área, diámetro, temperatura nominal y rango.

LIMITES DE TEMPERATURA: Esta subrutina realiza las operaciones para determinar la temperatura superior y la temperatura inferior de acuerdo a la temperatura nominal y la tolerancia ingresadas en el panel frontal.

TITULO : Esta subrutina crea etiquetas para cada una de las practicas desarrolladas en esta tesis, identificándolas como: practica #1, practica #2, practica #3 y practica #4 con sus respectivos títulos. Además se indican los procedimientos para la correcta realización de las practicas mencionadas.

TITULO DE SECCIÓN: Esta subrutina crea etiquetas para cada sección en la practica #1, identificándolas como: pared plana, pared compuesta y sección reducida.

SELECCIÓN DE VALORES: Esta subrutina lee los canales del módulo FP-TC-120 que están siendo utilizados por las termocuplas conectadas a los equipos de transferencia de calor.

RECTA VERTICAL: Esta subrutina gráfica rectas que representan las interfaces sólido – sólido que se forman en el equipo de transferencia de calor por conducción lineal.

EXTRAPOLA DERECHA: Esta subrutina escoge un número de datos de entrada de valores de un arreglo X y Y para ingresarlos al Vi,Linear Fit y obtener la ecuación de la recta extrapolada hacia la derecha hasta un valor "x" ingresado en el panel frontal.

EXTRAPOLA IZQUIERDA: Esta subrutina escoge un número de datos de entrada de valores de un arreglo X y Y para ingresarlos a la subrutina *Linear Fit* y obtener la ecuación de la recta extrapolada hacia la izquierda hasta un valor "x" ingresado en el panel frontal.

EXTRAPOLA DERECHA - IZQUIERDA: Esta subrutina escoge un número de datos de entrada de valores de un arreglo X y Y para ingresarlos a la subrutina *Linear Fit* y obtener la ecuación de la recta extrapolada hacia la derecha y la izquierda hasta valores "x" ingresados en el panel frontal.

GRAFICA PARED PLANA: Esta subrutina gráfica los resultados obtenidos en las practicas desarrolladas para la sección de pared plana y la sección reducida correspondientes a la practica #1 de esta tesis.

GRAFICA PARED COMPUESTA: Esta subrutina gráfica los resultados obtenidos en la practica desarrollada para la sección de pared compuesta correspondiente a la practica # 1 de esta tesis.

CALCULA K: Esta subrutina realiza los cálculos matemáticos necesarios para determinar la conductividad térmica de los

materiales utilizados en el desarrollo de la practica # 2 de esta tesis.

CALCULA h: Esta subrutina realiza los cálculos matemáticos necesarios para determinar el coeficiente de convección durante el desarrollo de la practica # 4 de esta tesis.

A continuación se explican las subrutinas principales creadas para el funcionamiento del programa de adquisición de datos de los equipos de transferencia de calor.

3.1.3.1 Estabilización de temperatura.

Esta subrutina se encarga de mantener la temperatura variando en un rango, establecido por el operario.

Para lograr esto se utilizan una serie de secuencias que determinan dos ciclos de variación de temperatura suficientes como para obtener los datos de temperatura y poder realizar los cálculos correspondientes para cada practica desarrollada en el capítulo 4.

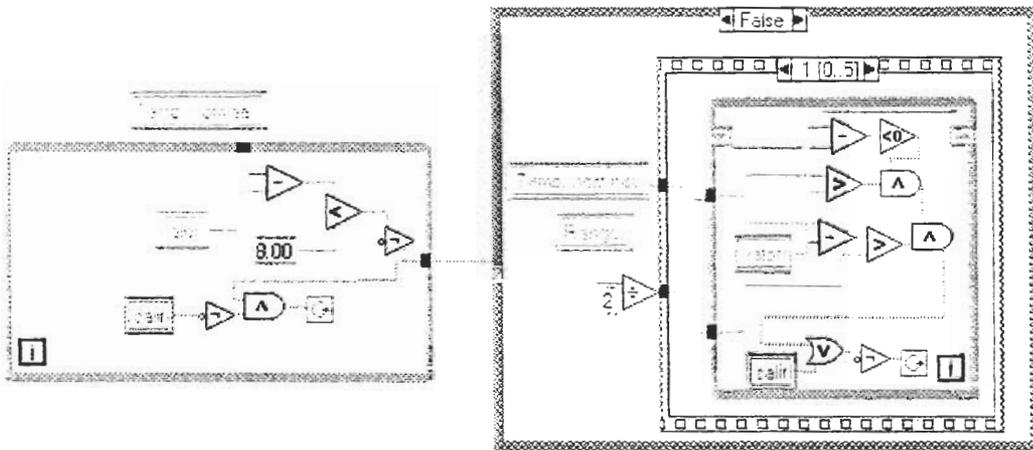


FIGURA 3-3 SUBROUTINA ESTABILIZACION DE TEMPERATURA.

3.1.3.2 Control de temperatura usando el puerto paralelo.

Para alimentar el circuito de control de temperatura detallado en la sección 2.5 y poder controlar la temperatura de las resistencia de cartucho insertadas en los equipos de conducción lineal y radial se utiliza la subrutina "Outport" indicándole la dirección del puerto paralelo en número hexadecimal, que en este caso es 888, así como el valor de salida que puede ser 0 ó 1 correspondientes a 0V ó 5V respectivamente.

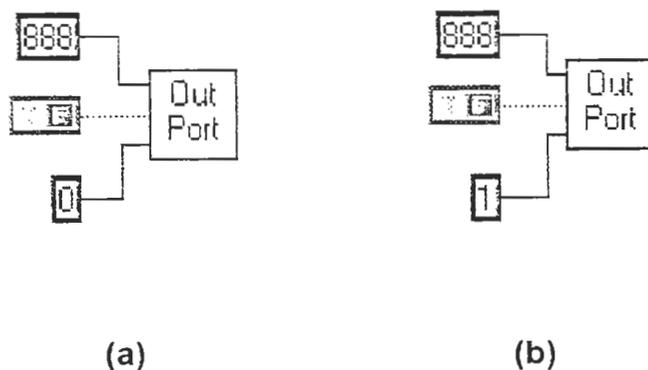


FIGURA 3-4 SUBROUTINA DE CONTROL DE TEMPERATURA

(a) Envío de señal de 0V. (b) Envío de señal de 5V.

3.1.3.3 Adquisición de datos.

Esta subrutina es la que permite adquirir los valores de temperaturas de los equipos que forman parte del banco de transferencia de calor leídos por el módulo FP-TC-120, para ello se enlazan las subrutinas “*FP Open*”, “*FP Create Tag*”, “*FP Advise*” y “*FP Close*” para crear la plataforma conveniente de lectura de datos del software Fieldpoint Explorer y además seleccionar los canales del módulo FP-TC-120 que están siendo utilizados a través de la subrutina “*selección de valores*”.

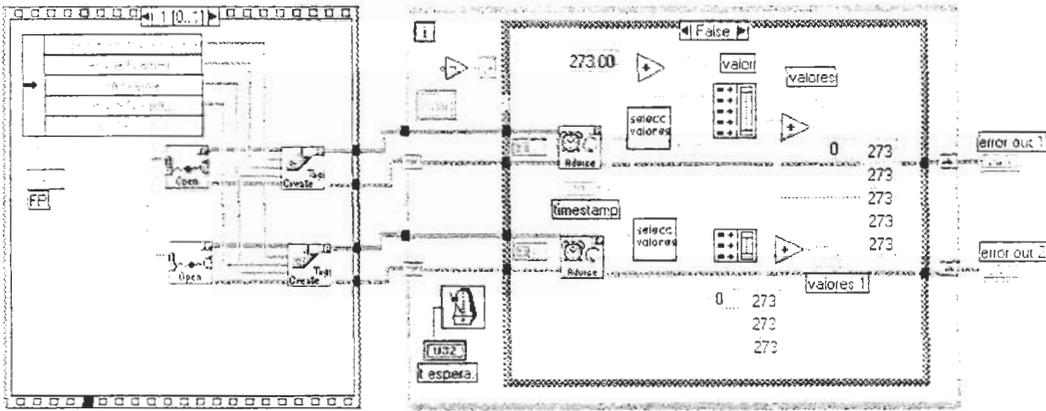


FIGURA 3.5 SUBROUTINA DE ADQUISICION DE DATOS.

3.1.3.4 Selección de practicas.

Esta subrutina sirve para seleccionar el tipo de practica que se va a realizar para lo cual se utiliza el subvi. "manage radio button" seleccionando la practica y abriendo un archivo que contiene la información requerida en la continuación del diagrama de bloques de la FIGURA 3.1

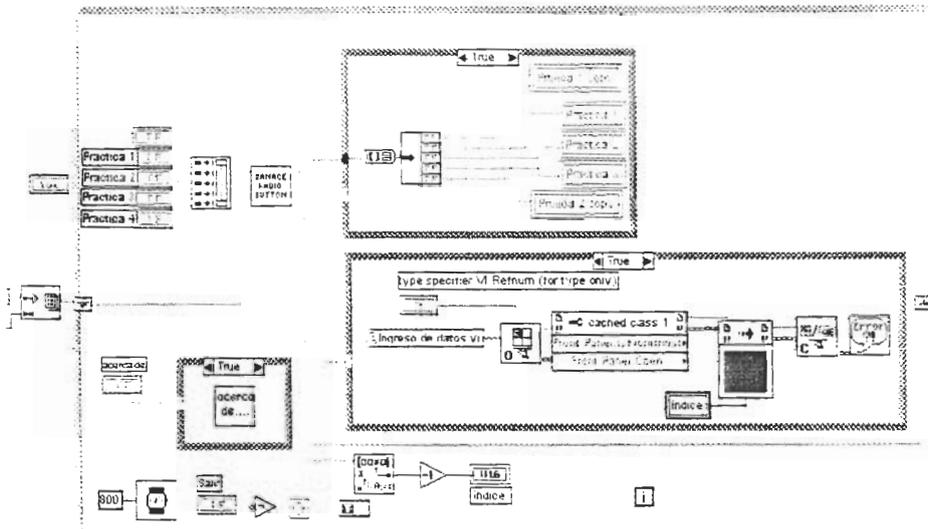


FIGURA 3-6 SUBROUTINA DE SELECCIÓN DE PRACTICAS.

3.1.3.5 Ingreso de datos.

Esta subrutina agrupa los datos que se necesitan para desarrollar cada una de las practicas en una sola variable, facilitando de esta manera que pueda ser trasladada de una ventana a otra siguiendo el diagrama de bloques de la FIGURA 3-1.

Cabe indicar que aunque se trasladan todos los parámetros de entrada, solo son visibles aquellos que van a ser utilizados para el desarrollo de la practica correspondiente.

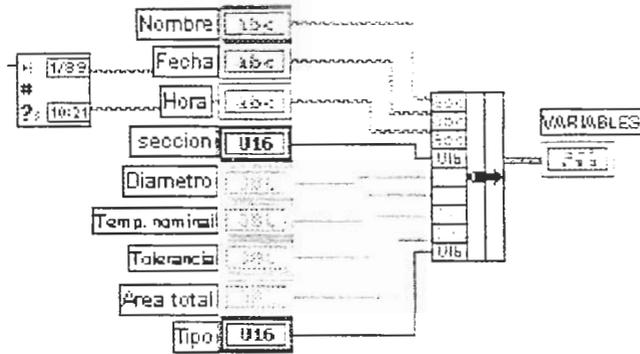


FIGURA 3-7 SUBROUTINA DE INGRESO DE DATOS.

3.1.3.6 Graficación de curvas.

Para analizar los valores adquiridos por el módulo FP-TC-120, estos son representados en dos tipos de gráficos que están visibles para el operador en cada una de las practicas desarrolladas en esta tesis.

Un tipo de gráfico desarrollado es el que relaciona la temperatura con respecto al tiempo real de lectura de datos, y cuya gráfica se obtiene con los valores de temperatura leídos por la termocupla ubicada en el lugar más caliente de cada uno de los equipos de ensayo.

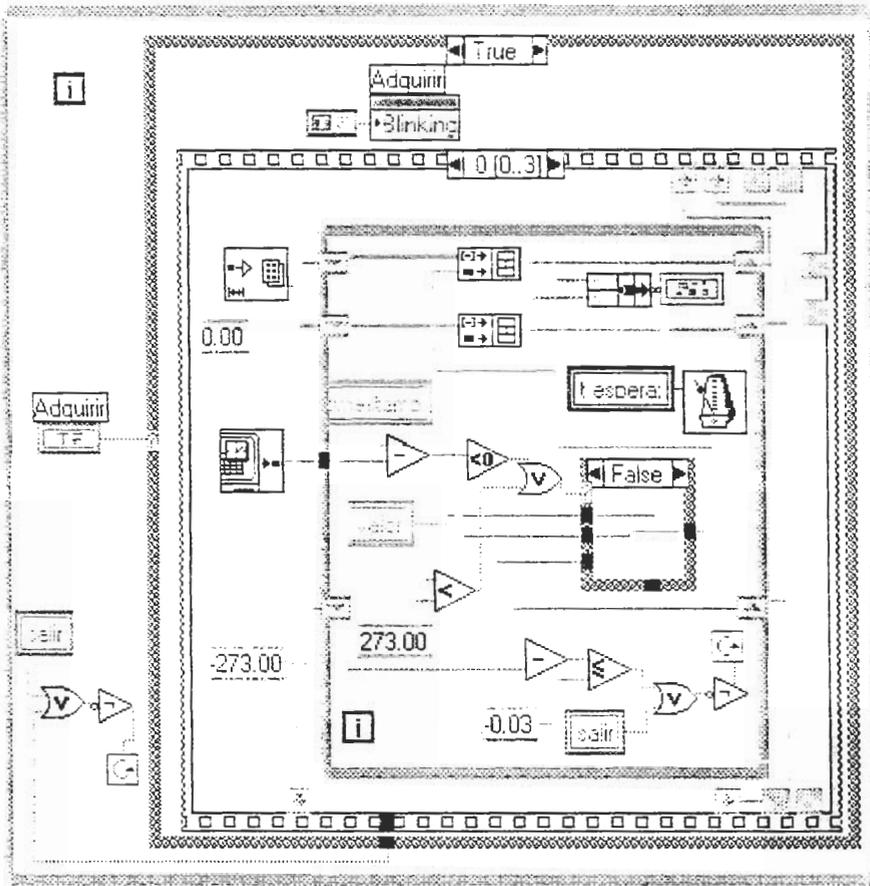


FIGURA 3-8 SUBRUTINA DE GRAFICACION DE CURVA

(Temperatura vs Tiempo).

Otro tipo de gráfico desarrollado es el que relaciona la temperatura con respecto a la posición de las termocupas, indicando la distribución de temperaturas en cada uno de los equipos de conducción.

Este gráfico se obtiene ingresando los valores de temperatura leídos por el módulo FP-TC-120 extrapolados hacia la derecha o izquierda dependiendo de cada elemento de ensayo.

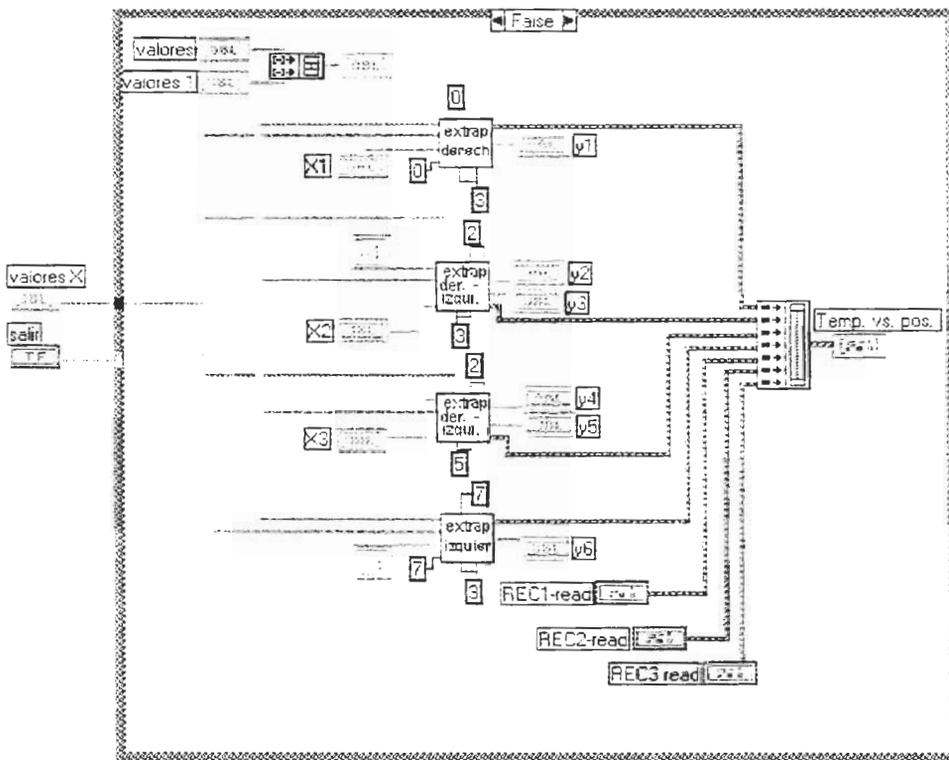


FIGURA 3-9 SUBROUTINA DE GRAFICACION DE CURVA

(Temperatura vs Posición).

3.1.3.7 Cálculos matemáticos.

Los cálculos efectuados para cumplir con los objetivos de las practicas desarrolladas en el capitulo 4 se efectúan a través de un nodo de formula, en este nodo se escribe la formula correspondiente para calcular el parámetro que se desee, tal como el coeficiente de conductividad térmica (FIGURA 3-10) y el coeficiente de transferencia de calor por convección (FIGURA 3-11).

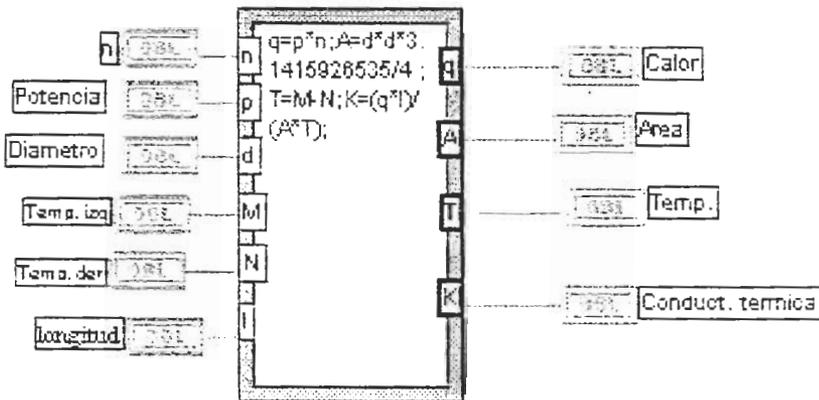


FIGURA 3-10 SUBROUTINA DE CALCULOS MATEMATICOS

(Cálculo de la conductividad térmica).

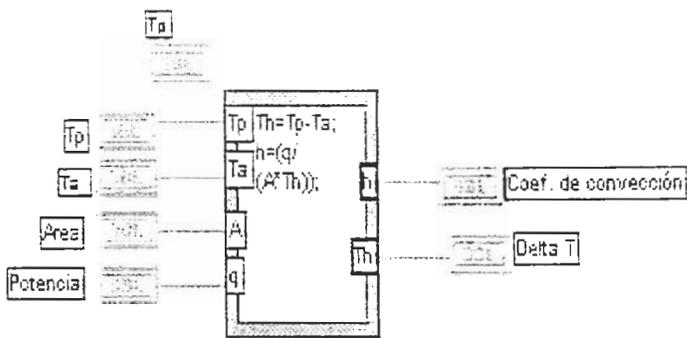


FIGURA 3-11 SUBROUTINA DE CALCULOS MATEMATICOS

(Cálculo del coeficiente de transferencia de calor por convección).

3.1.3.8 Exportar datos a Excel.

Esta subrutina permite llevar los resultados obtenidos durante el desarrollo de una de las practicas, a una hoja electrónica como lo es Excel, lográndose de esta manera que dichos resultados puedan ser manipulados de diferentes formas para verificar la validez de las leyes que rigen el proceso de transferencia de calor.

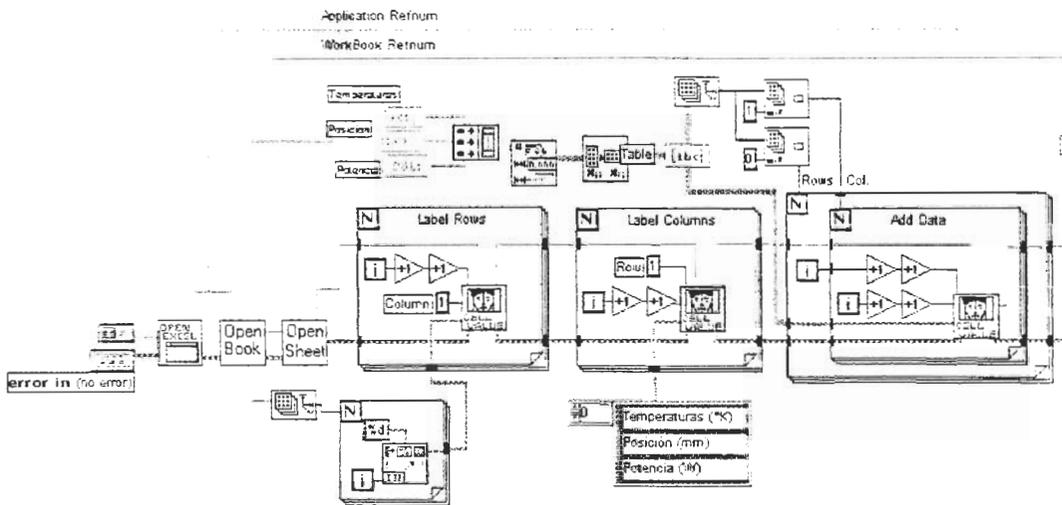


FIGURA 3-12 SUBROUTINA DE EXPORTAR DATOS A EXCEL

3.2 Desarrollo del programa de ayuda en lenguaje HTML.

El programa de ayuda que se ha desarrollado en el programa de adquisición de datos y control de temperatura esta basado en un lenguaje universal, como lo es el HTML, esto permite que la programación de ayuda sea observada a través del internet desde cualquier computador.

El formato de ayuda permite enlazarse a un menú principal que contiene información sobre cada una de las practicas desarrolladas en el capítulo 4, interactuando con el operador en cualquier instante que éste lo requiera.

En el APÉNDICE F se describe la programación para la ayuda del programa desarrollado.

3.3 Presentación de las aplicaciones desarrolladas.

La combinación de las diferentes subrutinas creadas y las subrutinas utilizadas del software de LabView 5.0 son agrupadas en ventanas que interactúan con el operador a través de la pantalla del computador y son mostradas durante el desarrollo de cada una de las practicas de transferencia de calor en pasos secuenciales.

Los pasos mencionados implican: la selección del tipo de practica (FIGURA 3-13), la introducción de datos requeridos (FIGURA 3-14), ver resultados en forma esquematica (FIGURA 3-15) y ver resultados en forma gráfica (FIGURA 3-16).

Además, el programa tiene las siguientes aplicaciones para complementar el objetivo de esta tesis: mostrar un submenú de ayuda en lenguaje HTML y guardar los resultados obtenidos en archivos "nombre.tsn"

El detalle del contenido de cada una de las ventanas que se presentan durante la ejecución de cualquiera de las cuatro practicas desarrolladas en el capitulo 4 se presentan a continuación:

3.3.1 Ventana de menú principal.

La ventana de menú principal representa el inicio del programa desarrollado para la adquisición de datos y control de temperatura por computadora para los equipos de transferencia de calor por conducción y convección, tal como se muestra en el diagrama de bloques de la FIGURA 3-1; desde aquí se selecciona el tipo de practica que se desee realizar, sea esta, un ensayo de conducción ó un ensayo de convección.

Para acceder a esta ventana se sigue la siguiente dirección:

C:\Windows\Escritorio\Transf. calor\Menu principal.vi

En la FIGURA 3-13 se observa esta ventana, en la cual además de presentar los botones para seleccionar la practica correspondiente, se presenta un botón de ayuda on line desde donde se accede al programa de ayuda en lenguaje HTML. explicado en la sección 3.2 y un botón general para salir totalmente del programa desarrollado.

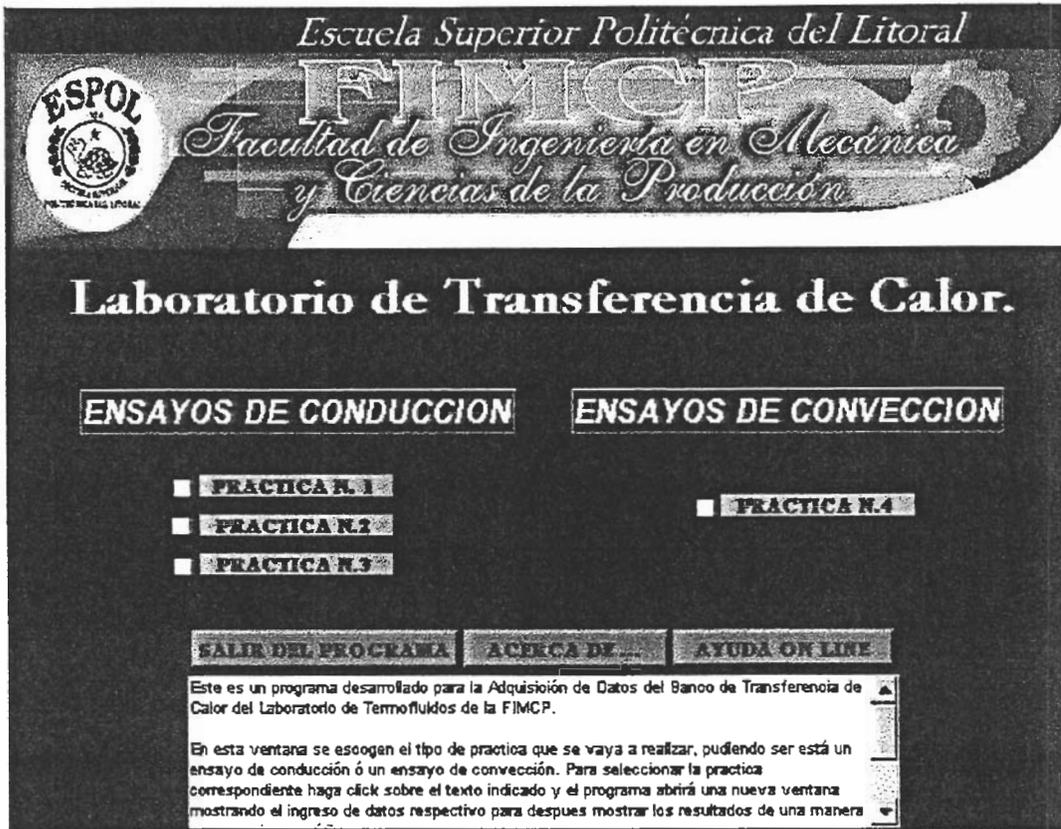


FIGURA 3-13 VENTANA DEL MENU PRINCIPAL

3.3.2 Ventana de ingreso de datos.

La ventana de ingreso de datos recibe la información de la ventana de menú principal, es decir receipta el tipo de practica que se va a realizar, desplegando un cuadro de dialogo en donde se ingresa la información del operador, la configuración del Fieldpoint Explorer y los parámetros que se necesitan para

realizar la practica respectiva. Estos parámetros son listados en la TABLA 9.

TABLA 9 PARAMETROS DE ENTRADA

Tipo	Parámetros
Practica # 1	Tipo de sección, temperatura nominal y rango.
Practica # 2	Diámetro, temperatura nominal y rango
Practica # 3	Temperatura nominal y rango
Practica # 4	Área y tipo de convección

The screenshot shows a software interface for data entry. On the left, there is a large, mostly empty area labeled 'Procedimientos:'. On the right, the 'DATOS DE ENTRADA' section includes fields for 'Nombre', 'Fecha', 'Hora', 'Tipo' (set to 'Convección libre'), and 'Instrumento' (set to 'D-D413'). Below this, the 'CONFIGURACIÓN DEL FIELDPOINT EXPLORER' section includes fields for 'Compu. Resource Name' (set to 'F.R. Res'), 'Device Name' (set to 'FP-TC-120 @1'), 'Device Name 2' (set to 'FP-TC-120 @2'), and 'Time Offset' (set to '0'). At the bottom, there are three buttons: 'AYUDA', 'CONTINUAR', and 'SALIR'.

FIGURA 3-14 VENTANA DE INGRESO DE DATOS

3.3.3 Ventana de resultados esquemáticos.

Luego de que se han ingresado los datos correspondientes a la practica seleccionada en la ventana de menú principal, el programa realiza la adquisición de datos y los cálculos necesarios para obtener los resultados del proceso de transferencia de calor que experimentan las probetas de ensayo en cada uno de los equipos que conforman el banco de transferencia de calor.

Los resultados son presentados en forma esquemática, tal como se observan en la FIGURA 3-15. Esta ventana esta formada por las siguientes partes:

- Un panel de control, donde se observan los parámetros de entrada que rigen esta practica.
- Un gráfico temperatura vs. tiempo, donde se aprecia la variación de la temperatura medida por el termopar más cercana a la resistencia calentadora, aquí se visualiza el rango de variación de temperatura al que está sometida la probeta de ensayo durante el cual se considera que se mantiene constante.

- Un esquema del equipo experimental, donde se aprecia las variables (potencia, caudal, temperatura) que están consideradas en el proceso de transferencia de calor.
- Un grupo de botones, que se activan una vez que los resultados hayan sido presentados. Estos botones permiten acceder a una hoja electronica (ver tabla excel), guardar el archivo con extensión *.tsn (guardar), ver una ayuda en lenguaje HTML. (ayuda), y un botón para salir de esta ventana regresando a una de nivel superior (salir).

DISTRIBUCION DE TEMPERATURAS PARA CONDUCCION A TRAVES DE UNA PARED COMPUESTA.

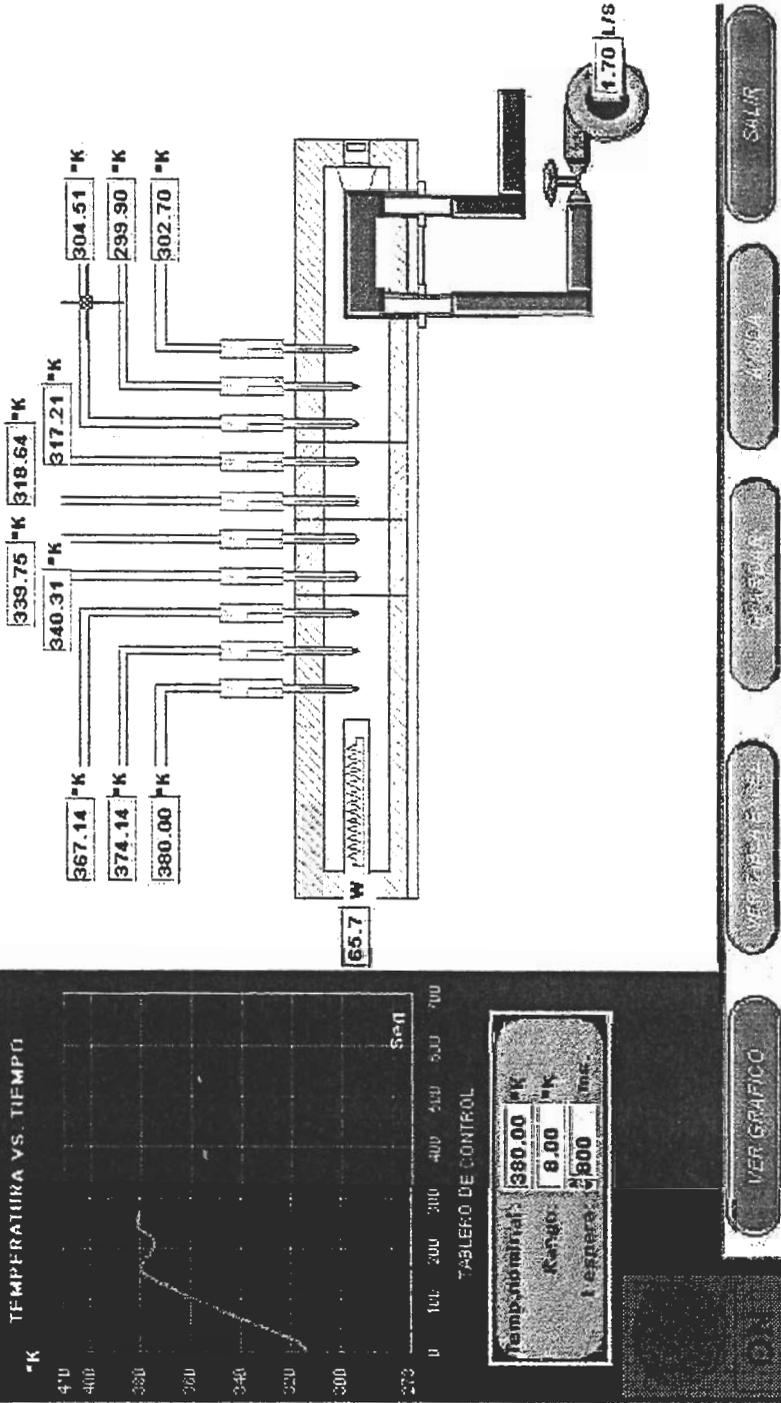


FIGURA 3-15 VENTANA DE RESULTADOS ESQUEMÁTICOS.

3.3.4 Ventana de resultados gráficos.

La ventana de resultados gráficos es muy similar a la ventana de resultados esquemáticos, la única diferencia radica en que en ésta aparece un gráfico que relaciona la variable que se esté procesando (coeficiente de conductividad térmica, coeficiente de convección, temperatura) con respecto a la variable fija (temperatura, posición).

En la FIGURA 3-16 se observa una ventana de resultados gráficos típica.

DISTRIBUCION DE TEMPERATURAS PARA CONDUCCION A TRAYES DE UNA PARED COMPUESTA.

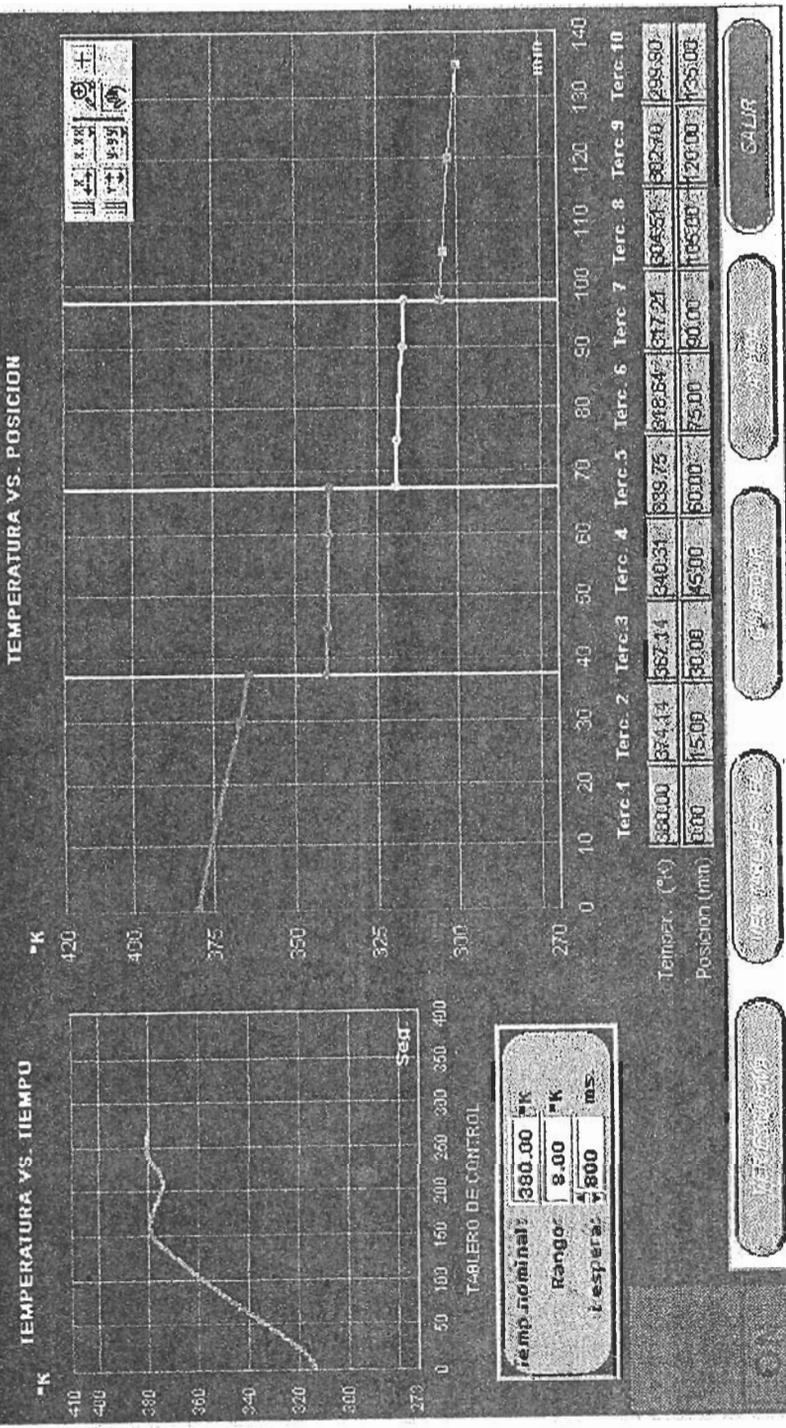


FIGURA 3-16 VENTANA DE RESULTADOS GRAFICOS

CAPITULO 4

4. DESARROLLO DE PRACTICAS PARA ESTUDIANTES.

En este capítulo se detallan cuatro guías de prácticas para ser realizadas en el banco de transferencia de calor, las cuales han sido elaboradas en base a valores promedio de temperaturas para hacer más comprensibles para el estudiante el desarrollo de la práctica y más preciso en la obtención de los datos. Cabe destacar que estos valores se los ha encontrado en base a la experimentación y análisis de errores para cada una de las prácticas; pudiéndose sin embargo, realizar experimentos con otros valores de temperatura con errores menores al 20%.

Los datos y resultados de cada una de las practicas descritas en los subcapitulos 4.1, 4.2, 4.3 y 4.4 se exponen en los apéndices referidos al final de cada subcapitulo.

4.1 Practica # 1 “Determinación del perfil de temperatura para conducción lineal de calor en estado estable a través de diferentes configuraciones”.

❖ *Objetivos.*

Determinar el perfil de temperatura para configuraciones de pared plana, pared compuesta y pared de sección transversal reducida.

❖ *Fundamentos teóricos.*

Uno de los objetivos principales en un análisis de conducción es determinar el campo de temperatura en un medio que resulta de las condiciones impuestas sobre sus fronteras. Es decir, deseamos conocer la distribución de temperatura, que representa como varía la temperatura con la posición en el medio.

Una vez que se conoce esta distribución, el flujo de calor por conducción en cualquier punto en el medio o en la superficie se calcula a partir de la Ley de Fourier.

La ecuación que representa la distribución de temperaturas considerando las siguientes suposiciones:

- Condición unidimensional de flujo de calor.
- Condición de estado estable.
- No hay generación de energía interna.
- Conductividad térmica constante.
- Medio homogéneo con propiedades constantes.

Viene dada por la ecuación de calor, tal como:

$$\frac{d}{dx} \left(k \frac{dT}{dx} \right) = 0 \quad \text{Ecuación 4-1}$$

La implicación más importante de este resultado es que el flujo de calor es una constante en la dirección de transferencia.

❖ **Configuraciones:**

- *Pared plana:* Para la conducción unidimensional en una pared plana, la temperatura es una función sólo de la coordenada x , y el calor se transfiere exclusivamente en esta dirección. En la FIGURA 4-1, una pared plana separa dos fluidos con temperaturas diferentes, lo que origina un gradiente de temperatura a través de su superficie provocando un flujo de calor en la dirección de temperatura decreciente.

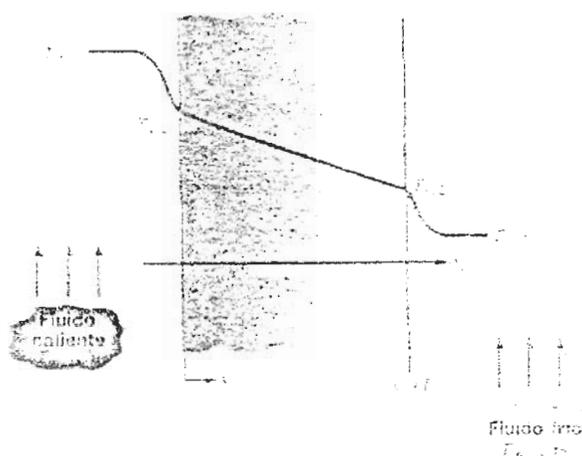


FIGURA 4-1 DISTRIBUCIÓN DE TEMPERATURA A TRAVÉS DE UNA PARED PLANA.

La distribución de temperatura en una pared plana se determina por la ecuación 4.1 con las condiciones de frontera apropiadas, y cuyo resultado viene dado por:

$$T(x) = (T_2 - T_1) \frac{x}{L} + T_1 \quad \text{Ecuación 4.2}$$

de este resultado es evidente que, para la conducción unidimensional en estado estable de una pared plana sin generación interna de calor y conductividad térmica constante, la temperatura varía de forma lineal con la distancia x .

- *Pared compuesta:* El caso de una pared compuesta se refiere a la unión de varias paredes planas que ofrecen la misma resistencia

térmica como si estuvieran separadas. En la FIGURA 4-2, se muestra la configuración de una pared compuesta.

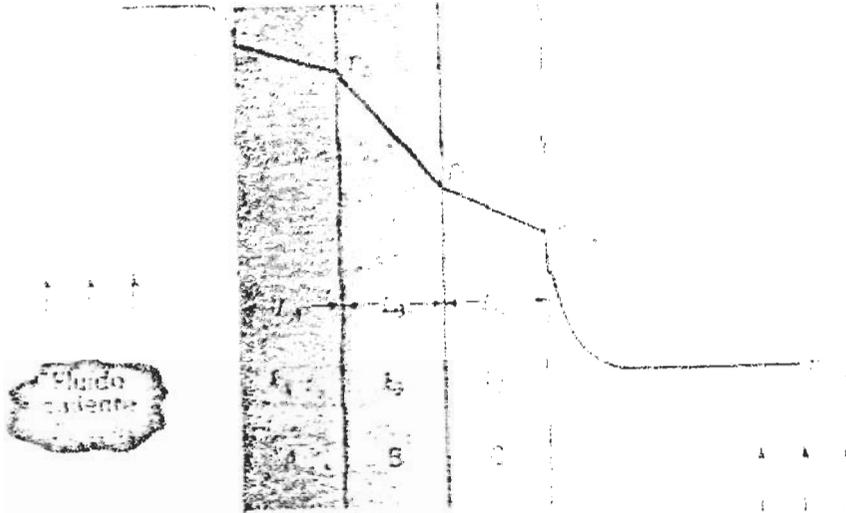


FIGURA 4-2 DISTRIBUCIÓN DE TEMPERATURA A TRAVÉS DE UNA PARED COMPUESTA.

Para resolver un problema de esta naturaleza, se hace referencia a una analogía entre la difusión de calor y la carga eléctrica. De esto, se sigue que la resistencia térmica para la conducción es:

$$R_{t\text{cond}} = \frac{T_1 - T_2}{q} = \frac{L}{kA} \quad \text{Ecuación 4-3}$$

Pared de sección transversal variable: El problema de sección transversal variable se refiere a un sistema más complejo de

las paredes compuestas, que se caracteriza por configuraciones en serie - paralelo, como la que se muestra en la FIGURA 4-3. Aunque el flujo de calor es ahora bidimensional, a menudo es razonable suponer condiciones unidimensionales. Sujetos a esta suposición, nos es posible usar un circuito térmico donde las superficies normales a la dirección x son isotérmicas.

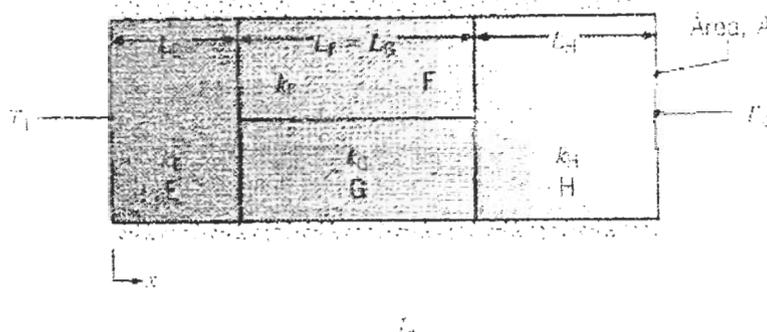


FIGURA 4-3 CIRCUITO TERMICO EQUIVALENTE PARA UNA PARED COMPUESTA SERIE – PARALELO.

❖ Experimentación.

- √ Verificar que todas las conexiones estén de acuerdo al plano de distribución del banco de transferencia de calor (plano 5).
- √ Adecuar el equipo de conducción lineal, de acuerdo al tipo de configuración que se vaya a experimentar (pared plana, pared compuesta ó sección reducida).

- √ Conectar los termopares numerados del 1 al 10 en orden ascendente de izquierda a derecha a las secciones instaladas en el equipo.
- √ Conectar los cables de compensación de los termopares instalados a la caja del Fieldpoint (entrada DV 25).
- √ Instalar el computador, conectando el cable de transmisión de datos (DV9) del Fieldpoint al puerto serial, y el cable de control de temperatura (DV25) al puerto paralelo.
- √ Encender la fuente de poder que regula el voltaje del equipo FieldPoint.
- √ Colocar el "ON" el interruptor que controla la regleta principal, para proveer de energía a todos los elementos que lo requieran en el banco de transferencia de calor.
- √ Abrir el archivo "Termocuplas" del Fieldpoint Explorer para actualizar el *iak del programa de transferencia de calor desarrollado, siguiendo la siguiente ruta:

C:/WINDOWS/Escritorio/Termocuplas.

Cargar el archivo, haciendo click sucesivamente en el diagrama de árbol de acuerdo al siguiente orden:

- IA Server OPC
 - FieldPoint
 - FP Res

Haga click derecho sobre FP TC 120 @1 y seleccione "**Edit this device**" para configurar este módulo desde un archivo previamente creado; luego aparecerá la ventana "**Device configuration**", en la cual debe seleccionar "**Channel configuration**" para configurar cada uno de los parámetros siguientes:

- Desactive la casilla "All" para configurar todos los canales al mismo tiempo.
- Rango, seleccione -270 a 1770 Celsius.
- Atributos, escoja termocuplas.
- Valor, escoja T.

Repetir los pasos anteriores para configurar el modulo 2 haciendo click derecho sobre FP TC 120 @2.

- √ Cerrar el archivo "**Termocuplas**" y abrir el archivo "**Banco de Transf. De Calor**" del programa Labview que se encuentra en el escritorio.
- √ Encienda la bomba que alimenta al elemento enfriador del equipo de conducción lineal siguiendo los siguientes pasos:

- ◆ Accione el interruptor de encendido.
 - ◆ Abra la llave de paso.
 - ◆ Gire la perilla reguladora de flujo hasta el número 3.
- √ Encienda la fuente de computadora que alimenta a la tarjeta de control de temperatura.

❖ **Procedimiento.**

Una vez abierto el archivo "**Banco de Transf. De Calor**" el programa inicia su operación, para lo cual se siguen los siguientes procedimientos:

1. Seleccione la practica # 1 que corresponde al desarrollo del perfil de temperaturas para los diferentes tipos de secciones que se pueden formar.
2. Al seleccionar la practica # 1, automáticamente se accede a la ventana de ingreso de datos.
3. Ingrese todos los parámetros que se observan en esta ventana (nombre, sección, temperatura nominal entre 320 y 413 °K ,y rango entre 2 y 10 °K).

4. Elija el botón “**ver resultados**” para acceder a la ventana de resultados donde se procesarán los datos ingresados.
5. Una vez accedido a la ventana de resultados haga click sobre el botón “**ON**” para encender el equipo de ensayo y observe que el diodo emisor de luz (led) se encienda en el equipo.
6. Haga click sobre el botón “**adquirir**” para graficar la variación de temperatura con respecto al tiempo en el gráfico de la izquierda que aparece en ésta ventana.
7. Una vez que la practica haya concluido se presentan las siguientes opciones:
 - Ver gráfico.
 - Ver tabla Excel.
 - Guardar.
 - Salir.

Elija cualquier opción haciendo click sobre el botón correspondiente para manipular los resultados obtenidos.

Cabe indicar que la opción “**salir**” retorna hacia la ventana de ingreso de datos, donde se puede acceder a otro tipo de configuración seleccionándola en el menú desplegable

correspondiente y adecuando el equipo de ensayo para dicha configuración.

Los resultados obtenidos al colocar las probetas numeradas desde el 1 al 5 se pueden observar en el apéndice G.

4.2 Practica # 2 “Determinación del coeficiente de conductividad térmica de diferentes materiales”.

❖ *Objetivos.*

Determinar el coeficiente de conductividad térmica de cuatro barras sólidas de diferentes materiales.

Obtener la ecuación que relaciona la conductividad térmica con la temperatura promedio de los materiales.

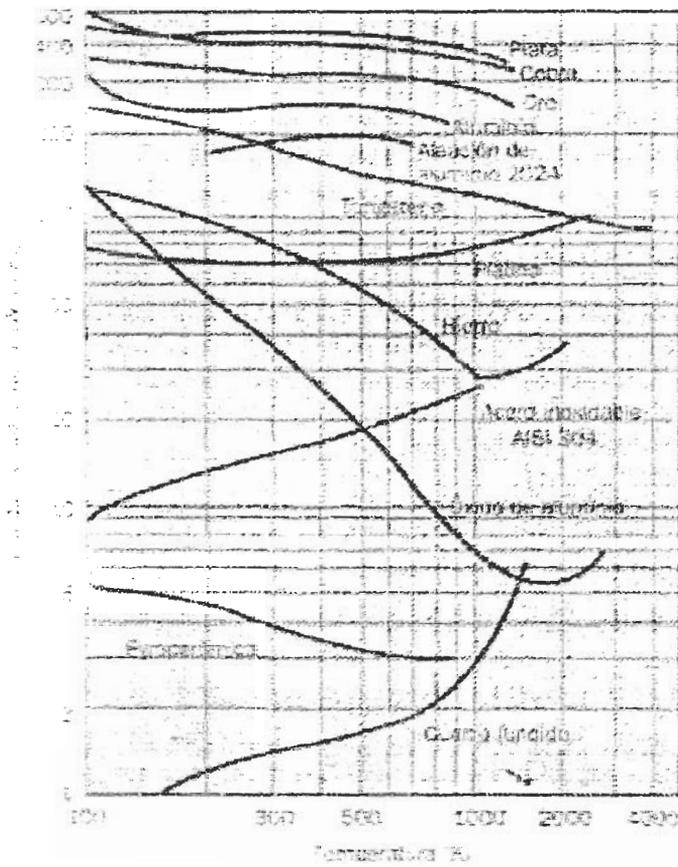
❖ *Fundamentos teóricos.*

De la Ley de Fourier, ecuación 1.1, la conductividad térmica se define como:

$$K = \frac{qL}{A\Delta T}$$

Ecuación 4.4

Debido al mecanismo físico asociado con la conducción, se tiene que, en general, la conductividad térmica de un sólido es mayor que la de un líquido, que a su vez es mayor que la de un gas, tal como se aprecia en la figura 10. Esta tendencia se debe en gran parte a las diferencias en el espacio intermolecular para los tres estados de la materia.



**FIGURA 4-4 DEPENDENCIA DE LA CONDUCTIVIDAD TERMICA
CON RESPECTO A LA TEMPERATURA DE SOLIDOS
SELECCIONADOS.**

Si examinamos la FIGURA 4-4, veremos que las conductividades térmicas cambian de acuerdo a la temperatura. En muchos casos, la diferencia es aproximadamente lineal. En consecuencia, con mucha frecuencia es posible describir la conductividad térmica mediante una ecuación de la forma

$$K = K_0 [1 + \beta(T - T_0)] \quad T = \frac{T_1 + T_2}{2} \quad \text{Ecuación 4.5}$$

donde:

K_0 : Valor de la conductividad térmica a la temperatura T_0 .

T_0 : Temperatura de referencia.

T : Temperatura a la cual se calcula la conductividad térmica.

β : constante de temperatura.

La variación de la conductividad térmica con la temperatura puede pasarse por alto si la escala (dominio) de temperatura bajo consideración no es grande; ó también si la dependencia de la conductividad térmica con la temperatura no es muy rigurosa.

❖ **Experimentación.**

La experimentación para realizar ésta practica es muy similar a la experimentación desarrollada en la practica # 1, sólo que ahora se

el equipo de ensayo instalando una de las probetas numeradas desde 1 hasta 4.

❖ ***Procedimiento.***

Los procedimientos para realizar ésta practica son los mismos que los explicados en la practica # 1.

Los resultados obtenidos al colocar las probetas numeradas desde el 1 al 4 se pueden observar en el apéndice H.

4.3 Practica # 3 “Determinación del perfil de temperatura para conducción radial de calor en estado estable”.

❖ ***Objetivos.***

Determinar el perfil de temperatura a través de la pared de un cilindro.

❖ ***Fundamentos teóricos.***

Los sistemas cilíndricos y esféricos a menudo experimentan gradientes de temperaturas sólo en la dirección radial y, por consiguiente, se tratan como unidimensionales.

En el caso de un cilindro hueco, cuyas superficies interna y externa se exponen a fluidos con diferentes temperaturas (FIGURA 4-5), bajo condiciones de estado estable, sin generación

de calor, la forma apropiada de la ecuación de calor, ecuación 4.1, es:

$$\frac{1}{r} \frac{d}{dr} \left(Kr \frac{dT}{dr} \right) = 0 \quad \text{ecuación 4.6}$$

resolviendo la ecuación 4.6 y aplicando condiciones de frontera apropiadas y asumiendo que el valor de la conductividad térmica es constante, obtenemos la relación que indica la distribución de temperaturas en el cilindro.

$$T(r) = \frac{T_1 - T_2}{\ln\left(\frac{r_1}{r_2}\right)} \ln\left(\frac{r}{r_2}\right) + T_2 \quad \text{ecuación 4.7}$$

tenga presente que la distribución de temperaturas asociada con la conducción radial a través de una pared cilíndrica es logarítmica, no lineal, como lo es para la pared plana bajo las mismas condiciones.

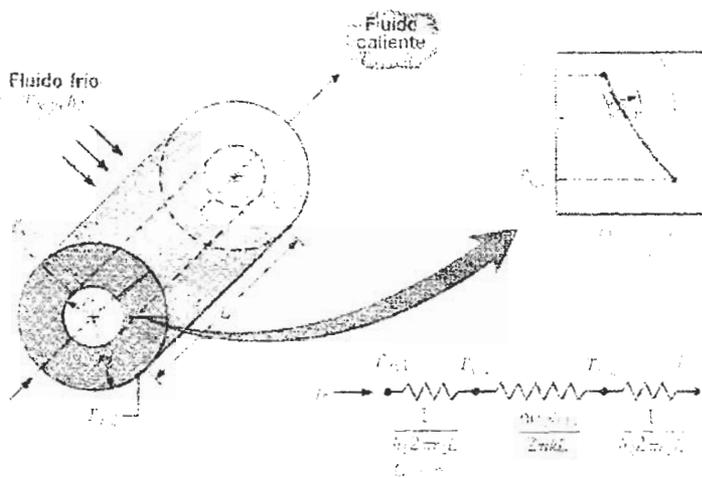


FIGURA 4-5 TRANSFERENCIA DE CALOR EN UN CILINDRO HUECO.

❖ **Experimentación.**

La experimentación aplicada a ésta practica está referida a la experimentación detallada en la practica # 1, considerando los siguientes puntos.

- √ Conectar los cables de compensación de las termocuplas instaladas en el equipo de conducción radial (numeradas del 11 al 16) a la caja del Fieldpoint.
- √ Conectar el cable de control de temperatura (DV15) para alimentar la tarjeta electrónica de este equipo.

❖ **Procedimiento.**

El procedimiento para realizar ésta practica una vez abierta la ventana de menú principal es similar al realizado en la practica # 1, seleccionando en este caso el botón correspondiente a la practica #3

Los resultados obtenidos en esta practica se pueden observar en el apéndice I.

4.4 Practica # 4 “Determinación del coeficiente de transferencia de calor por convección de una pared plana”.

❖ **Objetivos.**

Determinar el coeficiente de transferencia de calor por convección de una placa plana expuesta a convección libre y convección forzada.

❖ **Fundamentos teóricos.**

- *Convección libre*; en este tipo de convección, el movimiento del fluido se debe a las fuerzas de empuje dentro de éste. El empuje se debe a la presencia combinada de un gradiente de densidad del fluido y de una fuerza de cuerpo que es proporcional a la densidad. En la practica, la fuerza de cuerpo

normalmente es gravitacional, aunque puede ser una fuerza centrífuga en una maquinaria de fluido giratoria o una fuerza de Coriolis en movimientos atmosféricos y oceánicos rotacionales.

En esta practica, enfocamos nuestra atención en los flujos de convección libre limitados por una superficie, y un ejemplo clásico se relaciona con la producción de una capa límite sobre una placa vertical caliente. La placa esta inmersa en un fluido externo en reposo (aire) y con la temperatura de superficie mayor que la temperatura del ambiente que la rodea, el fluido cerca de la placa es menos denso que el fluido que se elimina después.

- *Convección forzada*; este tipo de convección ocurre cuando el fluido se agita mecánicamente por medio de un agente externo (bomba ó ventilador), aún cuando en muchas aplicaciones de procesos se induce una convección forzada circulando fluidos calientes y fríos a velocidades considerables en lados opuestos de un cuerpo.

❖ **Experimentación.**

- √ Verificar que todas las conexiones estén de acuerdo al plano de distribución del banco de transferencia de calor (plano 5).

- √ Adecuar el equipo de convección, instalando los termopares numerados del 17 a 20.
- √ Conectar los cables de compensación de los termopares instalados a la caja del FieldPoint (entrada DV 25).
- √ Instalar el computador, conectando el cable de transmisión de datos (DV9) del FieldPoint al puerto serial.
- √ Encender la fuente de poder que regula el voltaje del equipo FieldPoint.
- √ Colocar en "ON" el interruptor que controla la regleta principal, para proveer de energía a todos los elementos que lo requieran en el banco de transferencia de calor.
- √ Abrir el archivo "**Termocuplas**" del Fieldpoint Explorer para actualizar el *iak del programa de transferencia de calor desarrollado, siguiendo la siguiente ruta:

C:/WINDOWS/Escritorio/Termocuplas.

Cargar el archivo, haciendo click sucesivamente en el diagrama de árbol de acuerdo al siguiente orden:

- IA Server OPC
 - FieldPoint

- FP Res

Haga click derecho sobre FP TC 120 @1 y seleccione "**Edit this device**" para configurar este módulo desde un archivo previamente creado; luego aparecerá la ventana "**Device configuration**", en la cual debe seleccionar "**Channel configuration**" para configurar cada uno de los parámetros siguientes:

- Desactive la casilla "All" para configurar todos los canales al mismo tiempo.
- Rango, seleccione -270 a 1770 Celsius.
- Atributos, escoja termocuplas.
- Valor, escoja T.

Repetir los pasos anteriores para configurar el modulo 2 haciendo click derecho sobre FP TC 120 @2.

√ Cerrar el archivo "**Termocuplas**" y abrir el archivo "**Banco de Transf. de Calor**" del programa Labview que se encuentra en el escritorio.

❖ **Procedimiento.**

Una vez abierto el archivo "**Banco de Transf. de Calor**" el programa inicia su operación, y se siguen los siguientes pasos:

1. Seleccione la practica # 4 que corresponde al desarrollo del ensayo de convección.
2. Al seleccionar la practica # 4, automaticamente se accede a la ventana de ingreso de datos.
3. Ingrese todos los parámetros que se observan en esta ventana (nombre, tipo de convección).
4. Elija el botón “**ver resultados**” para acceder a la ventana de resultados donde se procesarán los datos ingresados.
5. Haga click sobre el botón “**adquirir**” para graficar la variación de temperatura con respecto al tiempo en el gráfico de la izquierda que aparece en esta ventana.
6. Siga los pasos indicados en los cuadros de dialogo que irán apareciendo durante el desarrollo de esta practica.
7. Una vez que la practica haya concluido se presentan las siguientes opciones:
 - Ver gráfico.
 - Ver tabla Excel.
 - Guardar.
 - Salir.

Elija cualquier opción haciendo click sobre el botón correspondiente para manipular los resultados obtenidos.

Cabe indicar que la opción "salir" retorna hacia la ventana de ingreso de datos, donde se puede acceder al otro tipo de convección, seleccionándola en el menú desplegable correspondiente y adecuando el equipo de ensayo para dicha configuración.

Los resultados obtenidos al desarrollar la practica se pueden observar en el apéndice J.

CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES.

Las conclusiones que se derivan una vez finalizado este proyecto son las siguientes:

1. En esta tesis se ha demostrado las aplicaciones de las leyes que rigen los procesos de transferencia de calor, las cuales como ingenieros es importante que entendamos y seamos capaces de usar los modelos adecuados para aplicarlos al desarrollo de nuestra carrera.
2. También se ha observado la importancia que tiene el computador en una aplicación de adquisición de datos, ya que la velocidad con que el computador ejecuta una acción, es mucho más rápida que cualquier dispositivo mecánico.

3. Así mismo, debemos aceptar que el desarrollo de la electrónica y la computación han evolucionado de una manera muy acelerada, de manera que podemos aplicar ésta tecnología a la neumática, fluidrica ó hidráulica, en procesos de automatización (adquisición y control) para poder responder adecuadamente a los requerimientos de la industria que constantemente está buscando el mejoramiento de su eficiencia y productividad para poder competir en nuevos mercados.

4. Aunque las probetas diseñadas en los equipos de conducción lineal y radial están aisladas para evitar la pérdida de calor, ésta no puede ser controlada totalmente, ya que existen factores que provocan perdidas de calor, entre estos tenemos:

- ◆ Perdidas por los tubos de protección de los termopares.
- ◆ Perdidas por la superficie del aislante térmico.
- ◆ Perdidas por superficies de contacto.

5. Los errores en los resultados obtenidos, se deben a los' siguiente factores:

- ◆ Para determinar la temperatura de un cuerpo sólido, es necesario remover material del cuerpo para proveer el espacio para la inserción del elemento sensitivo (termopar), lo cual altera la distribución de

temperatura dando como resultado pequeños errores en la medición de la temperatura.

- ◆ El tubo metálico que protege el termopar y que es insertado en el sólido, está sujeto a una diferencia de temperatura dado por la parte de él que está en contacto con el proceso, y la otra parte que está en contacto con el ambiente. Esto implica que la temperatura de equilibrio que mide el sensor es diferente a la temperatura del sólido.

6. Todas las conexiones de los termopares instalados en los equipos de transferencia de calor son independientes de algún requerimiento del programa desarrollado para las prácticas en Labview, de tal manera que las señales que llegan al sistema modular pueden ser llevadas sin ningún problema hacia otro programa compatible con el equipo modular Field Point y su programa Field Point Explorer.

7. Se ha cumplido con el objetivo primordial que se planteó al iniciar el presente trabajo, es decir, el sistema funciona eficazmente para el cual fue diseñado. Teniendo el mismo una alta confiabilidad, así como rapidez de procesamiento y un software amigable con el operador.

Las recomendaciones necesarias para mejorar o aplicar este trabajo son las siguientes:

1. Es necesario calibrar el módulo FP TC 120 del equipo FieldPoint, al menos una vez por año, tal como lo indica National Instrument, que es la empresa proveedora del equipo. Para realizar la calibración se necesita construir un banco de FieldPoint con los siguientes elementos:

- ◆ Un módulo de red (módulo FP 1000).
- ◆ Una base terminal de calibración.
- ◆ Una fuente de poder de 11 – 24 VDC.
- ◆ El módulo que se va a calibrar (módulo FP TC 120).

Cabe destacar que de los elementos mencionados para la calibración del módulo FP TC 120, no se dispone de la base terminal de calibración, por lo que en caso de requerir realizar la calibración del módulo es necesario adquirir la base mencionada.

2. Antes de realizar las practicas correspondientes al equipo de conducción lineal, es recomendable lijar levemente las probetas con el fin de eliminar óxidos; y además, colocar una pasta térmica para reducir las perdidas de calor.

3. Al conectar los cables de compensación de los termopares, advierta que estos tienen polaridad positiva (+) y negativa (-), las cuales deben conectarse correctamente para evitar errores en la lectura.

4. En el caso particular de los termopares construidos para los equipos de transferencia de calor se necesita de cables de compensación que lleguen hasta la caja del FieldPoint. Estos cables deben ser del mismo tipo de termopar que se está usando y además deben conectarse con la polaridad correcta, es decir positivo con positivo y negativo con negativo. Siempre se debe consultar al proveedor o fabricante del cable de compensación por los colores que identifican los cables positivo y negativo, ya que las normas de estos colores varían con el tipo de termopar y país de procedencia.

5. La resistencia que opera en el equipo de conducción radial, no está siendo utilizada eficazmente, ya que la única parte que hace contacto con la placa corresponde a un 10% del total de su longitud, esto provoca que el rango de operación del equipo sea mínimo, por tal motivo se recomienda que se reemplace ésta resistencia con una resistencia tipo plana.

6. Revise los procedimientos de instalación y operación descritos en el manual de estos equipos, antes de realizar una práctica de laboratorio.

7. Se recomienda instalar un regulador de voltaje (UPC) en el equipo FieldPoint, para evitar que las caídas de voltaje o apagones puedan averiar los circuitos electrónicos que conforman los módulos del FieldPont.

8. Por ultimo, se recomienda destinar una computadora para ser usada en los equipos de transferencia de calor para que así se puedan realizar ensayos mas rápidamente sin tener que mover las computadoras de un laboratorio a otro.

APENDICES

APENDICE A

Principios básicos del termopar.

La técnica del termopar es el método más seguro de medir temperaturas internas en cuerpos sólidos. El principio de medición de temperatura utilizando termopares se basa en tres principios físicos, que son:

El Efecto Seebeck (1821): al unir dos cables de materiales diferentes formando un circuito, se presenta una corriente eléctrica cuando las juntas se encuentran a diferente temperatura.

El Efecto Peltier: consiste en que cuando una corriente eléctrica fluye a través de una junta de dos metales diferentes, se libera o absorbe calor. Cuando la corriente eléctrica fluye en la misma dirección que la corriente Seebeck, el calor es absorbido en la junta caliente y liberado en la junta fría.

EL Efecto Thomson: un gradiente de temperatura en un conductor metálico está acompañado por un gradiente de voltaje, cuya magnitud y dirección depende del metal que se esté utilizando.

Así mismo, los termopares se rigen por las leyes siguientes:

Ley del Circuito Homogéneo.- Esta ley resalta el hecho que si el termopar es formado por termoelementos homogéneos, el valor de la fuerza electromotriz generada depende solamente de la diferencia de temperatura entre la junta de

medición y la junta de referencia. Esta información es presentada para resaltar que:

- El valor de la fuerza electromotriz no depende del largo del termopar;
- El valor de la fuerza electromotriz no depende del diámetro de los termoelementos que componen el termopar;
- El valor de la fuerza electromotriz no depende de la distribución de temperatura a lo largo del termopar.

Sin embargo, como consecuencia del uso del termopar en la medición de la temperatura de un proceso, es muy frecuente que con el tiempo el termopar presente heterogeneidad que traerán como consecuencia:

- Alteración el valor de la fuerza electromotriz (suponiendo que la temperatura del proceso se mantenga constante), que empezará a depender inclusive del perfil de la temperatura a lo largo del termopar;
- Un termopar con termoelementos de diámetros menores se vuelve heterogéneo más rápidamente y de forma tanto más intensa a temperaturas muy altas.

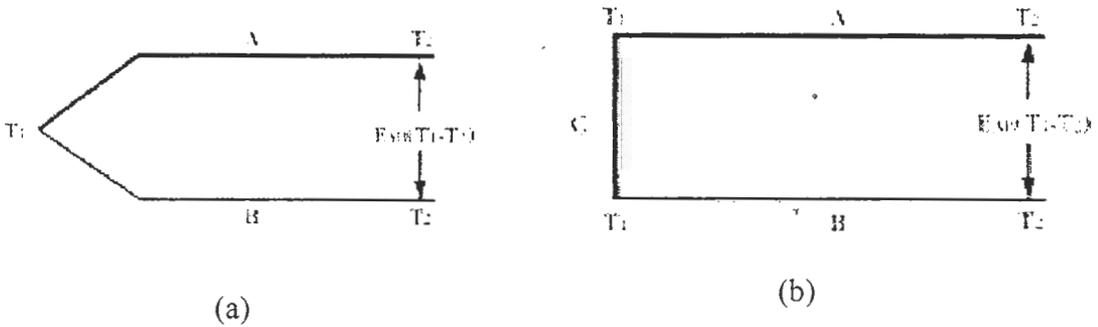
Ley de las Temperaturas Intermedias. - Esta ley muestra una propiedad adicional de la fuerza electromotriz termoeléctrica en relación con la diferencia de temperatura entre sus extremidades. Una aplicación inmediata de esta ley es

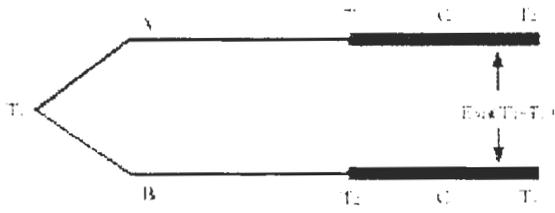
permitir que el valor de la fuerza electromotriz termoeléctrica dependa únicamente de la temperatura de la junta de medición con la junta de referencia a 0°C.

Normalmente la junta de referencia se encuentra a la temperatura ambiente y querer mantenerla a 0°C no es nada práctico, por ejemplo, en un baño de hielo el termopar en una planta industrial. Sin embargo, es posible sortear esa dificultad utilizando una compensación de la temperatura ambiente mediante la adición a la señal del termopar de una fuerza electromotriz con valor correspondiente a aquél que el termopar generaría con su junta de medición a temperatura ambiente y su junta de referencia a 0°C

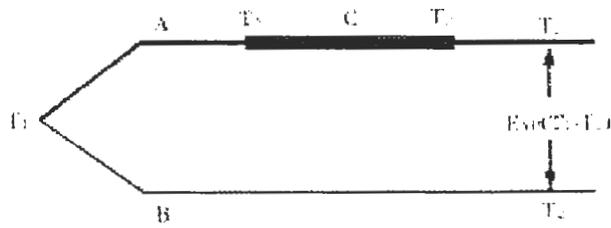
Ley de los Materiales Intermedios.- Esta tercera ley será presentada poniendo en evidencia dos situaciones muy importantes.

Situación 1:





(c)

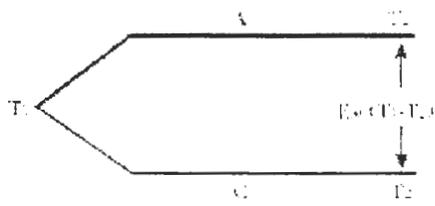


(d)

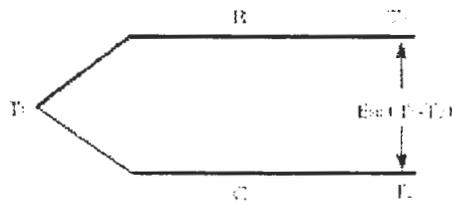
FIGURA A.1 LEY DE LOS MATERIALES INTERMEDIOS (CASO 1).

Las configuraciones anteriores muestran que la inserción de un material "C" en el termopar "AB" no altera el valor de la fuerza electromotriz generada por el termopar, mientras no haya diferencia de temperatura entre las extremidades de contacto del material "C" con el termopar.

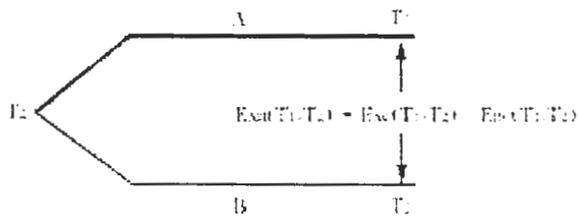
Situación 2:



(a)



(b)



(c)

FIGURA A.2 LEY DE LOS MATERIALES INTERMEDIOS (CASO 2).

Las figuras de arriba presentan una relación entre las fuerzas electromotrices generadas por los termopares "AC", "BC" y "AB". Una aplicación de gran importancia de este fenómeno es la posibilidad de conocer el comportamiento termoeléctrico de cualquier termoelemento en relación con un termoelemento de referencia. Y esto se efectúa durante el control de producción de aleaciones

termoeléctricas que constituirán los diversos tipos de termopares utilizados. El termoelemento adoptado como referencia, es el de platino con alto contenido de pureza (mínimo de 99,999%).

Existen variadas combinaciones de alambres que se pueden unir para formar un termopar, sin embargo ciertas combinaciones son mejores que otras y algunas han sido estandarizadas para ciertos rangos de temperatura. En la TABLA A.1 se presentan los tipos de termopares más utilizadas en la actualidad.

TABLA A.1

CARACTERISTICAS DE DISTINTOS TIPOS DE TERMOCUPLAS.

<i>Termocupla</i>	<i>Cable Aleación (positivo)</i>	<i>Cable Aleación (negativo)</i>	<i>Rango Temperatura (Min, Max) [°C]</i>	<i>Tensión Max [mV]</i>
J	Hierro	cobre/nickel	(0, 750)	42.2
K	Nickel/cromo	Nickel/aluminio	(-180, 1372)	54.8
T	Cobre	cobre/nickel	(-250, 400)	20.8
R	87% Platino 13% Rhodio	100% Platino	(0, 1767)	21.09
S	90% Platino 10% Rhodio	100% Platino	(0, 767)	18.65
B	70% Platino 30% Rhodio	94% Platino 6% Rhodio	(0, 1820)	13.814

El principal inconveniente de los termopares es su necesidad de **compensación de cero**, esto se debe a que en algún punto, habrá que empalmar los cables del

termopar con un conductor normal de cobre. En ese punto se producirán dos nuevos termopares con el cobre como metal para ambas, generando cada unión una tensión proporcional a la temperatura de ambiente (T_a) en el punto del empalme.

Antiguamente se solucionaba este problema colocando los empalmes en un baño de hielo a cero grados para que generen cero Volts ($T_a=0$ y luego $V(T_u)=0$). Actualmente todos los Instrumentos modernos miden la temperatura en ese punto (mediante un sensor de temperatura adicional) y la suman para crear la compensación y obtener así la temperatura real.

El punto de empalme (llamado **unión ó juntura de referencia**) es siempre en el conector a la entrada del instrumento pues ahí está el sensor de temperatura. De modo que es necesario llegar con el cable del termopar hasta el mismo instrumento.

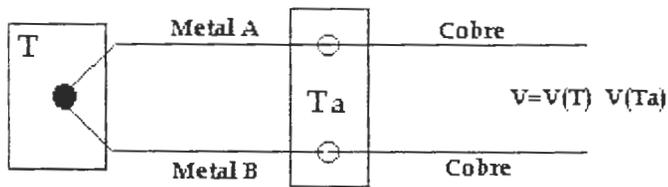


FIGURA A.3 DAIGRAMA DE CONEXIÓN PARA UNA ERMOCUPLA.

El termopar hecho de metal A y metal B está sometida a una temperatura T . En los extremos del termopar se coloca un voltímetro con puntas de prueba de

cobre a temperatura ambiente T_a . Recorriendo el circuito se encuentra la tensión V que marca el voltímetro;

$$V = V_{cu - a(T_a)} + V_{a - b(T)} + V_{b - cu(T_a)}$$

$$V = [V_{b - cu(T_a)} + V_{cu - a(T_a)}] + V_{a - b(T)}$$

$$V = V_{b - a(T_a)} + V_{a - b(T)}$$

$$V = V_{a - b(T)} - V_{a - b(T_a)}$$

La tensión que interesa saber para conocer la temperatura T es: $V_{a - b(T)}$, y este se consigue despejándolo:

$$V_{a - b(T)} = V + V_{a - b(T_a)}$$

Luego conociendo T_a se busca en la tabla del termopar el valor de $V_{a - b(T_a)}$ y se suma a V medido en el voltímetro con lo que se obtiene $V_{a - b(T)}$. Ahora con este valor se busca en la tabla el valor de T .

Los instrumentos para termopares miden T_a en su conector y suman esta cantidad $V_{a - b(T_a)}$ automáticamente para hacer la compensación de cero.

Quando el instrumento está muy retirado del lugar de medición, no siempre es posible llegar con el mismo cable del termopar al instrumento. Esto ocurre especialmente cuando se están usando termopares R, S ó B hechas con aleación de platino de muy alto precio.

La solución de este problema es usar los llamados "**cables compensados**" para hacer la extensión del cable. Estos exhiben el mismo coeficiente de Seebeck del termopar (pero hechos de otro material de menor precio) y por lo tanto no generan termopares parásitos en el empalme.

Los cables compensados tienen una polaridad de conexión (+) y (-) que al conectarse con el termopar se debe respetar. Un error típico, es conectar al revés el cable en el termopar y en el instrumento, de esta forma se genera un error en la lectura del orden de la temperatura del ambiente en el empalme.

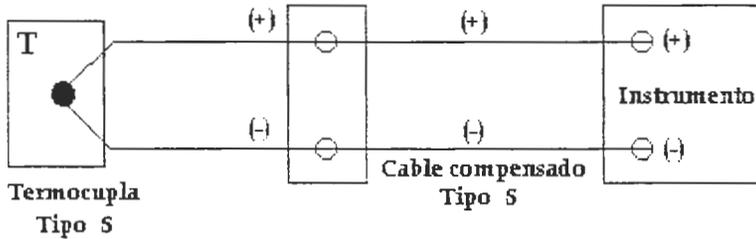


FIGURA A.4 CONEXIONADO DE UN TERMOPAR A UN INSTRUMENTO LEJANO.

APENDICE B

Tablas para la selección del termopar.

TABLA B.1

TERMOPARES COMERCIALES

<i>TIPO</i>	<i>COMPOSICION</i>	<i>CARACTERISTICAS</i>
T <i>(Cobre - Constantan)</i>	<p>Termoelemento positivo (TP): Cu 100%</p> <p>Termoelemento negativo (TN): Cu55% Ni45%</p> <p>Rango de utilización: -270°C a 400°C</p> <p>f.e.m. producida: -6,258 mV a 20,872 Mv</p>	<p>Puede utilizarse en atmósferas inertes, oxidables o reductoras. Gracias a la gran homogeneidad con que el cobre puede ser procesado, se obtiene una buena precisión. En temperaturas superiores a 300°C, la oxidación del cobre se torna muy intensa, lo que reduce su vida útil y ocasiona desvíos en la curva de respuesta original.</p>
J <i>(Hierro - Constantan)</i>	<p>Termoelemento positivo (JP): Fe99,5%</p> <p>Termoelemento negativo (JN): Cu55% Ni45%</p> <p>Rango de utilización: -210°C a 760°C</p> <p>f.e.m. producida: -8,096 mV a 42,919 Mv</p>	<p>Puede utilizarse en atmósferas neutras, oxidables o reductoras. No se recomienda en atmósferas muy húmedas y a bajas temperaturas (el termoelemento JP se vuelve quebradizo). Encima de 540°C el hierro se oxida rápidamente. No se recomienda en atmósferas sulfurosas por encima de 500°C.</p>
E <i>(Cromo - Constantan)</i>	<p>Termoelemento positivo (EP): Ni90% Cr10%</p> <p>Termoelemento negativo (EN): Cu55% Ni45%</p>	<p>Puede utilizarse en atmósferas oxidables, inertes o al vacío, no debe utilizarse en atmósferas alternadamente oxidables y reductoras. Dentro de los termopares a menudo utilizados, es el que posee mayor</p>

	<p>Rango de utilización: -270°C a 1000°C</p> <p>f.e.m. producida: -9,835 mV a 76,373 mV</p>	<p>potencia termoeléctrica, bastante conveniente cuando se desea detectar pequeñas variaciones de temperatura.</p>
<p>K <i>(Cromo - Constantan)</i></p>	<p>Termoelemento positivo (KP): Ni90% Cr10%</p> <p>Termoelemento negativo (KN): Ni95% Mn2% Si1% A12%</p> <p>Rango de utilización: -270°C a 1200°C</p> <p>f.e.m. producida: -6,458 mV a 48,838 mV</p>	<p>Puede utilizarse en atmósferas inertes y oxidables. Por su alta resistencia a la oxidación se utiliza en temperaturas superiores a 600°C y en algunas ocasiones en temperaturas abajo de 0°C. No debe utilizarse en atmósferas reductoras y sulfurosas. En temperaturas muy altas y atmósferas pobres en oxígeno ocurre una difusión del cromo, lo que ocasiona grandes desvíos de la curva de respuesta del termopar. Este último efecto se llama "green - root".</p>
<p>N <i>(Nicrosil - Nisil)</i></p>	<p>Termoelemento positivo (NP): Ni84,4% Cr14,2% Si1,4%</p> <p>Termoelemento negativo (NN): Ni95,45% Si4,40% Mg0,15%</p> <p>Rango de utilización: -270°C a 1300°C</p> <p>f.e.m. producida: -4,345 mV a 47.513 mV</p>	<p>Este nuevo tipo de termopar es un sustituto del termopar tipo K que posee una resistencia a la oxidación superior a éste. En muchos casos también es un sustituto de los termopares a base de platino a raíz de su temperatura máxima de utilización. Se recomienda para atmósferas oxidables, inertes o pobres en oxígeno, ya que no sufre el efecto "green - root". No debe exponerse a atmósferas sulfurosas. El gráfico de abajo muestra el desvío de temperaturas que sufre el termopar tipo N en comparación al tipo K en una atmósfera oxidable a temperatura de 1000°C.</p>

S	<p>Termoelemento positivo (SP): Pt90% Rh10%</p> <p>Termoelemento negativo (SN): Pt100%</p> <p>Rango de utilización: -50°C a 1768°C</p> <p>f.e.m. producida: -0,236 mV a 18,693 mV</p>	<p>Puede utilizarse en atmósferas inertes y oxidables, presenta estabilidad a lo largo del tiempo en temperaturas elevadas, superiores a las de los termopares no constituidos de platino. Sus termoelementos no deben exponerse a atmósferas reductoras o con vapores metálicos. Nunca deben insertarse directamente en tubos de protección metálicos y sí en tubos con protección de cerámica. Fabricado con alúmina (Al₂O₃) de alto contenido de pureza (99,7%) comercialmente denominado tipo 799 (antiguo 710). En el mercado existen a disposición tubos de cerámica que contienen alúmina de 67% denominados tipo 610, pero no se recomienda su uso en termopares de platino. Para temperaturas superiores a 1500°C se utilizan tubos de protección de platino. No se recomienda el uso de los termopares de platino en temperaturas abajo de 0°C debido a la inestabilidad en la respuesta del sensor. En temperaturas arriba de 1400°C ocurre crecimiento de granulaciones que los dejan quebradizos.</p>
R	<p>Termoelemento positivo (RP): Pt87% Rh13%</p> <p>Termoelemento negativo (RN): Pt100%</p> <p>Rango de utilización: -50°C a 1768°C</p> <p>f.e.m. producida: -0,226 mV a 21,101 mV</p>	<p>Posee las mismas características del termopar tipo "S", aunque en algunos casos es preferible el tipo "R" por tener una potencia termoeléctrica de un 11% mayor.</p>
B	<p>Termoelemento positivo (BP): Pt70,4% Rh29,6%</p> <p>Termoelemento negativo (BN): Pt93,9% Rh6,1%</p> <p>Rango de utilización: 0°C a 1820°C</p> <p>f.e.m. producida: 0,000 mV a 13820 mV</p>	<p>Puede ser utilizado en atmósferas oxidables, inertes y por un corto espacio de tiempo en el vacío. Normalmente se utiliza en temperaturas superiores a 1400°C, por presentar menor difusión de rodios que los tipos S y R. A temperaturas abajo de los 50°C la fuerza electromotriz termoeléctrica generada es muy pequeña.</p>

TABLA B.2

MATERIALES UTILIZADOS EN LA FABRICACION DE LOS TUBOS DE PROTECCION.

Material	Temperatura Máxima (°C)
Acero Carbono	550
Acero cromo 446	1093
Carburo de Silicio	1500
Carburo de Silicio Recristalizado	1650
Cerámica 610 (Pytágoras)	1500
Cerámica 799 (Alsint)	1600
Cobre	315
Hierro Negro	800
Hastelloy B	760
Hastelloy C	993
Inconel 600	1149
Inox 304	899
Inox 310	1147
Inox 316	927
Monel	893
Nicrobell	1250
Niobio: Líquido Aire y Al Vacío	1000 2000
Nodular Perlado	900
Platina	1699
Tantalio (al Vacío)	2200
Titanio: Atmósfera Oxidable	250 1000
Atmósfera Reductora	

TABLA B.3

LIMITES DE ERROR PARA TERMOPARES : UNION DE REFERENCIA 0°C

TIPO DE TERMOCUPLA	RANGO DE TEMPERATURA °C	RANGO DE TEMPERATURA °F	LIMITES DE ERROR ¹	
			ESTANDAR	ESPECIAL
Cobre – Constantan TIPO T	0 a 350	32 a 662	±1.0°C ó ±0.75 %	±0.5°C ó ±0.40 %
Hierro – Constantan TIPO J	0 a 750	32 a 1328	±2.2°C ó ±0.75 %	±1.1°C ó ±0.40 %
Chromel ² – Constantan TIPO E	0 a 900	32 a 1652	±1.7°C ó ±0.50 %	±1.0°C ó ±0.40 %
Chromel – Alumel ³ TIPO K	0 a 1250	32 a 2282	±2.2°C ó ±0.75 %	±1.1°C ó ±0.40 %

¹ El limite de error de las Termocuplas y cables de extensión están basados sobre una unión de referencia de 32 °F (0°C). No incluye error por uso o instalación.

² Chromel es una aleación Niquel – Cromo.

³ Alumel es una aleación Niquel – Aluminio.

Tabla tomada del *Manual del operador* para el ensamble de termocuplas Kit N965. OMEGA.

TABLA B.4

TERMOPARES RECOMENDADOS.

CALIBRACION Y USO	POSITIVO (+)	NEGATIVO (-)	SIMBOLO	CODIGO DE COLOR
Cobre – Constantan (Muy baja temperatura)	Cobre (Metal amarillo)	Constantan (Metal plateado)	T	Azul
Hierro – Constantan (Atmosfera reducida)	Hierro (Magnetico)	Constantan (No magnetico)	J	Negro
Chromel – Alumel (Atmosfera oxidante)	Chromel (No magnetico)	Alumel (Magnetico)	K	Amarillo
Chromel – Constantan (Alta salida)	Chromel (No magnetico)	Constantan (No magnetico)	E	Café

Tabla tomada del *Manual del operador* para el ensamble de termocuplas Kit N965. OMEGA.

TABLA B.5

TEMPERATURAS DE SERVICIO MAXIMA RECOMENDADA PARA EXPOSICIONES DE LARGO TIEMPO.

COMBINACION DE ALEACION	0.005 plg.	0.015 plg.	0.032 plg.
Cobre – Constantan (Muy baja temperatura)	400 °F	450 °F	700 °F
Hierro – Constantan (Atmosfera reducida)	600 °F	800 °F	1400 °F
Chromel – Alumel (Atmosfera oxidante)	1100 °F	1300 °F	2300 °F
Chromel – Constantan (Alta salida)	1300 °F	1450 °F	1600 °F

Tabla tomada del *Manual del operador* para el ensamble de termocupias Kit N965. OMEGA.

¹ No expuesta a atmosfera oxidante.

TABLA B.6

RESPUESTA DE LA TERMOCUPLA COMO UNA FUNCION DEL MEDIO DE SUMERSION.

(TIPO J, HIERRO – CONSTANTAN, JUNTA TIPO DESNUDA)

DIAMETRO DEL ALAMBRE (plg.)	AIRE TRANQUILO 800 °f/100 °f	AIRE a 60 ft/seg 800 °f/100 °f	AIRE TRANQUILO 800 °f/100 °f
0.005	1.0 seg.	0.08 seg	0.04 seg.
0.015	10.0 seg.	0.80 seg.	0.40 seg.
0.032	90.0 seg	3.20 seg.	1.60 seg.

Tabla tomada del *Manual del operador* para el ensamble de termocupias Kit N965. OMEGA.



FIGURA B.1

TIPOS DE JUNTA DE MEDICION.

Las principales características de cada uno de los ensamblajes son:

- 1- **Termocupla con junta aislada:** los termoelementos quedan aislados del medio, cuya temperatura será monitoreada. La vaina funciona como un blindaje contra las interferencias electromagnéticas. Su tiempo de respuesta es mayor que el de otros tipos de montaje y la durabilidad y repetitividad son las mejores, pues los termoelementos quedan totalmente protegidos.
- 2- **Termocupla con junta a tierra:** los termoelementos quedan aislados del medio, la vaina no funciona como blindaje y el tiempo de respuesta es mucho menor que el del montaje aislado.
- 3- **Termocupla con junta expuesta:** los termoelementos quedan expuestas al medio y la vaina no funciona como blindaje electrostático. Este tipo de montaje tiene limitaciones en cuanto a la temperatura máxima de operación para mantener las especificaciones del aislamiento. La durabilidad y la repetitividad de los termoelementos son intensamente afectadas a raíz del medio.

APENDICE C

TABLAS DE PROPIEDADES DE LOS MATERIALES.

TABLA C.1. CONDUCTIVIDAD TERMICA DE ALGUNOS MATERIALES.

ALEACION	K (W/m ^o K)			
	200°K	300°K	400°K	500°K
Acero inoxidable				
AISI 304	12.6	14.9	16.6	19.8
AISI 316		13.4	15.2	18.3
Aluminio puro	237	237	240	231
Cobre puro	413	404	393	379
Bronce fosforoso (89%Cu, 11%Sn)	41	54	65	74
Latón (70%Cu, 30%Sn)	95	110	137	149

Tomada de referencia 8.

TABLA C.2. COEFICIENTE DE CONVECCION PARA ALGUNOS CASOS.

PROCESO	h (W/m ^{2o} K)
<i>Convección libre</i>	
Gases	2 – 25
Líquidos	50 – 1000
<i>Convección forzada</i>	
Gases	25 – 50
Líquidos	50 – 20000
<i>Convección con cambio de fase</i>	
Ebullición o condensación	2500 - 100000

Tomada de referencia 8.

APENDICE D

Materiales aislantes

LAMIGAMID estilo 310

Es una poliamida fundida, tenaz, resistente a la abrasión y el desgaste, altamente resistente al calor con una muy alta dureza superficial y buena resistencia a muchos agentes químicos.

Posee buenas propiedades de deslizamiento y alta resistencia al desgaste.

Tiene una baja higroscopicidad relativamente baja, a 20°C y humedad del 65 % esta lamigamida absorbe un máximo de 22% de su peso en agua.

Ventajas:

- Fácilmente maquinable, puede ser trabajado con toda clase de máquinas herramientas (torno, fresadora, taladro, etc)
- Es estable frente a microorganismos y no tiene efecto biológico pernicioso alguno.
- Usado en mecanismos tiene un bajo nivel de ruido.
- Resistente a sustancias hidrocarbonadas (bencina), grasas, cetonas, alcoholes, ácidos minerales. Siendo atacado por ácido fórmico y acético, fenol, glicol, alcohol benzílico, especialmente a altas temperaturas.
- Puede ser pegado fácilmente con ácido fórmico concentrado.

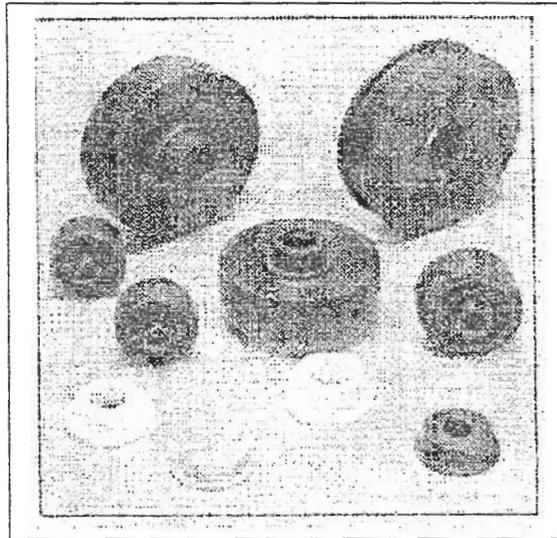
Usos:

Es usado en muchos tipos de industrias:

Construcción, textil, papel, construcción agrícola, vehicular, etc.,

Ya que pueden construirse:

- Engranajes.
- Poleas
- Guías de deslizamiento.
- Bocines.
- Ruedas.



Características técnicas:

- Densidad: 1.15 gr./cm³
- Resistencia a la tensión: 80 N/mm²
- Dureza: 140 N/mm²
- Punto de rotura: 100 N/mm²
- Coeficiente de fricción: 0.09
- Temperatura de trabajo:
-40 a 120 °C en uso prolongado.

Hasta 180 °C en periodos cortos de uso.

- Resistencia especifica: 10^{15} ohm. cm.
- Resistencia a la penetración: 20 Kv/mm.
- Constante dieléctrica: 3.7

Presentación:

BARRAS MACIZAS (1 m, largo)	
<i>Diámetro (plg)</i>	<i>Peso aprox. (Kg/barra)</i>
3	6.2
4	10
4 ¼	11.4
5	16
6 ¼	24.4
6 ¾	28.2
8	39.6
8 ¾	42.2
11 ¾	88

PLANCHAS (2X1 m)	
<i>Diámetro (plg)</i>	<i>Peso aprox. (Kg/plancha)</i>
½	35
5/8	41
7/8	51

LAMIGAMID estilo 319

Es una poliamida fundida, tenaz, resistente a la abrasión y el desgaste, altamente resistente al calor con muy alta dureza superficial y buena resistencia a muchos agentes químicos, a diferencia del estilo 310 esta es prelubricada.

Posee buenas propiedades de deslizamiento y alta resistencia al desgaste.

Tiene una higroscopicidad relativamente baja, a 20 °C, y una humedad del 65%, esta lamigamida absorbe un máximo de 22% de su peso en agua.

Ventajas:

- Fácilmente maquinable, puede ser trabajado con toda clase de máquinas herramientas (torno, fesadora, taladro, etc.)
- Es estable frente a microorganismos y no tiene efecto biológico pernicioso alguno.
- Usado en mecanismos tiene un bajo nivel de ruido.
- Resistente a sustancias hidrocarbonadas (bencina), grasas, cetonas, alcoholes, ácidos minerales. Siendo atacado por ácido fórmico y acético, fenol, glicol, alcohol benzilico, especialmente a altas temperaturas.
- Puede ser pegado fácilmente con ácido fórmico concentrado.

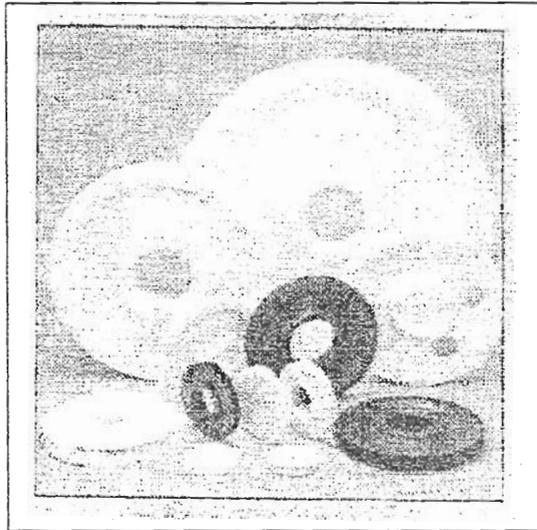
Usos:

Es usado en muchos tipos de industrias:

Construcción, textil, papel, construcción agrícola, vehicular, etc.,

Ya que pueden construirse:

- Engranajes.
- Poleas
- Guías de deslizamiento.
- Bocines.
- Ruedas.



Características técnicas:

- Densidad: 1.15 gr./cm^3
- Resistencia a la tensión: 80 N/mm^2
- Dureza: 140 N/mm^2
- Punto de rotura: 100 N/mm^2
- Coeficiente de fricción: 0.04
- Temperatura de trabajo:
 - 40 a $120 \text{ }^\circ\text{C}$ en uso prolongado.
 - Hasta $180 \text{ }^\circ\text{C}$ en periodos cortos de uso.
- Resistencia específica: 10^{15} ohm. cm.
- Resistencia a la penetración: 20 Kv/mm.

- Constante dieléctrica: 3.7

Presentación:

BARRAS MACIZAS (1 m, largo)	
<i>Diámetro (plg)</i>	<i>Peso aprox. (Kg/barra)</i>
2	2.47
3	6.12
4	10
4 ¼	11.40
5	16
6 ¼	24.4
6 ¾	28.2
7	30
8	39.6
8 ¾	42.2
11 ¾	88

PLANCHAS (2X1 m)	
<i>Diámetro (plg)</i>	<i>Peso aprox. (Kg/plancha)</i>
1	69
1 1/8	77
1 ½	103.6
2	137.4
2 ¼	155.8
2 ½	172.4

BARRAS HUECAS (2 m, largo)	
<i>Diámetro (plg)</i>	<i>Peso aprox. (Kg/barra)</i>
3 ¾ X 1 5/8	16
3 ¾ X 2 3/8	10.4
3 ¾ X 2	15
3 ¾ X 2 1/8	15.8
4 1/8 X 2	19
4 1/8 X 2 3/8	17.9
5 ¼ X 2 5/8	29.6
6 X 2 ¾	39.5
6 X 3	38
6 ½ X 2 5/8	47
6 ½ X 2 3/4	45.8

APENDICE E

CONECTOR DV .

El conector DV es un sistema para enlazar dos señales que deben separarse en un determinado punto, existiendo para ello un conector hembra y un conector macho, estos DV están formados por un número determinado de pines derivándose de ellos su nombre, siendo así: DV 25, si tiene 25 pines; DV 15 si tiene 15 pines, etc.

Un DV 25 típico estándar tiene la distribución de los pines en sus dos filas como sigue: en la primera fila constan desde el pin 1 al pin 13, en la segunda fila que es la inferior, desde el pin 14 hasta el pin 25, estos deben ser leídos de derecha a izquierda en el conector hembra y viceversa en el conector macho.

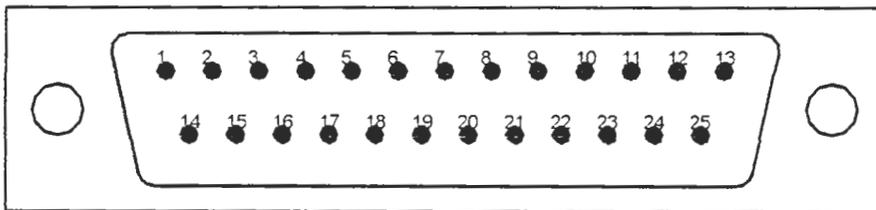


FIGURA E-1

CONECTOR DV25 MACHO

APENDICE F

PROGRAMA DE AYUDA EN LENGUAJE HTML.

```
<html>

<head>
<meta http-equiv="Content-Language" content="es-ec">
<meta http-equiv="Content-Type" content="text/html; charset=windows-1252">
<meta name="GENERATOR" content="Microsoft FrontPage 4.0">
<meta name="ProgId" content="FrontPage.Editor.Document">
<title>Practica</title>
</head>

<body background="Background-1.jpg">

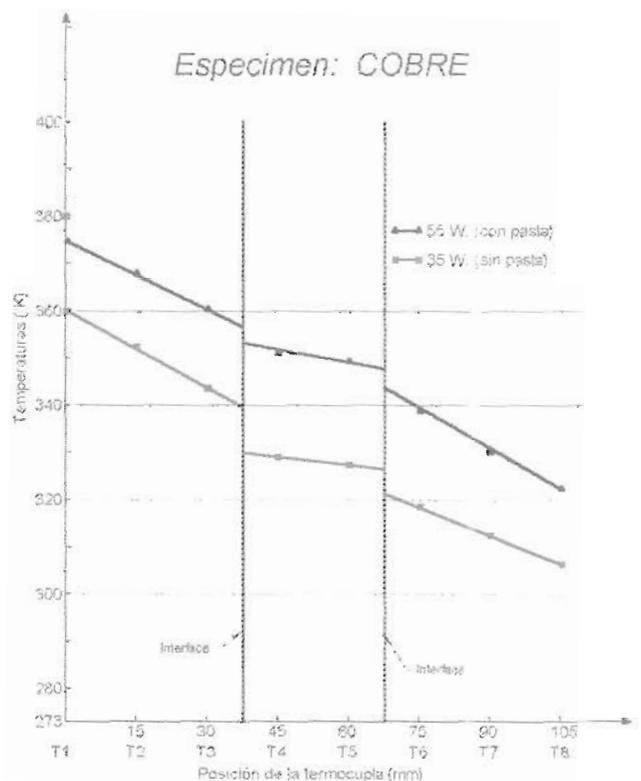
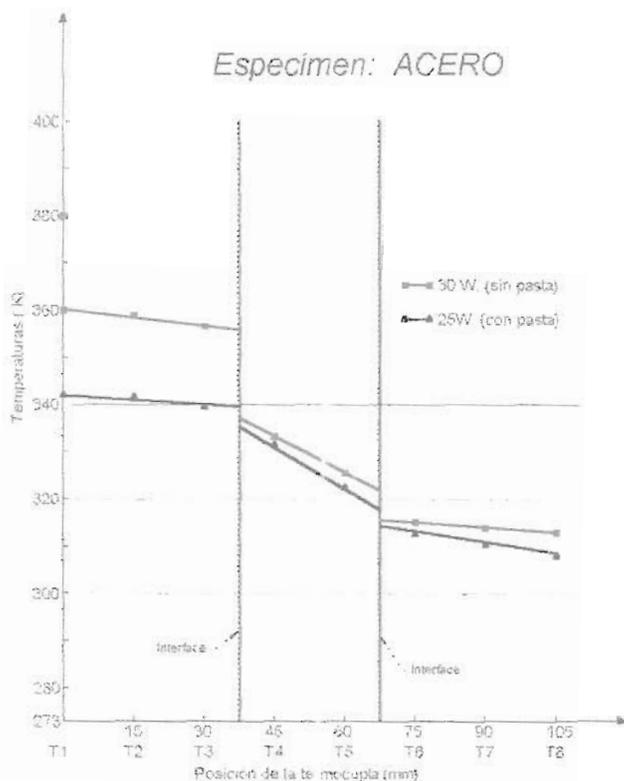
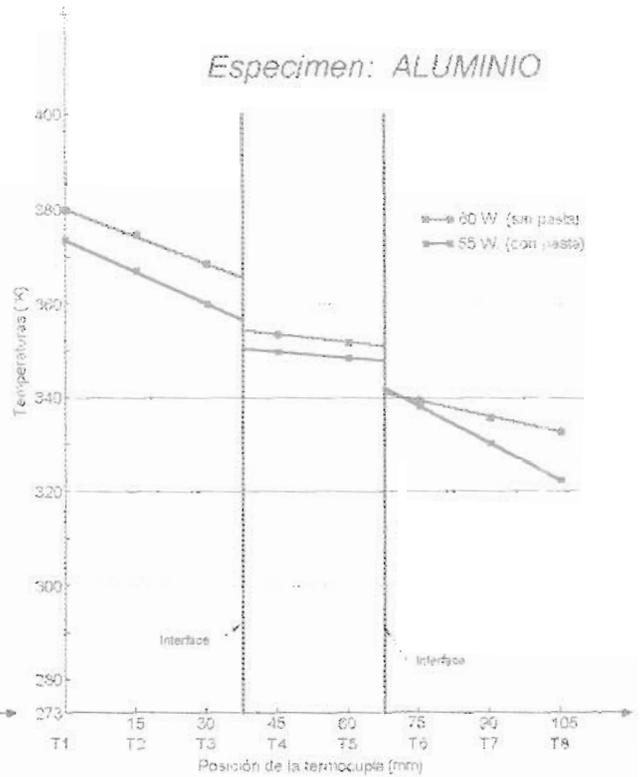
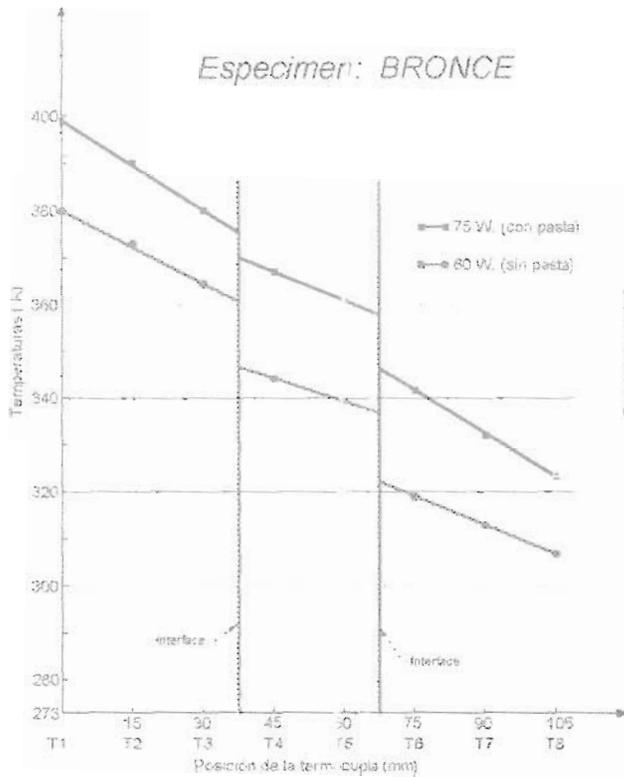
<p align="center"><b><font face="Tahoma" size="5">Ayuda General para El Banco de
Transferencia de Calor</font></b></p>
<p align="left"><font face="Tahoma">Las prácticas efectuadas están en orden
secuencial. Si desea ver alguna en especial, haga click en ella.</font></p>
<ul>
<li>
<p align="left"><font face="Tahoma"><a href="practica1.htm">Practica N° 1:
&quot;Determinación del perfil de temperaturas para conducción lineal de calor
a través de diferentes configuraciones&quot;</a></font></li>
<li>
<p align="left"><font face="Tahoma"><a href="practica2.htm">Practica N° 2:
&quot;Determinación del coeficiente de conductividad térmica de diferentes
materiales sólidos&quot;</a></font></li>
<li>
<p align="left"><font face="Tahoma"><a href="practica3.htm">Practica N° 3:
&quot;Determinación del perfil de temperaturas para conducción radial de
calor en estado estable&quot;&nbsp;</a></font></li>
<li>
<p align="left"><font face="Tahoma"><a href="practica4.htm">Practica N° 4:
&quot;Determinación del coeficiente de transferencia de calor por convección de una placa
plana&quot;</a></font></li>
</ul>
<p align="left"><br>
<br>
<br>
</p>
<p align="left">&nbsp;</p>

</body>

</html>
```

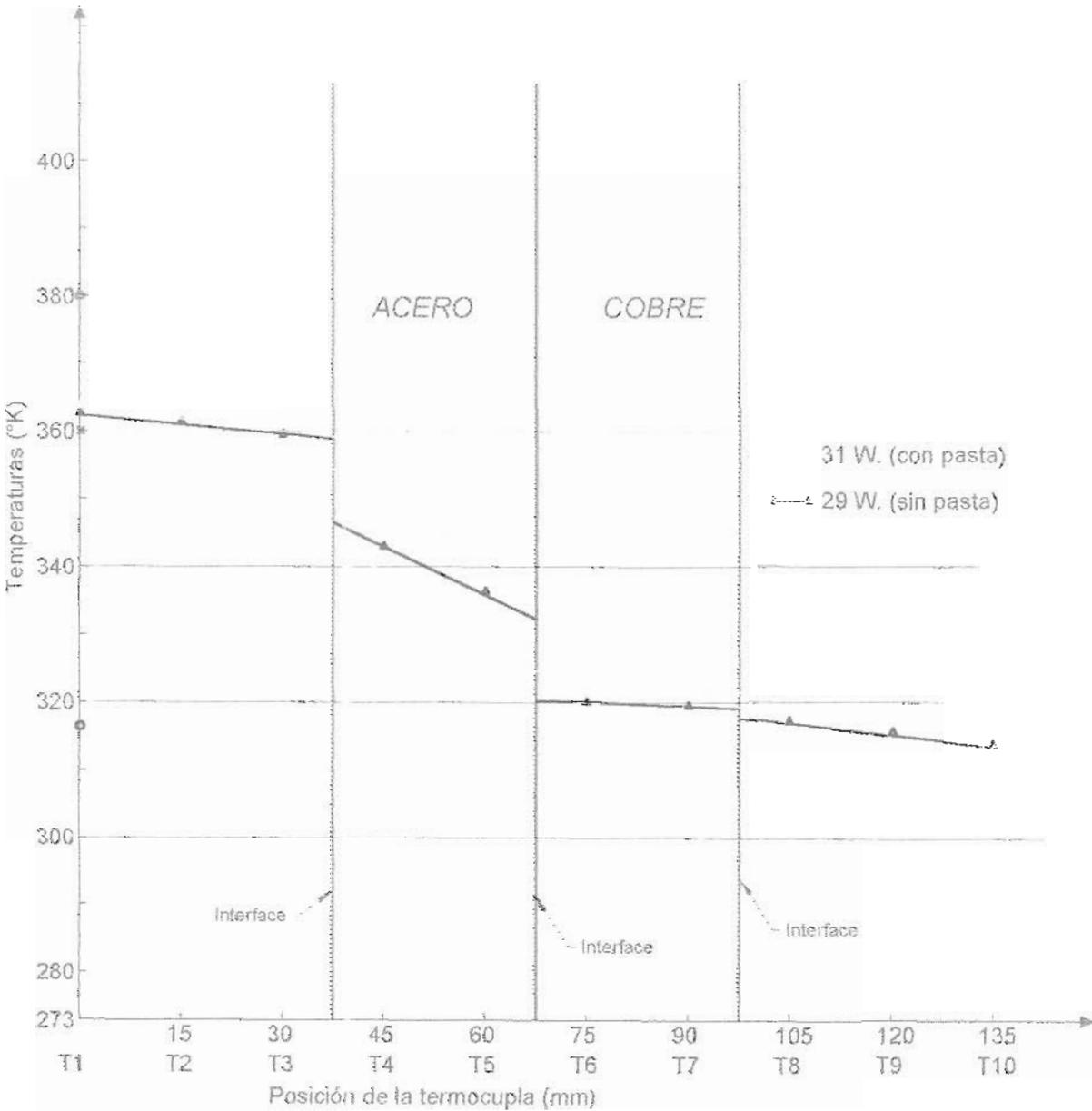
PRACTICA # 1

Distribución de temperaturas para conducción de calor a través de una pared plana.



APENDICE G

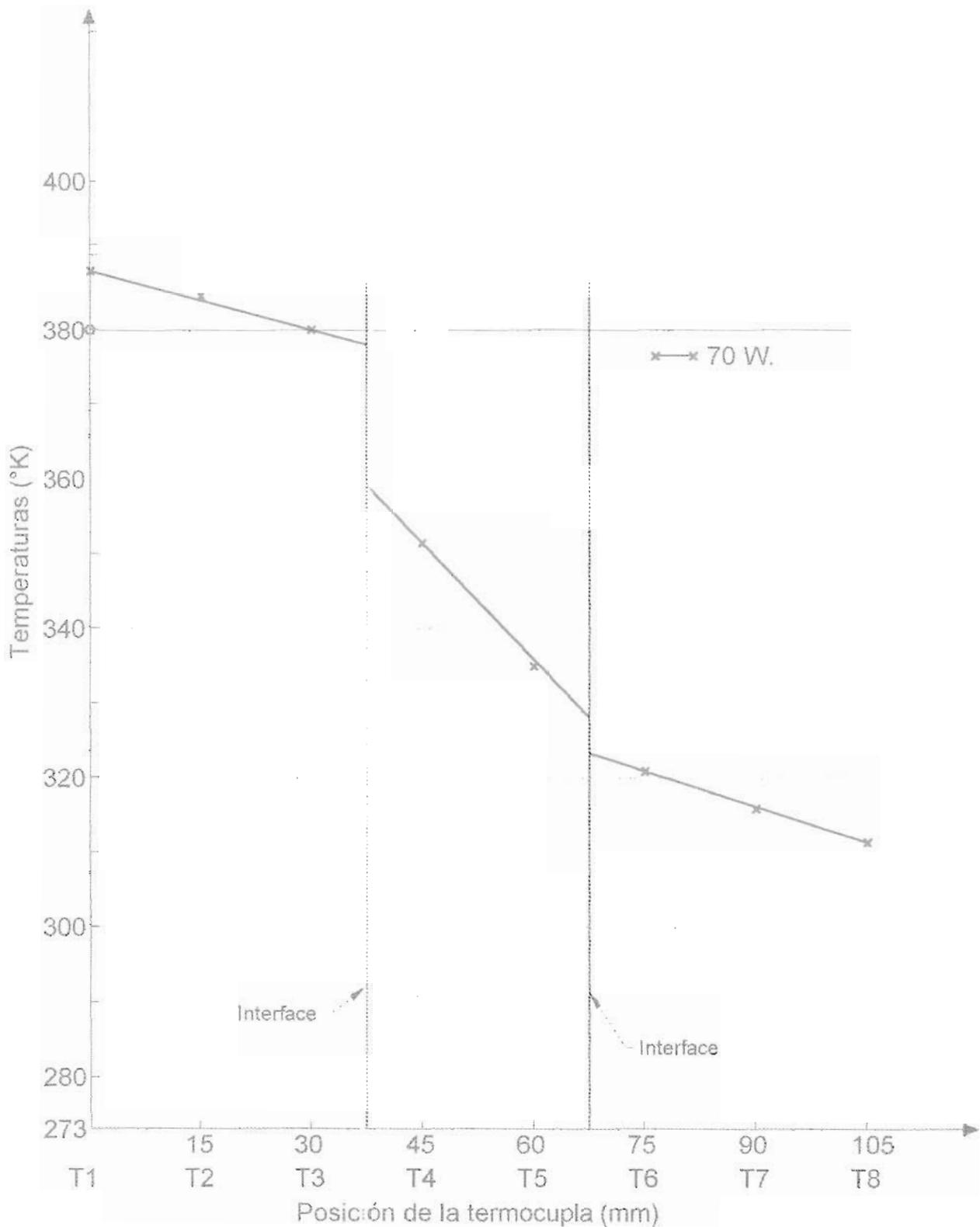
Distribución de temperaturas para conducción de calor a través de una pared compuesta.



APENDICE G

Distribución de temperaturas para conducción de calor a través de una pared de sección transversal reducida.

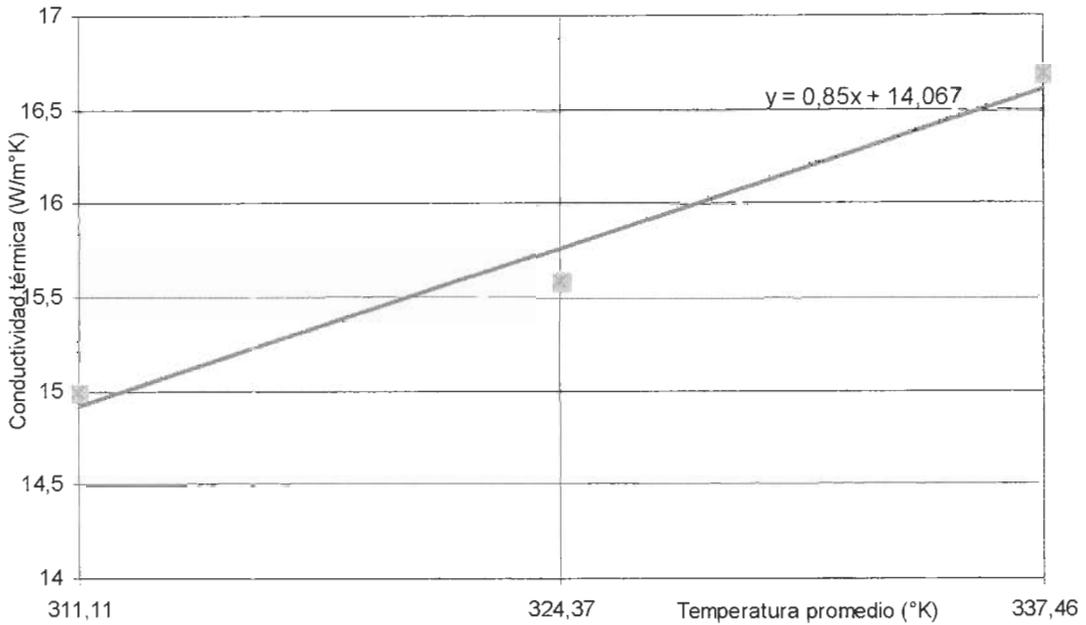
Especimen: BRONCE



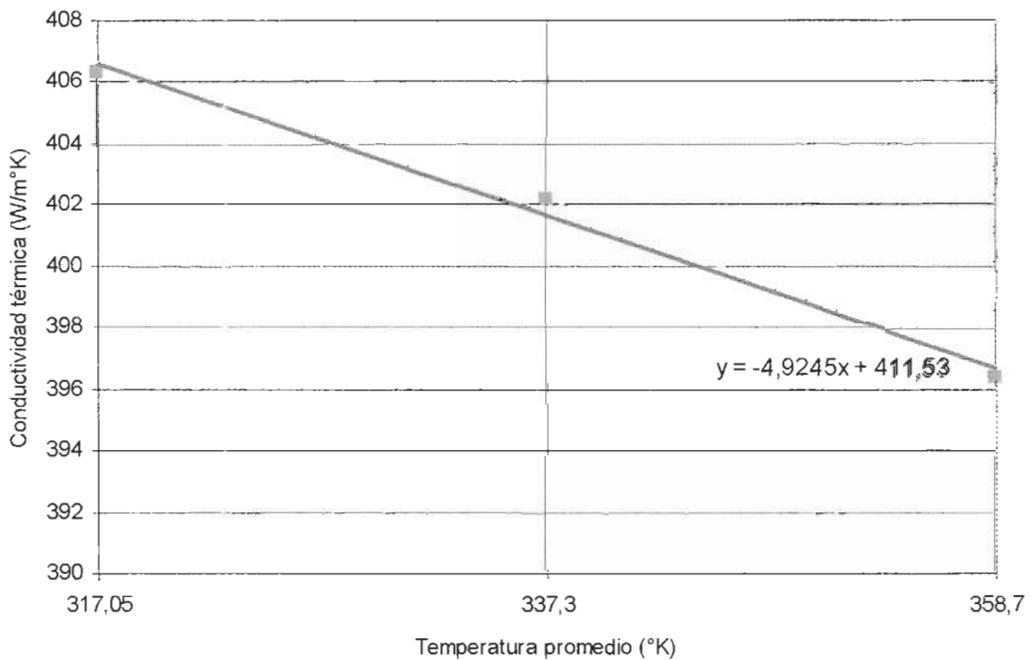
PRACTICA # 2.

Determinación del coeficiente de conductividad térmica de diferentes materiales.

Material: ACERO

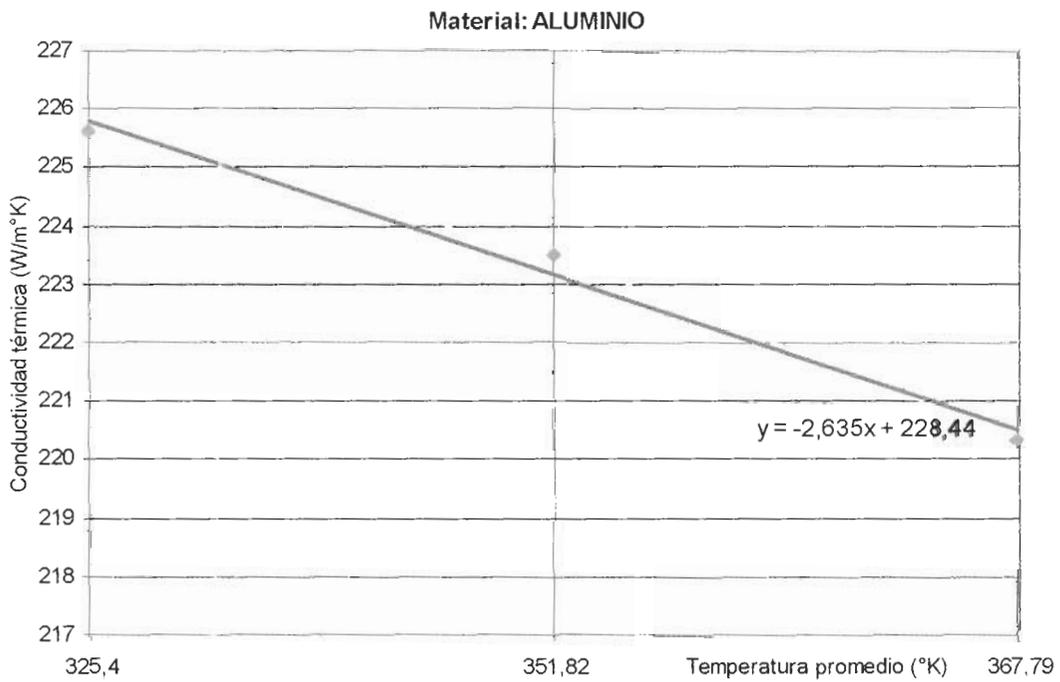
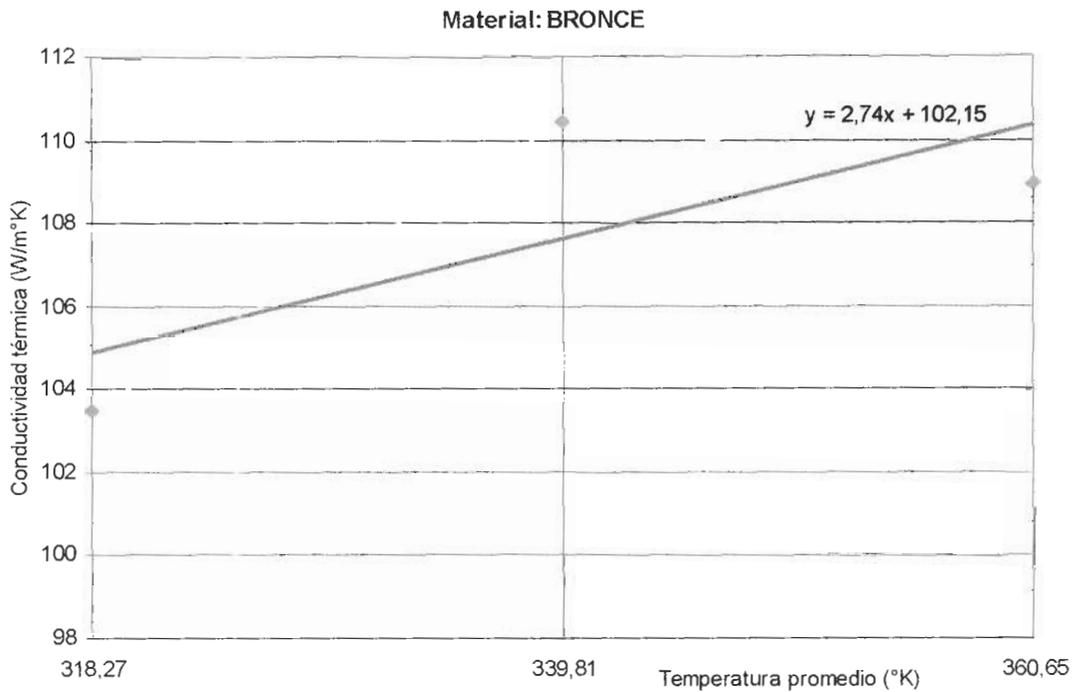


Material: COBRE



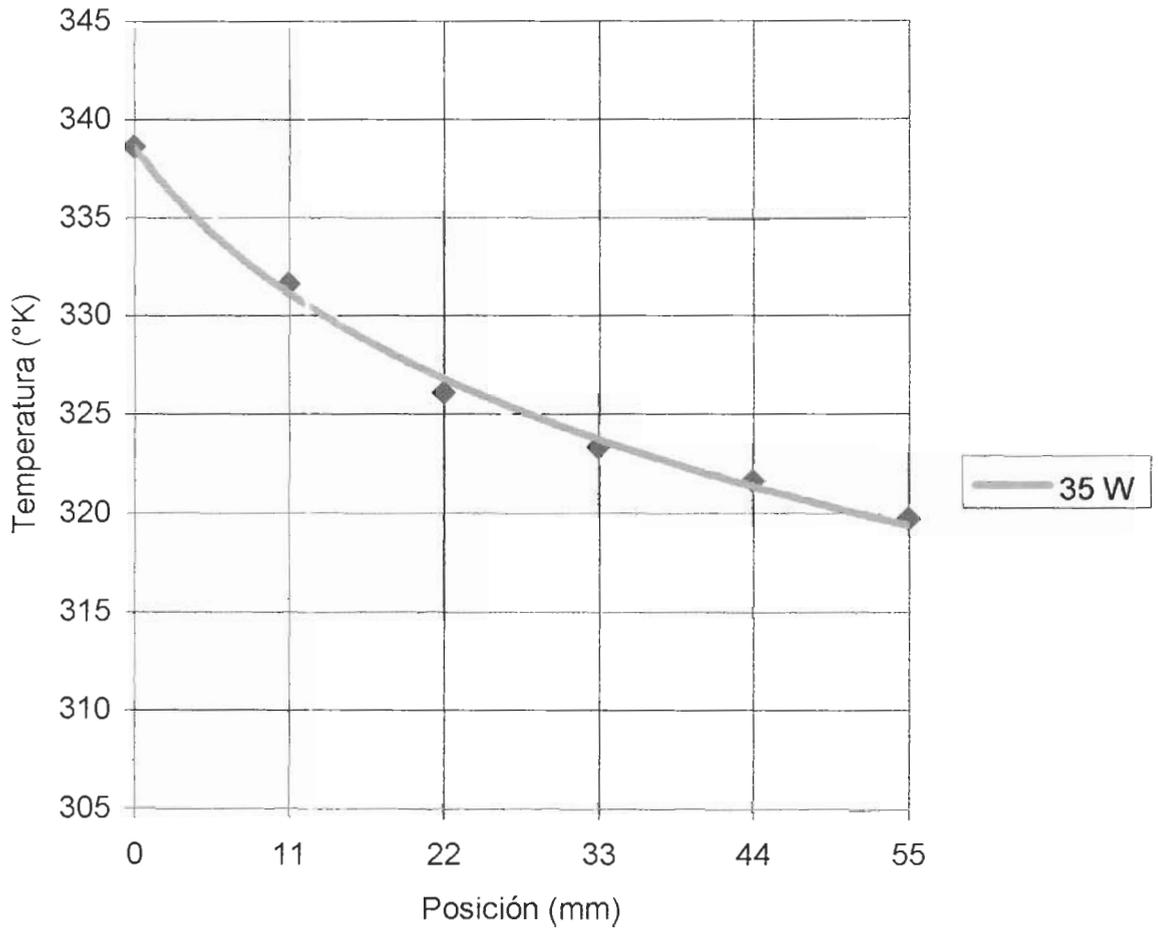
PRACTICA # 2.

Determinación del coeficiente de conductividad térmica de diferentes materiales.



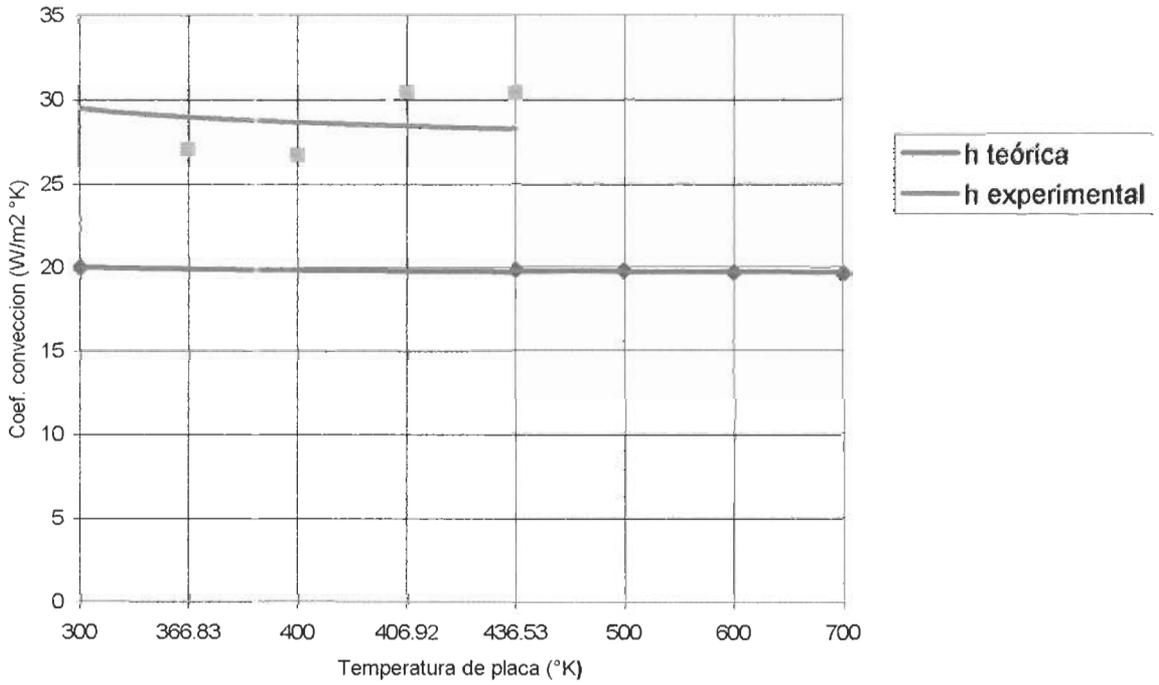
PRACTICA #3.

Distribución de temperaturas por conducción radial a través de la pared de un cilindro.

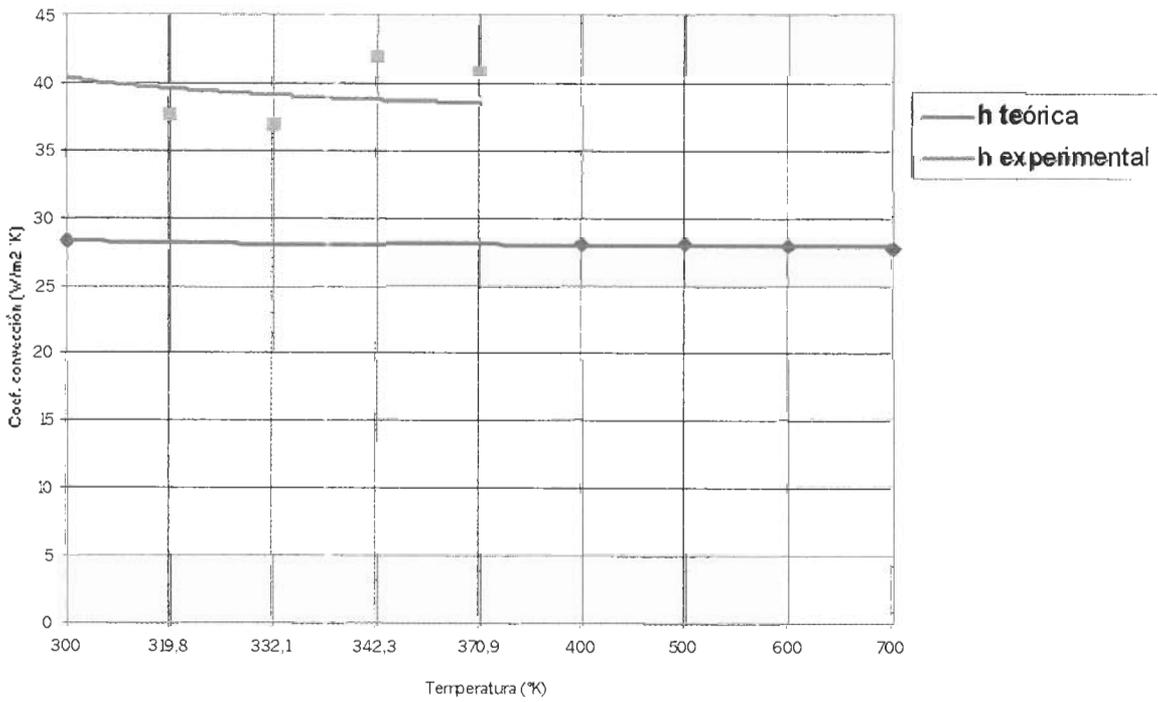


PRACTICA # 4. Ensayos de convección forzada.

Velocidad del aire = 1.78 m/s



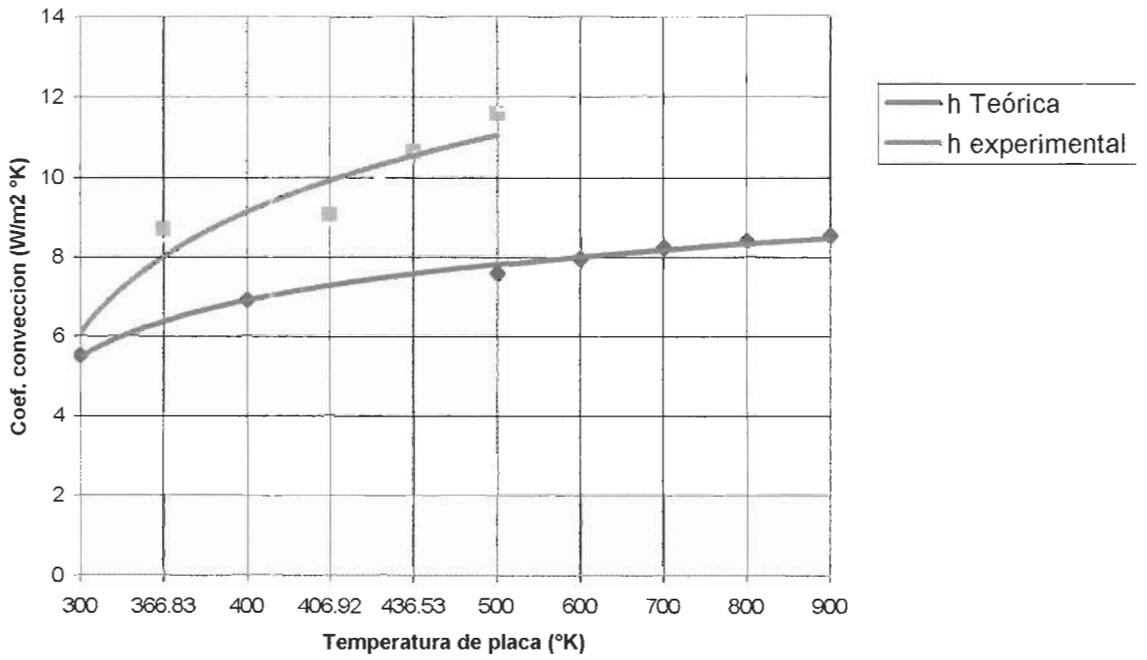
Velocidad del aire = 3.56 m/s



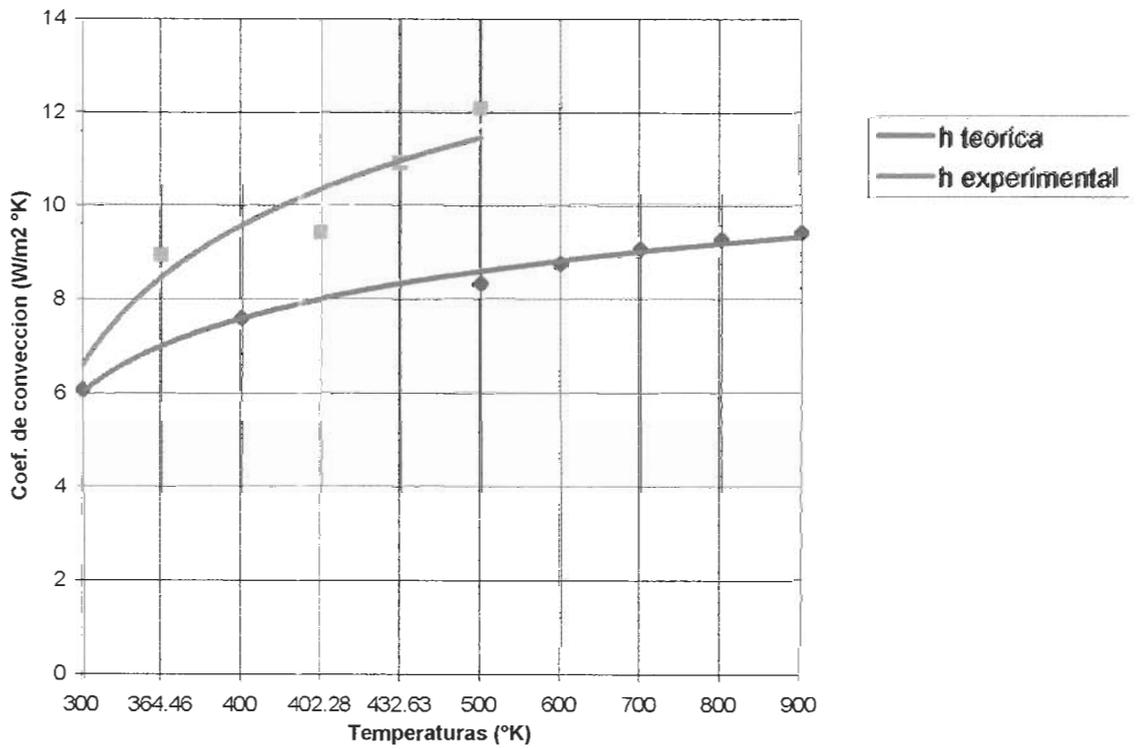
PRACTICA # 4

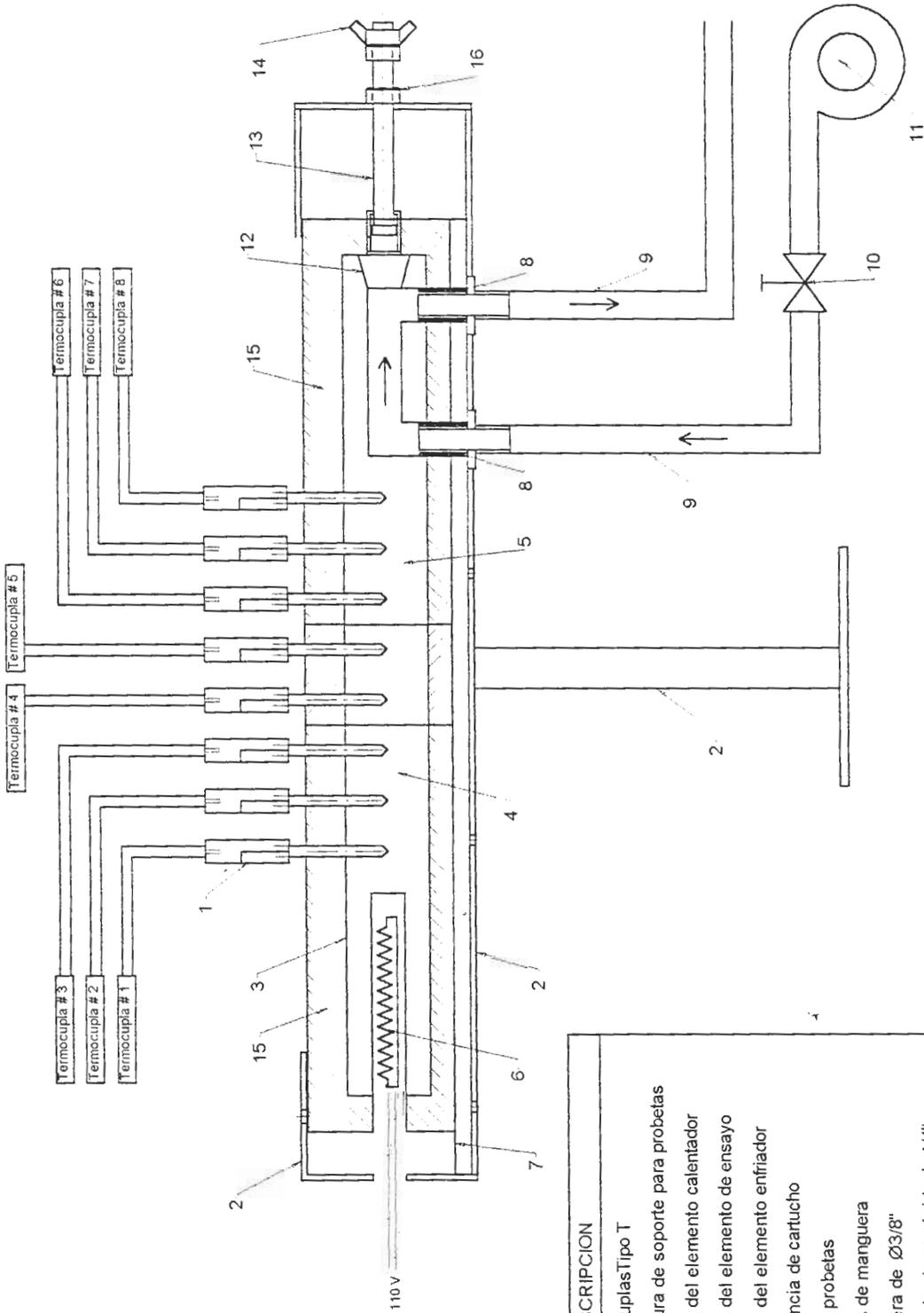
Ensayos de convección libre.

Placa en posición horizontal



Placa en posición vertical





ITEM	DESCRIPCION
1	Termocuplas Tipo T
2	Estructura de soporte para probetas
3	Probeta del elemento calentador
4	Probeta del elemento de ensayo
5	Probeta del elemento enfriador
6	Resistencia de cartucho
7	Guia de probetas
8	Acoples de manguera
9	manguera de Ø3/8"
10	Válvula de cierre rápido de 1/4"
11	Bomba de 1/4 HP
12	Tapón de caucho
13	Tornillo de deslizamiento
14	mariposa de ajuste
15	Aislante de probetas
16	Tuerca de deslizamiento

FECHA: 01/12/01
 Dibujo: G. Cubez
 Revisó: 15/01/02
 Ing. Andrade
 PLANO N.º:

1

MASA (Kg)

FIMCP - ESPOL

TOPICO DE GRADUACION

CONTIENE:
 ELEMENTOS DEL EQUIPO DE
 CONDUCCION LINEAL

ESCALA

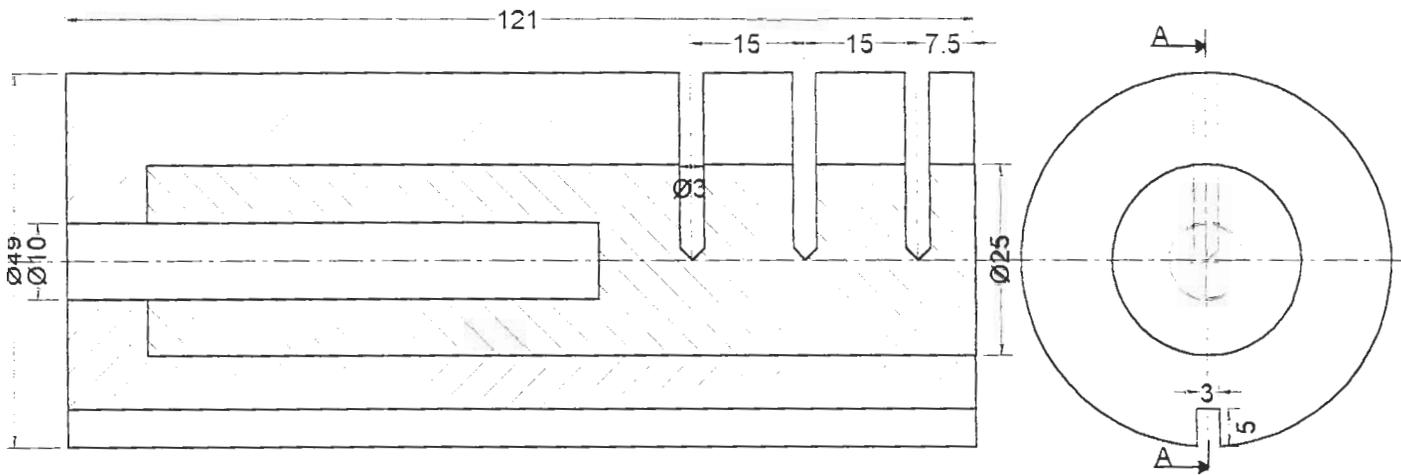
1:2



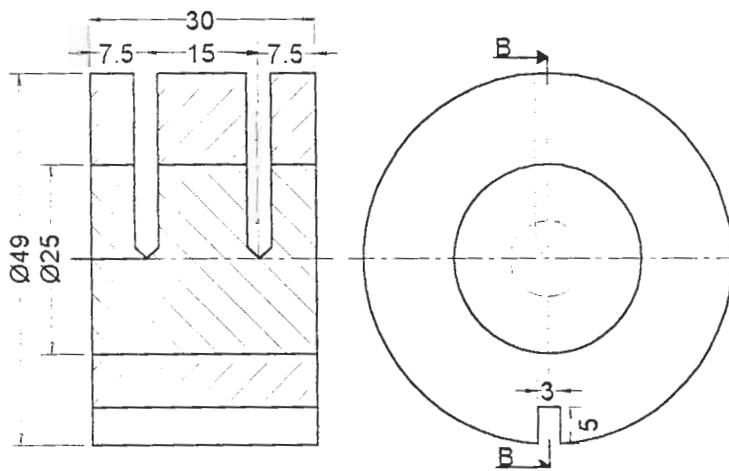
PROYECTO

MATERIALES

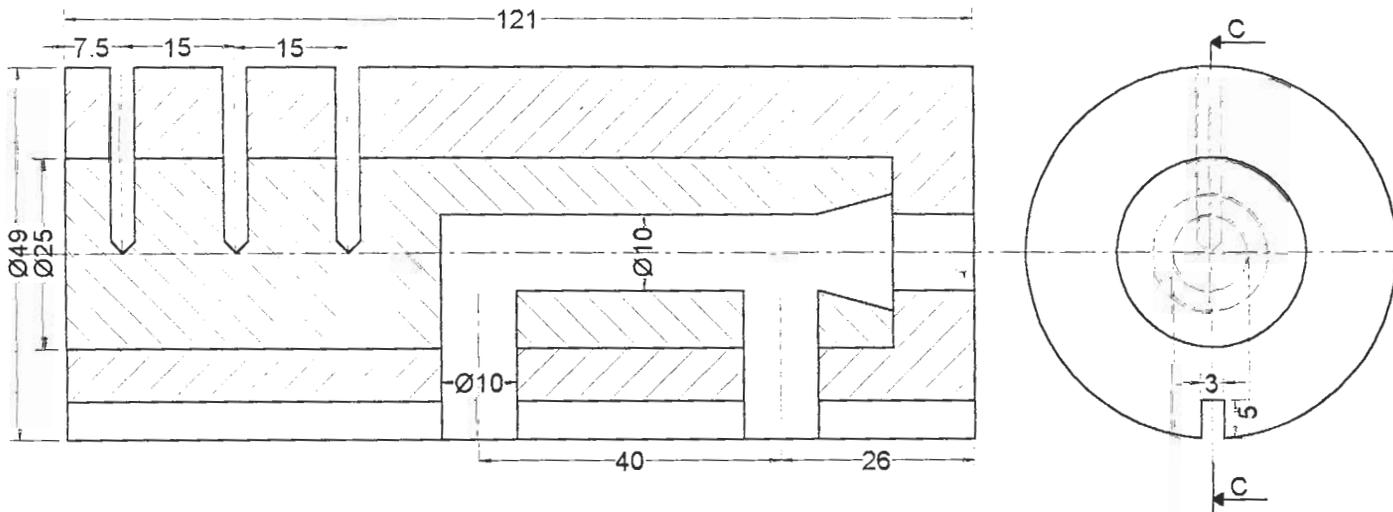
ELEMENTO CALENTADOR



ELEMENTO DE ENSAYO



ELEMENTO ENFRIADOR



FIMCP - ESPOL

PROYECTO:

TOPICO DE GRADUACION

ESCALA:
1:1

CONTIENE
PROBETAS DE ENSAYO DEL
EQUIPO DE CONDUCCION LINEAL

MATERIALES:

FECHA : NOMBRE

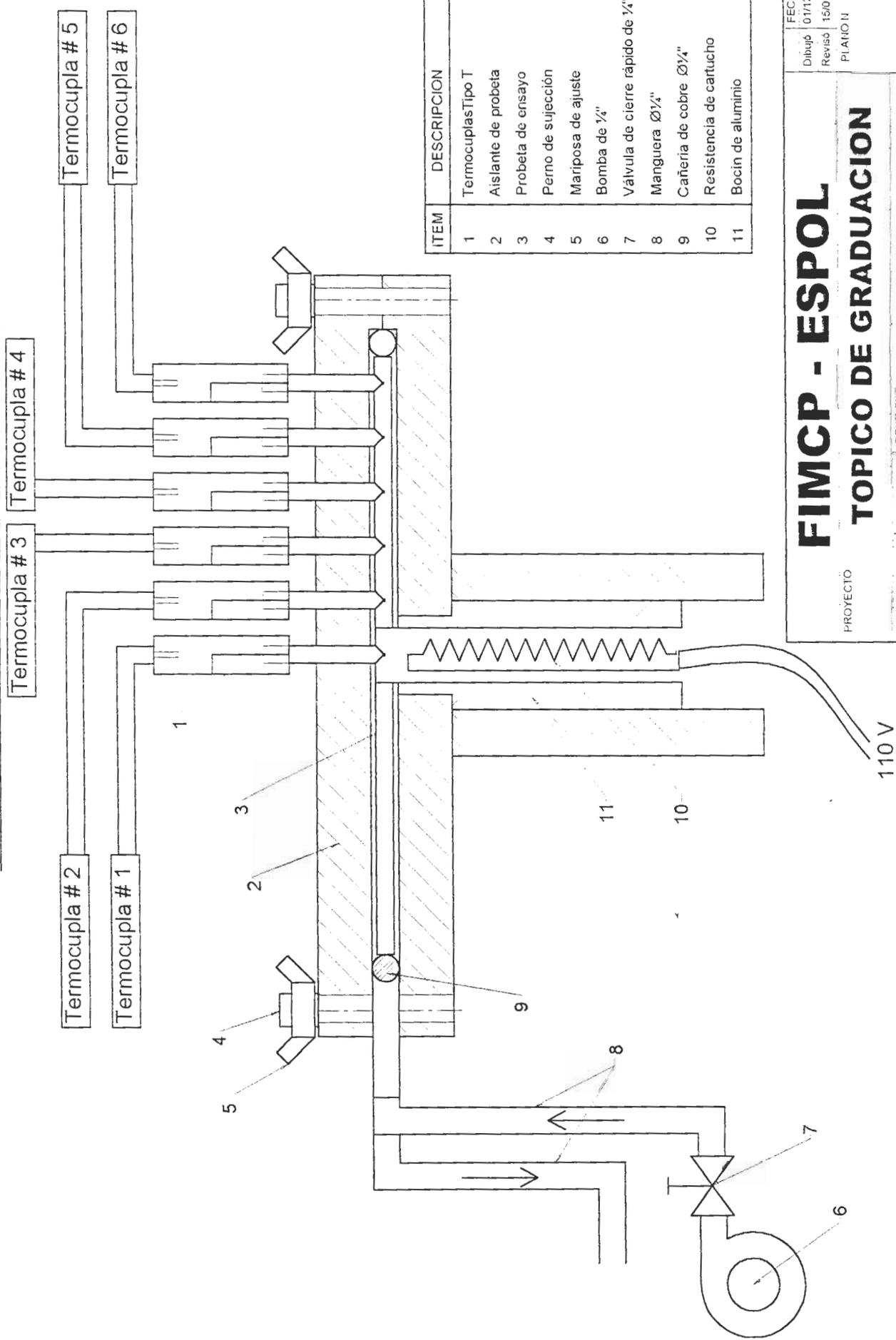
Dibujo 01/12/01 : G. Choez

Revisó : 15/01/02 : Ing. Andrade

PLANO N°:

2

MASA (Kg):



ITEM	DESCRIPCION
1	Termocuplas Tipo T
2	Aislante de probeta
3	Probeta de ensayo
4	Perno de sujeción
5	Mariposa de ajuste
6	Bomba de 1/4"
7	Válvula de cierre rápido de 1/4"
8	Manguera Ø1/4"
9	Cañería de cobre Ø1/4"
10	Resistencia de cartucho
11	Bocin de aluminio

FIMCP - ESPOL
TOPICO DE GRADUACION

PROYECTO

CONTIENE: ELEMENTOS DEL EQUIPO DE CONDUCCION RADIAL

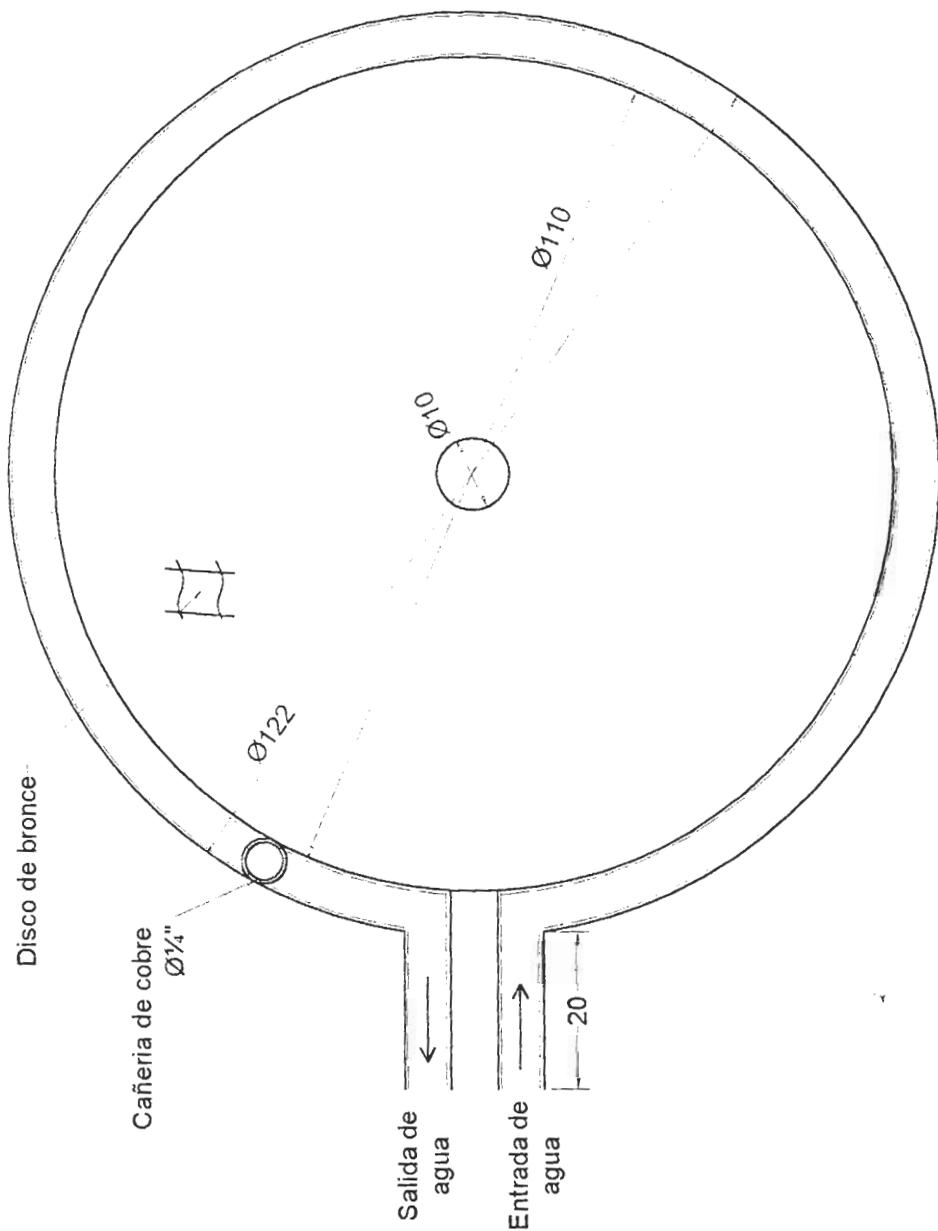
ESCALA: 1:1

MATERIALES:

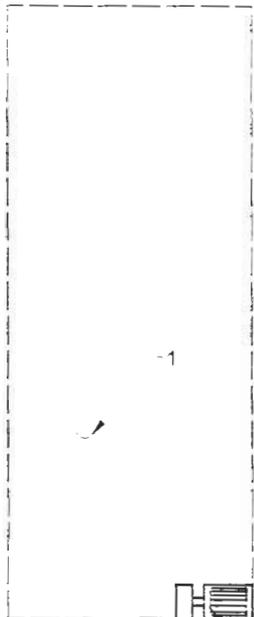
FECHA: 01/12/01
 NOMBRE: G Chóez
 Dibujo: Ing Andrada
 Revisó: 15/01/02
 PLANO: N

3

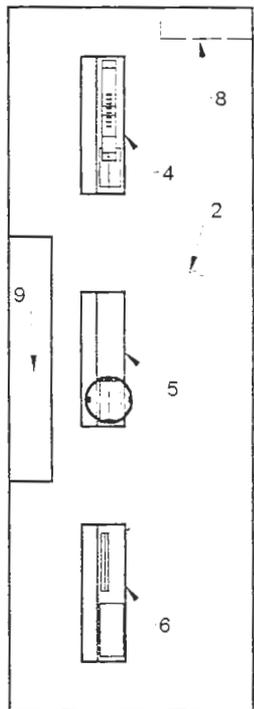
MASSA (KG)



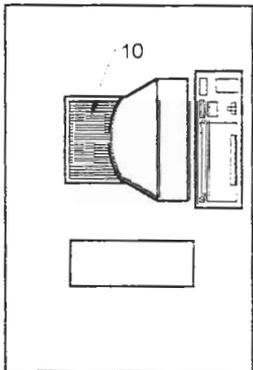
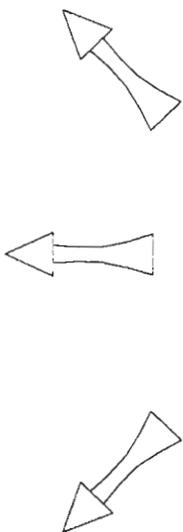
Dibujó	01/12/01	G. Chocéz	NOMBRE	4
	Revisó			
PLANO N.º				
PROYECTO			MASA (Kg)	
FIMCP - ESPOL				
TOPICO DE GRADUACION				
ESCALA	CONTIENE		MATERIALES	
1:1	PROBETA DE ENSAYO DEL EQUIPO DE CONDUCCION RADIAL			



-7

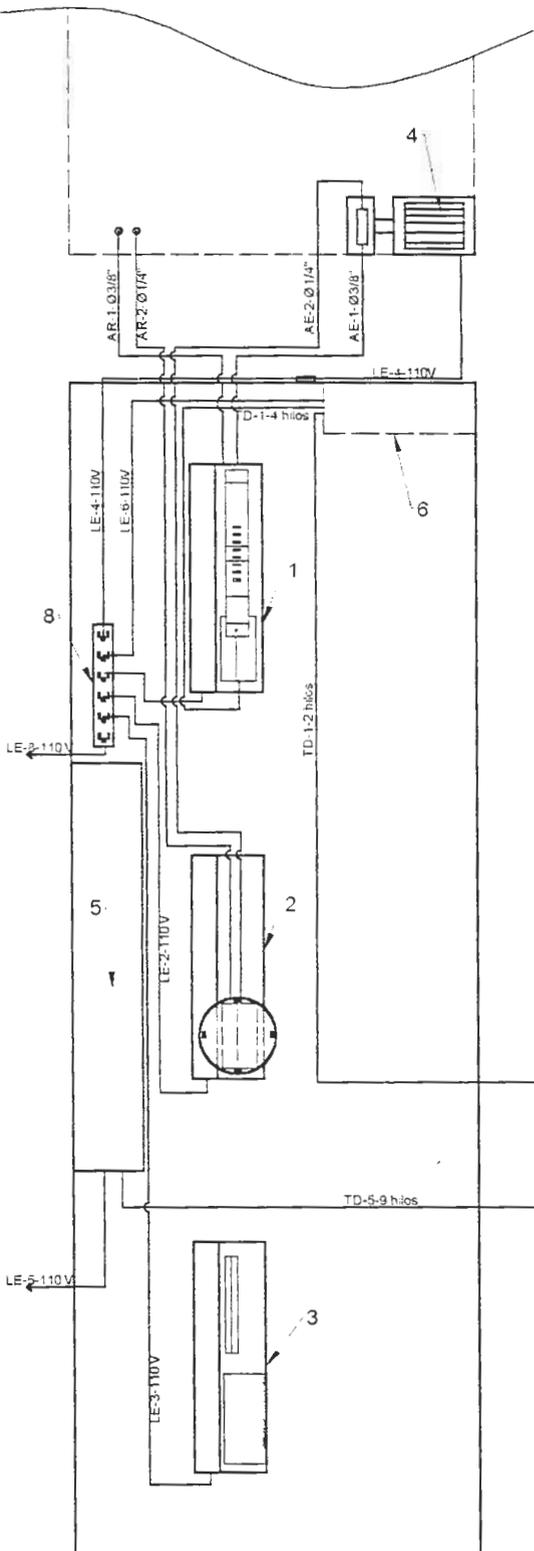


ITEM	DESCRIPCION
1	Banco de Bombas
2	Banco de Transferencia de Calor
3	Turbina Pelton
4	Equipo de conducción lineal
5	Equipo de conducción radial
6	Equipo de convección
7	Bomba mecánica
8	Fuente de poder
9	Caja de fieldpoint
10	Computador personal



<h1>FIMCP - ESPOL</h1>		FECHA	NOMBRE
		Dibujo 09/05/02	G Chóez
PROYECTO: TOPICO DE GRADUACION		Reviso 15/05/02	Ing. Andrade
		PLANO N°:	
		5	
		ESCALA:	CONTIENE:
1:25	DISTRIBUCION DE EQUIPOS		MASA (Kg)
MATERIALES:			

ITEM	DESCRIPCION	CARACTERISTICAS
1	Equipo de conducción lineal	110 V 60 Hz
2	Equipo de conducción radial	110 V 60 Hz
3	Equipo de convección	110 V 60 Hz
4	Bomba mecánica	1/4 HP
5	FieldPoint	110 V
6	Fuente de poder	Sal. -5,+5,-12,+12V
7	Computador personal	110 V
8	Regleta principal	110 V 6 salidas



SIMBOLOGIA

LE: Linea de energia

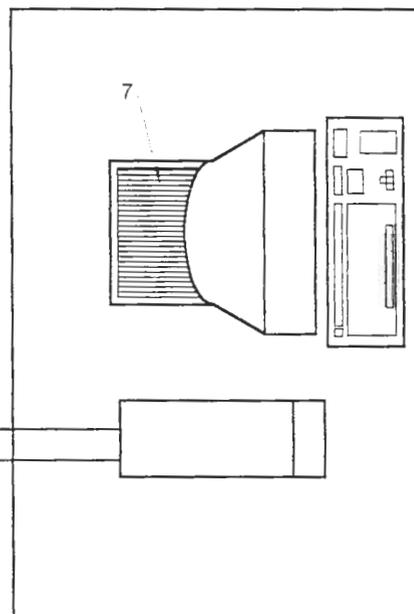
AR: Agua de retorno

AE: Agua de entrada

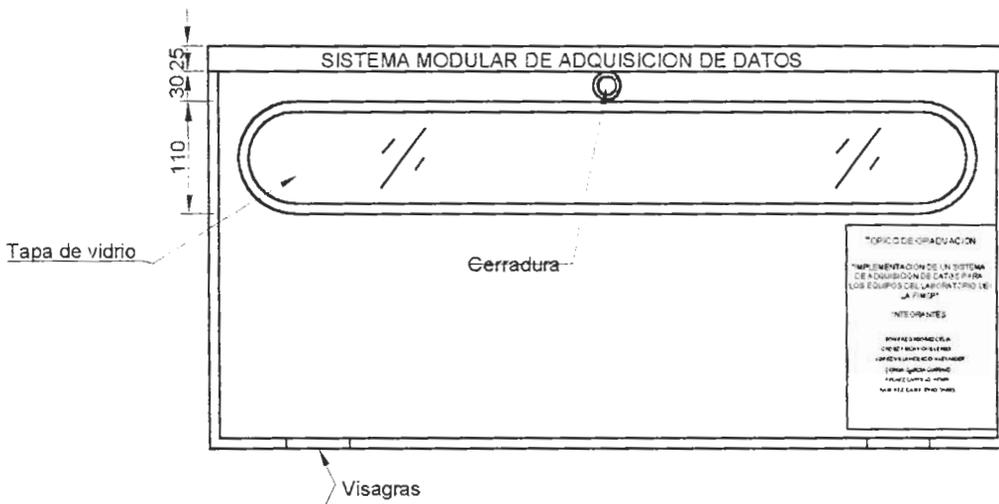
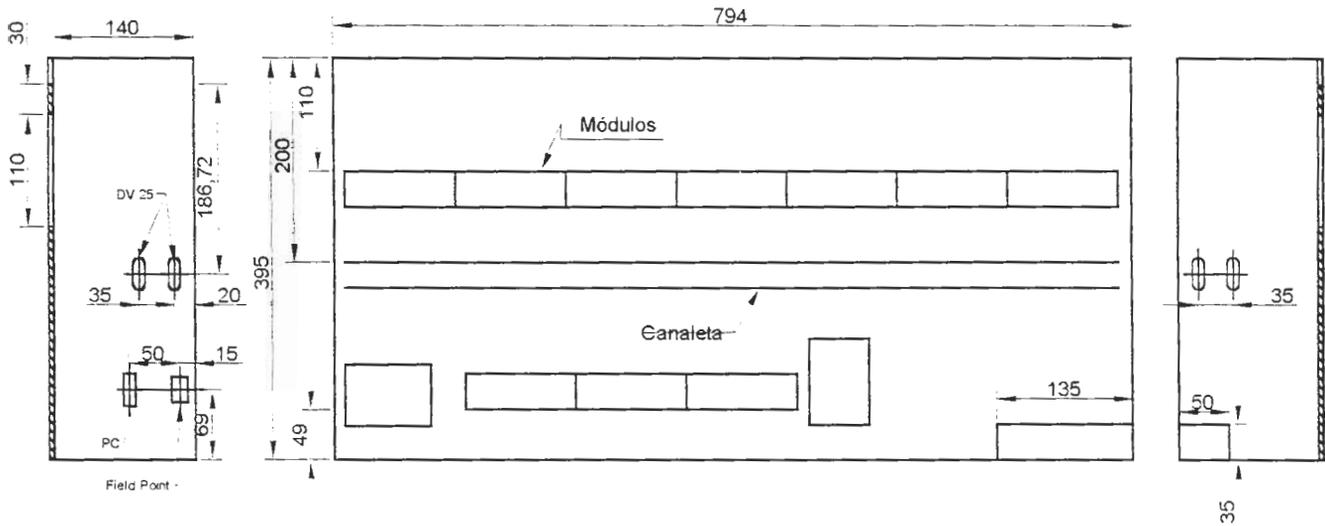
TD: Transferencia de datos

Ejemplo:

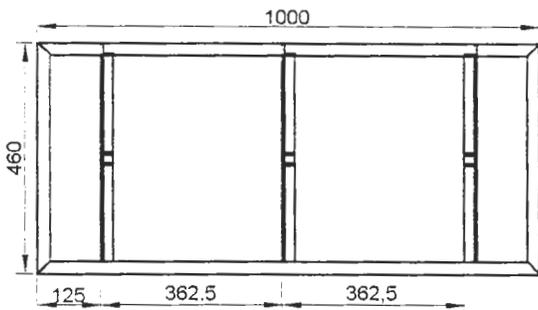
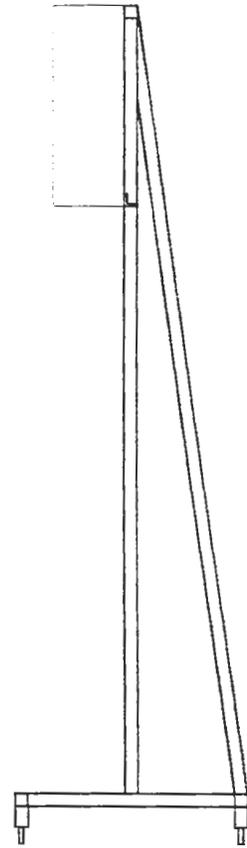
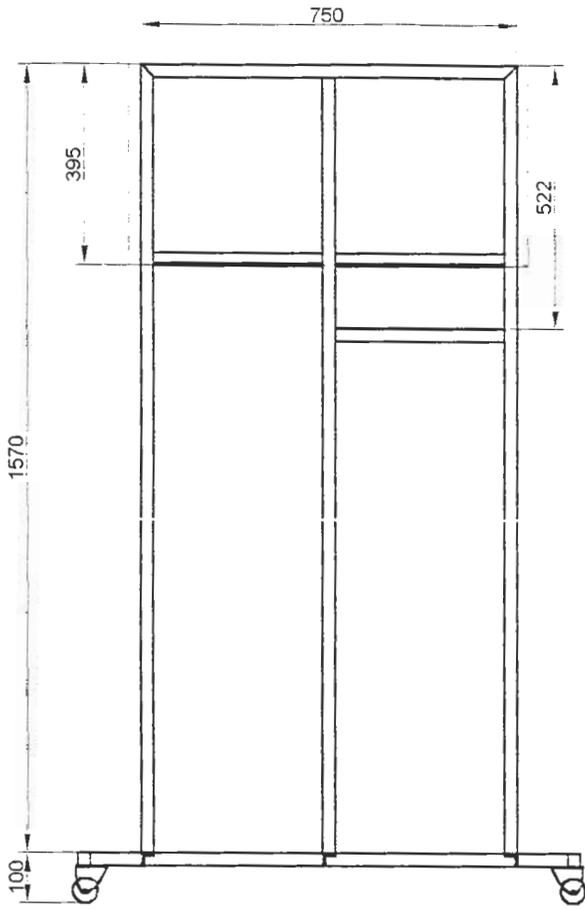
Simbologia	Item	Característica
XX	#	110 V 60 Hz



<h1 style="margin: 0;">FIMCP - ESPOL</h1>		FECHA	NCMBRE
		Dibujó	09/05/02
<p>PROYECTO: TOPICO DE GRADUACION</p>		Reviso	15/05/02
		Ing. Andrade	
<p>CONTIENE: BANCO DE TRANSFERENCIA DE CALOR</p>		<p>PLANON°:</p> <h1 style="font-size: 2em; margin: 0;">6</h1>	
		ESCALA:	MASA (Kg):
	<p>1:15</p>	MATERIALES:	



FIMCP - ESPOL		FECHA	NOMBRE
Dibujó:		03/05/02	G. Chóez
Revisó:		15/05/02	Ing. Andrade
PROYECTO:		PLANO N°:	
TOPICO DE GRADUACION		7	
	ESCALA:	CONTIENE:	MASA (Kg):
	1:7.5	CAJA DE FIELD POINT	
	MATERIALES:	ACERO A36	



		FECHA	NOMBRE
		Dibujó	03/05/02
		Revisó	15/05/02
			Ing. Andrade
PROYECTO:		PLANO N°:	
<p style="text-align: center;">FIMCP - ESPOL</p> <p style="text-align: center;">TOPICO DE GRADUACION</p>		<p style="font-size: 2em;">8</p>	
	ESCALA:	MATERIALES:	
	1:15	ACERO A36	
		MASA (Kg):	

BIBLIOGRAFIA

1. ASTM COMMITTEE E-20 ON TEMPERATURE, MEASUREMENT AND SUBCOMMITTEE IN ON THERMOCOUPLE. Manual on the use of Thermocouples in Temperature Measurement, Publication 470 A, Segunda edición, 1974.
2. BAKER H. DEAN, Temperature Measurement in Engineering. Deals With Thermocouple Techniques For Measuring Temperature, Omega Press, Volumen 1, 1975.
3. CARSLAW H. S. Conduction of Heat in Solids, Editorial OXFORD Segunda edición, 1975.
4. CONSIDNE DOUGLAS, Process Instrumensts and Controls, Handbook, Editorial McGraw Hill, Tercera edición.

5. Data Acquisition Basics Manual LabView, National Instrument, Enero de 1998
6. DOBELIN ERNEST , Measurement System Application and Desing, 1966
7. ERNST R. G., Measurements In Heat Transfer, Editorial Hemisphere Publishing Corporation, Segunda edición, 1970.
8. INCROPERA P. FRANK, Fundamentos de Transferencia de Calor, Prentice Hall, Cuarta edición, 1999.
9. MALVINO ALBERT PAUL, Principios de Electrónica, Editorial McGraw Hill, Tercera Edición
10. Manual del FieldPoint Explorer, National Instrument, 1998.
11. Manual del Operador, Assembly Instruction for Thermocouple Kit N965, Omega Engineering
12. ROHSEYOW, HARTNETT, GANIC, Handbook Of Heat Transfer Fundamentals, McGraw Hill, Segunda edición, pag 4-145 4-148.
13. www.cipres.cee.uchile.cl/jlorca/central.html

14. www.dininstrumentos.cl/fundamentos.htm
15. www.escoarg.com.ar/soporte/curso-temp/curso-temp-def.htm
16. www.editorial.cda.ulpgc.es/ambiente/1-calor/4-transm/index.htm.
17. www.ipac.jpl.nasa.gov/SIRTFspanish/Thermal/detect-sp-06sepo1.htm
18. www.ni.com