

HARDWARE DE ANÁLISIS TÉRMICO DUAL
HATD

YOHANA ISABEL PINZÓN RODRÍGUEZ
CARLOS AUGUSTO RAMOS GARAVITO

UNIVERSIDAD INDUSTRIAL DE SANTANDER
FACULTAD DE CIENCIAS FISICOMECÁNICAS
ESCUELA DE INGENIERÍA ELÉCTRICA, ELECTRÓNICA Y
TELECOMUNICACIONES
BUCARAMANGA
2007

HARDWARE DE ANÁLISIS TÉRMICO DUAL
HATD

YOHANA ISABEL PINZÓN RODRÍGUEZ
CARLOS AUGUSTO RAMOS GARAVITO

Trabajo de grado para optar el título de
INGENIERO ELECTRÓNICO

Director:
M.P.E. (C) JOSÉ ALEJANDRO AMAYA PALACIO
Codirector:
M.S.c. ARNALDO ALONSO BAQUERO

UNIVERSIDAD INDUSTRIAL DE SANTANDER
FACULTAD DE CIENCIAS FISICOMECAÑICAS
ESCUELA DE INGENIERÍA ELÉCTRICA, ELECTRÓNICA Y
TELECOMUNICACIONES
BUCARAMANGA
2007

*A mi madre y mi padre
por su paciencia, apoyo,
comprensión y confianza;
por creer en mi y darme
esta oportunidad.*

*A mi hermano porque ha
sido mi compañía y mi
apoyo.*

*A mis amigos porque
siempre estuvieron
dispuestos a ayudarme.*

Yohana Isabel Pinzón Rodríguez

*A mis padres, que me han
dado tanto sin esperar
nada, a quienes debo todo
lo que soy y lo que quiero
llegar a ser.*

*A mis amigos y a mi
familia, ellos son mi gente
y quienes me muestran
porque vale la pena ver
cada día un nuevo
amanecer.*

Carlos Augusto Ramos Garavito

AGRADECIMIENTOS

Los autores agradecen a los profesores, de la Escuela de Ingeniería Eléctrica, Electrónica y Telecomunicaciones, especialmente al profesor José Alejandro Amaya y al profesor de la Escuela de Ingeniería Metalúrgica y Ciencia de los Materiales, Arnaldo Alonso Baquero. por toda su colaboración. A los técnicos del laboratorio de fundición, especialmente, Daniel Garavito Sepúlveda por su ayuda en la ejecución de pruebas y constante apoyo para la culminación de este trabajo. A todas las personas que de una u otra manera nos colaboraron en el desarrollo de este trabajo, . A nuestros familiares y amigos, en quienes encontramos un soporte constante durante la ejecución de este proyecto.

TABLA DE CONTENIDO

INTRODUCCIÓN	17
1. LOS TERMOPARES	19
1.1 EFECTOS TERMOELÉCTRICOS	19
1.2 TIPOS DE TERMOPARES	23
1.3 CÓDIGO DE COLORES.....	24
1.4 APLICACIÓN PRÁCTICA DE TERMOPARES	25
1.4.1 Ley de los circuitos homogéneos.....	25
1.4.2 Ley de los metales intermedios.....	25
1.4.3 Ley de las temperaturas sucesivas o intermedias.	26
1.4.4 Medición de temperatura utilizando un termopar tipo K.....	27
2. PLANTEAMIENTO Y DESCRIPCIÓN DEL HARDWARE DE ANÁLISIS	
TÉRMICO DUAL	31
2.1 ETAPAS	33
2.1.1 Adquisición y acondicionamiento de señal.....	34
2.1.2 Digitalización.....	34
2.1.3 Medición de temperatura de la unión de referencia.	34
2.1.4 Transmisión al PC.....	35
3. ADQUISICIÓN Y ACONDICIONAMIENTO DE SEÑAL	36
3.1 TERMOPARES TIPO K.....	36
3.2 TERMOPARES TIPO R,S.	36
3.3 CABLES Y CONECTORES.....	37
3.4 ALARMA POR DESCONEXIÓN.....	39
3.5 FILTRADO	40
3.6 MULTIPLEXADO Y AMPLIFICACIÓN.....	42
4. DIGITALIZACIÓN Y TRANSMISIÓN AL PC	45

4.1 CONVERSIÓN DE LAS SEÑALES DE LOS TERMOPARES.....	45
4.2 MEDICIÓN DE LA TEMPERATURA DE LA UNIÓN DE REFERENCIA.....	49
4.3 UNIDAD DE CONTROL	50
4.4 TRANSMISION AL PC.....	52
5. ESPECIFICACIONES TÉCNICAS DEL HATD	54
5.1 CARACTERÍSTICAS GENERALES	54
5.1.1 Resolución.....	54
5.1.2 Ruido eléctrico RMS @ 8,86 Hz.....	54
5.1.3 Frecuencia de operación.....	54
5.1.4 Ancho de banda.....	54
5.1.5 Detección de desconexión.....	54
5.1.6 Interfaz de comunicación.....	55
5.1.7 Fuente de alimentación.....	55
5.1.8 Temperatura de Operación.....	55
5.1.9 Consumo eléctrico.....	55
5.2 DESCRIPCIÓN GENERAL.....	55
5.2.1 Diagrama Simplificado del HATD.....	56
5.3 CARACTERÍSTICAS DE RENDIMIENTO TÍPICO.....	56
5.3.1 Gráficas típicas de ruido.....	56
5.3.2 Detección de desconexión.....	60
5.4 CÓDIGOS Y MODOS DE OPERACIÓN SOPORTADOS POR EL HATD.....	61
5.4.1 Modos de operación.....	61
5.4.2 Códigos de operación.....	62
5.5 ESQUEMA CIRCUITAL DEL HATD	65
5.6 CARACTERÍSTICAS FÍSICAS.....	67
5.6.1 Tamaño.....	67
5.6.2 Peso.....	67
6. ACTUALIZACIÓN DEL SOFTWARE DE ANÁLISIS TÉRMICO DUAL.....	68
6.1 VERIFICACION DE DISPONIBILIDAD DEL HATD	69
6.2 MÓDULO ERROR.....	70

6.3 MÓDULO CARGAR_CONFIG	70
6.4 MÓDULO CALIBRAR_HATD	71
6.5 MÓDULO RESTAURAR_CALIBRACIÓN.....	72
6.6 MÓDULO ADQUIRIR DATOS	72
6.7 IMPLEMENTACIÓN DE RUTAS RELATIVAS.....	73
6.8 DISMINUCIÓN DEL USO DE LOS RECURSOS DEL SISTEMA.....	74
6.9 CREACIÓN DE UN ASISTENTE AUTOMATIZADO DE INSTALACIÓN	75
6.10 BONUS SOFTWARE.....	76
CONCLUSIONES	78
RECOMENDACIONES.....	80
BIBLIOGRAFÍA	81
ANEXOS.....	83

LISTA DE FIGURAS

Figura 1. Efecto Seebeck.....	20
Figura 2. Efecto Peltier	21
Figura 3. Efecto Thompson.....	22
Figura 4. Corolario de la ley de los metales intermedios en circuitos de termopares	26
Figura 5. Ley de las temperaturas intermedias	26
Figura 6. Esquema de conexión básico de un termopar	27
Figura 7. Circuito termoeléctrico.	28
Figura 8. F.T.E.M. de salida Vs. Temperatura, para los tipos más comunes de termopares.....	37
Figura 9. Cable compensado.....	38
Figura 10. Conector para termopar.....	39
Figura 11. Diagrama funcional de la alarma por desconexión.	40
Figura 12. Región de señales deseadas e indeseadas en el espectro de frecuencia.	41
Figura 13. Filtro pasabajas de primer orden.	42
Figura 14. Proceso de multiplexado de las señales.....	43
Figura 15. Circuito utilizado en la generación del voltaje de polarización de los termopares.....	44
Figura 16. Diagrama de bloques del conversor A/D.	46
Figura 17. Respuesta en frecuencia del filtro digital.	48
Figura 18. Medición de la temperatura de la unión de referencia.	50
Figura 19. Unidad de control y dispositivos periféricos.....	52
Figura 20. Diagrama simplificado del HATD	56
Figura 21. Gráfica de ruido para el canal 1.....	57
Figura 22. Densidad espectral del ruido para el canal 1.....	57

Figura 23. Gráfica de ruido para el canal 2.....	58
Figura 24. Densidad espectral del ruido para el canal 2.....	58
Figura 25. Gráfica de ruido para el canal 2.....	59
Figura 26. Densidad espectral de ruido para el canal 3.....	59
Figura 27. Tiempo que tarda el canal 1 en detectar desconexión.....	60
Figura 28. Tiempo que tarda el canal 2 en detectar desconexión.....	60
Figura 29. Tiempo que tarda el canal 3 en detectar desconexión.....	61
Figura 30. Formato de envío de los datos de calibración.	63
Figura 31. Preparación de la fuente de alimentación.....	65
Figura 32. Adquisición y filtrado de las señales provenientes de los termopares.	65
Figura 33. Digitalización de las señales y medición de la unión de referencia.	66
Figura 34. Procesamiento de las señales y transmisión de datos.	66
Figura 36. Estructura física del HATD.....	67
Figura 37. Icono del subvi VERIFICAR_HATD.	69
Figura 38. Mensajes de error del módulo VERIFICAR_HATD.....	69
Figura 39. Icono del modulo ERROR y mensaje	70
Figura 40. Icono del modulo CARGAR_CONFIG	70
Figura 41. Menú de calibración por Hardware del HATD.....	71
Figura 42. Icono del módulo RESTAURAR_CALIBRACIÓN	72
Figura 43. Icono del módulo adquirir datos.....	73
Figura 44. Implementación de rutas relativas en Labview	74
Figura 45. Uso de CPU mediante el antiguo sistema de menús.....	75
Figura 46. Uso de CPU mediante la nueva implementación del sistema de menús.	75

LISTA DE TABLAS

Tabla 1. Termopares comunes.	23
Tabla 2. Código de colores para termopares y extensiones	24
Tabla 3. Resolución de los termopares en función de la ganancia.	47
Tabla 4. Tabla guía para decodificar información de los tres canales y del sensor de temperatura.....	64

LISTA DE ANEXOS

A. TABLAS DE TERMOPARES TIPO K, R ,S	84
B. EI BUS SPI	94
C. COSTO DE FABRICACIÓN DEL HATD	96
D. MANUAL DE USUARIO DEL HATD	97

TITULO*: HARDWARE DE ANÁLISIS TÉRMICO DUAL, HATD.

Autores: YOHANA ISABEL PINZÓN RODRÍGUEZ
CARLOS AUGUSTO RAMOS GARAVITO**.

Palabras claves: Análisis térmico, termopar, digitalización, USB, RS232, bus SPI, microcontrolador, Alarma por desconexión, LabVIEW.

Descripción o contenido: El Hardware de Análisis Térmico Dual, HATD, es un sistema capaz de realizar adquisición y acondicionamiento de señales provenientes de dos termopares tipo K y un termopar tipo R ó S, para su posterior digitalización y transmisión vía puerto USB a un PC. Una vez en el PC, los datos pueden ser analizados utilizando la herramienta de software SATD2 (segunda versión del Software de Análisis Térmico Dual).

El HATD realiza lecturas de sus tres canales y temperatura interna, en forma simultánea, a una frecuencia de muestreo de entre 0 y 9 Hz. La unidad de control empleada fue el microcontrolador PIC16F628A y la comunicación por bus USB se implementó mediante el circuito integrado FT232R. El hardware también cuenta con un sistema para detectar la desconexión de cualquiera de sus canales utilizando una fuente de corriente de 100nA embebida en el conversor A/D AD7792.

Para lograr compatibilidad entre el SATD y el HATD, fue necesario realizar modificaciones sobre la versión original del SATD, cambiando la forma como se realiza la adquisición de datos y agregando un modo de calibración por hardware. Además se realizaron otras modificaciones con el objetivo de brindar mayor facilidad de instalación y optimizar el uso de recursos del sistema operativo donde esté instalado el software.

* Trabajo de grado

** Facultad De Ingenierías Físico – Mecánicas, Escuela De Ingenierías Eléctrica, Electrónica y Telecomunicaciones. Director: José Alejandro Amaya Palacio

TITLE*: HARWARE OF ANALYSIS THERMO DUAL, HATD.

Authors: YOHANA ISABEL PINZON RODRIGUEZ
CARLOS AUGUSTO RAMOS GARAVITO **

Key words: Thermic analysis, thermocouple, digitalization, USB, RS232, SPI bus, microcontroller, alarm by disconnection, LabVIEW.

Description or content: The Hardware of Analysis Thermo Dual –HATD-, is a system able to do the acquisition and conditioning of signals which come from two thermocouples, one type K and the other type R or S, to its afterward digitalization and transmission to a PC by an USB port. When it is in the PC, the data can be analysing using a software tool SATD2 (second version of the Software of analysis thermo dual).

The HATD does readings of the three channels and the internal temperature, at the same time, with a sampling rate between 0 and 9 Hz. The unit of control using was the microcontroller PIC16F628A and the communication by USB bus was implemented by an integrated circuit FT232R. The hardware also has a system to detect the disconnection of any of their channels using a current source of 100nA embedding in the A/D converter AD7792.

To obtain the compatibility between the SATD and the HATD, it was necessary to make modifications on the original version of the SATD, changing the form how the data is acquired and adding a calibration mode by hardware. Moreover, other modifications were made with the specific objective of offer more installation facilities and to improve the use of the operated system resources, where the software can be set up.

* Degree project

** Physical- Mechanical Engineers Faculty, School of Electric, Electronic and Telecommunications Engineers.
Director: José Alejandro Amaya Palacio

INTRODUCCIÓN

Cuando se realiza un proceso de fundición, es indispensable conocer las características metalúrgicas del material antes de realizar el vertido en los moldes. Mediante las técnicas de análisis térmico dual, es posible realizar en pocos minutos control de calidad de fundiciones ferrosas y realizar las correcciones necesarias sobre el material que se encuentra en el horno, reduciéndose al mínimo la cantidad de piezas defectuosas y permitiendo además la certificación de calidad de la fundición.

La escuela de Ingeniería Metalúrgica y Ciencia de Materiales, actualmente cuenta con un sistema de análisis térmico simple llamado METLAB y con el Software de Análisis Térmico Dual (SATD), este último, desarrollado como trabajo de grado por estudiantes de la escuela de Ingeniería Eléctrica, Electrónica y Telecomunicaciones en el año 2004. El SATD puede ser usado en combinación con una versión modificada del hardware de adquisición de datos del METLAB para realizar análisis térmico dual.

En la actualidad, se desea tener un sistema de análisis térmico dual diseñado en su totalidad por la Universidad Industrial de Santander, para ésto es necesario diseñar y construir un nuevo hardware de adquisición de datos que pueda ser utilizado con el SATD. Este nuevo hardware debe poder reemplazar completamente al hardware de adquisición de datos del METLAB, además debe ser portable, económico y compatible con los sistemas de cómputo actuales.

En este trabajo de grado se diseñó y construyó el Hardware de Análisis Térmico Dual (HATD), que es un dispositivo capaz de adquirir señales de temperatura por

medio de termopares y medir las temperaturas de las uniones de referencia de éstos, para luego digitalizar y transmitir estas señales a un computador personal (PC), utilizando el bus USB. Una vez en el PC, estas señales son procesadas valiéndose de una nueva versión del SATD, actualizada durante el desarrollo del proyecto para hacerla compatible con este nuevo hardware además de tener nuevas funciones y brindar una mayor facilidad de uso e instalación.

El libro esta estructurado en 6 capítulos. En el primer capítulo, se presenta la fundamentación teórica y matemática de los termopares; los diferentes tipos existentes y su uso, finalmente se da un ejemplo práctico de cómo usar un termopar tipo K para realizar la medición de temperatura. En el capítulo dos se describe el HATD, enumerando las diferentes etapas que lo constituyen y describiendo de forma breve la función de cada una. En los capítulos tres y cuatro se describe de forma detallada el proceso de lectura, filtrado, amplificación, digitalización y transmisión de las señales al PC. El capítulo quinto contiene las especificaciones técnicas del HATD como su desempeño típico, los comandos y modos de operación soportados y el esquema circuital del mismo. El capítulo seis contiene una lista de todas las modificaciones y/o adecuaciones realizadas sobre el SATD original. Finalmente, se incluyen 4 anexos, entre los cuales se destaca el anexo D que es un manual completo de usuario, en el cual se describe todos los pasos necesarios para realizar el proceso de instalación y configuración del sistema HATD+SATD y también una guía para solucionar los mensajes de error que el software puede presentar.

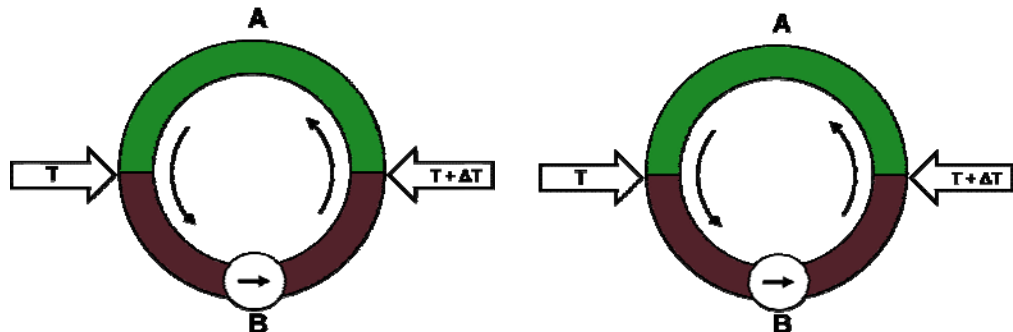
1. LOS TERMOPARES

Los termopares son ampliamente utilizados en la medición de temperatura principalmente por ofrecer un buena relación desempeño/precio; pertenecen al tipo de sensores denominados sensores generadores, llamados así por ser capaces de generar una señal eléctrica a partir de la magnitud que miden, sin necesidad de una alimentación eléctrica. Los termopares funcionan bajo un conjunto de principios denominados efectos termoeléctricos que son los que permiten la generación de señales eléctricas a partir de señales de temperatura.

1.1 EFECTOS TERMOELÉCTRICOS

En 1822 Thomas J. Seebeck descubrió que un circuito con dos metales distintos homogéneos, *A* y *B*, con dos uniones a diferente temperatura aparece una corriente eléctrica. Es decir, hay una conversión de energía térmica a energía eléctrica, o bien, si se abre el circuito, una fuerza termo-electromotriz (F.T.E.M) que depende de los metales y de la diferencia de temperatura entre las dos uniones.

Figura 1. Efecto Seebeck



Fuente: Elaborado por los autores, basado en la referencia [1]

La relación entre la F.T.E.M., E_{AB} , y la diferencia de temperatura entre las uniones, T , define el coeficiente Seebeck, S_{AB} (Ec. 1).

$$S_{AB} = \frac{dE_{AB}}{dT} = S_A - S_B \quad \text{Ec. 1}$$

Donde S_A y S_B son, respectivamente, la potencia termoeléctrica absoluta de A y B , característica de cada metal. En general, S_{AB} no es constante sino que depende de T , y suele crecer al aumentar T . La corriente que circula por el circuito depende de la resistencia de los conductores mientras que la F.T.E.M. no depende ni de la resistividad, ni de la sección, ni de la distribución o gradientes de temperatura. Esta fuerza electromotriz se debe al efecto Peltier y al efecto Thomson.

El efecto Peltier, descubierto por Jean C. A. Peltier en 1834, consiste en el calentamiento o enfriamiento de una unión entre dos metales distintos al pasar corriente por ella (ver figura 2). Al invertir el sentido de la corriente, se invierte también el sentido del flujo de calor. Este efecto es reversible e independiente del contacto, es decir, de la forma y dimensiones de los conductores. Depende sólo de su composición y de la temperatura de la unión. Esta dependencia es lineal y

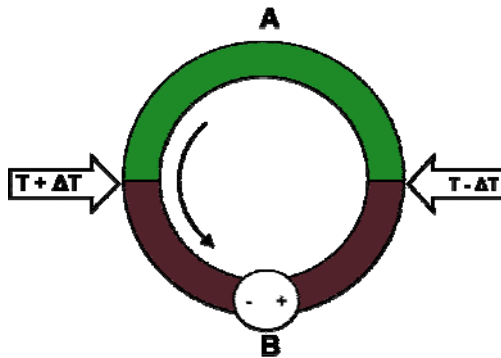
viene dada por el coeficiente de Peltier (π_{AB}) que se define como el calor generado en la unión entre A y B (Q_p) por unidad de corriente que circula de B a A (I) (Ec. 2).

$$dQ_p = \pm \pi_{AB} I dt \quad \text{Ec. 2}$$

Para una unión a temperatura absoluta T , se demuestra que

$$\pi_{AB=T} = T(S_B - S_A) = -\pi_{BA} \quad \text{Ec. 3}$$

Figura 2. Efecto Peltier



Fuente: Elaborado Por los autores, basado en la referencia [1].

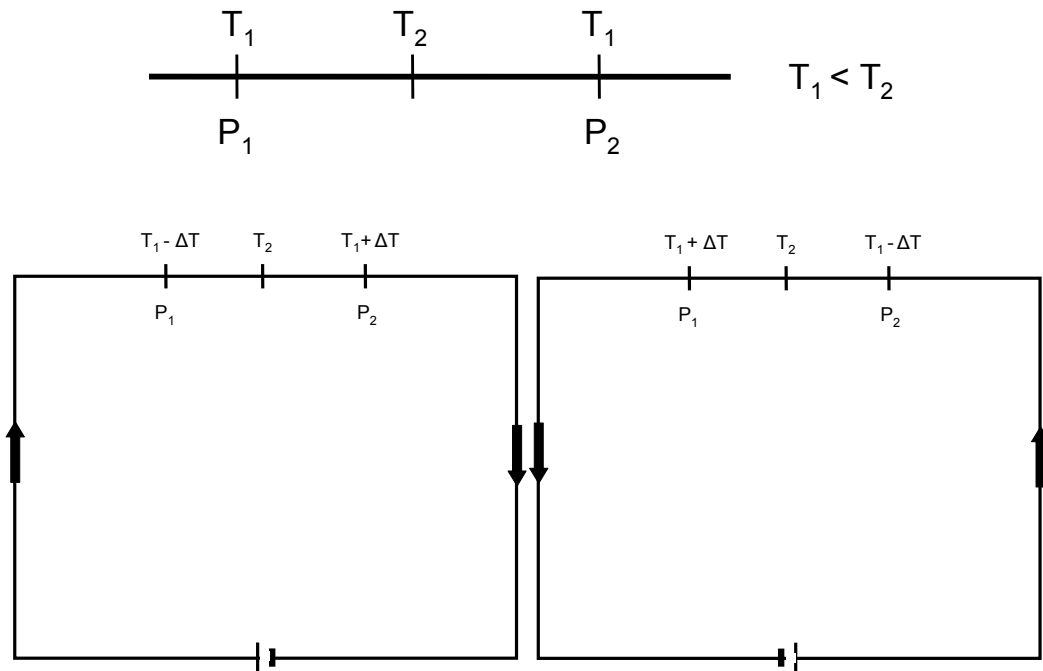
El efecto Thompson, descubierto por William Thompson (Lord Kelvin) en 1847-54, consiste en la absorción o liberación de calor por parte de un conductor homogéneo con temperatura no homogénea por el que circule una corriente (ver figura 3). El calor liberado es proporcional a la corriente (no a su cuadrado) y, por ello, cambia de signo al hacerlo el sentido de la corriente. Se absorbe calor al fluir corriente del punto más frío al más caliente, y se libera cuando fluye del más caliente al más frío.

El flujo neto de calor por unidad de volumen, q , en un conductor de resistividad r , con un gradiente longitudinal de temperatura, dT/dx , por el que circula una densidad de corriente i , será:

$$q = i^2 r - i\sigma(dT / dx) \quad \text{Ec. 4}$$

Donde σ es el denominado coeficiente Thompson.

Figura 3. Efecto Thompson



Fuente: Elaborado por los autores, basado en la referencia [1].

Si se considera que la corriente que circula a través del circuito es lo suficientemente pequeña para poder despreciar el efecto Joule, se pueden considerar exclusivamente los efectos termoeléctricos reversibles (Thompson y Peltier). Mediante un balance energético se puede obtener:

$$\frac{dE_{AB}}{dT} = \frac{d\pi_{AB}}{dT} + \sigma_B - \sigma_A \quad \text{Ec. 5}$$

La ecuación 5, indica que el efecto Seebeck es, de hecho, el resultado de los efectos Peltier y Thompson, y expresa el teorema fundamental de la termoelectricidad.

1.2 TIPOS DE TERMOPARES

Existen diversos tipos de termopares, cada uno de éstos pensado para alcanzar mayores temperaturas de fusión, mayor resistencia a la oxidación a temperaturas altas o una mayor linealidad, en la Tabla 1 se recogen las características de algunos de los termopares más comunes y su designación de acuerdo con las normas ANSI.

Tabla 1. Termopares comunes.

Designación ANSI	Composición	Rango Habitual (°C)	µV / Rango
B	Pt (6%) / Rodio-Pt (30%) / Rodio	38 – 1800	7,70
C	W (5%) / Renio-W (26%) / Renio	0 – 2300	16,0
E	Cromel – Constantan	0 – 982	76,4
J	Hierro – Constantan	0 – 760	56,5
K	Cromel – Alumel	-184 – 1260	39,2
N	Nicosil (Ni-Cr-Si) - Nisil (Ni-Si-Mg)	-270 – 1300	33,0
R	Pt (13%) / Rodio-Pt	0 – 1593	11,8
S	Pt (10%) / Rodio-Pt	0 – 1583	10,4
T	Cobre - Constantan	-184 – 400	44,9















Fuente: Elaborado por los autores.

Cuando no es posible llegar con el mismo cable del termopar al instrumento de medición se utilizan los llamados "cables compensados". Estos exhiben el mismo coeficiente de Seebeck del termopar (pero están hechos de otro material de menor valor comercial) y por tanto no generan termopares parásitos en los empalmes, además evitan las pérdidas de tensión e introducción de ruido.

1.3 CÓDIGO DE COLORES

Con el propósito de establecer uniformidad en la designación de los termopares y cables de extensión se han asignado colores para conectores y aislamientos que permiten identificar el tipo de termopar y su polaridad.

Tabla 2. Código de colores para termopares y extensiones

Código ANSI	Código de color	
	Termopar	Extensión
B	No establecido	
C	No establecido	
E		
J		
K		
N		
R	No establecido	
S	No establecido	
T		

Fuente: Elaborado por los autores.

.4 APLICACIÓN PRÁCTICA DE TERMOPARES

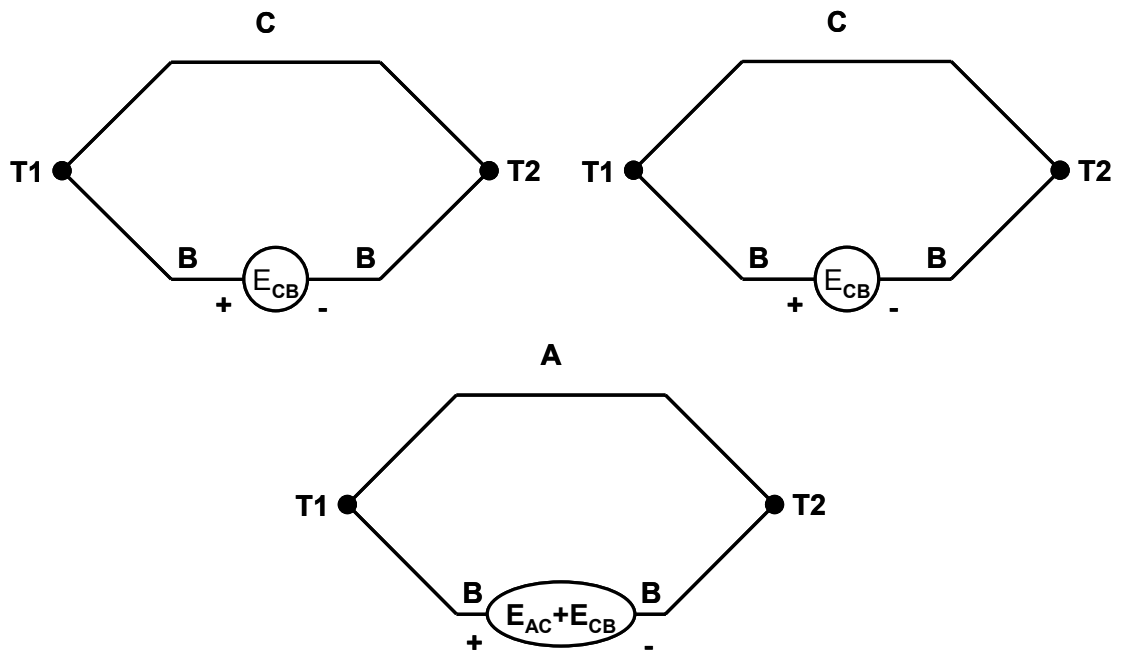
En la medición de temperatura con termopares pueden aparecer circuitos termoeléctricos aparentemente complejos o difíciles de analizar, pero existen una serie de leyes verificadas experimentalmente, que simplifican en gran manera el análisis de circuitos con termopares.

1.4.1 Ley de los circuitos homogéneos. En un circuito de un único metal homogéneo, no se puede mantener una corriente termoeléctrica mediante la aplicación exclusiva de calor aunque se varíe la sección transversal del conductor.

1.4.2 Ley de los metales intermedios. La suma algebraica de las F.T.E.M. en un circuito compuesto de un número cualquiera de metales distintos es cero si todo el circuito está a una temperatura uniforme. Esto significa que se puede intercalar un instrumento de medida sin añadir errores, siempre y cuando las nuevas uniones estén a la misma temperatura.

Un corolario de esta ley es que si se conoce la relación térmica de dos metales distintos con un tercero se puede encontrar la relación entre los dos primeros (Figura 4). Por lo tanto, no hace falta calibrar todos los posibles pares de metales para conocer la temperatura correspondiente a la F.T.E.M. detectada con un par determinado. Basta conocer su comportamiento con un tercero.

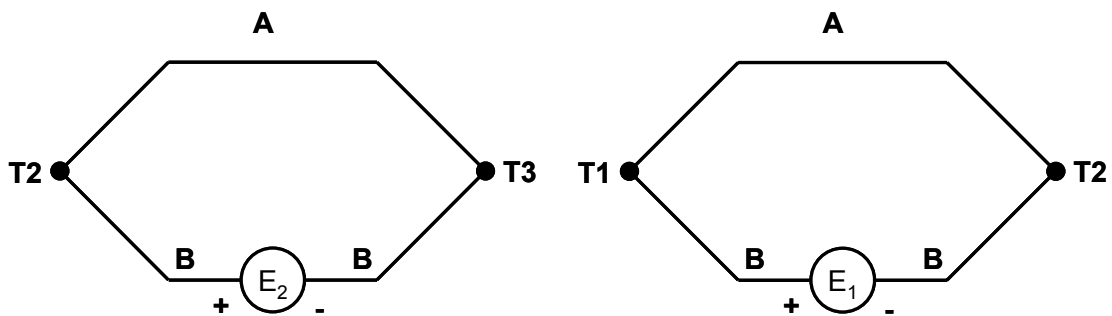
Figura 4. Corolario de la ley de los metales intermedios en circuitos de termopares

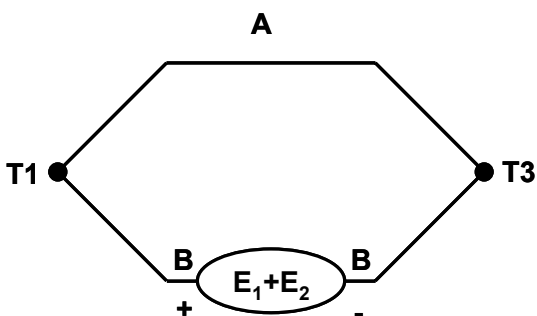


Fuente: Elaborado por los autores, basado en la referencia [1].

1.4.3 Ley de las temperaturas sucesivas o intermedias. Si dos metales homogéneos distintos producen una F.T.E.M. E_1 cuando las uniones están a T_1 y T_2 , y una F.T.E.M. E_2 cuando las uniones están a T_2 y T_3 , la F.T.E.M cuando las uniones estén a T_1 y T_3 será $E_1 + E_2$ (figura 5)

Figura 5. Ley de las temperaturas intermedias

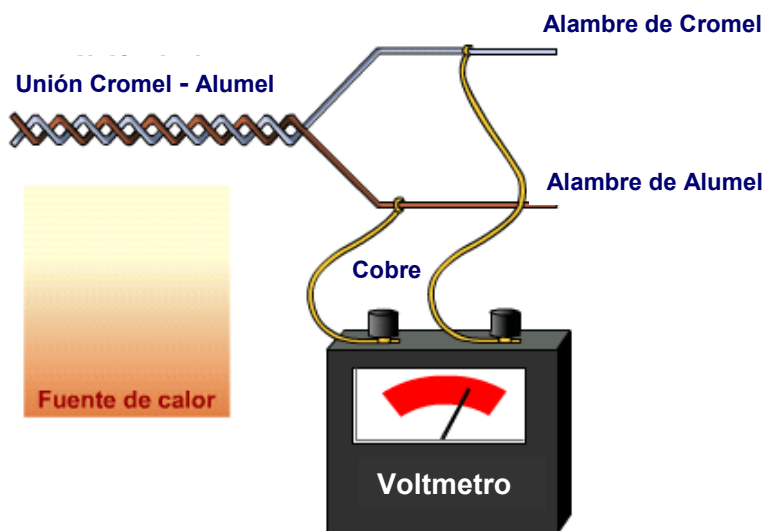




Fuente: Elaborado por los autores, basado en la referencia [1].

1.4.4 Medición de temperatura utilizando un termopar tipo K. En la figura 6 se puede apreciar el esquema de conexión básico de un termopar tipo K. Como puede verse la unión de los alambres de cromel y alumel, que en adelante se llamara unión de prueba, es expuesta a la fuente de calor que se desea medir, mientras se conecta un voltmetro a los dos terminales restantes del termopar.

Figura 6. Esquema de conexión básico de un termopar



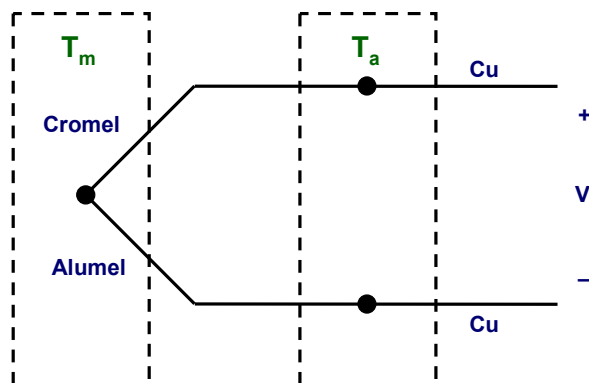
Fuente: Referencia [10]

Se deduce que el voltmetro marcará una tensión que será función de la diferencia de temperatura existente entre la fuente de calor y los puntos de las uniones cobre-cromel y cobre-alumel, llamadas uniones de referencia o uniones frías.

Generalmente lo que se desea es la medición de temperatura de la fuente de calor. Esto se podría lograr forzando una temperatura de 0°C en las uniones de prueba, sumergiéndolas por ejemplo en hielo fundente. Esta es una solución de gran exactitud y fácil montaje, pero de difícil mantenimiento y alto costo. Otra solución consiste en emplear la llamada compensación electrónica de las uniones de referencia, donde se deja que éstas sufran las variaciones de la temperatura ambiente, pero detectando los cambios con otro sensor dispuesto en su vecindad, para luego sumar una tensión igual a la generada en las uniones frías.

Así, por ejemplo, si desea medir temperatura utilizando un termopar tipo K se podría recurrir a un montaje como el empleado en la figura 6, donde el terminal protegido con aislante de color amarillo del termopar (cromel) se conecta al terminal positivo del voltmetro, mientras el terminal protegido con aislante de color rojo (alumel) se conectaría al terminal negativo del voltmetro, ahora suponiendo que los terminales del voltmetro son de cobre se tendría un circuito termoeléctrico como el mostrado en la figura 7.

Figura 7. Circuito termoeléctrico.



Fuente: Elaborada por los autores

Si se considera que por los hilos del termopar circularán corrientes muy pequeñas, por ser muy alta la impedancia de entrada del voltmetro, la ecuación para la tensión de salida V será:

$$V_{(Cu/Cromel) | Ta} + V_{(Cromel/alumel) | Tm} + V_{(Alumel/Cu) | Ta} = V \quad \text{Ec. 6}$$

Aplicando la ley de los metales intermedios podemos escribir esta ecuación como:

$$V_{(Alumel/Cromel) | Ta} + V_{(Cromel/alumel) | Tm} = V \quad \text{Ec. 7}$$

Que puede ser rescrita como:

$$V_{(Cromel/alumel) | Tm} - V_{(Cromel/Alumel) | Ta} = V \quad \text{Ec. 8}$$

$$V_{(Cromel/alumel) | Tm} = V + V_{(Cromel/Alumel) | Ta} \quad \text{Ec. 9}$$

Teniendo en cuenta que las tensiones termoeléctricas de los principales tipos de termopares se encuentran tabuladas (anexo A), entonces se puede calcular la tensión de la unión Cromel/Alumel (termopar tipo K) a temperatura ambiente (Ta).

De esta forma si la temperatura ambiente es de 23°C se tendrá:

$$V_{(Cromel/Alumel) | Ta} = 0.919mV \quad \text{Ec. 10}$$

Ahora suponiendo que el valor de la tensión V medida a la salida del termopar es de 30mV entonces:

$$V_{(Cromel / alumel)} |_{T_m} = 30mV + 0.919mV = 30.919mV \quad \text{Ec.11}$$

Recurriendo de nuevo a las tablas para termopares tipo k podemos ver que

$$\begin{aligned} V_{(Cromel / alumel)} |_{742^{\circ}C} &= 30.881mV \\ V_{(Cromel / alumel)} |_{743^{\circ}C} &= 30.923mV \end{aligned} \quad \text{Ec. 12}$$

Utilizando una interpolación lineal podemos obtener el valor de T_m , que será de $742.9^{\circ}C$.

2. PLANTEAMIENTO Y DESCRIPCIÓN DEL HARDWARE DE ANÁLISIS TÉRMICO DUAL

El análisis térmico de las fundiciones ferrosas se realiza vertiendo muestras que se dejarán enfriar en copas de arena recubiertas de telurio y alúmina para forzar la solidificación blanca y gris, respectivamente. A lo largo del proceso de enfriamiento se censa y tabula la temperatura de las muestras a intervalos iguales de tiempo, para generar una curva con la variación de ésta como una función del tiempo. A partir de esta curva y sus derivadas se pueden deducir las características metalúrgicas de la fundición, utilizando técnicas de análisis térmico. Un sistema que permita realizar el análisis térmico de las curvas de enfriamiento en solidificación blanca y gris en simultánea se denomina dual, caso contrario se le conoce como simple.¹

En la actualidad, la Universidad Industrial de Santander dispone de un sistema de análisis térmico simple llamado METLAB y también del Software de Análisis Térmico Dual (SATD), que permite realizar análisis térmico dual, utilizando el hardware de adquisición de datos de METLAB con algunas modificaciones. En estos sistemas la lectura de las temperaturas es realizada por medio de tres termopares, dos de ellos ubicados en el centro de las copas de arena y el tercero incrustado en la punta de una lanza de inmersión. Las señales analógicas provenientes de los termopares son digitalizadas utilizando la unidad conversora de METLAB y luego enviadas por medio del puerto serie

¹ Más información acerca de la fundamentación teórica y matemática de las fundiciones y el análisis térmico puede ser encontrada en el capítulo 1 de la referencia bibliográfica [3].

(RS232) [11] a un PC para ser procesadas, utilizando el software del sistema METLAB o el SATD².

El Hardware de Análisis Térmico Dual (en adelante abreviado como HATD), permite realizar análisis térmico de copa dual, utilizando los mismos termopares; mientras que el procesamiento de las señales de temperatura puede ser realizado utilizando una versión modificada del SATD. Por tanto el HATD constituye un reemplazo de la unidad conversora de METLAB, pero proporcionando las siguientes ventajas:

- Portabilidad. La unidad conversora del METLAB es difícil de transportar, pues es una caja metálica de 508 mm de ancho por 508 mm de largo y 200 mm de alto, con un peso de 11 kg, además requiere una fuente de alimentación externa de 120Vrms AC. Mientras que HATD es pequeño y liviano (mide 6,5 cm de ancho por 13 cm de largo y 4,5 cm de alto y pesa 160 gramos) y al ser un dispositivo de bajo consumo, toda la energía eléctrica requerida para su funcionamiento puede ser tomada del bus USB.
- Compatibilidad con sistemas de cómputo actuales. Es común que los PC actuales dispongan de una gran cantidad de puertos para dispositivos USB, mientras que no disponen de ningún puerto serie (RS232), esto dificulta el uso de la unidad de adquisición de datos del METLAB con computadores nuevos, mientras que el HATD utiliza el bus USB y conectores estándar para la comunicación con el PC.
- Independencia tecnológica. La propiedad intelectual del sistema METLAB es de una empresa privada externa, mientras la combinación

² Una descripción detallada de los sistemas METLAB y SATD puede ser encontrada en el capítulo 2 de la referencia bibliográfica [3].

SATD+HATD conforman un sistema funcional cuya propiedad intelectual es por completo de la Universidad Industrial de Santander, pudiéndose introducir mejoras futuras, adaptarlo a un conjunto de necesidades específicas o comercializarlo dentro del sector metalúrgico.

- Precio. El sistema de adquisición de datos de METLAB está basado en el módulo 6B11³ (siendo necesario uno por cada termopar); éste es un módulo de propósito específico y muy altas prestaciones, pero debido a ésto, también muy costoso, encareciendo cualquier reparación o ampliación que tuviese lugar. Mientras El HATD está fabricado aprovechando dispositivos electrónicos de propósito general y bajo costo.

2.1 ETAPAS

El SATD funciona realizando una gran cantidad de operaciones numéricas y lógicas sobre un conjunto de señales que representan temperaturas, presentando al usuario el resultado de estas operaciones de forma clara en tiempo real. Debido a la complejidad de las operaciones y la velocidad con que se deben realizar, es necesario contar con un equipo que brinde una considerable capacidad de cómputo, y también de herramientas que faciliten su programación. Los PC satisfacen ambos requerimientos además de tener un bajo costo, pero para que las señales puedan ser utilizadas en un PC tienen que ser digitales. El HATD es el encargado de realizar las transformaciones necesarias sobre las señales de temperatura originales en un proceso de cuatro etapas así:

³ Este es un módulo utilizado para el acondicionamiento y digitalización de señales provenientes de termopares, producido por la empresa Analog Devices Instruments y tiene un costo de \$156.82 dólares/unidad, directamente con el fabricante.

2.1.1 Adquisición y acondicionamiento de señal. Para realizar la lectura de las señales de temperatura son utilizados termopares que se encargan de entregar señales análogas en mV equivalentes a cada una de las temperaturas tomadas de los crisoles y de la lanza de inmersión. Adicional a esto, se debe tener en cuenta que el hardware de adquisición de datos debe estar retirado del lugar de medición, por lo cual el cable de los termopares es insuficiente, haciéndose necesario la utilización de “cables compensados”⁴, los cuales exhiben un coeficiente de Seebeck igual al de los termopares, por lo tanto no generan tensiones parásitas en los empalmes, y además evitan las pérdidas de tensión e introducción de ruido; aún así también es necesario que dentro del acondicionamiento de señal se haga filtrado en cada uno de los canales con el fin de eliminar señales indeseadas que puedan degradar la señal de interés.

2.1.2 Digitalización. La digitalización o conversión analógica-digital (conversión A/D) consiste básicamente en realizar de forma periódica medidas de la amplitud de la señal y traducirlas a un lenguaje numérico; etapa que se hace necesaria para que las señales provenientes de los termopares puedan ser fácilmente procesadas a través de un PC.

2.1.3 Medición de temperatura de la unión de referencia. Con el fin de realizar una compensación de las uniones de referencia, se dispone de un sensor digital de temperatura que se utiliza para establecer la temperatura ambiente que se supone igual a la de la unión de referencia del conector, proporcionando un punto de medida para que mediante el uso del PC y el Software de Análisis Térmico Dual se pueda calcular periódicamente la temperatura de la unión de medida externa y se pueda sumar digitalmente una tensión igual a la generada en las uniones frías.

⁴ Estos cables tienen características termoeléctricas iguales a las de los termopares, pero fabricados utilizando materiales sustitutos de menor precio.

2.1.4 Transmisión al PC. Una vez el flujo de bits está listo para ser enviado al PC, es necesario establecer un protocolo de comunicación (HATD-PC), que para este caso y con el fin de obtener un producto que se adapte fácilmente a la tecnología actual se ha optado por escoger la norma USB de comunicación serial que actualmente viene implementada en cualquier PC.

3. ADQUISICIÓN Y ACONDICIONAMIENTO DE SEÑAL

El Hardware de Análisis Térmico Dual (HATD) está diseñado para reemplazar la unidad conversora del sistema METLAB por tanto es necesario que esté provisto de tres canales, dos de éstos diseñados para recibir señales de entrada provenientes de termopares tipo K y el otro capaz de recibir adecuadamente señales provenientes de un termopar tipo R ó S.

3.1 TERMOPARES TIPO K.

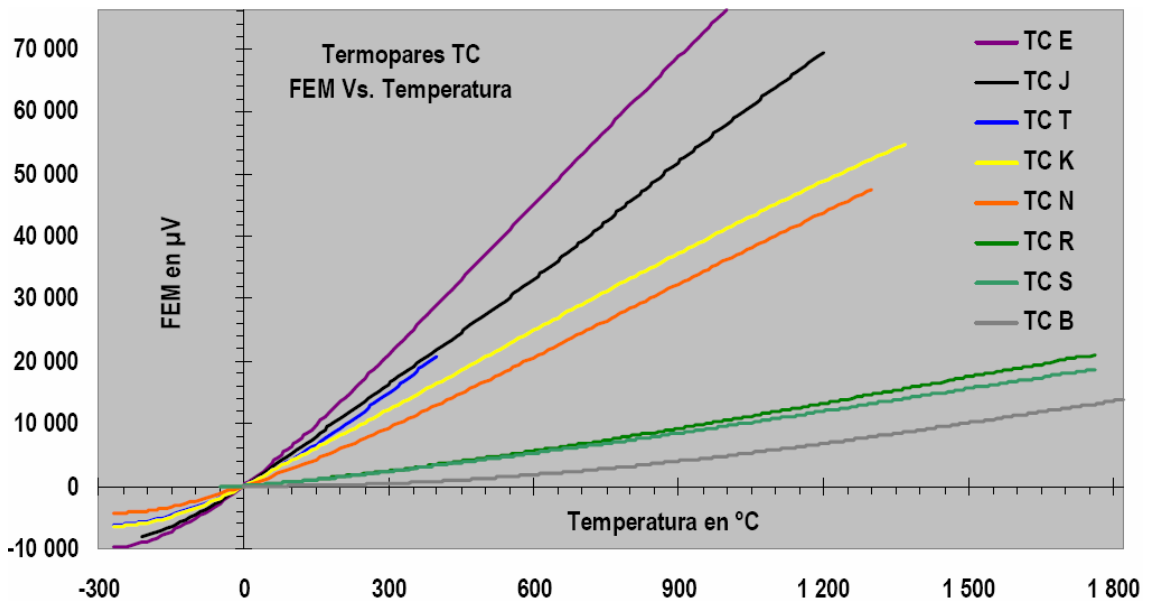
Este tipo de termopares se caracteriza por tener un amplio rango lineal y una considerable sensibilidad ($40.06\mu\text{V}/^\circ\text{C}$ en promedio), lo que los hace idóneos para ser usados en fundiciones metalúrgicas. Estos termopares son utilizados para el censado de las muestras vertidas en las copas. Utilizando la tabla para termopares tipo K (Ver anexo A), se puede observar que se espera una tensión de salida máxima de $54.886\text{mV @ }1372^\circ\text{C}$.

3.2 TERMOPARES TIPO R,S.

La medición de la temperatura promedio de la fundición se realiza utilizando una lanza de inmersión recubierta con una funda desechable para evitar que dañe la lanza; la temperatura a medir en este caso es mayor que la de las muestras que se vierten en las copas y por tanto se hace necesario el uso de termopares con un mayor rango de medida. Los termopares tipo R ó S pueden alcanzar rangos de hasta 1768°C y por tanto son adecuados para realizar esta medición. Como punto

en contra, se tiene que poseen una menor linealidad y sensibilidad ($11.98\mu\text{V}/^\circ\text{C}$ para el tipo R y $10.57\mu\text{V}/^\circ\text{C}$ en el tipo S) respecto a los termopares tipo K (Ver Figura 8).

Figura 8. F.T.E.M. de salida Vs. Temperatura, para los tipos más comunes de termopares.



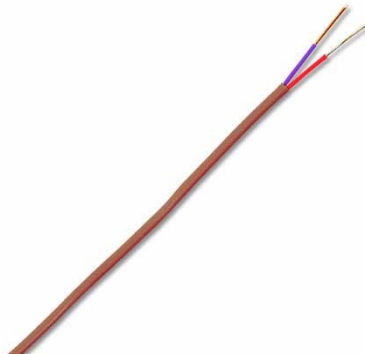
Fuente: <http://www.metas.com.mx/guiametas/La-Guia-MetAs-02-07-TC.pdf>.

3.3 CABLES Y CONECTORES.

Debido a las condiciones extremas que se pueden alcanzar cerca del lugar donde se realiza la fundición, no es recomendable dejar instrumentos electrónicos delicados en lugares próximos, por tanto es necesario que el hardware de adquisición de datos y el PC, se encuentren retirados. Los termopares vienen provistos de cables, pero éstos rara vez superan el metro de longitud, haciéndose necesario el uso de extensiones para aumentar el alcance; los cables para las

extensiones no pueden ser de cualquier material, pues si estos exhibiesen un coeficiente de Seebeck muy distinto al de los termopares se producirían uniones parásitas, que al estar apartadas del hardware de adquisición de datos y muy cerca del sitio de la fundición, podrían alcanzar temperaturas muy diferentes a las del hardware de adquisición, introduciendo errores en la compensación electrónica de la unión de referencia. Estos cables especiales se denominan cables compensados y son fabricados con distintas aleaciones dependiendo del tipo de termopar al cual se deseen empalmar; el color del aislante en éstos sigue el mismo código que el de los aislantes para los cables de los termopares, amarillo en termopares tipo K y verde en termopares tipo R ó S. Es importante observar que el conductor de estos cables tiene un calibre considerable, ésto para disminuir la resistencia del mismo y disminuir las pérdidas por atenuación.

Figura 9. Cable compensado.

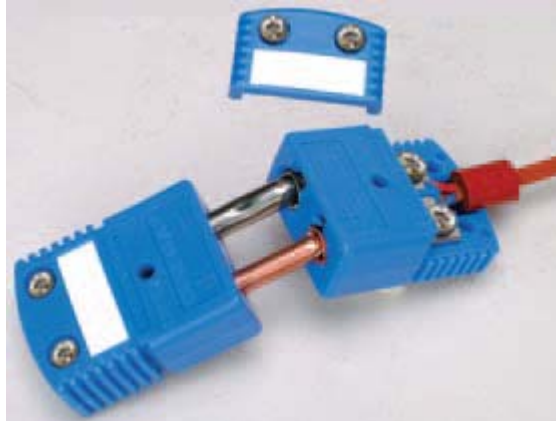


Fuente: <http://www.omega.com>

Los conectores utilizados para realizar los distintos empalmes también son especiales, por las mismas razones que los cables. Estos conectores deben permitir una conexión “firme” para evitar que se desprendan al ser tensionados o que se produzcan interferencias eléctricas al ser manipulados. El color de los conectores sigue la misma norma que en el caso de los cables, mientras que el tamaño de estos puede variar. En el caso del HATD se utilizan conectores de tamaño estándar, que tienen la punta de conexión del terminal negativo más

gruesa que la del positivo para evitar que por error en la conexión, se invierta la polaridad de los termopares.

Figura 10. Conector para termopar.



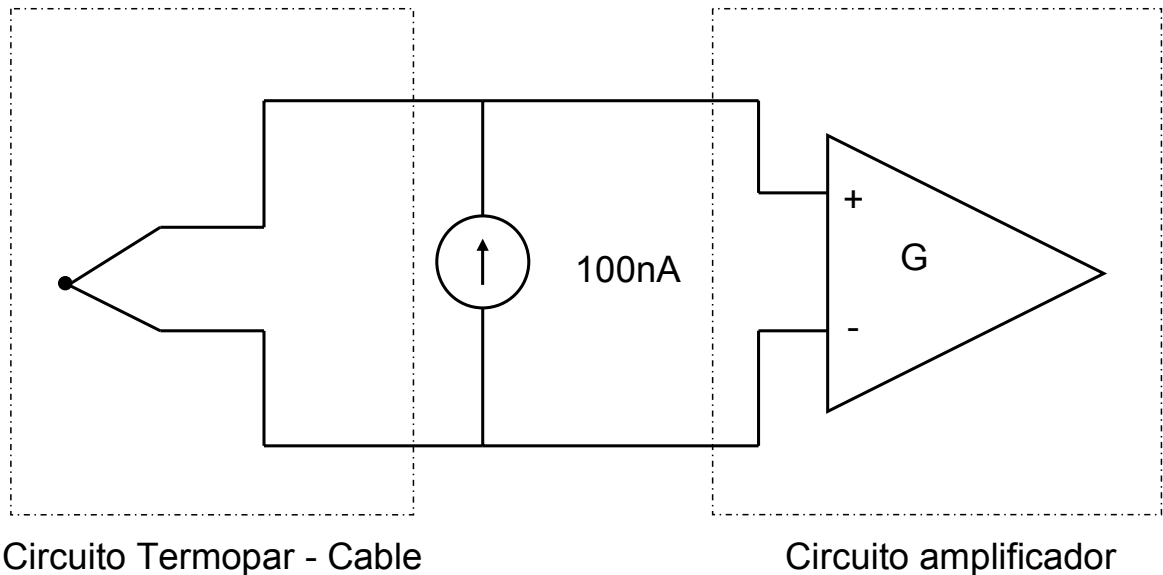
Fuente: <http://www.omega.com>

3.4 ALARMA POR DESCONEXIÓN

Para poder realizar un correcto análisis térmico, es necesario conocer el estado de los distintos sensores antes de iniciar la adquisición de los datos o el vertido de las muestras. Debido a que es fácil que por error uno o más termopares se encuentren desconectados o que las copas o la funda de la lanza no se encuentren en posición correcta, se hace necesario brindar al usuario una herramienta que permita conocer en tiempo real el estado de las distintas conexiones.

La alarma por desconexión se implementó mediante una fuente de corriente que hace circular una corriente directa de 100nA a través del circuito compuesto por el cable de extensión y el termopar, en paralelo con la etapa de entrada del circuito amplificador.

Figura 11. Diagrama funcional de la alarma por desconexión.



Fuente: Elaborada por los autores.

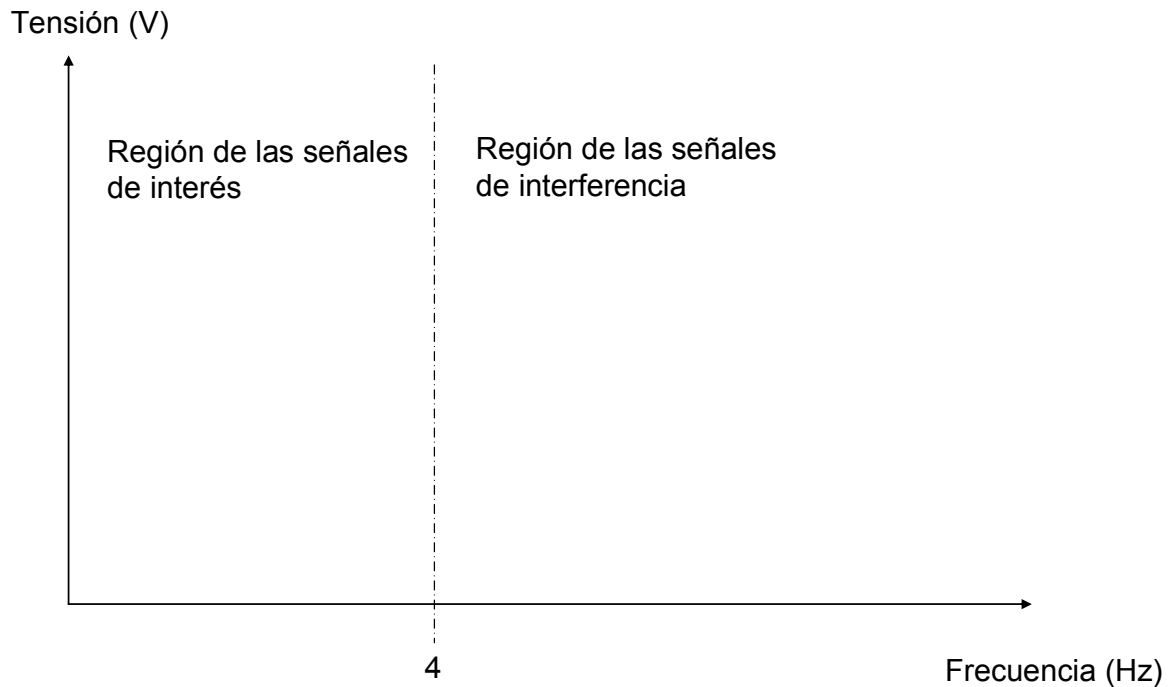
Como puede verse en la figura 11, en caso de que se interrumpa en cualquier punto el circuito Termopar – Cable, se forzaría la circulación de los 100nA exclusivamente a través de la etapa de entrada del circuito amplificador, que al exhibir una resistencia de entrada muy elevada, se saturará, produciendo a la salida del amplificador la máxima tensión, lo que disparará la alarma por desconexión.

3.5 FILTRADO

En un ambiente industrial, es muy usual una fuerte presencia de señales eléctricas que se combinan con las señales de interés provenientes de los termopares, dificultando o imposibilitando el análisis de la información contenida en las señales de interés. Estas señales eléctricas no deseadas se conocen como interferencias eléctricas y abarcan un amplio espectro de frecuencias, yendo desde unos pocos hertz hasta varias decenas de giga hertz; mientras que las señales de temperatura

a medir, son señales de baja frecuencia, así en el caso del hardware de adquisición de datos del METLAB el ancho de banda es de 4Hz. De ahí se pueden identificar dos regiones en el espectro de frecuencia como se muestra en la figura 12.

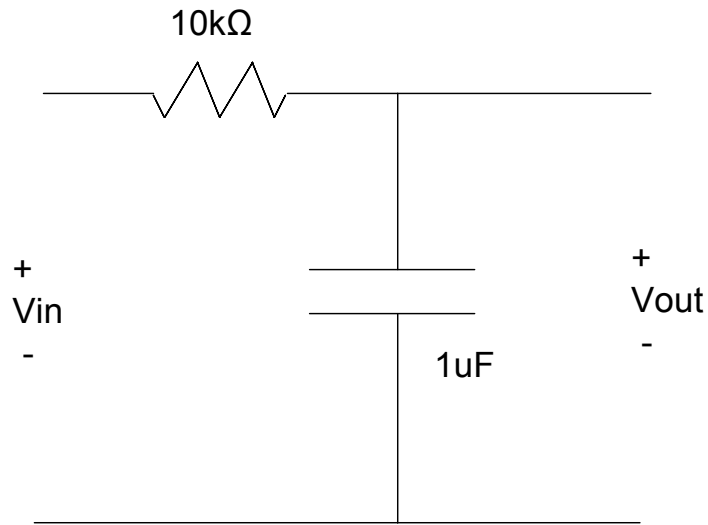
Figura 12. Región de señales deseadas e indeseadas en el espectro de frecuencia.



Fuente: Elaborada por los autores.

Es entonces posible eliminar la gran mayoría de las interferencias mediante un filtrado de frecuencias. En el caso del HATD el filtrado se implementó mediante un filtro pasabajos de primer orden con una frecuencia de corte de 15.91Hz, este filtro está construido como se muestra en la figura 13, este filtro exhibe una ganancia de 0,962V/V @ 4Hz.

Figura 13. Filtro pasabajas de primer orden.



Fuente: Elaborada por los autores.

Donde V_{in} corresponde a la tensión de salida de los termopares, mientras V_{out} es la tensión a la salida del filtro que será aplicada al circuito amplificador.

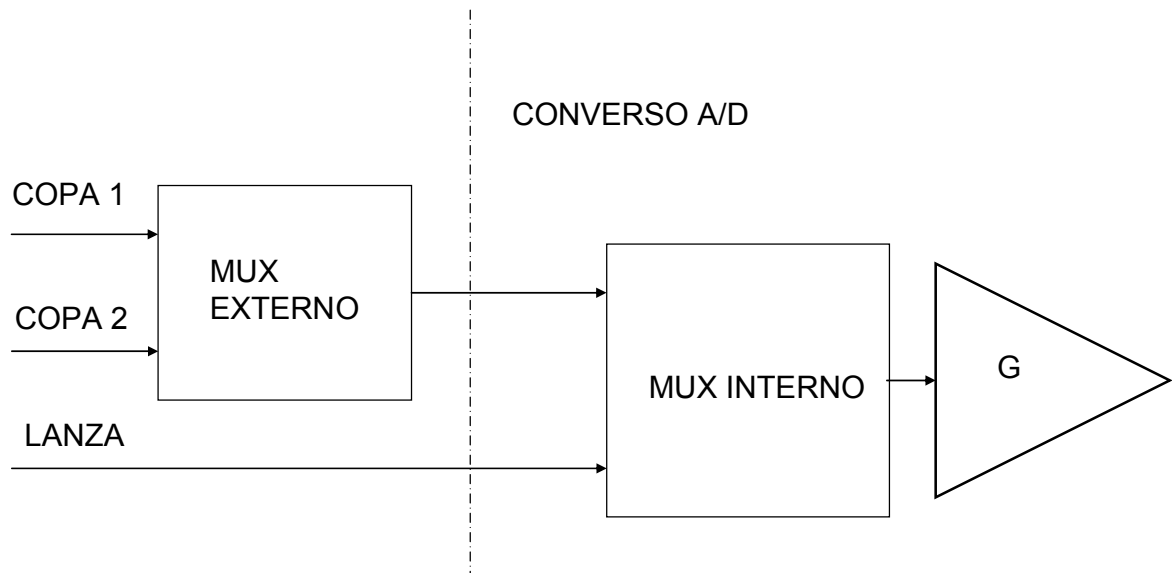
Es importante anotar que la corriente utilizada para la alarma por desconexión también pasará a través del filtro; al tratarse de una corriente directa, ésta verá al capacitor como si se tratase de un circuito abierto y sólo pasará a través de la resistencia provocando una tensión en los terminales del resistor igual a 1mV , que debe ser luego substraída para evitar errores.

3.6 MULTIPLEXADO Y AMPLIFICACIÓN.

Aunque ya las señales de interés han sido filtradas y por tanto se pueden considerar “limpias” de interferencias, éstas aún no están listas para ser digitalizadas debido a su bajo nivel de tensión, pues las señales provenientes de los termopares no superan unas pocas decenas de milivolts. La amplificación de las señales provenientes de los tres termopares es realizada con un mismo

amplificador de ganancia programable embebido en el conversor A/D, para poder hacer ésto es necesario realizar primero un proceso de multiplexado.

Figura 14. Proceso de multiplexado de las señales.



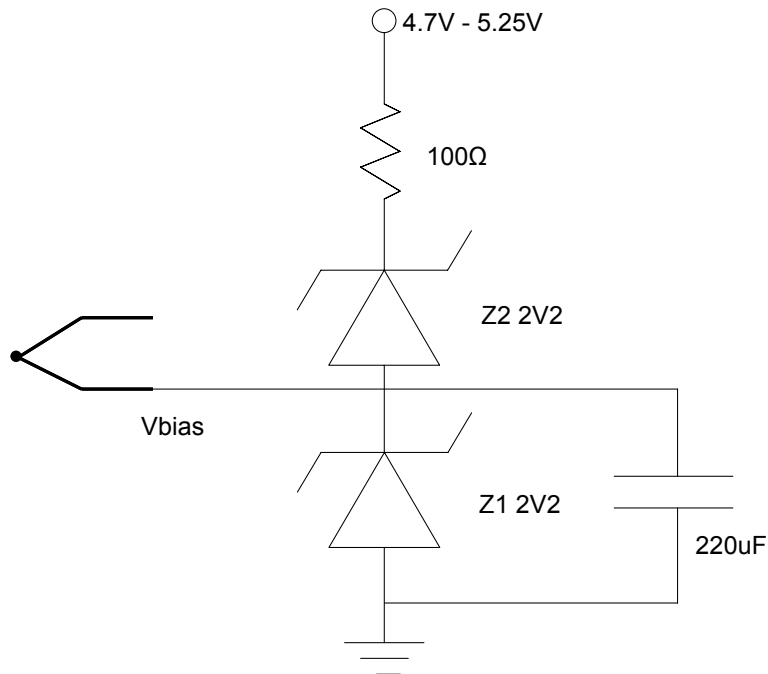
Fuente: Elaborada por los autores.

Como puede verse en la figura 14, el multiplexado es realizado en dos etapas, en la primera, las señales provenientes de las copas son multiplexadas utilizando un MUX externo (ADG659), luego la salida de este MUX es de nuevo multiplexada con la señal proveniente de la lanza utilizando un MUX embebido en el conversor A/D. La ganancia del amplificador es variada de acuerdo a si la señal proviene de una de las copas (termopar tipo K) o si proviene de la lanza (termopar tipo R ó S), en el primer caso la ganancia seleccionada será de 16V/V y en el segundo de 32V/V, de esta forma la señal a la salida del amplificador variará entre 16mV-894,18mV ó 32mV-707,232mV, respectivamente.

El rango de entrada en modo común del amplificador utilizado, está entre 300mV y 3.9V, utilizando una fuente de alimentación de 5V. Para garantizar el correcto

funcionamiento del amplificador, es necesario polarizar el terminal negativo de los termopares, esto es realizado mediante el circuito mostrado en la figura 14.

Figura 15. Circuito utilizado en la generación del voltaje de polarización de los termopares.



Fuente: Elaborada por los autores

La resistencia de 100Ω se utiliza para limitar la corriente máxima que circulará por el circuito de polarización; Z1 se utiliza garantizar un nivel de tensión constante en el rango de variación en DC de la fuente de alimentación, mientras que el capacitor de $220\mu\text{F}$ es utilizado para evitar que la variaciones en AC de la fuente de alimentación puedan afectar V_{bias}.

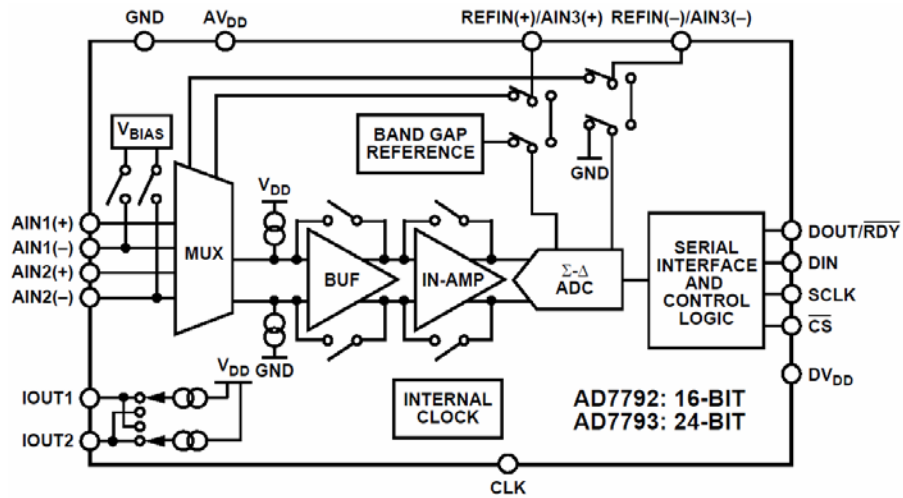
4. DIGITALIZACIÓN Y TRANSMISIÓN AL PC

4.1 CONVERSIÓN DE LAS SEÑALES DE LOS TERMOPARES.

En el proceso de digitalización, las señales analógicas provenientes de los termopares son muestreadas y discretizadas para finalmente ser convertidas a un flujo de bits, este proceso de digitalización es realizado mediante el conversor AD7792 producido por ANALOG DEVICES. Se escogió este conversor por tener una resolución de 16bits y tener un circuito amplificador interno de alta resistencia de entrada y bajo ruido (85nVrms @ 16.7Hz), además de tener embebidas dos fuentes de corriente de 100nA que pueden ser utilizadas como alarma por desconexión. Este conversor tiene una referencia interna de tensión de 1.17V lo que evita la necesidad de tener que utilizar referencias externas para establecer los rangos de conversión⁵.

⁵ Información adicional del conversor A/D puede encontrarse en el datasheet del AD7792 en la página web del fabricante.

Figura 16. Diagrama de bloques del convertor A/D.



Fuente: Datasheet del convertor AD7792 disponible en www.analog.com [14]

La resolución del convertor puede ser calculada utilizando la ecuación 13.

$$R = \frac{1.17}{G * 2^{16}} \quad \text{Ec. 13}$$

Donde R es la resolución en volts, G la ganancia y 1.17 es la tensión de referencia interna del convertor.

La ganancia debe ser seleccionada de tal forma que cuando se produzca la máxima señal de entrada posible, la tensión a la salida del amplificador sea menor a 1.17V; obteniéndose una ganancia de 16V/V para termopares tipo K y de 32V/V para tipo los del tipo R ó S.

Tabla 3. Resolución de los termopares en función de la ganancia.

Tipo de termopar	Ganancia (V/V)	Resolución (nV)	Resolución (m°C)
K	16	1115	27,85
R	32	557,9	46,57
S	32	557,9	52,78

Fuente: Elaborada por los autores.

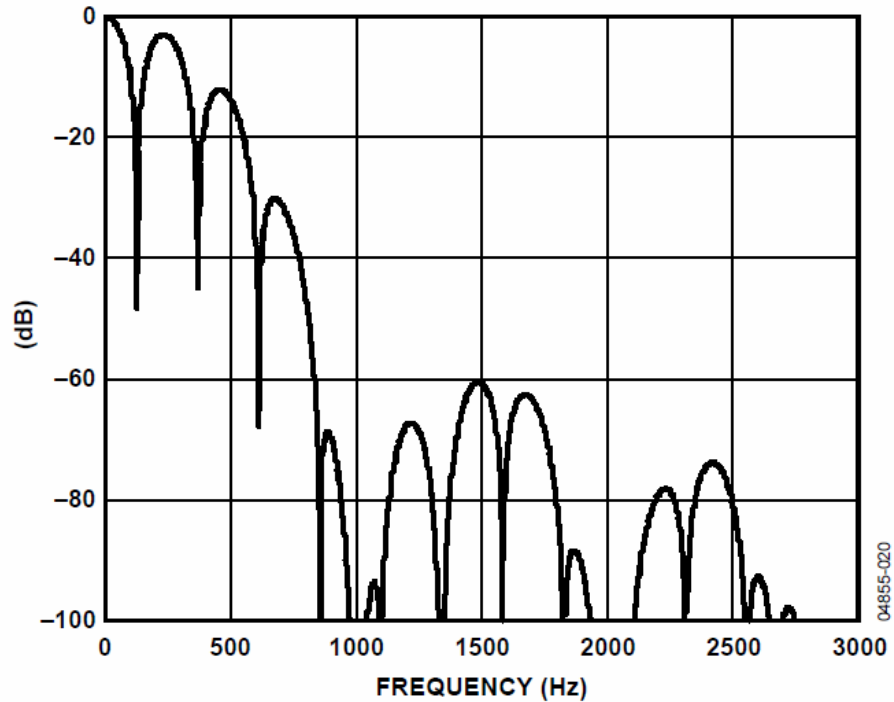
Este conversor también posee un modo de calibración que permite configurar el nivel de cero del sistema; esta calibración es de utilidad para eliminar o mitigar el efecto de tensiones de offset aplicadas a la entrada del circuito amplificador. En el caso del HATD, éste fue el método utilizado para la eliminación del offset producido por la circulación de la corriente de 100nA a través de la resistencia utilizada en el circuito de filtrado.

El conversor A/D es de tres canales, pero únicamente los canales uno y dos son de utilidad, pues en el canal 3 no es posible activar la fuente de corriente de 100nA (utilizada en la alarma por desconexión). Para poder soportar tres canales se hace uso de un multiplexor externo, aunque se hubiese podido utilizar un segundo conversor A/D, pero esto hubiese incrementado el consumo eléctrico del sistema, pues mientras el multiplexor externo consume tan sólo 0,1uW, el conversor A/D requiere 2mW para operar en modo normal, además de incrementar el costo fabricación.

El AD7792 también incorpora un filtro digital cuya respuesta en frecuencia es una función de su frecuencia de actualización (F_{ADC}), este filtro mejora el desempeño del conversor al atenuar el efecto de las variaciones de la fuente de alimentación en el código de salida. En el HATD se escogió una frecuencia de actualización de 62.5Hz y el modo de operación de conversión sencilla, obteniéndose un tiempo de

conversión de 33ms por muestra y una respuesta en frecuencia del filtro digital como la mostrada en la figura 16.

Figura 17. Respuesta en frecuencia del filtro digital.



Fuente: Datasheet del convertor AD7792 disponible en www.analog.com

Como puede verse no es posible garantizar un buen rechazo a la frecuencia de la red (60Hz) y en el mejor de los casos este no sobrepasa los 50dB, haciéndose evidente la necesidad del filtrado a la entrada para atenuar los efectos de esta interferencia, que en un ambiente industrial puede llegar a ser muy fuerte debido a la gran longitud de los cables de extensión (20m). En altas frecuencias, el filtro ofrece un gran desempeño.

4.2 MEDICIÓN DE LA TEMPERATURA DE LA UNIÓN DE REFERENCIA

Como ya se mencionó, para realizar la compensación electrónica de la unión de referencia, es necesario conocer la temperatura a la que se encuentran dichas uniones, para esto se debe situar un termómetro cercano a éstas y garantizar así que el termómetro y las uniones compartan una misma región isotérmica. El dispositivo utilizado para la medición de esta temperatura es el ADT7301, fabricado por ANALOG DEVICES, que es un termómetro digital con una precisión típica de +/- 0,5°C, resolución de 13 bits más un bit de signo, un rango de conversión de -40°C a 150°C (aunque la temperatura de operación del HATD debe estar entre 0°C a 85°C) y una velocidad de conversión de 800us⁶.

La resolución en grados Celsius del dispositivo es de 31,25m°C (lo que equivaldría a una resolución efectiva de 12.56bits). Como puede verse en la tabla 3, esta es mayor que la alcanzada por el conversor A/D para los termopares tipo R y S.

El consumo eléctrico del dispositivo es bastante bajo, 11mW como máximo durante el proceso de conversión o 10uW máximo cuando se encuentra apagado.

Se puede calcular la potencia eléctrica promedio disipada por el dispositivo mediante la siguiente ecuación:

$$W_m = \frac{te * W_e + ta * W_a}{ta + te} \quad \text{Ec. 14}$$

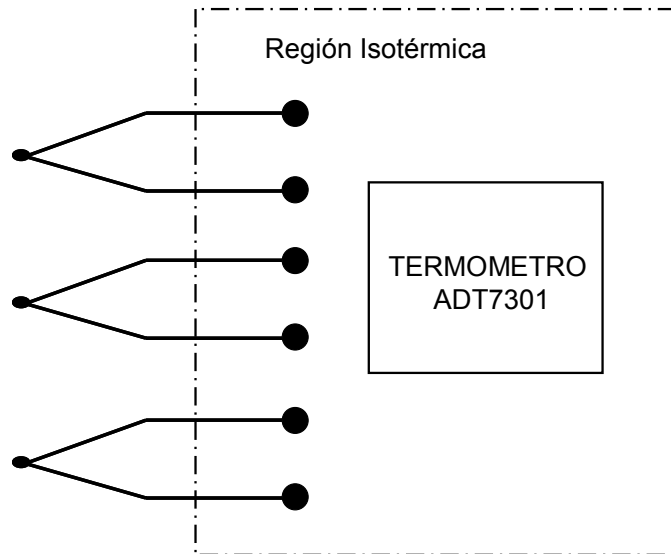
Donde te y ta son los tiempos que el dispositivo dura encendido y apagado respectivamente, W_e es la potencia eléctrica disipada durante el tiempo que dura encendido y W_a la disipada durante el tiempo que dura apagado.

⁶ Información adicional del conversor A/D puede encontrarse en el datasheet del AD7792 en la página web del fabricante.

Para una frecuencia de muestreo de 9Hz se obtiene:

$$W_m = \frac{800\mu s * 11mW + 110,3ms * 10\mu W}{111,1ms} = 89,13\mu W \quad \text{Ec. 15}$$

Figura 18. Medición de la temperatura de la unión de referencia.



Fuente: Elaborada por los autores.

Además de los factores antes mencionados este dispositivo también se selecciono por tener un bajo costo, ver Anexo C (Costo de fabricación).

4.3 UNIDAD DE CONTROL

Tanto el conversor A/D como el termómetro digital no pueden ser considerados dispositivos autónomos, pues requieren de un dispositivo o sistema maestro que controle su funcionamiento. Esta unidad de control es la encargada de comunicarse con los distintos dispositivos y preparar la información a ser transmitida al computador a través del dispositivo de comunicación USB.

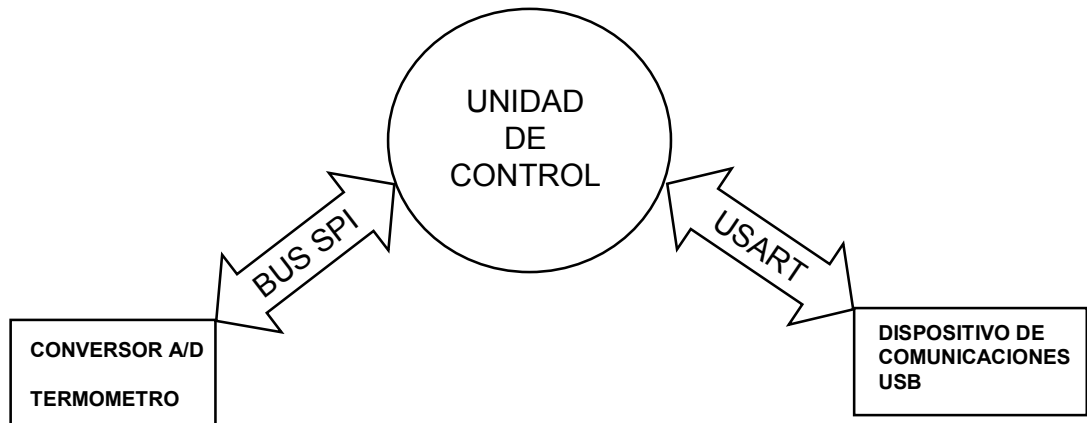
La unidad de control utilizada es PIC16F628A, fabricado por la empresa MICROCHIP, que es un microcontrolador de gama baja, puede operar a frecuencias comprendidas entre 0 - 20MHz usando un oscilador externo o a 4MHz utilizando su oscilador interno y posee 2K de memoria flash para almacenamiento de programas.

El proceso de control del conversor A/D y del termómetro digital se realiza a través de la modificación de sus registros internos, estos registros controlan por ejemplo, el proceso de adquisición de una o más muestras, la frecuencia de actualización, el encendido y apagado del dispositivo. Para transmitir esa información a los registros de cada uno de los dispositivos, se hace uso de un bus digital, que en el caso del conversor A/D y del termómetro digital es el bus SPI (Ver anexo B).

Cada vez que desde el PC se le envía una orden al HATD, ésta es recibida por el modulo USB y transmitida a la unidad de control que procesa el comando⁷ y genera las rutinas de bajo nivel necesarias para controlar el conversor A/D o el sensor de temperatura. En caso de que la orden así lo requiera, la unidad de control procesa la información leída del bus SPI, la empaqueta y envía al PC valiéndose del dispositivo de comunicaciones USB.

⁷ por una lista completa de los comandos de operación soportados por el HATD revise el capítulo 5 ESPECIFICACIONES TÉCNICAS DEL HATD.

Figura 19. Unidad de control y dispositivos periféricos.



Fuente: Elaborada por los autores.

4.4 TRANSMISION AL PC

En los procesos de comunicación con el PC, se utiliza un módulo USART⁸ integrado en el microcontrolador, este módulo fue configurado para realizar una comunicación asíncrona con la misma trama de de datos que la utilizada en el protocolo de comunicaciones RS232, con un bit de arranque, 8 bits de datos y uno de parada, sin paridad ni control de flujo. La conversión USART <=> USB es realizada mediante el integrado FT232R⁹, fabricado por FTDI (Future Technology Devices Internacional), este dispositivo toma la trama RS232 y la transforma a una trama válida para el bus USB y a continuación la transmite al PC.

El FT232R permite una transformación transparente en ambas vías, pues en el PC se crea un dispositivo serie virtual mediante la instalación del driver provisto por el fabricante del dispositivo. Una vez instalado el dispositivo puede ser

⁸ Acronimo de UNIVERSAL SYNCHRONOUS ASYNCHRONOUS RECEIVER TRANSMITTER, se trata de un componente que utilizan ciertos sistemas digitales basados en microprocesador, para convertir los datos en paralelo, como los utiliza la CPU, en serie, con el fin de comunicarse con otro sistema externo.

⁹ Mas información a cerca del FT232R puede ser encontrada en la pagina web del fabricante <http://www.ftdichip.com/>

accedido por cualquier programa de aplicación en el PC como si se tratase de un puerto serie (COM en el SO Windows) cualquiera.

Debido a que en los procesos de comunicación con el PC, la unidad de control utiliza una trama de bits RS232 estándar, es posible reemplazar o agregar una nueva interfaz de comunicación y utilizar un puerto serie RS232 con un conector DB9 para conectar el HATD al PC, solo sería necesario realizar la transformación de niveles lógicos RS232 \Leftrightarrow TTL, tarea que puede ser realizada mediante un integrado como el MAX232. En el caso del HATD no se implementó esta segunda interfaz porque hubiese representado una mayor área en el circuito integrado, perdiéndose portabilidad, además la presencia de un segundo conector hubiese podido confundir al usuario final. Aunque durante el proceso de desarrollo del hardware, se construyó un prototipo que incorpora ambos modos de comunicación, además de ofrecer la posibilidad de reprogramar el firmware del sistema sin necesidad de desconectar el microcontrolador.

5. ESPECIFICACIONES TÉCNICAS DEL HATD

HOJA DE DATOS - HATD (Hardware de Análisis Térmico Dual)

5.1 CARACTERÍSTICAS GENERALES

5.1.1 Resolución. 16 bits

5.1.2 Ruido eléctrico RMS @ 8,86 Hz.

- CH1 942 nV.
- CH2 670 nV.
- CH3 364 nV

5.1.3 Frecuencia de operación.

- 0 - 8,86Hz En modo de operación simple **Leer temperaturas.**
- 28,5Hz En modo de operación continua **CH1, CH2, CH3.**
- 457Hz En modo de operación continua **Sensor de temperatura.**

5.1.4 Ancho de banda. 15,9 Hz.

5.1.5 Detección de desconexión. Tiempo de detección

- CH1, CH2: 2.4s
- CH3: 1.2s

5.1.6 Interfaz de comunicación. Bus USB con emulación RS232 de 9600 Baudios.

5.1.7 Fuente de alimentación. 4,5 - 5,25V, tomados del Bus USB.

5.1.8 Temperatura de Operación. 0 - 85°C.

5.1.9 Consumo eléctrico.

- 16 mA En modo de espera.
- 19.1 mA En actividad.

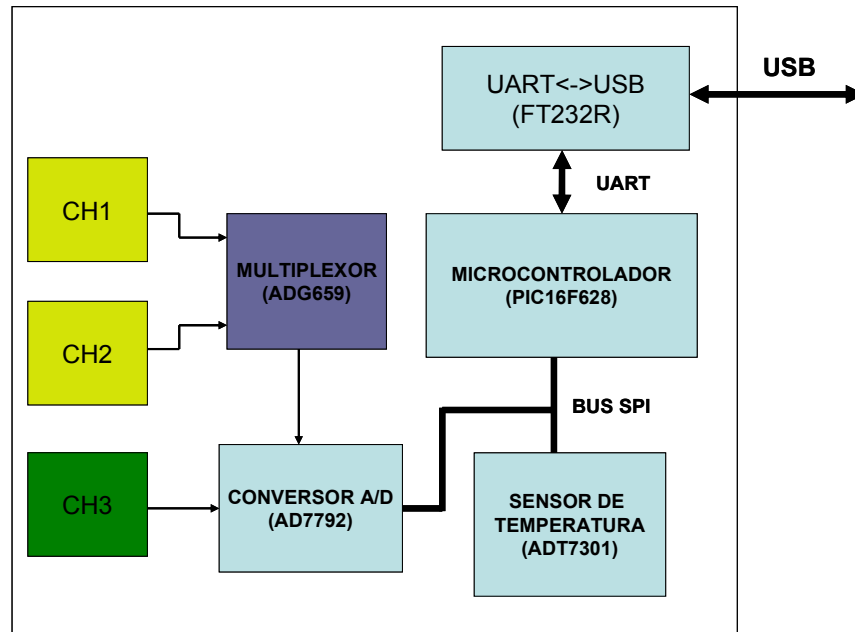
5.2 DESCRIPCIÓN GENERAL.

El HATD es un hardware de adquisición de datos de alta precisión, bajo ruido y baja frecuencia, lo que lo hace idóneo para ser utilizado en la medición de temperaturas con termopares. Los canales 1 y 2 tienen una ganancia de 16V/V y permiten medir entre 0 y 1372°C con termopares tipo K, mientras que el canal 3 exhibe una ganancia de 32V/V. y permite medir entre 0 y 1768°C con termopares tipo R ó S. Además brinda una rápida detección por desconexión mediante la utilización de una fuente de corriente de 100nA.

El HATD brinda calibración por Hardware, que permite ajustar el nivel de 0 para el sistema, aumentando la precisión del mismo al disminuir la sensibilidad ante fuentes de interferencia externa y principalmente eliminar el efecto de tensiones de offset.

5.2.1 Diagrama Simplificado del HATD.

Figura 20. Diagrama simplificado del HATD



Fuente: Elaborada por los autores.

5.3 CARACTERÍSTICAS DE RENDIMIENTO TÍPICO.

5.3.1 Gráficas típicas de ruido.

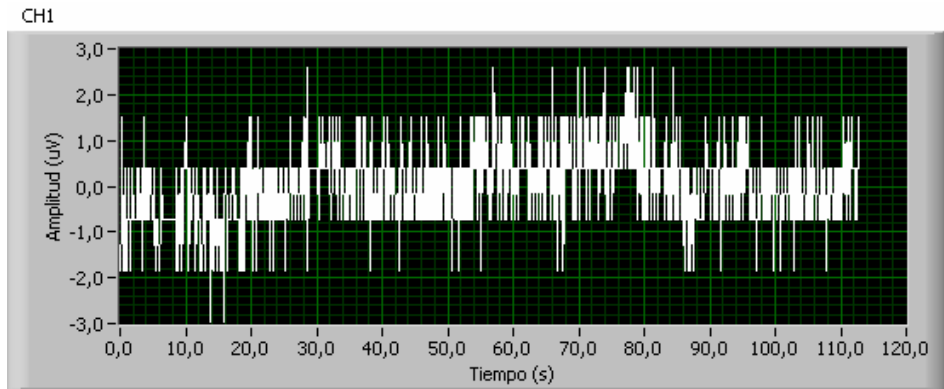
V_{cm} = 2.2V

V_{dc} = 1,08mV

En todas las mediciones de ruido, la componente de DC fue eliminada de forma matemática.

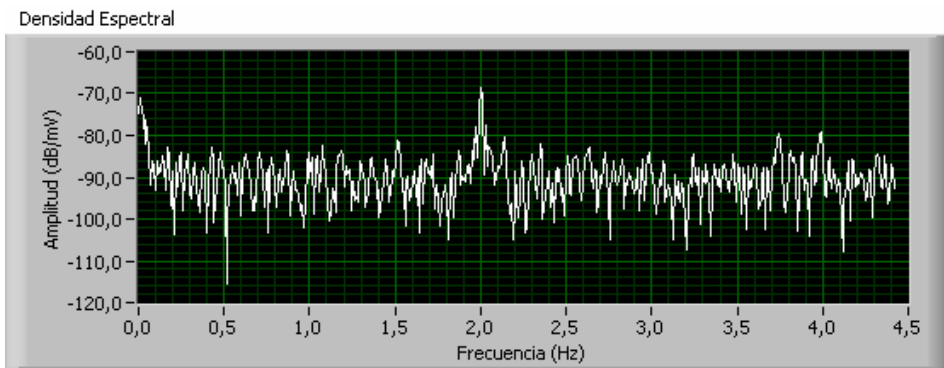
- **Canal 1.**

Figura 21. Gráfica de ruido para el canal 1.



Fuente: Elaborada por los autores bajo Labview 6.0.

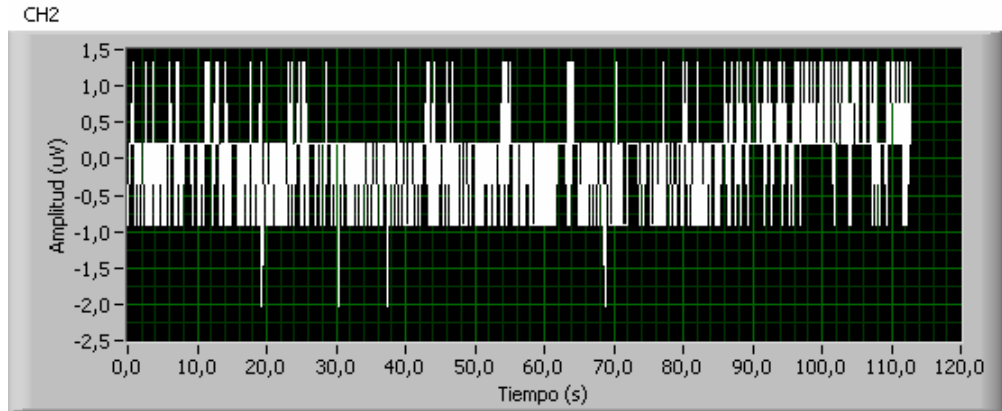
Figura 22. Densidad espectral del ruido para el canal 1.



Fuente: Elaborada por los autores bajo Labview 6.0.

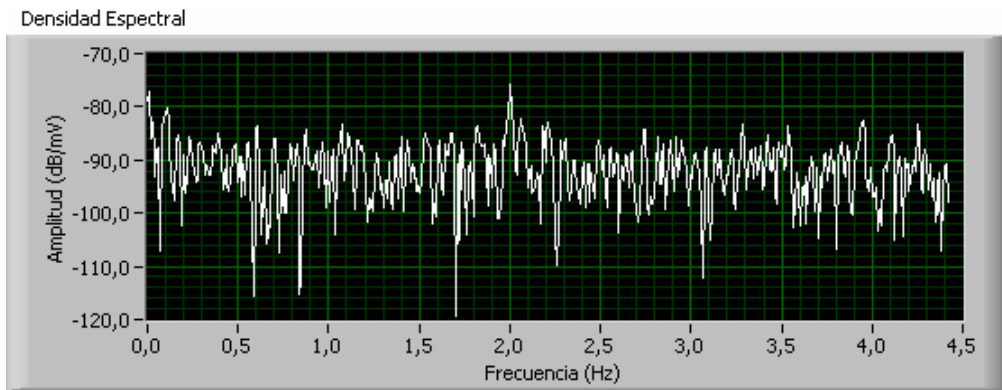
- **Canal 2**

Figura 23. Gráfica de ruido para el canal 2.



Fuente: Elaborada por los autores bajo Labview 6.0.

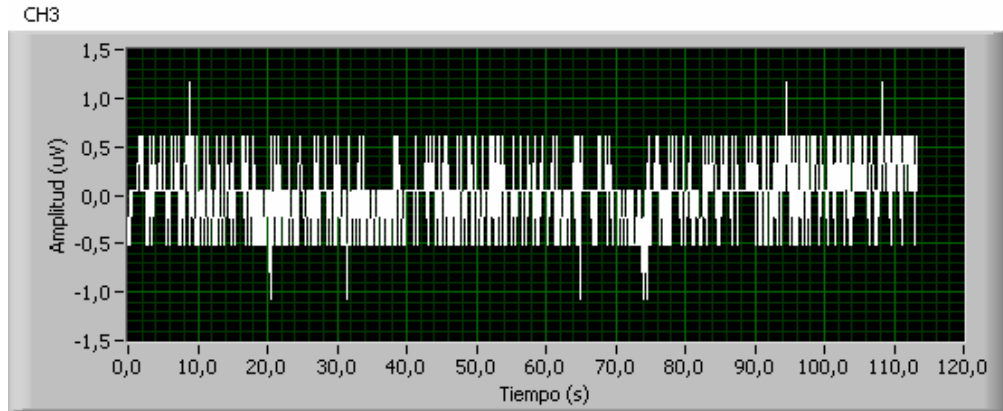
Figura 24. Densidad espectral del ruido para el canal 2.



Fuente: Elaborada por los autores bajo Labview 6.0.

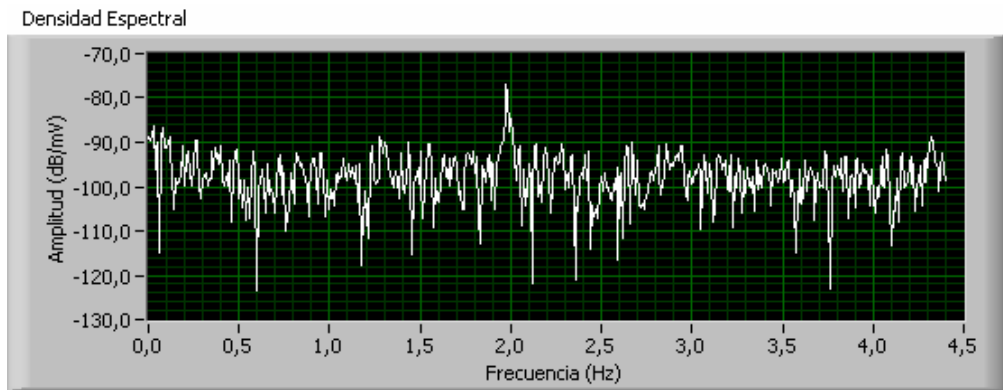
- **Canal 3.**

Figura 25. Gráfica de ruido para el canal 2.



Fuente: Elaborada por los autores bajo Labview 6.0.

Figura 26. Densidad espectral de ruido para el canal 3.

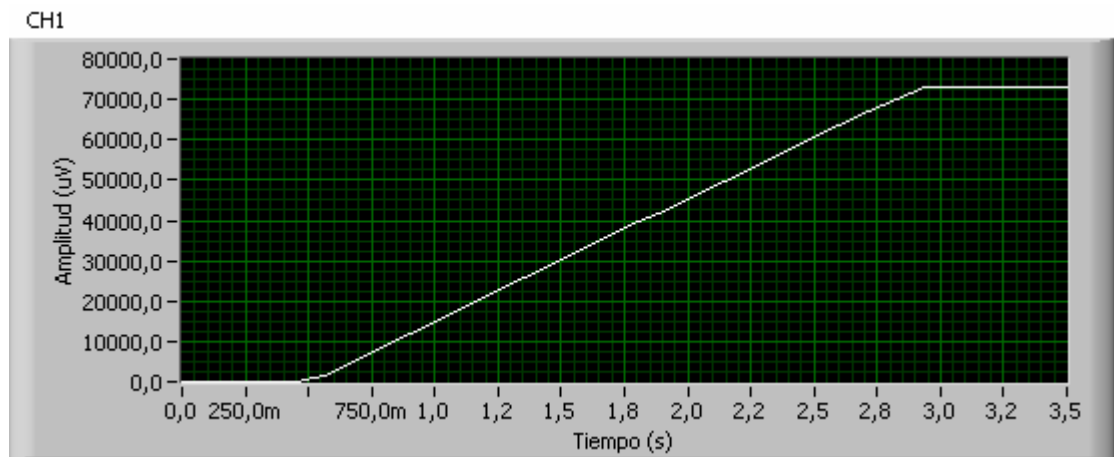


Fuente: Elaborada por los autores bajo Labview 6.0.

5.3.2 Detección de desconexión.

- **Canal 1**

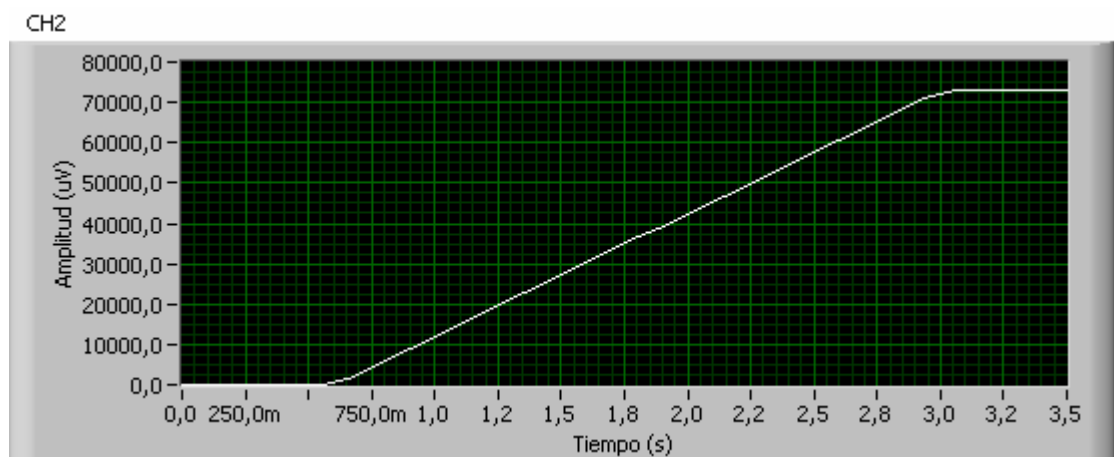
Figura 27. Tiempo que tarda el canal 1 en detectar desconexión.



Fuente: Elaborada por los autores bajo Labview 6.0.

- **Canal 2**

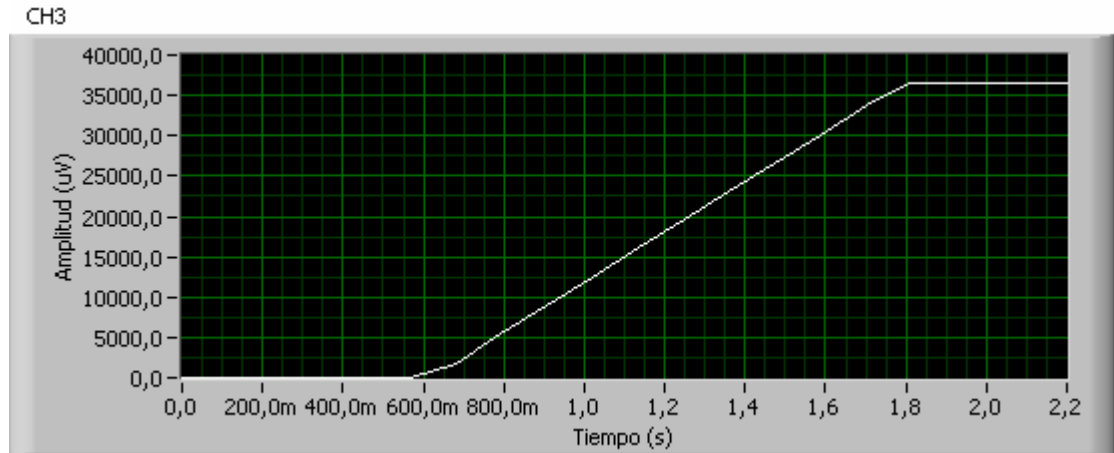
Figura 28. Tiempo que tarda el canal 2 en detectar desconexión.



Fuente: Elaborada por los autores bajo Labview 6.0.

- **Canal 3**

Figura 29. Tiempo que tarda el canal 3 en detectar desconexión.



Fuente: Elaborada por los autores bajo Labview 6.0.

Nota: El canal se considera desconectado al saturarse

5.4 CÓDIGOS Y MODOS DE OPERACIÓN SOPORTADOS POR EL HATD.

El HATD funciona a través de comandos mediante los cuales el usuario puede solicitar una o más operaciones al hardware. Se reconocen un total de 12 comandos que permiten desde la verificación de presencia del hardware hasta la adquisición de 4 señales de temperatura.

5.4.1 Modos de operación. El HATD soporta 3 modos de operación así:

- **Modo de espera o de bajo consumo.** Este es el modo de operación por defecto del sistema, una vez el hardware es encendido entra en este modo hasta que reciba un comando válido. En este modo se apaga el conversor A/D y el sensor de temperatura, mientras el microcontrolador permanece en modo de bajo consumo; el único módulo que permanece activo es el USB.

- **Modo de operación simple.** El Hardware operará en este modo si recibe una instrucción con un código comprendido entre 00H-05H. Se denomina de operación simple porque una vez el hardware ha realizado la operación solicitada retornará al modo de bajo consumo.

- **Modo de operación continua.** El Hardware operará en este modo si recibe una instrucción con un código de operación comprendido entre 06H-09H. Una vez el hardware entra en este modo de operación, no saldrá de éste hasta que no reciba una orden de parada, que puede ser cualquier código de un byte.

5.4.2 Códigos de operación. Cada código de operación debe ser enviado en un byte en codificación hexadecimal. Los códigos de operación válidos están comprendidos entre 00H y 09H, en caso de que el hardware reciba un código de operación mayor a 09H simplemente será ignorado.

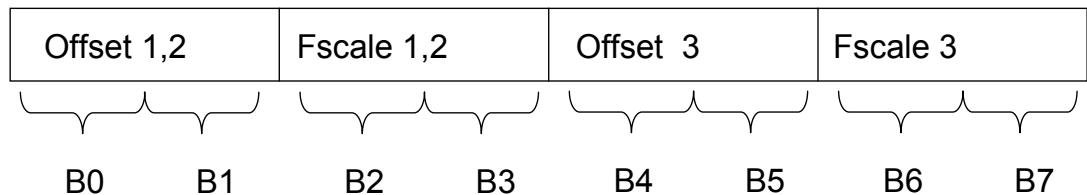
- **Verificación de presencia (00).** Esta se realiza enviando el código 00H en formato hexadecimal, sirve para conocer el estado del HATD, en caso que el hardware se encuentre en modo de espera devolverá un byte con el número en hexadecimal AAH.

- **Calibración de canales (01, 02, 03).** El hardware realizará la calibración del canal 1,2 ó 3 si recibe el código 01H, 02H o 03H respectivamente, una vez realizada la calibración el HATD devolverá el valor de de la calibración que corresponde al valor de offset (16b) y al valor full-scale (16b), que en total suman 4 bytes. El tiempo total empleado por el HATD para realizar una calibración y transmitirla es de 34ms. Una vez la calibración ha sido enviada, el hardware retornará al modo de bajo consumo.

- **Restaurar calibración (05).** El hardware se calibrará con los valores enviados por el usuario; este modo es de utilidad si se desea recalibrar el hardware con

valores previamente tomados. Además del comando, el HATD deberá recibir el valor de la calibración que deberá ser enviado en un formato como el mostrado en la figura 29.

Figura 30. Formato de envío de los datos de calibración.



Fuente: Elaborada por los autores.

Donde “Offset 1, 2” y “Fscale 1, 2” representan el promedio de los valores de offset y de full-scale de los canales uno y dos respectivamente. Mientras “Offset 3” y “Fscale 3” son los valores de offset y full-scale del canal 3. Como puede deducirse, para restaurar una calibración deben transmitirse un total de nueve bytes, incluido el comando.

- **Adquirir temperaturas (05).** Con este comando el HATD realizará una lectura del sensor de temperatura y de cada uno de los tres canales y luego las transmitirá. El orden de los Bytes transmitidos será el siguiente:

B0, B1	Sensor de temperatura
B2, B3	Canal 1
B4, B5	Canal 2
B6, B7	Canal 3

Para decodificar la información del sensor de temperatura y de cada uno de los canales se puede utilizar la siguiente tabla.

Tabla 4. Tabla guía para decodificar información de los tres canales y del sensor de temperatura.

ORIGEN	b	R	Multiplicador	Unidad
SENSOR DE TEMPERATURA	13	3	1/32	°C
CH1,CH2	16	0	$1.17/(16*2^{16})$	V
CH3	16	0	$1.17/(32*2^{16})$	V

Fuente: Elaborada por los autores.

ORIGEN: Indica de dónde proviene la información.

b: Indica la cantidad de bits efectivos.

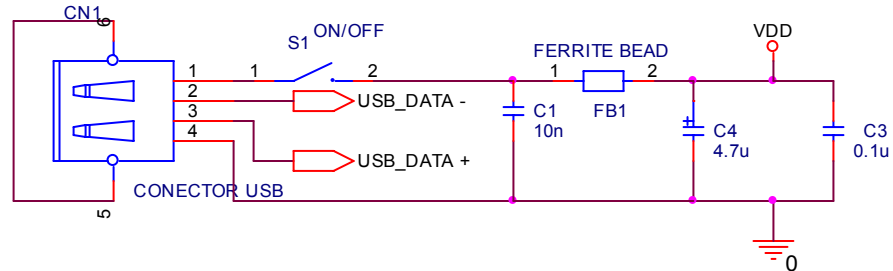
R: Indica la cantidad de bits de relleno para completar una cantidad entera de Bytes.

Multiplicador: Indica el número por el cual debe ser multiplicado el código para convertirlo al valor especificado en **Unidad**.

- **Adquirir TMP (06).** Luego de recibir este comando, el HATD realizará lecturas consecutivas del sensor de temperatura y la irá transmitiendo una por una, la frecuencia de actualización en este modo es de 457Hz y no es controlable por el usuario. Para salir de este modo es necesario enviar al hardware un Byte (no importa el código), que hará que el hardware retorne al modo de espera.
- **Adquirir CH1, CH2, CH3 (07,08,09).** El HATD realizará lecturas de forma continua sobre el canal solicitado y las transmitirá una a una. La frecuencia de actualización es de 28,5Hz y no es controlable por el usuario. Para salir de este modo es necesario enviar al hardware un Byte (no importa el código), que hará que el hardware retorne al modo de espera.

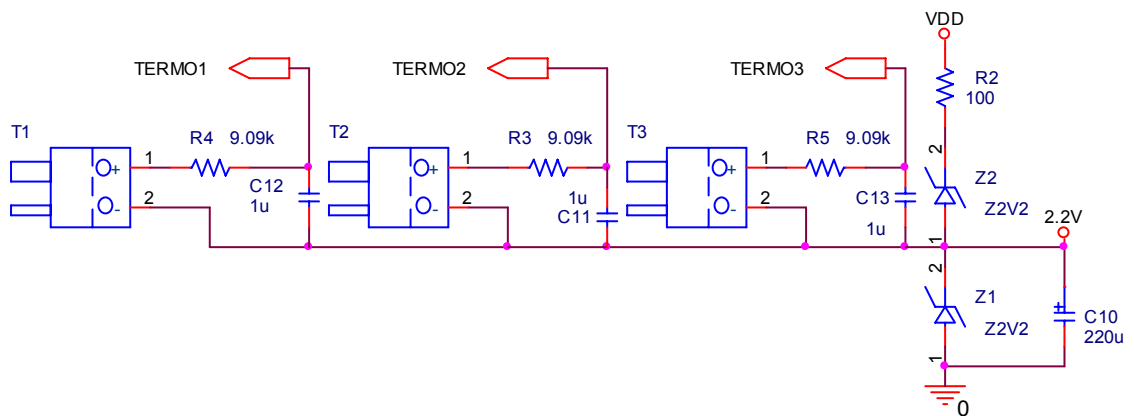
5.5 ESQUEMA CIRCUITAL DEL HATD

Figura 31. Preparación de la fuente de alimentación.



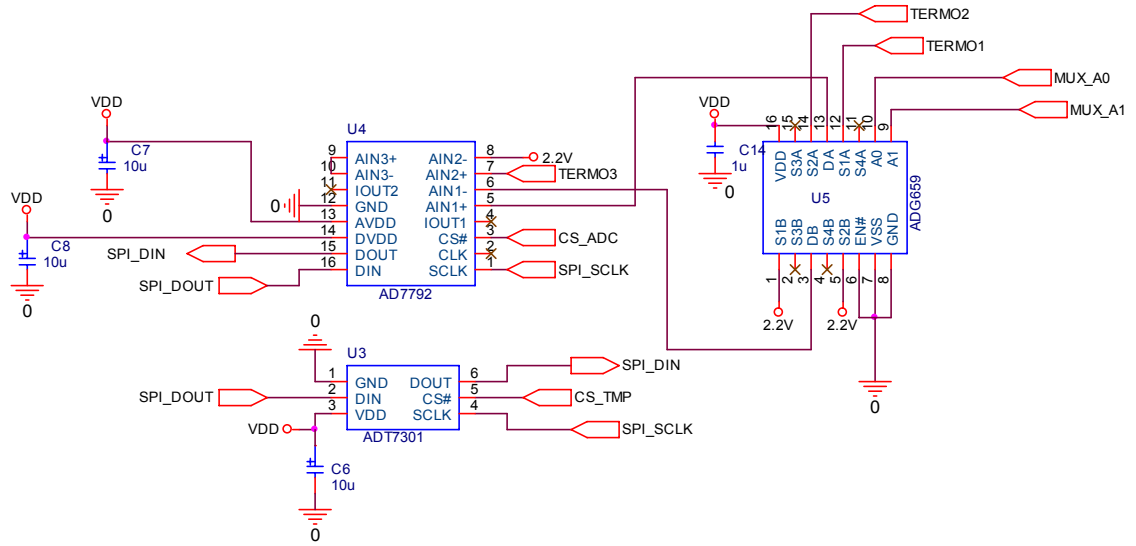
Fuente: Elaborada por los autores.

Figura 32. Adquisición y filtrado de las señales provenientes de los termopares.



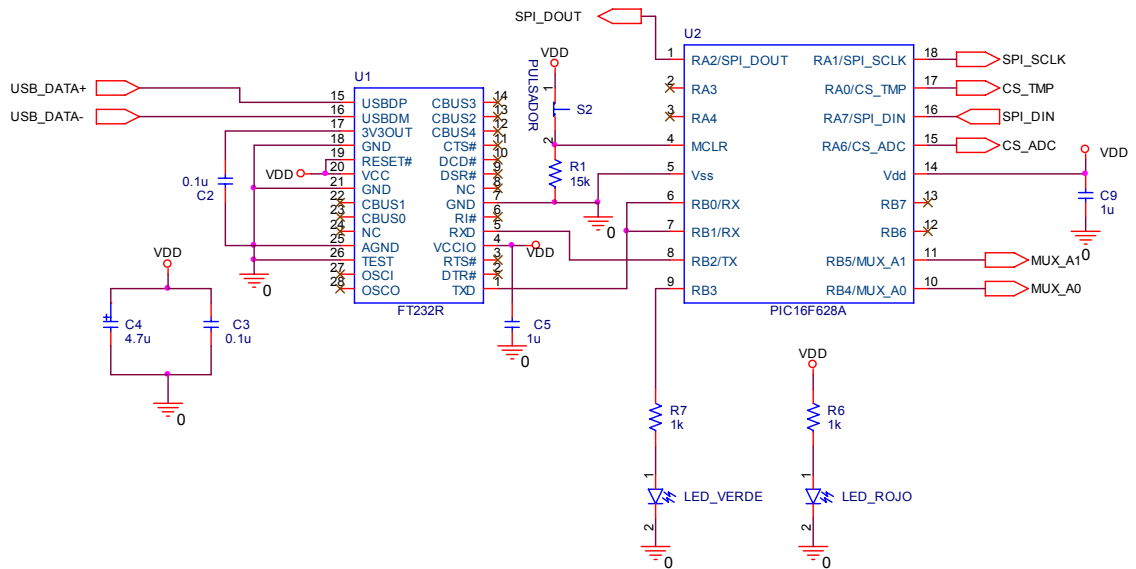
Fuente: Elaborada por los autores.

Figura 33. Digitalización de las señales y medición de la unión de referencia.



Fuente: Elaborada por los autores.

Figura 34. Procesamiento de las señales y transmisión de datos.



Fuente: Elaborada por los autores.

5.6 CARACTERÍSTICAS FÍSICAS.

Figura 36. Estructura física del HATD.



Fuente: Fotografía tomada por los autores.

El HATD está construido con una cubierta plástica de color negro que cubre la tarjeta de adquisición de datos y deja descubierto, los conectores para los termopares, los led's indicadores, el interruptor de encendido, el pulsador de resetear el equipo y el conector para el cable USB.

5.6.1 Tamaño. El HATD tiene las siguientes dimensiones:

- Largo: 13 cm.
- Ancho: 6,5 cm.
- Alto: 4,5 cm.

Es un tamaño pequeño pues fácilmente se puede agarrar con la mano, como se observa en la figura.

5.6.2 Peso. El HATD tiene un peso total sin cable conector USB y sin termopares conectados de: 160 gramos.

6. ACTUALIZACIÓN DEL SOFTWARE DE ANÁLISIS TÉRMICO DUAL

El SATD es un Software de Análisis Térmico Dual construido con el lenguaje de programación Labview 6.i, que proporciona un registro gráfico del enfriamiento de la muestras tomadas de los termopares ubicados en las copas e informa la temperatura promedio de la fundición a partir de la señal generada en el termopar ubicado en la lanza de inmersión. Los resultados mostrados en pantalla se obtienen en tiempo real, a medida que se van registrando, se linealizan, se analizan para identificar si corresponden a puntos críticos o de inflexión y se entregan los resultados correspondientes que permiten realizar control de calidad de las piezas en fundición, antes de verter en los moldes¹⁰.

Actualmente, existe una copia del SATD, diseñada para recibir datos por el puerto RS232 de la unidad conversora del sistema METLAB. La comunicación con el sistema de adquisición de datos se realiza mediante largas cadenas de caracteres donde se le indica al hardware el canal o la temperatura de unión a leer, para que de manera inmediata sean leídos los datos; por tanto para realizar la lectura de los tres canales y de las tres uniones, es necesario hacer un total de seis peticiones al hardware con sus respectivas lecturas.

El HATD permite reemplazar la unidad conversora del sistema METLAB, pero debido a las diferencias existentes en los modos de operación de los dos sistemas de hardware, es necesario adecuar el SATD para que pueda operar de forma correcta con este nuevo hardware. Durante el proceso de adecuación se realizaron algunas mejoras sobre el SATD que permiten disminuir el consumo de recursos de sistema, además de facilitar y automatizar el proceso de instalación. A

¹⁰ El capítulo 4 de la referencia “Software de Análisis Térmico Dual” se puede encontrar información detallada del SATD.

continuación se mencionaran los principales cambios realizados sobre el SATD durante el desarrollo del proyecto.

6.1 VERIFICACION DE DISPONIBILIDAD DEL HATD.

Este nuevo módulo fue agregado al SATD para realizar la verificación de la conexión y correcto funcionamiento del HATD antes de realizar cualquier adquisición de datos.

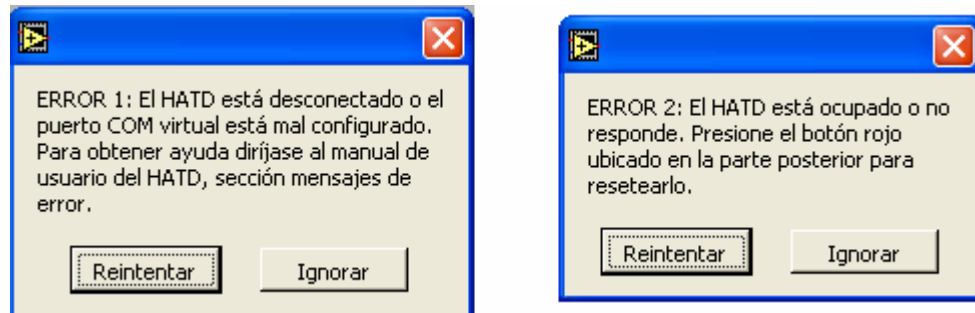
Figura 37. Icono del subvi VERIFICAR_HATD.



Fuente: Elaborada por los autores, código SATD.

Este módulo genera dos mensajes de error y su posible causa, además de dar algunas recomendaciones para solucionar el problema.

Figura 38. Mensajes de error del módulo VERIFICAR_HATD.

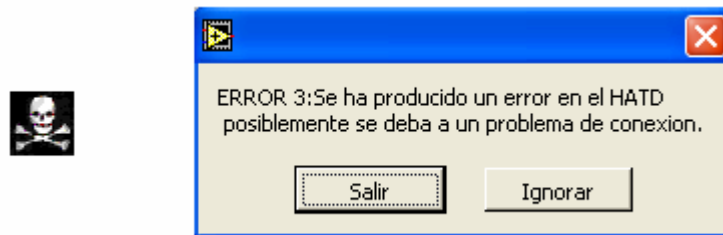


Fuente: Elaborada por los autores, código SATD.

6.2 MÓDULO ERROR

Durante cualquier intento de comunicación entre el software y el HATD se realiza una verificación para detectar errores de comunicación; estos errores pueden ser generados en caso de que se apague o desconecte el hardware de manera inesperada, en caso de producirse un error de este tipo se da la opción al usuario de cerrar el programa o de omitir el error.

Figura 39. Icono del modulo ERROR y mensaje



Fuente: Elaborada por los autores, código SATD.

6.3 MÓDULO CARGAR_CONFIG

Este módulo se encarga de leer de disco los archivos que contienen la configuración del número de puerto serie virtual con el que se debe establecer conexión y el valor de la última calibración por hardware realizada al HATD.

Figura 40. Icono del modulo CARGAR_CONFIG

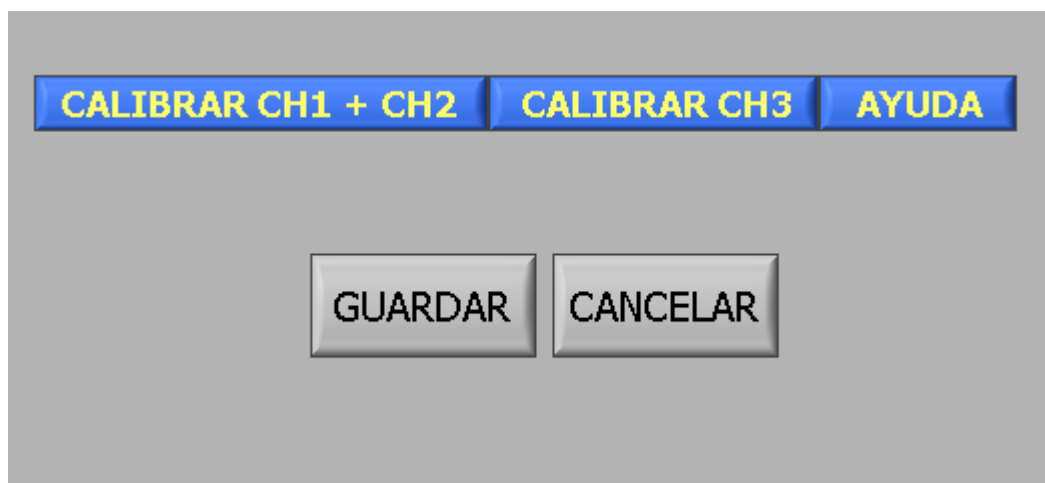


Fuente: Elaborada por los autores, código SATD.

6.4 MÓDULO CALIBRAR_HATD

Mediante este módulo se puede realizar una calibración por hardware del HATD, esta calibración permite ajustar el nivel de cero del sistema y ayudar a reducir el efecto que interferencias externas puedan tener sobre el hardware de adquisición. Para esta calibración se realizó una nueva entrada en el menú de calibración del SATD, al ejecutar este módulo el usuario tendrá acceso a un menú que le permitirá seleccionar el canal a calibrar.

Figura 41. Menú de calibración por Hardware del HATD



Fuente: Elaborada por los autores, código SATD.

Una vez que la calibración está terminada se leen los valores de ésta, se promedian las lecturas de los canales 1 y 2 mientras el canal 3 se deja por separado, luego se actualiza el valor de la variable calibración y finalmente el contenido de ésta es almacenado en el disco duro, para poder restaurarla en mediciones posteriores.

6.5 MÓDULO RESTAURAR_CALIBRACIÓN

Este módulo es ejecutado antes de iniciar el proceso de adquisición de temperaturas. Lo primero que hace es leer de memoria, la variable que contiene la calibración a restaurar, luego inicia una comunicación con el HATD indicándole que se desea restaurar una calibración antigua e inmediatamente envía el valor de ésta.

Figura 42. Icono del módulo RESTAURAR_CALIBRACIÓN



Fuente: Elaborada por los autores, código SATD.

6.6 MÓDULO ADQUIRIR DATOS

Este módulo se encarga de adquirir de forma consecutiva la tensión de los tres canales de entrada del HATD y del termómetro digital, luego comprueba que estas tensiones se encuentren dentro de los rangos permitidos, comparando el valor leído con el valor que se encuentra tabulado para los termopares tipo K, R, S¹¹, y en caso de que supere en más de 3mV el valor máximo de las tablas, se considera el canal como desconectado y por tanto le asigna un valor de tensión de -1mV. El módulo adquirir datos funciona enviando el código de operación 06H al HATD, para luego leer de forma consecutiva la tensión de los tres canales y la temperatura del termómetro, una vez leídos, los valores deben ser escalados utilizando las ecuaciones de la tabla 4, es importante notar que todos los datos transmitidos por el HATD tienen una longitud de dos bytes. Esta metodología para la adquisición de datos es muy distinta a la empleada originalmente en el SATD,

¹¹ Las tablas con las temperaturas Vs. tensión de salida, para los termopares tipo K,R,S se pueden encontrar en el anexo 1.

pues anteriormente se debía realizar una petición de adquisición diferente y su correspondiente lectura por cada canal o unión de referencia que se deseara leer (sumando un total de nueve peticiones y nueve lecturas distintas), además los valores leídos venían empaquetados en cadenas de nueve bytes y los valores debían ser extraídos por medio del escaneo de caracteres delimitadores dentro la cadena de caracteres.

Figura 43. Icono del módulo adquirir datos

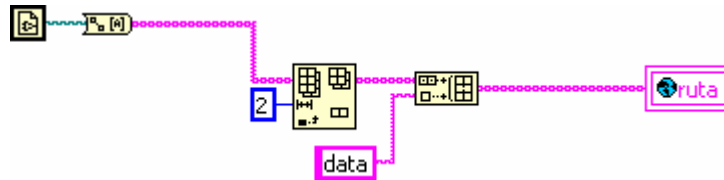


Fuente: Elaborada por los autores, código SATD.

6.7 IMPLEMENTACIÓN DE RUTAS RELATIVAS

En el HATD original, la lectura de los archivos de configuración se hace mediante el uso de rutas absolutas, esta implementación puede llegar a ser muy problemática en equipos donde el sistema operativo Windows no se encuentre instalado en la unidad C: o no se pueda tener acceso a la misma, pues si el software no puede localizar estos archivos, arrojará un mensaje de error y se cerrará. Para evitar este tipo de problemas, la ruta de los archivos de configuración se hizo relativa a la ruta donde se encuentre el ejecutable, la ruta del archivo ejecutable es consultada por Labview, mediante el subvi “Current VI's Path” disponible de forma estándar en Labview, luego se manipula hasta obtener la ruta del directorio padre que se almacenará en la variable global RUTA. Gracias al uso de rutas relativas, ahora el HATD puede estar contenido en una única carpeta que puede ser copiada en cualquier lugar del sistema sin afectar la correcta ejecución del software, lo cual reduce la posibilidad de que se borren por error, archivos vitales para el funcionamiento del programa.

Figura 44. Implementación de rutas relativas en Labview



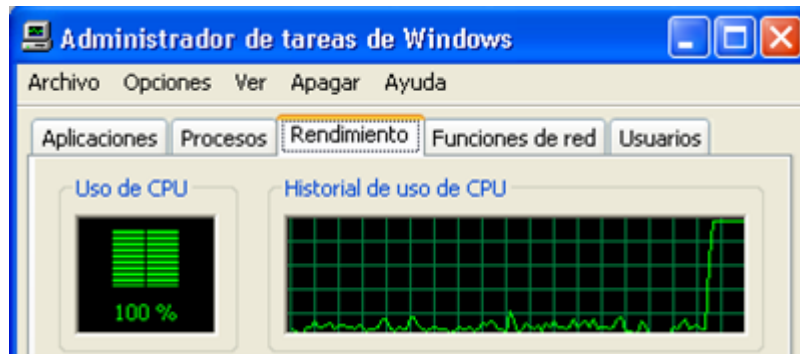
Fuente: Elaborada por los autores, código SATD.

6.8 DISMINUCIÓN DEL USO DE LOS RECURSOS DEL SISTEMA

En la versión anterior del SATD se hacía sondeo continuo para revisar el estado de los botones o selectores en el panel, teniendo como efecto que el uso de CPU se dispare hasta llegar a un valor cercano al 100%, mientras el programa espera por una acción en el menú de selección. En sistemas con un hardware poco potente o que se encuentren con una carga considerable, tiene el desagradable efecto de ralentizar el sistema.

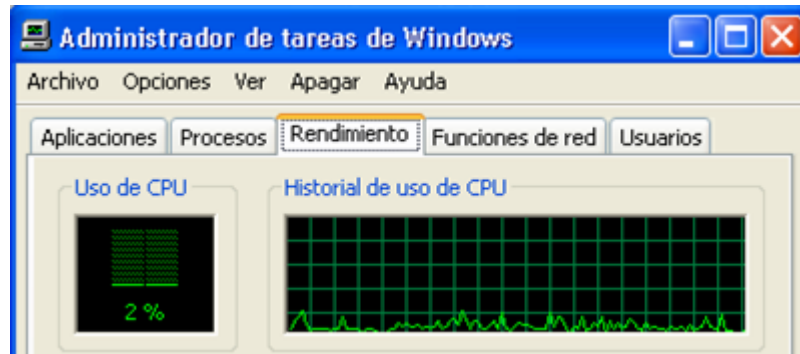
En esta nueva versión del SATD, los menús de selección fueron implementados mediante interrupciones por eventos en el panel, esto se implemento haciendo uso de la función "Wait For Front Panel Activity" provista de forma estándar en Labview. Así mientras que no se produzca ningún evento nuevo en el panel, como la presión de un botón, o el cambio de valor en un selector, el programa detendrá su ejecución, lográndose así una reducción muy grande en el uso del CPU sin afectar el tiempo de respuesta en los menús del SATD.

Figura 45. Uso de CPU mediante el antiguo sistema de menús.



Fuente: Elaborada por los autores

Figura 46. Uso de CPU mediante la nueva implementación del sistema de menús.



Fuente: Elaborada por los autores

6.9 CREACIÓN DE UN ASISTENTE AUTOMATIZADO DE INSTALACIÓN

En la versión anterior del SATD, era necesario que el usuario instalara manualmente LabviewRuntimeEngine 6.1 o el IDE Labview 6.1, luego copiara el archivo ejecutable del SATD a disco y finalmente debería copiar los archivos de configuración a una ruta exacta, además, en caso de que se quisieran accesos directos, éstos también debían ser creados de forma manual, pasos que pueden

llegar a ser intimidantes para un usuario con poca experiencia en sistemas Windows.

Ahora, cuando el usuario desee realizar una nueva instalación del SATD lo único que deberá hacer es ejecutar el asistente de instalación, este asistente se encargará de realizar de forma desatendida todas las operaciones necesarias para instalar el SATD en el sistema y crear las entradas en el menú inicio; además de realizar la instalación automática de todos los drivers necesarios para el correcto funcionamiento del HATD. Lo único que el usuario deberá configurar de forma manual es el número del VCP (Virtual COM Port), para lo cual se incluye en el manual de usuario una guía paso a paso. El proceso desinstalación del SATD es ahora igualmente fácil, pues el programa de instalación crea una entrada en el menú agregar y quitar programas del sistema.

6.10 BONUS SOFTWARE

Los usuarios de HATD contarán ahora con la posibilidad de instalar el nuevo software PowerWave, este software permite utilizar al HATD como un osciloscopio digital de baja frecuencia y alta resolución.

PowerWave permite observar la variación de los tres canales del HATD, en tres gráficas separadas en tiempo real, mientras en una cuarta gráfica se puede ver la variación de la temperatura ambiente. Además, mediante un selector se puede dirigir cualquiera de los tres canales o el termómetro hacia la sección de análisis, la cual calcula y visualiza la FFT del canal seleccionado y muestra información sobre la frecuencia de muestreo, la componente en DC y el valor RMS.

PowerWave fue desarrollado durante el proceso de construcción del SATD como herramienta para medir el desempeño del hardware y poder realizar los ajustes sobre el mismo hasta alcanzar los objetivos de diseño.

CONCLUSIONES

El HATD permite reemplazar completamente la unidad de adquisición de datos del sistema METLAB en el análisis térmico de las fundiciones, brindando ventajas como una mayor portabilidad, economía, independencia tecnológica sin sacrificar precisión o rapidez.

El uso del circuito integrado FT232R, facilita la comunicación del HATD con el PC a través del bus USB, pues permite crear un puerto serie virtual compatible con el estándar RS232 sobre el bus USB. De no utilizarse esta emulación sería necesario programar en un microcontrolador de gama media o en un DSP todos los procedimientos para generar la compleja trama de datos USB, además de ser necesaria la creación de un driver de dispositivo para que Windows se pudiese comunicar con el hardware.

El uso de dispositivos de bajo consumo es indispensable cuando se utiliza el bus USB como fuente de energía, pues aún cuando la corriente máxima que puede entregar el bus es relativamente alta (100mA), se debe tratar que el dispositivo consuma una corriente mucho menor a este valor, pues de lo contrario el bus USB quedaría “secuestrado”, y no se podrían conectar más dispositivos a éste.

La detección de desconexión de los termopares no es una tarea trivial y en caso de no utilizar un circuito integrado que la implemente, puede llegar a requerir el uso de una gran cantidad de dispositivos externos, incrementando los costos de fabricación y disminuyendo la confiabilidad del sistema.

El uso de capacitores de alto valor en los filtros para los termopares es prohibitivo, pues el tiempo que tarda en activarse la detección por desconexión es una función directamente proporcional al valor de esta capacitancia.

Los PC no deben ser utilizados para sincronizar sistemas que requieran de una temporización muy precisa, pues al no trabajar en tiempo real, es imposible garantizar un tiempo de operación exacto para una tarea específica. Esto es aplicable a la mayoría de arquitecturas que hagan uso de sistemas operativos multitarea (como Windows) donde el tiempo de ejecución es función de la carga del sistema.

El microcontrolador PIC16F628A es ideal para aplicaciones que requieran una baja capacidad de cómputo y comunicación con el PC (como la unidad de control del HATD), pues es uno de los microcontroladores más económicos disponibles en el mercado con memoria FLASH y cuenta con un módulo USART muy útil en procesos de comunicación que hagan uso del estándar RS232.

Es muy importante dotar de asistentes de instalación sencillos y correctamente documentados a cualquier producto de software que se desee poner en el mercado, pues de lo contrario el proceso de instalación puede llegar a ser intimidante para usuarios con poca experiencia en la administración de sistemas.

En cualquier software que se diseñe se debe dar preferencia a las rutas relativas sobre las absolutas, pues ésto simplifica las labores de instalación, desinstalación y mantenimiento del software presente en el equipo.

RECOMENDACIONES

Debido a que el HATD y el SATD se constituyen como un sistema completo para el análisis térmico dual, se recomienda hacer uso del mismo en la escuela de metalúrgica para los laboratorios de fundición.

Buscar en las fundidoras del país, un mercado para comercializar el sistema HATD + SATD y dar soporte técnico al mismo.

Con el fin de garantizar exactitud en los tiempos de adquisición, se recomienda implementar la sincronización del sistema de adquisición de datos directamente desde el microcontrolador. Pero debido a que una parte fundamental del código original del SATD se encontraba protegida por contraseña, no fue posible realizar los cambios necesarios.

Implementar comunicación inalámbrica entre la lanza, las copas y el HATD, con el fin de facilitar su manipulación.

Construir un equipo ultra portátil, independiente del PC, que realice el mismo análisis y entregue iguales resultados en una pantalla propia.

BIBLIOGRAFÍA

- [1] RAMON PALLÁS, Areny. “Sensores y acondicionadores de señal”. Tercera Edición. Marcombo. Barcelona, ESPAÑA, 1998.

- [2] PALACIOS, Enrique. REMIRO, Fernando. LÓPEZ, Lucas J.. “Microcontrolador PIC16F84A, Desarrollo de Proyectos”. 2ª edición. Alfaomega Ra-Ma. México, 2006.

- [3] BECERRA SÁNCHEZ, Edinson Gerardo. VERA ARCINIÉGAS, Carlos Augusto. “Software de Análisis Térmico Dual, SATD”. Tesis de Grado. UIS – E3T. 2004.

- [4] KESTER, Walt. “Power and Thermal Management Section 6: Temperature Sensors”. Analog Devices, Inc. USA, 1998.

- [5] ANDERSON, Russell. KUGELSTADT, Thomas. “Thermocouple Measurements with DS ADCs”. Texas Instruments. USA, 2005.

- [6] MOTOROLA. “SPI Block Guide”. Versión 03.06. 2003.

- [7] SERIAL PERIPHERAL INTERFACE BUS. Disponible:
http://en.wikipedia.org/wiki/Serial_Peripheral_Interface_Bus.

- [8] MICROCHIP TECHNOLOGY INC. “MPASM™ Assembler, MPLINK™ Object Linker, MPLIB™ Object Librarian User’s Guide”. USA, 2005.

- [9] PIC-PROGRAMMER 2 FOR PIC16C84 ETC. Disponible: <http://www.jdm.homepage.dk/newpic.htm>.
- [10] Termopar: Disponible: <http://es.wikipedia.org/wiki/Termopar>.
- [11] RS-232. Disponible: <http://en.wikipedia.org/wiki/Rs232>. UNIVERSAL SERIAL BUS. Disponible: <http://en.wikipedia.org/wiki/Usb>
- [12] MICROCHIP TECHNOLOGY INC. "Technical Data – PIC16F628A" Rev. E. 2006.
- [13] FUTURE TECHNOLOGY DEVICES. "Technical Data - FT232R USB UART I.C. 2005" Versión 1.04. 2005. páginas 1-19.
- [14] ANALOG DEVICES. "Technical Data – AD7792" Rev. A. 2005. páginas 1-26.
- [15] ANALOG DEVICES. "Technical Data – ADG659" Rev. A. 2004.
- [16] ANALOG DEVICES. "Technical Data – ADT7301" Rev. 0. 2005.

ANEXOS

A. TABLAS DE TERMOPARES TIPO K, R, S

A.1 TERMOPARES TIPO K ITS-90

Tensión Termoeléctrica en mV

°C	0	-1	-2	-3	-4	-5	-6	-7	-8	-9	-10
-270	-6.458										
-260	-6.441	-6.444	-6.446	-6.448	-6.450	-6.452	-6.453	-6.455	-6.456	-6.457	-6.458
-250	-6.404	-6.408	-6.413	-6.417	-6.421	-6.425	-6.429	-6.432	-6.435	-6.438	-6.441
-240	-6.344	-6.351	-6.358	-6.364	-6.370	-6.377	-6.382	-6.388	-6.393	-6.399	-6.404
-230	-6.262	-6.271	-6.280	-6.289	-6.297	-6.306	-6.314	-6.322	-6.329	-6.337	-6.344
-220	-6.158	-6.170	-6.181	-6.192	-6.202	-6.213	-6.223	-6.233	-6.243	-6.252	-6.262
-210	-6.035	-6.048	-6.061	-6.074	-6.087	-6.099	-6.111	-6.123	-6.135	-6.147	-6.158
-200	-5.891	-5.907	-5.922	-5.936	-5.951	-5.965	-5.980	-5.994	-6.007	-6.021	-6.035
-190	-5.730	-5.747	-5.763	-5.780	-5.797	-5.813	-5.829	-5.845	-5.861	-5.876	-5.891
-180	-5.550	-5.569	-5.588	-5.606	-5.624	-5.642	-5.660	-5.678	-5.695	-5.713	-5.730
-170	-5.354	-5.374	-5.395	-5.415	-5.435	-5.454	-5.474	-5.493	-5.512	-5.531	-5.550
-160	-5.141	-5.163	-5.185	-5.207	-5.228	-5.250	-5.271	-5.292	-5.313	-5.333	-5.354
-150	-4.913	-4.936	-4.960	-4.983	-5.006	-5.029	-5.052	-5.074	-5.097	-5.119	-5.141
-140	-4.669	-4.694	-4.719	-4.744	-4.768	-4.793	-4.817	-4.841	-4.865	-4.889	-4.913
-130	-4.411	-4.437	-4.463	-4.490	-4.516	-4.542	-4.567	-4.593	-4.618	-4.644	-4.669
-120	-4.138	-4.166	-4.194	-4.221	-4.249	-4.276	-4.303	-4.330	-4.357	-4.384	-4.411
-110	-3.852	-3.882	-3.911	-3.939	-3.968	-3.997	-4.025	-4.054	-4.082	-4.110	-4.138
-100	-3.554	-3.584	-3.614	-3.645	-3.675	-3.705	-3.734	-3.764	-3.794	-3.823	-3.852
-90	-3.243	-3.274	-3.306	-3.337	-3.368	-3.400	-3.431	-3.462	-3.492	-3.523	-3.554
-80	-2.920	-2.953	-2.986	-3.018	-3.050	-3.083	-3.115	-3.147	-3.179	-3.211	-3.243
-70	-2.587	-2.620	-2.654	-2.688	-2.721	-2.755	-2.788	-2.821	-2.854	-2.887	-2.920
-60	-2.243	-2.278	-2.312	-2.347	-2.382	-2.416	-2.450	-2.485	-2.519	-2.553	-2.587
-50	-1.889	-1.925	-1.961	-1.996	-2.032	-2.067	-2.103	-2.138	-2.173	-2.208	-2.243
-40	-1.527	-1.564	-1.600	-1.637	-1.673	-1.709	-1.745	-1.782	-1.818	-1.854	-1.889
-30	-1.156	-1.194	-1.231	-1.268	-1.305	-1.343	-1.380	-1.417	-1.453	-1.490	-1.527
°C	0	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
-20	-0.778	-0.816	-0.854	-0.892	-0.930	-0.968	-1.006	-1.043	-1.081	-1.119	-1.156
-10	-0.392	-0.431	-0.470	-0.508	-0.547	-0.586	-0.624	-0.663	-0.701	-0.739	-0.778
0	0.000	-0.039	-0.079	-0.118	-0.157	-0.197	-0.236	-0.275	-0.314	-0.353	-0.392
0	0.000	0.039	0.079	0.119	0.158	0.198	0.238	0.277	0.317	0.357	0.397
10	0.397	0.437	0.477	0.517	0.557	0.597	0.637	0.677	0.718	0.758	0.798
20	0.798	0.838	0.879	0.919	0.960	1.000	1.041	1.081	1.122	1.163	1.203
30	1.203	1.244	1.285	1.326	1.366	1.407	1.448	1.489	1.530	1.571	1.612
40	1.612	1.653	1.694	1.735	1.776	1.817	1.858	1.899	1.941	1.982	2.023
50	2.023	2.064	2.106	2.147	2.188	2.230	2.271	2.312	2.354	2.395	2.436
60	2.436	2.478	2.519	2.561	2.602	2.644	2.685	2.727	2.768	2.810	2.851
70	2.851	2.893	2.934	2.976	3.017	3.059	3.100	3.142	3.184	3.225	3.267
80	3.267	3.308	3.350	3.391	3.433	3.474	3.516	3.557	3.599	3.640	3.682
90	3.682	3.723	3.765	3.806	3.848	3.889	3.931	3.972	4.013	4.055	4.096
100	4.096	4.138	4.179	4.220	4.262	4.303	4.344	4.385	4.427	4.468	4.509
110	4.509	4.550	4.591	4.633	4.674	4.715	4.756	4.797	4.838	4.879	4.920
120	4.920	4.961	5.002	5.043	5.084	5.124	5.165	5.206	5.247	5.288	5.328
130	5.328	5.369	5.410	5.450	5.491	5.532	5.572	5.613	5.653	5.694	5.735
140	5.735	5.775	5.815	5.856	5.896	5.937	5.977	6.017	6.058	6.098	6.138
150	6.138	6.179	6.219	6.259	6.299	6.339	6.380	6.420	6.460	6.500	6.540
160	6.540	6.580	6.620	6.660	6.701	6.741	6.781	6.821	6.861	6.901	6.941
170	6.941	6.981	7.021	7.060	7.100	7.140	7.180	7.220	7.260	7.300	7.340
180	7.340	7.380	7.420	7.460	7.500	7.540	7.579	7.619	7.659	7.699	7.739
190	7.739	7.779	7.819	7.859	7.899	7.939	7.979	8.019	8.059	8.099	8.138

°C	0	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
200	8.138	8.178	8.218	8.258	8.298	8.338	8.378	8.418	8.458	8.499	8.539
210	8.539	8.579	8.619	8.659	8.699	8.739	8.779	8.819	8.860	8.900	8.940
220	8.940	8.980	9.020	9.061	9.101	9.141	9.181	9.222	9.262	9.302	9.343
230	9.343	9.383	9.423	9.464	9.504	9.545	9.585	9.626	9.666	9.707	9.747
240	9.747	9.788	9.828	9.869	9.909	9.950	9.991	10.031	10.072	10.113	10.153
250	10.153	10.194	10.235	10.276	10.316	10.357	10.398	10.439	10.480	10.520	10.561
260	10.561	10.602	10.643	10.684	10.725	10.766	10.807	10.848	10.889	10.930	10.971
270	10.971	11.012	11.053	11.094	11.135	11.176	11.217	11.259	11.300	11.341	11.382
280	11.382	11.423	11.465	11.506	11.547	11.588	11.630	11.671	11.712	11.753	11.795
290	11.795	11.836	11.877	11.919	11.960	12.001	12.043	12.084	12.126	12.167	12.209
300	12.209	12.250	12.291	12.333	12.374	12.416	12.457	12.499	12.540	12.582	12.624
310	12.624	12.665	12.707	12.748	12.790	12.831	12.873	12.915	12.956	12.998	13.040
320	13.040	13.081	13.123	13.165	13.206	13.248	13.290	13.331	13.373	13.415	13.457
330	13.457	13.498	13.540	13.582	13.624	13.665	13.707	13.749	13.791	13.833	13.874
340	13.874	13.916	13.958	14.000	14.042	14.084	14.126	14.167	14.209	14.251	14.293
350	14.293	14.335	14.377	14.419	14.461	14.503	14.545	14.587	14.629	14.671	14.713
360	14.713	14.755	14.797	14.839	14.881	14.923	14.965	15.007	15.049	15.091	15.133
370	15.133	15.175	15.217	15.259	15.301	15.343	15.385	15.427	15.469	15.511	15.554
380	15.554	15.596	15.638	15.680	15.722	15.764	15.806	15.849	15.891	15.933	15.975
390	15.975	16.017	16.059	16.102	16.144	16.186	16.228	16.270	16.313	16.355	16.397
400	16.397	16.439	16.482	16.524	16.566	16.608	16.651	16.693	16.735	16.778	16.820
410	16.820	16.862	16.904	16.947	16.989	17.031	17.074	17.116	17.158	17.201	17.243
420	17.243	17.285	17.328	17.370	17.413	17.455	17.497	17.540	17.582	17.624	17.667
430	17.667	17.709	17.752	17.794	17.837	17.879	17.921	17.964	18.006	18.049	18.091
440	18.091	18.134	18.176	18.218	18.261	18.303	18.346	18.388	18.431	18.473	18.516
450	18.516	18.558	18.601	18.643	18.686	18.728	18.771	18.813	18.856	18.898	18.941
460	18.941	18.983	19.026	19.068	19.111	19.154	19.196	19.239	19.281	19.324	19.366
470	19.366	19.409	19.451	19.494	19.537	19.579	19.622	19.664	19.707	19.750	19.792
480	19.792	19.835	19.877	19.920	19.962	20.005	20.048	20.090	20.133	20.175	20.218
490	20.218	20.261	20.303	20.346	20.389	20.431	20.474	20.516	20.559	20.602	20.644
500	20.644	20.687	20.730	20.772	20.815	20.857	20.900	20.943	20.985	21.028	21.071
510	21.071	21.113	21.156	21.199	21.241	21.284	21.326	21.369	21.412	21.454	21.497
°C	0	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
520	21.497	21.540	21.582	21.625	21.668	21.710	21.753	21.796	21.838	21.881	21.924
530	21.924	21.966	22.009	22.052	22.094	22.137	22.179	22.222	22.265	22.307	22.350
540	22.350	22.393	22.435	22.478	22.521	22.563	22.606	22.649	22.691	22.734	22.776
550	22.776	22.819	22.862	22.904	22.947	22.990	23.032	23.075	23.117	23.160	23.203
560	23.203	23.245	23.288	23.331	23.373	23.416	23.458	23.501	23.544	23.586	23.629
570	23.629	23.671	23.714	23.757	23.799	23.842	23.884	23.927	23.970	24.012	24.055
580	24.055	24.097	24.140	24.182	24.225	24.267	24.310	24.353	24.395	24.438	24.480
590	24.480	24.523	24.565	24.608	24.650	24.693	24.735	24.778	24.820	24.863	24.905
600	24.905	24.948	24.990	25.033	25.075	25.118	25.160	25.203	25.245	25.288	25.330
610	25.330	25.373	25.415	25.458	25.500	25.543	25.585	25.627	25.670	25.712	25.755
620	25.755	25.797	25.840	25.882	25.924	25.967	26.009	26.052	26.094	26.136	26.179
630	26.179	26.221	26.263	26.306	26.348	26.390	26.433	26.475	26.517	26.560	26.602
640	26.602	26.644	26.687	26.729	26.771	26.814	26.856	26.898	26.940	26.983	27.025
650	27.025	27.067	27.109	27.152	27.194	27.236	27.278	27.320	27.363	27.405	27.447
660	27.447	27.489	27.531	27.574	27.616	27.658	27.700	27.742	27.784	27.826	27.869
670	27.869	27.911	27.953	27.995	28.037	28.079	28.121	28.163	28.205	28.247	28.289
680	28.289	28.332	28.374	28.416	28.458	28.500	28.542	28.584	28.626	28.668	28.710
690	28.710	28.752	28.794	28.835	28.877	28.919	28.961	29.003	29.045	29.087	29.129
700	29.129	29.171	29.213	29.255	29.297	29.338	29.380	29.422	29.464	29.506	29.548
710	29.548	29.589	29.631	29.673	29.715	29.757	29.798	29.840	29.882	29.924	29.965
720	29.965	30.007	30.049	30.090	30.132	30.174	30.216	30.257	30.299	30.341	30.382
730	30.382	30.424	30.466	30.507	30.549	30.590	30.632	30.674	30.715	30.757	30.798
740	30.798	30.840	30.881	30.923	30.964	31.006	31.047	31.089	31.130	31.172	31.213
750	31.213	31.255	31.296	31.338	31.379	31.421	31.462	31.504	31.545	31.586	31.628
760	31.628	31.669	31.710	31.752	31.793	31.834	31.876	31.917	31.958	32.000	32.041
770	32.041	32.082	32.124	32.165	32.206	32.247	32.289	32.330	32.371	32.412	32.453
780	32.453	32.495	32.536	32.577	32.618	32.659	32.700	32.742	32.783	32.824	32.865
790	32.865	32.906	32.947	32.988	33.029	33.070	33.111	33.152	33.193	33.234	33.275
800	33.275	33.316	33.357	33.398	33.439	33.480	33.521	33.562	33.603	33.644	33.685

°C	0	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
810	33.685	33.726	33.767	33.808	33.848	33.889	33.930	33.971	34.012	34.053	34.093
820	34.093	34.134	34.175	34.216	34.257	34.297	34.338	34.379	34.420	34.460	34.501
830	34.501	34.542	34.582	34.623	34.664	34.704	34.745	34.786	34.826	34.867	34.908
840	34.908	34.948	34.989	35.029	35.070	35.110	35.151	35.192	35.232	35.273	35.313
850	35.313	35.354	35.394	35.435	35.475	35.516	35.556	35.596	35.637	35.677	35.718
860	35.718	35.758	35.798	35.839	35.879	35.920	35.960	36.000	36.041	36.081	36.121
870	36.121	36.162	36.202	36.242	36.282	36.323	36.363	36.403	36.443	36.484	36.524
880	36.524	36.564	36.604	36.644	36.685	36.725	36.765	36.805	36.845	36.885	36.925
890	36.925	36.965	37.006	37.046	37.086	37.126	37.166	37.206	37.246	37.286	37.326
900	37.326	37.366	37.406	37.446	37.486	37.526	37.566	37.606	37.646	37.686	37.725
910	37.725	37.765	37.805	37.845	37.885	37.925	37.965	38.005	38.044	38.084	38.124
920	38.124	38.164	38.204	38.243	38.283	38.323	38.363	38.402	38.442	38.482	38.522
930	38.522	38.561	38.601	38.641	38.680	38.720	38.760	38.799	38.839	38.878	38.918
940	38.918	38.958	38.997	39.037	39.076	39.116	39.155	39.195	39.235	39.274	39.314
950	39.314	39.353	39.393	39.432	39.471	39.511	39.550	39.590	39.629	39.669	39.708
960	39.708	39.747	39.787	39.826	39.866	39.905	39.944	39.984	40.023	40.062	40.101
970	40.101	40.141	40.180	40.219	40.259	40.298	40.337	40.376	40.415	40.455	40.494
980	40.494	40.533	40.572	40.611	40.651	40.690	40.729	40.768	40.807	40.846	40.885
990	40.885	40.924	40.963	41.002	41.042	41.081	41.120	41.159	41.198	41.237	41.276
1000	41.276	41.315	41.354	41.393	41.431	41.470	41.509	41.548	41.587	41.626	41.665
1010	41.665	41.704	41.743	41.781	41.820	41.859	41.898	41.937	41.976	42.014	42.053
1020	42.053	42.092	42.131	42.169	42.208	42.247	42.286	42.324	42.363	42.402	42.440
1030	42.440	42.479	42.518	42.556	42.595	42.633	42.672	42.711	42.749	42.788	42.826
1040	42.826	42.865	42.903	42.942	42.980	43.019	43.057	43.096	43.134	43.173	43.211
1050	43.211	43.250	43.288	43.327	43.365	43.403	43.442	43.480	43.518	43.557	43.595
1060	43.595	43.633	43.672	43.710	43.748	43.787	43.825	43.863	43.901	43.940	43.978
1070	43.978	44.016	44.054	44.092	44.130	44.169	44.207	44.245	44.283	44.321	44.359
1080	44.359	44.397	44.435	44.473	44.512	44.550	44.588	44.626	44.664	44.702	44.740
1090	44.740	44.778	44.816	44.853	44.891	44.929	44.967	45.005	45.043	45.081	45.119
1100	45.119	45.157	45.194	45.232	45.270	45.308	45.346	45.383	45.421	45.459	45.497
°C	0	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
1110	45.497	45.534	45.572	45.610	45.647	45.685	45.723	45.760	45.798	45.836	45.873
1120	45.873	45.911	45.948	45.986	46.024	46.061	46.099	46.136	46.174	46.211	46.249
1130	46.249	46.286	46.324	46.361	46.398	46.436	46.473	46.511	46.548	46.585	46.623
1140	46.623	46.660	46.697	46.735	46.772	46.809	46.847	46.884	46.921	46.958	46.995
1150	46.995	47.033	47.070	47.107	47.144	47.181	47.218	47.256	47.293	47.330	47.367
1160	47.367	47.404	47.441	47.478	47.515	47.552	47.589	47.626	47.663	47.700	47.737
1170	47.737	47.774	47.811	47.848	47.884	47.921	47.958	47.995	48.032	48.069	48.105
1180	48.105	48.142	48.179	48.216	48.252	48.289	48.326	48.363	48.399	48.436	48.473
1190	48.473	48.509	48.546	48.582	48.619	48.656	48.692	48.729	48.765	48.802	48.838
1200	48.838	48.875	48.911	48.948	48.984	49.021	49.057	49.093	49.130	49.166	49.202
1210	49.202	49.239	49.275	49.311	49.348	49.384	49.420	49.456	49.493	49.529	49.565
1220	49.565	49.601	49.637	49.674	49.710	49.746	49.782	49.818	49.854	49.890	49.926
1230	49.926	49.962	49.998	50.034	50.070	50.106	50.142	50.178	50.214	50.250	50.286
1240	50.286	50.322	50.358	50.393	50.429	50.465	50.501	50.537	50.572	50.608	50.644
1250	50.644	50.680	50.715	50.751	50.787	50.822	50.858	50.894	50.929	50.965	51.000
1260	51.000	51.036	51.071	51.107	51.142	51.178	51.213	51.249	51.284	51.320	51.355
1270	51.355	51.391	51.426	51.461	51.497	51.532	51.567	51.603	51.638	51.673	51.708
1280	51.708	51.744	51.779	51.814	51.849	51.885	51.920	51.955	51.990	52.025	52.060
1290	52.060	52.095	52.130	52.165	52.200	52.235	52.270	52.305	52.340	52.375	52.410
1300	52.410	52.445	52.480	52.515	52.550	52.585	52.620	52.654	52.689	52.724	52.759
1310	52.759	52.794	52.828	52.863	52.898	52.932	52.967	53.002	53.037	53.071	53.106
1320	53.106	53.140	53.175	53.210	53.244	53.279	53.313	53.348	53.382	53.417	53.451
1330	53.451	53.486	53.520	53.555	53.589	53.623	53.658	53.692	53.727	53.761	53.795
1340	53.795	53.830	53.864	53.898	53.932	53.967	54.001	54.035	54.069	54.104	54.138
1350	54.138	54.172	54.206	54.240	54.274	54.308	54.343	54.377	54.411	54.445	54.479
1360	54.479	54.513	54.547	54.581	54.615	54.649	54.683	54.717	54.751	54.785	54.819
1370	54.819	54.852	54.886								

A.2 TERMOPARES TIPO R ITS-90

Tensión Termoeléctrica en mV

°C	0	-1	-2	-3	-4	-5	-6	-7	-8	-9	-10
-50	-0.226										
-40	-0.188	-0.192	-0.196	-0.200	-0.204	-0.208	-0.211	-0.215	-0.219	-0.223	-0.226
-30	-0.145	-0.150	-0.154	-0.158	-0.163	-0.167	-0.171	-0.175	-0.180	-0.184	-0.188
-20	-0.100	-0.105	-0.109	-0.114	-0.119	-0.123	-0.128	-0.132	-0.137	-0.141	-0.145
-10	-0.051	-0.056	-0.061	-0.066	-0.071	-0.076	-0.081	-0.086	-0.091	-0.095	-0.100
0	0.000	-0.005	-0.011	-0.016	-0.021	-0.026	-0.031	-0.036	-0.041	-0.046	-0.051
°C	0	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
0	0.000	0.005	0.011	0.016	0.021	0.027	0.032	0.038	0.043	0.049	0.054
10	0.054	0.060	0.065	0.071	0.077	0.082	0.088	0.094	0.100	0.105	0.111
20	0.111	0.117	0.123	0.129	0.135	0.141	0.147	0.153	0.159	0.165	0.171
30	0.171	0.177	0.183	0.189	0.195	0.201	0.207	0.214	0.220	0.226	0.232
40	0.232	0.239	0.245	0.251	0.258	0.264	0.271	0.277	0.284	0.290	0.296
50	0.296	0.303	0.310	0.316	0.323	0.329	0.336	0.343	0.349	0.356	0.363
60	0.363	0.369	0.376	0.383	0.390	0.397	0.403	0.410	0.417	0.424	0.431
70	0.431	0.438	0.445	0.452	0.459	0.466	0.473	0.480	0.487	0.494	0.501
80	0.501	0.508	0.516	0.523	0.530	0.537	0.544	0.552	0.559	0.566	0.573
90	0.573	0.581	0.588	0.595	0.603	0.610	0.618	0.625	0.632	0.640	0.647
100	0.647	0.655	0.662	0.670	0.677	0.685	0.693	0.700	0.708	0.715	0.723
110	0.723	0.731	0.738	0.746	0.754	0.761	0.769	0.777	0.785	0.792	0.800
120	0.800	0.808	0.816	0.824	0.832	0.839	0.847	0.855	0.863	0.871	0.879
130	0.879	0.887	0.895	0.903	0.911	0.919	0.927	0.935	0.943	0.951	0.959
140	0.959	0.967	0.976	0.984	0.992	1.000	1.008	1.016	1.025	1.033	1.041
150	1.041	1.049	1.058	1.066	1.074	1.082	1.091	1.099	1.107	1.116	1.124
160	1.124	1.132	1.141	1.149	1.158	1.166	1.175	1.183	1.191	1.200	1.208
170	1.208	1.217	1.225	1.234	1.242	1.251	1.260	1.268	1.277	1.285	1.294
180	1.294	1.303	1.311	1.320	1.329	1.337	1.346	1.355	1.363	1.372	1.381
190	1.381	1.389	1.398	1.407	1.416	1.425	1.433	1.442	1.451	1.460	1.469
200	1.469	1.477	1.486	1.495	1.504	1.513	1.522	1.531	1.540	1.549	1.558
210	1.558	1.567	1.575	1.584	1.593	1.602	1.611	1.620	1.629	1.639	1.648
220	1.648	1.657	1.666	1.675	1.684	1.693	1.702	1.711	1.720	1.729	1.739
230	1.739	1.748	1.757	1.766	1.775	1.784	1.794	1.803	1.812	1.821	1.831
240	1.831	1.840	1.849	1.858	1.868	1.877	1.886	1.895	1.905	1.914	1.923
250	1.923	1.933	1.942	1.951	1.961	1.970	1.980	1.989	1.998	2.008	2.017
°C	0	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
260	2.017	2.027	2.036	2.046	2.055	2.064	2.074	2.083	2.093	2.102	2.112
270	2.112	2.121	2.131	2.140	2.150	2.159	2.169	2.179	2.188	2.198	2.207
280	2.207	2.217	2.226	2.236	2.246	2.255	2.265	2.275	2.284	2.294	2.304
290	2.304	2.313	2.323	2.333	2.342	2.352	2.362	2.371	2.381	2.391	2.401
300	2.401	2.410	2.420	2.430	2.440	2.449	2.459	2.469	2.479	2.488	2.498
310	2.498	2.508	2.518	2.528	2.538	2.547	2.557	2.567	2.577	2.587	2.597
320	2.597	2.607	2.617	2.626	2.636	2.646	2.656	2.666	2.676	2.686	2.696
330	2.696	2.706	2.716	2.726	2.736	2.746	2.756	2.766	2.776	2.786	2.796
340	2.796	2.806	2.816	2.826	2.836	2.846	2.856	2.866	2.876	2.886	2.896
350	2.896	2.906	2.916	2.926	2.937	2.947	2.957	2.967	2.977	2.987	2.997
360	2.997	3.007	3.018	3.028	3.038	3.048	3.058	3.068	3.079	3.089	3.099
370	3.099	3.109	3.119	3.130	3.140	3.150	3.160	3.171	3.181	3.191	3.201
380	3.201	3.212	3.222	3.232	3.242	3.253	3.263	3.273	3.284	3.294	3.304
390	3.304	3.315	3.325	3.335	3.346	3.356	3.366	3.377	3.387	3.397	3.408
400	3.408	3.418	3.428	3.439	3.449	3.460	3.470	3.480	3.491	3.501	3.512
410	3.512	3.522	3.533	3.543	3.553	3.564	3.574	3.585	3.595	3.606	3.616
420	3.616	3.627	3.637	3.648	3.658	3.669	3.679	3.690	3.700	3.711	3.721
430	3.721	3.732	3.742	3.753	3.764	3.774	3.785	3.795	3.806	3.816	3.827
440	3.827	3.838	3.848	3.859	3.869	3.880	3.891	3.901	3.912	3.922	3.933
450	3.933	3.944	3.954	3.965	3.976	3.986	3.997	4.008	4.018	4.029	4.040
460	4.040	4.050	4.061	4.072	4.083	4.093	4.104	4.115	4.125	4.136	4.147
470	4.147	4.158	4.168	4.179	4.190	4.201	4.211	4.222	4.233	4.244	4.255

°C	0	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
480	4.255	4.265	4.276	4.287	4.298	4.309	4.319	4.330	4.341	4.352	4.363
490	4.363	4.373	4.384	4.395	4.406	4.417	4.428	4.439	4.449	4.460	4.471
500	4.471	4.482	4.493	4.504	4.515	4.526	4.537	4.548	4.558	4.569	4.580
510	4.580	4.591	4.602	4.613	4.624	4.635	4.646	4.657	4.668	4.679	4.690
520	4.690	4.701	4.712	4.723	4.734	4.745	4.756	4.767	4.778	4.789	4.800
530	4.800	4.811	4.822	4.833	4.844	4.855	4.866	4.877	4.888	4.899	4.910
540	4.910	4.922	4.933	4.944	4.955	4.966	4.977	4.988	4.999	5.010	5.021
550	5.021	5.033	5.044	5.055	5.066	5.077	5.088	5.099	5.111	5.122	5.133
560	5.133	5.144	5.155	5.166	5.178	5.189	5.200	5.211	5.222	5.234	5.245
570	5.245	5.256	5.267	5.279	5.290	5.301	5.312	5.323	5.335	5.346	5.357
580	5.357	5.369	5.380	5.391	5.402	5.414	5.425	5.436	5.448	5.459	5.470
590	5.470	5.481	5.493	5.504	5.515	5.527	5.538	5.549	5.561	5.572	5.583
600	5.583	5.595	5.606	5.618	5.629	5.640	5.652	5.663	5.674	5.686	5.697
610	5.697	5.709	5.720	5.731	5.743	5.754	5.766	5.777	5.789	5.800	5.812
620	5.812	5.823	5.834	5.846	5.857	5.869	5.880	5.892	5.903	5.915	5.926
630	5.926	5.938	5.949	5.961	5.972	5.984	5.995	6.007	6.018	6.030	6.041
640	6.041	6.053	6.065	6.076	6.088	6.099	6.111	6.122	6.134	6.146	6.157
650	6.157	6.169	6.180	6.192	6.204	6.215	6.227	6.238	6.250	6.262	6.273
660	6.273	6.285	6.297	6.308	6.320	6.332	6.343	6.355	6.367	6.378	6.390
670	6.390	6.402	6.413	6.425	6.437	6.448	6.460	6.472	6.484	6.495	6.507
680	6.507	6.519	6.531	6.542	6.554	6.566	6.578	6.589	6.601	6.613	6.625
690	6.625	6.636	6.648	6.660	6.672	6.684	6.695	6.707	6.719	6.731	6.743
700	6.743	6.755	6.766	6.778	6.790	6.802	6.814	6.826	6.838	6.849	6.861
710	6.861	6.873	6.885	6.897	6.909	6.921	6.933	6.945	6.956	6.968	6.980
720	6.980	6.992	7.004	7.016	7.028	7.040	7.052	7.064	7.076	7.088	7.100
730	7.100	7.112	7.124	7.136	7.148	7.160	7.172	7.184	7.196	7.208	7.220
740	7.220	7.232	7.244	7.256	7.268	7.280	7.292	7.304	7.316	7.328	7.340
750	7.340	7.352	7.364	7.376	7.389	7.401	7.413	7.425	7.437	7.449	7.461
760	7.461	7.473	7.485	7.498	7.510	7.522	7.534	7.546	7.558	7.570	7.583
770	7.583	7.595	7.607	7.619	7.631	7.644	7.656	7.668	7.680	7.692	7.705
780	7.705	7.717	7.729	7.741	7.753	7.766	7.778	7.790	7.802	7.815	7.827
790	7.827	7.839	7.851	7.864	7.876	7.888	7.901	7.913	7.925	7.938	7.950
°C	0	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
800	7.950	7.962	7.974	7.987	7.999	8.011	8.024	8.036	8.048	8.061	8.073
810	8.073	8.086	8.098	8.110	8.123	8.135	8.147	8.160	8.172	8.185	8.197
820	8.197	8.209	8.222	8.234	8.247	8.259	8.272	8.284	8.296	8.309	8.321
830	8.321	8.334	8.346	8.359	8.371	8.384	8.396	8.409	8.421	8.434	8.446
840	8.446	8.459	8.471	8.484	8.496	8.509	8.521	8.534	8.546	8.559	8.571
850	8.571	8.584	8.597	8.609	8.622	8.634	8.647	8.659	8.672	8.685	8.697
860	8.697	8.710	8.722	8.735	8.748	8.760	8.773	8.785	8.798	8.811	8.823
870	8.823	8.836	8.849	8.861	8.874	8.887	8.899	8.912	8.925	8.937	8.950
880	8.950	8.963	8.975	8.988	9.001	9.014	9.026	9.039	9.052	9.065	9.077
890	9.077	9.090	9.103	9.115	9.128	9.141	9.154	9.167	9.179	9.192	9.205
900	9.205	9.218	9.230	9.243	9.256	9.269	9.282	9.294	9.307	9.320	9.333
910	9.333	9.346	9.359	9.371	9.384	9.397	9.410	9.423	9.436	9.449	9.461
920	9.461	9.474	9.487	9.500	9.513	9.526	9.539	9.552	9.565	9.578	9.590
930	9.590	9.603	9.616	9.629	9.642	9.655	9.668	9.681	9.694	9.707	9.720
940	9.720	9.733	9.746	9.759	9.772	9.785	9.798	9.811	9.824	9.837	9.850
950	9.850	9.863	9.876	9.889	9.902	9.915	9.928	9.941	9.954	9.967	9.980
960	9.980	9.993	10.006	10.019	10.032	10.046	10.059	10.072	10.085	10.098	10.111
970	10.111	10.124	10.137	10.150	10.163	10.177	10.190	10.203	10.216	10.229	10.242
980	10.242	10.255	10.268	10.282	10.295	10.308	10.321	10.334	10.347	10.361	10.374
990	10.374	10.387	10.400	10.413	10.427	10.440	10.453	10.466	10.480	10.493	10.506
1000	10.506	10.519	10.532	10.546	10.559	10.572	10.585	10.599	10.612	10.625	10.638
1010	10.638	10.652	10.665	10.678	10.692	10.705	10.718	10.731	10.745	10.758	10.771
1020	10.771	10.785	10.798	10.811	10.825	10.838	10.851	10.865	10.878	10.891	10.905
1030	10.905	10.918	10.932	10.945	10.958	10.972	10.985	10.998	11.012	11.025	11.039
1040	11.039	11.052	11.065	11.079	11.092	11.106	11.119	11.132	11.146	11.159	11.173
1050	11.173	11.186	11.200	11.213	11.227	11.240	11.253	11.267	11.280	11.294	11.307
1060	11.307	11.321	11.334	11.348	11.361	11.375	11.388	11.402	11.415	11.429	11.442
1070	11.442	11.456	11.469	11.483	11.496	11.510	11.524	11.537	11.551	11.564	11.578
1080	11.578	11.591	11.605	11.618	11.632	11.646	11.659	11.673	11.686	11.700	11.714

°C	0	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
1090	11.714	11.727	11.741	11.754	11.768	11.782	11.795	11.809	11.822	11.836	11.850
1100	11.850	11.863	11.877	11.891	11.904	11.918	11.931	11.945	11.959	11.972	11.986
1110	11.986	12.000	12.013	12.027	12.041	12.054	12.068	12.082	12.096	12.109	12.123
1120	12.123	12.137	12.150	12.164	12.178	12.191	12.205	12.219	12.233	12.246	12.260
1130	12.260	12.274	12.288	12.301	12.315	12.329	12.342	12.356	12.370	12.384	12.397
1140	12.397	12.411	12.425	12.439	12.453	12.466	12.480	12.494	12.508	12.521	12.535
1150	12.535	12.549	12.563	12.577	12.590	12.604	12.618	12.632	12.646	12.659	12.673
1160	12.673	12.687	12.701	12.715	12.729	12.742	12.756	12.770	12.784	12.798	12.812
1170	12.812	12.825	12.839	12.853	12.867	12.881	12.895	12.909	12.922	12.936	12.950
1180	12.950	12.964	12.978	12.992	13.006	13.019	13.033	13.047	13.061	13.075	13.089
1190	13.089	13.103	13.117	13.131	13.145	13.158	13.172	13.186	13.200	13.214	13.228
1200	13.228	13.242	13.256	13.270	13.284	13.298	13.311	13.325	13.339	13.353	13.367
1210	13.367	13.381	13.395	13.409	13.423	13.437	13.451	13.465	13.479	13.493	13.507
1220	13.507	13.521	13.535	13.549	13.563	13.577	13.590	13.604	13.618	13.632	13.646
1230	13.646	13.660	13.674	13.688	13.702	13.716	13.730	13.744	13.758	13.772	13.786
1240	13.786	13.800	13.814	13.828	13.842	13.856	13.870	13.884	13.898	13.912	13.926
1250	13.926	13.940	13.954	13.968	13.982	13.996	14.010	14.024	14.038	14.052	14.066
1260	14.066	14.081	14.095	14.109	14.123	14.137	14.151	14.165	14.179	14.193	14.207
1270	14.207	14.221	14.235	14.249	14.263	14.277	14.291	14.305	14.319	14.333	14.347
1280	14.347	14.361	14.375	14.390	14.404	14.418	14.432	14.446	14.460	14.474	14.488
1290	14.488	14.502	14.516	14.530	14.544	14.558	14.572	14.586	14.601	14.615	14.629
1300	14.629	14.643	14.657	14.671	14.685	14.699	14.713	14.727	14.741	14.755	14.770
1310	14.770	14.784	14.798	14.812	14.826	14.840	14.854	14.868	14.882	14.896	14.911
1320	14.911	14.925	14.939	14.953	14.967	14.981	14.995	15.009	15.023	15.037	15.052
1330	15.052	15.066	15.080	15.094	15.108	15.122	15.136	15.150	15.164	15.179	15.193
1340	15.193	15.207	15.221	15.235	15.249	15.263	15.277	15.291	15.306	15.320	15.334
1350	15.334	15.348	15.362	15.376	15.390	15.404	15.419	15.433	15.447	15.461	15.475
1360	15.475	15.489	15.503	15.517	15.531	15.546	15.560	15.574	15.588	15.602	15.616
1370	15.616	15.630	15.645	15.659	15.673	15.687	15.701	15.715	15.729	15.743	15.758
1380	15.758	15.772	15.786	15.800	15.814	15.828	15.842	15.856	15.871	15.885	15.899
1390	15.899	15.913	15.927	15.941	15.955	15.969	15.984	15.998	16.012	16.026	16.040
1400	16.040	16.054	16.068	16.082	16.097	16.111	16.125	16.139	16.153	16.167	16.181
°C	0	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
1410	16.181	16.196	16.210	16.224	16.238	16.252	16.266	16.280	16.294	16.309	16.323
1420	16.323	16.337	16.351	16.365	16.379	16.393	16.407	16.422	16.436	16.450	16.464
1430	16.464	16.478	16.492	16.506	16.520	16.534	16.549	16.563	16.577	16.591	16.605
1440	16.605	16.619	16.633	16.647	16.662	16.676	16.690	16.704	16.718	16.732	16.746
1450	16.746	16.760	16.774	16.789	16.803	16.817	16.831	16.845	16.859	16.873	16.887
1460	16.887	16.901	16.915	16.930	16.944	16.958	16.972	16.986	17.000	17.014	17.028
1470	17.028	17.042	17.056	17.071	17.085	17.099	17.113	17.127	17.141	17.155	17.169
1480	17.169	17.183	17.197	17.211	17.225	17.240	17.254	17.268	17.282	17.296	17.310
1490	17.310	17.324	17.338	17.352	17.366	17.380	17.394	17.408	17.423	17.437	17.451
1500	17.451	17.465	17.479	17.493	17.507	17.521	17.535	17.549	17.563	17.577	17.591
1510	17.591	17.605	17.619	17.633	17.647	17.661	17.676	17.690	17.704	17.718	17.732
1520	17.732	17.746	17.760	17.774	17.788	17.802	17.816	17.830	17.844	17.858	17.872
1530	17.872	17.886	17.900	17.914	17.928	17.942	17.956	17.970	17.984	17.998	18.012
1540	18.012	18.026	18.040	18.054	18.068	18.082	18.096	18.110	18.124	18.138	18.152
1550	18.152	18.166	18.180	18.194	18.208	18.222	18.236	18.250	18.264	18.278	18.292
1560	18.292	18.306	18.320	18.334	18.348	18.362	18.376	18.390	18.404	18.417	18.431
1570	18.431	18.445	18.459	18.473	18.487	18.501	18.515	18.529	18.543	18.557	18.571
1580	18.571	18.585	18.599	18.613	18.627	18.640	18.654	18.668	18.682	18.696	18.710
1590	18.710	18.724	18.738	18.752	18.766	18.779	18.793	18.807	18.821	18.835	18.849
1600	18.849	18.863	18.877	18.891	18.904	18.918	18.932	18.946	18.960	18.974	18.988
1610	18.988	19.002	19.015	19.029	19.043	19.057	19.071	19.085	19.098	19.112	19.126
1620	19.126	19.140	19.154	19.168	19.181	19.195	19.209	19.223	19.237	19.250	19.264
1630	19.264	19.278	19.292	19.306	19.319	19.333	19.347	19.361	19.375	19.388	19.402
1640	19.402	19.416	19.430	19.444	19.457	19.471	19.485	19.499	19.512	19.526	19.540
1650	19.540	19.554	19.567	19.581	19.595	19.609	19.622	19.636	19.650	19.663	19.677
1660	19.677	19.691	19.705	19.718	19.732	19.746	19.759	19.773	19.787	19.800	19.814
1670	19.814	19.828	19.841	19.855	19.869	19.882	19.896	19.910	19.923	19.937	19.951
1680	19.951	19.964	19.978	19.992	20.005	20.019	20.032	20.046	20.060	20.073	20.087
1690	20.087	20.100	20.114	20.127	20.141	20.154	20.168	20.181	20.195	20.208	20.222

°C	0	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
1700	20.222	20.235	20.249	20.262	20.275	20.289	20.302	20.316	20.329	20.342	20.356
1710	20.356	20.369	20.382	20.396	20.409	20.422	20.436	20.449	20.462	20.475	20.488
1720	20.488	20.502	20.515	20.528	20.541	20.554	20.567	20.581	20.594	20.607	20.620
1730	20.620	20.633	20.646	20.659	20.672	20.685	20.698	20.711	20.724	20.736	20.749
1740	20.749	20.762	20.775	20.788	20.801	20.813	20.826	20.839	20.852	20.864	20.877
1750	20.877	20.890	20.902	20.915	20.928	20.940	20.953	20.965	20.978	20.990	21.003
1760	21.003	21.015	21.027	21.040	21.052	21.065	21.077	21.089	21.101		

A.3 TERMOPARES TIPO S ITS-90

Tensión Termoeléctrica en mV

°C	0	-1	-2	-3	-4	-5	-6	-7	-8	-9	-10
-50	-0.236										
-40	-0.194	-0.199	-0.203	-0.207	-0.211	-0.215	-0.219	-0.224	-0.228	-0.232	-0.236
-30	-0.150	-0.155	-0.159	-0.164	-0.168	-0.173	-0.177	-0.181	-0.186	-0.190	-0.194
-20	-0.103	-0.108	-0.113	-0.117	-0.122	-0.127	-0.132	-0.136	-0.141	-0.146	-0.150
-10	-0.053	-0.058	-0.063	-0.068	-0.073	-0.078	-0.083	-0.088	-0.093	-0.098	-0.103
0	0.000	-0.005	-0.011	-0.016	-0.021	-0.027	-0.032	-0.037	-0.042	-0.048	-0.053
°C	0	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
0	0.000	0.005	0.011	0.016	0.022	0.027	0.033	0.038	0.044	0.050	0.055
10	0.055	0.061	0.067	0.072	0.078	0.084	0.090	0.095	0.101	0.107	0.113
20	0.113	0.119	0.125	0.131	0.137	0.143	0.149	0.155	0.161	0.167	0.173
30	0.173	0.179	0.185	0.191	0.197	0.204	0.210	0.216	0.222	0.229	0.235
40	0.235	0.241	0.248	0.254	0.260	0.267	0.273	0.280	0.286	0.292	0.299
50	0.299	0.305	0.312	0.319	0.325	0.332	0.338	0.345	0.352	0.358	0.365
60	0.365	0.372	0.378	0.385	0.392	0.399	0.405	0.412	0.419	0.426	0.433
70	0.433	0.440	0.446	0.453	0.460	0.467	0.474	0.481	0.488	0.495	0.502
80	0.502	0.509	0.516	0.523	0.530	0.538	0.545	0.552	0.559	0.566	0.573
90	0.573	0.580	0.588	0.595	0.602	0.609	0.617	0.624	0.631	0.639	0.646
100	0.646	0.653	0.661	0.668	0.675	0.683	0.690	0.698	0.705	0.713	0.720
110	0.720	0.727	0.735	0.743	0.750	0.758	0.765	0.773	0.780	0.788	0.795
120	0.795	0.803	0.811	0.818	0.826	0.834	0.841	0.849	0.857	0.865	0.872
130	0.872	0.880	0.888	0.896	0.903	0.911	0.919	0.927	0.935	0.942	0.950
140	0.950	0.958	0.966	0.974	0.982	0.990	0.998	1.006	1.013	1.021	1.029
150	1.029	1.037	1.045	1.053	1.061	1.069	1.077	1.085	1.094	1.102	1.110
160	1.110	1.118	1.126	1.134	1.142	1.150	1.158	1.167	1.175	1.183	1.191
170	1.191	1.199	1.207	1.216	1.224	1.232	1.240	1.249	1.257	1.265	1.273
180	1.273	1.282	1.290	1.298	1.307	1.315	1.323	1.332	1.340	1.348	1.357
190	1.357	1.365	1.373	1.382	1.390	1.399	1.407	1.415	1.424	1.432	1.441
200	1.441	1.449	1.458	1.466	1.475	1.483	1.492	1.500	1.509	1.517	1.526
210	1.526	1.534	1.543	1.551	1.560	1.569	1.577	1.586	1.594	1.603	1.612
220	1.612	1.620	1.629	1.638	1.646	1.655	1.663	1.672	1.681	1.690	1.698
°C	0	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
230	1.698	1.707	1.716	1.724	1.733	1.742	1.751	1.759	1.768	1.777	1.786
240	1.786	1.794	1.803	1.812	1.821	1.829	1.838	1.847	1.856	1.865	1.874
250	1.874	1.882	1.891	1.900	1.909	1.918	1.927	1.936	1.944	1.953	1.962
260	1.962	1.971	1.980	1.989	1.998	2.007	2.016	2.025	2.034	2.043	2.052
270	2.052	2.061	2.070	2.078	2.087	2.096	2.105	2.114	2.123	2.132	2.141
280	2.141	2.151	2.160	2.169	2.178	2.187	2.196	2.205	2.214	2.223	2.232
290	2.232	2.241	2.250	2.259	2.268	2.277	2.287	2.296	2.305	2.314	2.323
300	2.323	2.332	2.341	2.350	2.360	2.369	2.378	2.387	2.396	2.405	2.415
310	2.415	2.424	2.433	2.442	2.451	2.461	2.470	2.479	2.488	2.497	2.507
320	2.507	2.516	2.525	2.534	2.544	2.553	2.562	2.571	2.581	2.590	2.599
330	2.599	2.609	2.618	2.627	2.636	2.646	2.655	2.664	2.674	2.683	2.692
340	2.692	2.702	2.711	2.720	2.730	2.739	2.748	2.758	2.767	2.776	2.786
350	2.786	2.795	2.805	2.814	2.823	2.833	2.842	2.851	2.861	2.870	2.880
360	2.880	2.889	2.899	2.908	2.917	2.927	2.936	2.946	2.955	2.965	2.974

°C	0	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
370	2.974	2.983	2.993	3.002	3.012	3.021	3.031	3.040	3.050	3.059	3.069
380	3.069	3.078	3.088	3.097	3.107	3.116	3.126	3.135	3.145	3.154	3.164
390	3.164	3.173	3.183	3.192	3.202	3.212	3.221	3.231	3.240	3.250	3.259
400	3.259	3.269	3.279	3.288	3.298	3.307	3.317	3.326	3.336	3.346	3.355
410	3.355	3.365	3.374	3.384	3.394	3.403	3.413	3.423	3.432	3.442	3.451
420	3.451	3.461	3.471	3.480	3.490	3.500	3.509	3.519	3.529	3.538	3.548
430	3.548	3.558	3.567	3.577	3.587	3.596	3.606	3.616	3.626	3.635	3.645
440	3.645	3.655	3.664	3.674	3.684	3.694	3.703	3.713	3.723	3.732	3.742
450	3.742	3.752	3.762	3.771	3.781	3.791	3.801	3.810	3.820	3.830	3.840
460	3.840	3.850	3.859	3.869	3.879	3.889	3.898	3.908	3.918	3.928	3.938
470	3.938	3.947	3.957	3.967	3.977	3.987	3.997	4.006	4.016	4.026	4.036
480	4.036	4.046	4.056	4.065	4.075	4.085	4.095	4.105	4.115	4.125	4.134
490	4.134	4.144	4.154	4.164	4.174	4.184	4.194	4.204	4.213	4.223	4.233
500	4.233	4.243	4.253	4.263	4.273	4.283	4.293	4.303	4.313	4.323	4.332
510	4.332	4.342	4.352	4.362	4.372	4.382	4.392	4.402	4.412	4.422	4.432
520	4.432	4.442	4.452	4.462	4.472	4.482	4.492	4.502	4.512	4.522	4.532
530	4.532	4.542	4.552	4.562	4.572	4.582	4.592	4.602	4.612	4.622	4.632
540	4.632	4.642	4.652	4.662	4.672	4.682	4.692	4.702	4.712	4.722	4.732
550	4.732	4.742	4.752	4.762	4.772	4.782	4.793	4.803	4.813	4.823	4.833
560	4.833	4.843	4.853	4.863	4.873	4.883	4.893	4.904	4.914	4.924	4.934
570	4.934	4.944	4.954	4.964	4.974	4.984	4.995	5.005	5.015	5.025	5.035
580	5.035	5.045	5.055	5.066	5.076	5.086	5.096	5.106	5.116	5.127	5.137
590	5.137	5.147	5.157	5.167	5.178	5.188	5.198	5.208	5.218	5.228	5.239
600	5.239	5.249	5.259	5.269	5.280	5.290	5.300	5.310	5.320	5.331	5.341
610	5.341	5.351	5.361	5.372	5.382	5.392	5.402	5.413	5.423	5.433	5.443
620	5.443	5.454	5.464	5.474	5.485	5.495	5.505	5.515	5.526	5.536	5.546
630	5.546	5.557	5.567	5.577	5.588	5.598	5.608	5.618	5.629	5.639	5.649
640	5.649	5.660	5.670	5.680	5.691	5.701	5.712	5.722	5.732	5.743	5.753
650	5.753	5.763	5.774	5.784	5.794	5.805	5.815	5.826	5.836	5.846	5.857
660	5.857	5.867	5.878	5.888	5.898	5.909	5.919	5.930	5.940	5.950	5.961
670	5.961	5.971	5.982	5.992	6.003	6.013	6.024	6.034	6.044	6.055	6.065
680	6.065	6.076	6.086	6.097	6.107	6.118	6.128	6.139	6.149	6.160	6.170
°C	0	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
690	6.170	6.181	6.191	6.202	6.212	6.223	6.233	6.244	6.254	6.265	6.275
700	6.275	6.286	6.296	6.307	6.317	6.328	6.338	6.349	6.360	6.370	6.381
710	6.381	6.391	6.402	6.412	6.423	6.434	6.444	6.455	6.465	6.476	6.486
720	6.486	6.497	6.508	6.518	6.529	6.539	6.550	6.561	6.571	6.582	6.593
730	6.593	6.603	6.614	6.624	6.635	6.646	6.656	6.667	6.678	6.688	6.699
740	6.699	6.710	6.720	6.731	6.742	6.752	6.763	6.774	6.784	6.795	6.806
750	6.806	6.817	6.827	6.838	6.849	6.859	6.870	6.881	6.892	6.902	6.913
760	6.913	6.924	6.934	6.945	6.956	6.967	6.977	6.988	6.999	7.010	7.020
770	7.020	7.031	7.042	7.053	7.064	7.074	7.085	7.096	7.107	7.117	7.128
780	7.128	7.139	7.150	7.161	7.172	7.182	7.193	7.204	7.215	7.226	7.236
790	7.236	7.247	7.258	7.269	7.280	7.291	7.302	7.312	7.323	7.334	7.345
800	7.345	7.356	7.367	7.378	7.388	7.399	7.410	7.421	7.432	7.443	7.454
810	7.454	7.465	7.476	7.487	7.497	7.508	7.519	7.530	7.541	7.552	7.563
820	7.563	7.574	7.585	7.596	7.607	7.618	7.629	7.640	7.651	7.662	7.673
830	7.673	7.684	7.695	7.706	7.717	7.728	7.739	7.750	7.761	7.772	7.783
840	7.783	7.794	7.805	7.816	7.827	7.838	7.849	7.860	7.871	7.882	7.893
850	7.893	7.904	7.915	7.926	7.937	7.948	7.959	7.970	7.981	7.992	8.003
860	8.003	8.014	8.026	8.037	8.048	8.059	8.070	8.081	8.092	8.103	8.114
870	8.114	8.125	8.137	8.148	8.159	8.170	8.181	8.192	8.203	8.214	8.226
880	8.226	8.237	8.248	8.259	8.270	8.281	8.293	8.304	8.315	8.326	8.337
890	8.337	8.348	8.360	8.371	8.382	8.393	8.404	8.416	8.427	8.438	8.449
900	8.449	8.460	8.472	8.483	8.494	8.505	8.517	8.528	8.539	8.550	8.562
910	8.562	8.573	8.584	8.595	8.607	8.618	8.629	8.640	8.652	8.663	8.674
920	8.674	8.685	8.697	8.708	8.719	8.731	8.742	8.753	8.765	8.776	8.787
930	8.787	8.798	8.810	8.821	8.832	8.844	8.855	8.866	8.878	8.889	8.900
940	8.900	8.912	8.923	8.935	8.946	8.957	8.969	8.980	8.991	9.003	9.014
950	9.014	9.025	9.037	9.048	9.060	9.071	9.082	9.094	9.105	9.117	9.128
960	9.128	9.139	9.151	9.162	9.174	9.185	9.197	9.208	9.219	9.231	9.242
970	9.242	9.254	9.265	9.277	9.288	9.300	9.311	9.323	9.334	9.345	9.357

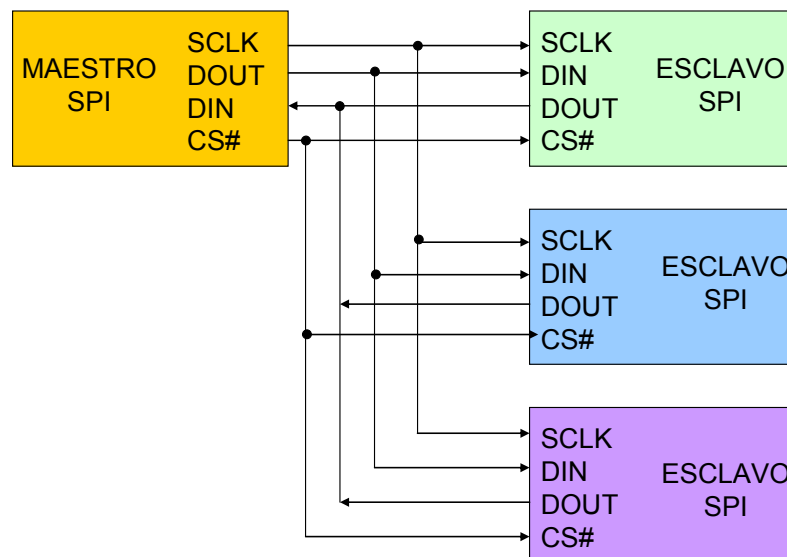
°C	0	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
980	9.357	9.368	9.380	9.391	9.403	9.414	9.426	9.437	9.449	9.460	9.472
990	9.472	9.483	9.495	9.506	9.518	9.529	9.541	9.552	9.564	9.576	9.587
1000	9.587	9.599	9.610	9.622	9.633	9.645	9.656	9.668	9.680	9.691	9.703
1010	9.703	9.714	9.726	9.737	9.749	9.761	9.772	9.784	9.795	9.807	9.819
1020	9.819	9.830	9.842	9.853	9.865	9.877	9.888	9.900	9.911	9.923	9.935
1030	9.935	9.946	9.958	9.970	9.981	9.993	10.005	10.016	10.028	10.040	10.051
1040	10.051	10.063	10.075	10.086	10.098	10.110	10.121	10.133	10.145	10.156	10.168
1050	10.168	10.180	10.191	10.203	10.215	10.227	10.238	10.250	10.262	10.273	10.285
1060	10.285	10.297	10.309	10.320	10.332	10.344	10.356	10.367	10.379	10.391	10.403
1070	10.403	10.414	10.426	10.438	10.450	10.461	10.473	10.485	10.497	10.509	10.520
1080	10.520	10.532	10.544	10.556	10.567	10.579	10.591	10.603	10.615	10.626	10.638
1090	10.638	10.650	10.662	10.674	10.686	10.697	10.709	10.721	10.733	10.745	10.757
1100	10.757	10.768	10.780	10.792	10.804	10.816	10.828	10.839	10.851	10.863	10.875
1110	10.875	10.887	10.899	10.911	10.922	10.934	10.946	10.958	10.970	10.982	10.994
1120	10.994	11.006	11.017	11.029	11.041	11.053	11.065	11.077	11.089	11.101	11.113
1130	11.113	11.125	11.136	11.148	11.160	11.172	11.184	11.196	11.208	11.220	11.232
1140	11.232	11.244	11.256	11.268	11.280	11.291	11.303	11.315	11.327	11.339	11.351
1150	11.351	11.363	11.375	11.387	11.399	11.411	11.423	11.435	11.447	11.459	11.471
1160	11.471	11.483	11.495	11.507	11.519	11.531	11.542	11.554	11.566	11.578	11.590
1170	11.590	11.602	11.614	11.626	11.638	11.650	11.662	11.674	11.686	11.698	11.710
1180	11.710	11.722	11.734	11.746	11.758	11.770	11.782	11.794	11.806	11.818	11.830
1190	11.830	11.842	11.854	11.866	11.878	11.890	11.902	11.914	11.926	11.939	11.951
1200	11.951	11.963	11.975	11.987	11.999	12.011	12.023	12.035	12.047	12.059	12.071
1210	12.071	12.083	12.095	12.107	12.119	12.131	12.143	12.155	12.167	12.179	12.191
1220	12.191	12.203	12.216	12.228	12.240	12.252	12.264	12.276	12.288	12.300	12.312
1230	12.312	12.324	12.336	12.348	12.360	12.372	12.384	12.397	12.409	12.421	12.433
1240	12.433	12.445	12.457	12.469	12.481	12.493	12.505	12.517	12.529	12.542	12.554
1250	12.554	12.566	12.578	12.590	12.602	12.614	12.626	12.638	12.650	12.662	12.675
1260	12.675	12.687	12.699	12.711	12.723	12.735	12.747	12.759	12.771	12.783	12.796
1270	12.796	12.808	12.820	12.832	12.844	12.856	12.868	12.880	12.892	12.905	12.917
1280	12.917	12.929	12.941	12.953	12.965	12.977	12.989	13.001	13.014	13.026	13.038
1290	13.038	13.050	13.062	13.074	13.086	13.098	13.111	13.123	13.135	13.147	13.159
1300	13.159	13.171	13.183	13.195	13.208	13.220	13.232	13.244	13.256	13.268	13.280
1310	13.280	13.292	13.305	13.317	13.329	13.341	13.353	13.365	13.377	13.390	13.402
°C	0	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
1320	13.402	13.414	13.426	13.438	13.450	13.462	13.474	13.487	13.499	13.511	13.523
1330	13.523	13.535	13.547	13.559	13.572	13.584	13.596	13.608	13.620	13.632	13.644
1340	13.644	13.657	13.669	13.681	13.693	13.705	13.717	13.729	13.742	13.754	13.766
1350	13.766	13.778	13.790	13.802	13.814	13.826	13.839	13.851	13.863	13.875	13.887
1360	13.887	13.899	13.911	13.924	13.936	13.948	13.960	13.972	13.984	13.996	14.009
1370	14.009	14.021	14.033	14.045	14.057	14.069	14.081	14.094	14.106	14.118	14.130
1380	14.130	14.142	14.154	14.166	14.178	14.191	14.203	14.215	14.227	14.239	14.251
1390	14.251	14.263	14.276	14.288	14.300	14.312	14.324	14.336	14.348	14.360	14.373
1400	14.373	14.385	14.397	14.409	14.421	14.433	14.445	14.457	14.470	14.482	14.494
1410	14.494	14.506	14.518	14.530	14.542	14.554	14.567	14.579	14.591	14.603	14.615
1420	14.615	14.627	14.639	14.651	14.664	14.676	14.688	14.700	14.712	14.724	14.736
1430	14.736	14.748	14.760	14.773	14.785	14.797	14.809	14.821	14.833	14.845	14.857
1440	14.857	14.869	14.881	14.894	14.906	14.918	14.930	14.942	14.954	14.966	14.978
1450	14.978	14.990	15.002	15.015	15.027	15.039	15.051	15.063	15.075	15.087	15.099
1460	15.099	15.111	15.123	15.135	15.148	15.160	15.172	15.184	15.196	15.208	15.220
1470	15.220	15.232	15.244	15.256	15.268	15.280	15.292	15.304	15.317	15.329	15.341
1480	15.341	15.353	15.365	15.377	15.389	15.401	15.413	15.425	15.437	15.449	15.461
1490	15.461	15.473	15.485	15.497	15.509	15.521	15.534	15.546	15.558	15.570	15.582
1500	15.582	15.594	15.606	15.618	15.630	15.642	15.654	15.666	15.678	15.690	15.702
1510	15.702	15.714	15.726	15.738	15.750	15.762	15.774	15.786	15.798	15.810	15.822
1520	15.822	15.834	15.846	15.858	15.870	15.882	15.894	15.906	15.918	15.930	15.942
1530	15.942	15.954	15.966	15.978	15.990	16.002	16.014	16.026	16.038	16.050	16.062
1540	16.062	16.074	16.086	16.098	16.110	16.122	16.134	16.146	16.158	16.170	16.182
1550	16.182	16.194	16.205	16.217	16.229	16.241	16.253	16.265	16.277	16.289	16.301
1560	16.301	16.313	16.325	16.337	16.349	16.361	16.373	16.385	16.396	16.408	16.420
1570	16.420	16.432	16.444	16.456	16.468	16.480	16.492	16.504	16.516	16.527	16.539
1580	16.539	16.551	16.563	16.575	16.587	16.599	16.611	16.623	16.634	16.646	16.658

°C	0	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
1590	16.658	16.670	16.682	16.694	16.706	16.718	16.729	16.741	16.753	16.765	16.777
1600	16.777	16.789	16.801	16.812	16.824	16.836	16.848	16.860	16.872	16.883	16.895
1610	16.895	16.907	16.919	16.931	16.943	16.954	16.966	16.978	16.990	17.002	17.013
1620	17.013	17.025	17.037	17.049	17.061	17.072	17.084	17.096	17.108	17.120	17.131
1630	17.131	17.143	17.155	17.167	17.178	17.190	17.202	17.214	17.225	17.237	17.249
1640	17.249	17.261	17.272	17.284	17.296	17.308	17.319	17.331	17.343	17.355	17.366
1650	17.366	17.378	17.390	17.401	17.413	17.425	17.437	17.448	17.460	17.472	17.483
1660	17.483	17.495	17.507	17.518	17.530	17.542	17.553	17.565	17.577	17.588	17.600
1670	17.600	17.612	17.623	17.635	17.647	17.658	17.670	17.682	17.693	17.705	17.717
1680	17.717	17.728	17.740	17.751	17.763	17.775	17.786	17.798	17.809	17.821	17.832
1690	17.832	17.844	17.855	17.867	17.878	17.890	17.901	17.913	17.924	17.936	17.947
1700	17.947	17.959	17.970	17.982	17.993	18.004	18.016	18.027	18.039	18.050	18.061
1710	18.061	18.073	18.084	18.095	18.107	18.118	18.129	18.140	18.152	18.163	18.174
1720	18.174	18.185	18.196	18.208	18.219	18.230	18.241	18.252	18.263	18.274	18.285
1730	18.285	18.297	18.308	18.319	18.330	18.341	18.352	18.362	18.373	18.384	18.395
1740	18.395	18.406	18.417	18.428	18.439	18.449	18.460	18.471	18.482	18.493	18.503
1750	18.503	18.514	18.525	18.535	18.546	18.557	18.567	18.578	18.588	18.599	18.609
1760	18.609	18.620	18.630	18.641	18.651	18.661	18.672	18.682	18.693		

B. EL BUS SPI

El Bus SPI (del inglés Serial Peripheral Interface) es un estándar de comunicaciones, usado principalmente para la transferencia de información entre circuitos integrados en equipos electrónicos. El bus de interfase de periféricos serie o bus SPI es un estándar para controlar casi cualquier electrónica digital que acepte un flujo de bits serie regulado por un reloj. Este bus incluye una línea de reloj, dato entrante, dato saliente y un pin de chip select, que conecta o desconecta la operación del dispositivo con el que se desea comunicar.

Figura B1. Esquema de conexión del bus SPI.



Fuente: Elaborada por los autores.

Este bus es ampliamente utilizado para comunicar gran variedad de periféricos como:

- Sensores o conversores: temperatura, presión, A/D, D/A.

- Dispositivos de control: codecs audio, potenciómetros digitales.
- Comunicaciones: Ethernet, USB, USART, CAN, IEEE 802.15.4.
- Memorias: flash y EEPROM.
- Relojes de tiempo real.
- Pantallas LCD.
- Tarjetas de memoria como MMC o SD.

Más información del bus SPI puede ser encontrada en:

http://en.wikipedia.org/wiki/Serial_Peripheral_Interface_Bus

C. COSTO DE FABRICACIÓN DEL HATD

Tabla C1. Costo de fabricación del HATD.

CONCEPTO	Cantidad	V. unitario (Pesos)	V. total (Pesos)
CIRCUITOS INTEGRADOS			
PIC16F628A	1	6.623	6.623
AD7792	1	15.934	15.934
ADT7301	1	5.338	5.338
ADG659	1	4.250	4.250
FT232R	1	8.283	8.283
RESISTENCIAS SMD			
15K Ω	1	174	174
9.09K Ω	3	174	522
1K Ω	2	174	348
100 Ω	1	174	174
CAPACITORES SMD			
ELECTROLÍTICO 10 μ F	3	344	1.032
CERÁMICO 1 μ F	6	188	1.128
CERÁMICO 0.1 μ F	2	164	328
TANTALIO 4.7 μ F	1	257	257
CERÁMICO 10nF	1	136	136
ELECTROLÍTICO 220 μ F	1	344	344
DIODOS DIP			
DIODO ZENER 2.2V	2	200	400
DIODO LED	2	200	400
OTROS COMPONENTES PASIVOS			
BARRA DE FERRITA	1	146	146
OTROS COMPONENTES			
CONECTOR USB	1	2.056	2.056
INTERRUPTOR	1	650	650
PULSADOR	1	650	650
CONECTOR HEMBRA PARA TERMOPAR TIPO K	2	6.721	13.443
CONECTOR HEMBRA PARA TERMOPAR TIPO R/S	1	6.721	6.721
LÁMINA PARA CIRCUITO IMPRESO	1	5.000	5.000
CUBIERTA	1	4.000	4.000
MANO DE OBRA			
CIRCUITO IMPRESO	1	30.000	30.000
SOLDADURA DE COMPONENTES	1	40.000	40.000
TOTAL EN PESOS COLOMBIANOS			\$148.337

Fuente: Elaborada por los autores.

Presupuesto basado en un valor de **\$1.976,89** pesos para la TRM del día 8 de agosto de 2007.

D. MANUAL DE USUARIO DEL HATD

En los capítulos descritos a continuación se indica el procedimiento de instalación y configuración del Hardware de Análisis Térmico Dual, y se recomienda seguirlo paso a paso.

D.1 ANTES DE COMENZAR LA INSTALACIÓN

D.1.1 Terminología. En este manual de usuario se hace referencia al Hardware de Análisis Térmico Dual como HATD y al Software de Análisis Térmico Dual como SATD.

D.1.2 Elementos suministrados. Compruebe que la caja del HATD contiene estos elementos:

- HATD:

Este elemento permite la conexión física a través del bus USB a un equipo procesador, para posibilitar el envío de datos tomado de las termocuplas K y R ó S.

- Cable:

Figura D1. Cable USB.



Fuente: <http://www.electronicweb2001.com/tienda/catalog/catalog/TV-Satelite/Programadores/Infinity-Phoenix-SerialUsb.html>

Cable de conexión USB con un conector de tipo A (el del ordenador) en un extremo y otro de tipo B (el del HATD) en el otro extremo. Este cable se emplea normalmente para conectar dispositivos USB al ordenador, como impresora, escáner, cámara de fotos, etc.

- Documentación:
 - Manual de usuario (este documento).
- CD-ROM
 - Toda la documentación impresa indicada anteriormente será proporcionada también en formato .pdf.
 - Instalador del driver para el HATD.
 - Instalador del Software de Análisis Térmico Dual (SATD).
 - Instalador de un osciloscopio

D.1.3 Configuración mínima del equipo procesador. Las características mínimas del PC para que se pueda instalar el equipo HATD + SATD son:

- Windows XP o mejor.

- Pentium III o equivalente.
- 256 MB de RAM.
- 100 MB libres de disco duro.
- Unidad de CD-ROM.
- Puerto USB 1.1 ó 2.0, libre en el PC.
- Tarjeta de video compatible VGA con resolución mínima de 1024X768 con profundidad de color de 16 bits.

D.2 CONEXIÓN E INSTALACIÓN DEL EQUIPO

A continuación se describe el procedimiento de conexión e instalación de los diferentes elementos indicados anteriormente. Para ello es importante que el usuario siga los pasos en el orden reseñado en este apartado.

D.2.1 Instalación del HATD.

D.2.1.1 Vista posterior. El panel posterior del HATD presenta un único conector que se utiliza para la conexión del cable USB a un puerto libre del PC. También está provisto de un interruptor para el encendido del HATD y un botón pulsador rojo para resetear el equipo. Todo esto se muestra en la siguiente figura.

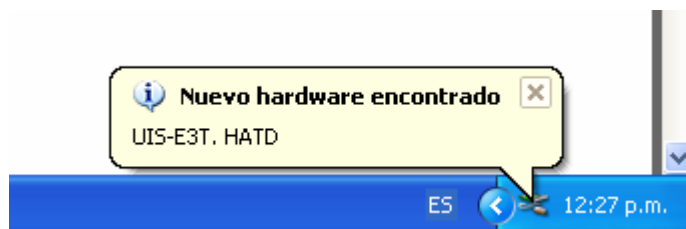
Figura D2. Vista Posterior del HATD.



Fuente: Fotografía tomada por los autores.

D.2.1.2 Procedimiento de conexión del HATD. Una vez detectado el puerto USB libre del PC, se toma el cable por el extremo de conexión tipo A y se conecta al PC; el otro extremo (conector tipo B) se conecta directamente al conector del HATD. Una vez hecho este procedimiento, el PC detectará automáticamente un nuevo dispositivo y se mostrará un mensaje como el de la siguiente figura.

Figura D3. Mensaje de detección del HATD.



Fuente: Captura de pantalla tomada por los autores.

D.2.2 Encendido del HATD.

D.2.2.1 Vista frontal del HATD.

Figura D4. Vista frontal del HATD.



Fuente: Fotografía tomada por los autores.

El significado de los dos indicadores luminosos es el siguiente:

Tabla D1. Indicadores luminosos y su significado

LED	DESCRIPCIÓN
ENCENDIDO	ENCENDIDO (Rojo). Indica que el HATD está conectado al PC y el interruptor ubicado en la parte posterior del HATD está encendido. APAGADO. El HATD no está conectado al PC o el interruptor está apagado.
ACTIVIDAD	ENCENDIDO (Amarillo). Indica que el HATD está en actividad. APAGADO. Indica que el HATD no está realizando ninguna actividad, que está desconectado o que el interruptor está apagado.

Fuente: Elaborada por los autores.

Mientras no se conecta el HATD USB al PC y el interruptor no se ha cambiado al estado encendido, la luz ENCENDIDO permanece apagada, una vez realizada esta operación, inmediatamente la luz cambiará a rojo.

Por otro lado, la luz amarilla permanecerá apagada, mientras el driver del HATD y el SATD, no estén instalados y en ejecución, una vez hecho este procedimiento la luz cambiará de estado.

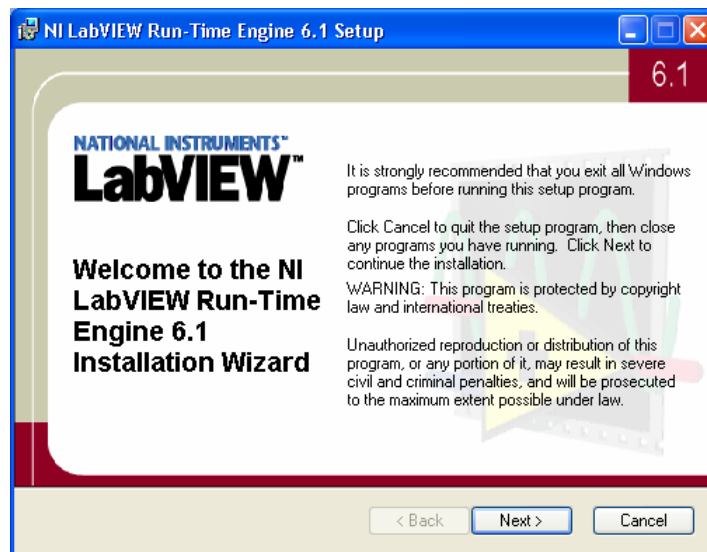
D.3 INSTALACIÓN Y CONFIGURACIÓN DEL SATD.

Antes de iniciar la instalación del SATD, verifique que ya haya introducido el CD-ROM que hace parte del equipo.

D.3.1 Asistente para la instalación del SATD.

- Para la instalación del SATD, se busca dentro del CD-ROM (HATD + SATD) el archivo “instalar” y se da doble click en el icono, dando inicio a la ventana que se muestra en la siguiente figura.

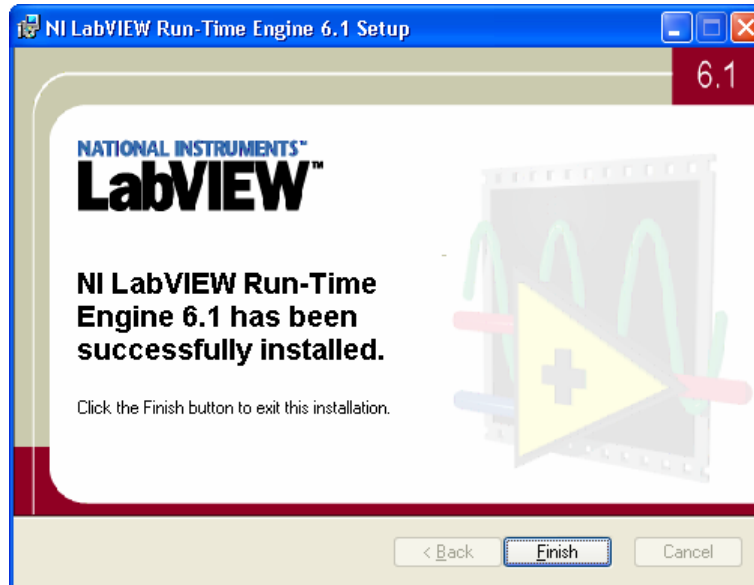
Figura D5. Ventana de asistencia para la instalación del SATD.



Fuente: Captura de pantalla tomada por los autores.

- Se da click en “Next” hasta que aparezca la ventana de finalización como la que se muestra a continuación.

Figura D6. Ventana de asistencia para la instalación del SATD.



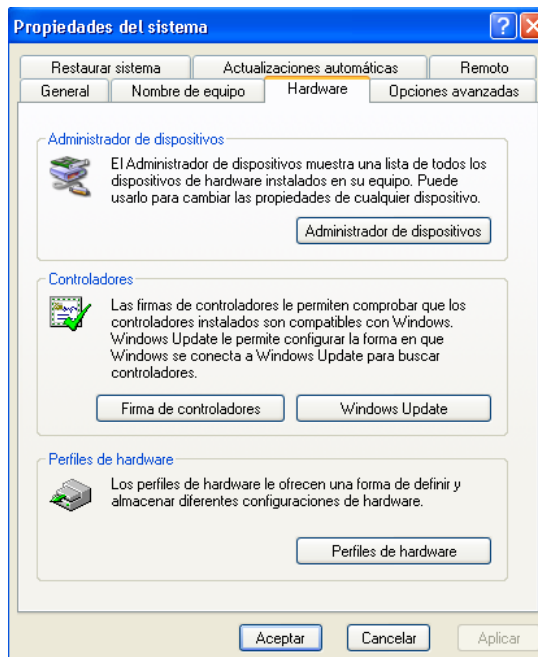
Fuente: Captura de pantalla tomada por los autores.

- Se da click en “Finish” para terminar la instalación del NI LabVIEW Run-Time Engine 6.1. y se espera unos segundos hasta que aparezca la nueva ventana de instalación del SATD y se sigue el mismo procedimiento anteriormente expuesto.
- Una vez terminada la instalación del software, puede ir al menú Inicio, Todos los programas y verificar que efectivamente el SATD está instalado.
- En caso que se quiera desinstalar el SATD, se sigue el mismo procedimiento para desinstalar cualquier otro programa en Windows, mediante el Panel de Control y la opción “Agregar o Quitar Programas”.

D.3.1 Configuración del puerto serie virtual. Durante el proceso de instalación del SATD, se realiza también la instalación en segundo plano de los drivers necesarios para la comunicación del HATD con el PC. Para que el SATD funcione correctamente es necesario configurar el puerto serie virtual (creado durante la instalación del driver) mediante el siguiente procedimiento:

- Busque dentro del CD-ROM el ícono correspondiente a “Configuración del sistema” y dé doble click sobre éste. Se abrirá una ventana como la que se muestra en la figura.

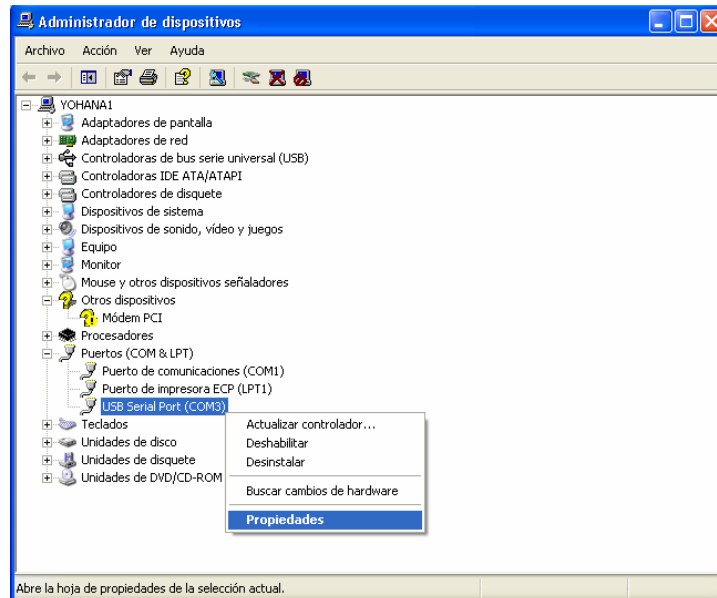
Figura D7. Paso 1 de la configuración del puerto serie.



Fuente: Captura de pantalla tomada por los autores.

- Se busca la opción “Hardware” y se da click sobre “Administrador de dispositivos”, dando inicio a la ventana mostrada en la figura siguiente.

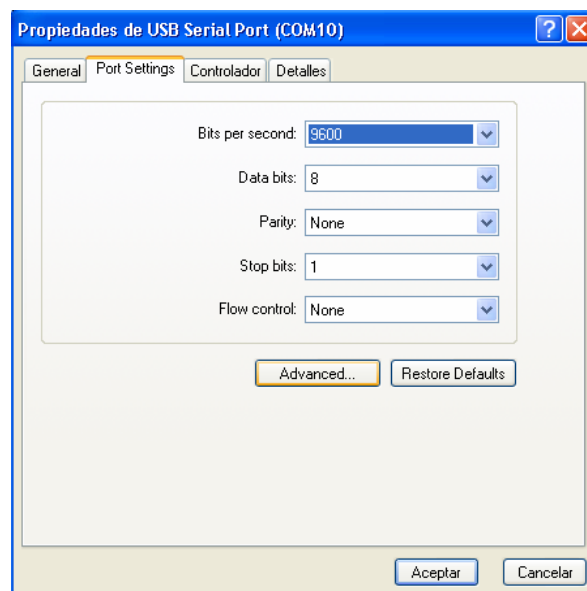
Figura D8. Paso 2 de la configuración del puerto serie.



Fuente: Captura de pantalla tomada por los autores.

- Dentro de esta ventana se buscan los puertos COM & LPT, se busca el puerto USB Serial Port, se da click derecho y se elige la opción Propiedades, esto abre una nueva ventana.

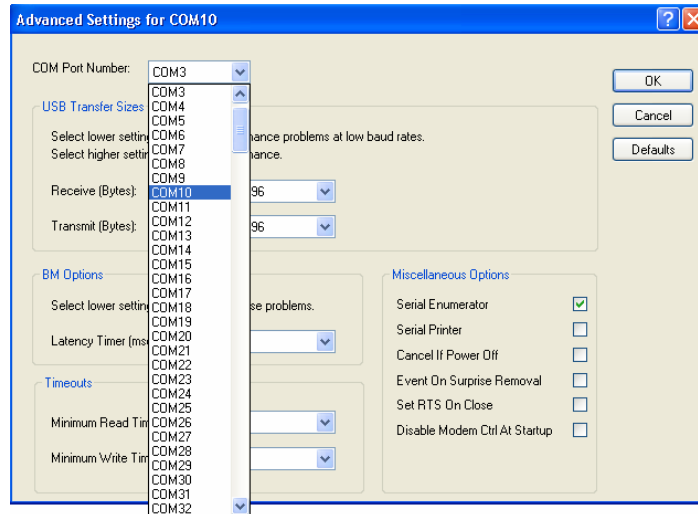
Figura D9. Paso 3 de la configuración del puerto serie.



Fuente: Captura de pantalla tomada por los autores.

- Se busca la opción “Port Settings” y se da click en “Advanced”, que por último dará inicio a la ventana mostrada a continuación.

Figura D10. Paso 4 de la configuración del puerto serie.



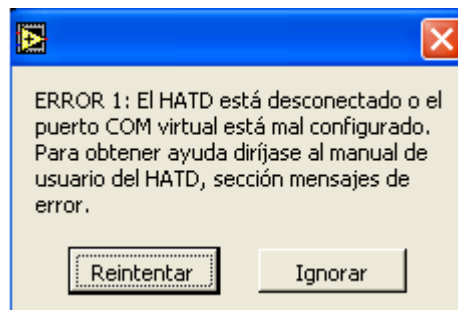
Fuente: Captura de pantalla tomada por los autores.

- Se elige dentro de COM Port Number la opción COM10 y se aceptan los cambios.

D.4 MENSAJES DE ERROR Y SOLUCIÓN DE PROBLEMAS

D.4.1 Error 1.

Figura D11. Mensaje de error 1.



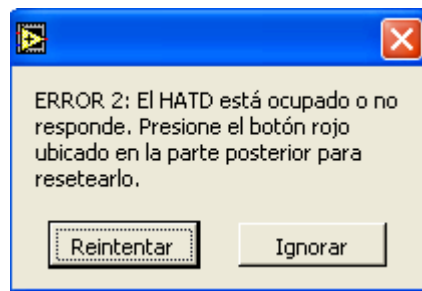
Fuente: Captura de pantalla tomada por los autores.

Este tipo de error se puede presentar cuando se ha iniciado el SATD sin estar conectado o encendido el HATD; también puede ser arrojado si no se ha configurado correctamente el puerto serie COM 10, según el procedimiento explicado en la sección D.3.2.

Si una vez hecha la verificación de cada una de estas posibles causas, el error persiste, es posible que la unidad conversora (HATD) haya sufrido un daño grave.

D.4.2 Error 2.

Figura D12. Mensaje de error 2.



Fuente: Captura de pantalla tomada por los autores.

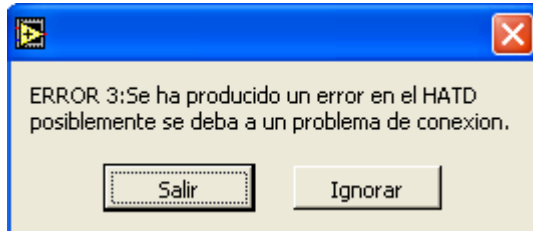
Este tipo de error se puede producir debido a algún bloqueo a nivel de HATD o SATD. Para dar solución pruebe lo siguiente:

- Presione el pulsador rojo ubicado en la parte posterior del HATD e intente de nuevo.
- Reinicie el SATD y si el error persiste, apague la unidad conversora, reinicie Windows y vuelva a intentarlo.

Si aún así el problema persiste puede tratarse de un daño de hardware. Póngase en contacto con el servicio técnico del sistema HATD o con su proveedor.

D.4.3 Error 3.

Figura D13. Mensaje de error 3.



Fuente: Captura de pantalla tomada por los autores.

La causa más común de este error es la desconexión del HATD mientras el SATD se encuentra en ejecución. Para dar solución es necesario cerrar el SATD, resetear el HATD (oprimiendo el botón rojo ubicado en la parte posterior del HATD) e iniciando de nuevo el SATD.