

See discussions, stats, and author profiles for this publication at: <https://www.researchgate.net/publication/329197184>

MÁQUINA DE CALIBRACIÓN Y ANÁLISIS DE CARACTERÍSTICAS DE SENSORES DE TEMPERATURA

Article · January 2016

CITATIONS

0

READS

12

4 authors, including:



Omar Oña

Universidad Técnica del Norte

13 PUBLICATIONS 5 CITATIONS

[SEE PROFILE](#)

Some of the authors of this publication are also working on these related projects:



Factors that influence the teaching / learning of mathematics in engineering [View project](#)



METODOLOGÍA DE VISUALIZACIÓN INTERACTIVA Y ANÁLISIS DE INFORMACIÓN EN BIG DATA. [View project](#)

Norberto Purtscher

norberto2540@gmail.com

Gabriela Verdezoto

gaverdezoto@utn.edu.ec

Gustavo Mosquera

wgmosquera@utn.edu.ec

Omar Oña

*Facultad de Ciencias Aplicadas,
Universidad Técnica del Norte,
Imbabura, Ecuador*

oronia@utn.edu.ec

MÁQUINA DE CALIBRACIÓN Y ANÁLISIS DE CARACTERÍSTICAS DE SENSORES DE TEMPERATURA

RESUMEN

Para calibrar un instrumento o patrón es necesario disponer de uno de mayor precisión que proporcione el valor, convencionalmente verdadero, que es el que se empleará para compararlo con la indicación del instrumento sometido a calibración. El enfoque de este proyecto reside en el desarrollo de una herramienta para prácticas de laboratorio en el área de instrumentación para satisfacer requerimientos académicos dentro de la formación complementaria para la Carrera de Ingeniería en Mecatrónica de la Universidad Técnica del Norte. El objetivo de este trabajo está en diseñar e implementar una máquina para calibración de los sensores resistivos, revisando sus características estáticas y dinámicas. La máquina de calibración está constituida por cuatro sistemas: un baño líquido con aceite para ofrecer un ambiente de temperatura constante, un termómetro digital patrón con certificación de incertidumbre con el cual tener una referencia real de la variable a medir, un sistema de acondicionamiento para cada tipo de sensor de temperatura y, una interfaz humano máquina a través de la cual controlar la máquina y generar los datos pertinentes.

Palabras-clave: Calibración, instrumentación, sensores, temperatura.

ABSTRACT

To calibrate an instrument or pattern need another instrument to provide more accurate than the real value is to be used for comparison with the indication of the instrument under calibration. The focus of this project is to develop a tool for laboratory practice in the area of instrumentation to satisfy academic requirements in further training for the Career of Mechatronics Engineering, Technical University of the North. The purpose of this work is to design and implement a machine for calibration of resistive sensors, testing its static and dynamic characteristics. The calibration machine consists of four systems: a liquid bath oil to provide a constant temperature environment where you can test the working demo sensor while calibrating thermometers, a certified digital thermometer pattern which have a real reference variable to measure conditioning system for each type of temperature sensor and a human machine interface through which control of the machine and to generate data.

Keywords: Calibration, instrumentation, sensors, temperature.

Correspondência/Contato

UNIVERSIDADE DE TAUBATÉ
Departamento de Engenharia Mecânica

Rua Daniel Danelli, s/n, Jd. Morumbi
Taubaté - SP
CEP 12060-440
Fone (12) 3625-4193

Editores responsáveis

Prof. Dr. Luiz Eduardo Nicolini do P. Nunes
luiz.nunes@unitau.com.br

Profa. Dra. Valesca Alves Correa
valesca.correa@unitau.com.br

1 INTRODUCCIÓN

Se entiende por calibración al conjunto de operaciones que establece, bajo condiciones específicas, la relación entre las señales producidas por un instrumento analítico y los correspondientes valores de temperatura de patrones de calibrado[2].

¿Por qué es importante calibrar? El envejecimiento de los componentes, los cambios de temperatura y el estrés mecánico que soportan los equipos, deterioran poco a poco sus funciones. Cuando esto sucede, los ensayos y las medidas comienzan a perder confianza y se refleja tanto en el diseño como en la calidad del producto. Este tipo de situaciones pueden ser evitadas, mediante el proceso de calibración.

La correcta calibración de los equipos proporciona la seguridad, de que los productos o servicios que se ofrecen reúnen las especificaciones requeridas. Cada vez son más numerosas las razones que llevan a los fabricantes a calibrar sus equipos de medida, con el fin de:

- Mantener y verificar el buen funcionamiento de los equipos.
- Responder a los requisitos establecidos en las normas de calidad.

La precisión de las medidas es estimada a través de la repetitividad y la reproducibilidad de las mismas. La repetitividad se evalúa a través del cálculo de la desviación estándar relativa (RSD%) de la medida de los patrones de calibrado.

La validez de la calibración es el factor más importante. Cuando se calibra un instrumento se debe tener una razonable certeza de que éste responderá de igual manera a los patrones así como a las muestras. Si estas diferencias son muy grandes, pueden llegar a invalidar el proceso de calibración. Es necesario estar completamente seguro, de que el calibrado es válido antes de utilizarlo, para obtener el valor de temperatura requerido. En caso contrario, pueden cometerse serios errores en la determinación.

Por ello uno de los objetivos de la máquina es proporcionar estas pruebas con información a tiempo real y además interrelacionar esta información mediante un *software*, el cual nos permitirá tener una garantía sobre la calidad de la información y además poder almacenar dicha información para crear un historial sobre las características de los elementos de medición.

Los principales problemas para la verificación de los procedimientos es el no poder contar con información verificable y enmarcada a normas de aplicación, otro de los problemas también está en la mala elaboración de documentos relacionados a la instrumentación; estos errores son conocidos como “errores de documentación” y provienen de la falta de un procedimiento que garantice la integridad de la información, desde su generación, en los puntos en que están los sensores hasta su lectura o transcripción a los documentos que respaldan esta información.

De encuestas realizadas es los procesos que contienen sistemas de gestión de calibraciones basados en papel y semi-manuales los errores de documentación están en un rango del 39% que es un margen muy alto tomando en cuenta que es la información que hace que el proceso automático sea eficiente y confiable.

La tendencia tecnológica sobre los procesos de automatización es reemplazar los elementos analógicos que aunque son más robustos están expuestos a golpes y a la pérdida de exactitud y precisión y no proporcionan la posibilidad de enviar información de un proceso lo cual si nos proveen elementos digitales y con cuya información

podemos visualizar los procesos en señales de 4 a 20 [mA] que son fácilmente manejables y transportables a los tableros de control y salas de procesos en elementos de control avanzado, es más otra de las ideas novedosas es contar con sistemas inalámbricos de tal forma que se abaraten los costos de sistemas de cableado convencional.

En vista de esta problemática industrial es necesario que el ingeniero mecatrónico, dedicado al área de instrumentación, cuente con un sistema que simule los parámetros de calibración y verificación de las capacidades de los sensores, en el caso específico de temperatura, por lo que la máquina de calibración de sensores de temperatura, es una solución a la tendencia de digitalización de la información ya que provee una información digital y en tiempo real lo que le permite acercarse a los estándares y tendencias en el área de la instrumentación industrial, además de ser una forma muy didáctica de comprender muchos criterios de ingeniería en instrumentación que hasta este momento solo han sido tratados de forma teórica.

2 MATERIALES Y MÉTODOS

2.1 Baño líquido de aceite

El baño líquido con aceite es un sistema de temperatura constante que permite someter a los sensores de temperatura a un medio energético, que se ha logrado obtener mediante un calefactor indirecto y un mezclador para aportar homogeneidad a la temperatura del aceite.

Para la obtención de la ecuación que representa el funcionamiento transitorio del aumento de temperatura con el tiempo cuando se aplica energía al calefactor, fue necesario utilizar las herramientas del software MATLAB.

La toma de datos se realizó bajo los siguientes parámetros:

- Temperatura ambiente: 24°C.
- Paso de energía aplicado al sistema: 10%.
- Tiempo de toma de datos: 7 horas.

Los datos se procesaron en la herramienta IDENT de MATLAB y se obtiene la respuesta que se muestra en la Figura 1:

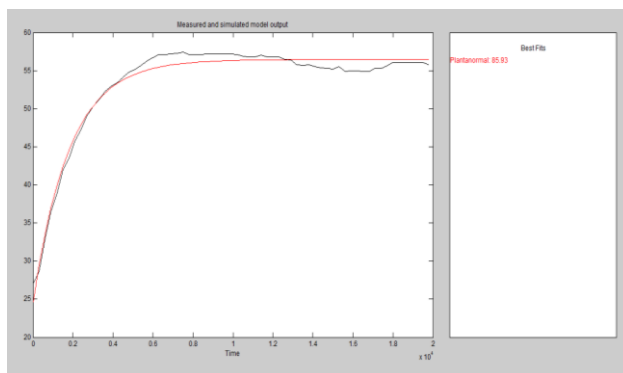


Figura 1: Respuesta de temperatura vs tiempo del baño líquido de aceite bajo un cambio de energía del calefactor en 10%.

En la Figura 1 se evidencia que el mayor porcentaje de ajuste del modelo obtenido es de 85,93%; por cuanto se comparó con otros modelos que no representan el comportamiento deseado, debido a que el modelo físico del baño líquido de aceite no se comporta completamente lineal sino tiene ligeras perturbaciones.

El modelo obtenido bajo MATLAB es el siguiente:

$$G(s) = \frac{0,28231}{1+1822s} \quad (1)$$

Después de realizar la calibración del controlador de temperatura se demostró que los valores aproximados de la planta física son los siguientes:

$$G(s) = \frac{0,201}{1+1810s} \quad (2)$$

Cuando se comparan gráfica y analíticamente los dos modelos, se observa que el modelo obtenido en MATLAB tiene una correspondencia del 99,86% respecto al modelo real que se visualiza en la Figura 2.

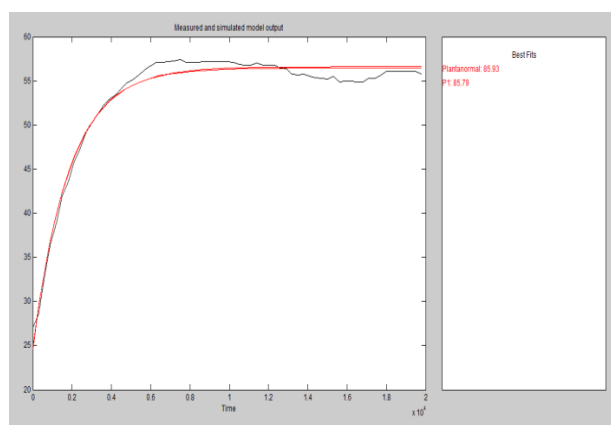


Figura 2: Comparación del modelo obtenido vs. el modelo real.

2.2 Termómetro Patrón

El termómetro digital se compone fundamentalmente de tres partes, los cuales se visualizan en la Figura 3.

1. Fuente dual de voltaje: Utiliza dos baterías recargables de 8.4V conectado a los reguladores 7805 y 7905.
2. Sistema de acondicionamiento: Tiene una fuente de corriente ajustable LM334 para calibrar la corriente que ha de circular por el sensor de temperatura Pt100.
3. Sistema de visualización: Consta de una pantalla LCD 8x2 para mostrar la temperatura con enteros bipolares y dos decimales.

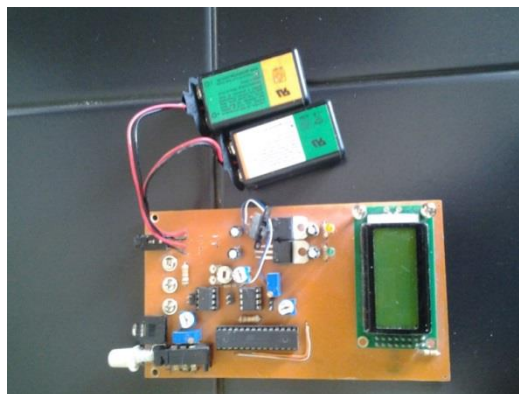


Figura 3: Termómetro Patrón.

Las características técnicas del termómetro patrón se visualizan en la Tabla 1:

Tabla 1 – Características Técnicas del Termómetro

Escala	Celsius
Rango	-10 a 130 [°C]
Precisión	0,1367919 [°C]
Error máximo permitido	$\pm 0,354 \%$ o $\pm 0,5[°C]$
Alimentación	$\pm 8,4V$ recargables
Duración de baterías	2 horas.

Acondicionamiento

El acondicionamiento de señales trata de poner a las señales dentro de características y parámetros que sean compatibles con los instrumentos que vienen a continuación tales como sistemas de visualización, almacenamiento, adquisición y control.

El acondicionamiento de una señal puede referirse a modificar la señal para que tenga la amplitud adecuada para su lectura, eliminar el ruido que está acoplado a la misma, transformarla a un formato digital para representarla o simplemente transferirla a un dispositivo de almacenamiento; la señal puede necesitar ser linealizada o ser convertida a otro tipo de variable física.

2.2.1 Sensores Resistivos

El sensor de temperatura resistivo con sus siglas en inglés RTD o PT100 basados en la dependencia de la resistividad de un conductor con la temperatura, tienen una resistencia entre $0[\Omega]$ y $20[k\Omega]$. La ventaja más importante es que son lineales dentro del rango de temperatura entre $-200[°C]$ y $850[°C]$.

El acondicionamiento para sensor resistivo que estén dentro de un rango de 0 a $1[k\Omega]$ de resistencia conectado a sus respectivos terminales se muestra en la Figura 4

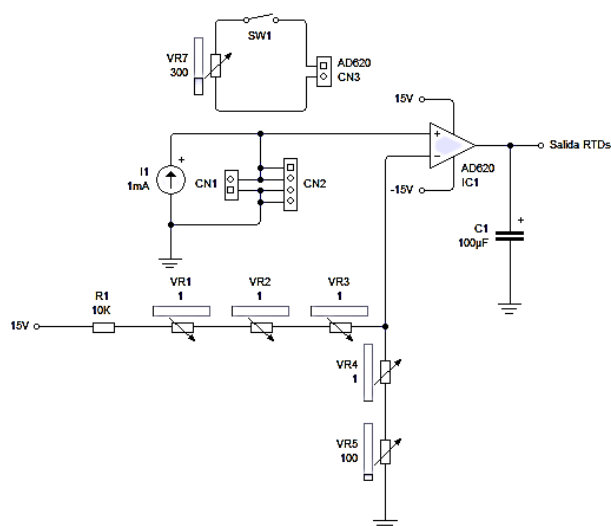


Figura 4: Sistema de acondicionamiento para sensores resistivos.

Tanto el sistema de desfase como el de ganancia son controlados por el amplificador de instrumentación AD620. El amplificador tiene sus respectivos componentes de calibración para ajustar los parámetros necesarios para su correcto funcionamiento.

2.2.2 Termopares

Los termopares son robustos, tienen una estabilidad bastante buena a lo largo del tiempo. Debido a su pequeño tamaño, responden rápidamente a los cambios de temperatura. Funcionan sobre rangos de temperatura criogénicas, tiene una linealidad y exactitud razonable.

El acondicionamiento para ajustar la ganancia de un termopar conectado a su terminal se muestra en la Figura 5.

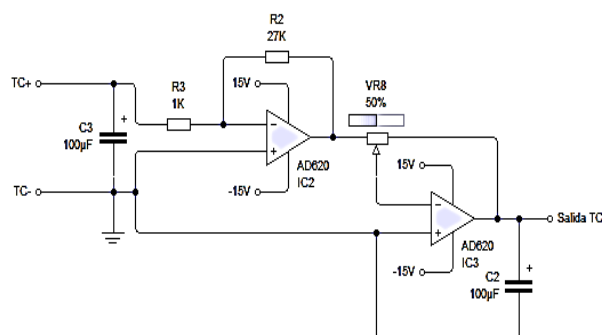


Figura 5: Sistema de acondicionamiento para termopares.

El hecho de que los termopares sean dispositivos de bajo nivel de tensión y de baja impedancia, hace que el acondicionador de señal sea totalmente imprescindible.

2.2.3 LM35

El sensor de temperatura LM35 es un sensor monolítico que tiene un rango de sensado de la temperatura de $-55[^\circ\text{C}]$ hasta $150[^\circ\text{C}]$, y se traduce en valores de voltaje de $550[\text{mV}]$ hasta $1500[\text{mV}]$ en variaciones de $10[\text{mV}/^\circ\text{C}]$.

El acondicionamiento para ajustar la ganancia de dos sensores LM35, el primero para la medición de temperatura de la unión del termopar y el segundo para la medición de temperatura en general que se muestra en la Figura 6.

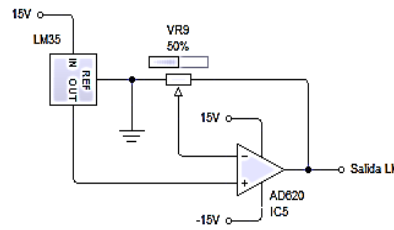


Figura 6: Sistema de acondicionamiento para LM35.

2.3 Controlador PI discreto de temperatura

Se utiliza un controlador continuo proporcional e integral (PI) dada por la Ecuación 3 en el dominio de la frecuencia:

$$\frac{Y(s)}{U(s)} = Kp + \frac{Ki}{s} \quad (3)$$

Dónde: $Y(s)$ es salida del sistema, $U(s)$ es la entrada del sistema; Kp y Ki : Constantes proporcional e integral respectivamente y s es Variable continua en función de la frecuencia.

Se hace necesario discretizar el controlador y expresarlo de la siguiente forma:

$$\frac{Y(z)}{U(z)} = Kp + \frac{Ki \cdot T}{z - 1} \quad (4)$$

La ecuación de diferencias discreta diferencias para calcular en forma discretizada la cantidad de energía que debe ser proporcionada al baño líquido de aceite mediante el calefactor es la siguiente:

$$Y(k) = Y(k-1) + a \cdot U(k-1) + b \cdot U(k) \quad (5)$$

Donde: $a = Ki \cdot T - Kp$ y $b = Kp$

El controlador de temperatura posee dos modos de trabajo. Para pasos de temperatura mayores a $50[^\circ\text{C}]$, el sistema responde sin sobre impulsos. Para pasos menores de $50[^\circ\text{C}]$, el sistema de control proporciona más energía para reducir el tiempo de respuesta a la mitad con sobre impulsos que no comprometen el funcionamiento de los sensores.

Instrumento Virtual

La interfaz gráfica de usuario fue desarrollada en Labview y ofrece una interacción flexible. Las conexiones entre la máquina de calibración y se PC se visualiza en la Figura 7.



Figura 7: Montaje de la máquina.

En la Figura 8 se visualiza la interface entre la máquina de calibración y el usuario que permite la interacción entre diferentes ventanas para el análisis de características, calibración de los instrumentos de medición de temperatura analógicos y digitales, y control de temperatura

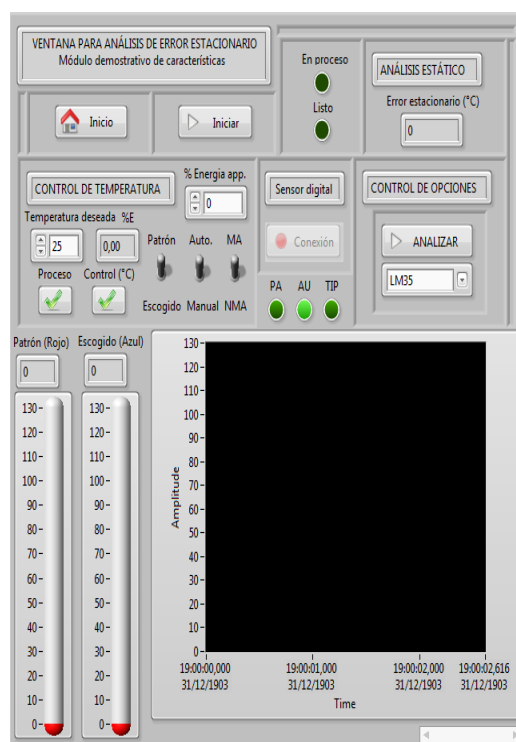


Figura 8: Instrumento virtual VI.

2.3.1 Adquisición de datos

La adquisición de datos se realiza bajo los parámetros del hardware utilizado en la tarjeta de adquisición de datos de NI DAQ USB 6009, a continuación se detallan los datos más relevantes:

- Razón de adquisición análoga: 48 [KMuestras/s]
- Resolución del conversor AD: 14 y 13 [bits].

En base a lo anterior se puede la resolución máxima de adquisición, tomando en cuenta la ecuación de la precisión de entrada en un sistema de adquisición de datos:

$$Precisión = \frac{Rango}{Resolución} \quad (6)$$

Dónde: *Rango* es el valor máximo menos el valor mínimo de la medición, *Resolución* es la capacidad del sistema para representar una señal analógica en un formato digital (2^n)

$$Precisión = \frac{141}{2^{13+14}}$$

$$Precisión = 0.0172 \text{ \& } 0.0086 [^{\circ}\text{C}]$$

La precisión de la señal del termómetro patrón es menor a 0.01°C . Cada variación mínima de alguna señal de temperatura dentro del programa es de 0.0172°C para los sensores LM35 y 0.0086°C para los demás sensores. Este parámetro es necesario en el cálculo de la sensibilidad de los sensores.

2.3.2 Filtrado y Acondicionamiento digital

Las señales medidas por la tarjeta de adquisición de datos tienen ruido y será necesario, con el fin de tener mediciones estables, poner filtros de respuesta rápida para medir las características dinámicas y filtros potentes para tener mediciones precisas.

Debido a que la señal de entrada de cada sensor varía de $0[\text{V}]$ a $3[\text{V}]$ y de $0[\text{V}]$ a $10[\text{V}]$ es necesario cambiar la señal de voltaje a una que represente temperatura, así será necesario multiplicar un factor de amplificación y desfazar la señal para que comience en el valor inferior del rango.

En la Tabla 2 se muestran los parámetros de acondicionamiento digital para cada sensor:

Tabla 2 – Parámetros de acondicionamiento digital de sensores utilizados

Escala	Celsius		
Patrón	140	-10	3
RTDs	120	0	10
PTC&NTC&D	70	70	10
Termocupla	120	0	10
LM35	120	0	10
DS18B20	No requiere	No requiere	No requiere

2.3.3 Cálculo de las características de sensores

Error estacionario: El algoritmo para encontrar el error estacionario es simple, es necesario tener una señal estable tanto de la señal patrón como del sensor a analizar, para esto es necesario aplicar un filtro estadístico que elimine fluctuaciones, el filtro se aplica dinámicamente; posteriormente se resta los valores de referencia con el valor medido[4].

Sensibilidad: Para el algoritmo es necesario tener una variación de temperatura ascendente o descendente, si se tiene una razón de muestreo variable, se puede comparar el valor actual de la temperatura vs un valor anterior.

or. En caso de que la razón de variación de la temperatura cambie, siempre se podrá ajustar la tasa de muestreo para poder encontrar la sensibilidad de un sensor y la variación más pequeña encontrada es la sensibilidad del sensor.

Histéresis: Para poder calcular la histéresis es necesario configurar entre dos límites los puntos que se desean analizar, de tal manera que se introduce el número de puntos para generar un reporte de la diferencia entre la señal del sensor y la del patrón.

Repetitividad: Para calcular la repetitividad se necesita muestrear n puntos con una misma entrada y calcular el porcentaje de la diferencia entre el valor mayor y menor encontrados en todo el proceso de muestreo.

Tiempos de respuesta: Según la fundamentación teórica, para poder calcular el tiempo de respuesta, la constante de tiempo, el tiempo de subida y el tiempo de estabilización es necesario encontrar la respuesta transitoria y posteriormente calcular el tiempo dentro de los porcentajes de cada parámetro. El programa realiza los cálculos de forma dinámica, al momento de pulsar un botón se debe insertar el sensor dentro de una entrada paso de temperatura sea ascendente o descendente.

3 RESULTADOS

El sistema funciona bajo las siguientes características:

- Tiempo de subida: 30 a 15 [min].
- Tiempo de estabilización: 45 a 27 [min].

Para el cálculo del error estático en el volumen de aceite fue necesario establecer puntos estratégicos para medir la temperatura y comprobar la homogeneidad de la temperatura a lo largo del área donde se pueden sumergir los sensores [1].

El proceso de medición se realizó a una temperatura ambiente de $22,69[^\circ\text{C}]$ y los puntos de medición se observan en la Figura 9.

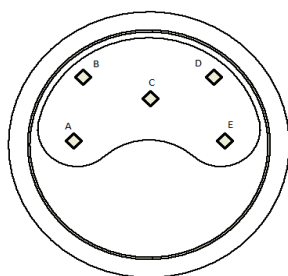


Figura 9: Representación de puntos estratégicos para medición de temperatura.

En la Figura 10 se observa que la temperatura tiende a ser menor conforme se aleja del centro del baño líquido, dentro del rango de profundidades de 28 a 54 [mm] existe homogeneidad asegurando una incertidumbre de la medición de $\pm 0,31[^\circ\text{C}]$.

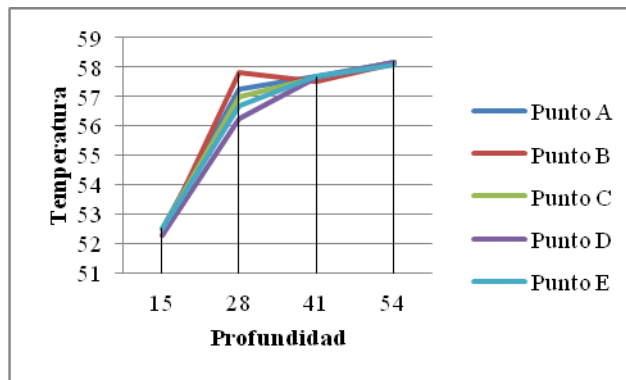


Figura 10: Relación de temperatura vs profundidad del baño líquido de aceite.

Las señales de voltaje transferidas de la máquina de calibración a la tarjeta de adquisición de datos se ven afectadas con ruido externo e interno que provocan las siguientes variaciones que se evidencian en la Tabla 3.

Tabla 3 – Error equivalente en °C para cada señal de temperatura

	Sensores LM35	Termopar	Sensores resistivos	Patrón
Sin Filtrar	0,15	5	0,8	2
Filtro pasa bajas	0,12	4	0,5	1,45
Filtro estadístico	0,0015	0,005	0,008	0,002

A continuación se describen los resultados obtenidos de cada uno de los sensores en relación a las características estáticas y dinámicas.

Error estacionario

El cálculo de error estacionario es la diferencia entre la señal de referencia con la señal medida [4]. El error estacionario depende de dos factores: la exactitud en el sistema de acondicionamiento y las características de respuesta del sensor analizado. En la Figura 11 se muestran los valores de error estacionario encontrados para cada sensor de temperatura acondicionado en el módulo de calibración:

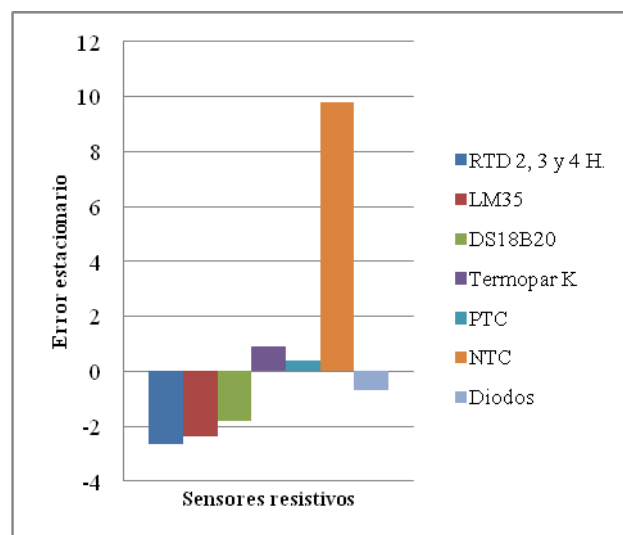


Figura 11: Diferencia de temperatura del baño líquido de aceite respecto a los termopozos.

3.1 Repetitividad

Para calcular el error en la repetitividad real encontrada para cada sensor referirse al rango que maneja cada sensor.

El cálculo de la repetitividad de estos sensores fue realizado bajo los siguientes parámetros:

- Temperatura de calibración: 60[°C].
- Número total de toma de datos por sensor: 10.
- Temperatura ambiente: 22 a 23 [°C].

En la Tabla 4 se presentan los resultados de cada sensor de temperatura acondicionado en el módulo de calibración:

Tabla 4 – Repetitividad para cada sensor

RTD 2, 3 y 4 H.	0,02%
LM35	0,01%
DS18B20	0,052%
Termopar K	0,064%
PTC	0,235%
NTC	1,66%
Diodos	0,189%

El análisis de resultados determina que los sensores resistivos PTC, NTC y los diodos son más inestables.

3.2 Sensibilidad

El dispositivo digital de adquisición de datos es limitado, por lo tanto se llega a comprobar que la sensibilidad de cada sensor de temperatura es menor o igual a la mínima variación que puede apreciar la tarjeta de adquisición de datos, para este caso la sensibilidad del sistema digital vino dado por la variación de 0.0172 & 0.0086[°C].

3.3 Tiempos de respuestas

En la Tabla 5 se muestran los valores de error estacionario encontrados para cada sensor de temperatura acondicionado en el módulo de calibración:

Tabla 5 – Tiempos de respuesta para cada sensor de temperatura en segundos

Característica	RTD 2, 3 y 4 H	LM35	PTC	NTC	Diodo
Respuesta (95%)	39,2	9,5	97,6	19,6	13,1
Constante (62,3%)	15,2	4,7	13,6	6,4	4,1
Subida (10% – 95%)	34,4	7,2	95,6	5,2	11,4
Estabilización (98%)	48,8	13,7	145	50	25,7

Al analizar los datos, se determina que el RTD de platino tiene una velocidad de respuesta lenta, al contrario de los sensores LM35, NTC y bipolar (diodo). Los sensores Al mismo tiempo se RTD, LM35 y PTC son más estables en su respuesta, no así con los sensores NTC y bipolar.

4 CONCLUSIONES

La máquina referida posee una gran versatilidad, posibilita integrar principios y conceptos físicos, establecer tópicos generativos en una enseñanza para la comprensión.

Contribuir a la formación en competencias prácticas, se tiene que destacar el valor didáctico que posee este recurso: fácil de operar, seguro en cuanto al manejo con los estudiantes y fácilmente trasladable, inclusive al propio salón de clase.

El termómetro patrón fue certificado en el Centro de Metrología del Ejército Ecuatoriano y cumple los parámetros de admisión de 0.5°C de la calibración a cero y 130°C . El termómetro patrón se debe someter a un proceso de ajuste y calibración cada seis meses para tener seguridad de la fidelidad de las mediciones.

La Máquina proporciona al estudiante una forma práctica de verificar las características de los sensores de temperatura, permitiendo desde su interfaz: Tiempo de respuesta, tiempo de subida, tiempo de estabilización y constante de tiempo.

Con este tipo de aplicación en el laboratorio de Mecatrónica se puede realizar pruebas encaminadas a determinar las condiciones de funcionamiento de sensores de temperatura de las empresas en las cuales se tengan convenios de vinculación aportando de esta manera a proporcionar información valiosa de los procesos de automatización de las mismas y abriendo mayores posibilidades de relacionar a la universidad con la Industria.

Como proyección del impacto que tiene esta máquina en el laboratorio sería adecuado proponer investigaciones similares pero aplicadas a otras variables como: presión, caudal, entre otros, para contar con máquinas que permitan realizar pruebas similares.

AGRADECIMIENTOS

Los autores agradecen la colaboración del Ingeniero Norberto Purtscher e Ingeniero Álvaro Fuentes.

REFERENCIAS

- [1] PURSCHERT N., Módulo para calibración y análisis de características estáticas y dinámicas de sensores de temperatura. Universidad Tecnica del Norte, Ibarra. 2014.
- [2] ¿Por qué calibrar y qué costes y riesgos comporta el no calibrar?. Revista Calibration World. 2da edicion. Pietarsaar Finlandia: Beamex. 2009
- [3] DAIHONG, Y., HAORONG, L., YUEBIN, Y., & JUN, X. Virtual calibration of a supply air temperature sensor in rooftop air conditioning units. HVAC&R Research, 17(1), 31-50. doi: 10.1080/10789669.2011.543250. 2011
- [4] GÓMEZ, J. R., & MONTEAGUDO, J. P. A virtual sensor for monitoring excited thermal turbogenerator rotors. Sensor virtual para el monitoreo térmico de rotores de turbogeneradores a partir del estado de excitación., 32(3), 5-9. 2012
- [5] LUIS G, L. M., FERNANDO A, O., ADÁN, F. M., & LEÓN, N. B. O. Diseño construcción e implementación de un sistema de adquisición de datos de temperatura para prácticas de laboratorio de física general II. (Spanish). Revista Colombiana de Física, 38(2), 1002-1005. 2006

- [6] ROMIO, C., LORSCHETER, T. A., & SILVA, I. N. L. Calibração de um termopar tipo k para ser utilizado em um sistema de aquisição de dados com o arduino. (Portuguese). Calibration of a type k thermocouple for use in a data acquisition system with the arduino. (English), 9(17), p. 60-65. 2012
- [7] TOVAR, E., & QUIÑONES, C. Un Instrumento Virtual Sencillo de Adquisición de Datos y Control de Temperatura para la Determinación Experimental de Calores de Vaporización. (Spanish). Revista Colombiana de Física, 40(2), 350-351. 2008
- [8] GONZALES, J., NUÑEZ, B., & VILORIA, P. Sistema de monitoreo en tiempo real para la medición de temperatura. (Spanish). Revista Scientia et Technica Año XVII, 50(1), 128-131. 2012
- [9] ORTIZ, P., ARIAS, A., & GUERREO, D. Modelo matemático no lineal en un sistema de temperatura para un recinto cerrado (Spanish). Revista ITECKNE, 7(2), 165-174. 2010
- [10] ESTRADA, Desarrollo de un sistema de monitoreo en tiempo real de variables físicas utilizando sensores. (Spanish). Revista Colombiana de Física. 39(2), 661-664. 2007