

**Diseño e implementación de un dispositivo para la estimación del coeficiente de
conductividad térmica en fase condensada**

Linda Brighth Baena Jaimes

Andrea Mayerli Vega Martinez

Trabajo de grado presentado como requisito para optar por el título de Ingeniero Químico

Director:

Hernando Guerrero Anaya

Ing. Químico, PhD.

Co-Director:

Luz Marina Ballesteros Rueda

Ing. Química, PhD.

Universidad Industrial de Santander

Facultad de Ingenierías Fisicoquímicas

Escuela de ingeniería Química

Bucaramanga

2019

Dedicatoria

Un reconocimiento a Papito Dios, fuente de todo bien, por permitirme el suficiente entendimiento para llegar a este punto, por concederme salud para disfrutar este momento y conciencia para discernir lo bueno que he recibido, pues sin ello no podría darme esta oportunidad de reconocer su presencia en mi vida.

A mi madre Zully Esmeralda Jaimes, por su apoyo incondicional, sus principios, y su motivación constante frente a las diferentes circunstancias de la vida que me han hecho ser una mujer guerrera y de bien para la sociedad.

A mi padre José Ceilor Baena, que sin importar no se encuentre conmigo disfrutando este triunfo; siempre me recalcó el verdadero amor de Dios y los beneficios de buscarle primeramente.

A mis hermanos Ivon Y José David que han depositado toda su confianza en mí y así permitirme seguir siendo ejemplo molde y modelo para ellos.

A mi padrastro, mis abuelos, tíos, primos, y demás familiares por su voto de confianza y demostrarles que soy el resultado de paciencia y perseverancia, siendo la primera profesional en la familia.

A los que hicieron parte y me apoyaron en esta etapa de mi vida: Diego, Julián, Yuly, Camila, Jenny, Andrea, Fabián y que sin importar el tiempo que nos conocemos han aportado su confianza en mí.

Linda Brighth Baena Jaimes

Primero que todo a Dios por iluminar mi camino en todo momento y brindarme la sabiduría suficiente para poder terminar mi carrera ya que sin su bendición y su amor todo hubiese sido un fracaso.

A mi madre Dora Inés Martínez quien con su amor incondicional inculco en mi valores y principios que me hacen sentir orgullosa

A mi padre Julio Santos Vega quien me brindo todo lo necesario para poder culminar mis estudios, confiando en mi

A mi hija Danna Isabella por ser el motor de mi vida y el impulso que me hace luchar cada día más por verla crecer y en un futuro triunfar en la vida.

A mis hermano David y Juan Pablo por tener un voto de confianza en mí y apoyarme en los momentos difíciles y ser mis cómplices en los momentos de regocijo.

A mis tías Mercy, Claudia, Luzmila, Nubia, Helena y Fanny que siempre me han brindado su apoyo incondicional, creyendo en mí y apoyarme en cada instante de mi vida.

A mi abuela Lucia León por alentarme para seguir cumpliendo mis sueños.

A mis amigos Nafer, Banyeline, Angie, Astrid, Linda, Deisy, Kimberly, Leonardo y todos aquellos que hicieron parte de esta etapa de mi vida que me han brindado su amistad incondicional, y apoyo permanente en el transcurso de mi formación profesional.

Andrea Mayerli Vega Martínez

Agradecimientos

Primordialmente a Dios por darnos la sabiduría para poder culminar este proyecto.

Al profesor **Hernando Guerrero Amaya** por ofrecernos su confianza, apoyo y sus consejos para desarrollar este proyecto.

A la profesora **Luz Marina Ballesteros** por su comprensión y confianza.

Al técnico **Eduardo Carreño** y el ingeniero **Guillermo** por sus consejos y aportes en el desarrollo de este proyecto.

A **Juan Carlos Antolinez González**, estudiante de la escuela de ingeniería mecánica por su asesoría y apoyo en la ejecución del proyecto.

A la **Universidad Industrial de Santander** por ser nuestra alma mater y brindarnos la oportunidad de formarnos como profesionales.

Contenido

	Pág.
Introducción	14
1. Objetivos	18
1.1 Objetivo General	18
1.2 Objetivos Específicos.....	18
2. Metodología	19
2.1. Fase I: Diseño del dispositivo para medir la conductividad térmica	20
2.2. Fase II Implementación del dispositivo de medición de conductividad térmica	21
2.3 Fase III: Análisis de los datos obtenidos por la experimentación.....	21
3. Resultados y Análisis	23
3.1 Diseño del dispositivo	23
3.1.1 Módulo de control.....	25
3.1.2 Sensores.	26
3.1.3 Interfaz generadora de datos EXCEL.	26
3.2. Implementación del dispositivo para calcular la conductividad térmica	28
3.3. Análisis y comparación de datos obtenidos experimental y teóricamente	37
4. Conclusiones	41
5. Recomendaciones	42
Referencias Bibliográficas	43

Apéndices.....	45
----------------	----

Lista de Figuras

	Pág.
Figura 1. Esquema metodológico ejecutado en el proyecto de grado.....	19
Figura 2. Planos de la vidriería.	24
Figura 3. Esquema de conexiones del sistema de medición de conductividad térmica en líquidos	24
Figura 4. a) Modulo ARDUINO y sus partes fundamentales b) sensor LM35 c) Termopar tipo K con datasheet Fuente: a) Placa ARDUINO y sus partes (Mecafeniz, 2017).b) LM35 (Electronilab)c) Módulo Sensor MAX6675 de Temperatura con Termopar Tipo K (electronica).	25
Figura 5. Interfaz generadora de datos en EXCEL.	27
Figura 6. Medidor de conductividad térmica en fase condensada.	28
Figura 7. Temperatura Agua Vs Tiempo	30
Figura 8. Transferencia de calor agua Vs tiempo.	31
Figura 9. Conductividad Térmica del agua Vs Tiempo.....	32
Figura 10. Temperatura agua destilada con aislamiento Vs tiempo	33
Figura 11. Transferencia de calor agua destilada con aislamiento Vs tiempo.....	34
Figura 12. Conductividad térmica agua destilada con aislamiento vs tiempo	35
Figura 13. Temperatura agua destilada sin aislamiento Vs tiempo	36
Figura 14. Transferencia de calor agua destilada sin aislamiento Vs tiempo.....	36

Figura 15. Conductividad térmica agua destilada sin aislamiento vs tiempo	37
Figura 16. Temperaturas alcohol etílico Vs tiempo.....	38
Figura 17. Transferencia de calor alcohol etílico Vs tiempo	39
Figura 18. Conductividad térmica alcohol etílico vs tiempo.	39
Figura 19 Grafica de error típico de los datos de alcohol etílico	40
Figura 20 Grafica de porcentaje de error de los datos de alcohol etílico.....	40
Figura 21 Grafica de la desviación estándar de los datos de alcohol etílico.....	41

Lista de Apéndices

	Pág.
Apéndice A. Cálculos de diseño de la vidriería	45
Apéndice B. Programación EES Profesional.....	48
Apéndice C. Cálculos comparativos	61
Apéndice D. Especificaciones de los sensores	63

Resumen

TÍTULO: Diseño e implementación de un dispositivo para la estimación del coeficiente de conductividad térmica en fase condensada*

AUTORES: Linda Brighth Baena Jaimes, Andrea Mayerli Vega Martinez**

PALABRAS CLAVE: transferencia de calor, conductividad térmica, sistema de control, ARDUINO, termopilas tipo K, LM35, sensores

DESCRIPCIÓN

El presente trabajo estudia el diseño e implementación de un dispositivo para estimar el coeficiente de conductividad térmica en fase condensada, en el cual se controla la transferencia de calor generada en función de la temperatura con el propósito de generar valores experimentales y posteriormente validarlos con los valores encontrados en la literatura. Para ello, se realizó un diseño conceptual del dispositivo mediante la hipótesis: “Dos masas de fluidos exactamente iguales y a distinta temperatura, llegarán el equilibrio térmico entre ellas cuando su temperatura sea aproximadamente el promedio de sus temperaturas iniciales”. Dentro del desarrollo se abordó el concepto de economía y tamaño, igualmente se definieron parámetros iniciales, condiciones de operación y restricciones que podrían generar algunos de los termopares utilizados. Para la obtención de los datos se eligió una placa ARDUINO UNO como hardware dado su bajo costo y ARDUINO 1.8.7 y EXCEL como software de interfaz por ser de acceso libre y compatible con los elementos.

Posteriormente, se construyó un sistema de control a partir de los requerimientos establecidos a escala de laboratorio. El sistema lo constituyen dos termopares Tipo K con sus respectivos módulos MAX6675 y cuatro sensores LM35 que permiten operar el sistema de manera estable. Se ajustaron experimentalmente las variables de control para generar un periodo de estabilización mínimo al inicio del proceso.

Por último, se evaluó el funcionamiento del dispositivo realizando pruebas experimentales de dos fluidos (Alcohol etílico, agua destilada y agua). En ellas se observa una aproximación entre los datos obtenidos por el dispositivo y los datos obtenidos mediante correlaciones de la literatura obteniendo gráficas muy sobrepuestas entre los de conductividad térmica calculada y la obtenida en función del tiempo, teniendo en cuenta la transferencia de calor generada.

* Trabajo de grado

** Facultad de ingenierías Fisicoquímicas, escuela de ingeniería química. Director Hernando Guerrero Amaya, ingeniero químico Ph D, codirectora Luz Marina Ballesteros ingeniera química Ph D.

Abstract

TITLE: DESIGN AND IMPLEMENTATION OF A DEVICE FOR THE ESTIMATION OF THE COEFFICIENT OF CONDUCTED THERMAL CONDUCT OF PHASE*

AUTHORS: Linda Brighth Baena Jaimes, Andrea Mayerli Vega Martinez**

KEY WORDS: heat transfer, thermal conductivity, control system, ARDUINO, thermocouples type k, LM35, sensors

DESCRIPTIONS:

The present work shows the process of design and implementation of a device to estimate the coefficient of thermal conductivity in condensed phase, in which the heat transfer generated from one point to another is controlled according to its temperature, in order to generate experimental values to perform the comparison process with the theoretical found and be able to estimate a real and approximate thermal conductivity value.

For this, a conceptual design of the device was made by means of the hypothesis: "Two masses of fluids that are exactly the same with a difference in temperature, will have the approximate thermal equilibrium in the average of their initial temperatures". Within the development the concept of economy and size was approached, also defined initial parameters, operating conditions and restrictions that could generate some of the thermocouples used. To generate the data, an ARDUINO UNO board was chosen as hardware for its low cost and ARDUINO 1.8.7 and EXCEL as software for being of free access and compatible with the elements.

Subsequently, a control system was built based on the requirements established at the laboratory scale. The system consists of two Type K thermocouples with their respective MAX6675 modules and four LM35 sensors that allow the system to operate stably. The control variables were experimentally adjusted to generate a minimum stabilization period at the beginning of the process.

Finally, the operation of the device was evaluated by conducting experimental tests of two fluids (ethyl alcohol, distilled water and water). In them, an approximation is observed between the data obtained by the device and the data obtained by correlations found, obtaining graphs very superimposed between the calculated thermal conductivity and that obtained as a function of time, taking into account the heat transfer generated

* Bachelor Thesis

** Faculty of Physicochemical Engineering School of Chemical Engineering Director: Hernando Guerrero Amaya, chemical engineer. Ph D,co-director Luz Marina Ballesteros chemical engineer. PhD.

Introducción

Cuando existe un gradiente de temperatura en uno o dos sistemas que se ponen en contacto a diferente temperatura se transfieren energía de un sistema a otro mediante el proceso de transporte de energía que se conoce como transmisión de calor.

Experimentalmente, esta transmisión no se mide directamente, sino que se cuantifican las variaciones de energía interna que pueden ser estimadas por medio de propiedades termo físicas, como lo son la conductividad térmica analizada en el presente trabajo.

Los mecanismos a través de los cuales se transmite el calor son: conducción, convección y radiación, en este caso particular se trabajará con la conducción de calor; mecanismo de transmisión a través de un medio conductor que puede ser un sólido o un fluido.

Puesto que la transmisión de calor, es un fenómeno prácticamente imposible de describir, es necesario realizar algunas aproximaciones para obtener la conductividad térmica usando un fluido en reposo.

Cuando un material experimenta un gradiente de temperatura, el calor fluye en sentido contrario a este gradiente; la ley de Fourier relaciona este transporte de energía por conducción, es decir el calor fluye de una zona de temperatura alta a otra de temperatura baja.

La transmisión de calor juega un papel muy importante en muchas de las operaciones que se realizan en la industria química: en el diseño de dispositivos para intercambiar calor entre fluidos, en la transferencia o eliminación de calor a otro fluido, etc. (Esplugas & Chamarro)

La dificultad en la estimación de la conductividad térmica radica en que al diseñar un dispositivo para medirla, surge un conflicto que consiste en los constantes movimientos del fluido; sin embargo, la esencia de este estudio es poder generar a través del diseño, un arreglo que disponga una mayor estabilidad de los fluidos tal que permitan calcular la conductividad térmica con exactitud. Considerando que es difícil implementar un dispositivo que permanezca en estado estacionario para poder realizar los cálculos precisos de conductividad térmica, es necesario desarrollar esta investigación para producir a pequeña escala un modelo que mitigue los inconvenientes actuales. Además, la realización de este proyecto se soporta en la necesidad industrial de mejorar sus procesos por medio de la innovación tecnológica que propicie productos de calidad, con eficacia, eficiencia y a un bajo costo.

Por otra parte, se hace necesario evidenciar las fases del proceso de diseño e implementación para elaborar un dispositivo a escala de laboratorio que permita calcular la conductividad térmica de ciertos líquidos como resultado de una variación de temperatura estimada usando sensores de temperatura y un sistema de control con el objeto de cuantificar la transferencia de calor y a su vez reducir los factores externos que podrían generar desviaciones significativas en la exactitud y la precisión de los valores obtenidos.

En las investigaciones realizadas que involucran la determinación de la conductividad térmica en líquidos, se encuentran los desarrollados por Alvarado, Marín, Juárez, y Calderón, (Alvarado, Marin, Juarez, & Calderon, 2011) en un sistema automatizado para la medición de la conductividad térmica en líquidos mediante el método de alambre caliente.

A su vez, se encuentran proyectos realizados por Stanimirović, Živković, Milošević y Kijevčanin, (Stanimirovic, Zivkovic, Milosevic, & Kijevcanin, 2017) en la aplicación y pruebas

de una simple configuración experimental para mediciones de la conductividad térmica en líquidos.

Estas investigaciones se realizaron con líquidos existentes en la literatura con la técnica del hilo caliente, puesto que es un buen método para determinar la conductividad térmica de materiales que pueden amoldarse alrededor de un hilo delgado (Alvarado Ramirez, 2011)

También se realizó una investigación por Dutra, Orlando, y Bonnier (Dutra Brionizio, Orlando, & Bonnier, 2017) fundamentada en la caracterización de una fuente de calor esférica para medir la conductividad térmica y el contenido de agua de etanol y mezclas de agua. En este estudio recomiendan que para compensar la falta de algunas evaluaciones teóricas y la dificultad de obtener con precisión alguna información práctica, los sensores de esfera calentados debían calibrarse por medio de propiedades térmicas conocidas, y Ortiz (Ortiz Arango, 2014) trabajó en la modelación de la conductividad térmica de nano fluidos y de su aplicación como refrigerantes en micro canales que estudiaron el efecto de la transferencia de calor por convección, sus números adimensionales y su evaluación de las eficiencias de intercambio iónico.

El objetivo de este proyecto de investigación es diseñar e implementar un dispositivo a escala de laboratorio que permita obtener valores experimentales de la conductividad térmica en líquidos puros teniendo en cuenta el estudio de la transferencia de calor, para compararlos con los encontrados en la literatura y obtener un rango mínimo de error.

Para efectos de simplicidad en la medición, practicidad en el diseño y en función de la forma en que el flujo de calor atraviesa la muestra en una sola dirección se utilizó la técnica del estado estable con el método del flujo de calor longitudinal, puesto que cuando se alcanza el estado estable y se minimizan las pérdidas o ganancias de calor, la conductividad se determina por la ecuación lineal de Fourier (Kern, 1999)

Cuando se calienta una sustancia hasta una temperatura inferior a su punto de ebullición se produce una transferencia de calor sensible. Posteriormente, si se calienta hasta alcanzar el punto de ebullición se detiene el ascenso de la temperatura y cualquier cantidad adicional de calor que se suministre es empleada por el fluido para cambiar de estado de agregación. Por ello resulta imprescindible establecer las condiciones necesarias para permanecer en una sola fase durante la experimentación (Ing & C, 1983) (Reid, Prausnitz, & Sherwood, 1987)

Existen diversas estimaciones de la conductividad térmica en líquidos, pero para efectos comparativos con el método experimental se utilizaran los métodos del punto de ebullición de Sato y Riedel y la Ecuación de Latini. (Cruz Fierro, 2019)

Cabe mencionar que actualmente se han realizado estudios, que han permitido un avance tecnológico en el desarrollo de un nano fluido que mejora en hasta un 30% la conductividad térmica a temperaturas de hasta 400°C de los fluidos de transferencia de calor existentes. Cuenta con la ventaja de que no compromete otras variables relevantes como la estabilidad del fluido a alta temperatura y un aumento moderado de su viscosidad, con lo que no causa problemas de bombeo. Para ello no supone un coste adicional para las industrias en los que se puede aplicar, como la petroquímica o las centrales energéticas. (I, 2014)

1. Objetivos

1.1 Objetivo General

Diseñar e implementar un dispositivo a escala de laboratorio que permita la obtención de valores del coeficiente de Conductividad térmica en fase líquida con base en el estudio de la transferencia de calor.

1.2 Objetivos Específicos

- Diseñar el dispositivo para la medición de la conductividad térmica
- Implementar el dispositivo a escala de laboratorio para obtener valores de conductividad térmica.
- Analizar y validar los datos obtenidos por el dispositivo comparándolos con los reportados en las correlaciones encontradas en la literatura.

2.1. Fase I: Diseño del dispositivo para medir la conductividad térmica

Esta etapa se fundamentó en el estudio de las condiciones de operación y las herramientas a utilizar para generar el cálculo de la conductividad térmica teniendo en cuentas las especificaciones para el sistema de control. Se estableció el diseño bajo la hipótesis “Dos masas de fluidos exactamente iguales con una diferencia de temperatura, tendrán el equilibrio térmico aproximado en el promedio de sus temperaturas iniciales”, Donde el sistema implementado permite adoptar los termopares adquiridos. Para ello se decidió utilizar el software *open source* como ARDUINO y EXCEL, así mismo una placa ARDUINO por sus amplias aplicaciones y bajo costo.

Las variables controladas en este proyecto son la temperatura y la transferencia de calor de los fluidos. El flujo de alimentación no se consideró debido a que el fluido permanecerá estático y no hay un dispositivo que origine movimiento.

Acorde a las características y requerimientos de operación, el incremento en la temperatura generado será de 25°C, para generar unos datos precisos en los termopares y evidenciar la transferencia de calor, en donde la temperatura mayor no debe superar los 55°C. De igual manera la presión absoluta del sistema permanece constante con un valor de 90.5 kPa. Las dimensiones de la vidriería a utilizar corresponden a dos recipientes con altura aproximada de 122 mm, diámetro externo 32 y 50 mm respectivamente, diámetro interno de 28 y 40 mm respectivamente y el puente que los une tiene de largo 180 mm y diámetro externo de 22 mm, y están restringidas a los cálculos realizados para generar una transferencia de calor adecuada.

2.2. Fase II Implementación del dispositivo de medición de conductividad térmica

En esta fase, se realizó la construcción del sistema mediante una serie de actividades constituidas por: programación, instalación, ensamble, ajustes y pruebas preliminares al circuito. La programación se desarrolló en el micro controlador junto con el sistema de adquisición de datos.

La instalación se dividió en dos etapas: una instalación del software y controladores en el ordenador (ARDUINO para procedimientos de instalación), seguida de una etapa de implementación de los sensores en la vidriería dispuesta en el diseño. Sucesivamente, se realizó el ensamble de software y los elementos del sistema mediante las respectivas conexiones a la placa de ARDUINO. Una vez el sistema de control esté listo y conectado se realizaron las pruebas de calibración y acondicionamiento del equipo verificando las respuestas obtenidas de acuerdo a la programación y las condiciones del proceso para poder generar la toma de datos de acuerdo a las condiciones de operación estipuladas para el inicio de la prueba experimental en este caso cuando los fluidos se encuentren en reposo.

Después de la instalación se realizó la prueba del equipo con agua destilada y con agua de grifo para identificar el funcionamiento del equipo y las posibles variaciones en el valor de conductividad térmica al utilizar agua des ionizada respecto al agua sin un pre tratamiento.

2.3 Fase III: Análisis de los datos obtenidos por la experimentación

En esta fase se evaluó el funcionamiento y desempeño del equipo por medio de la respuesta que se evidencia en el sistema de control implementado en el dispositivo. Para ello, se realizaron pruebas experimentales con 2 fluidos (Alcohol etílico y agua destilada) con temperaturas iniciales

de 25°C en un recipiente de tamaño menor, y temperatura de 55°C en el recipiente de tamaño mayor para todos los fluidos. Cada prueba se efectuó por duplicado para obtener una mejor precisión en los datos obtenidos. Los resultados obtenidos se compararon con los datos obtenidos por las **correlaciones y cálculos realizados manualmente tomando las mismas condiciones de temperatura de entrada y salida, generando datos que permitan ser correlacionados. Por otra parte los datos obtenidos experimental y teóricamente por los sensores de temperatura instalados en el puente que conecta a un recipiente con el otro se utilizaron para analizar a partir de ellos el efecto del sistema de control sobre el margen de error generado en la transferencia de calor del dispositivo debido a que las termopares tiene un rango de error de 0,25 °C lo cual indica que él va a tomar valores de 0,25°C si se aproxima a este valor o valores de 0 se lee valores próximos a este número, estos saltos podría generar pequeñas variaciones en los datos obtenidos. En todo el proceso se tomaron en cuenta las restricciones de los sensores en este caso el rango de error que se generan en la toma de datos, la sensibilidad de los sensores a los fluidos corrosivos y el rango de temperatura que se debía generar para que los sensores proporcionaran datos precisos.**

Los factores mencionados anteriormente permiten tener un buen funcionamiento del equipo y minimizar los errores en la toma de datos para obtener unos valores de conductividad térmica aproximados a los ya preestablecidos.

3. Resultados y Análisis

3.1 Diseño del dispositivo

Se realizó un diseño de recipientes en vidrio pírex con medidas estándares que permitan generar valores precisos de conductividad térmica en los líquidos a trabajar, estas medidas se generaron con cálculos de altura, diámetro y presión hidrostática con relación la hipótesis: “Dos masas de fluidos exactamente iguales y a distinta temperatura, llegarán el equilibrio térmico entre ellas cuando su temperatura sea aproximadamente el promedio de sus temperaturas iniciales”, además se trabajó una diferencia de temperatura considerable para cumplir la transferencia de calor del fluido caliente al fluido frío en este caso el recipiente de mayor tamaño es el que contendría el fluido caliente.

A continuación, se muestran los planos del diseño de la vidriería para el dispositivo a implementar:

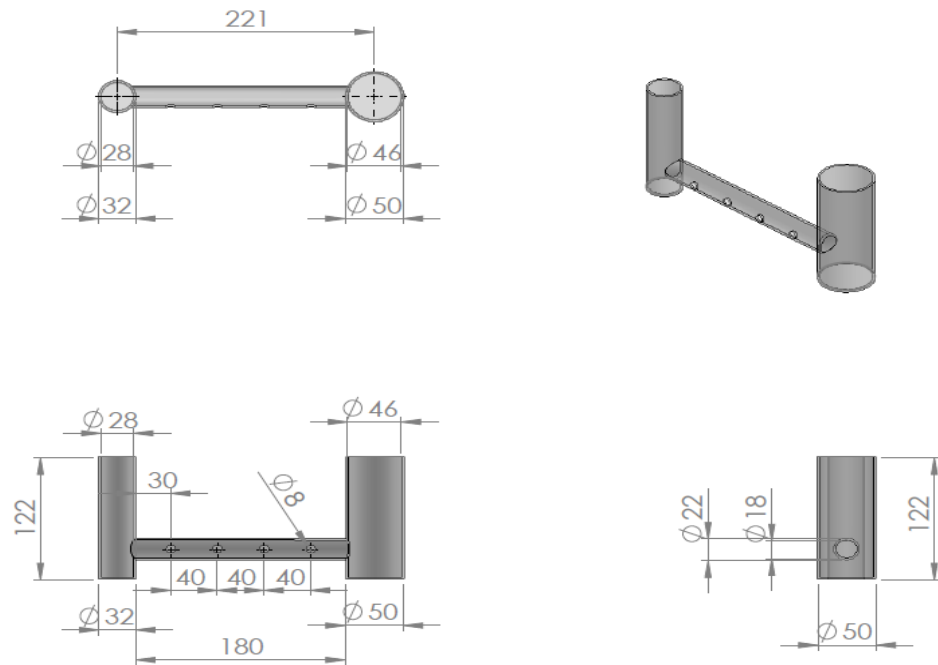


Figura 2. Planos de la vidriería.

El sistema de medición de conductividad térmica en líquidos está implementado por: 4 sensores LM35, un módulo de control ARDUINO con cable USB, dos termopares tipo K, dos módulos MAX6665 como se muestra a continuación:

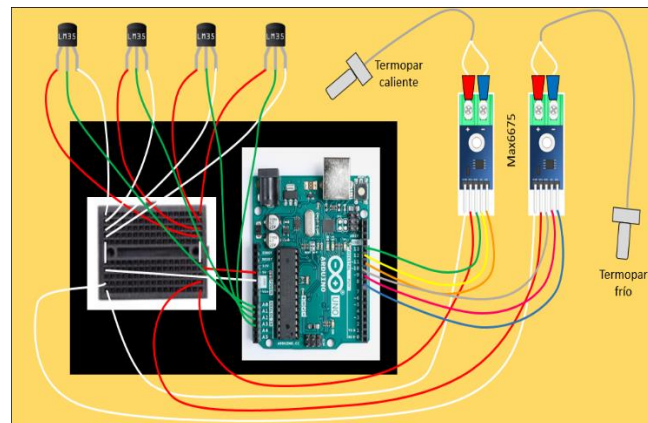


Figura 3. Esquema de conexiones del sistema de medición de conductividad térmica en líquidos

Este sistema de medición se ejecuta de manera análogo-digital, el cual utiliza la interfaz PLDX DAQ versión 2 y en el que se obtienen las lecturas de los sensores y como resultado visualizar los datos en EXCEL.

3.1.1 Módulo de control. ARDUINO Uno es una placa electrónica basada en el microcontrolador ATmega328. Cuenta con 14 entradas/salidas digitales, de las cuales 6 se pueden utilizar como salidas PWM (Modulación por ancho de pulsos) y otras 6 son entradas analógicas. La placa incluye todo lo necesario para que el microcontrolador haga su trabajo, basta conectarla a un ordenador con un cable USB. (Jadiaz, 2016)

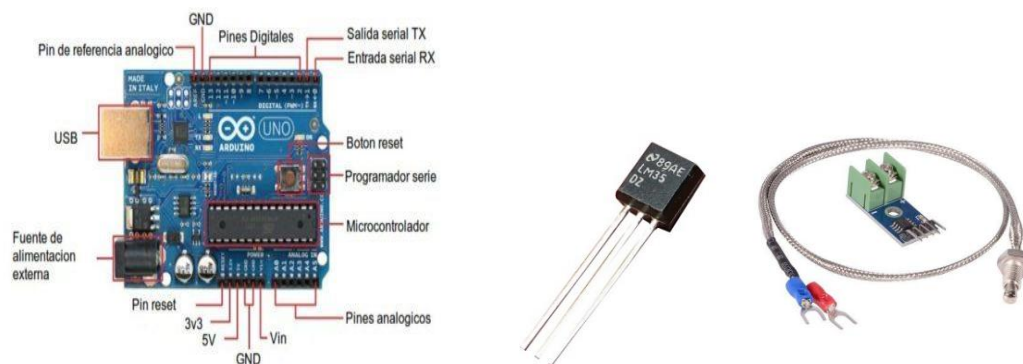


Figura 4. a) Modulo ARDUINO y sus partes fundamentales b) sensor LM35 c) Termopar tipo K con datasheet Fuente: a) Placa ARDUINO y sus partes (Mecafeniz, 2017).b) LM35 (Electronilab)c) Módulo Sensor MAX6675 de Temperatura con Termopar Tipo K (electronica).

ARDUINO es una plataforma de prototipos electrónica de código abierto; sus ventajas son: ejecuta en diferentes sistemas operativos: Windows, Macintosh OSX y GNU/Linux, posee un entorno de programación claro, es de código abierto, software y hardware extensible (ARDUINO.cl).

3.1.2 Sensores. En la Figura 4b se muestra el sensor LM35 empleado para medir la temperatura en los diferentes puntos de la vidriería. Este sensor es de tipo electrónico, puede ser utilizado para detectar la temperatura del aire ambiente, tiene una sensibilidad de 10 mV por grado Celsius y su funcionalidad de rango está en -40°C - 150°C .

La Figura 4c muestra un termopar tipo K para medir las temperaturas en cada recipiente de la vidriería.

Este termopar crea pequeños voltajes en el momento en que perciba una diferencia de calor en cada filamento. Estos filamentos se localizan en los extremos y son regularmente conocidos como “junta caliente” y “junta fría”. Dichas juntas están unidas por medio de un foco de medición. Cuando este punto de unión de ambas juntas es calentado, se produce un fenómeno eléctrico proporcional a la temperatura imperante, cuyo origen se debe a la diferencia de temperatura entre la junta caliente y fría. Con todo este proceso, el foco de medición determina y mide la temperatura latente entre ambas juntas. (Industrial, 2016). Su rango de temperatura es de -50°C - 1100°C .

3.1.3 Interfaz generadora de datos EXCEL. PLX DAQ versión 2 es un programa que se utiliza para establecer una comunicación fácil entre Microsoft EXCEL en Windows y cualquier dispositivo que admita el protocolo de puerto serie. Fue escrito intencionalmente para permitir la comunicación entre ARDUINO y EXCEL.

Puede medir datos en el ARDUINO y enviar los resultados cada periodo de tiempo. Toda la comunicación se realizará mediante: “Serial.println”, comando que ordena a ARDUINO a su monitor serial IDE de ARDUINO. La programación está basada en MACROS de EXCEL.

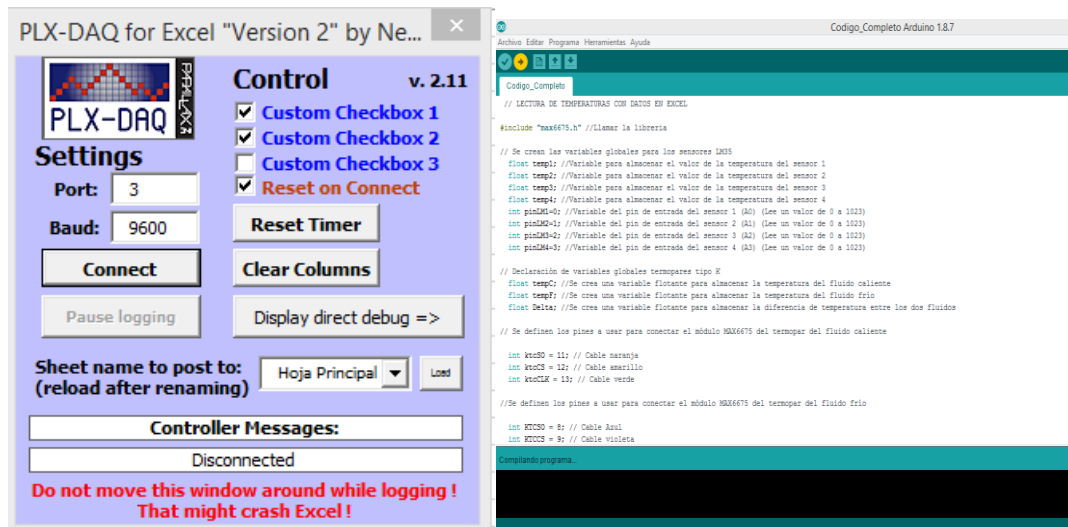


Figura 5. Interfaz generadora de datos en EXCEL.

La interfaz de EXCEL como se muestra en la Figura 5 contiene el control de mando del documento el cual consta de tres hojas en la primera se generara los datos de lectura del ARDUINO, en la hoja dos es un documento en vacío para ir copiando los datos de la hoja 1, y por último la hoja 3 que contiene las fórmulas para poder calcularla densidad, el cp, y la diferencia de calor en los puntos donde se ubican cada sensor lm35 tomando los valores generados por la primera hoja.

Las funciones principales de los botones de la PLX DAQ que se origina en la pantalla principal del EXCEL se detallan a continuación:

Resert time: este botón sirve para parar el tiempo en la toma de datos en el programa, pero el programa seguirá tomando datos normalmente, cuando se reactive el proceso este mostrara el tiempo en el que va y en el valor que sigue leyendo.

Port: en esta parte se debe poner el número del puerto en el cual el ARDUINO está conectado.

Baud: en esta ventanita siempre se debo poner 9600 por especificación y funcionamiento del programa

Clear columns: este botón borrar todos los datos obtenidos hasta el momento.

Connect: este botón permite empezar el funcionamiento del programa siempre que se haga clic en el botón empezara se realiza la toma de datos o se para el programa, cuando se reinicia la toma de datos se borrarán todo lo que este en la hoja 1, por eso se recomienda copiar los datos en la hoja dos para evitar pérdidas de información.

Por último se debe recordar que la única hoja que está ligada a la toma de datos en la hoja principal en este caso hoja 1 esto quiere decir que la única que registrara los datos obtenidos por los sensores.

3.2. Implementación del dispositivo para calcular la conductividad térmica

La Figura 6 representa el prototipo generado para la obtención de valores de conductividad térmica en fase condensada tomando de referencia el diseño realizado, siguiendo el esquema de conexión de la Figura 3.



Figura 6. Medidor de conductividad térmica en fase condensada.

En la sección I se evidencia las conexiones del sistema de control generadas por los cuatro sensores y las dos termopares tipo k que generan la obtención de datos del sistema, por otra parte la sección II contiene una vidriería que tiene las medidas presentadas por la Figura 2.

Se deben tener en cuenta varias restricciones con relación a los sensores de temperatura en este casos, los fluidos a trabajar no podrían ser corrosivos por el daño que podrían causar al termopar además los sensores LM35 son sensibles a un rango de temperatura es decir generara una precisión de datos en el intervalo de 25 a 70 °C. Por otro lado el modelo de la vidriería no permite la limpieza adecuada para realizar posteriores pruebas es decir podrían quedar residuos de los fluidos que se han trabajado por lo que se considera evitar utilizar fluidos altamente viscosos.

Se escogió vidrio pírex puesto que resiste altas temperaturas sin deformarse (-450°C-400°C) y tiene una resistencia química muy buena. (Brown & Sallee, 1967)

Se utilizó EES porque incorpora una gran cantidad de funciones matemáticas y termofísicas. En termodinámica, el programa implementa la ley de Gibbs Duhem para la resolución de las propiedades termodinámicas. Las tablas de vapor se calculan de tal manera que cualquier propiedad termodinámica se pueda obtener una función en términos de otras propiedades además se utiliza como base de datos de propiedades de transporte y termodinámica de alta precisión que se proporciona para cientos de sustancias de una manera que permite su uso con la capacidad de resolución de ecuaciones.

En este caso se generó una fórmula de calor específico, densidad, y conductividad térmica para los dos líquidos de prueba en función de la temperatura, para poder tomar valores precisos de estas propiedades debido a que dependen de la temperatura y como esta varía en función del tiempo, es importante considerar estos cambios. (F-Chart Software, s.f.)

A continuación se visualizan las gráficas obtenidas por la interfaz PLX DAQ versión 2 para EXCEL para los correspondientes fluidos (agua y agua destilada) trabajados en la experimentación en la obtención de datos de conductividad térmica.

La Figura 7 muestra el comportamiento de la temperaturas correspondientes a cada sensor en el agua con respecto al tiempo, en el cual se observa que el tiempo se encuentra en el intervalo de 0 a 1640 segundos aproximadamente y las temperaturas oscilan aproximadamente con un rango de 28.4,39.2, 17.7,6.12 °C respectivamente.

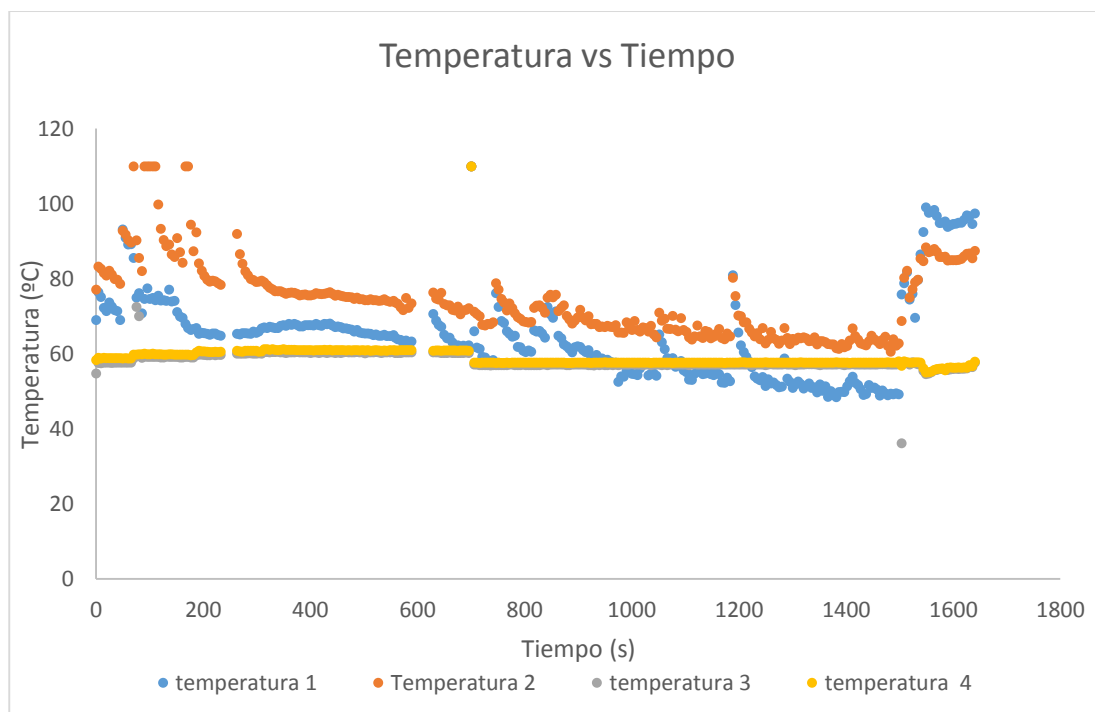


Figura 7. Temperatura Agua Vs Tiempo

En la Figura 8 se puede observar la transferencia de calor del agua a través del tiempo en el experimento para los cuatro sensores, puesto que esta variable depende del valor de dos temperaturas, estas se reducen a tres valores de transferencia de calor. En los primeros 200

segundos se refleja un cambio considerable, en este punto se inicia el estado estable hasta completar los 1640 segundos.

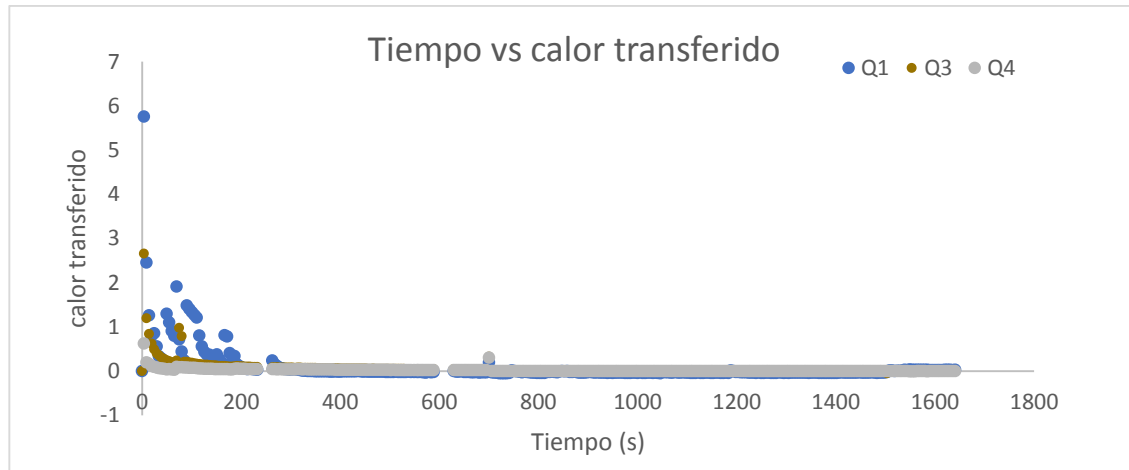


Figura 8. Transferencia de calor agua Vs tiempo.

En la Figura 9 se evidencian los valores de conductividad térmica experimentales y teóricos del agua con respecto al tiempo en los tres puntos donde se da la transferencia de calor. Al comparar estos valores se puede afirmar que cuando se llega al estado estable se obtienen valores muy similares entre ellos para los diferentes tiempos y un rango de error muy pequeño.

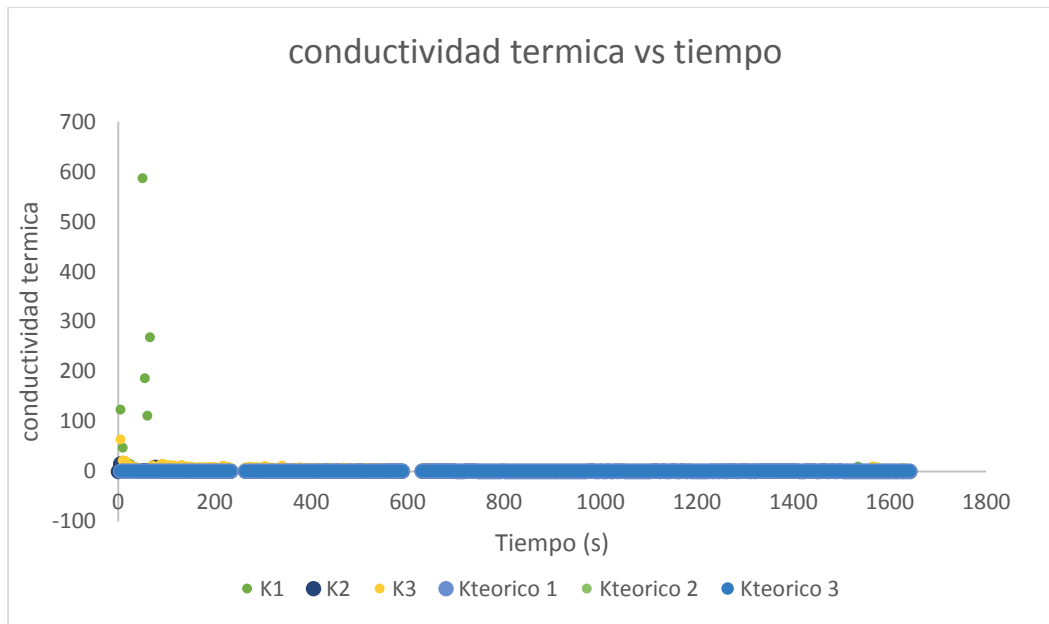


Figura 9. Conductividad Térmica del agua Vs Tiempo.

A continuación se realizó la prueba de agua destilada teniendo en cuenta un aislante térmico (papel aluminio) para visualizar que cambios existen en las pruebas experimentales.

La Figura 10 evidencia que el sistema de medición registra un rango de temperatura que oscila entre 14,2 y 32,8 segundos aproximadamente en las diferentes lecturas de temperatura, es decir se mantiene en el estado estable.

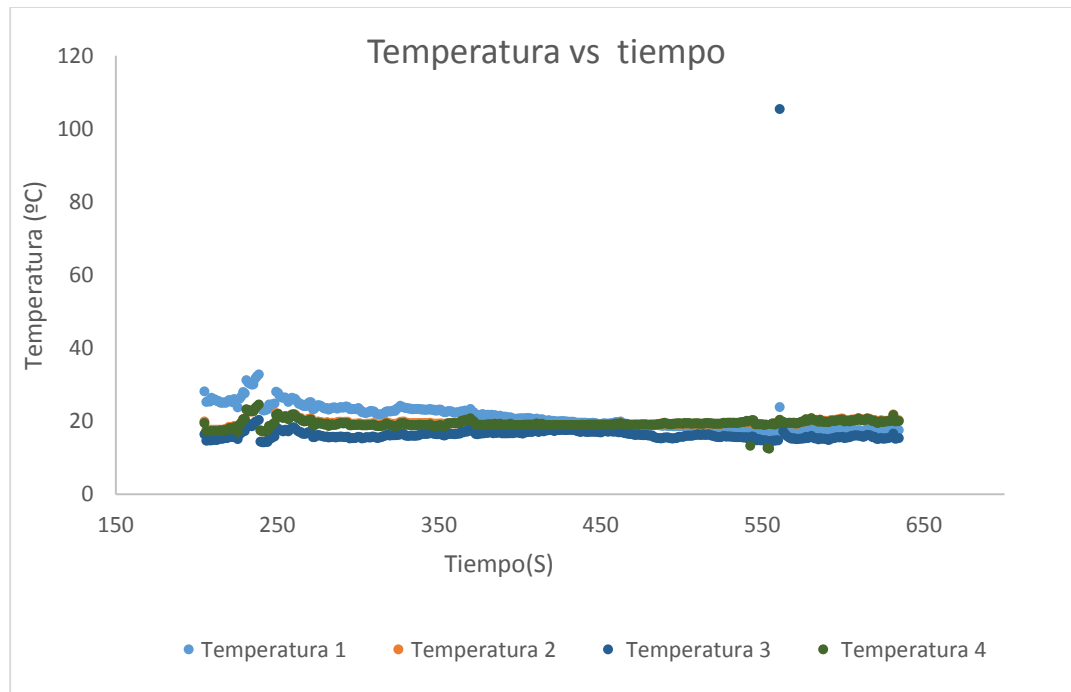


Figura 10. Temperatura agua destilada con aislamiento Vs tiempo

En la Figura 11 se puede observar que la transferencia de calor Q1 posee un comportamiento decreciente considerable mientras que Q3 y Q4 tienen un comportamiento consecuente y equivalente entre sí con las temperaturas asociadas.

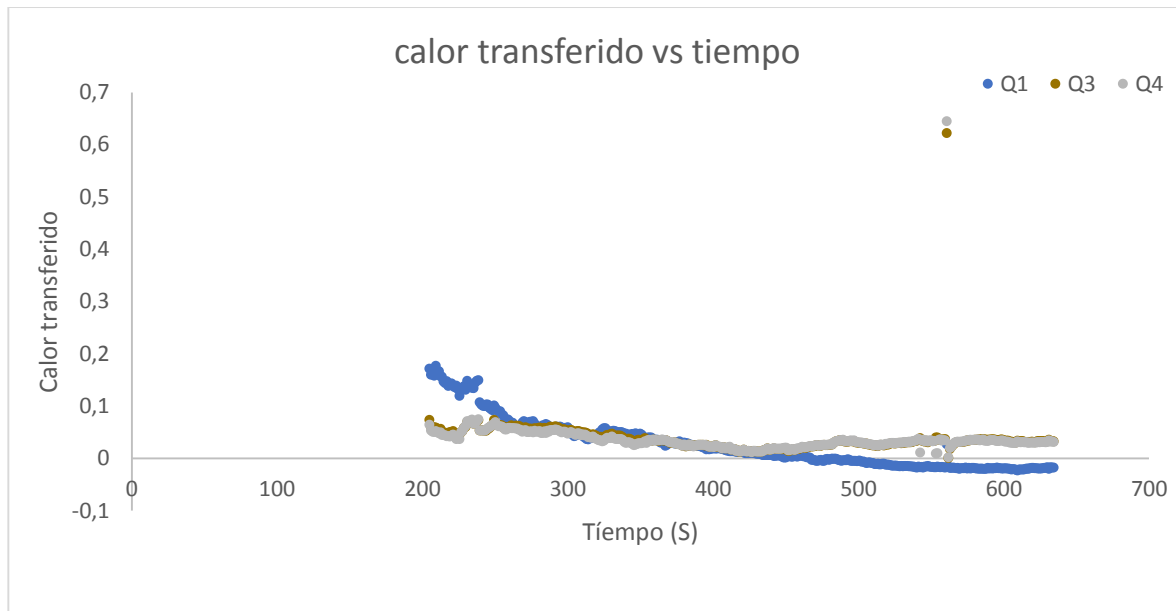


Figura 11. Transferencia de calor agua destilada con aislamiento Vs tiempo

La Figura 12 permite evidenciar los valores de conductividad térmica en agua destilada con aislamiento para los 3 puntos en donde se da la transferencia de calor. Los valores de k_1 y k_2 muestran un crecimiento constante en el tiempo mientras que k_3 presenta un decrecimiento, por lo que nos permite decir que los valores de k_1 y k_2 estas muy próximos a los valores teóricos.

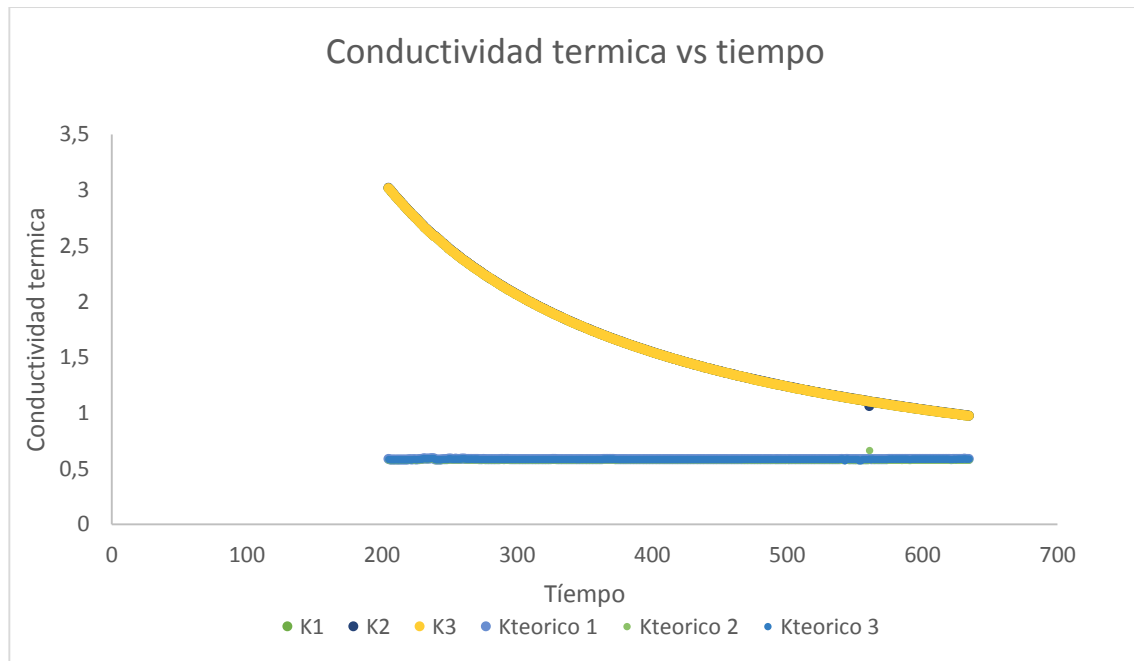


Figura 12. Conductividad térmica agua destilada con aislamiento vs tiempo

La Figura 13, 14, y 15 muestran el comportamiento de las temperaturas, la transferencia de calor y la conductividad térmica con respecto al tiempo sin aislamiento respectivamente. En esta última cuando el sistema se encuentra en estado estable se obtienen datos experimentales de conductividad térmica que al compararlos con datos teóricos da como resultado un error mínimo. Por lo que se tuvo en cuenta para próximas pruebas no tener en cuenta el aislante térmico.

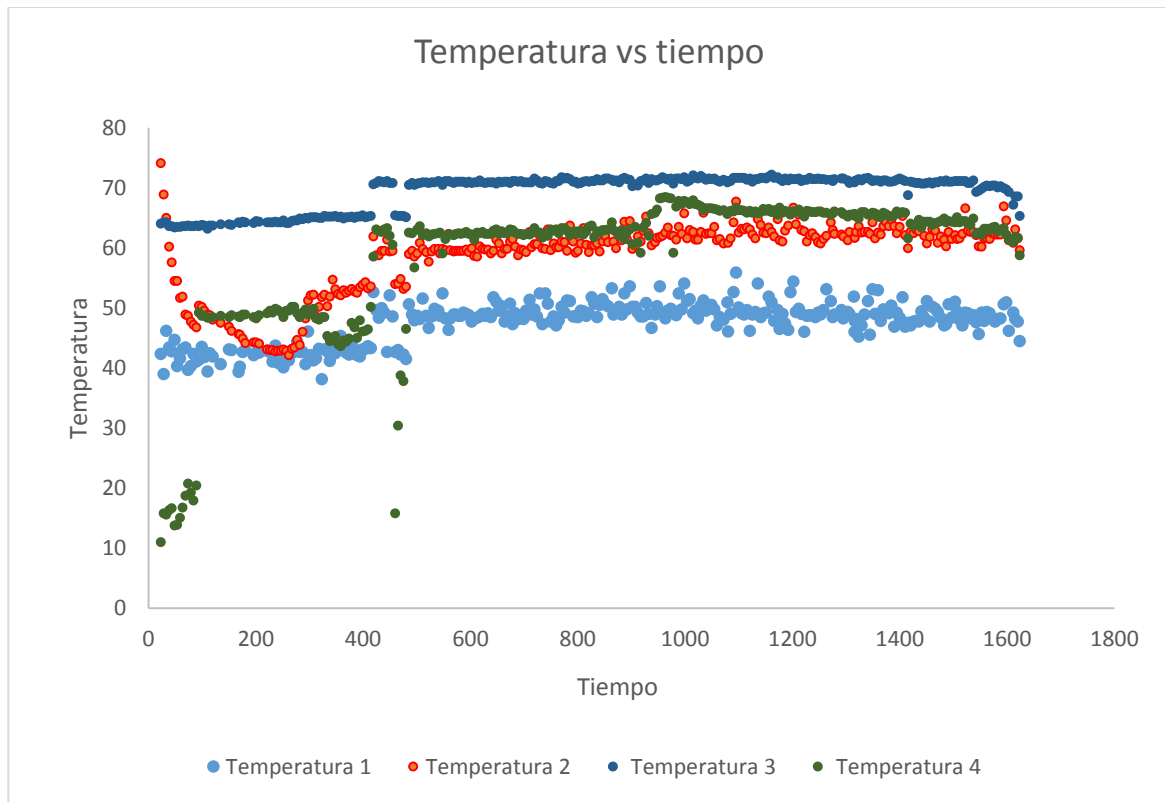


Figura 13. Temperatura agua destilada sin aislamiento Vs tiempo

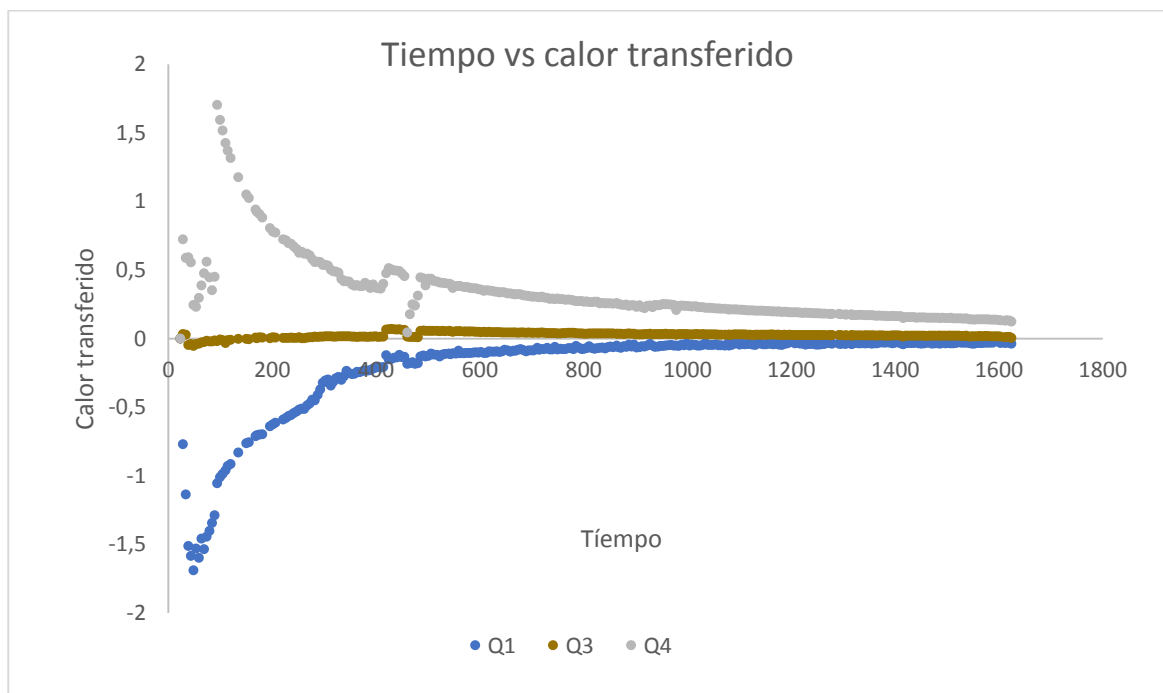


Figura 14. Transferencia de calor agua destilada sin aislamiento Vs tiempo

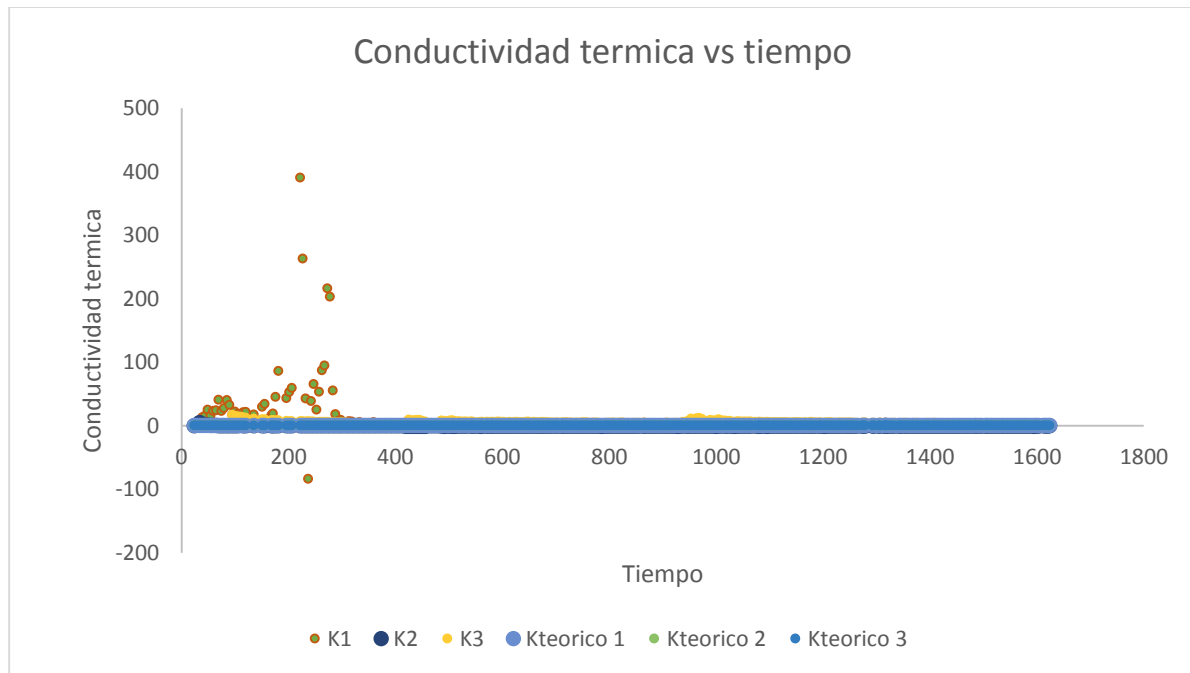


Figura 15. Conductividad térmica agua destilada sin aislamiento vs tiempo

Nota: los datos de conductividad térmica se tomaron como un valor absoluto debido a que el signo negativo hace referencia al hecho de que el flujo del calor se produce en el sentido en el que el gradiente de temperatura es negativo.

3.3. Análisis y comparación de datos obtenidos experimental y teóricamente

A continuación se visualizan las gráficas obtenidas por la interfaz PLX DAQ versión 2 para EXCEL para su respectivo fluido de validación en este caso el alcohol etílico del 96%, para obtener una precisión del error comparado entre los datos obtenidos por el dispositivo y por los obtenidos a partir de las correlaciones encontradas.

Se realizaron tres pruebas experimentales de la cual se tuvo en cuenta la primera, puesto que en la segunda y la tercera se observan cambios súbitos en las variables que no pueden predecir ni estimar ningún comportamiento por posibles daños en los sensores.

La Figura 16 evidencia que para el fluido de validación, las temperaturas con respecto al tiempo se mantienen constantes, añadiéndose dos datos en las pruebas experimentales; temperatura fría y temperatura caliente que son datos registrados por las termopares tipo k con el fin de obtener temperaturas reducidas y posteriormente estimar teóricamente valores de conductividad térmica (método latini). Esta prueba experimental tiene una duración de 133 segundos aproximadamente.

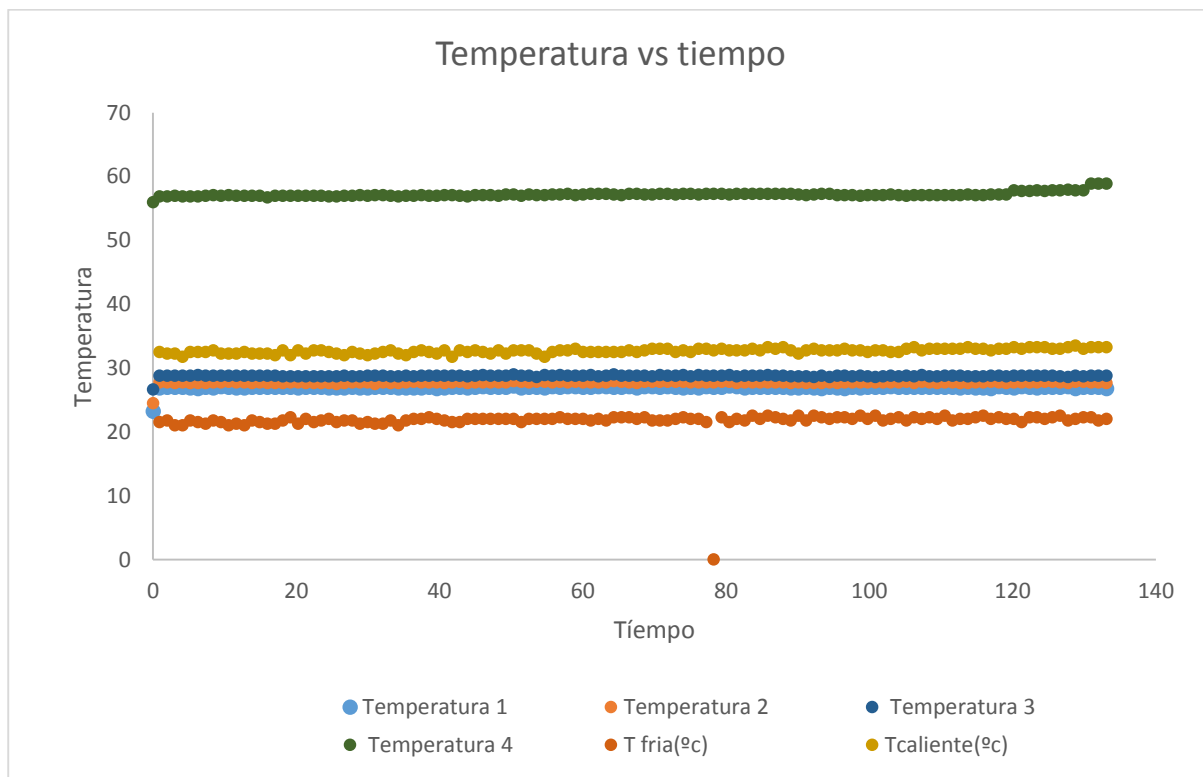


Figura 16. Temperaturas alcohol etílico Vs tiempo

Finalmente, en la Figura 17 y 18 se observa el comportamiento de la transferencia de calor mientras transcurre el tiempo y el resultado obtenido experimental de la conductividad térmica en

el alcohol etílico comparado con el teórico calculado, en el cual se obtiene un error muy pequeño y por tanto despreciable (ver ANEXOS C)

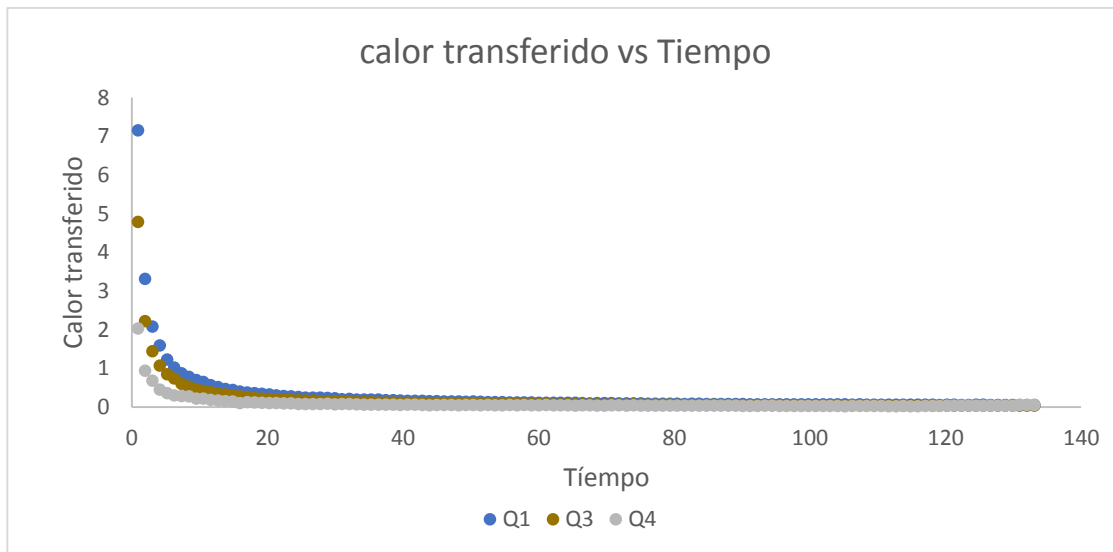


Figura 17. Transferencia de calor alcohol etílico Vs tiempo

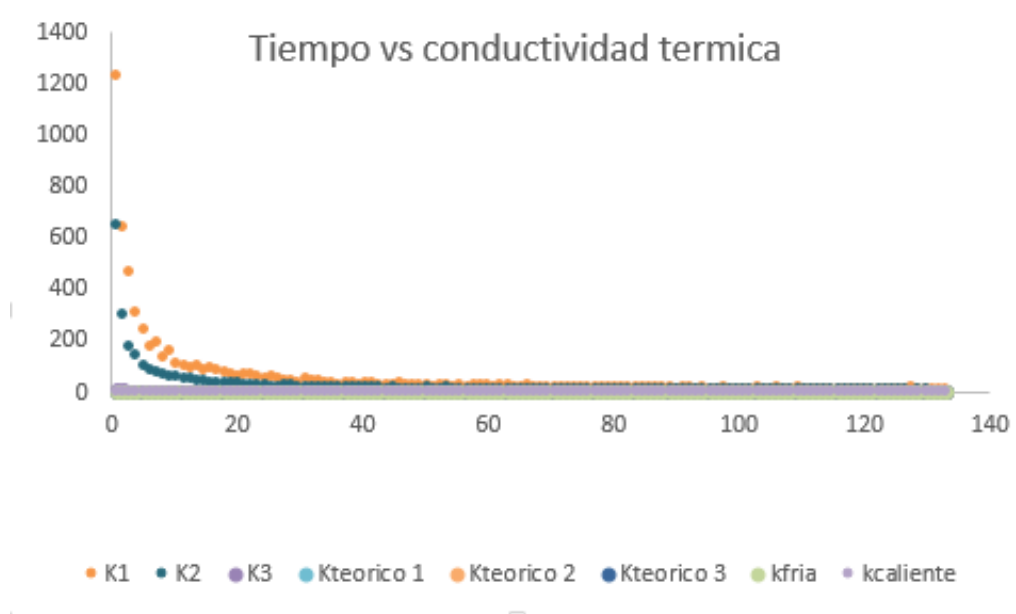


Figura 18. Conductividad térmica alcohol etílico vs tiempo.

La grafica comparando los datos experimentales y teóricos por medio de barras de error se presenta a continuación evidenciando el espaciamiento de los datos obtenidos y calculados

Para poder generar el cálculo de error de los datos

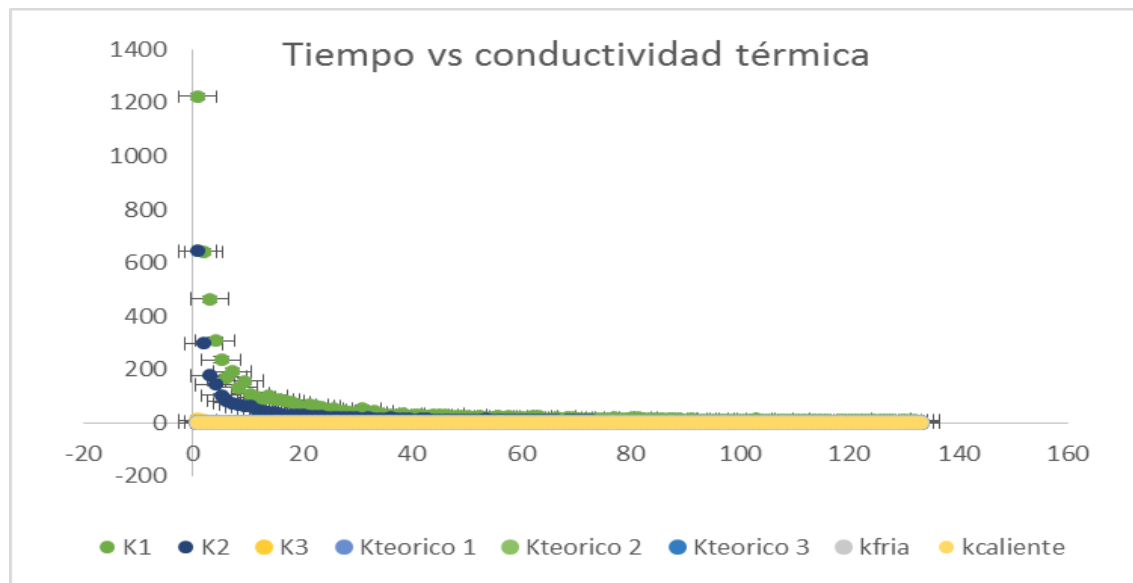


Figura 19 Grafica de error típico de los datos de alcohol etílico

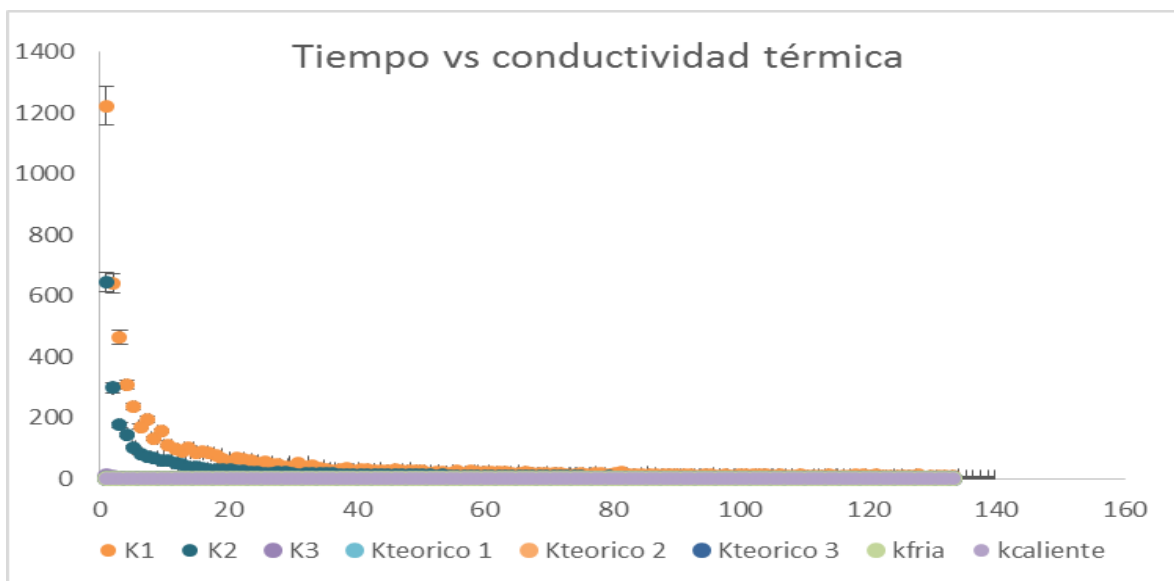


Figura 20 Grafica de porcentaje de error de los datos de alcohol etílico

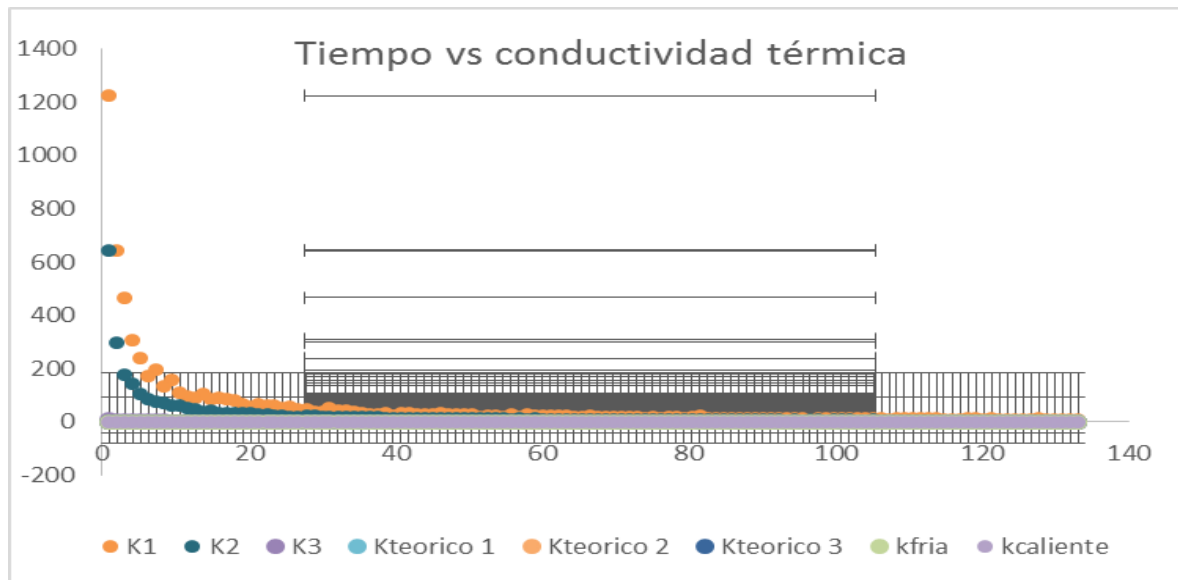


Figura 21 Grafica de la desviación estándar de los datos de alcohol etílico

4. Conclusiones

- Se diseñó un sistema de un dispositivo para la medición de la conductividad térmica en líquidos por medio de la previa investigación de la transferencia de calor. Se utilizaron temas de conductividad térmica en líquidos y ley de Fourier. Así mismo se fijaron las condiciones de operación y el tipo de material a utilizar con el fin de obtener sus dimensiones reales. Para este fin se usó SOLIDWORKS por ser de fácil acceso y tener las herramientas que cubren el proceso de diseño.
- Se construyó el sistema de medición de conductividad térmica en líquidos con los requerimientos establecidos para su uso a escala laboratorio que empleó un control análogo –digital. En primer lugar se utilizaron cinco termopares ubicados a lo largo de la

vidriería que permitieron visualizar el rango de temperatura del sistema y posteriormente los diferentes valores de la conductividad térmica en los líquidos de prueba. Para ello, se usó una placa ARDUINO UNO como hardware por su bajo costo y multiplataforma.

- Se validó la ejecución del sistema de medición implementado mediante las pruebas experimentales. Por lo que se determinó que el sistema de medición es capaz de medir con precisión valores de conductividad térmica en líquidos de prueba.

5. Recomendaciones

- Se recomienda verificar que los sensores estén debidamente conectados a la placa ARDUINO UNO y al sistema de medición puesto que son muy sensibles y la no correcta conexión ocasionaría daños en los mismos y por ende posibles errores en los datos que genera la interfaz.
- Añadir un sistema de succión que esté unido a la vidriería para retirar los fluidos y no hayan pérdidas de los mismos.

Referencias Bibliográficas

- Alvarado Ramirez, s. (2011). Tecnico del hilo caliente para la caracterizacion tecnica de liquidos. 18. mexico.
- Alvarado, S., Marin, E., Juarez, A., & Calderon, A. (2011). sistema automatizado para La medicion de conductividad termica de liquidos mediante el metodo de alambre caliente. *revista mexicana de fisica*, 259-265.
- ARDUINO.cl. (s.f.). Obtenido de <https://arduino.cl/que-es-ARDUINO/>
- Brown, G. H., & Saltee, E. M. (1967). Quimica Cuántica. España: Reverté S.A.
- Cruz Fierro, C. F. (05 de 12 de 2019). *tecno.cruzFierro.com*. Obtenido de <http://tecno.cruzfierro.com/formularios/conductividad.pdf>
- Dutra Brionizio, J., Orlando, a. d., & Bonnier, G. (2017). Caracterizacion de una fuente de calor esferica para medir la conductividad térmica y el contenido de agua de etanol y mezclas de agua. Brasil, Francia.
- electronica, C. (s.f.). *Carrod electronica*. Obtenido de <https://www.carrod.mx/products/modulo-sensor-max6675-de-temperatura-termopar-tipo-k>
- Electronilab. (s.f.). *electronilab*. Obtenido de <https://electronilab.co/tienda/lm35-dz/>
- Esplugas, S., & Chamarro, M. E. (s.f.). *fundamentos de transmision de calor*. españa: publicacions i Edicions.
- F-Chart Software. (s.f.). Obtenido de <http://www.fchart.com/ees/>

- I, U. U. (21 de 10 de 2014). *Sinc la ciencia es noticia*. Obtenido de <https://www.agenciasinc.es/Noticias/Un-nuevo-nanofluido-mejora-un-30-la-conductividad-del-calor>
- Industrial, J. (25 de 01 de 2016). *JMIndustrial Technology S.A de C.V.* Obtenido de <https://www.jmi.com.mx/literatura/blog/item/3-termopar-tipo-k.html>
- Ing, S., & C, T. a. (1983). calor especifico calometria. ciudad de la habana , cuba.
- Jadiaz. (21 de 01 de 2016). *MiArduino*. Obtenido de <http://www.iescamp.es/miarduino/2016/01/21/placa-arduino-uno/>
- Kern, D. (1999). Procesos de transferencia de calor. Mexico: Compañía Editorial Continental S.A de C.V.31.
- Mecafeniz, F. (25 de 04 de 2017). *Ingenieria Mecafenix*. Obtenido de <https://www.ingmecafenix.com/electronica/arduino/>
- Ortiz Arango, J. C. (2014). Modelacion de la conductividad térmica de nano fluidos y de su aplicacion con refrigerantes en micro canales. Medellin, Colombia.
- Reid, Prausnitz, & Sherwood. (1987). The Properties of Gases and Iliquids. 4ª . McGraw-Hill.
- Stanimirovic, A. M., Zivkovic, E. M., Milosevic, N. D., & Kijevcanin, M. L. (2017). *Aplicacion y pruebas de una nueva simple configuracion experimental para mediciones de liquidos conductividad termica*. (Vol. 21 N° 3). Belgrado,serbia.

Apéndices

Apéndice A. Cálculos de diseño de la vidriería

$$\rho c = \frac{mc}{vc}$$

$$\rho f = \frac{mf}{vf}$$

$$\rho/20^{\circ}\text{C} = 998 \frac{\text{kg}}{\text{m}^3}$$

$$\rho/60^{\circ}\text{C} = 983.2 \frac{\text{kg}}{\text{m}^3}$$

ρc = densidad del fluido caliente

ρf = densidad del fluido frío

mc = masa del fluido caliente

mf = masa del fluido frío

vc = volumen del fluido caliente

vf = volumen del fluido frío

- Despreciando la diferencia de densidades

$$Vc = Vf$$

$$\frac{\pi}{4} * dg^2 * h = \frac{\pi}{4} * dp^2 * h + \frac{\pi}{4} * dpu^2 * L$$

$$dg^2 * h = dp^2 * h + dpu^2 * L$$

$$h = \frac{dpu^2 * L}{(dg^2 - dp^2)}$$

$$dg=4,6 \text{ cm}$$

$$dp=2,8 \text{ cm}$$

$$dpu=1,8 \text{ cm}$$

$$L=18 \text{ cm}$$



$$h=4.37 \text{ cm}$$

- Tomando en cuenta diferencia de densidades y con una diferencia de 1.1 mm

$$\frac{\rho_c}{\rho_f} * dg^2 * h = dp^2 * h + dpu^2 * L$$

Con 20°C y 60°C



h=4.48 cm

Con 30°C y 50°C



h=4.43 cm

Con 38°C y 42°C



h=4.38 cm

$$h = \frac{dpu^2 * L}{\left(\frac{\rho_c}{\rho_f} * dg^2 - dp^2\right)}$$

- $P_H = \rho * g * h$

Agua Fría

Agua caliente

$$P_H = \rho_{20^\circ\text{C}} * 9.81 \text{ m/s}^2 * h$$

$$P_H = \rho_{60^\circ\text{C}} * 9.81 \text{ m/s}^2 * h$$

➤ 20°C-60°C y h=10mm

20°C-60°C h=20mm

20°C-60°C h=40 mm

$$P_f = 97.93 \text{ pa} \quad P_f > P_c$$

$$P_f > P_c$$

$$P_f > P_c$$

$$P_c = 96.45 \text{ pa}$$

➤ 20°C-60°C h=100 mm

20°C-60°C h=200 mm

30°C-50°C h=200 mm

38°C-42°C

h=200 mm

$$P_f > P_c$$

$$P_f > P_c$$

$$P_f > P_c$$

$$P_f > P_c$$

$$P_c = 1929 \text{ pa}$$

$$P_c = 1939 \text{ pa}$$

$$P_c = 1939 \text{ pa}$$

$$P_c = 1945 \text{ pa}$$

$$P_f = 1959 \text{ pa}$$

$$P_f = 1953 \text{ pa}$$

$$P_f = 1948 \text{ pa}$$

La presión hidrostática del agua más fría, siempre será mayor. Al llegar a la estabilidad, las presiones se igualan. Esto sucede para cualquier nivel de agua, por lo que el agua tendrá un nivel levemente mayor al del agua fría. En la estabilidad térmica, los niveles de agua a ambos lados son iguales.

20°C-60°C hf=1 cm hc=1.015 cm diferencia de 0.15 mm	20°C-60°C hf= 20 cm hc=20.31 cm diferencia de 3.1 mm	30°C-50°C hf=20 cm hf=20.15 cm diferencia de 1.5 mm	38°C-42°C hf=20 cm hc=20.03 cm diferencia de 0.3 mm
--	---	--	--

DIFERENCIA DE VOLUMENES VARIANDO ALTURA

h= 1 cm Vc= 16.62 cm ³ Vf=51.96 cm ³ $\frac{Vc}{Vf} = 0.32$	h= 10 cm Vc= 166.2 cm ³ Vf=107.4 cm ³ $\frac{Vc}{Vf} = 1.55$	h= 20 cm Vc= 332.4 cm ³ Vf=169 cm ³ $\frac{Vc}{Vf} = 1.97$
--	---	---

DIFERENCIA DE MASAS VARIANDO ALTURA Y TEMPERATURAS

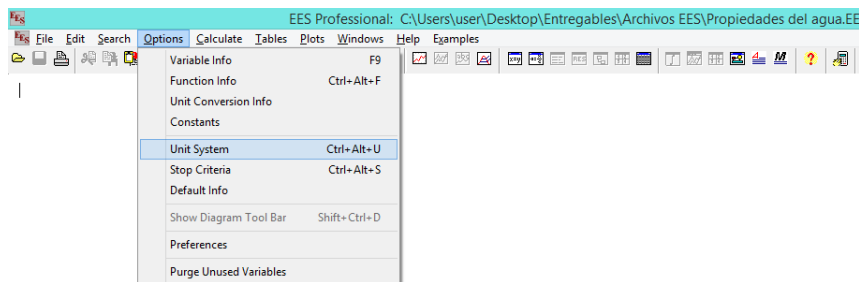
20°C-60°C h=1 cm mc= 0.01634 kg mf= 0.05187 kg $\frac{mc}{mf} = 0.315$	20°C-60°C h=10 cm mc=0.1634 kg mf= 0.1072 kg $\frac{mc}{mf} = 1.524$	20°C-60°C h=20 cm mc=0.3268 kg mf=0.1687 kg $\frac{mc}{mf} = 1.938$
30°C-50°C h= 1 cm $\frac{mc}{mf} = 0.3174$	30°C-50°C h=10 cm $\frac{mc}{mf} = 1.536$	30°C-50°C h=20 cm $\frac{mc}{mf} = 1.952$
38°C-42°C h=1 cm R=0.3193	38°C-42°C h=10 cm R=1.545	38°C-42°C h= 20 cm R= 1.964

Para 20°C-60°C el nivel del agua al que las dos masas son iguales es h= 4.486 cm

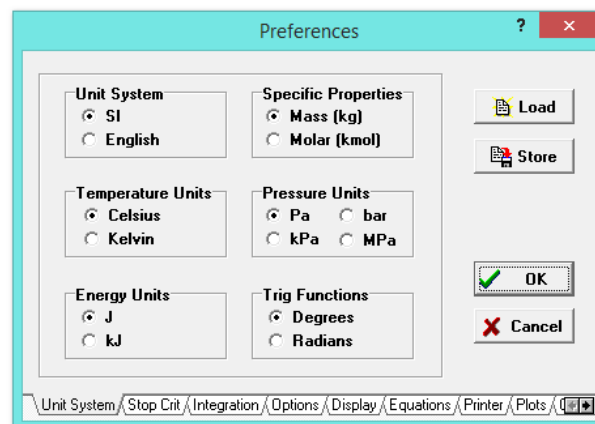
Apéndice B. Programación EES Profesional

GENERAR TABLA DE PROPIEDADES DE UN FLUIDO EN FUNCIÓN DE LA TEMPERATURA EN SOFTWARE EES

1. Entrar al EES.
2. ConFigurar el sistema de unidades con el que se pretende trabajar. Para eso, es necesario desplazarnos a la barra de menús del programa y seleccionar Options y luego Unit System, tal como se muestra:

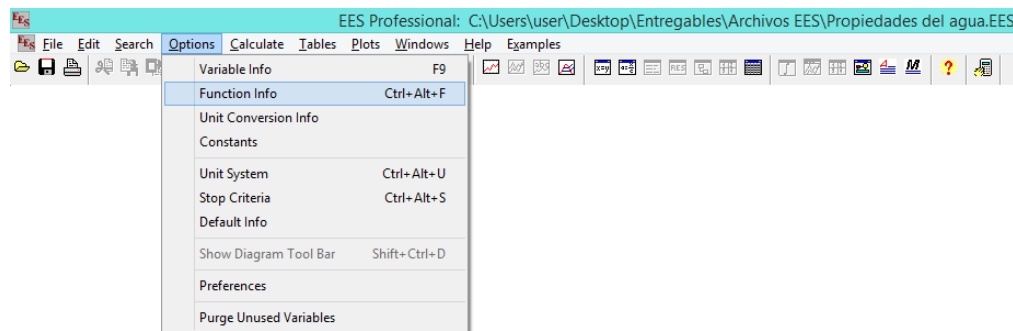


Luego se abrirá una ventana donde se pueden seleccionar las unidades con las que se desea trabajar:

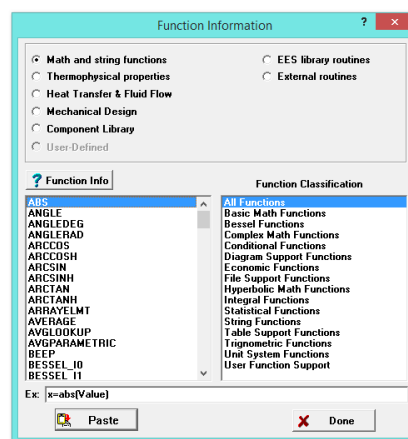


Después de elegir las unidades, de ahí en adelante hay que tenerlas muy en cuenta para cada cálculo o resultado esperado.

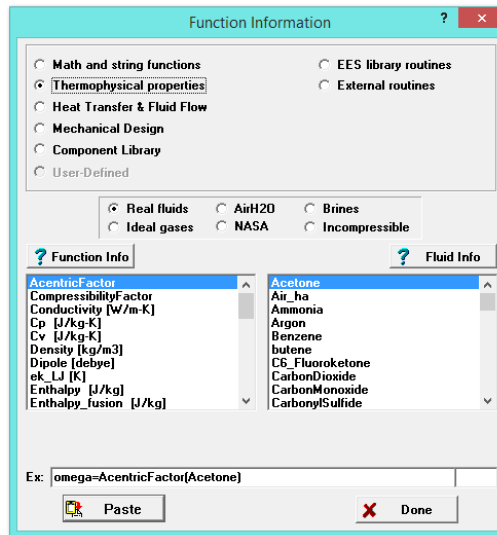
3. Obtener la función propiedad de un fluido desplazando de nuevo a la barra de menús en Options, luego en Function info, como se muestra en el grafico:



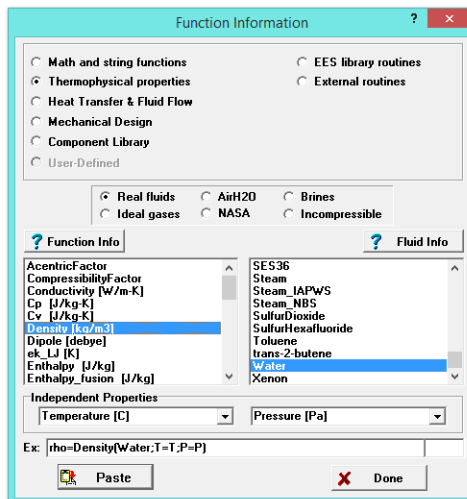
Después aparecerá una ventana como esta:



Luego en la parte superior izquierda de esa ventana, se selecciona la opción Thermophysical properties. Y aparecerá esto:



En esta ventana hay dos barras desplegables, la de la izquierda es para seleccionar las propiedades que queramos obtener y la barra desplegable de la derecha es para seleccionar el fluido al cual queremos conocer la propiedad seleccionada. A continuación un ejemplo para seleccionar la densidad del agua:

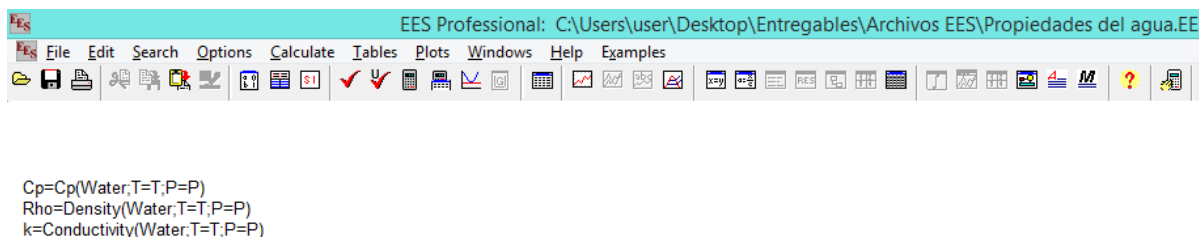


Luego de ser seleccionada la propiedad y el fluido, se le da en la opción Paste.

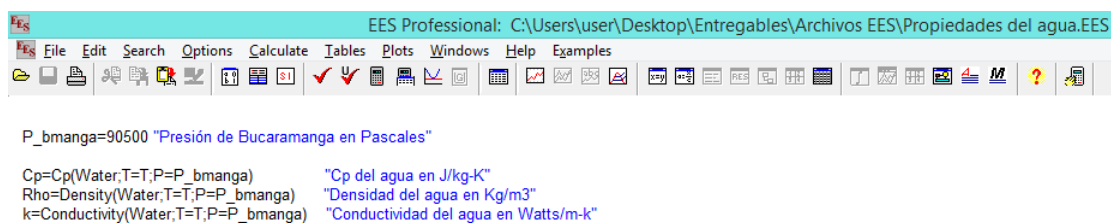
Nota: Observar que debajo de las barras desplegables, hay unas opciones de propiedades independientes donde de forma predeterminada aparecen temperatura y presión, pero también se

pueden combinar otro par de propiedades como temperatura y energía interna, o presión y calidad de la mezcla (si es una mezcla de liquido-vapor).

4. Después de ejecutar el procedimiento del tercer punto con propiedades como la densidad (density), el calor especifico a presión constante (Cp) y la conductividad térmica (conductivity). Se verá de esta manera:

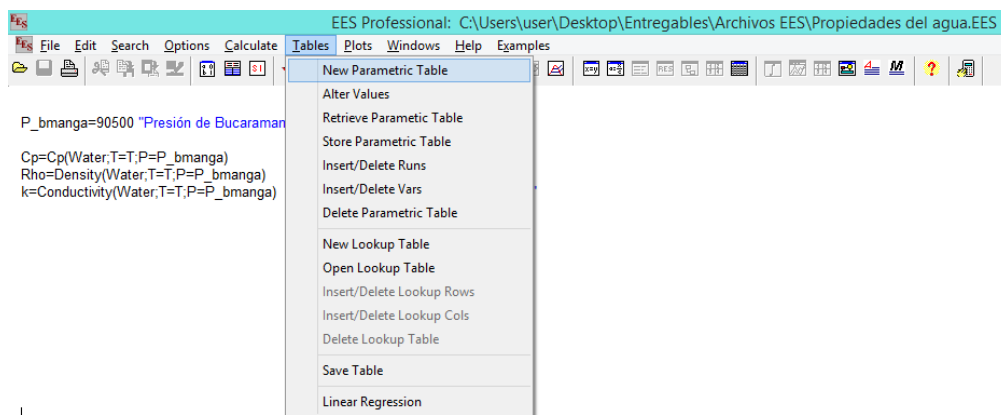


Lo siguiente es asignarle una temperatura y una presión, para conocer en concreto las propiedades del agua en este caso, a esas condiciones. Pero como queremos generar una tabla de propiedades del agua a diferentes temperaturas, podemos dejar $T=T$ tal cual como esta en las funciones, y darle un valor a la presión que se mantendrá constante, por ejemplo, para saber las propiedades del agua a la presión atmosférica de Bucaramanga que tiene un valor de 90,5 kilo-Pascales o lo equivalente a 90.500 pascales (Al inicio se configuró las unidades en pascales). Entonces hacemos lo siguiente:

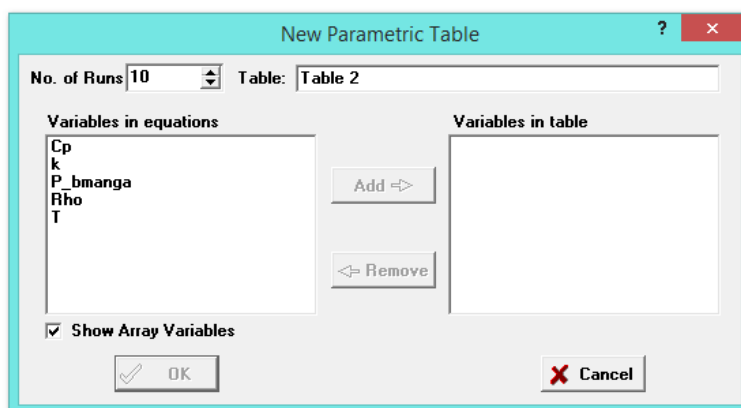


De esta manera, todas las funciones quedaron con la condición de que la presión debía ser la de Bucaramanga. Además de esto se puso a modo de comentario (entre comillas), lo que significa cada función al frente con sus respectivas unidades, esto con el fin de no olvidar las unidades a las que se configuró el programa.

5. Ahora se deben generar las tablas, para esto, nos desplazamos a la barra de menús y le damos en la opción Tables, luego le damos en New parametric table. De esta manera:

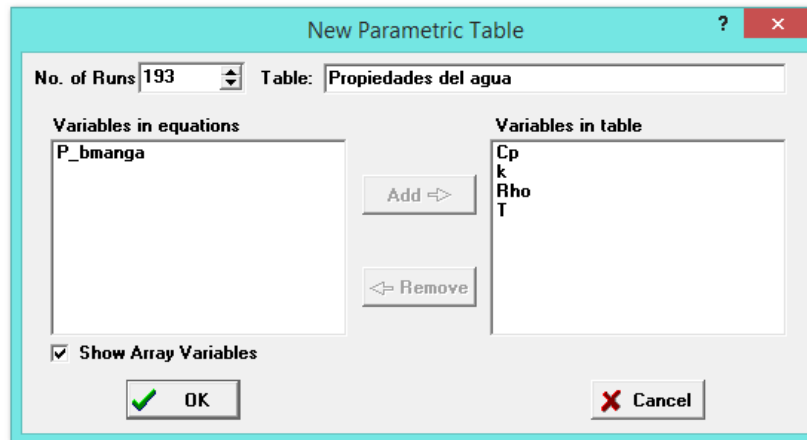


Luego de eso, aparecerá esta ventana:

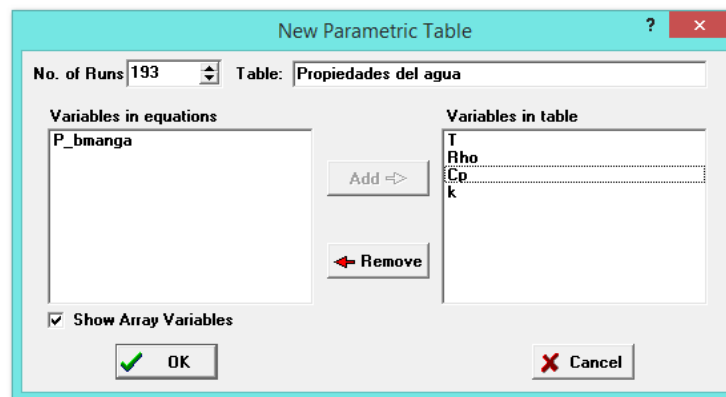


En esa última ventana, en la parte superior izquierda, se configuran la cantidad de celdas verticales o cantidad de filas (normalmente se configuran 100 o 200). Al lado de esa opción se pone el título de la tabla.

En el recuadro que dice Variables in equations, hay que seleccionar las variables que queremos tener en la tabla, la fundamental es la temperatura, luego se selecciona la densidad, el calor específico y la conductividad. Luego de seleccionar esas variables, se le da en la opción al lado de ese recuadro, que se llama Add. A continuación el ejemplo:



Ahora las variables seleccionadas, pasaron al recuadro que se llama Variables in table. Es preferible dejar la variable independiente de primeras, para que aparezca primera en la tabla, así que esa T se puede arrastrar arriba en el recuadro.

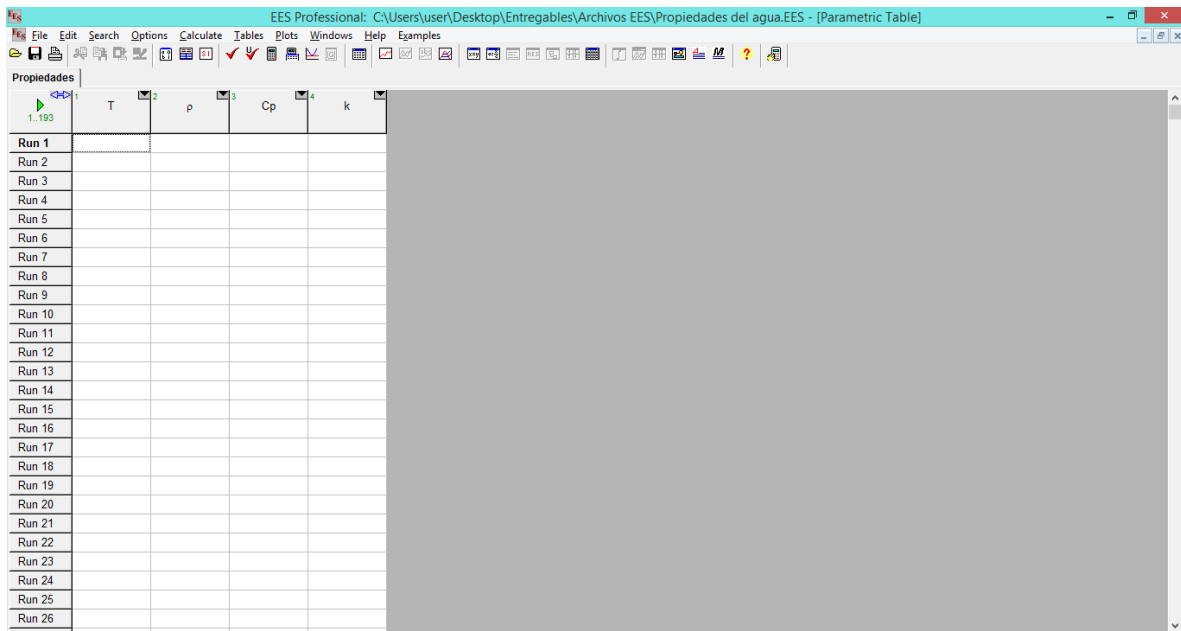


Luego de organizar las variables como les guste que aparezcan en orden en la tabla, se da click en OK, en la parte inferior izquierda de la ventana.

NOTA: He conFigurado 193 filas ya que tengo el dato para poner a variar las temperaturas de 0,5 en 0,5 hasta 96 grados.

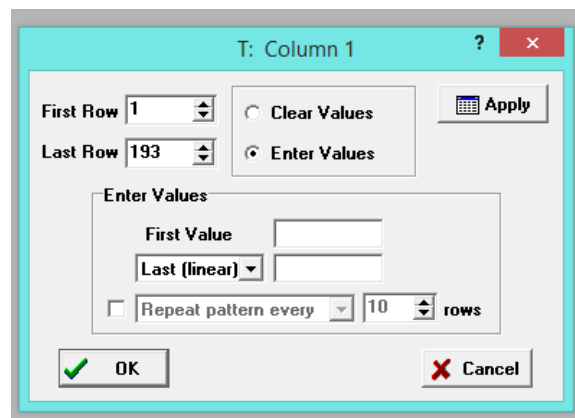
6. Manejo de tablas

Después de ejecutar el numeral 5, aparecerá la tabla:

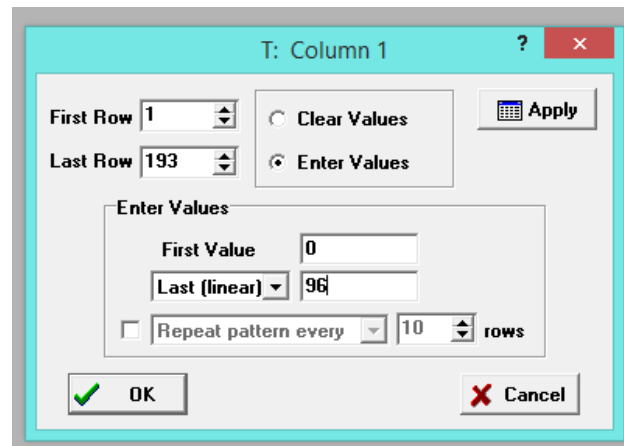


Podemos ver que cada variable en su recuadro, tiene una flechita en la parte superior derecha de cada una de ellas, le damos en la flechita de la variable T.

Saldrá esta ventana:



Ahí en la opción First Value, le damos 0 y debajo le ponemos 96, para indicar que necesitamos el rango de propiedades del agua desde 0 hasta 96°C, ya que el punto de ebullición del agua en Bucaramanga esta levemente por encima de 96°C, así que no nos sirven datos ahí para arriba, ya que necesitamos el agua líquida. Debe quedar de la siguiente manera antes de dar OK:



Entonces la columna de T, se llenará de datos desde cero hasta 96.

Run	T	p	Cp	k
Run 1	0			
Run 2	0.5			
Run 3	1			
Run 4	1.5			
Run 5	2			
Run 6	2.5			
Run 7	3			
Run 8	3.5			
Run 9	4			
Run 10	4.5			
Run 11	5			
Run 12	5.5			
Run 13	6			
Run 14	6.5			
Run 15	7			
Run 16	7.5			
Run 17	8			
Run 18	8.5			
Run 19	9			
Run 20	9.5			
Run 21	10			
Run 22	10.5			
Run 23	11			
Run 24	11.5			
Run 25	12			
Run 26	12.5			

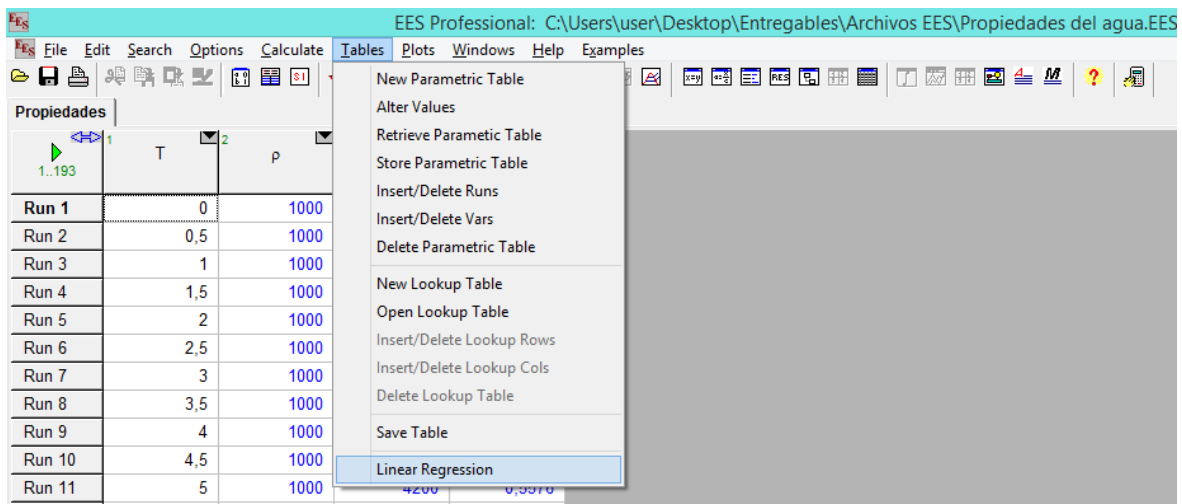
Por último, para generar los valores de las demás variables con base en los valores de la columna de temperatura, le damos click en la parte superior izquierda de la tabla, donde se observa un triángulo verde (al lado izquierdo del recuadro de temperatura). Inmediatamente se generan los valores de densidad, calor específico y conductividad de acuerdo a cada una de las temperaturas.

Run	T	p	Cp	k
Run 1	0	1000	4228	0.5475
Run 2	0.5	1000	4224	0.5485
Run 3	1	1000	4221	0.5495
Run 4	1.5	1000	4217	0.5506
Run 5	2	1000	4214	0.5516
Run 6	2.5	1000	4211	0.5526
Run 7	3	1000	4208	0.5536
Run 8	3.5	1000	4206	0.5546
Run 9	4	1000	4204	0.5556
Run 10	4.5	1000	4202	0.5566
Run 11	5	1000	4200	0.5576
Run 12	5.5	1000	4198	0.5586
Run 13	6	1000	4196	0.5596
Run 14	6.5	1000	4195	0.5606
Run 15	7	1000	4194	0.5616
Run 16	7.5	1000	4192	0.5626
Run 17	8	1000	4191	0.5635
Run 18	8.5	1000	4190	0.5645
Run 19	9	1000	4189	0.5655
Run 20	9.5	1000	4189	0.5665
Run 21	10	999.7	4188	0.5674
Run 22	10.5	999.7	4187	0.5684
Run 23	11	999.6	4187	0.5694
Run 24	11.5	999.6	4186	0.5703
Run 25	12	999.5	4186	0.5713
Run 26	12.5	999.5	4185	0.5722

Hay que bajar la barra desplegable de la derecha para observar todos los datos hasta la fila 193 de la tabla.

¿COMO GENERAR UNA FUNCION DE TAL MANERA QUE ME DE EL VALOR DE UNA PROPIEDAD PARA LA TEMPERATURA QUE YO QUIERA?

Para este caso podemos hacer una regresión, que el mismo software EES es capaz de hacer, al estar en la tabla con todos los valores generados, vamos a la barra de menús y le damos en la opción Tables, luego le damos en la opción Linear Regression.



Aparecerá esta ventana:

En ella nos piden seleccionar una variable dependiente y una variable independiente, la independiente es la temperatura. La variable dependiente es cualquiera a la que queramos hallarle función, sea densidad, calor específico, conductividad, etc.

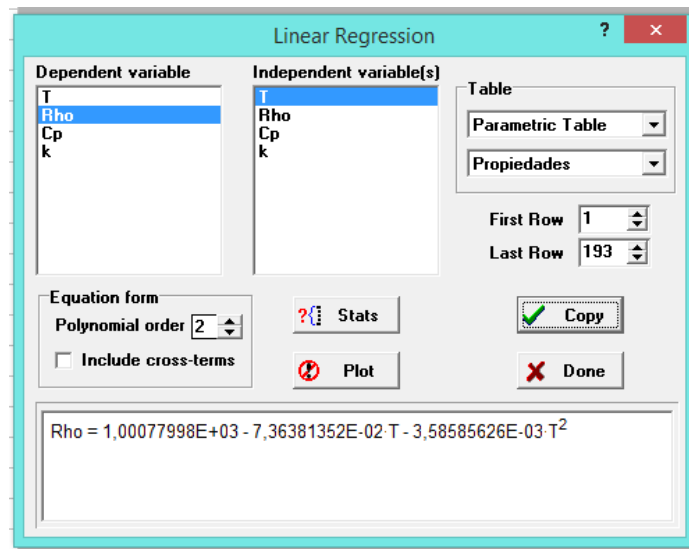
Le damos Rho (densidad) en el recuadro de variable dependiente y le damos T en el recuadro de variable independiente, al hacerlo, nos aparecerá esto:

Ahora en la ventana, aparece el modelo de una función cuadrática en el recuadro de abajo, la función que generemos puede ser de polinomio grado 2, 3, 4, 5 y 6.

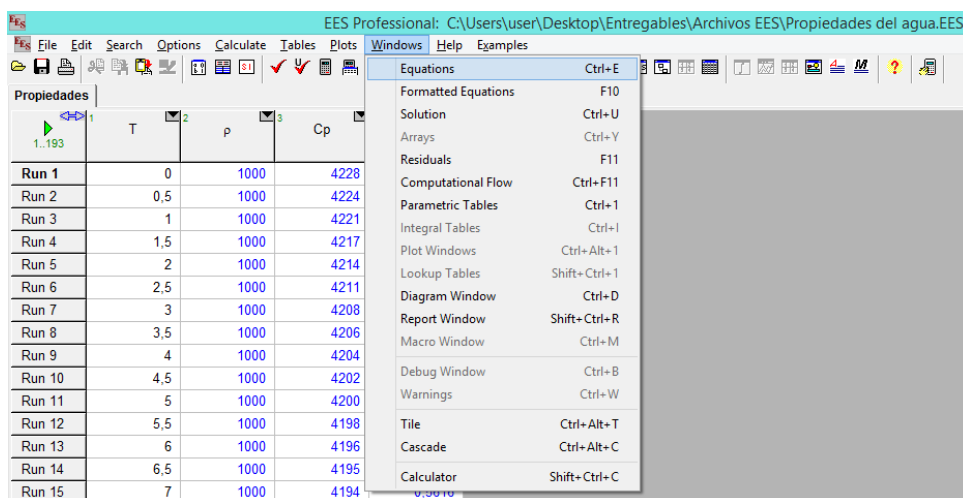
El grado se puede modificar en la parte inferior del recuadro de las variables dependientes, donde dice Polynomial order.

El grado 2 es más que suficiente, ya que la diferencia con polinomios de grados mayores, es menos del 0,1%.

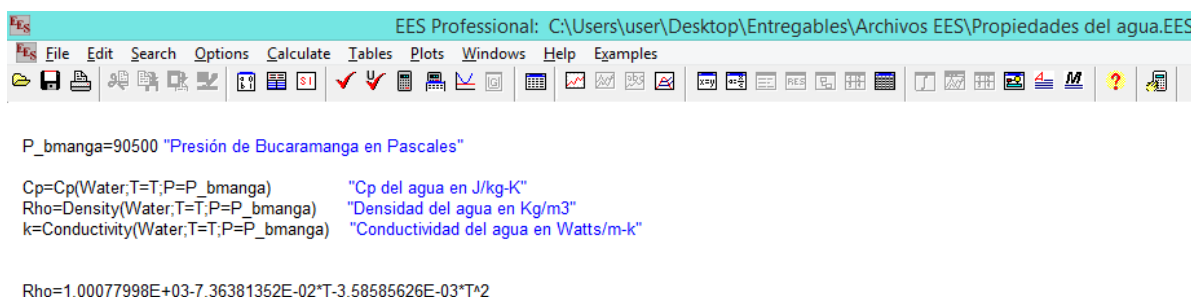
Le damos click en el botón Fit, que tiene el chulito verde. En seguida nos genera una ecuación en el recuadro inferior, y se genera un botón llamado: Copy.



Le damos click en Copy. Y ya tenemos nuestra ecuación para pegarla en el área de inserción de ecuaciones, la cual se encuentra dando click en Windows, en la barra de menús y luego en la opción Equations.



Luego de entrar a la ventana de ecuaciones, le damos “control + v” o “pegar”, para que se pegue la ecuación generada con la regresión:



Lo siguiente es arreglar la ecuación, ya que EES entiende un lenguaje en que 1,5E+01, equivale a 15, o que 2,6654E-02 equivale a 0,026654, solo que EES lo trabaja de esta manera, pero no todos los software ni EXCEL, lo entienden de esta manera, así que se arregla la ecuación de la siguiente forma:

Ecuación del EES:

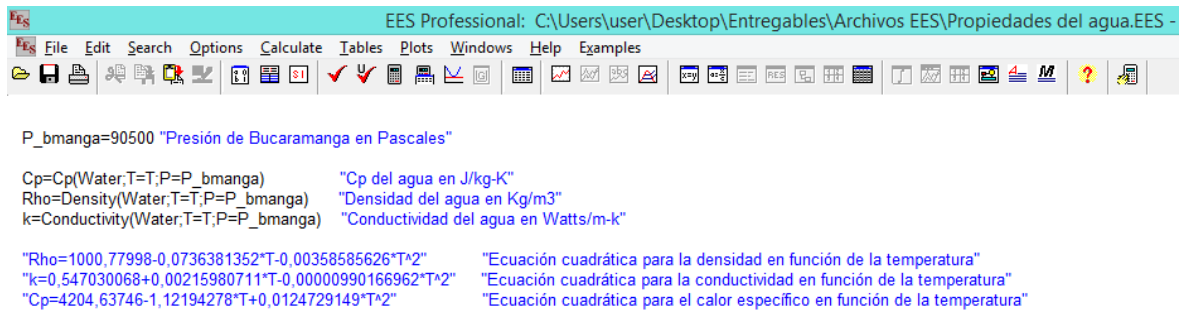
$$\text{Rho}=1,00077998\text{E}+03-7,36381352\text{E}-02*\text{T}-3,58585626\text{E}-03*\text{T}^2$$

Ecuación con la notación normal:

$$\text{Rho}=1000,77998-0,0736381352*\text{T}-0,00358585626*\text{T}^2$$

De esta manera, la ecuación ya queda lista para ingresarla a EXCEL u otros programas, sin problemas.

Hacemos el mismo procedimiento para todas las propiedades que necesitamos en función de la temperatura:



Apéndice C. Cálculos comparativos

Valores teóricos y experimentales de conductividad térmica

	Valor teórico EES	Valor teórico literatura	Valor experimental	Error % EES	Error literatura
Agua	0,6475	0,665	0,569	12,12	14,44
Agua destilada	0,6465	0,653	0,6036	6,63	7,56
Alcohol etílico	0,16	0,1587	0,15	6,25	5,48

Valores teóricos y experimentales de conductividad térmica del agua

Conductividad térmica experimental	Conductividad térmica teórica literatura	Conductividad térmica teórica EES	ERROR EES %	ERROR literatura %
0,546	0,66	0,654	16,5	17,27
0,592	0,67	0,641	7,64	11,64

Valores teóricos y experimentales de conductividad térmica del agua destilada

Conductividad térmica experimental	Conductividad térmica teórica literatura	Conductividad térmica teórica EES	ERROR EES %	ERROR literatura %
0,7052	0,646	0,643	9,67	9,16
0,502	0,659	0,65	22,77	23,82

Valores teóricos y experimentales de conductividad térmica del alcohol etílico

Conductividad térmica experimental	Conductividad térmica teórica EES	Conductividad térmica teórica Latini	ERROR EES %	ERROR Latini %
0,15	0,16	0,1587	6,25	5,48

Apéndice D. Especificaciones de los sensores

- Termocupla tipo K

Tei
 Ingeniería • Soluciones • Tecnología

Contáctanos
 +52 (55) 5305•3731
 info@teii.com.mx

Tipo K

Especificación Técnica
Tablas de Referencia N.I.S.T.

Cable para termopar tipo K, especificaciones técnicas

El **cable para termopar tipo K** es recomendado para el uso continuo en ambientes oxidantes o atmósferas inertes de hasta 1200°C, especialmente sobre 500°C. Ciclos repetitivos sobre y bajo 1000°C no so recomendados por alteración de la Fuerza electromotriz por efectos de histéresis. No debe ser utilizado con sulfuros, atmosferas conmutantes reductoras-oxidantes q menos que se utilicen tubos de protección. Termopar confiable y preciso en altas temperaturas.

Máximo rango de temperatura¹
 Grado Termopar: -200 a 1250°C
 Grado extensión: 0 a 200°C

Límite de error
 Estándar: 2.2°C o 0.75°C en 0°C
 2.2°C o 2.0% bajo 0°C
 Especial: 1.1°C o 0.4%

Características ambientales de operación
 Ambiente oxidante e inerte, uso limitado en vacío o ambiente reductor, amplio rango de temperatura, calibración de uso más frecuente en la industria.
 Compensación de punta fría a 0°C

Material
 Composición Níquel-Cromo· Níquel-Aluminio
 Elemento positivo: Níquel-Cromo (Cromel)
 Elemento negativo: Níquel-Aluminio(Alumel)
 Magnéticamente sensible: Níquel-Cromo (Alumel)

Designación de colores
 Elemento positivo: Amarillo
 Elemento negativo: Rojo

Tabla de correlación Temperatura Vs. mV
 Referencia: N.I.S.T.

- Max 6675

Cold-Junction-Compensated K-Thermocouple-to-Digital Converter (0°C to +1024°C)

Applications Information

Serial Interface

The Typical Application Circuit shows the MAX6675 interfaced with a microcontroller. In this example, the MAX6675 processes the reading from the thermocouple and transmits the data through a serial interface. Force $\overline{CS}$ low and apply a clock signal at SCK to read the results at SO. Forcing $\overline{CS}$ low immediately stops any conversion process. Initiate a new conversion process by forcing $\overline{CS}$ high.

Force $\overline{CS}$ low to output the first bit on the SO pin. A complete serial interface read requires 16 clock cycles. Read the 16 output bits on the falling edge of the clock. The first bit, D15, is a dummy sign bit and is always zero. Bits D14–D3 contain the converted temperature in the order of MSB to LSB. Bit D2 is normally low and goes high when the thermocouple input is open. D1 is low to provide a device ID for the MAX6675 and bit D0 is three-state.

Figure 1a is the serial interface protocol and Figure 1b shows the serial interface timing. Figure 2 is the SO output.

Open Thermocouple

Bit D2 is normally low and goes high if the thermocouple input is open. In order to allow the operation of the open thermocouple detector, T₊ must be grounded. Make the ground connection as close to the GND pin as possible.

Noise Considerations

The accuracy of the MAX6675 is susceptible to power-supply coupled noise. The effects of power-supply noise can be minimized by placing a 0.1µF ceramic bypass capacitor close to the supply pin of the device.

Thermal Considerations

Self-heating degrades the temperature measurement accuracy of the MAX6675 in some applications. The magnitude of the temperature errors depends on the thermal conductivity of the MAX6675 package, the

mounting technique, and the effects of airflow. Use a large ground plane to improve the temperature measurement accuracy of the MAX6675.

The accuracy of a thermocouple system can also be improved by following these precautions:

- Use the largest wire possible that does not shunt heat away from the measurement area.
- If small wire is required, use it only in the region of the measurement and use extension wire for the region with no temperature gradient.
- Avoid mechanical stress and vibration, which could strain the wires.
- When using long thermocouple wires, use a twisted-pair extension wire.
- Avoid steep temperature gradients.
- Try to use the thermocouple wire well within its temperature rating.
- Use the proper sheathing material in hostile environments to protect the thermocouple wire.
- Use extension wire only at low temperatures and only in regions of small gradients.
- Keep an event log and a continuous record of thermocouple resistance.

Reducing Effects of Pick-Up Noise

The input amplifier (A1) is a low-noise amplifier designed to enable high-precision input sensing. Keep the thermocouple and connecting wires away from electrical noise sources.

Chip Information

TRANSISTOR COUNT: 6720

PROCESS: BiCMOS

MAX6675