

6. PROCEDIMIENTO DE PRUEBA Y ANÁLISIS DE INCERTIDUMBRE.

6.1. INTRODUCCIÓN.

En este capítulo daremos a conocer la forma en que fueron obtenidos los datos para determinar la conductividad térmica y la precisión de la medición.

El procedimiento de prueba es utilizando los recursos y necesidades que se tienen a la mano, logrando con esto obtener un aparato confiable y de bajo costo.

Este procedimiento se hará en base a las normas establecidas por la ASTM practicas C-177 y C-518.

El procedimiento de prueba incluye los siguientes pasos:

Preparación preliminar.

Selección del espécimen.

La preparación e instalación del espécimen.

Estableciendo el estado estable térmico.

Adquisición de datos.

Procesamiento de datos.

6.2. PREPARACIÓN PRELIMINAR.

Selección del espécimen. Como se mencionó en el capítulo anterior los especímenes son seleccionados por sus características físicas, térmicas y de uso principalmente dentro de la construcción. En algunos casos no fue posible realizar esta prueba, por ejemplo en el caso de que el material que se fuera a ensayar sea mejor o igual aislante que el material con el que está construido el aparato E.M.C.T. o simplemente porque el material no esté dentro del rango de espesor que puede ser medido por el aparato.

6.3. PREPARACIÓN DE MUESTRA E INSTALACIÓN EN EL GABINETE DE PRUEBA.

Cada material es necesario adaptarlo al sistema, esto puede ser ya sea cortándolo o elaborándolo en moldes especiales, teniendo en cuenta algunas de sus propiedades de ellos como el revenimiento. Sin embargo, lo más recomendable es adaptarlos por medio del corte con medidas para nuestro caso de 125 mm. de ancho por 154 mm. de altura por un espesor máximo de 45 mm.

En el caso de algunos materiales como los concretos, cemento, ladrillos, termocreto y otros donde por la rugosidad de sus superficies no era posible lograr un buen contacto entre el termopar y la placa de aluminio y cuando el espesor y consistencia del espécimen lo permitía fue necesario hacer una ranura sobre la cara donde se coloca el termopar. Esta debía ser de un tamaño pequeño en el cual pudiera entrar el termopar sin afectar el grosor de medida del espécimen y hasta el centro de la cara de la muestra. Esto es con la finalidad de que el termopar haga buen contacto con el espécimen y así evitar que el espesor del termopar impida un buen contacto entre la placa de aluminio y la superficie del espécimen. En el caso de que la placa de aluminio no haga un buen contacto con el espécimen, ya sea por la rugosidad del espécimen, por mal ajuste en los sujetadores o porque el termopar impide que esto suceda debido a su grosor se formará una cámara de aire la cual causará lecturas erróneas por parte del termopar, por lo tanto error en el resultado si no se toman las precauciones adecuadas para impedirlo o disminuirlo.

Para el caso de materiales de poco espesor y caras demasiado lisas como lo es el caso específico de vidrios, fue necesario utilizar una pasta conductora entre el espécimen y las placas de aluminio. Esta pasta hace la función de asegurar un mejor contacto entre las placas auxiliares y el espécimen, ya que es conductora no afectará el flujo de calor.

Antes de colocar los especímenes en el aparato dentro de las ranuras hechas al centro de las paredes, es necesario colocar la resistencia eléctrica al centro del aparato cubierta por las placas de aluminio, para que esta no se mueva.

Posteriormente se colocan los especímenes, uno de cada lado, y se pone la otra placa de aluminio. Antes de ajustar se colocan los termopares pasándolos por pequeños orificios por la

tapadera y se colocan uno de cada lado de la muestra. En esta investigación para llevar un orden colocamos en lo que nosotros llamamos muestra 1 el termopar 1 por la parte interior (ubicado entre la placa que esta protegiendo la resistencia y el espécimen), y el termopar 3 que se encuentra entre el espécimen y la placa de aluminio que esta al exterior. Lo mismo para la muestra 2, se coloca el termopar 2 por la parte interna y el termopar 4 por la parte externa. Con lo cual logramos hacer la diferencia de temperatura entre el termopar 1-3 llamándolo diferencia de temperatura 1 y con los termopares 2-4 la diferencia de temperatura 2 (ver figura 6.1).

Una vez colocados los termopares se ajustan las muestras con los sujetadores a modo de que estos presionen en lo más posible las placas de aluminio con las muestras. Es importante lograr un hermetismo en lo posible por la parte de las orillas de las muestras como también entre las placas de aluminio y las muestras para asegurar un flujo de calor unidimensional sin intercambio de corrientes que puedan causar errores.

Ya que los sujetadores están bien puestos se montan los ventiladores uno de cada lado del aparato, los cuales funcionan como dispersadores de calor.

Posteriormente se enciende la computadora y corremos el software del sistema Campbell para ver de modo gráfico el comportamiento de los termopares. Una vez que nos aseguramos del funcionamiento correcto de los termopares encendemos el amperímetro, el voltímetro y el regulador de voltaje. Es aquí donde el procedimiento de prueba térmica empieza.

6.4. ESTABLECIMIENTO DEL ESTADO ESTABLE.

Una vez encendido todo el sistema comenzamos a variar la corriente por medio del variac (la corriente que se le proporciona a la resistencia es la necesaria para elevar la temperatura del espécimen a un rango que con la diferencia de temperatura entre las lecturas de los termopares interiores menos las lecturas de los termopares exteriores de los especímenes podamos obtener una temperatura aproximada a la máxima que estarán expuestos los materiales en su uso). Esto es con la finalidad de conocer el comportamiento térmico del material en condiciones extremas. Esta corriente será transformada a calor y comenzará a elevar la temperatura del espécimen hasta que llegue un momento en que el cuerpo ya no siga absorbiendo calor y el flujo comenzara a fluir de

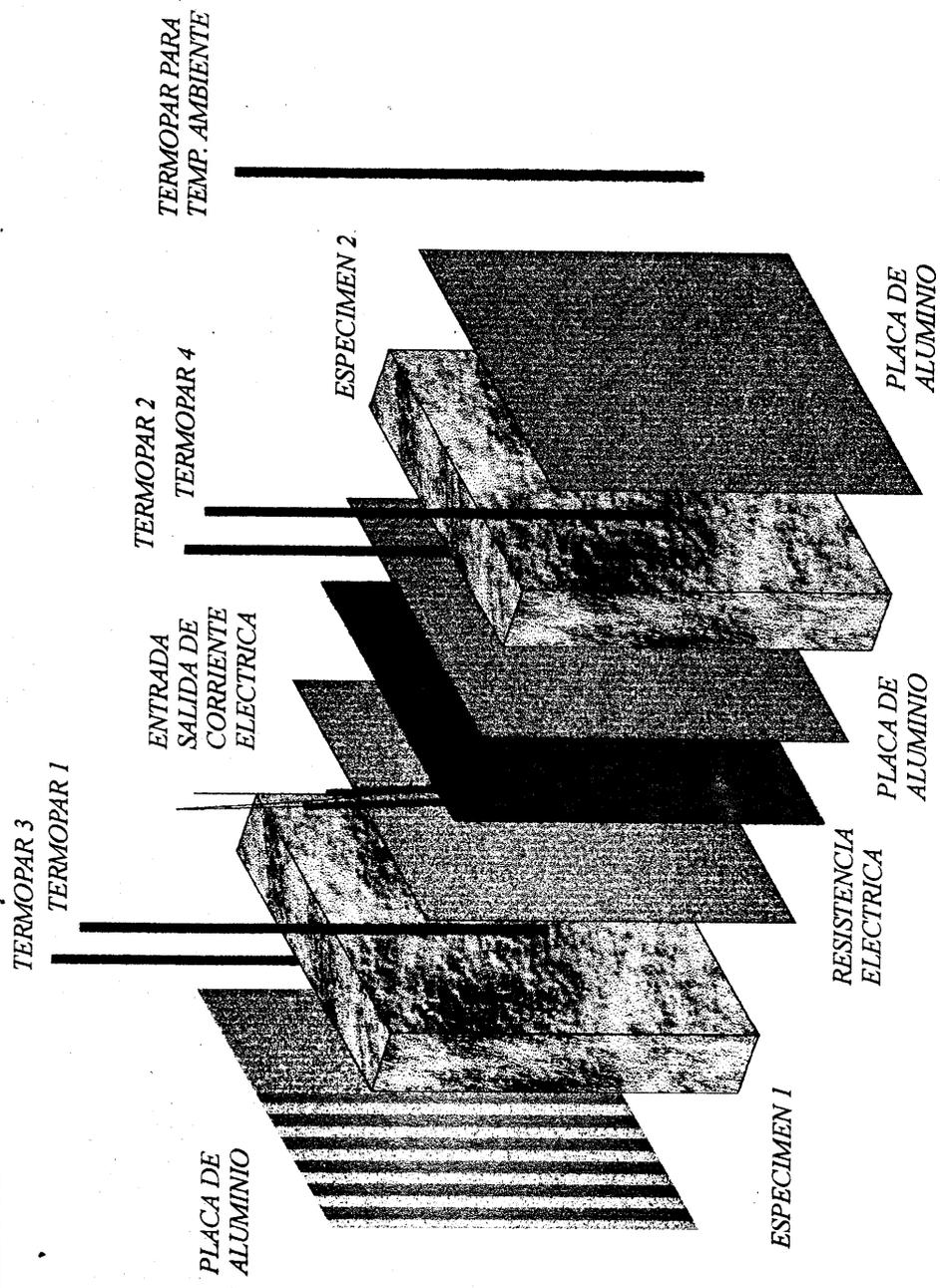
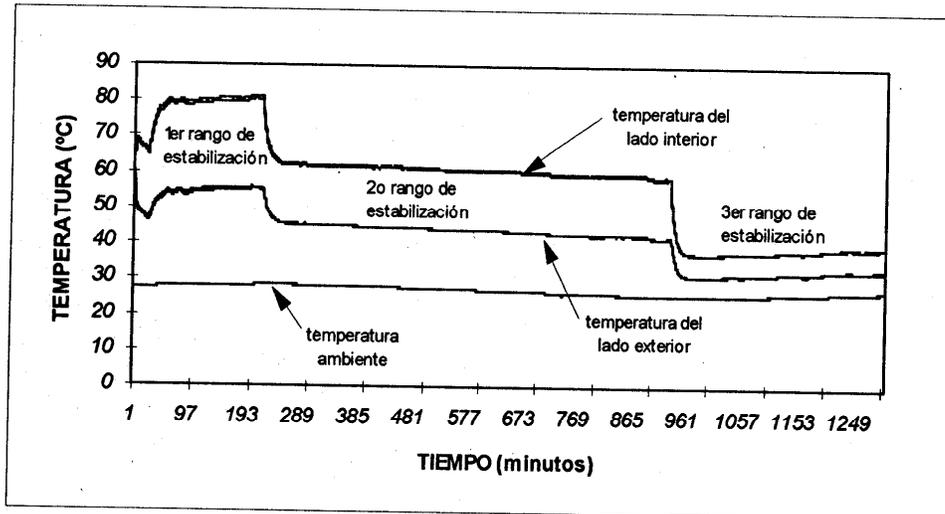


Fig. 6.1. ESQUEMA DE COLOCACION DE ELEMENTOS EN EL E.M.C.T.

manera constante a través del espécimen. La estabilización del material se da cuando la variación de los registros de temperatura entre los termopares es menor o igual que la del error deseado o con el software del sistema Campbell en modo gráfico y tiempo real (en la gráfica 6.1)

Es recomendable que la temperatura del cuerpo sea para la primer estabilización alta y después bajar la temperatura para obtener las demás estabilizaciones.

El tiempo requerido para lograr estado estable térmico del sistema varía considerablemente con las características del diseño del aparato, el espécimen que será medido, y las condiciones de prueba, sin embargo, generalmente, desde que este método de prueba es aplicable a especímenes de conducción baja, el establecimiento de tiempo está en el orden de horas. Tiempos de establecimientos generalmente aumentan con especímenes más gruesos y especímenes de baja difusividad térmica. El sistema con el que trabajamos y la programación del mismo nos da como resultado tener la estabilización del material durante 100 minutos o más, tiempo suficiente para obtener 100 datos por termopar que es el rango de estabilización que nosotros deseamos obtener.



Gráfica 6.1. Gráfica indicativa del estado estable.

Posteriormente se varía el flujo de corriente, se espera la estabilización del espécimen y se repite el proceso.

Después del logro del deseado estado estable, en tres rangos diferentes para un mismo material, se corta por completo la corriente a la resistencia, se apagan el voltímetro y el amperímetro y se deja que baje un poco la temperatura del sistema.

Para finalizar se apagan los dispersadores y se quitan los sujetadores. Después de esto es posible hacer las pruebas restantes a los materiales como de medición de área y espesor, resistencia, densidad y absorción.

6.5. ADQUISICIÓN DE DATOS.

Con ayuda de un sistema de adquisición de datos automático Campbell, lo cual hace que se eliminen los errores humano de medición, obtenemos los datos de temperatura. Por lo general un sistema automático para adquisición de datos está constituido por una de sensores que generan una serie de señal eléctrica análoga y debe ser medida y transformada a señal digital con ayuda del sistema de adquisición de datos..

Para el caso particular de esta investigación utilizamos un sistema de adquisición de datos CR-10 de la marca Campbell. Este sistema es necesario programarlo para determinar el número de canales, frecuencia de adquisición de datos y tipo de termopar (ver programa en apéndice D).

En este sistema utilizamos cinco canales directos de sensores mas los canales que el sistema utiliza como de referencia.

La frecuencia de obtención de datos se programó a cada 10 segundos para cada sensor con lo cual obtuvimos 6 datos por minuto. Los resultados obtenidos son el promedio de estos seis datos.

Los datos son registrados por el sistema Campbell en un archivo con extensión .DAT con el cual es recuperado al final del experimento con ayuda de una interfaces.

6.6. PROCESAMIENTO DE DATOS.

Después de coleccionar los datos del sistema Campbell los datos fueron importados a una hoja electrónica (Lotus, Excel, Qpro.), en este caso se utilizó excel.

El sistema Campbell nos dará datos que no sirven para nuestro caso como lo es una clave que el sistema pone para el tipo de datos experimentado y una temperatura de referencia que el sistema tiene integrado.

Los datos que nos serán útiles para nuestros cálculos y de referencia son el día Juliano, la hora (que nos la da con un formato sin separación de horas con los minutos), las temperaturas de los termopares 1, 2, 3, 4, y el de la temperatura ambiente.

El siguiente paso fue graficar los datos de los termopares contra el tiempo, lo que nos dio una gráfica general del comportamiento de los termopares en base a la corriente que nosotros hayamos proporcionado a la resistencia. Esta gráfica nos será muy útil para detectar los rangos donde el espécimen estuvo en estado estable que son los datos que nos interesan para llegar al resultado. La estabilización de la temperatura es importante ya que nos dará como una constante la diferencia de temperatura que es una de las variables que nosotros tenemos en la ecuación de Fourier para poder resolver la conductividad térmica.

Con el voltaje y el amperaje como constantes para cada rango de datos de los termopares en el estado estable podemos saber la corriente que se tiene en el sistema, la cual para el caso de los dos especímenes debiera ser la misma para cada uno si los dos especímenes fueran idénticamente iguales en cuanto área y espesor, cosa que no siempre sucede, por lo que el flujo de calor se resuelve en base a estas variables por medio de una matriz.

Debido al diseño del experimento, el flujo de calor producido en la resistencia eléctrica se distribuye entre dos muestras del material evaluado, como estas presentan pequeñas variaciones en dimensiones, es necesario aplicar la ecuación de Fourier a cada una de ellas para determinar el flujo de calor que cada una de ellas absorbe obteniéndose:

$$Q_1 = k_1 \frac{A_1}{x_1} \Delta T_1 \quad \text{Ec. (6.1)}$$

$$Q_2 = k_2 \frac{A_2}{x_2} \Delta T_2 \quad \text{Ec. (6.2)}$$

$$Q_1 + Q_2 = Q_T \quad \text{Ec. (6.3)}$$

Donde A_1 / x_1 y A_2 / x_2 son las relaciones entre el área y el espesor de las muestras 1 y 2, ΔT_1 y ΔT_2 son las diferencias de temperaturas entre los termopares.

Q_1 y Q_2 son los flujos de calor de las muestras.

$$k_1 = k_2.$$

EL sistema de ecuaciones lineales puede resolverse por el método de inversión de matrices (método de Gauss-Jordan). La matriz queda integrada de la siguiente manera:

$$\begin{bmatrix} 1 & 0 & -\frac{A_1 \Delta T_1}{x_1} \\ 0 & 1 & -\frac{A_2 \Delta T_2}{x_2} \\ 1 & 1 & 0 \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} 0 \\ 0 \\ Q_T \end{bmatrix} \quad \text{Ec. (6.4)}$$

Después de este planteamiento resolvemos la matriz.

En la matriz de análisis, los datos están colocados de la siguiente manera en la primer columna Q_1 , en la segunda columna Q_2 y en la tercer columna k .

En la matriz de solución en el primer renglón se encuentra Q_1 el flujo de calor que recibe la muestra 1, en la segunda fila Q_2 que es el flujo de calor que recibe la muestra 2 y en la tercera fila se encuentra la conductividad térmica.

Otra de las variables que nosotros debemos de tener es el espesor y el área que son fáciles de medir en el espécimen. El modo de obtener estas variables es simplemente tomando medidas del espécimen con ayuda de un vernier y obteniendo el promedio de ellas, esto (promedio) con la finalidad de minimizar el error de medición.

Los promedios de temperatura de los termopares y de las diferencias de temperaturas son importantes y se obtienen de las diferencias de temperaturas entre los termopares interiores menos las temperaturas de los termopares exteriores.

Con estos datos podemos calcular la conductividad aplicando la ecuación (2.20) térmica del material ensayado. Sin embargo este resultado no es absoluto, ya que se deben de tomar en consideración los posibles errores que se cometen durante la fase experimental y de procesamiento de datos, sobre este tema hablaremos más adelante.

6.7. ANÁLISIS DE INCERTIDUMBRE

La precisión o incertidumbre de un resultado medido indica la probable o posible diferencia entre el valor medido y el verdadero valor. Las precisiones dadas aquí pueden ser o muy grandes o muy pequeñas dependiendo en el cuidado tomado en la construcción y operación de cada aparato individual.

Incertidumbre en flujo de calor.

Incertidumbre en la diferencia de temperatura.

Incertidumbre en área medida.

Incertidumbre en grueso del espécimen.

La información requerida para este método de prueba incluye energía eléctrica que consume la resistencia, temperatura de la superficie, el área, y espesor de los especímenes, estas dos últimas generalmente cantidades directamente medidas. Los otros son ya sea calculados de otras medida más fundamentales o son convertidas por un probador eléctrico.

En el sistema fue necesario realizar calibración de los termopares para determinar las diferencia entre ellos mismos (ver apéndice C)

Flujo de calor. El flujo de calor que se reporta es el que pasa por cada espécimen, es igual al poder (energía) generada por el calentador de región medida y repartido en dos, para cada espécimen si estos fueran exactamente de las mismas dimensiones. La energía Q , es determinada por la medición de la corriente y del voltaje y es calculada como sigue:

$$Q = E \cdot I \quad \text{Ec. (6.5)}$$

Toda información experimental debe analizarse. En todos los experimentos, no importa el cuidado que se ejerza, se cometerán errores.

En la información de muestra única, ciertas incertidumbres no pueden descubrirse por repetición. La información de muestras múltiples se obtiene en aquellos casos donde se realizan suficientes experimentos, de modo que la confiabilidad de los resultados debe confirmarse por las estadísticas.

Es más conveniente hablar de incertidumbre experimental que de error experimental: supóngase que la incertidumbre en algunas mediciones básicas experimentales, es aceptable tomando en cuenta factores como la exactitud del instrumento, competencia del personal que lo usa.

Kline y McClintock presentaron un método más preciso de estimar la incertidumbre en los resultados experimentales. El método se basa en una cuidadosa especificación de las incertidumbres en diversas mediciones experimentales primarias.

Supóngase que se realiza un conjunto de mediciones y que la incertidumbre en cada medición se expresa con las mismas probabilidades; entonces, estas mediciones se usan a fin de calcular el resultado deseado de los experimentos. Se desea estimar la incertidumbre en el resultado calculado con base en las incertidumbres de las mediciones primarias. El resultado R es una función dada de las variables independientes $x_1, x_2, x_3, \dots, x_n$; por lo tanto,

$$R = R(x_1, x_2, x_3, \dots, x_n)$$

Sea w_R la incertidumbre en el resultado y w_1, w_2, \dots, w_n las incertidumbres en las variables independientes. Si las incertidumbres en las variables independientes tienen las mismas probabilidades, entonces la incertidumbre en el resultado, según estas probabilidades,

$$w_R = \left[\left(\frac{\partial R}{\partial x_1} w_1 \right)^2 + \left(\frac{\partial R}{\partial x_2} w_2 \right)^2 + \dots + \left(\frac{\partial R}{\partial x_n} w_n \right)^2 \right]^{1/2} \quad \text{Ec. (6.6)}$$

Aplicando esta ecuación partiendo de la ecuación de Fourier para la conductividad térmica, podremos obtener el análisis de incertidumbre para algunas incógnitas.

$$Q = kA \frac{\Delta T}{L}$$

las variables que nos interesa conocer su incertidumbre hacen que la ecuación se determine de la siguiente forma:

$$k = \frac{VIx}{A^2T} \quad \text{Ec. (6.7)}$$

Encontramos la incertidumbre por separado de cada variable:

$$x_1 = V$$

$$x_2 = I$$

$$x_3 = x$$

$$x_4 = A$$

$$x_5 = T$$

$$R = k$$

$$w_k = \left[\left(\frac{\partial k}{\partial V} w_V \right)^2 + \left(\frac{\partial k}{\partial I} w_I \right)^2 + \left(\frac{\partial k}{\partial x} w_x \right)^2 + \left(\frac{\partial k}{\partial A} w_A \right)^2 + \left(\frac{\partial k}{\partial T} w_T \right)^2 \right]^{1/2} \quad \text{Ec. (6.8)}$$

Utilizando la ecuación (6.8) tenemos que:

Para la incertidumbre del voltaje:

$$\left(\frac{\partial k}{\partial V} w_V \right) = \frac{Ix}{AT} \frac{d}{dV} V \Rightarrow \frac{Ix}{AT} (1) w_V$$

$$\left(\frac{\partial k}{\partial V} w_V \right) = \frac{Ix}{AT} w_V \quad \text{Ec. (6.9)}$$

Para la incertidumbre del amperaje:

$$\left(\frac{\partial K}{\partial I} w_I\right) = \frac{Vx}{AT} \frac{d}{dI} I \Rightarrow \frac{Vx}{AT} (1) w_I$$

$$\left(\frac{\partial K}{\partial I} w_I\right) = \frac{Vx}{AT} w_I \quad \text{Ec. (6.10)}$$

Para la incertidumbre del área y espesor:

$$\left(\frac{\partial K}{\partial x} w_x\right) = \frac{VI}{AT} \frac{d}{dx} x \Rightarrow \frac{VI}{AT} w_x$$

$$\left(\frac{\partial K}{\partial x} w_x\right) = \frac{VI}{AT} w_x \quad \text{Ec. (6.11)}$$

Para la incertidumbre del área:

$$\left(\frac{\partial K}{\partial A} w_A\right) = \frac{VIx}{T} \frac{d}{dA} \left(\frac{1}{A^2}\right) \Rightarrow \frac{VIx}{T} \left(-\frac{2}{A^3}\right) w_A$$

$$\left(\frac{\partial K}{\partial T} w_T\right) = \frac{VIx}{A^3 T} w_A \quad \text{Ec. (6.12)}$$

Para la incertidumbre de la temperatura:

$$\left(\frac{\partial K}{\partial T} w_T\right) = \frac{VIx}{A} \frac{d}{dT} \left(\frac{1}{T}\right) \Rightarrow \frac{VIx}{A} \left(-\frac{1}{T^2}\right) w_T$$

$$\frac{\partial K}{\partial T} w_T = \frac{VIx}{T^2 A} w_T \quad \text{Ec. (6.13)}$$

Sustituyendo las ecuaciones (6.9), (6.10), (6.11), (6.12) y (6.13) en la ecuación (6.8) tenemos que:

$$w_k = \left[\left(\frac{Ix}{AT} w_V \right)^2 + \left(\frac{Vx}{AT} w_I \right)^2 + \left(\frac{VI}{AT} w_x \right)^2 + \left(\frac{2VIx}{A^3 T} w_A \right)^2 + \left(\frac{VIx}{AT^2} w_T \right)^2 \right]^{1/2}$$

Ec. (6.14)

Esta ecuación es utilizada para resolver la incertidumbre de nuestro aparato.

Donde:

w_k : Es la incertidumbre de la conductividad térmica (%)

w_V : Es la incertidumbre del voltaje (%)

w_I : Es la incertidumbre del amperaje (%)

w_x : Es la incertidumbre en la medición del espesor (%)

w_A : Es la incertidumbre en la medición del área (%)

w_T : Es la incertidumbre en la medición de la temperatura (%)

$w_V = V$ (% error de aparato)

$w_I = I$ (% error de aparato)

$w_x =$ (unidades error de la muestra)

$w_A =$ (unidades error de la muestra)

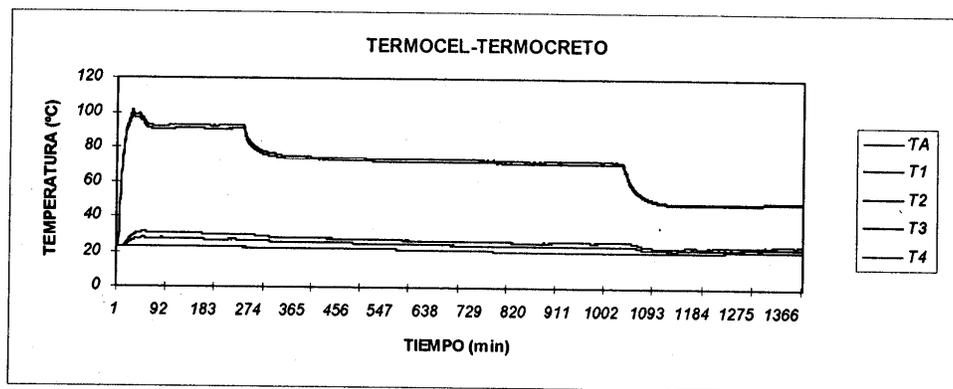
$w_T = T$ (% error del aparato)

Los resultados finales de análisis de incertidumbre se dan en la tabla 7.14

6.8. PROCEDIMIENTO DEL CÁLCULO DE MEDICIÓN.

El primer paso para esta prueba fue, después de seleccionar la muestra y adaptarla a la gabinete de prueba, colocarla en ella para poder obtener los datos con ayuda de los termopares. Durante este proceso se toma nota de las variaciones de corriente que se le hacen al variac para estabilizar la temperatura en la muestra y para cambiar de energía que se le proporciona a la tarjeta.

Los resultados finales de la corrida son los que vemos en la gráfica siguiente.



Gráfica 6.2. Gráfica de datos generales en la prueba del material

Como observamos en la gráfica anterior se notan los rangos de estabilización térmica de el material ensayado. Estos rangos son los que nos ayudan a determinar la temperatura de la muestra en sus estado estable.

Observemos en esta gráfica que son tres rangos de estabilización en cada prueba de dos muestras cada uno. Con estos tres rangos podemos determinar tres puntos de k para un sólo material en una sola corrida.

El siguiente paso fue colocar estos rangos por separado para calcular su conductividad térmica, ya que cada rango tiene diferente amperaje y voltaje, pero las medidas del material son iguales para todas las corridas de este material.

A continuación se da un resumen de los datos que se utilizaron durante la corrida y los datos que arrojó la corrida.

Tabla 6.2. Datos generales de la prueba para la primera corrida del material

TERMOCEL-TERMOCRETO 1

| MUESTRA No. | 1 | 2 |
|-------------|--------|--------|
| ÁREA: | 0.0181 | 0.0182 |
| ESPEJOR: | 0.0375 | 0.0368 |
| VOLTAJE: | 30.29 | 30.29 |
| AMPERAJE: | 0.67 | 0.67 |

Estos son resultados obtenidos por medio de una hoja electrónica con los datos antes mencionados.

Tabla 6.3. Datos generales de temperatura y resultados de conductividad térmica de la primer corrida del material.

| | T1 (°C) | T2 (°C) | T3 (°C) | T4 (°C) | TEMP. AMB. | ΔT (T1-T3) | ΔT (T2-T4) | k(1,3) W/m°C | k(2,4) W/m°C |
|---------------------------|------------|------------|------------|------------|---------------|-----------------------|-----------------------|-----------------|-----------------|
| PROMEDIO | 92.90 | 90.90 | 26.99 | 30.13 | 22.78 | 65.91 | 60.78 | 0.3283 | 0.3283 |
| DIF. ENTRE MAX. Y MIN. | 0.80 | 0.80 | 1.04 | 1.10 | 0.45 | 0.94 | 1.00 | 0.0047 | 0.0054 |

TEMPERATURA PROMEDIO DE REPORTE DE MUESTRA 1 = 59.95

TEMPERATURA PROMEDIO DE REPORTE DE MUESTRA 2 = 60.51

El proceso anterior se repite para los otros dos casos de estabilización de la misma manera, recordando que existe variación de corriente eléctrica.

Tabla 6.4. Datos generales de la prueba para la segunda corrida del material

TERMOCEL-TERMOCRETO 2

| MUESTRA No. | 1 | 2 |
|-------------|--------|--------|
| ÁREA: | 0.0181 | 0.0182 |
| ESPEJOR: | 0.0375 | 0.0368 |
| VOLTAJE: | 25.26 | 25.26 |
| AMPERAJE: | 0.55 | 0.55 |

Tabla 6.5. Datos generales de temperatura y resultados de conductividad térmica de la segunda corrida del material.

| | T1 (°C) | T2 (°C) | T3 (°C) | T4 (°C) | TEMP. AMB. | ΔT (T1-T3) | ΔT (T2-T4) | k(1,3) W/m°C | k(2,4) W/m°C |
|--------------------------|------------|------------|------------|------------|---------------|-----------------------|-----------------------|-----------------|-----------------|
| PROMEDIO | 72.05 | 70.60 | 23.83 | 26.23 | 20.53 | 48.22 | 44.38 | 0.307 | 0.307 |
| DIF.ENTRE MAX. Y MIN. | 0.80 | 0.70 | 0.50 | 0.45 | 0.16 | 1.17 | 1.01 | 0.007 | 0.007 |

TEMPERATURA PROMEDIO DE REPORTE DE MUESTRA 1 = 47.94

TEMPERATURA PROMEDIO DE REPORTE DE MUESTRA 2 = 48.41

Tabla 6.7. Datos generales de la prueba para la segunda corrida del material

TERMOCEL-TERMOCRETO 3

| MUESTRA No. | 1 | 2 |
|-------------|--------|--------|
| ÁREA: | 0.0181 | 0.0182 |
| ESPEJOR: | 0.0375 | 0.0368 |
| VOLTAJE: | 18.55 | 18.55 |
| AMPERAJE: | 0.41 | 0.41 |

Tabla 6.8. Datos generales de temperatura y resultados de conductividad térmica de la segunda corrida del material.

| | T1 (°C) | T2 (°C) | T3 (°C) | T4 (°C) | TEMP. AMB. | ΔT (T1-T3) | ΔT (T2-T4) | k(1,3) W/m°C | k(2,4) W/m°C |
|--------------------------|------------|------------|------------|------------|---------------|-----------------------|-----------------------|-----------------|-----------------|
| PROMEDIO | 49.12 | 48.32 | 22.94 | 24.19 | 21.36 | 26.18 | 24.13 | 0.3098 | 0.3098 |
| DIF.ENTRE MAX. Y MIN. | 0.71 | 0.68 | 0.68 | 0.62 | 0.45 | 0.52 | 0.46 | 0.0062 | 0.0059 |

TEMPERATURA PROMEDIO DE REPORTE DE MUESTRA 1 = 36.03

TEMPERATURA PROMEDIO DE REPORTE DE MUESTRA 2 = 36.26

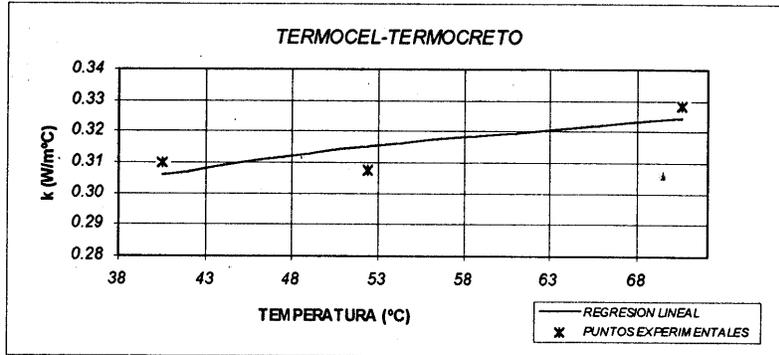
Con los datos obtenidos en el procesamiento de datos antes visto, resumimos en un cuadro para obtener tres puntos experimentales de conductividad térmica del material a tres temperaturas diferentes. Estos puntos son analizados y obtenemos una sucesión de puntos en los cuales podemos precisar la conductividad térmica del material con respecto a la temperatura.

Gracias a esta recta, podemos obtener una ecuación que nos es útil en un rango determinado de temperatura para conocer la conductividad térmica de ese material.

Tabla 6.9. Puntos de temperatura y conductividad térmica obtenidos a través de las tres corridas efectuadas al material.

| TEMPERATURAS (°C) | TERMOCEL-TERMOCRETO k (W/m°C) | |
|----------------------|----------------------------------|---------------------|
| | ANÁLISIS MATEMÁTICO | EXPERIMEN- TALES |
| 40.475 | 0.3059 | 0.3098 |
| 52.375 | 0.3152 | 0.3075 |
| 70.523 | 0.3244 | 0.3283 |

A continuación veremos una gráfica de temperatura contra conductividad térmica de un material experimental con puntos experimentales y una recta obtenida por regresión lineal.



Gráfica 6.3. Conductividad térmica contra temperatura de los tres puntos obtenidos experimentalmente del material y su regresión lineal.

$$k = (0.00077)T + 0.278096 \quad \text{Ec. (6.15)}$$

La ecuación anterior es recomendable utilizarla para interpolación en el rango que fue ensayada y no para extrapolar.