

CAPÍTULO OCHO

CONCLUSIONES

8-1 INTRODUCCIÓN

Son muchas las aportaciones que este trabajo trajo a los tesisistas; no es posible que se expongan, en este capítulo, todas las experiencias vividas, los obstáculos que se tuvieron que salvar y la enorme motivación que fue encontrar soluciones a problemas reales que se presentaron a lo largo de catorce meses de investigación.

La experiencia de combinar la investigación con los aspectos teóricos y técnicos de la carrera de Ingeniería civil, la capacidad adquirida para razonar fenómenos y poder explicarlos, la relación con diferentes personas que de una u otra forma intervinieron como profesores de diferentes ciencias, proveedores, comerciantes, torneros, ingenieros, albañiles, etc., la convivencia con ingenieros dedicados a la investigación y el saborear la investigación que se hace en la Universidad, es de un valor incalculable para un desarrollo integral como profesionistas.

En el próximo apartado se plantearán algunas de las más importantes impresiones y comentarios de los tesisistas, y posteriormente, se dedica un apartado exclusivo para hacer algunas recomendaciones a las personas que deseen poner en práctica el dispositivo.

8-2 CONCLUSIONES Y RESUMEN DE RESULTADOS

8-2-1 El dispositivo elaborado con el método de flujo de calor radial en estado estable, para un cilindro circular perfecto presenta las siguientes características:

- Es un dispositivo sencillo de elaborar y de operar.
- Puede aislarse fácilmente el espécimen (con solo dos tapas de material aislante), logrando así, el flujo de calor radial en la dirección planeada.
- Se presta para medir temperaturas en diferentes puntos alrededor de la resistencia.
- La forma cilíndrica del recipiente, para la elaboración de los especímenes, es adecuada para materiales colables (que son muy usados en la construcción) y para los

suelos, a los que difícilmente se les puede dar una forma diferente mezclando solo el suelo y la humedad óptima.

-Los materiales y el equipo de medición utilizados en su elaboración tienen un costo bajo, por lo que el dispositivo es barato en comparación con otros.

-En relaciones de radios pequeños (r_2/r_1 , r_3/r_1), el dispositivo mostró ser más sensible a los errores en la medición de los radios, por lo que los resultados de conductividad térmica deben basarse en relaciones de radios mayores como r_4/r_1 , r_5/r_1 que en la mayoría de las muestras fueron mayor que cuatro.

-El tiempo requerido para alcanzar el estado estable varía con cada material. Para las muestras medidas en este trabajo, esa variación fue desde cuatro hasta ocho horas.

8-2-2 Los resultados de conductividad térmica obtenidos en este trabajo corresponden a los de la bibliografía. Si el material medido presentó mayor densidad la conductividad también aumentó y en densidades menores la conductividad también fue menor, ver tabla de resumen de resultados (tabla 8-2).

8-2-3 Al medir dos veces el mismo espécimen (AI y AII), los resultados fueron similares entre sí, las diferencias caen dentro del margen de incertidumbre calculado (tabla 8-2).

8-2-4 Después de utilizar un método para obtener estimaciones razonables de la incertidumbre, puede concluirse que la incertidumbre calculada para los valores de k , en los materiales estudiados, son aceptables para las condiciones y precisión de los aparatos medidores utilizados.

Para comparar materiales diferentes entre sí, el valor de la incertidumbre obtenido es deseable y no entorpece la comparación. Si el resultado de la medición debe ser muy fino, quizás para estudiar un material muy a fondo o su comportamiento con pequeñas alteraciones en la proporción, tamaños de partículas o marca comercial del material cementante, entonces es posible que se requiera tener menor incertidumbre, eso puede lograrse con equipos de medición más precisos.

A lo anterior debe agregarse que "tan desafortunado es sobrestimar la incertidumbre como subestimarla. Subestimarla da falsa seguridad y sobrestimarla puede dar lugar a que se descarten resultados importantes o a que se compre instrumental demasiado caro." [7].

TABLA 8-2					
TABLA DE RESUMEN DE RESULTADOS					
MATERIAL	ETIQUETA	No. ESPECIMEN	DENSIDAD [Kg/m ³]	RANGO DE k [J/s m gC]	INCERTIDUMBRE DE K EN %
YESO	AI	1	1348	(0.462395-0.488159)	(4.106, 3.738)
	AII	1	1348	(0.468984-0.478506)	(4.177, 3.697)
	B	2	1302	(0.442843-0.466090)	(3.962, 3.623)
CAL-ARENA	AI	3	1739	(0.325534-0.356156)	(2.871, 2.665)
	AII	3	1739	(0.318189-0.347491)	(2.841, 2.633)
	B *	4	1741	(0.226320-0.251933)	(4.072, 3.872)
CEMENTO - ARENA	AI	5	2099	(1.249248-1.406157)	(6.623, 6.342)
	AII	5	2099	(1.263815-1.397758)	(6.662, 6.276)
	B	6	2087	(1.005929-1.126912)	(5.368, 5.082)
CONCRETO f _c =120Kg/cm ² T.M.A.=3/8"	AI	7	2143	(1.400226-1.439177)	(6.285, 5.443)
	AII	7	2143	(1.394699-1.387954)	(6.076, 5.324)
	B	8	2137	(1.220645-1.299954)	(5.882, 5.269)
CONCRETO f _c =200Kg/cm ² T.M.A.=3/8"	AI	9	2184	(1.454418-1.550728)	(8.146, 7.308)
	AII	9	2184	(1.440755-1.552482)	(8.111, 7.350)
	B	10	2190	(1.554298-1.580805)	(7.665, 6.573)
PERLICRETO f _c =30.8Kg/cm ²	AI	11	849	(0.340098-0.357581)	(3.406, 3.013)
	AII	11	849	(0.329183-0.352058)	(3.353, 3.024)
	B	12	838	(0.305857-0.326388)	(3.185, 2.852)
LADRILLO	AI	13	1778	(0.194472-0.216862)	(3.481, 3.245)
	AII	13	1778	(0.199550-0.223169)	(3.547, 3.317)
	B	14	1968	(0.298164-0.328728)	(4.861, 4.403)
TIERRA-LAMA 80% COMP.	AI	15	1536	(0.285458-0.321484)	(4.592, 4.215)
	AII	15	1536	(0.274692-0.311174)	(4.447, 4.099)
	B *	16	1530	(0.177696-0.209164)	(3.362, 3.151)
TIERRA-LAMA 90% COMP.	AI	17	1670	(0.263107-0.306223)	(4.346, 4.124)
	AII	17	1670	(0.266681-0.310579)	(4.395, 4.174)
	B	18	1679	(0.310954-0.336883)	(4.820, 4.453)
TIERRA -LADRILLERA 80% COMP.	AI	19	1660	(0.198727-0.247687)	(4.755, 4.539)
	AII	19	1660	(0.199090-0.251146)	(4.762, 4.594)
	B	20	1690	(0.238034-0.291734)	(5.342, 5.168)
TIERRA -LADRILLERA 90% COMP.	AI	21	1856	(0.343807-0.380299)	(7.322, 6.648)
	AII	21	1856	(0.339399-0.372489)	(7.235, 6.520)
	B	22	1894	(0.411032-0.458700)	(8.546, 7.855)

ATENCIÓN: * MUESTRA LASTIMADA

8-2-5 En los dos suelos que se midieron (arcilla inorgánica de baja compresibilidad "CL" y arena con cantidad apreciable de finos plásticos "SC") se puede observar que al aumentar la compactación de un ochenta a un noventa por ciento, aumenta la densidad y aumenta la Conductividad Térmica (k) como se esperaba. En el suelo "SC" ese aumento de k es más advertible que en el "CL"; ésta variación es digna de un estudio más amplio.

8-2-6 Los concretos de $f'c=120$ Kg/cm² y $f'c=200$ Kg/cm² medidos en este trabajo, no son concretos comunes, por el agregado grueso que se utilizó. El proporcionamiento de estos "microconcretos", en relación con un concreto clásico, no es igual (ver apéndice C), se comporta como un mortero enriquecido y de alta densidad, ésto repercute en los resultados de conductividad térmica (tabla 8-2) que son menores que los reportados en la bibliografía para concretos.

La razón de medir estos "microconcretos" (tamaño máximo del agregado grueso igual a 3/8") es por las distancias entre los termopares y la resistencia. Un agregado de mayor tamaño no podría penetrar en las distancias pequeños, en tal situación la conductividad medida sería la del mortero (cemento-arena) y en termopares más alejados a la resistencia es posible que sólo se le midiera la conductividad a la grava.

8-3 COMENTARIOS E IMPRESIONES DE LOS TESISISTAS

8-3-1 Para la elaboración de este dispositivo, se siguió el procedimiento experimental generalizado mostrado en el apéndice F. Fue muy útil que se contara con una guía a la hora de experimentar. Es muy recomendable su uso para todas las personas que desarrollen tesis y trabajos de este tipo.

El punto 5 (recolección de datos y análisis preliminar) consistió en elaborar varias muestras con la configuración original de la placa molde (2 de Yeso, 2 de Mortero Cal-Arena, 2 de Cemento Arena y 4 de concreto con sello 1/4"); el procedimiento de su elaboración es el mismo de la sección 5-2, cuadro 5-2-1. Posteriormente se midieron en el dispositivo y se hizo un análisis preliminar de los resultados, aquí se advirtió un problema serio en el movimiento de los termopares dentro de la cavidad (0.5 mm alejándose o acercándose al centro). Este movimiento repercutió mucho al sustituir los radios en la fórmula, obteniéndose rangos de Conductividad Térmica muy grandes para cada espécimen. Tal como propone el sexto punto y de acuerdo al resultado de las primeras muestras se vió la necesidad de hacer una modificación en el

dispositivo. Se decidió fijar el radio del termopar en la resistencia (r_1), para lograr ésto, se incrustó la resistencia y el termopar de la resistencia en una barra de cobre.

Seguir la guía del Procedimiento Experimental Generalizado puede, en algunos puntos como el 5 y 6, traducirse en muchas horas-ingeniero (es como elaborar dos veces el dispositivo y algunas muestras) sin embargo el resultado al que se llega es el buscado por los investigadores, así que el tiempo utilizado es claramente redimido a la hora de el análisis de resultados y de determinar la incertidumbre en los cálculos.

8-3-2 En el capítulo tres quedan a disposición del lector otros métodos experimentales para medir Conductividades Térmicas, aparte del utilizado en este dispositivo. Sería muy interesante probar con alguno de éstos. En un principio se pensó en desarrollar dos dispositivos, el elaborado y otro para el flujo longitudinal de calor para especímenes en forma de placas, pero por motivos del tiempo que debe emplearse en la elaboración de cada aparato sólo se hizo un dispositivo; sin embargo, para analizar especímenes no colables y con forma definida como pánenes, tablarroca, etc. es necesario elaborar el segundo dispositivo.

Con ayuda de compañeros que desarrollen algunos otros dispositivos, se logrará formar, en la Universidad de Sonora, un equipo que pueda medir todo tipo de materiales con formas y consistencias variadas.

8-3-3 Para compañeros interesados en el estudio de los suelos y sus características térmicas, se les sugiere continuar este trabajo haciendo un estudio exclusivo para medir diferentes suelos con este equipo y así llegar a establecer reglas en el comportamiento de la Conductividad Térmica en suelos.

8-3-4 El estudio de los "microconcretos" medidos y su comparación, en cuanto a las propiedades térmicas y de resistencia, con los concretos comunes no están al alcance de esta tesis, pero es un segundo tema que queda abierto para algún lector interesado.

8-3-5 La idea de introducir el apéndice E (factores de conversión para la Conductividad Térmica), es evitar confusiones en las unidades de "k"; es necesario que se conozcan bien las unidades en que se expresa la Conductividad Térmica, porque muchos productos nuevos, en el mercado, reportan esta propiedad sin unidades o con otras totalmente ajenas a la "k", y así las adquieren las personas para distribuirlos o

utilizarlas. Un ejemplo de lo anterior es la perlita que se empleo en la elaboración de las muestras de perlicreto, no hubo forma de comparar el resultado de la medición con el dispositivo y el valor reportado en el folleto de propaganda, porque ellos la manejan sin unidades: " Para una proporción 1:4 la $K=0.77$ ". De igual forma se encontraron otros productos en el mercado, por lo que es recomendable que los productores y distribuidores estandarizen los valores de k que reportan.

8-3-6 Una última observación, pero no menos importante, es la buena experiencia que fue desarrollar una tesis interdisciplinaria donde se entrelazaron varias materias como: Electromagnetismo, Fluidos y Calor, Ecuaciones Diferenciales e Integrales, Algebra, Comportamiento de Materiales y Mecánica de Suelos. Se espera que los estudiantes, que lean este trabajo, perciban también la importancia de la educación global que se imparte en la Universidad y la necesidad de que el Ingeniero Civil se despierte a la investigación, porque tiene herramientas para hacerlo, y así desarrolle nuevas técnicas. Ésta es pues la diferencia fundamental entre el que hace mecánicamente y el que piensa para hacer.

8-4 RECOMENDACIONES

A.- A las personas que deseen utilizar el dispositivo que en esta tesis se elaboró, para medir nuevas muestras, se les sugiere:

8-4-1 Restringir los resultados de Conductividad Térmica a los que arrojan la resistencia con el poro cuatro y la resistencia con el poro cinco.

8-4-2 Secar los espécimenes al horno y hacerles la prueba del vidrio de reloj en las cavidades, para evitar descargas eléctricas.

8-4-3 Medir las muestras después del secado porque sufren contracciones y el diámetro (promedio de algunos diámetros), la altura (promedio de varias alturas) y las distancias entre las cavidades varían en cada material.

8-4-4 Cuando el espécimen es un suelo, debe manejarse con sumo cuidado porque después del secado puede separarse en discos de acuerdo a la compactación y también puede desmoronarse alguna cavidad, lo que impide hacer una medición correcta.

8-4-5 En la toma de temperaturas con respecto al tiempo (corrida), es importante que el estado estable se registre por un tiempo prolongado, para que se esté seguro que realmente ahí se mantuvieron constantes las temperaturas y que no continúan aumentando a través de periodos largos de tiempo; si se observan algunas corridas (sección 6-2) se advierte que es fácil confundir cuando empieza el estado estable.

Una recomendación dada en la práctica C177-85 de la American Society for Testing and Materials (ASTM) es: "El tiempo requerido para lograr el estado estable térmico del sistema, varía considerablemente con las características del diseño del aparato, el espécimen que será medido, y las condiciones de prueba. Generalmente el tiempo de estabilización está por el orden de cuatro horas; y se incrementa generalmente con especímenes más gruesos. ...Deberá ser considerada una prueba válida si cada dato obtenido, para cada variable medida, difiere de la media en no más de la incertidumbre de esa variable"[8].

8-4-6 No se deje de observar todo el sistema mientras se efectúa una corrida, en especial en el estado estable, aún si las medidas se toman con algún Adquisidor de datos automático, porque el investigador debe percibir cada detalle para entender e interpretar sus resultados (aceptarlos o rechazarlos). Así se pueden explicar fenómenos que ocurren durante el periodo de medición y también se puede controlar la corriente eléctrica, cambios bruscos en la ventilación y la temperatura ambiente, descuidos personales o advertir algún termopar dañado o desacomodo de las tapas aislantes.

B.- Las recomendaciones para los que construyan su propio dispositivo son:

8-4-7 Usar muestras con mayor diámetro para tener más lecturas a una distancia mayor de la barra calentadora. Pero debe recordarse, que en muestras mayores, el tiempo necesario para alcanzar el estado estable es mayor. Solo se recomienda un pequeño aumento en el diámetro de las muestras (La placa molde también deberá elaborarse con el mismo aumento en el diámetro).

8-4-8 Nunca descuidar que la resistencia esté haciendo buen contacto con el espécimen porque eso repercutirá en los resultados.

8-4-9 Si el estudio requiere de menor incertidumbre en el resultado, ésta puede mejorarse con instrumental de mayor precisión y con termopares con casquillo; para que al penetrar se puedan medir con mayor exactitud los radios de las cavidades donde se toman las temperaturas. Haciendo los cambios adecuados, tanto de la precisión del nuevo instrumental como en las distancias de los radios (que ya no variarán ± 0.5 mm), entonces se puede utilizar la misma fórmula para la incertidumbre (ecuación 7-3-6).

8-4-10 Si se necesita que la corrida se haga con mayor rapidez y comodidad puede utilizarse algún Adquisidor de Datos Automático (como el modelo CR10 de CAMPBELL SCIENTIFIC INC.) que al programarlo puede tomar todas las lecturas que se requieran tanto de voltaje, corriente, temperatura y tiempo en el período que se desee y a la vez las pasa a una hoja de cálculo, lo que simplifica enormemente el estudio de un material y los cálculos de la Conductividad Térmica.