**Licenciatura:** Ingeniería Mecánica.

**Nombre del Proyecto de Integración (PI):** Diseño, construcción y evaluación de un dispositivo para medir la conductividad térmica de hierbas aromáticas deshidratadas.

**Modalidad:** Proyecto Tecnológico

**Versión:** Primera

**Trimestre Lectivo:** 23I

**Datos del Alumno:**


**Nombre:** Ernesto Torres Crespo.

**Matricula:** 2173075282

**Correo electrónico**: al2173075282@azc.uam.mx

_____

Firma.


**Asesor**

Dr. Raymundo López Callejas

Categoría: Titular C

Departamento: Energía

Teléfono: (55) 5318-9060

Correo electrónico: rlc@azc.uam.mx

**Co-asesor**

Dra. Mabel Vaca Mier

Categoría: Titular C

Departamento: Energía

Teléfono: (55) 53 18 95 79

Correo electrónico: mvm@azc.uam.mx


_____

Firma.

_____

Firma.

Fecha: 26/05/2023

Declaratoria

En caso de que el Comité de Estudios de la Licenciatura en Ingeniería Mecánica apruebe la realización de la presente propuesta, otorgamos nuestra autorización para su publicación en la página de la División de Ciencias Básicas e Ingeniería.

Torres Crespo Ernesto

Asesor
Dr. Raymundo López Callejas

Co-Asesor
Dra. Mabel Vaca Mier

## 1. Introducción:

El dispositivo que se diseñará y construirá para la medición de la conductividad térmica de hierbas aromáticas deshidratadas se realizará de acuerdo con el método de *Placa Caliente con Guarda*, descrito en las normas NOM-009-ENER-2014, [1] y la norma ASTM-C-177, [2], las cuales se emplean para la medición del coeficiente de conducción de calor en materiales sólidos. Existen otros métodos, pero por el tipo de material que se tiene no sería posible su utilización.

Consta de una placa circular plana la cual genera calor, debido a que tiene incrustada una resistencia eléctrica, a ambos lados se colocan las muestras del material que se desea determinar su conductividad, las cuales deberán ser de idénticas dimensiones física. En ambas caras de cada muestra se colocarán cuatro termopares para medir la temperatura en diversos puntos, pero deberán ser simétricos a ambos lados, finalmente se colocarán las tapas del dispositivo, el cual será de una barra sólida de Teflón que se maquinará para tener las dimensiones adecuadas. La figura 1 muestra un esquema de la forma física aproximada.

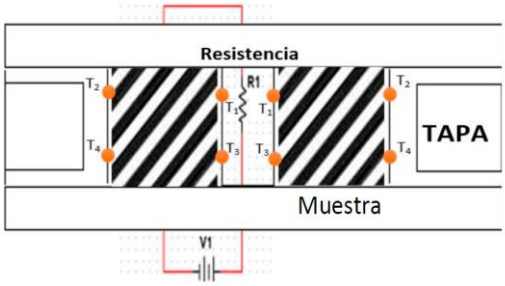



Figura 1. Esquema del dispositivo.

Para determinar el flujo de calor suministrado a la resistencia eléctrica se deberán medir tanto la potencia eléctrica como la corriente consumida las cuales se controlarán con un reóstato.

En el caso ideal, el flujo de calor es unidimensional a través de la muestra, desde la resistencia caliente hacia las tapas del dispositivo en la dirección horizontal. Bajo estas condiciones, al aplicar la ley de Fourier [3], dada por:

$$\dot{Q} = kA\frac{\partial T}{\partial x} \tag{1}$$

en la cual se tiene la conductividad térmica $k$. Dado que el área $A$ y el espesor $e$, es el eje $x$, de las muestras son conocidos, entonces faltaría medir únicamente la diferencia de temperaturas entre ambos lados de las muestras y la energía consumida por la resistencia eléctrica

La elaboración de las muestras de hojas de las hiervas deshidratadas se hará por compresión, para lo cual se construirá un dado de compresión en algún material resistente que soporte una presión de 30 ton, proporcionadas por la prensa hidráulica.

Se propone, diseñar, construir y evaluar un prototipo que permita obtener el valor de la conductividad térmica de hierbas deshidratadas, el cual será completamente instrumentado y el registro de las variables físicas consideradas será realizado con la ayuda del software Lab View.

## 2. **Antecedentes**

Cuando se procesan los alimentos hay tres propiedades que son relevantes para su cosecha, procesamiento y almacenamiento éstas son: la difusividad térmica, el calor específico y la conductividad térmica, las cuales son esenciales para el diseño de equipos que se emplearan en su procesamiento, almacenamiento y en algunos casos el secado. En este caso particular interesa determinar el valor de la conductividad térmica, para la cual existen varios métodos que depende de su estado: líquido, sólido o gaseoso, aquí se trata de determinar esta propiedad termodinámica en hojas de hierbas aromáticas deshidratadas, para lo cual se podría utilizar tres métodos, a saber: "Probeta de conductividad térmica" [4, 5], el cual se utiliza principalmente para materiales sólidos de porosidad muy baja. El segundo método consiste en determinar la conductividad térmica de acuerdo con la composición química de los alimentos como una función de la temperatura, el inconveniente es que se debe tener un análisis químico del alimento y de sus componentes la ecuación que proporcione la conductividad térmica de cada uno de ellos, cual complica la operación [5, 6]. El tercer método es de placa caliente y guarda, el cual se aplicará en este caso, ha mostrado su efectividad además de proporcionar la mayor exactitud posible y se ha aplicado en alimentos sólidos, tales como carnes y frutos [6]. En [5] se muestran los valores de la conductividad térmica para algunas verduras, tales como: berenjenas, yuca, papa, zanahoria, espárragos y otras más, para la carne se tienen valores de: carne de res en diferentes tipos de cortes, de cerdo y de diferentes tipos de pescados, [8].

Para las hierbas aromáticas únicamente se encontraron dos artículos de investigación: el romero, [9] y la cassia o canela china (Cinnamomum cassia) [10].

La mayoría de los artículos publicados se refieren a la conductividad térmica en materiales de construcción y aislantes, para esto han construido algunos dispositivos con la finalidad de evaluar el valor de esta propiedad termodinámica, por ejemplo. Lira et al., [11] se presentaron el equipo para determinar la conductividad térmica en materiales para la construcción, en [12] para materiales cerámicos, para alimentos sólidos en [13] y otros más.

El equipo a diseñar deberá permitir obtener el coeficiente de conducción de calor de hojas de hierbas aromáticas utilizando el principio de placa caliente y guarda. Para realizar la evaluación se tendrán las hojas en un bloque compacto y reduciendo al mínimo la porosidad, para lo cual se diseñará y construirá un dispositivo que permita la fabricación de estos pequeños bloques en forma de "galletas".

## 3. Justificación

En el proyecto de investigación titulado “Secador de hierbas aromáticas utilizando una bomba de calor y radiación infrarroja” del Departamento de Energía, Área de Termofluidos, se debe conocer el valor numérico de algunas propiedades termodinámicas de dichas hierbas, tales como: la difusividad térmica, el calor específico y la conductividad térmica, para lograr una mayor eficiencia del proceso, en este caso se debe determinar la conductividad térmica del perejil, hierbabuena, y menta entre otras.

Para logarlo se deberá diseñar, construir y evaluar un dispositivo que logré dicho cometido, el cual será del tipo de *placa caliente y guarda*, ya que por la naturaleza de estas hierbas sería prácticamente la única posibilidad de tener éxito, de acuerdo con la revisión bibliográfica realizada.

El dispositivo se diseñará como un volumen de control cerrado en el cual las pérdidas de energía hacia el exterior serán nulas, por tal motivo se deberán emplear materiales y dimensiones adecuadas que logren dicho cometido y así obtener un valor más exacto posible de esta propiedad. Deberá tener los elementos de medición adecuados para las variables físicas involucradas de acuerdo con la ecuación (1): termopares para la medición de temperaturas, al menos 10; amperímetro y voltímetro para la energía eléctrica suministrada y que se convertirá en calor; un reóstato que permitirá el control de la potencia suministrada; todas éstas se deberán registrar automáticamente cada cierto tiempo para lo cual se utilizará una tarjeta del tipo Arduino debidamente armada y el software LabView.

Se requiere conocer el valor de la conductividad térmica para las hierbas en dos condiciones, con su humedad inicial (aproximadamente del 80 % en base seca), es decir recién cosechada y totalmente deshidratadas al final del proceso de secado, cuyo valor será de aproximadamente el 12 o 14 % en base seca, dependiendo del producto.

Para asegurar que los termopares midan la temperatura de la pared de la muestra lo más exacta posible es necesario que el dispositivo trabaje a compresión y así evitar los posibles huecos que podrían alterar las mediciones.

## 4. Objetivos

General:

Diseñar, construir y evaluar un dispositivo para obtener la conductividad térmica de hierbas aromáticas deshidratadas.

Particulares:

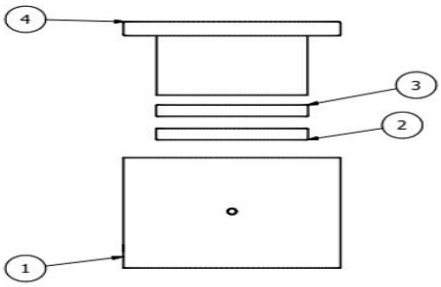
- Diseñar un dispositivo para medir la conductividad térmica de hierbas aromáticas deshidratadas sin alterar su contenido de humedad y sus propiedades organolépticas de color, olor y sabor.
- Diseñar y construir el equipo para elaborar las probetas de las hojas deshidratadas.
- Construir el dispositivo empleando materiales que sean aislantes y resistentes a la variación de temperatura.
- Programar el software LabVIEW para el registro de las variables físicas.
- Diseñar, armar y programar la tarjeta Arduino.
- Evaluar el funcionamiento del dispositivo de conductividad térmica

## 5. Descripción técnica

Para el diseño del equipo se partirá de una resistencia eléctrica encapsulada de 7 cm de diámetro exterior y que proporciona una potencia de 750 W. La regulación de la energía suministrada será con un reóstato y con un amperímetro y un voltímetro se determinará su valor. El material para manufacturar el dispositivo será de teflón.

Las dimensiones físicas serán:

| | |
|---|---|
| Diámetro exterior<br>Diámetro interior<br>Altura | 10.15 cm<br>7.5 cm<br>17.46 cm |
| Potencia suministrada | 750 W |




| LISTA DE PIEZAS | | |
|---|---|---|
| ELEMENTO | CTDAD | Nº DE PIEZA |
| 1 | 1 | Cuerpo |
| 2 | 1 | Resistencia electrica |
| 3 | 1 | Muestra |
| 4 | 1 | Tapa |

Figura 2. Diseño del dispositivo.

Con estas dimensiones se diseñará el dispositivo para elaborar las muestras de hierbas aromáticas deshidratadas que tendrán un diámetro de 7.4 cm y 1.0 cm de espesor, importante no se deberán desbaratar durante la evaluación.

## 6. Normatividad

Para la elaboración del presente proyecto se deberán tener en cuenta las siguientes normas:

ISO 128. International Organization for Standardization, 2001, “Dibujos técnicos-Principios generales de presentación-Parte 34”, 128-34:2001 ISO, 2001.

Norma Oficial Mexicana de Metrología NOM-CH-73-1986, Instrumentos de Medición-Temperatura - Clasificación y Definiciones. Define los términos e instrumentos de medición de temperatura.

NORMA Oficial Mexicana NOM-009-ENER-2014, Eficiencia energética en sistemas de aislamientos térmicos industriales.

ASTM, “ASTM-C-177-97 Standard Test Method for Steady-State Thermal Properties by means of the Guarded-Hot-Plate apparatus”, American Society for Testing and Materials, 1993 Annual Book of ASTM Standard, Vol. 04.06, Standard ANSI/ASTM C-177-93, Philadelphia (1993).

## 7. Cronograma de actividades.

Tabla 1 Cronograma para el trimestre 23-P

| | Trimestre 23-P | | | | | | | | | | | | |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| | Actividades | Semana | | | | | | | | | | | |
| | | 1 | 2 | 3 | 4 | 5 | 6 | 7 | 8 | 9 | 10 | 11 | 12 |
| 1 | Aplicar los principios de transferencia de calor y propiedades de los materiales para el diseño termodinámico del dispositivo | X | X | | | | | | | | | | |
| 2 | Proponer los materiales y sus dimensiones para el diseño, tomando en consideración que la propuesta sea económicamente deseable | X | X | | | | | | | | | | |
| 3 | Determinar el diseño final del prototipo y de la instrumentación necesaria en la fabricación | | X | X | | | | | | | | | |
| 4 | Adquirir los materiales de construcción y medición requeridos | | | X | X | | | | | | | | |
| 5 | Construir el prototipo | | | | | X | X | X | | | | | |
| 5 | Ensamblar los componentes del prototipo | | | | | | | X | X | X | | | |
| 6 | Diseñar, adquirir los materiales y construir los elementos necesarios para la elaboración de las probetas | | | | | | | | X | X | X | | |
| 7 | Evaluar las probetas construidas a partir del diseño propuesto | | | | | | | | | | X | X | |
| | | | | | | | | | | | | | |

Tabla 2 Cronograma para el trimestre 23-O

| | Trimestre 23-O | | | | | | | | | | | | |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| | Actividades | Semana | | | | | | | | | | | |
| | | 1 | 2 | 3 | 4 | 5 | 6 | 7 | 8 | 9 | 10 | 11 | 12 |
| 1 | Realizar las pruebas preliminares del equipo con las probetas fabricadas | X | X | X | | | | | | | | | |
| 2 | Realizar las posibles correcciones al equipo | | | X | X | | | | | | | | |
| 3 | Evaluar la conductividad térmica de hojas de perejil deshidratadas | | | | | X | X | X | X | | | | |
| 4 | Escribir el reporte preliminar del trabajo realizado | | | | | | | | X | X | X | | |
| 5 | Escribir la versión final del reporte y entregar | | | | | | | | | | X | X | |

## 8. Entregables

Reporte final de proyecto de integración.

Prototipo de secador de hierbas aromáticas

## 9. Referencias bibliográficas.

[1] NORMA Oficial Mexicana NOM-009-ENER-2014, Eficiencia energética en sistemas de aislamientos térmicos industriales.

[2] ASTM-C-177-97 Standard Test Method for Steady-State Thermal Properties by means of the Guarded-Hot-Plate apparatus. American Society for Testing and Materials, 1993 Annual Book of ASTM Standard, Vol. 04.06, Standard ANSI/ASTM C-177-93, Philadelphia (1993).

[3] Yunus, A.C y Afshin, J.G, 2011. Transferencia de calor y masa, Fundamentos y aplicaciones. Mc Graw Hill, México.

[4] K.K. Shah, C.H. Tong, y D.B. Lund, 2000. Methodology to Obtain True Thermal Conductivity of Low Porosity Food Powders. Journal of Food Science, vol. 65, No. 6, pp 962-967.

[5] M. Shafiur Rahman, 2009. Food Properties Handbook. Second Edition. CRC Press, New York, USA.

[6] James K. Carson, Jianfeng Wang, Mike F. North, Donald J. Cleland, 2016. Effective thermal conductivity prediction of foods using composition and temperature data. Journal of Food Engineering 175, pp 65-73.

[7] M. J. Lewis, 2006. Physical properties of foods and food processing systems. Woodhead Publishing Limited, England UK.

[8] Shwu-Jene Tsai, Nan Unklesbay, Kenneth Unklesbay, y Andrew Clarke, 1998. Thermal Properties of Restructured Beef Products at Different Isothermal Temperatures. Journal of Food Science, V 63, 1pp 481-484.

[9] A. Navarrete, R.B. Mato, G. Dimitrakis, E. Lester, J.R. Robinson, M.J. Cocero, S. Kingman, 2011. Measurement and estimation of aromatic plant dielectric properties. Application to low moisture rosemary. Industrial Crops and Products, 33, pp 697-703.

[10] Bhupendra M. Ghodki, A.D. Srikanth Tangirala & T.K. Goswami, 2016. Moisture dependent thermal properties of cassia. Cogent Food & Agriculture, 2: 1227110.

[11] L. Lira-Cortés, González Rodríguez, O. J., Méndez-Lango, E., 2008. Medición de la Conductividad Térmica de Algunos Materiales Utilizados en Edificaciones. Simposio de Metrología, Centro Nacional de Metrología, Santiago de Querétaro, México, SM2008-S4C2-1100-2.

[12] Barea, Rafael; Marín, Ricardo; Osendi, María Isabel C; Martínez, R.; Miranzo Pilar, 2006. Equipo comparativo para la medida de conductividad térmica de materiales cerámicos. Boletín de la Sociedad Española de Cerámica y Vidrio 45(2), pp 80-86.

[13] Zambrano del Pino, Erik Antonio Yupanqui Vargas, Consuelo Victoria Diseño, 2016. y construcción de un equipo para la determinación de la conductividad térmica de alimentos sólidos mediante el método de Fitch modificado. Universidad Nacional del Centro del Perú. Facultad de Ingeniería en Industrias Alimentarias.

## 10. Terminología

No se requiere

## 11. Infraestructura

Los costos por la construcción de todos los elementos del prototipo serán cubiertos por el Dr. Raymundo López callejas y la experimentación se realizará en el Laboratorio asignado a el mismo dentro de las instalaciones del Laboratorio Termofluidos.

## 12. Asesoría Complementaria

No se requiere.

## 13. Publicación o difusión de resultados

Se buscará un congreso de interés con temática de publicación para los resultados obtenidos.