

FACULTAD DE TECNOLOGÍA DE LA INDUSTRIA (FTI)

# “Calculo y definición por medio experimental de factor de conductividad térmica en bloques de concreto de fabricación nacional de 2 cavidades utilizados en la Construcción”

Trabajo Monográfico para optar a Título de  
Ingeniero Mecánico

Elaborado por:

Tutor:

Br. José Félix  
Aragón Jiménez  
2008-23855

Br. Luis Javier  
Cisnero Ramos  
2006-24174

Br. Marvin Josué  
Montalván Castillo  
2015-0883U

Msc. Wilmer  
José Ramírez  
Velásquez

20 de Marzo del 2023  
Managua, Nicaragua

## INDICE

<b>I. INTRODUCCIÓN .....</b>	<b>1</b>
<b>II. OBJETIVOS .....</b>	<b>3</b>
2.1 OBJETIVO GENERAL.....	3
2.2 OBJETIVOS ESPECÍFICOS.....	3
<b>III. MARCO TEÓRICO / CONCEPTUAL .....</b>	<b>4</b>
3.1 PRINCIPIOS DE TRANSFERENCIA DE CALOR.....	5
3.1.1 <i>Energía</i> .....	5
3.1.2 <i>Densidad</i> .....	5
3.1.3 <i>Temperatura</i> .....	5
3.1.4 <i>Potencia</i> .....	6
3.1.5 <i>Calor</i> .....	6
3.1.6 <i>Flujo de calor</i> .....	6
3.1.7 <i>Conductividad Térmica</i> .....	8
3.2 MECANISMOS DE TRANSFERENCIA DE CALOR.....	8
3.2.1 <i>Conducción</i> .....	8
3.2.2 <i>Convección</i> .....	8
3.2.3 <i>Radiación</i> .....	9
3.2.4 <i>Transmitancia térmica</i> .....	9
3.2.5 <i>Proceso adiabático</i> .....	9
3.2.6 <i>Resistencia térmica</i> .....	9
3.2.7 <i>Aislamiento térmico</i> .....	10
3.2.8 <i>Aislamiento Fibra mineral</i> .....	10
3.2.9 <i>Aislamiento Lana Mineral</i> .....	10
3.2.10 <i>Material refractario</i> .....	10
3.2.11 <i>Resistencia eléctrica</i> .....	10
3.3 MÉTODOS DE PRUEBAS PARA DETERMINAR CONDUCTIVIDAD TÉRMICA.....	11
3.3.1 <i>Método de placa caliente</i> .....	11

3.3.2	<i>Método de hilo caliente</i> .....	11
3.3.3	<i>Método del flujo de calor</i> .....	11
3.3.4	<i>Método de caja caliente</i> .....	12
<b>IV.</b>	<b>DISEÑO METODOLÓGICO</b> .....	<b>14</b>
4.1	MAMPOSTERÍA .....	16
4.2	BLOQUE DE CONCRETO .....	16
4.2.1	<i>Tipos de bloques</i> .....	16
4.3	ESPECIFICACIONES TÉCNICAS DE MUESTRAS: .....	17
4.4	ENSAYO DE CONDUCTIVIDAD TÉRMICA. ....	20
<b>V.</b>	<b>DESARROLLO DISEÑO METODOLÓGICO</b> .....	<b>21</b>
5.1	CONSTRUCCIÓN MODELO DISPOSITIVO DE PLACA CALIENTE PROTEGIDA .....	22
5.1.1	<i>Cavidad aislada</i> .....	24
5.2	PANEL DE CONTROL .....	25
5.3	PROGRAMACIÓN CONTROL DIFERENCIAL .....	27
5.4	RESISTENCIA TÉRMICA .....	29
5.5	PROCEDIMIENTO DE TOMA DE MEDICIONES DE TEMPERATURA .....	34
5.6	LEY DE FOURIER DE LA CONDUCCIÓN DEL CALOR .....	37
5.7	ÁREA DEL ESPÉCIMEN .....	38
<b>VI.</b>	<b>CONCLUSIONES</b> .....	<b>41</b>
<b>VII.</b>	<b>RECOMENDACIONES</b> .....	<b>42</b>
<b>VIII.</b>	<b>BIBLIOGRAFÍA</b> .....	<b>43</b>
<b>IX.</b>	<b>CRONOGRAMA DE EJECUCIÓN DE PROYECTO MONOGRÁFICO</b> .....	<b>44</b>

## I. Introducción

El proceso de investigación de este estudio experimental del cálculo de factor de conductividad térmica en los materiales de construcción de fabricación Nacional.

El rubro de construcción está creciendo a pasos gigantes, los cuales cumplen el papel importante de dar protección a viviendas, mantener la temperatura interna de los hogares, en zonas cálidas y/o tropicales donde se requiere un control más específico de los materiales utilizados siguiendo estándares de fabricación tanto en la selección de materiales de fabricación, dimensiones, procesos de elaboración, controles de calidad que permitan a la población Nicaragüense adquirir materiales de construcción de alta calidad y con parámetros de diseño técnico que den seguridad y confort en la construcción.

En Nicaragua la fabricación de materiales de construcción se rige por el Ministerio de Fomento, Industria y Comercio (MIFIC) bajo el esquema de las Norma Técnica Obligatoria Nicaragüense (NTON) las cuales regulan materias primas y dimensiones de fabricación, así como las características de resistencia a la tensión, compresión y otros criterios. Actualmente esto va en conjunto con los nuevos requisitos de ahorro y eficiencia energética, estrategias guiadas con la finalidad de reducir el consumo de energía y la huella de carbono.

La conductividad térmica es una propiedad de los materiales que se da por la transferencia de energía el cual se describe como la transmisión de calor a nivel molecular, esto por la agitación debido a la diferencia de temperatura entre 2 o más materiales, la energía es transferida de mayor temperatura al material de menor temperatura, esta transferencia de energía es finita hasta alcanzar equilibrio térmico, la transferencia de calor dependerá de múltiples factores incluyendo los diferentes mecanismo (Conducción, Convección o Radiación) y las propiedades termodinámicas de los materiales.

En la investigación experimental se elaborara según norma ASTM C177 (“Medición flujo de Calor estacionario y Transmisión de propiedades térmicas por medio dispositivo de placas caliente protegida”), donde se recopilarán datos de conductividad térmica de los bloques de concreto, evaluando por métodos matemáticos para determinar el factor, estos serán comparados con las muestras encontradas en el mercado nacional, teniendo en cuenta que un menor valor del factor de conductividad térmica se tendrá una mayor propiedad aislante del material.

## **II. Objetivos**

### ***2.1 Objetivo General***

Calcular el factor de conductividad térmica en bloques de mampostería de fabricación Nacional, por medio de metodología propuesto en norma ASTM C177 (“Medición flujo de Calor estacionario y Transmisión de propiedades térmicas por medio dispositivo de placas caliente protegida”)

### ***2.2 Objetivos Específicos***

1. Analizar normas nacionales e internacionales aplicables a la fabricación de bloques de mampostería de fabricación Local.
2. Diseñar y construir un modelo de cámara de aislamiento que permita medir y analizar el coeficiente de conductividad térmica de los bloques fabricación Nacional de mampostería con base en la norma ASTM C177.
3. Determinar el factor de conductividad térmica de los bloques elaborados en mampostería comprobando los sistemas de cálculos utilizados en la transferencia de calor en las normas aplicadas.

### III. Marco Teórico / Conceptual

El siguiente ensayo monográfico tiene como fundamento el cálculo de factor conductividad en transferencia de calor en materiales utilizados en la construcción, tomando en consideración las normas internacionales que realizan valoración de cualidades en los bloques de concreto (Mampostería) en la transmisión de energía térmica por medio de la convección, conducción y radiación en estos materiales influenciado por la capacidad de los materiales de transferir o aislar el calor generado por cantidad de energía absorbida o disipada.

Existen antecedentes de dicho estudio a lo largo de la región americana, en México, la *secretaría de Energía* promueve el uso eficiente de la energía, a través de la **CONUEE**. Esta comisión desarrolla diferentes programas, entre ellos, la elaboración de normas de eficiencia energética:

NOM-018 ENER-2011 Aislantes Térmicos para Edificaciones. Características, Límites y Métodos de Prueba. Estas normas requieren de la determinación de propiedades físicas de materiales, en particular la conductividad térmica. En la legislación mexicana rige estrictamente el ahorro energético obteniendo un amplio control de las propiedades en los materiales que conforman mampostería.

Las normas aplicables para este diseño se basan en los estándares de ASTM (American Society for Testing and Materials), el cual se rige por el desarrollo de nuevas tecnologías por medio de experimentación de diferentes entidades estos ensayos, consensuan las normas para una amplia variedad de materiales, productos, sistemas o procesos con el fin de avanzar con el desarrollo de nuevos métodos que ayudaran a enriquecer las propiedades de los materiales.

Dichas normas están catalogadas según su aplicación en la industria, se crean comités técnicos para áreas de aplicación específicas, los estándares de ASTM

son utilizados y aceptados mundialmente y abarcan áreas como metales, pinturas, plásticos, textiles, petróleo, construcción, energía, medio ambiente, productos de consumo, servicios médicos, dispositivos y productos electrónicos.

Ellos están clasificados por letras en dependencia del campo aplicación; en este caso en particular la norma ASTM C177, pertenece a las normas de la clasificación "C" que especifica "Materiales cementosos, de cerámica, concreto y mampostería" las cuales la cual establece los criterios de diseño, fabricación, clasificación y control de estos materiales específicos. para la medición en laboratorio del flujo de calor.

### **3.1 Principios de Transferencia de Calor**

#### **3.1.1 Energía**

Presente en el universo en diversas formas, mecánica, electromagnética, química, térmica y nuclear, pensamos en energía función de combustible para el transporte y calefacción, electricidad; así como las transformaciones para generar trabajo en sistemas (Serway Raymond, 1997).

#### **3.1.2 Densidad**

Considerada como unidad de masa por la unidad de volumen de un material específico y homogéneo.

$$\rho = \frac{m}{V}$$

#### **3.1.3 Temperatura**

Se define como una magnitud escalar relacionada con la energía interna de un sistema termodinámico, definida por el principio cero de la termodinámica. Más específicamente, está relacionada directamente con la parte de la energía interna conocida como energía cinética, que es la

energía asociada a los movimientos de las partículas del sistema, sea en un sentido traslacional, rotacional, o en forma de vibraciones. A medida que sea mayor la energía cinética de un sistema, se observa que este se encuentra más «caliente»; es decir, que su temperatura es mayor.

### 3.1.4 Potencia

Velocidad a la que se transfiere energía a través de la frontera en un sistema mediante aplicación trabajo.

$$P = \frac{dW}{dt}$$

### 3.1.5 Calor

Interacción entre sistema y en contacto con su entorno con un diferencial de temperatura genera una transmisión de energía por la ley de conservación (Wark Kenneth, 2012)

### 3.1.6 Flujo de calor

Se refiere a la velocidad de transferencia de calor en una dirección determinada por unidad de área, perpendicular a la dirección de transferencia y proporcional al gradiente de temperatura (Incropera Frank, 1999). Este puede ser en diferentes unidades de medidas (W/m<sup>2</sup>, BTU/h/ft<sup>2</sup>). Es la transmisión de la energía entres sistemas que poseen diferentes temperaturas.

$$q = \frac{Q}{A} \quad \Longrightarrow \quad \frac{\partial E_{\text{entra}}}{\partial t} - \frac{\partial E_{\text{sale}}}{\partial t} = \oint_S \vec{\phi}_q \cdot \vec{dS}$$

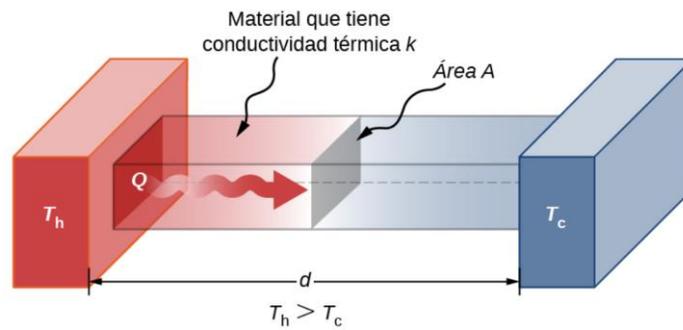
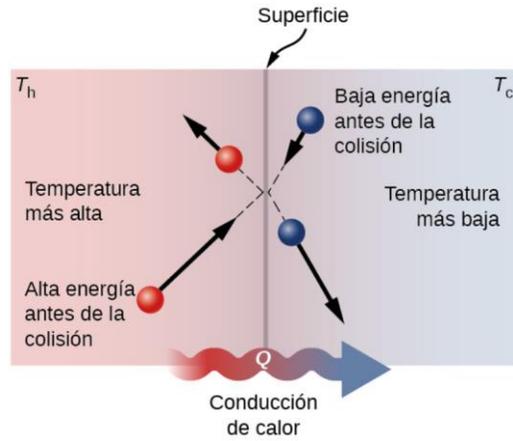


Figura #1. Representación de transferencia de Calor entre moléculas a diferentes temperaturas adaptación extraída de página web, Mecanismos de transferencia de calor <https://openstax.org/books/f%C3%ADsica-universitaria-volumen-2/pages/1-6-mecanismos-de-transferencia-de-calor> 2021, Estados Unidos

### 3.1.7 Conductividad Térmica

Índice de tiempo de flujo de calor en estado estacionario a través de una unidad de superficie de un material homogéneo inducido por una unidad de gradiente de temperatura en una dirección perpendicular a esa superficie. (ASTM C-168, Terminology). Para una variación de temperatura establecida, el flujo de calor por conducción aumenta con el incremento de la conductividad térmica (Incropera Dewit, 1999).

$$\lambda = \frac{q \cdot L}{\Delta T \cdot A}$$

## 3.2 Mecanismos de transferencia de calor

### 3.2.1 Conducción

No es más que la transferencia de calor por medio de la interacción entre moléculas entre 2 sistemas y está estrechamente ligada a la variación de temperatura dentro de los cuerpos en contacto directo.

$$\frac{Q}{\Delta t} = \frac{kA}{x}(T_1 - T_2)$$

### 3.2.2 Convección

Transmisión de energía entre 2 cuerpos uno sólido y el segundo podría ser un líquido o un gas en su defecto por la naturaleza del fluido.

$$\frac{dQ}{dt} = hA_s(T_s - T_{inf})$$

### 3.2.3 Radiación

Fluencia de energía mediante radiación electromagnética y puede emitirse desde el interior de partículas.

$$C = \frac{Q}{A(T_h - T_c)} = \frac{1}{R}$$

### 3.2.4 Transmitancia térmica

La transmisión de calor en una unidad de tiempo a través de una unidad de superficie de un material o construcción y la película de aire límite, inducida por una diferencia de temperatura unitaria entre el entorno de cada lado. Corresponde al inverso de la resistencia térmica.

$$U = \frac{1}{R_t} = \frac{1}{R_{s_i} + R_1 + R_2 + \dots + R_n + R_{s_e}}$$

### 3.2.5 Proceso adiabático

Un proceso adiabático es aquel en el que solo se identifican interacciones de trabajo, no intercambio o transferencia de energía, entre los sistemas. (Wark, Kenneth, 2001)

### 3.2.6 Resistencia térmica

Determinada por la diferencia de temperatura, en estado estacionario, entre dos superficies paralelas definidas de un material homogéneo de espesor unitario, que induce un flujo de calor unitario a través de un área unitaria. superficies paralelas definidas de un material homogéneo de espesor unitario, que induce un flujo de calor unitario a través de un área unitaria (Terminología ASTM C-168), las unidades de medida son  $K/(W/m^2)$ ,  $F \text{ ft h}/BTU$ .

$$R = \frac{A (T_h - T_c)}{Q}$$

### **3.2.7 Aislamiento térmico**

Material o ensamble de materiales utilizados para proveer resistencia al flujo de calor.

### **3.2.8 Aislamiento Fibra mineral**

Aislamiento compuesto de rocas, vidrio y escoria con o sin aglutinante.

### **3.2.9 Aislamiento Lana Mineral**

Aislamiento de fibra vítrea sintética fabricada mediante la fusión de rocas predominantemente ígneas, escoria de hornos y otros materiales inorgánicos, y su posterior transformación física en fibras.

### **3.2.10 Material refractario**

Tipos de materiales: Aislantes, conductores, semiconductores

### **3.2.11 Resistencia eléctrica**

Es la oposición que ejerce un material conductor al paso de los electrones. Cuanto mayor sea, más colisiones ocurrirán y el material se calentará más

### **3.3 Métodos de pruebas para determinar Conductividad Térmica**

#### **3.3.1 Método de placa caliente**

Este método establece los requisitos mínimos de condiciones de medición del flujo de calor en estado estacionario a través de superficies planas y homogéneas en contacto directo con límites paralelos con temperaturas constantes; con una amplia gama de cuerpos solidos (opacos porosos).

El dispositivo usara sensores térmicos para determinar la variación de temperatura entre las caras expuestas a la transmisión de calor y el lado que no está expuesto a transferencia.

Con este procedimiento de prueba, se busca obtener resultados objetivos sobre la conductividad térmica de los materiales de construcción de los hogares y edificaciones, encontrando conductividad térmica de los bloques de mampostería fabricados por las empresas nacionales, a través de método de construcción de un dispositivo modelo que nos permita controlar las perdidas por transferencia de calor de las muestras con el exterior, donde se realizarán las validaciones de variación de temperatura en ambas caras de las muestras de bloques de construcción con las dimensiones dictadas por las normas nacionales, posterior se tendrán las validaciones técnicas de los cálculos.

#### **3.3.2 Método de hilo caliente**

Sistema diseñado para establecer el flujo de calor a través de materiales refractarios no carbonosos y materiales dieléctricos. Este mide el flujo de calor generado por la corriente eléctrica aplicada a un cable de platino puro; la velocidad a la que se calienta el alambre depende de la rapidez con la que el calor fluye del alambre a la masa de temperatura constante.

#### **3.3.3 Método del flujo de calor**

Este método de ensayo está diseñado para medir y comparar propiedades térmicas de los materiales en condiciones controladas y su capacidad para

mantener los niveles de conductancia térmica requeridos. Un espécimen y un transductor de flujo térmico (HFT) están entre dos placas planas controladas a diferentes temperaturas, para producir un flujo de calor a través de la pila de ensayo. Se aplica una carga reproducible a la pila de ensayo por medios neumáticos o de otro tipo, para garantizar una resistencia de contacto entre la probeta y las superficies de las placas. Una protección rodea la pila de ensayo y se mantiene a una temperatura media uniforme de las dos placas, a fin de minimizar el calor lateral hacia y desde la pila. En estado estacionario, la diferencia de entre las superficies en contacto con la probeta se mide se mide con sensores de temperatura incrustados en las superficies, junto con la salida eléctrica del HFT. Esta salida (tensión) es proporcional al flujo de calor a través de la probeta, el HFT y las interfaces entre la muestra y el aparato. La proporcionalidad se obtiene mediante la calibración previa del sistema con especímenes de resistencia térmica conocida, medida en las mismas condiciones, de forma que la resistencia de contacto en las superficies se hace reproducible.

### **3.3.4 Método de caja caliente**

Este método de ensayo, conocido como método de la caja caliente calibrada, prevé la medición en laboratorio de la transferencia de calor a través de una muestra en condiciones controladas de temperatura del aire, velocidad del aire y radiación establecidas en una cámara de medición por un lado y en una cámara climática por el otro. Está pensado principalmente para mediciones en condiciones estacionarias y a temperaturas típicas de las aplicaciones normales en edificios. La transferencia de calor a través de la probeta se determina a partir de la entrada neta de calor medida en la cámara de medición, corregida por la pérdida estimada a través de las paredes de la cámara y la pérdida estimada flanqueando la probeta en su perímetro, ambas estimaciones basadas en calibraciones utilizando probetas de propiedades térmicas conocidas. La pérdida de calor a través de las paredes de la cámara de medición se limita mediante

paredes altamente aisladas y, cuando es necesario, mediante el control de la temperatura ambiente circundante, o mediante el uso de una protección parcial.

Estos métodos miden la energía absorbida por medio del diferencial de temperatura en las caras expuestas a la fuente de energía la cual emite y transfiere el calor longitudinalmente al cuerpo por convección. Con este método se deberá controlar la energía suministrada por una fuente, y el calor generado se valorará de acuerdo con las variaciones de temperatura por medios de control electrónicos de señales digitales, proyectando datos de temperatura, utilizando patrones de instrumentación y control estadísticos.

Con este método de prueba, se busca obtener resultados objetivos sobre la conductividad térmica de los materiales de construcción de los hogares y edificaciones, encontrando la relación de conductividad térmica de los bloques de mampostería fabricados por las empresas nacionales, a través de método de construcción de un dispositivo modelo que nos permita controlar las pérdidas por transferencia de calor de las muestras con el exterior, donde se realizarán las validaciones de variación de temperatura en ambas caras de las muestras de bloques de construcción con las dimensiones dictadas por las normas nacionales, esperando así poder obtener resultados alentadores para los productos fabricados localmente.

Posterior se realiza la valoración del flujo de calor dentro del área, se evalúan el calor emitido de la resistencia hacia el bloque y se determina la transferencia de energía en el sistema. Los datos obtenidos nos servirán como muestra para poder tener una visibilidad del tipo de construcción de los bloques de mampostería.

## IV. Diseño Metodológico

La investigación se desarrolla con el procedimiento de cálculo del factor de conductividad térmica en bloques de mampostería elaborados en el territorio Nacional, a través de la experimentación, por medio del cual se requiere un dispositivo de placa calefactora protegida con flujo de calor bidimensional (ASTM C-177), con un volumen de control, este método puede ser aplicado a una amplia variedad de especímenes con densidades diferentes y fluidos específicos.

El dispositivo fabricado con paredes de material aislante ya sea fibra de vidrio mineral o sintética, poliestireno o poliuretano, tiene como fin contener los especímenes y reducir pérdidas energéticas (Calor) a través de las paredes perimetrales, los especímenes en mención se intercalan entre la placa caliente (resistencia eléctrica), elemento en transmisión de calor.

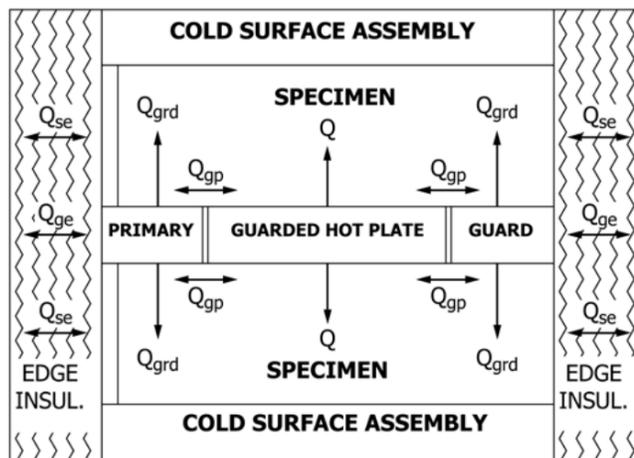


FIG. 2 Illustration of Idealized Heat Flow in a Guarded-Hot-Plate Apparatus

Figura #2. Perfil superior de un dispositivo de placa caliente protegida adaptada del Norma ASTM C177, 2019, Estados Unidos

El modelo del dispositivo para medición de la conductividad térmica tendrá dimensiones específicas para poder contener tanto los especímenes y la resistencia eléctrica de manera que no tenga holguras o espacios para pérdidas energéticas en dependencia del rango de aplicación y la exactitud del cual se requiere el factor de conductividad. Se realizarán pruebas de aislamiento validando que no haya porosidades.

En la parte eléctrica y control encontramos los dispositivos de monitoreo de mediciones tanto de los gradientes de temperatura en las caras opuestas al intercambio de calor directo e indirecto, estos sensores son llamadas termocuplas, las cuales tienen un funcionamiento sensando basado en la variación de temperatura, consistiendo en 2 metales conductores de diferentes naturalezas a diferentes temperaturas creando campos de conductividad baja, el segundo dispositivo es controlador de temperatura, el cual transforma las señales de las termocuplas en creado por el efecto Seebeck el cual a diferentes temperaturas generan diferencial de ohmiaje o resistividad al flujo de corriente eléctrica, si se agrega una fuente de voltaje esta tendrá una variación del voltaje esto se interpreta como una señal eléctrica analógica.

La resistencia eléctrica será la que suministre el calor transformando la energía eléctrica en energía térmica por el efecto Joule el cual es un fenómeno en el que los electrones en movimiento de una corriente eléctrica impactan contra el material a través del cual están siendo conducidos. La energía cinética que tienen los electrones se convierte entonces en energía térmica, calentando el material por el que circulan.

Por otro lado, el generador de energía que realizará la conversión de energía eléctrica a térmica será una resistencia el cual emitirá calor de acuerdo a la intensidad de corriente controlada para generar la energía necesaria y poder realizar la medición de temperatura que nos ayudará a determinar los diferentes factores de conductividad térmica con diferentes cantidades de energía emitidas y como el calor se transfiere a diferentes temperaturas.

## **4.1 Mampostería**

Se conoce como mampostería al arreglo o sistema de elementos apilados, ensamblados o unidos con un aglutinante ya sea mortero u otro material con características de adherencia o argamasa a nivel molecular. Con el fin de fabricar edificaciones horizontales y/o verticales. Estos elementos o materiales pueden ser bloques, ladrillos elaborados de conglomerados de cemento, hormigón, rocas, arenas según la aplicación (Norma mínima de diseño y construcción de Mampostería, MP-001, 2017).

## **4.2 Bloque de Concreto**

Material que conforman las unidades de concreto, estas pueden tener formas y tamaños diferentes en concordancia con el uso. Estos bloques por lo general con forma rectangular solidos o con agujeros, manufacturados con arcilla, concreto (grava, arena, o piedra triturada y Cemento Portland) compactado u otros componentes que le den rigidez y resistencia a la compresión no menor de 80Kg/cm<sup>2</sup>.

### **4.2.1 Tipos de bloques**

Tenemos varios diseños en relación con la aplicación de la construcción de la estructura,

#### **a) Bloques huecos de 2 agujeros:**

Utilizados en la construcción general conocidos comúnmente con “bloques de gafas”, con agujeros en forma de ovoide, elaborados con arena, grava y cemento Portland, en proporciones definidas con humedad superior al 80%, comprimidos en moldes de acero y vibrados para remover el aire que pudiese acumularse dentro.

**b) Bloques huecos de 3 agujeros:**

Llamados multicámara, usados en aplicaciones con altas cargas para muros de contención de una sola hoja, estos suelen usarse cuando hay altas cargas axiales.

Bloque solido:

Son los que presentan en su sección más desfavorable un área neta por lo menos del 75% del área bruta.

Estos bloques suelen tener un procedimiento de fabricación no muy compleja, pero requieren varios procesos previos para su elaboración: Mezclado de materiales, moldeado, fraguado, curado y secado.

**4.3 Especificaciones técnicas de Muestras:**

En el país se rigen por la norma NTON 12-008-16, "Materiales de Construcción. Bloque Hueco y Sólido a Base de Cemento y Agregados Pétreos. Requisitos y Evaluación de la Conformidad", la cual a como se mencionó anteriormente se encarga de regular la elaboración de materiales de construcción. Dando la pauta en los parámetros de fabricación tanto en las dimensiones, especificaciones de materiales utilizados (cemento y agregados), así como las pruebas de rigor para determinar su resistencia Mecánica.

Ancho x alto x largo (cm)	Espesor mínimo de paredes exteriores (mm)	Espesor mínimo de paredes interiores (mm)
9 x 19 x 39	20	20
10 x 19 x 39	20	20
14 x 19 x 39	25	25
15 x 19 x 39	25	25
19 x 19 x 39	25	25
20 x 19 x 39	25	25
25 x 19 x 39	32	30
30 x 19 x 39	32	30

Tabla #1. Tabla de dimensiones de bloques de concreto (mampostería)  
adaptación Norma NTON 12-008-16, 2016, Nicaragua

Tipo de bloque	Largo Nominal cm	Largo Real cm	Ancho Nominal cm	Ancho Real cm	Alto Nominal cm	Alto Real cm
BE-1 de 10 cm	40	39	10	10	20	19
BE-1 de 15 cm	40	39	15	15	20	19
BE-1 de 20 cm	40	39	20	20	20	19
BE-1 de 25 cm	40	39	25	25	20	19
BE-1 de 30 cm	40	39	30	30	20	19
BE-2 de 10 cm	40	39	10	10	20	19
BE-2 de 15 cm	40	39	15	15	20	19
BE-2 de 20 cm	40	39	20	20	20	19
BE-2 de 25 cm	40	39	25	20	20	19
BE-2 de 30 cm	40	39	30	20	20	19
BNE de 10 cm	40	39	10	10	20	19
BNE de 15 cm	40	39	15	15	20	19

Tabla #2. Tabla de clasificación de bloques de concreto, adaptación NORMA  
TÉCNICA OBLIGATORIA NICARAGÜENSE. FABRICACIÓN DE BLOQUES DE  
CONCRETO NTON 12-008-09, 2016, Nicaragua.

Resistencia promedio mínimo para tres piezas	Resistencia mínima a la compresión para una pieza individual
11,81 MPa (1714 psi o 120 kg/cm <sup>2</sup> )	10,63 MPa (1542 psi o 108 kg/cm <sup>2</sup> )

Tabla #3. Tabla Resistencia a compresión de bloques concreto (mampostería)  
adaptación Norma NTON 12-008-16, 2016, Nicaragua

Tipo de bloque	Espesor mínimo de la pared externa ( mm )	Espesor mínimo de la pared interna ( mm )
BE-1 de 10 cm	25	25
BE-1 de 15 cm	25	25
BE-1 de 20 cm	30	25
BE-1 de 25 cm	35	30
BE-1 de 30 cm	40	30
BE-2 de 10 cm	25	25
BE-2 de 15 cm	25	25
BE-2 de 20 cm	30	25
BE-2 de 25 cm	35	30
BE-2 de 30 cm	40	30
BNE de 10 cm	25	25
BNE de 15 cm	25	25

Tabla #4. Espesores mínimos de las paredes externas e internas de los bloques (mampostería) adaptación NORMA TÉCNICA OBLIGATORIA NICARAGÜENSE. FABRICACIÓN DE BLOQUES DE CONCRETO NTON 12-008-09, 2016, Nicaragua.

El espécimen corresponde a bloque de concreto (mampostería) 2 cavidades con dimensiones 20 cm x 19 cm x 39 cm (7.87" x 7.48" x 15.35") con espesor de pared estándar 2.5 cm (1"), basados en la norma de fabricación NTON 12-008-16 (Materiales de Construcción: Bloque Hueco y Sólido a Base de Cemento y Agregados Pétreos. Requisitos y Evaluación de la Conformidad), la cual regula parámetros básicos de fabricación (materiales y dimensiones), clasificación según densidad y materias primas, así como las pruebas de rigor en dictaminar las cargas máximas de compresión, y las evaluaciones de conformidad de cada lote de fabricación.

El modelo seleccionado por consumo en el país es BE-1 de 20cm, utilizado en la construcción nacional.

El siguiente paso buscar los especímenes encontrados en las diferentes fábricas de bloque a nivel nacional, que cumplen con ciertos parámetros mínimos de la norma NTON. Posterior se realizan mediciones de masa, y dimensiones para registrar el volumen de cada ítem, así como su densidad. Se toman mediciones de humedad relativa.

#### **4.4 Ensayo de conductividad térmica.**

Un dispositivo que mida la conductividad térmica funciona basándose en el principio de transferencia de calor por conducción unidireccional y bajo condición de estado estable, entre dos placas frías y una caliente central, en estado permanente para determinar la conductividad térmica con la ecuación

$$\lambda = \frac{q * L}{\Delta T * A}$$

Donde  $\lambda$  es la conductividad térmica del espécimen (W/m K),  $q$  es la rapidez del flujo de calor a través del espécimen (W),  $L$  es el espesor de la muestra (m),  $\Delta T$  es la diferencia de temperaturas a través del espécimen (en grados °C o K),  $A$  es el área de la sección transversal (m<sup>2</sup>). El flujo de calor se obtiene de la medición de la corriente y el voltaje de la resistencia eléctrica que provee el calor

$$q = I * V$$

Donde  $q$  es la rapidez del flujo de calor a través del espécimen (W),  $k$  es la conductividad térmica (W/m K),  $\Delta T$  es la diferencia de temperaturas a través del espécimen (°C o K),  $A$  es el área de la sección transversal (m<sup>2</sup>),  $L$  es el espesor de la muestra (m).

Para la obtener el valor de la conductividad térmica, los especímenes deberán estar en estado estable para realizar las mediciones de flujo de calor, espesor y temperaturas fijas de las superficies de ambas caras del espécimen.

## V. Desarrollo Diseño Metodológico

El estudio inicia identificando las empresas que cumplen con los requisitos de las dimensiones de las dimensiones de los bloques de mampostería o popularmente conocido como concreto, según la norma nacional NTON 12 008-16 y Norma, en donde se establecen las dimensiones mínimas de construcción, materiales a utilizar y las resistencias a compresión.

El presente ensayo será de utilidad en futuras investigaciones que ayudaran al sistema nicaragüense a desarrollar tanto económicamente en la industria energética, proveyendo una reducción en el consumo energético de los hogares nicaragüenses, una disminución en la absorción térmica por radiación solar, siendo Nicaragua país tropical en donde las temperaturas oscilan entre los 25° a 39°C en un ambiente donde no se toma en consideración la sensación térmica con la humedad relativa del medio.

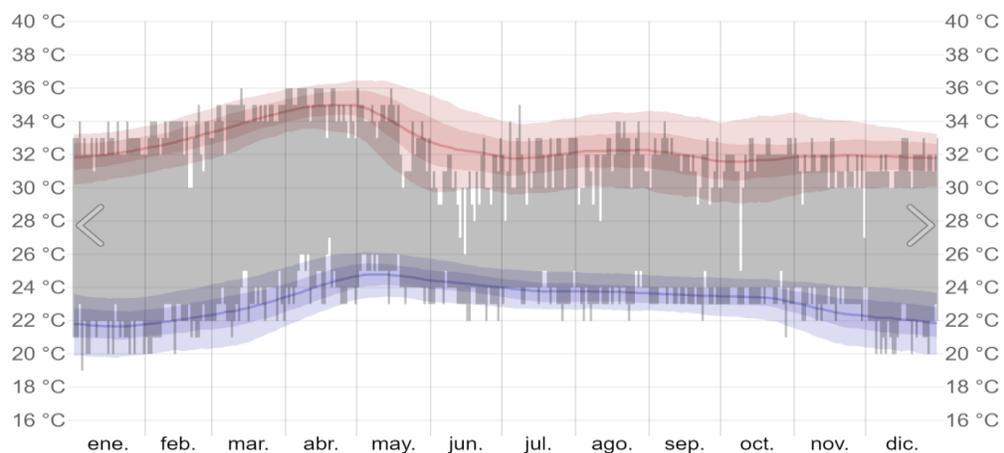


Gráfico #1 Datos históricos de temperaturas del 2022 en Nicaragua, adaptada de página web <https://es.weatherspark.com/h/y/14372/2022/Datos-históricos-meteorológicos-de-2022-en-Managua-Nicaragua#Figures-Temperature>

La temperatura media predominante de los días cálidos en la región del pacifico fue de 34°C (fuente, Ineter.com.ni/met.html). Los bloques son cuerpos solidos que poseen uno o varias cavidades transversales en su interior, de manera que del 50% al 75% sea material sólido. El bloque analizado en esta investigación es de 39 cm x 20 cm x 14 cm, con 2 cavidades.

La obtención del material para los ensayos se obtuvo de manera local.

### 5.1 Construcción modelo dispositivo de placa caliente protegida

Material	Cantidad/Dimensión	Unidad/Rango	Modelo
Gypsum resistencia (Yeso)	2.5 x 4 x 0.02	Metro (m)	
Poliestireno expandido	2 x 3 x 0.02	Metro (m)	
Foam tape	10	Metro (m)	
Perfil hoja lata (Tipo C)	5	Metro (m)	
Control de temperatura	2	-50°C a 105°C	T-900
Termocupla	4	-50°C a 900°C	Tipo K
Interruptor	1	115/220V 15/20A	
Luz Piloto	2		Lexo
Cable	5	Metro (m)	
Alambre	2	Metro (m)	
Toma corriente	1	-	
Transformador	1	120V/240 V	M250MLTAC3M

Capacitor	1	15 mf +/- 4	-
Resistencia	2	115W / 120V	-
Bloque (Concreto)	2	39 x 19 x 14	-

Tabla #5. Materiales utilizados para el diseño y fabricación de dispositivo de transferencia de calor de placa caliente, 2023, Nicaragua

Fabricamos el dispositivo, con el exterior de armazón con láminas de material tabla yeso (GYPSUM), para dar soporte al material seleccionado aislante, con forma cubica escalonadas con dimensiones longitud 64 cm, 40 cm de ancho y 28 cm de alto.



Figura #5 Ensamblaje de armazón de dispositivo de placa protegida en material tabla yeso (GYPSUM) con refuerzos en lámina aluminio, 2023, Managua

El escalón donde se encuentran las conexiones eléctricas tiene 18 cm de alto. El interior de la cámara donde estarán las muestras esta fabricadas con láminas contrapuestas de poliestireno expandido con 2cm de espesor, adheridas con silicón de alta temperatura, la cámara tendrá las dimensiones de 40 cm de longitud, 28 cm de ancho y 28.5 cm de alto. No se realizaron cálculos de resistencia del conjunto estructural, debido a que el dispositivo no estará sometido a esfuerzos considerables. El dispositivo está constituido por 2 paneles de gypsum (a), dos laminas dobles de poliestireno expandido (c), foam tape(b) y una placa caliente (d), como se representa esquemáticamente.

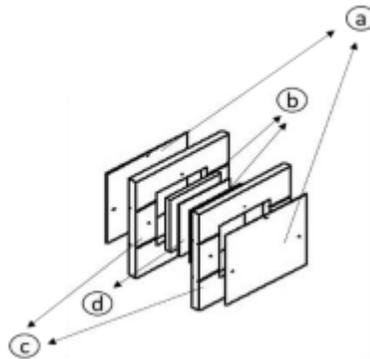


Figura #6 Esquema ensamble de dispositivo de placa protegida en material tabla yeso, poliestireno expandido y Foam tape 2023, Managua

El dispositivo se divide en 2 partes, las cuales son:

### 5.1.1 Cavidad **aislada**

En esta sección del dispositivo se encuentra el área controlada para introducir los 2 especímenes (Bloques) sometidos a transferencia de calor por convección, la cavidad está conformada por poliestireno expandido, adheridos con foam tape, podemos observar las 4 termocuplas tipo K, estas estarán realizando la detección de los cambios de temperatura y enviarán señales eléctricas digitales a los controladores.



Figura #7 Cavity Aislada de dispositivo de placa protegida en material poliestireno expandido y Foam tape 2023, Managua

## 5.2 Panel de control

De manera automatizada, controla y proyecta el diferencial de temperatura registrada entre las termocuplas en contacto directo con los especímenes introducidos la cavidad interna, de igual manera contiene las luces pilotos y el interruptor que nos permitirán accionar el circuito para activar las resistencias de cerámica.



Figura #8 Panel de control dispositivo de placa protegida, con los controladores, y paro emergencia, 2023, Managua

La conexión eléctrica establecida fue en base a las configuraciones programadas en las funciones del controlador, estas transforman las señales eléctricas analógicas en señales eléctricas digitales, proyectando en pantalla la temperatura registrada por las termocuplas.

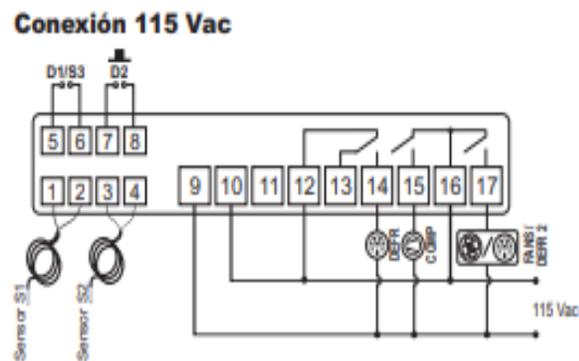


Figura #9 Diagrama de conexión controlador temperatura dispositivo de placa protegida, con los controladores, Luces piloto y paro emergencia, 2023, Managua

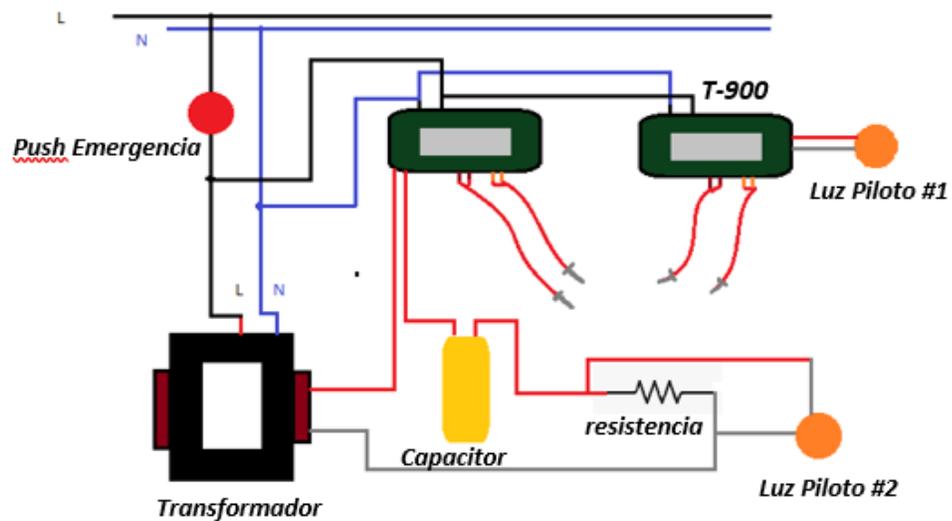


Figura #10 Diagrama de conexión eléctrica de fuente, controladores, termocuplas y paro emergencia, dispositivo de placa protegida, 2023, Managua



Figura #11 Cabina de control dispositivo de placa protegida, se puede observar el laborioso trabajo de instalación eléctrica, 2023, Managua

### 5.3 Programación Control Diferencial



Figura #12 Controlador de temperatura T-900, utilizado en dispositivo de placa protegida, 2023, Managua

Como control de temperatura se instalará 2 controladores T-900.

El control de temperatura es de amplia aplicación, cuenta con 58 funciones las cuales son programables.

El controlador cuenta con amplias aplicaciones, ya sea en sistemas sometidos a bajas y altas temperaturas, en este caso se usará la función F02 diferencial de control, para programar adecuadamente es necesario tener en cuenta la tabla de parámetros.

Fun	Descripción	CELSIUS			
		Mín	Máx	Unid	Patrón
F01	Código de acceso	0	999	-	0
F02	Diferencial de control (histéresis normal)	0.1	20	°C	2
F03	Desplazamiento de la indicación de la temperatura ambiente S1 (offset)	-20	20	°C	0
F04	Mínimo setpoint permitido al usuario final	-50	105	°C	-50
F05	Máximo setpoint permitido al usuario final	-50	105	°C	105
F06	Retraso en la puesta en marcha (activación)	0 (NO)	30	min.	0 (NO)
F26	Setpoint normal	-50	105	°C	-15

Figura #13 Programación Controlador de temperatura T-900, 2023, Managua

Como paso número uno se debe usar la función F01 en el cual se ingresará el código 123 para tener el acceso y programar cada función.

Usamos F02 seleccionando el diferencial con el cual debe de operar inicialmente, se programa en 0.1 ya que ambas sondas están sometidas a la temperatura ambiente, esto con el fin de que el controlador inicie su operación al censar un diferencial de 0.1.

De igual manera se usará la función F26 para realizar el corte por temperatura, para seleccionar la temperatura adecuada a programar se realizó una prueba previa.

Se programo al máximo la temperatura en el controlador (105°) para verificar la temperatura máxima alcanzada en la cavidad con los especímenes en contacto directo, este proceso se realizó durante un lapso de 75 minutos, tiempo en que alcanzo su máxima potencia.

#### 5.4 Resistencia Térmica

Datos de la Resistencia

$$P = 115 \text{ W}$$

$$V = 100 \text{ V}$$

$$P = V * I$$

$$I = \frac{115 \text{ W}}{100 \text{ V}}$$

$$I = \mathbf{1.15 \text{ Amp}}$$

La razón del flujo de calor a través de cada muestra es

$$Q = \frac{1}{2} \dot{W}_e = \frac{1}{2} * (115 \text{ w}) = \mathbf{57.5 \text{ W}}$$

Dicho lo anterior el amperaje se divide entre cada muestra

$$I = 1.15 * \frac{1}{2} = \mathbf{0.575 \text{ A}}$$

Debido a la simetría, solo la mitad del calor generado fluirá a través de cada muestra. Leer la misma diferencia de temperatura de un lado a otro con la misma distancia en cada una de las muestras también confirma que el aparato posee simetría térmica.

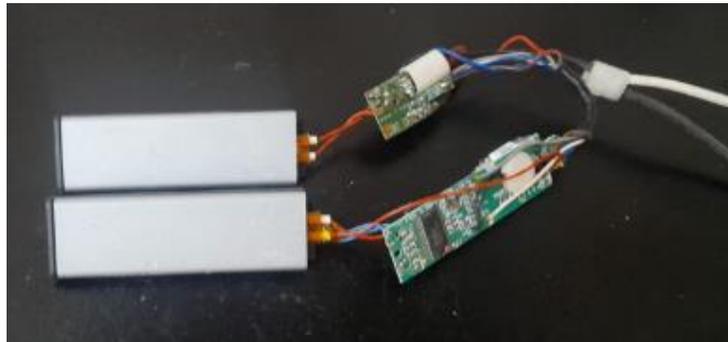


Figura #14 Resistencia Térmica de cerámica, 2023, Managua

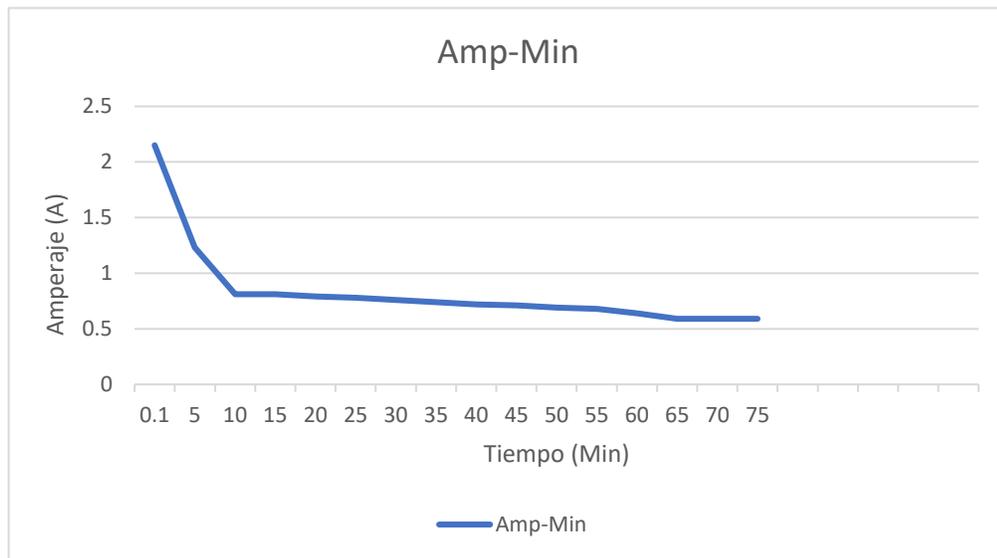


Gráfico #2 Diagrama Amperaje - tiempo en Resistencia Térmica de cerámica, indica el tiempo requerido para estabilizar la temperatura de las muestras 2023, Managua

Detallamos los accesorios de control automático para tener un monitoreo constante de la temperatura. Las termocuplas o termopares (proviene del inglés, thermocouple), cumplen la función específica de transformar la temperatura en señal eléctrica debido a su diseño, transforman la resistividad eléctrica de sus elementos internos en diferencial de ohmios.



Figura #15. Termocupla tipo K, dispositivo que transforman los cambios de temperatura en señales eléctricas, rango de 0° a 750°C, 2023, Managua.

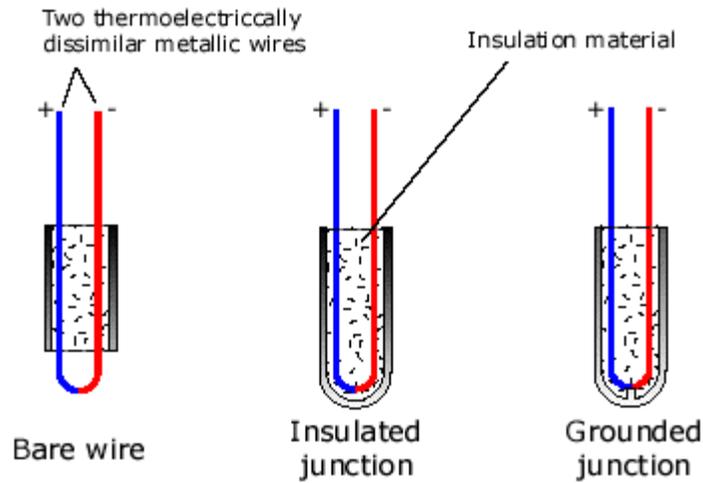


Figura #20 Funcionamiento de mecanismo de Termocupla adaptación de página web, 2020, Managua

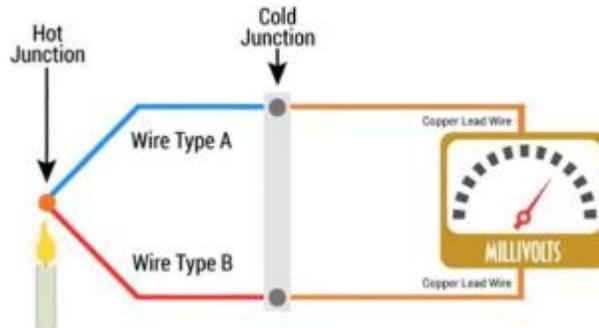


Figura #21 Funcionamiento medición voltaje de Termocupla adaptación de página web, 2020, Managua

El controlador de temperatura es el cerebro, este dispositivo tiene como función proyectar el diferencial de temperatura que censan las termocupas, de igual manera interrumpir el paso de la corriente que alimentara la resistencia, esto con el fin de controlar los rangos de trabajo de la misma.



Figura #16 Controlador de temperatura, dispositivo transforma señales eléctricas en señales digitales dando lectura de los parámetros, modelo TC-900E, rango: 0° a 105°C, 120V / 230V, Marca: Full Gauge, 2023, Managua

Los accesorios periféricos, son las luces pilotos de activación, y paros de emergencia actuando como interruptores de energía.



Figura #17 luces piloto y paros de emergencia con accionamiento Normalmente cerrados, estos permiten o cortan el paso de la corriente eléctrica a través del circuito eléctrico, Marca: Steck, 2023, Managua

### *5.5 Procedimiento de toma de mediciones de temperatura*

Siguiendo los procesos para realizar la medición de la conductividad térmica es importante verificar previamente cada uno de los parámetros que influyen en una buena lectura.

- Aislamiento adecuado
- Sistema eléctrico apropiado
- Dimensiones exactas

Posterior a la verificación de lo antes mencionado se procede a introducir los 2 especímenes, cada bloque tiene 2 perforaciones con una distancia de 10 cm donde se introducirán las 4 termocuplas. Entre los bloques se introducen las 2 resistencias, respectivamente a la dirección del bloque correspondiente en contacto directo.



Figura #18 Instalación de muestras con sus respectivas termocuplas, Marca: Steck, 2023, Managua.

Una vez introducido todos los elementos se coloca la tapa superior para cerrar herméticamente el dispositivo, esto con el fin de que no exista ningún tipo de transferencia con el medio que los rodea, cabe destacar que el dispositivo no es 100% adiabático, sin embargo, la pérdida de energía es mínima ya que las paredes están aisladas con poliestireno expandido.



Figura #19 Instalación de tapa de dispositivo aislada con poliestireno, 2023,  
Managua

Se acciona el interruptor de potencia y una vez iniciado el proceso la resistencia comienza a emitir calor realizando la transferencia por conducción, de esta manera las termocuplas reciben el calor emitido por el elemento creando un cambio en el voltaje a través de un circuito que consiste en cables metálicos diferentes.

Para obtener el coeficiente de conductividad es necesario obtener el diferencial de temperatura, a continuación se proyecta la tabla del comportamiento del sistema.

Tiempo (min)	Amperaje (a)	T1 (°C)	T2 (°C)	ΔT
0.1	2.15	28.5	28.6	0.1
5	1.23	36.9	28.7	8.2
10	0.81	47.3	29.1	18.2
15	0.81	51.1	30.3	20.8
20	0.79	54.5	31.6	22.9
25	0.78	57.3	32	25.3
30	0.76	60.1	33.8	26.3
35	0.74	64.4	34.2	30.2
40	0.72	67.1	35.7	31.4
45	0.71	70.8	37.4	33.4
50	0.69	74.1	39.2	34.9
55	0.68	77.4	39.6	37.8
60	0.64	79.2	39.9	39.3
65	0.59	80.1	40.1	40
70	0.59	80.1	40.1	40
75	0.59	80.2	40.1	40.1

Tabla #6. Medición de diferencial de temperatura a través del tiempo dispositivo de transferencia de calor de placa caliente, 2023, Nicaragua

## 5.6 Ley de Fourier de la conducción del calor

La diferencia de temperatura de uno a otro lado de la Longitud L del bloque es

$$\Delta T = T1 - T2.$$

Los experimentos han demostrado que la razón de la transferencia de calor, Q , a través de la pared se duplica cuando se duplica la diferencia de temperatura  $\Delta T$  de uno a otro lado de ella, o bien, se duplica el área A perpendicular a la dirección de la transferencia de calor; pero se reduce a la mitad cuando se duplica el espesor L de la pared. Por lo tanto, se concluye que la razón de la conducción de calor a través de una capa plana es proporcional a la diferencia de temperatura a través de ésta y al área de transferencia de calor, pero es inversamente proporcional al espesor de esa capa.

Es decir

Razón de conducción del calor  $\alpha \frac{(Area)(Diferencia\ de\ temperatura)}{(Espesor)}$

o también

$$Q_{cond} = K * A \frac{T_1 - T_2}{\Delta x} = K * A \frac{\Delta T}{\Delta x}$$

Aquí,  $dt/dx$  es el gradiente de temperatura, el cual es la pendiente de la curva de temperatura en un diagrama T-x (la razón de cambio de T con respecto a X), en la ubicación X. La relación antes dada indica que la razón de conducción del calor en una dirección es proporcional al gradiente de temperatura en esa dirección. El calor es conducido en la dirección de la temperatura decreciente y el gradiente de temperatura se vuelve negativo cuando esta última decrece al crecer X. El área A de transferencia de calor siempre es normal (o perpendicular) a la dirección de esa transferencia.

## 5.7 Área del espécimen

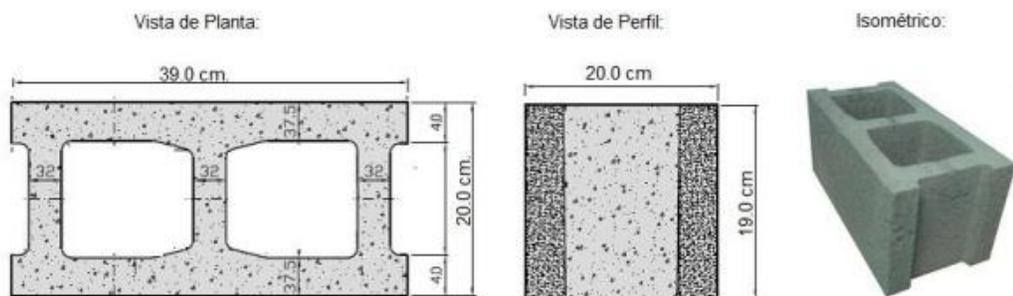


Figura #22 dibujo caras frontal y lateral de bloque de concreta adaptación ficha técnica AGRENIC Managua de página web, 2022, Managua

Área

$$A = h * b$$

$$A = 19 \text{ cm} * 39 \text{ cm}$$

$$A = 741 \text{ cm}^2$$

$$A = \frac{741 \text{ cm}^2}{100^2}$$

$$A = 0.0741 \text{ m}^2$$

Hemos obtenido cada uno de los datos necesarios para aplicar la ecuación de Fourier,

$$Q = K * A \frac{\Delta T}{\Delta x}$$

$$K = \frac{Q * L}{A * \Delta T}$$

$$K = \frac{(57.5 \text{ W} * 0.1 \text{ m})}{0.0741 \text{ m}^2 * 40.1 \text{ }^\circ\text{C}}$$

$$K = 1.93 \text{ w/m }^\circ\text{C}$$

**Conductividades térmicas de diversos materiales en  $W/(K \cdot m)$**

Material	$\kappa$	Material	$\kappa$	Material	$\kappa$
Acero	47-58	Corcho	0,03-0,04	Mercurio	83,7
Agua	0,58	Estaño	64,0	Mica	0,35
Aire	0,02	Fibra de vidrio	0,03-0,07	Níquel	52,3
Alcohol	0,16	Glicerina	0,29	Oro	308,2
Alpaca	29,1	Hierro	80,2	Parafina	0,21
Aluminio	237	Ladrillo	0,80	Plata	406,1-418,7
Amianto	0,04	Ladrillo refractario	0,47-1,05	Plomo	35,0
Bronce	116-186	Latón	81-116	Vidrio	0,6-1,0
Zinc	106-140	Litio	78,38	Cobre	372,1-385,2
Madera	0,13	Tierra húmeda	0,8	Diamante	2300
Titanio	21,9				

Tabla #7 Tabla de conductividades térmicas de diversos materiales adaptación  
Managua de página web, 2022, Managua

## **VI. Conclusiones**

Los resultados de la conductividad térmica de las muestras nos indica que si existe una transferencia de calor hacia el interior del cuerpo, por lo que actúan como material conductor pero con un coeficiente bajo en relación con otros sólidos no metálicos.

Luego de obtener los resultados de las muestras de diferentes fabricantes, se puede decir que los valores varían según el método de elaboración..

Las empresas poseen controles de calidad que mantienen ciertas características como la humedad, peso y densidades y las pruebas de resistencia en muestras aleatorias que toman de producción, pero no contemplan mediciones o procedimientos que ayuden a mejorar el producto final para contribuir a la mejora continua rediseñando sus productos, Se rigen por normas internacionales como ASTM, ASME o ANSI, para elaborar productos.

## **VII. Recomendaciones**

Se recomienda a las autoridades pertinentes un ente más estricto que regule la fabricación y calidad de los bloques de mampostería, con el fin de mejorar el aislamiento térmico.

Una de las consideraciones sería rellenar las cavidades de los agujeros con algún material semi aislante como espuma de poliuretano.

Considerar el uso de aglutinantes de diferentes naturalezas, que se evalúen en laboratorios para su debido control de los parámetros y el medio de estudio.

De esa manera proporcionar un factor clave en la determinación de los factores de conductividad térmica.

## VIII. Bibliografía

Borbón, Ana C., et al. "Determinación experimental y contraste numérico de la resistencia térmica de un muro de bloques de concreto hueco." *Información Tecnológica*, vol. 21, no. 6, Dec. 2010, pp. 163+. *Gale OneFile: Informe\_Académico*, link.gale.com/apps/doc/A355776302/IFME?u=anon~8b315a&sid=googleScholar&xid=cb953810.

Anderson, B. R., *On the Calculation of the U-value of Walls Containing Slotted Bricks or Blocks*, *Building and Environment*: 16 (1), 41-50 (1981).

Majed M. Al-Hazmy. *Analysis of coupled natural convection–conduction effects on the heat transport through hollow building blocks*, *Energy and Buildings*: 38, 515-521 (2006).

Wark, Kenneth; Richards, Donald. 2001 *Termodinámica*. Sexta Edición. Madrid. McGraw – Hill, 2001. ISBN:84-481-2829-X

YUNUS A. ÇENGEL, AFSHIN J. GHAJAR. *TRANSFERENCIA DE CALOR Y MASA, FUNDAMENTOS Y APLICACIONES*.

Cuarta edición, The McGraw-Hill 2011

## IX. Cronograma de Ejecución de Proyecto Monográfico

CRONOGRAMA DE ACTIVIDADES												
N°	Actividades	Enero			Febrero				Marzo			
		1	2	3	1	2	3	4	1	2	3	
1	Aprobacion del tema											
2	Recopilacion de datos											
3	Primera revision de avances											
4	Diseño y analisis de camara termica											
5	Fabricacion de camara de medicion termica											
6	Pruebas de control y verificacion de parametros											
7	Calculo de conductividad											
8	Elaboracion de conclusiones											
9	Segunda revision y validacion de errores											
10	Entrega de tesis											

