

Design and construction of an experimental prototype for the evaluation of the thermal response of precast elements

Juan Peralta¹, Emérita Delgado¹, Diana Quizphe¹, Bryan Alcivar¹, José Reinoso¹,

¹ Centro de Desarrollo Tecnológico Sustentable, Facultad de Ingeniería en Mecánica y Ciencias de la Producción Escuela Superior Politécnica del Litoral, Guayaquil, Ecuador, e-mail: jperal@espol.edu.ec

Abstract– *The objective of this work to design a test equipment to obtain real thermal resistance data and apply it in the fabrication of prefabricated walls. To achieve this, ASTM C-177 was used, which indicated that the APCG equipment should have a hot plate and cold plate, both made of aluminum, and between them, the sample, of known area and thickness, was placed where the surface temperatures of both faces were acquired to determine the thermal conductivity using the Fourier law of heat conduction. The results obtained of thermal conductivity of the material given by the client were 0,027 W/mK, with an average temperature gradient of 40.56°C. The structural simulation and tests carried out show that the equipment complies with the parameters given by the standard and the results obtained do not exceed 10% error with the data given by the sample manufacturer.*

Keywords: *Thermal conductivity, Prefabricated wall, APCG ASTM.*

Digital Object Identifier (DOI):
<http://dx.doi.org/10.18687/LACCEI2020.1.1.560>
ISBN: 978-958-52071-4-1 ISSN: 2414-6390

Diseño y construcción de un prototipo experimental para la evaluación de la respuesta térmica de elementos prefabricados

Juan Peralta¹, Emérita Delgado¹, Diana Quizphe¹, Bryan Alcivar¹, José Reinoso¹,

¹ Centro de Desarrollo Tecnológico Sustentable, Facultad de Ingeniería en Mecánica y Ciencias de la Producción
Escuela Superior Politécnica del Litoral, Guayaquil, Ecuador, e-mail: jperal@espol.edu.ec

Abstract—

The objective of this work is to design a test equipment to obtain real thermal resistance data and apply it in the fabrication of prefabricated walls. To achieve this, ASTM C-177 was used, which indicated that the APCG equipment should have a hot plate and cold plate, both made of aluminum, and between them, the sample, of known area and thickness, was placed where the surface temperatures of both faces were acquired to determine the thermal conductivity using the Fourier law of heat conduction. The results obtained of thermal conductivity of the material given by the client were 0,027 W/mK, with an average temperature gradient of 40.56°C. The structural simulation and tests carried out show that the equipment complies with the parameters given by the standard and the results obtained do not exceed 10% error with the data given by the sample manufacturer

Keywords— Thermal conductivity, Prefabricated wall, APCG, ASTM

Resumen—

El presente trabajo tiene como objetivo el de diseñar un equipo de pruebas para obtener datos de resistencia térmica reales y aplicarlo en la fabricación de las paredes prefabricadas, para lograrlo se usó la norma ASTM C-177, el cual indicó que el equipo APCG debe tener una placa caliente y placa fría, ambas hechas de aluminio, y entre ellas, se colocó la muestra, de área y espesor conocida, donde se adquirió las temperaturas superficiales de ambas caras para determinar la conductividad térmica usando la ley de Fourier de conducción de calor. Los resultados obtenidos de la respuesta térmica del material dado por el cliente fueron de 0,027 W/mK, con un gradiente de temperatura promedio de 40,56°C. Las simulaciones estructurales y pruebas realizadas muestran que el equipo cumple con los parámetros dados por la norma y los resultados obtenidos no superan el 10% de error con los datos dados por el fabricante de la muestra.

Palabras clave— respuesta térmica, Pared prefabricada, APCG, ASTM

I. INTRODUCCIÓN

La fabricación de paredes prefabricadas se ha convertido en una industria de crecimiento en el Ecuador, derivado a su a su propiedades físicas, fácil empleo en la construcción y bajo presupuesto. Este tipo de elementos son considerados en el sector de la construcción como elementos de valor agregado ya que permiten incrementar el confort de los hogares debido a que tienen una baja conductividad térmica, el cual está en función del espesor. [1]

Específicamente, los elementos prefabricados de hormigón presentan ventajas económicas, por la reducción de tiempos de producción, transporte, racionalización de recursos, además de la calidad, durabilidad y adaptabilidad estructural y constructiva. En la Tabla I, se muestra los diferentes criterios de clasificación de un panel prefabricado. [1] [5]

TABLA I
CLASIFICACIÓN DE PANELES PREFABRICADOS

Clasificación según:	Panel Prefabricado
Grado de prefabricación	1. Total 2. Parcial
Uso	1. Resistente 2. Cerramiento 3. Ornamental
Tamaño	1. Liviano 2. Pesado
Forma	1. Lineales 2. Bloques 3. Superficiales
Grado de tipificación	1. Normalizados (Perfiles de acero) 2. Tipificados (Viguetas pretensadas para entrepisos) 3. Individuales (Vigas individuales)
Método de ejecución	1. Industrial a gran escala 2. En Taller 3. Artesanal

. Adicionalmente, su desarrollo puede contribuir al cumplimiento de las metas establecidas en los Objetivos de Desarrollo Sostenible (ODS), en particular al ODS 9: Industria, Innovación e Infraestructuras y el ODS 11: Ciudades y Comunidades Sostenibles. Por tales razones, los países desarrollados dentro de sus procesos de innovación tecnológica, se encuentran desarrollando procesos constructivos más competitivos, con altos niveles de calidad y seguridad, que brinden una vivienda económica, digna y sostenible. [2] [3]

Digital Object Identifier (DOI):
<http://dx.doi.org/10.18687/LACCEI2020.1.1.562>
ISBN: 978-958-52071-4-1 ISSN: 2414-6390

II. PROBLEMÁTICA

Al ser un material de reciente aplicación en el Ecuador no se cuenta con la instrumentación necesaria para la caracterización de esta propiedad térmica acorde a requerimientos técnicos o normas local. En la práctica, en el mercado local, existe un déficit en el proceso de manufactura, al considerarse valores de conductividad térmica de materiales que han sido determinados en otras localizaciones de América, lo cual produce dos posibles errores; el primero, el sobredimensionamiento del espesor de la pared, y el segundo, de no satisfacer el aislamiento térmico deseado. [4] [5]

En la práctica, se asume que los materiales que existen en el país tienen similares propiedades a los materiales fabricados en países desarrollados, sin considerar la variación de la composición de las materias primas y los posibles cambios en procesos de elaboración de estos elementos. Dicho esto, se puede entender que existe la necesidad de caracterizar las propiedades los elementos fabricados a nivel nacional, sobretodo evaluando la conductividad denominada “respuesta térmica” del panel terminado, por medio de la estimación de su conductividad térmica a partir de las condiciones ambientales existentes en el Ecuador.

En tal sentido, el presente trabajo tiene como objetivo el de diseñar un prototipo experimental móvil que permita obtener datos conductiva térmica de materiales de elementos prefabricados, utilizando la norma ASTM C-177 como método de ensayo para la determinación de las propiedades.

Paneles prefabricados de producción nacional

El campo de la construcción en el Ecuador se ha mantenido en avance conforme con las necesidades del usuario final. Dentro de este contexto, en los últimos años se producido una migración del modelo de construcción tradicional por una construcción industrializada, donde, las técnicas empleadas regularmente en el sector de la construcción han pasado a ser más innovadoras y automatizadas, donde los componentes estructurales se fabrican en fábricas para después ser transportados y ensamblados en obra directamente.

Finalmente, el sector de la construcción en Ecuador ha buscado también transformarse y renovar sus productos considerando los requerimientos económicos, sociales y ambientales en un marco de sostenibilidad. [5] [6] A partir de estos requerimientos, en el mercado ecuatoriano se pueden encontrar opciones de manufactura de paneles para la elaboración de paredes prefabricadas, como:

- Panelego
- Panel Sandwich
- Láminas de micro hormigón HORMIPOL
- Ecco bloque
- Planchas de fibrocemento
- Aislapanel.

III. MARCO TEÓRICO

Conductividad Térmica

Es una propiedad termo física de transporte propia de los sólidos, aunque también se puede suponer que tiene lugar para los fluidos en reposo. Indica la velocidad con que fluye calor dentro y a través de un material mediante el proceso de difusión, dependiendo de la estructura física del material y estado de la materia. Se puede medir en vatios por metro cuadrado de superficie para un gradiente de temperatura de 1 K por unidad de espesor de 1 m, es decir en Watts sobre metro-Kelvin (W/mK). [7] [8] [9] [10]

La conducción térmica puede se expresada por medio de la ley de Fourier relaciona el transporte de energía por conducción:

$$\vec{q} = -k\nabla T \quad (1)$$

Señalando que la densidad de flujo de calor (q), es directamente proporcional al gradiente de temperatura (T) y de sentido contrario. Es decir, el calor fluye de una temperatura alta a otra de temperatura baja. La constante de proporcionalidad (k) entre (q) y (∇T) se denomina conductividad térmica.

Es importante considerar, que la determinación de la conductividad térmica del material, la cual se considera constante, por la ley anteriormente mencionada, debe realizarse en las siguiente condiciones: transferencia de calor en régimen estacionario, simétrica de la muestra y, además, que exista un flujo de calor unidimensional; es decir que tenga una sola dirección y sea perpendicular al área de medición

Medidor de conductividad térmica

En función del tipo y estado del material de muestra, resulta conveniente usar un determinado tipo de medidor de conductividad térmica según lo indique una norma de referencia. En nuestro caso, la ASTM en el Volumen 04.06: Thermal Insulation; Building and Environmental Acoustics - señala los métodos, procedimientos y equipos regulados para la medición de conductividad térmica para el caso de Materiales sólidos aislantes, Materiales empleados en la construcción, Sólidos conductores metálicos, Fluidos simples o Fluidos complejos. Existen dos métodos para la caracterización de conductividad térmica en régimen estacionario, “el método de la placa caliente guardada” y “el método del medidor de flujo de calor”. [7] [8] [9] [10] [11]

La muestra a caracterizar es un panel prefabricado de hormigón, por lo que se trata de un material sólido aislante y el tipo de equipo propuesto y aceptado por la ASTM es un aparato de placa caliente con guarda. [11] En la práctica los

equipos de medición deberán cumplir los requisitos establecidos en las siguientes normas:

- C 518 –Standard Test Method for Steady-State Thermal Transmission Properties by Means of the Heat Flow Meter Apparatus.
- ISO 8301 Thermal insulation – Determination of steady-state thermal resistance and related properties – Heat flow meter apparatus

Adicionalmente, la selección del instrumento de medición dependerá de las características o requerimientos del prototipo de medición de conductividad térmica, en base a los siguientes criterios:

- Modelo
- Normativa de referencia
- Rango de temperatura de las placas
- Dimensiones de la muestra: Largo, Ancho, Grosor.
- Rango de conductividad térmica

Aparato de placa caliente con guarda (APCG).

El APCG es un equipo para estimar la conductividad y resistencia térmica de materiales aislantes, usando la técnica de transferencia de calor por conducción en estado permanente, usando como referencia los procedimientos establecidos en la norma ASTM C177. [7] [8] [9] [10] [11]

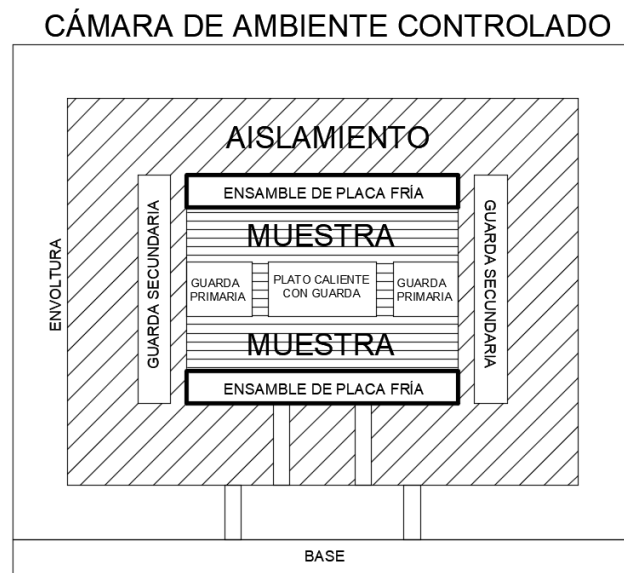


Fig. 1 Vista general de los componentes mecánicos del aparato de placa caliente con guarda

En la figura 1, se puede observar los elementos del APCG, el cual está constituido por una unidad de superficie isotérmica caliente (Placa caliente) y dos unidades de superficies isotérmicas frías (Placas frías). La placa caliente se compone por dos secciones concéntricas, una de medición y la

guarda como aislamiento, ambas fabricadas en un material conductor. Las placas frías están compuestas por una placa superior y una inferior, las cuales funcionan como sumideros del flujo de calor

El objetivo del método es producir un flujo térmico constante a la muestra al suministrar energía al área de medición mediante una fuente de poder (flujo de calor por unidad de tiempo), logrando generar de esta forma un gradiente térmico entre las caras de la muestra. Por otra parte la guarda proporciona la energía necesaria para generar las condiciones de flujo de calor radial al área de medición con el fin de mantener la misma temperatura que el área de medición, evitando pérdidas de calor durante la medición.

Finalmente, con los datos obtenidos, se traza curva de variación del coeficiente de conductividad térmica en función de la temperatura media de las probetas y se determina el coeficiente de conductividad térmica a una temperatura media deseada.

IV. METODOLOGÍA

Requerimiento de diseño

El diseño detallado del prototipo de medición basado APCG, debió considerar las restricciones y requerimientos constructivos, que citan a continuación:

- ✓ Rango de espesor de 60 a 120 mm
- ✓ Rango de temperatura de operación del equipo debe ser de 0-90 °C.
- ✓ Material a emplear para las placas frías y la placa caliente debe ser aluminio o cobre.
- ✓ El equipo debe ser de fácil transportación, con un peso no mayor a 50 Kg.
- ✓ Requerimientos de ensayo señalados por la norma ASTM C 177.
- ✓ Diámetro de la muestra a lo sumo 100 mm

Diseño Conceptual del equipo APCG

La elaboración de los elementos del APCG se basa principalmente en las restricciones de diseño, enumeradas en el párrafo anterior. En relación, al diámetro de la placa caliente o el área de medición es de 300 mm, considerando norma ASTM C 177 recomienda, que el espesor de la muestra debe ser al menos 1/3 del diámetro del área de sección. Por otra, la guarda es una placa con forma de anillo, donde su diámetro interior es de 302 mm mientras que, para el diámetro exterior del anillo, Finalmente La placa fría está compuesta por tres capas, las dos tapas exteriores son de aluminio de un espesor de 4 mm, entre las dos se coloca un tubo de cobre de 3/8 de pulgada; en el cual fluye el líquido refrigerante. (Figura 2).

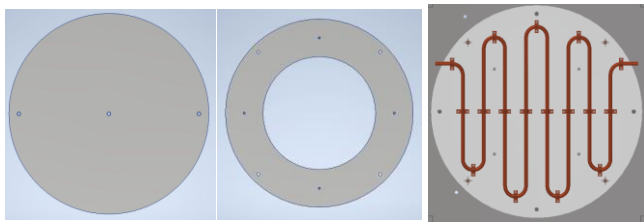


Fig 2. Placas y Guarda del Prototipo

Con el fin de acoplar la guarda con la placa caliente (elemento fijo) y la placa fría (elemento móvil) se coloca un mecanismo formado de un tornillo de potencia con una palanca de desplazamiento que permita dar el avance requerido. El sistema está formado por una barra roscada M13 de acero inoxidable, y su respectiva tuerca con dos varillas soldadas en los extremos actuando como palanca, tal como se observa en la figura .

La placa caliente está compuesta por una resistencia eléctrica plana, la cual se emperna entre las placas de aluminio circular; que funciona a 110V con una potencia de 800 W hasta los 100 °C , controlado por un circuito eléctrico y electrónico , el cual está compuesto por un selector, bracket, piloto contactor y un termostato con salida relé. [12] [13] [14]

La placa fría deberá tener una temperatura de 20°C, por lo cual se acopla un sistema de enfriamiento con un reservorio para el refrigerante, el cual circula a través de una tubería de cobre que se encuentra entre dos placas de aluminio correspondientes a la placa fría.

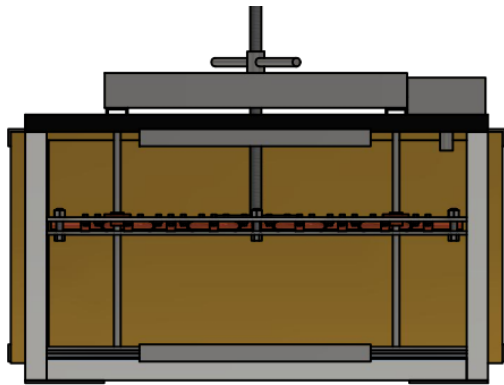


Fig 3. Vista frontal del Acople del tornillo, placas y guarda del Prototipo

Sistema de adquisición de datos

La temperatura de las superficies se registra empleando sensores DS18B20. La señal producida por los sensores de temperatura de la placa caliente, placa de guarda y placa fría es recibida en la placa de expansión del Arduino Mega. En la tabla II, se detallan los elementos de sistema de adquisición de datos.

TABLA II

ELEMENTOS DEL SISTEMA DE ADQUISICIÓN DE DATOS.

Arduino Mega	4 Termocuplas tipo K
Sensor Shield Arduino Mega 2560	8 Termopares DS18B20 Waterproof
Pantalla LCD 20x4	Adaptador DC 5V – 3A
Módulo LCD I2C	Módulo MicroSD

Los sensores de temperatura son del tipo DS18B20 en la presentación de encapsulado sumergible, cuyas especificaciones están dadas en la tabla III. Para la placa caliente se emplearon termopares tipo k, cuya medición fue realizada mediante un datalogger. Para la placa fría y placa de guarda se utilizaron sensores sumergibles debido a las bajas temperaturas del ensayo [12] [13] [14]

TABLA III
CARACTERÍSTICAS TÉCNICAS DE LOS SENSORES DS18B20.

Voltaje de Operación	+3.0 V a +5.5 V	
Temperatura de Operación	-55°C a +125°C	
Error del termómetro	-10°C to +85°C	±0.5 °C
-30°C to +100°C	±1 °C	
-55°C to +125°C	±2 °C	

Estructura del Prototipo

El soporte y cuerpo del prototipo se diseñó con elementos estructurales de acero ASTM A36, unido mediante juntas soldadas. El cuerpo de la estructura se encarga de soportar todos los componentes del equipo. La estructura base fue de tubo cuadrado 1" formando un cubo con dimensiones de 290 mm de alto con un área de superficie de 490 x 534 mm.

Simulaciones

Se realizó un análisis de deformaciones del modelo final del equipo APCG. Se simuló en Autodesk Inventor 2020, las cargas asociadas que se generan durante el ensayo (figura 4). En particular, considerando una carga puntual igual al peso de la mayor muestra a analizar (PS-150), la cual es 71,04 N. Asimismo, la deformación máxima alcanzada por la placa caliente es de 0.0122 mm, lo cual está por debajo de la deformación permisible según la norma ASTM C-177, de 0.07 mm como deformación máxima.

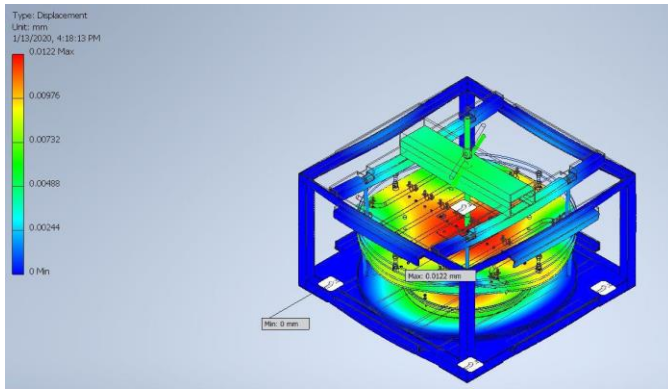


Fig 4. Vista Simulación de deflexión plástica del equipo final APCG.

El dimensionamiento del espesor de las paredes aislantes, se realizó por medio de una simulación en Ansys Steady State Thermal, Determinando un espesor óptimo de espesor de 12 mm. El material de dicha pared se consideró como lana de vidrio, el cual es un material aislante. La cara externa alcanza una temperatura máxima de 22°C. Esto sucede mientras que al interior del prototipo se encuentra a una temperatura 100°C.

V. CONSTRUCCIÓN DEL PROTOTIPO

El proceso de construcción del prototipo se realizó en un lapso de 2 meses con un peso de 30 Kg aproximadamente. En la tabla IV, se detalla los materiales de los elementos del prototipo.

TABLA IV
COMPONENTES DEL EQUIPO APCG.

Elementos del APCG	Descripción	Material	Cantidad	Espesor [mm]
Placa Caliente	Placa plana Diámetro 300 mm	Aluminio	2	4
Placa de Guarda	Placa plana Aluminio Diámetro exterior 500 mm Diámetro interior 300 mm	Aluminio	3	4
Placa Fría	Placa plana Diámetro 500 mm	Aluminio	2	4
Resistencia eléctrica	Placa circular plana Diámetro 500 mm	Resina	1	4

Por otra parte, los termopares tipo K para la placa caliente se situaron azimutalmente a 90°, 180°, 270° y 360°. Asimismo, para la placa fría, se colocaron cuatro termopares DS18B20 sumergibles en cada tapa, las cuales se encuentran a 90°, 180°, 270° y 360°, y se ubicaron a una distancia de 130 mm, medida desde el centro de la placa fría. Por último, para la guarda, se colocaron sensores similares en el diámetro interior, a 45°, 135°, 225° y 315°.

El prototipo terminado se muestra en detalle en la figura 5, donde se puede observar el tornillo de potencia, ubicación del sistema de refrigeración, módulo de control y colocación de los termopares



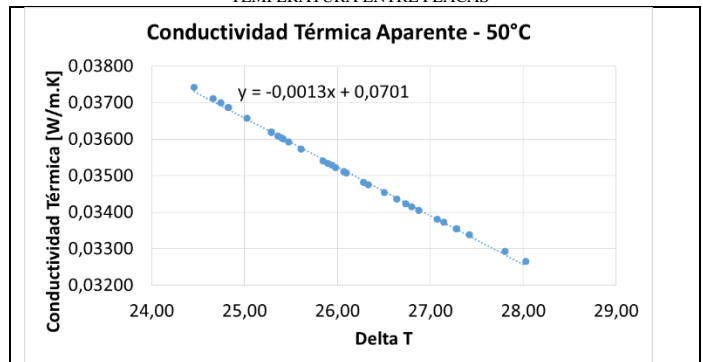
Fig 5. Prototipo terminado

VI. PRUEBAS EXPERIMENTALES

Las pruebas se realizaron para una muestra de panel prefabricado SF 40 PIR a diferentes temperaturas de operación para la resistencia térmica. Las pruebas se realizaron en el equipo APCG fabricado según la norma ASTM C 177. En la tabla V, se muestran la estimación de la conductividad térmica aparente para diferentes rangos de temperatura del placa caliente (50°C, 60°C y 70°C respectivamente) [15] [16]

En la figura 6, se muestra la variación de conductividad térmica aparente durante el periodo de ensayo (aproximadamente 30 minutos). Finalmente en la Tabla VI, se muestra el resumen de tratamiento de los datos registrados y el valor estimado de Conductividad Térmica Aparente (CTA) en relación a temperatura referencial de cada ensayo

TABLA V
GRÁFICOS DE CONDUCTIVIDAD TÉRMICA APARENTE Y VARIACIÓN DE TEMPERATURA ENTRE PLACAS



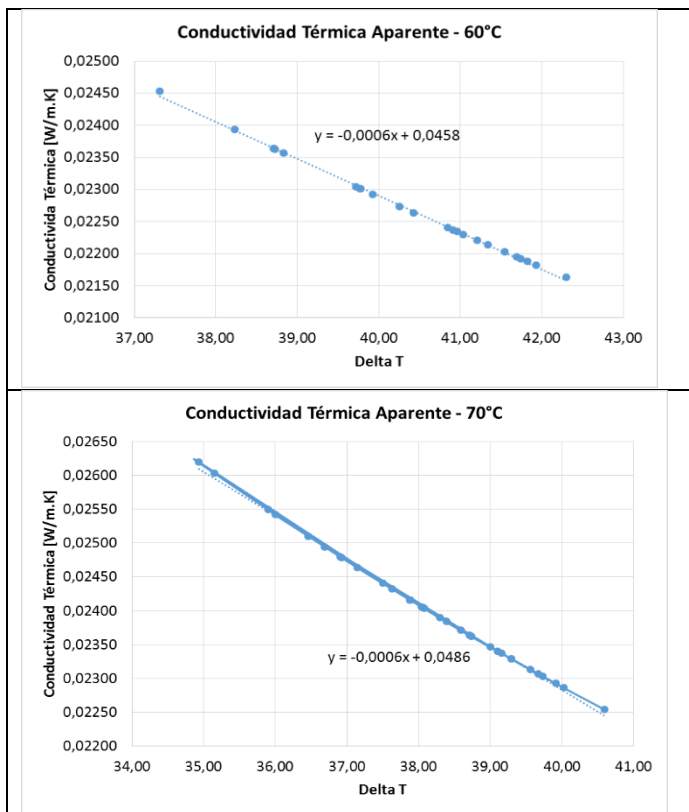


TABLA IV
VALORES OBTENIDOS DE CONDUCTIVIDAD TÉRMICA PARA LA MUESTRA DE PANEL PREFABRICADO.

Flujo de Calor [W]	Área de superficie [m ²]	Espesor muestra [m]	TR [°C]	TPF [°C]	TPC [°C]	ΔT [°C]	CTA* [W/m.K]
0.72	0.034225	0.0435	50	27.94	54.02	26.08	0.0351
			60	28.57	68.89	40.33	0.0227
			70	30.85	68.96	38.11	0.0240

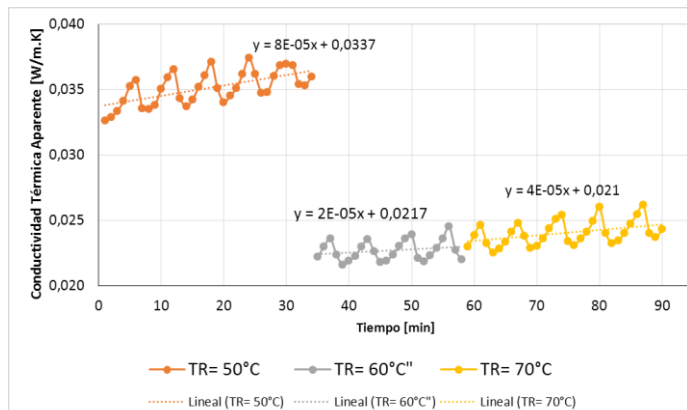


Fig 5. Gráfico de la fluctuación Conductividad Térmica Aparente

En relación al análisis de errores de la medición en comparación a la ficha técnica del material. En la figura 8, se muestran la curva de error empleando los estimadores BIAS y RMSE, para los diferentes valores de temperatura del ensayo.

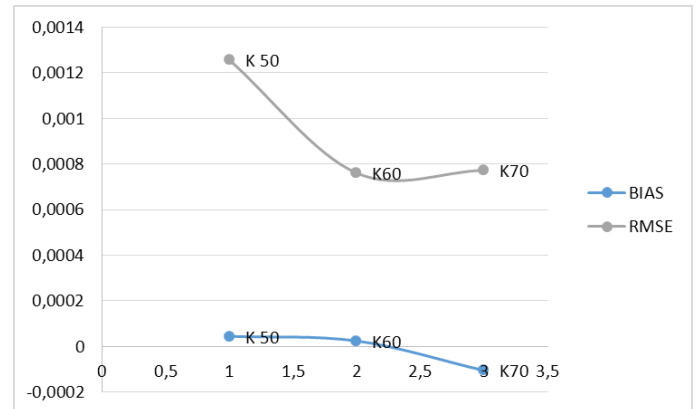


Fig 8. Gráfico de BIAS y RMSE

VII. RESULTADOS

En la figura 9, se muestra la ficha técnica que se obtiene al terminar los ensayos de la estimación de Conductividad térmica aparente para la muestra de panel prefabricado.

Reporte de prueba Conductividad térmica	
Fecha: 20 de enero del 2020	Número de Prueba: 1
Operador: Diana Quizhpi	Duración de prueba: 180 min
DESCRIPCIÓN DE LA MUESTRA	
Identificación: Kutermico wall SF 40 PIR	
Características: Muestra cuadrada de polisocianurato	
Dimensiones: 185x195x43,5 mm	
Nota: No es regular en el área de contacto de la muestra y no está bajo norma.	
DESCRIPCIÓN DEL APARATO	
Aparato de placa caliente con guarda de lado simple de medición y paredes aislantes. (APCG – 001-2019)	
Orientación de los platos: Horizontal	
Modo de operación: Medición de lado simple	
Procedimiento de prueba: ASTM C177-97	
Nota:	
RESULTADOS EXPERIMENTALES	
Variable	Valor Promedio
Flujo de calor (Q) [W]	0.72
Corriente [A]	0.03
Voltaje [V]	24
Temperatura en la placa fría (T _r) [°C]	29.12
Temperatura en la placa caliente (T _c) [°C]	63.96
Área de medición de la muestra (A) [m ²]	0,034225
Espesor de la muestra (L) [m]	0,0435
Conductividad térmica aparente (\bar{k}) [W/m.K]	0,02727
Observaciones: El ensayo se realizó sin las paredes aislantes y el error dado por el fabricante de la muestra es del 7%.	

Fig 9. Ficha técnica

VIII. CONCLUSIONES

El costo final de fabricación del prototipo APCG tiene un valor aproximado de \$3,000.00, considerando la importación de piezas para la construcción de la resistencia térmica y la instrumentación para la medición y registro de temperatura

La simulación realizada Ansys Fluent, permitió comprobar que la resistencia eléctrica construida es adecuada para el ensayo logrando una temperatura de operación máxima de 100°C en 5 minutos. Es importante recalcar que los ensayos del prototipo con las muestras de paneles, la placa caliente llegaban a 100°C en 4 minutos aproximadamente; y con los datos obtenidos por los termopares durante los ensayos, se verifico la homogeneidad de temperatura en toda el área de contacto de la placa caliente.

Adicionalmente, por medio de las simulaciones, se determinó que el equipo APCG no llegaba a la ruptura por el factor de seguridad estimado en un valor de 15, esto se debe al sobredimensionamiento de los elementos elegidos por el equipo pero que son factibles por ergonomía y precio en el mercado

Los resultados obtenidos de la estimación de conductividad térmica aparente de la muestra del panel Prefabricados, PIR 40, tiene un valor 0,02727 W/mK, en comparación al valor registrado en la ficha técnica del fabricante, de 0,028 W/mK, Lo que significa que el equipo tiene un error del 2.68%;

Los valores de BIAS de los ensayo indican que no existe presencia de algún error sistemático en el protocolo de ensayo, adicionalmente la precisión en la estimación de la conductividad térmica aparente mejora en función al incremento de temperatura del ensayo

IX. REFERENCIAS

- [1] C. Vela, "Henry Yandún y Roger Jaramillo - Hacia un futuro sustentable - CLAVE!" [Online]. Available: <https://www.clave.com.ec/2019/03/28/henry-yandun-roger-jaramillo-hacia-futuro-sustentable/>. [Accessed: 21-Sep-2019].
- [2] ONU, "Objetivos y metas de desarrollo sostenible - Desarrollo Sostenible." [Online]. Available: <https://www.un.org/sustainabledevelopment/es/objetivos-de-desarrollo-sostenible/>. [Accessed: 29-Sep-2019].
- [3] ONU, "Infraestructura - Desarrollo Sostenible." [Online]. Available: <https://www.un.org/sustainabledevelopment/es/infrastructure/>. [Accessed: 29-Sep-2019]. ONU, "Ciudades - Desarrollo Sostenible." [Online].
- [4] "PANELEGO - Kubiec." [Online]. Available: <https://kubiec.com/panelego/>. [Accessed: 21-Sep-2019].
- [5] GRÁFICOS NACIONALES SA GRANASA, "Vivienda rápida. Las casas de hoy se construyen en fábricas y se montan

- en el terreno." [Online]. Available: https://www.expreso.ec/vivir/vivienda-rapida-KUgr_8481612. [Accessed: 21-Sep-2019].
- [6] J. F. Sánchez, "Paneles Prefabricados de Hormigón en fachadas." Universidad Politécnica de Madrid, 2010. Sep-2019].
- [7] S. Kalpakjian and S. Schmid, "Propiedades físicas de los materiales.," in Manufactura, ingeniería y tecnología., Quinta edi., México, D. F.: PEARSON EDUCACIÓN, 2014, p. 107.
- [8] F. Incropera and D. De Witt, Fundamentos de transferencia de calor., Séptima Ed. México: PRENTICE HALL, 2014.
- [9] E. D. T. EDIBON, "TCMC. Equipo de Conductividad Térmica de Materiales de Construcción y Aislantes." [Online]. Available: <http://www.edibon.com/es/files/equipment/TCMC/catalog>. [Accessed: 29-Sep-2019].
- [10] S. García Duarte and O. González Rodríguez, "Metodología para la medición de la conductividad térmica de materiales de construcción.," in IV Encuentro Nacional de Metrología Eléctrica., 2012, p. 21.
- [11] ASTM, C 177 – 97 Standard Test Method for Steady-State Heat Flux Measurements and Thermal Transmission Properties by Means of the Guarded-Hot-Plate Apparatus. 1997.
- [12] C. A. Ferriz Rodríguez, "DISEÑO, FABRICACIÓN Y CALIBRACIÓN DE UN DISPOSITIVO PARA LA CARACTERIZACIÓN DE LAS PROPIEDADES TERMOFÍSICAS EN MATERIALES SECOS DE ALTA RESISTENCIA TÉRMICA Y BAJA TEMPERATURA DE USO.," Universidad Autónoma de Barcelona., 2007..
- [13] TA INSTRUMENTS, "Medidor de conductividad térmica – TA Instruments." [Online]. Available: <https://www.tainstruments.com/category/products-es/medidor-de-conductividad-termica-es-8/?lang=es>. [Accessed: 30-Sep-2019].
- [14] TA INSTRUMENTS, "Fox 600 – TA Instruments." [Online]. Available: <https://www.tainstruments.com/fox-600/?lang=es>. [Accessed: 30-Sep-2019].
- [15] K. ; MARTÍN ESCUDERO, A. ; ERCORECA GONZÁLEZ, I. ; FLORES ABASCAL, Z. ; AZKORRA LARRINAGA, and Á. CAMPOS CELADOR, "Diseño de un medidor de conductividad térmica para prácticas de laboratorio - Dialnet," 2013, pp. 1331–1338.
- [16] Á. Vázquez, G. Duarte, and L. Cortés, "MEDICIÓN DE CONDUCTIVIDAD TÉRMICA DE PENCAS DE MAGUEY, MATERIAL QUE SE UTILIZA EN LA CONSTRUCCIÓN DE VIVIENDA TRADICIONAL," 2010.