

Determinación de la Transmitancia Térmica Para Bloques con Polietileno de Tereftalato Reciclado
Determination of Thermal Transmission for Blocks with Recycled Polyethylene Terephthalate

Ing. Luis Paúl Núñez Naranjo, Mg., Tnlgo. Raúl Emilio Andrade Solórzano; Ing. Cristhian José Ortiz Caaspa; Ing. Santiago Isaac Bustamante Sánchez.

APRENDIZAJE

Junio, V°4-N°1; 2023

- ✓ **Recibido:** 30/03/2023
- ✓ **Aceptado:** 12/04/2023
- ✓ **Publicado:** 30/06/2023

INSTITUCIÓN

	Instituto Superior Tecnológico Tsáchila
	Instituto Superior Tecnológico Tsáchila
	Instituto Superior Tecnológico Tsáchila
	Instituto Superior Tecnológico Tsáchila

PAIS

-  Santo domingo – Ecuador
-  Santo domingo – Ecuador
-  Santo domingo – Ecuador
-  Santo domingo – Ecuador

CORREO:

-  luisnunez@tsachila.edu.ec
-  raulandradesolorzano@tsachila.edu.ec
-  cristhianortiz@tsachila.edu.ec
-  santiagobustamante@tsachila.edu.ec

ORCID:

-  <https://orcid.org/0000-0002-6768-0341>

APA.

Núñez, L. Andrade, R. Ortiz, C. Bustamante, S. (2023). *Determinación de la Transmitancia Térmica Para Bloques con Polietileno de Tereftalato Reciclado*. Revista G-ner@ndo, V°4 (N°1). 800– 813.

Resumen

El principal problema en la industria ecuatoriana de la construcción es que no existen materiales de uso convencional con propiedades aislantes tanto de ruido como térmicas, razón por la cual el presente trabajo pretende diseñar bloques pétreos mezclados con Polietileno de Tereftalato reciclado como sustituto del material grueso (ripio), otro objetivo es el de reducir los desechos sólidos generados por el consumo excesivo de envases plásticos y el de reducir la cantidad de calor que pasa al interior de las viviendas. Estos bloques deben ser fabricados bajo la Norma Ecuatoriana de la Construcción por lo que se utilizará como metodología de trabajo el balance energético y su utilidad realizando un estudio de la conductividad térmica y su beneficio en la construcción de viviendas en zonas húmedas muy calurosas como la ciudad de Santo Domingo de los Tsáchilas. La mejora del comportamiento térmico depende de la eficiencia energética de las edificaciones y al adicionar plástico en los bloques se reduce considerablemente el calor, además sirve como un aporte para el buen vivir de la sociedad ecuatoriana.

Palabras clave: bloques, plástico, temperatura, conductividad, resistencia.

Abstract

The main problem in the Ecuadorian construction industry is that there are no materials for conventional use with both noise and thermal insulating properties, which is why this work aims to design stone blocks mixed with recycled Polyethylene Terephthalate as a substitute for thick material (gravel), another objective is to reduce the solid waste generated by the excessive consumption of plastic containers and to reduce the amount of heat that passes into the interior of the dwellings. These blocks must be manufactured under the Ecuadorian Construction Standard, so the energy balance and its usefulness will be used as a work methodology, carrying out a study of thermal conductivity and its benefit in the construction of houses in very hot humid areas such as the city of Santo Domingo de los Tsáchilas. The improvement of the thermal behavior depends on the energy efficiency of the buildings and by adding plastic in the blocks the heat is considerably reduced, it also serves as a contribution to the good living of the Ecuadorian society.

Keywords: blocks, plastic, temperature, conductivity, resistance.

Introducción

Como antecedente en el Ecuador y en la provincia de Santo Domingo de los Tsáchilas específicamente no hay una propuesta seria en materia de reciclaje de productos plásticos, lo cual influye en el desconocimiento por parte de la ciudadanía en el manejo de los polímeros, muchos de estos residuos terminan contaminando los ríos, bosques y reservas naturales, estudios recientes han encontrado en la sangre de animales y seres humanos microplásticos lo que genera una alta preocupación, es importante darle una nueva vida a estos plásticos que no son reutilizados mediante técnicas como la que está presente en este proyecto que busca analizar y mejorar la transmitancia térmica mientras se reduce el consumo energético de las viviendas mediante la combinación de polietileno de tereftalato (PET) y los materiales convencionales, ayudando al planeta reciclando y reduciendo el consumo de materiales pétreos que son utilizados para producir los bloques convencionales de construcción.

Estadísticamente la provincia genera alrededor de 280 a 300 toneladas diarias de basura representando aproximadamente 106.000 TM/año, pero la capacidad de recolección de los residuos sólidos es irregular y varía entre el 66% y 82% en el área urbana y entre un 14% y 25% en zonas rurales. Los vehículos recolectores no realizan recorridos por las calles de la ciudad que no cuentan con capa de rodadura y para las zonas rurales no existe el número suficiente de unidades para abastecer los requerimientos actuales. La acumulación de basura provocada por el déficit de cobertura y por la proliferación de botaderos clandestinos, hizo necesario que en agosto de 2009 el Municipio declare a Santo Domingo en emergencia sanitaria (GADMSD, 2014).

Debido al alto consumo de polímeros y la necesidad de realizar bloques ecológicos se añade plástico Polietileno de Tereftalato reciclado en un 40 por ciento como sustituto del agregado pétreo grueso a la mezcla con agua, arena y cemento, cumpliendo los requisitos mínimos de la Normativa Ecuatoriana de Construcción (NEC – HH – EE) para el diseño de obras residenciales, mejorando el consumo energético y asegurando el confort térmico dentro de las viviendas en función del clima (Hernández, 2011).

Por otra parte, la extracción de agregados finos y gruesos es cada vez más difícil a causa de que las minas cercanas se están agotando dicho material y para obtener este es necesario buscar minas más lejanas, aumentando el recorrido, influyendo en el precio de estas materias primas y el producto final, ese proceso de extracción contribuye a agravar la contaminación ambiental por la emanación de dióxido de carbono y la falta de reciclaje.

Igualmente, otro de los problemas que se debe abordar es el uso de desenfrenado de los plásticos, ya que en la actualidad son uno de los materiales más utilizados tanto en las áreas industriales, como en el uso cotidiano, lo que genera un altísimo impacto ambiental en Ecuador, debido a que el país es uno de los ricos a nivel de biodiversidad marina, la mayoría de estos desechos terminan en los ríos y mares.

De acuerdo a la Normativa Ecuatoriana de Construcción las condiciones climáticas de la provincia de Santo Domingo de los Tsáchilas se encuentra catalogada como húmeda muy calurosa, llegando a alcanzar temperaturas máximas hasta 32 °C y porcentaje de humedad pico de hasta 95 un por ciento, los bloques PET son una alternativa, debido a las propiedades del mismo material que hace la función de un

aislante térmico y una barrera contra la humedad, lo que disminuye la proliferación de hongos y bacterias en las paredes edificaciones (NEC, 2018). Dicho de otro modo, el contenido de esta investigación está encauzado a obtener un uso racional de la energía de las edificaciones

que garanticen un balance energético, limitando las pérdidas o ganancias de calor y cumpliendo con el confort térmico en las viviendas (INCROPERA, 1999). Los resultados y ensayos de este documento permiten establecer los valores máximos de transmitancia térmica y el valor mínimo de la resistencia de aislamiento para paredes exteriores y paredes enterradas.

Materiales Y Métodos

El método utilizado para esta investigación es cuantitativo experimental, cuya finalidad es determinar la conducción térmica desde 0,002 hasta 2,500 W/m-K. Los estudios de casos fueron ejecutados con un rango de temperatura de 10 hasta 40 grados centígrados, con un diferencial de 15°C entre placas (ISO 8302, 1991).

Para la prueba se usó un medidor de conductividad térmica de placa caliente Meter EP500e con almohadillas de relleno y sensores tipo película, usando 6 muestras de 150X150X50 milímetros y con una composición de 60% con materiales convencionales y el 40% con plástico Polietileno de Tereftalato reciclado.

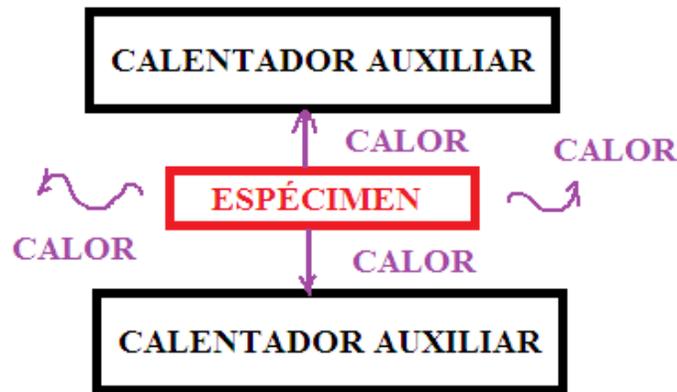


Figura N°1 Procedimiento ensayo conductividad térmica
Fuente: Investigadores

La norma para realizar el ensayo de conductividad térmica establece criterios de laboratorio para la medida del flujo unidireccional del calor a través de dos muestras planas y semejantes de caras paralelas y espesor determinado evaluadas a temperaturas fijas mediante un sistema de placa caliente central y doble placa fría exterior.

Para el ensayo se determina la conductividad térmica mediante la ley de Fourier que consiste en determinar el flujo de calor a lo largo de la muestra de los bloques con Polietileno de Tereftalato reciclado, asegurando una transmisión estable y constante de la energía rigurosamente por conducción en forma perpendicular.

Con el propósito de recolectar datos reales, las técnicas que se utilizaron son la revisión bibliográfica de la normativa Ecuatoriana de la Construcción, páginas web, investigaciones pasadas de la temática.

Selección de la Zona Climática

Para determinar esta variable se recurre a la Norma Ecuatoriana de Construcción para seleccionar la zona climática en la que se encuentra la ciudad de Santo Domingo y

poder calcular la *Eficiencia Energética en Edificaciones Residenciales según la NEC – HS– EE. NEC* (tabla N°1). Ya que el objetivo del estudio es determinar la transmitancia térmica en la provincia se debe tomar este factor predominante como es el clima y la humedad de la ciudad de Santo Domingo de los Tsáchilas.

Tabla N°1. Referencia Zonificación climática

ZONA CLIMÁTICA (Ecuador)	ZONA CLIMÁTICA (ASHRAE 90.1)	NOMBRE
1	1A	HÚMEDA MUY CALUROSA
2	2A	HÚMEDA CALUROSA
3	3C	CONTINENTAL LLUVIOSA
4	4C	CONTINENTAL TEMPLADO
5	5C	FRÍA
6	6B	MUY FRÍA

Fuente: Norma Ecuatoriana de la Construcción

Para establecer los valores mínimos de la resistencia para paredes se toma de la normativa ecuatoriana constituyendo el confort térmico dentro de ambientes no climatizados de la tabla 2.

Tabla N°2. Valores mínimos de Resistencia

Elementos opacos	Habitable				No habitable	
	Climatizado		No climatizado		Montaje máximo	Valor Min. R de aislamiento
Montaje máximo	Valor Min. R de aislamiento	Montaje máximo	Valor Min. R de aislamiento			
<i>Techos</i>	U-0.273	R-3.5	U-3.5	R-0.3	U-4.7	R-0.21
<i>Paredes, sobre nivel del terreno</i>	U-0.857	R-1.0	U-4.61	R-0.2	U-5.46	NA
<i>Paredes, bajo nivel de terreno</i>	C-6.473	NA	C-6.473	NA	C-6.473	NA
<i>Pisos</i>	U-1.825	R-1.5	U-3.4	R-0.3	U-3.4	NA
<i>Puertas opacas</i>	U-3.2	NA	U-3.2	NA	U-3.2	NA
<i>Ventanas</i>	<i>Transmitancia máxima</i>	<i>Montaje máximo SHGC</i>	<i>Transmitancia máxima</i>	<i>Montaje máximo SHGC</i>	<i>Transmitancia máxima</i>	<i>Montaje máximo SHGC</i>
<i>Area translucida vertical ≥45°</i>	U-6.81	SHGC-0.25	U-3.84	SHGC-0.77	U-6.81	NA
<i>Area translucida horizontal <45°</i>	U-11.24	SHGC-0.19	U-11.24	SHGC-0.19	U-11.24	NA

Fuente: Norma Ecuatoriana de la Construcción

Determinación de la Conductividad Térmica (K)

Según Yunus (2007) La conductividad térmica se calcula con la fórmula:

$$K = \frac{P}{t(T_m - T_a)} \quad (1)$$

donde:

P = es la potencia suministrada al calentador principal (W).

t = es el espesor del espécimen (m).

T_m = es la temperatura del calentador principal (°K).

T_a = es la temperatura del calentador auxiliar (°K).

Determinación de la Resistencia Térmica (R)

Para calcular la resistencia térmica de la muestra se utiliza la fórmula

$$Rt = \frac{e}{\lambda} \quad (2)$$

Donde:

e = Espesor del espécimen (m)

λ = Conductividad Térmica del bloque (W/K·m)

Determinación de la Transmitancia Térmica (U)

En el caso de la transmitancia térmica se usa las siguientes variables:

$$U = \frac{1}{Rt} \quad (3)$$

Donde:

U = Transmitancia Térmica ($W/m^2 \cdot K$).

R_t = Resistencia Térmica total ($m^2 \cdot K/W$).

Análisis de Resultados

Para el cálculo de la transmitancia térmica en primer lugar se realiza la ubicación de la zona climática de Santo Domingo en la tabla proporcionada por la Norma Ecuatoriana de la Construcción, tomando en consideración una zona húmeda muy calurosa por lo que según la Sociedad Estadounidense de Ingenieros de Calefacción y Aire Acondicionado pertenece a la zona climática 1A (tabla 1). Con estos datos se ubica en la tabla N°2 y se coteja el valor de la resistencia térmica mínima para paredes sobre el nivel del terreno que es $0.2 m^2 \cdot K/W$.

Con el ensayo realizado a las probetas de bloques con sustituto PET del material pétreo grueso se determina la conductividad térmica como se muestra en la figura 2, realizada en el laboratorio de ensayos térmicos LABET de la escuela Politécnica del Litoral.

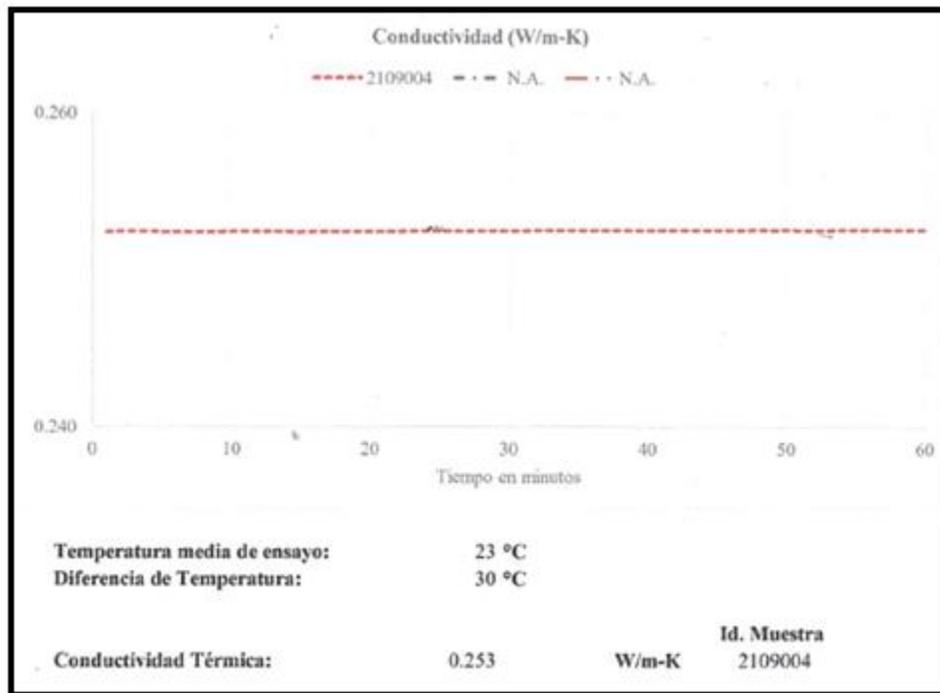


Figura N°2. Ensayo conductividad térmica
Fuente: LABET

Según el ensayo de conductividad térmica se puede ver que el bloque con agregado Polietileno de Tereftalato es de 0.235 W/m-K, mientras que los bloques convencionales su conductividad térmica es 0.62 W/m-K como se muestra en la tabla 3.

Es importante la comparación ya que la adición del plástico triturado combina las propiedades térmicas de los componentes áridos con los polímeros por ende la resistencia y la conductividad térmica disminuyen debido a este aporte del 40 por ciento.

Tabla N°3. Propiedades de paquetes constructivos

Elemento constructivo	Paquete constructivo	Componentes	Espesor (cm)	Densidad (kg/m ³)	Conductividad (W/mK)	Factor-U (W/m ² K)
Paredes	Ladrillo sin revestimientos	Ladrillo	15	1920	0.72	2.79
	Ladrillo con revestimientos	Enlucido exterior	1	1300	0.5	2.55
		Ladrillo	15	1920	0.72	
		Enlucido interior	1	1760	0.72	
	Bloque de concreto	Enlucido exterior	1	1300	0.5	2.35
		Bloque de concreto	15	1040	0.62	

Fuente: Norma Ecuatoriana de la Construcción

Una vez determinada la conductividad térmica se aplica la ecuación 2 y se determina la resistencia térmica total:

$$R_t = R_{si} + R_1 + R_2 + R_3 + R_4 + R_{se}$$

R_{si} = Resistencia Térmica Superficial del Interior

De acuerdo a la zona climática la R_{si} es igual a 0.13 según la ISO 6946:2017

R_{se} = Resistencia Térmica Superficial del Exterior

De acuerdo a la zona climática la R_{se} es igual a 0.04 según la ISO 6946:2017

R_1, R_2, R_3, R_4 = Resistencia térmica de las capas

La resistencia se calcula por cada una de las paredes en este caso son cuatro paredes por lo que las resistencias R_1, R_2, R_3, R_4 son iguales.

$$R_1 = R_2 = R_3 = R_4 = \frac{0,05}{0,235} = 0,2 \text{ m}^2 \cdot \frac{\text{K}}{\text{W}}$$

$$R_t = 0.13 \text{ m}^2 \cdot \frac{\text{K}}{\text{W}} + 4(0,2) \text{ m}^2 \cdot \frac{\text{K}}{\text{W}} + 0.04 \text{ m}^2 \cdot \frac{\text{K}}{\text{W}}$$

$$Rt = 0.97 \text{ m}^2 \cdot \frac{K}{W}$$

Con la ecuación 3 se calcula la transmitancia térmica U:

$$U = \frac{1}{0.97} = 1.03 \frac{W}{m^2 K}$$

Revisando la tabla 3, la transmitancia térmica del bloque con PET reciclado es menor a 2.35 W/m² K establecida en la Norma Ecuatoriana de Construcción.

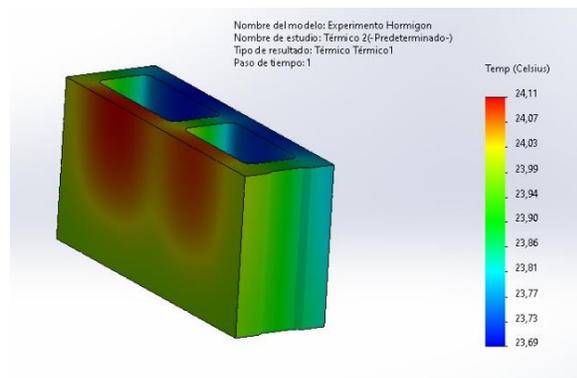


Figura N°3. Conductividad térmica bloque Convencional
Fuente: Investigadores

En la figura N° 3 se puede observar la simulación haciendo uso de un software CAD la transferencia de calor para un bloque convencional, existiendo una reducción de 0.42 grados Celsius.

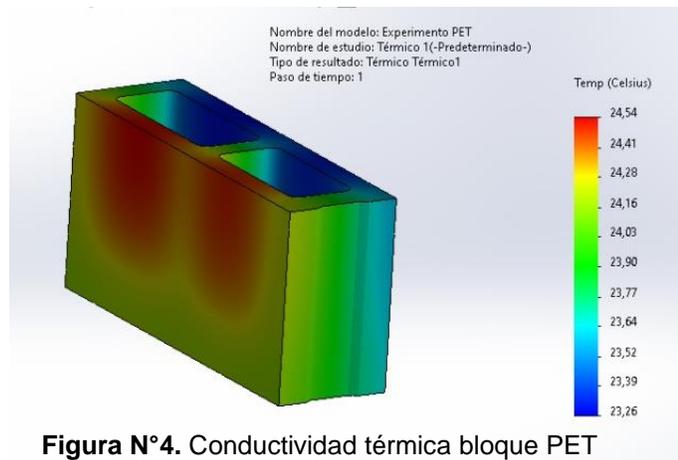


Figura N°4. Conductividad térmica bloque PET

Fuente: Investigadores

En la figura N° 4 se puede apreciar la simulación de la transferencia de calor para un bloque con 40 por ciento de PET, existiendo una reducción de 1.28 grados Celsius. Por tal motivo agregar PET a los bloques ayudan a disminuir el paso del calor, creando un confort térmico en los hogares y edificaciones.

Conclusiones

Realizado el ensayo de conductividad térmica se puede ver que el bloque con adición de Polietileno de Tereftalato reciclado existe una disminución del 37,09 por ciento en relación con los bloques de concreto convencionales. Debido a la condición climática de la zona de Santo Domingo de los Tsáchilas este tipo de bloque es una solución para evitar el paso del calor por las paredes del exterior reduciendo su transmitancia térmica en un 43.83 por ciento. La adición de plástico a los bloques permite tener un confort térmico en el interior de las viviendas en zonas húmedas muy calurosas por la baja conductividad térmica del producto. Considerar la granulometría de la mezcla de los bloques al momento de la fabricación, evitando la porosidad ya que los resultados van íntimamente relacionados con esta variable razón por la cual todos los análisis son comparados con la Norma Ecuatoriana de la Construcción.

Referencias bibliográfica

Hernández, V. (2011). Estudio De Confort Térmico Y Ahorro Energético En La Vivienda De Interés Social Tipo En El Norte Del País. (Tecnológico De Monterrey). Repositorio: File:///C:/Users/Paul_/Downloads/Docstec_11627.Pdf

Plan Nacional De Desarrollo, (2017). Toda Una Vida. Ecuador

AVALLONE, E. (1984). Manual Del Ingeniero Mecánico. Mc. Graw-Hill Interamericana.

BROWN, T. (2004). Química. Pearson Editores.

Instituto Ecuatoriano De Normalización, (2014). Bloques Huecos De Hormigón Requisitos (NTE INEN 643). INEN.

Instituto Ecuatoriano De Normalización, (2014). Bloques Huecos De Hormigón. Definiciones Clasificación Y Condiciones Generales (NTE INEN 638). INEN.

INCROPERA, F. (1999). Fundamentos De Transferencia De Calor. Pearson.

NARANJO, Galo Y Otros (1997). Tutoría De Investigación Científica. Dimerino.

GADMSD, (2014). Plan De Desarrollo Y Ordenamiento Territorial Santo Domingo-Ecuador. GADMSD.

Plan De Desarrollo Estratégico Institucional. (2018). Instituto Superior Tecnológico Tsa'chila. Santo Domingo-Ecuador. ISTT.

YUNUS, A. (2007). Transferencia De Calor Y Masa. Editorial Mcgraw Hill.

Normativa Ecuatoriana De La Construcción, (2018). *Eficiencia Energética En Edificaciones Residenciales (EE)*, Código: NEC – HS– EE. NEC

ISO 8302. (1991). Thermal Insulation: Determination Of Steady-State Thermal Resistance And Related Properties. ISO.
