

Combatiendo el frío en Ticlio Chico: el Tetra Brick como aislante térmico para las viviendas

Roberto Prieto Sánchez
Universidad Ricardo Palma, Lima, Perú
cocorachid@hotmail.com

RESUMEN

Los habitantes del Asentamiento Humano Ciudad de Gosen (conocido popularmente como Ticlio Chico) en el distrito de Villa María del Triunfo, todos los años durante el invierno tienen problemas de salud afrontando una situación de pobreza, debido esencialmente, a una inapropiada envolvente térmica de su vivienda, por lo que se busca evaluar el uso del Tetra Brik como principal componente para un nuevo tipo de techo, debido a la alta resistencia térmica y gran accesibilidad. Se ensayan en laboratorio tres tipos de fijaciones de Tetra Brik para conocer sus valores de conductividad térmica (cajas abiertas, cajas cerradas y cajas cerradas rellenas con bolsas plásticas). Se realizan ensayos de laboratorio y se aplica el procedimiento de cálculo incluido en la norma nacional EM.110 para obtener los valores de transmitancia térmica, comparándolos con los valores de los techos existentes y con lo establecido en la regulación nacional. Los resultados indican que se reduce hasta un 80% la transmitancia térmica si se compara con el techo existente lo que técnicamente es un gran logro debido a que, con el reúso de un envase, de costo ínfimo y accesible para el vecino, se puede mantener su vivienda caliente por más tiempo.

PALABRAS CLAVE: Tetra Brik, transmitancia térmica, análisis bioclimático

Fighting the cold in Ticlio Chico: Tetra Brick as heat assistant for houses

ABSTRACT

Every year during winter, inhabitants of the human settlement Ciudad de Gosen (popularly known as Ticlio Chico) of Villa Maria del Triunfo district, have health problems facing a situation of poverty, essentially due to an inappropriate thermal envelope of their home. Thus, it is sought to evaluate Tetra Brik use as the main component for a new type of ceiling, due to high thermal resistance and great accessibility. Three types of Tetra Brik fixings are tested in the laboratory to know their thermal conductivity values (open boxes, closed boxes and closed boxes filled with plastic bags). Laboratory tests are carried out and calculation procedure included in the national EM.110 standard is applied to obtain the thermal transmittance values, comparing them with the values of the existing ceilings and with what it is established in the national regulation. The results show that the thermal transmittance is reduced up to 80% when compared to the existing ceiling, which is technically a great achievement because with the reuse of a container, of minimal cost and accessible to the people, houses can be kept warmer for a longer period of time.

KEYWORDS: Tetra Brik, thermal transmittance, bioclimatic analysis

Introducción

Los medios de comunicación dan a conocer anualmente acerca de las afecciones hipotérmicas y enfermedades respiratorias que producen las heladas en las zonas altoandinas y los friajes en la Selva, pero también informan que dentro de Lima Metropolitana existe una peculiar y riesgosa zona que por las bajas temperatura que soporta y sus singulares características se convierte en un área muy peligrosa para la salud de sus habitantes.

Es el caso del asentamiento humano Ciudad de Gosen del distrito de Villa María del Triunfo¹, donde en los meses de invierno se siente un inusual frío aun dentro de las viviendas, no solo por las condiciones socioeconómicas, geográficas, climáticas y urbanas sino principalmente debido a que los materiales de construcción utilizados (precarios en la mayoría de los casos pero accesibles para dicha población en situación de pobreza) son inapropiados para las bajas temperaturas que deberían soportar.

Entre los meses de junio y setiembre de cada año se publican masivamente las campañas médicas, donaciones de frazadas, mediciones climáticas, «ayudas humanitarias» y actividades similares que distintas entidades estatales y empresas privadas llevan a cabo en Ticlio Chico. Sin embargo, no se brindan soluciones constructivas para sus viviendas.

Es decir, se conoce que en el mercado existen aislantes térmicos que proveen una alta resistencia a la transferencia de calor, idóneos para edificaciones ubicadas en lugares fríos, pero en muchos casos al ser costosa su adquisición y compleja su instalación y mantenimiento.

El Tetra Brik es una caja de cartón producido por la empresa sueca Tetra Pak que se utiliza para envasar leche, jugos de frutas, etc. Cuando los envases de Tetra Brik se desechan y son trasladados por los recicladores a los vertederos se convierten en residuos inertes, con poco o ningún valor.

Sin embargo, se desconoce que dichos envases están fabricados por una serie de capas de distintos materiales que le proveen una alta resistencia térmica y que la cámara de aire interior del envase aumenta mucho más su resistencia convirtiéndolo en un potencial aislante térmico para la construcción (si es que se reaprovecha). Además, es accesible a la población de menores recursos económicos por su ínfimo costo.

En otros países con distinto clima y diferentes características a las de la zona de estudio, ya se ha probado dicho material reaprovechado, obteniéndose resultados positivos.

Las situaciones expuestas anteriormente sintetizan las razones por las cuales se busca analizar el aislamiento térmico que produce fijar envases de Tetra Brik (ya sea abiertos y cerrados) en el techo de calamina metálica de las viviendas ubicadas en Ticlio Chico (Sector 15).

1 En el presente artículo se utilizará la denominación Ticlio Chico cuando se refiera al asentamiento humano Ciudad de Gosen del distrito de Villa María del Triunfo.

Los resultados tendrán como unidad de medida a la transmitancia térmica ($W/m^2 \cdot ^\circ C$) del techo, que podrán servir además para otros fines, como la comparación del mejoramiento del nivel de confort térmico integral al interior de dicho tipo de vivienda.



FIGURA 1. Condiciones climáticas de invierno en Ticlio Chico. Fuente: diario El Comercio

1. Métodos y técnicas de investigación

1.1. La investigación tiene un Enfoque Cuantitativo, es de Tipo Aplicado y tiene un Diseño Experimental. Su método de investigación es el hipotético deductivo debido a que contiene las siguientes etapas esenciales:

- Observación del fenómeno a estudiar (el bajo desempeño térmico del techo de calamina metálica de las viviendas ubicadas en Ticlio Chico).
- Creación de una hipótesis para explicar dicho fenómeno (el revestimiento del techo de calamina metálica con envases de Tetra Brik, mejorara el desempeño térmico de la vivienda).
- Deducción de consecuencias o proposiciones más elementales que la propia hipótesis.
- Verificación o comprobación de la verdad de los enunciados deducidos comparándolos con la experiencia.

1.2. La población es la conformada por las viviendas ubicadas en el Sector 15 Ticlio Chico. Dicho sector se compone de las últimas cinco filas de vivienda localizadas junto a la cima del cerro, por lo cual percibe condiciones climáticas desfavorables en relación a los sectores inferiores.

1.3. La muestra es No Probabilística y Discrecional puesto que la selección de las unidades se realizó en base al conocimiento profesional. Se seleccionó a la última fila de viviendas ubicada en la parte más alta del Sector 15 debido a que esta zona afronta un conjunto de particularidades (geográficas, climáticas, constructivas, etc.) que la diferencia de cualquier otra zona de Lima Metropolitana, produciendo una mayor sensación de frío que en cualquier otra zona de la capital.



FIGURA 2. Ubicación del Sector 15 en la parte más alta de Ticlio Chico (recuadro segmentado) y última fila de viviendas pegada a la cima del cerro del Sector 15 (sombreadas de rojo).

Fuente: Adaptado de Google Earth.

2. Resultados y discusión

2.1. Levantamiento de información del lugar de trabajo

2.1.1. Aspecto climático y sensación térmica

- a. Según el SENAMHI la temperatura mínima absoluta en los años 2017 y 2018 fue de 12.63°C y 15.57°C respectivamente, mientras que la temperatura de confort recomendada (Wieser, 2006) se encuentra entre 18°C y 21°C.

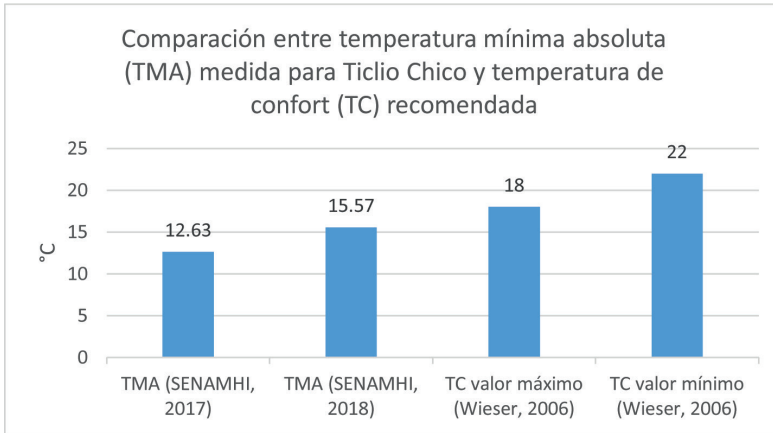


FIGURA 3. Comparación entre temperatura mínima absoluta medida por el SENAMHI (2017, 2018) y la temperatura de confort recomendada por Wieser (2006), en Ticlio Chico.

Fuente: Elaboración propia

Esto quiere decir, que en invierno, Ticlio Chico ha llegado a tener seis grados Celsius menos de lo que se necesita para que las personas se encuentren en confort térmico.

- b. Según el SENAMHI la velocidad máxima de vientos en los años 2017 y 2018 fue de 3.55 m/s y 3.47 m/s respectivamente, mientras que la velocidad máxima recomendada (Ministerio de Fomento de España, 2011; Rulfes, 1999 y Teran, 2004) se encuentra entre 0.5 m/s y 1 m/s. Es decir, en promedio Ticlio Chico llega a tener tres a cuatro veces más de lo recomendado térmicamente.

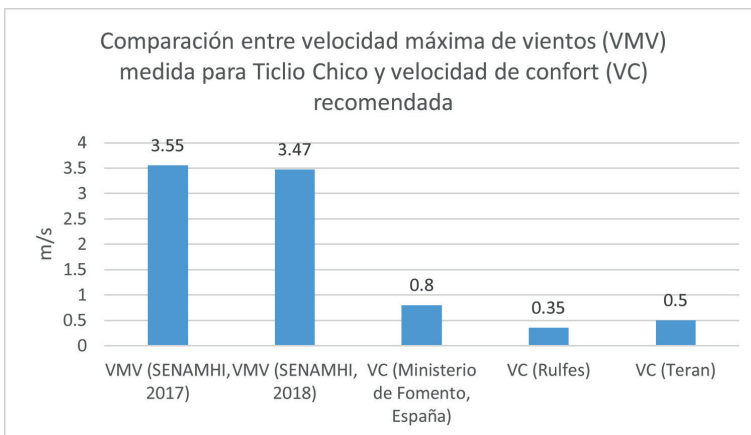


FIGURA 4. Comparación entre velocidad máxima medida por el SENAMHI (2017, 2018) y la velocidad de confort recomendada por el Ministerio de Fomento de España (2011), Rulfes (1999) y Teran (2004), en Ticlio Chico. Fuente: Elaboración propia

Esto quiere decir, que, en invierno, Ticlio Chico ha llegado a tener entre cinco y siete veces más de exceso de velocidad de viento, según lo recomendado para que las personas se encuentren en confort térmico.

- c. La sensación térmica es la temperatura que la persona siente debido a otros factores que intensifican o reducen el impacto de la temperatura ambiental sobre el cuerpo humano. Por ejemplo, en invierno un factor climático que incrementa la sensación de frío es la velocidad del viento mientras que en verano la humedad relativa es lo que incrementa la sensación de calor.

A continuación, se presenta una comparación de los resultados de la estimación de la sensación térmica de frío en las personas que habitan un espacio con una temperatura mínima absoluta y una velocidad del viento equivalente a las mediciones realizadas por el SENAMHI entre los años 2017 y 2018. Para este cálculo se ha tomado de referencia tres procedimientos matemáticos:

- Servicio Nacional del Clima de los Estados Unidos de Norteamérica – SNC EUA (2001).
- Método de Maseras (2016)
- Calculadora de portal web especializado www.lenntech.es

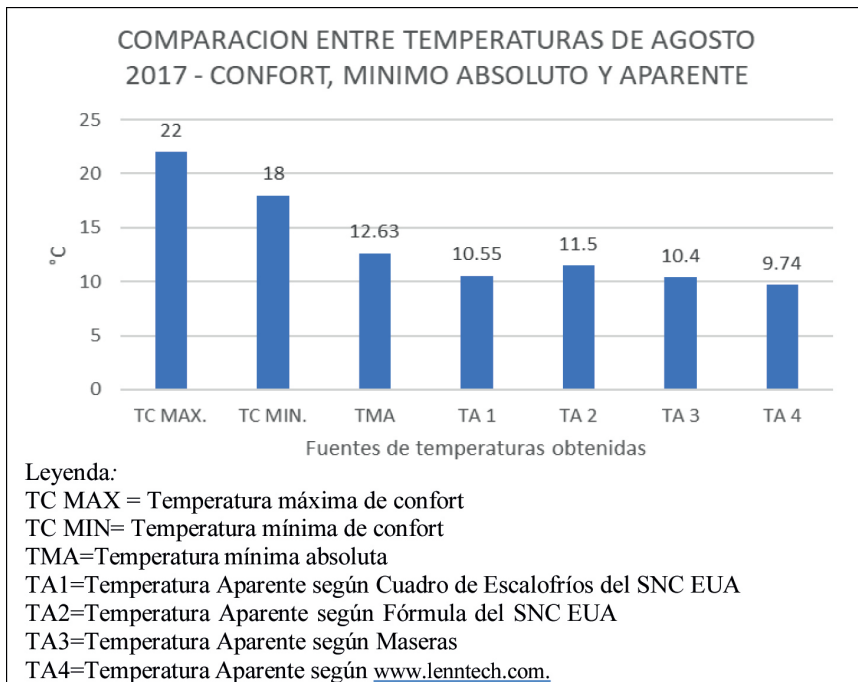


FIGURA 5. Comparación entre las temperaturas aparentes (sensación térmica en °C), con las temperaturas de confort (máxima y mínima) y la temperatura mínima absoluta (SENAMHI, 2017), en Ticlio Chico. Fuente: Elaboración propia.

- d. Existen condiciones geográficas que explican la gran velocidad del viento:
- Ticlio Chico es el primer cerro frente al mar que recibe el viento marítimo directamente.
 - El mar produce vientos húmedos (por la evaporación del agua) y fríos (por la propia temperatura del agua que se reduce aún más, en invierno).
 - Las viviendas del Sector 15 se encuentran a poca distancia del mar (04 km. aproximadamente) y se ubican en barlovento.
 - Se ubican entre los 337 m.s.n.m. hasta los 361.80 m.s.n.m., por lo cual no existen obstrucciones que desvíen los vientos, por lo que impactan frontalmente.

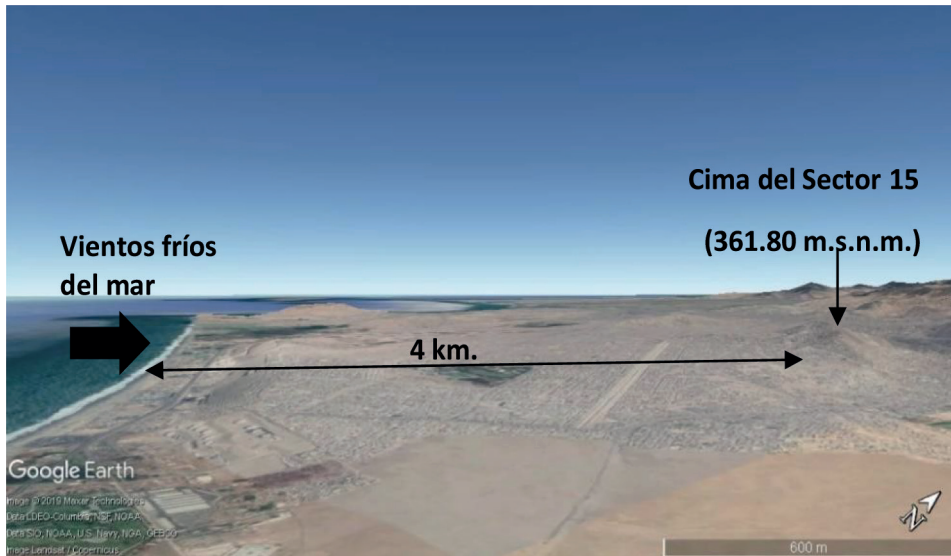


FIGURA 6. Altitud del Sector 15 y distancia al mar. Fuente: Adaptado de Google Earth.

2.1.2. Aspecto urbano y constructivo

- a. Aspecto urbano
- El Sector 15 de Ticlio Chico se compone por once bloques de viviendas.
 - Se disponen escalonadamente de acuerdo al talud con una diferencia aproximada de 3 m. entre los niveles de techos de cada fila de vivienda.
 - Cada bloque está separado por escaleras de cemento (denominados Pasajes, de 1.50m. de ancho) y limitados longitudinalmente por trochas de tierra apisonada (una en la cima del cerro y la otra que lo separa del Sector 14).
 - Las viviendas reciben los vientos con un ángulo de inclinación. Terán (2004) indica que cuando se reciben vientos en ángulo (no perpendiculares) y en una sección menor (pasajes), la velocidad aumenta por el Efecto Venturi.

b. **Ámbito constructivo**

- Las viviendas se conforman por dos o más módulos prefabricados compuestos por paneles de madera capirona machihembrada de 0.01 m de espesor (cada módulo prefabricado tiene unas dimensiones promedio de 6.00 m x 6.00 m)². Los pisos interiores de las viviendas son la misma tierra del cerro que ha sido apisonada, aunque existen viviendas con piso de cemento o de parquet. Respecto a los techos:
 - Todas las viviendas de la muestra tienen techos en base a calamina metálica.
 - Al ser techos planos, de muy poco espesor y estar apoyados sobre los muros de madera de luces amplias se produce un pandeo con el consecuente empozamiento del agua de lluvia.
 - Las planchas tienen traslapes cortos y mal fijados (con clavos, tornillos, piedras, palos o cualquier otro peso) que deja pasar la lluvia o vientos hacia el interior de la vivienda.
 - La forma ondeada de las planchas de calaminas apoyadas sobre los muros y su inadecuada fijación a estos mismos genera infiltraciones no deseadas de vientos. Posteriormente se doblan debido a la fuerza de los vientos.
 - Muy poca distancia de voladizo, produce que la llovizna humedezca el muro de madera.
 - Mal estado general produce alto grado de vulnerabilidad debido a que se ha utilizado materiales de muy baja calidad y el procedimiento que se ha seguido no ha considerado mínimos de criterios técnicos para seguridad.



FIGURA 7. Fotos del estado actual de algunos de los techos de cuatro viviendas que conforman la muestra. Fuente: Elaboración propia

2 Un módulo prefabricado con las características mencionadas cuesta aproximadamente 4,300 soles (1,100 USD, al cambio: agosto 2021) instalado en el lote, sin contabilizar costo de transporte.

Se muestra un registro fotográfico del estado actual de algunos de los techos de cuatro viviendas que conforman la muestra.

2.3.1. Comportamiento térmico de los materiales de construcción

- a. En invierno, el poco calor que pueda generarse en el interior de la vivienda desaparece rápidamente al salirse a través de los muros y el techo (transferencia de calor por conducción). Esto, debido a dos características:
 - El poco espesor de la envolvente térmica (1cm en los muros y entre 0.14 mm a 0.25 mm en el techo).
 - La conductividad térmica del material (madera en los muros y calamina metálica en el techo).
- b. Respecto al techo:
 - Su Resistencia Térmica Total se calcula en base al procedimiento de la norma *ISO 6946 Componentes y elementos para la edificación. Resistencia térmica y transmitancia térmica. Método de cálculo* y tomando los valores de la norma nacional *EM.110 Confort térmico y lumínico con eficiencia energética* del Reglamento Nacional de Edificaciones.

Se aplica la siguiente fórmula: $U_{techo}(W/m^2.°C) = 1 / R_{si} + R_{se} + R_{calmet}$, siendo:

R _{si} , la resistencia superficial interior	0.17 m ² .°C/W, según la norma EM.110
R _{se} , la resistencia superficial exterior	0.05 m ² .°C/W, según la norma EM.110
R _{calmet} (ε/k), la resistencia de la calamina metálica (m ² .°C/W)	0.0000233 m ² .°C/W. El tipo de calamina metálica más utilizada tiene un espesor (e) que fluctúa entre 0.14 mm y 0.25 mm. (0.0014 m. y 00025 m.). De acuerdo a la información brindada por las empresas GERDAU / SIDER PERU y Aceros Arequipa, la conductividad térmica (k) de dicho material es 60 W/m.°C.

Resultando en $R_t = 0.22 \text{ m}^2.°C/W$

- La transmitancia térmica final del techo de calamina metálica se calcula en base a la norma EM.110, por lo cual se aplica la siguiente fórmula: $U_{final \text{ techo}} = \sum(S_i \times U_i) / \sum(S_i) = (S_1 \times U_1) + (S_2 \times U_2) + \dots + (S_n \times U_n) / S_1 + S_2 + \dots + S_n$
Se obtiene el mismo resultado que la transmitancia del elemento calamina ($U = 4.5454 \text{ W/m}^2.°C$).
- Esto quiere decir, que la transmitancia térmica de la calamina metálica deja escapar el calor un equivalente al doble o triple de lo que deja escapar un techo de otro material convencional.

2.1.4. Breve estimación sobre el impacto de los envases de Tetra Brik en la contaminación ambiental de Lima Metropolitana

a. Características generales

- El Tetra Brik es el tipo de envase de Tetra Pak AB más comercializado mundialmente, por su forma de paralelepípedo que facilita que se apile uno junto a otro. La empresa Tetra Pak (s. f.) indica que dicho envase se compone de seis capas, siendo el cartón su principal material que proporciona estabilidad y resistencia, así como suavidad a la superficie externa de impresión. Las cuatro capas de polietileno proporcionan protección contra la humedad exterior y permite que el cartón se adhiera a la capa de aluminio. La capa de aluminio proporciona protección contra el oxígeno y contra la energía solar para mantener el valor nutricional y los sabores de los alimentos dentro del envase a temperatura ambiente.



FIGURA 8. Capas que conforman un envase de Tetra Brik. Fuente: Portal web de Tetra Pak

b. Situación del reúso de los envases de Tetra Brik en Lima

- En el Perú, el Tetra Brik que tiene mayor demanda es el de 01 litro (contenido neto) y el segundo lugar lo ocupa el de 180ml. Considerando que la resistencia térmica de un producto está en función a su espesor y a las características térmicas de las capas de sus materiales, se considera a priori, que a mayores dimensiones, resultará una mayor resistencia térmica.
- Según el diario Gestión (2017), en todo el Perú se recicla en total 1,500 Tn/año de residuos Tetra Brik que equivaldría al 10% de total, por lo cual se estarían desechando directamente a rellenos sanitarios, a puntos informales o a botaderos (sin ningún tratamiento previo) 15,000 Tn/año
- Las 15,000 Tn/año potencialmente desperdiciadas a nivel nacional equivalen a 300 millones de envases al año. Esto, considerando que un (01) envase de Tetra Brik

- vacío pesa entre 30 gramos a 50 gramos, veinte (20) envases equivalen a un (01) kilogramo y veinte mil (20,000) envases equivalen a una (01) tonelada.
- Defensoría del Pueblo (2019) indica que Lima Metropolitana representa el 44% de RSM a nivel nacional, por lo que, aplicando el mismo porcentaje para el Tetra Brik, estaría resultando 132 millones envases/año, desperdiciados.
 - c. Experiencias sobre el reúso de envases de Tetra Brik.
 - Existen diversas experiencias respecto el reúso de envases de Tetra Brik para fines arquitectónicos o como aislante térmico (especialmente en climas cálido-húmedos) pero poca información disponible para climas fríos y muy poca sobre los costos que implica.
 - Los trabajos que incluyen cifras económicas son los destinados a desarrollar plantas industriales en el marco del negocio del reciclaje, es decir, producción en serie de elementos prefabricados a mediana o gran escala, pero que no tienen que ver con su aplicación concreta sobre un techo o muro.
 - Las experiencias de reúso se han aplicado por lo general para proyectos puntuales de baja capacidad económica o para viviendas de emergencia y han tenido resultados prometedores.

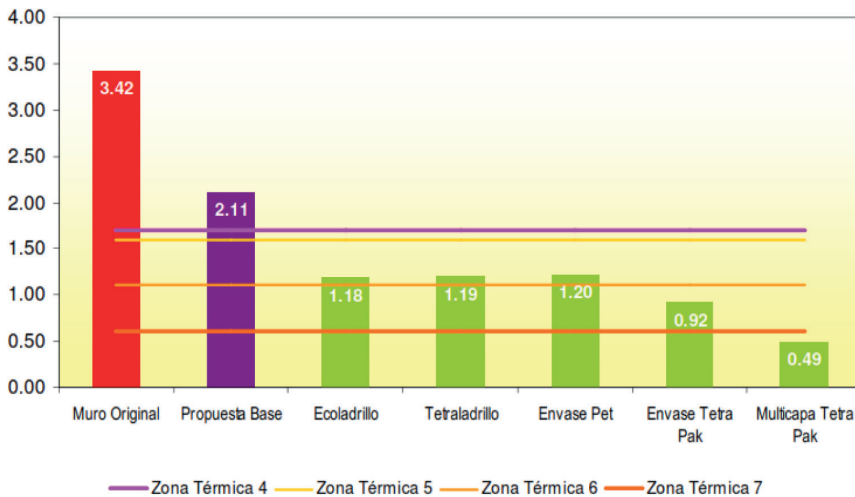


FIGURA 9. Comparación del valor U (W/m2.K) del muro original y de los distintos aislamientos térmicos aplicados mediante Tetra Brik con el valor U exigido por la Reglamentación chilena para cada zona térmica. Fuente: Tesis de Alvaro Lefian (2014)

2.1.5. Diagnóstico

Los pobladores utilizan el techo de calamina metálica para sus viviendas aun teniendo la certeza que es un material inadecuado para el clima de la zona y que influye negativamente en la salud de su familia, debido a que priorizan tres factores: bajo costo

económico (entre S/ 22.90 a S/ 39.90 la plancha de 3.60 m x 0.83 m), facilidad de adquisición, transporte e instalación, así como una legitimación social por su uso masivo.

TABLA 1. Aspectos positivos y negativos del uso de la calamina metálica para los pobladores de Ticlio Chico. Fuente: Elaboración propia

Aspectos positivos	Bajo costo económico en comparación con otros aislantes térmicos industrializados y ofertados en Lima)
	Fácil adquisición, transporte (en mototaxi) e instalación
	Uso social masivo
Aspectos negativos	Características del material utilizado
	Proceso constructivo y mantenimiento

2.2. Propuesta

2.2.1. Tipos de techo

Teniendo en cuenta lo indicado en el numeral 3.5 de este mismo artículo, se presentan a continuación tres propuestas de techo que buscan revertir el significado negativo que brindan ambos productos (calamina metálica y envases reusados de Tetra Brik) y brindar un adecuado comportamiento térmico, así como un reaprovechamiento de residuos para el cuidado medio ambiental y teniendo en cuenta una realidad climática, económica y social como Ticlio Chico.

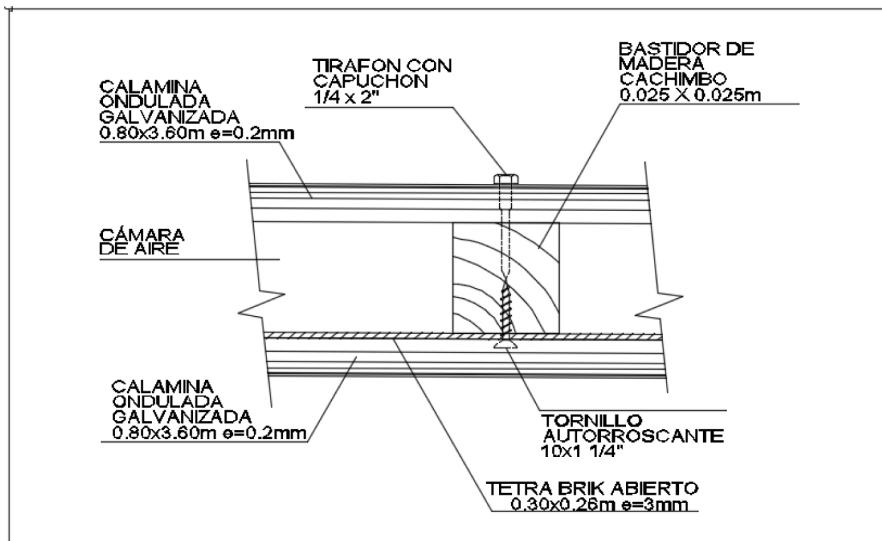


FIGURA 10. Techo Modelo 1. Formado por dos calaminas metálicas unidas por un bastidor de madera. En el interior se ha fijado una capa de envases abiertos de Tetra Brik.

Fuente: Elaboración propia

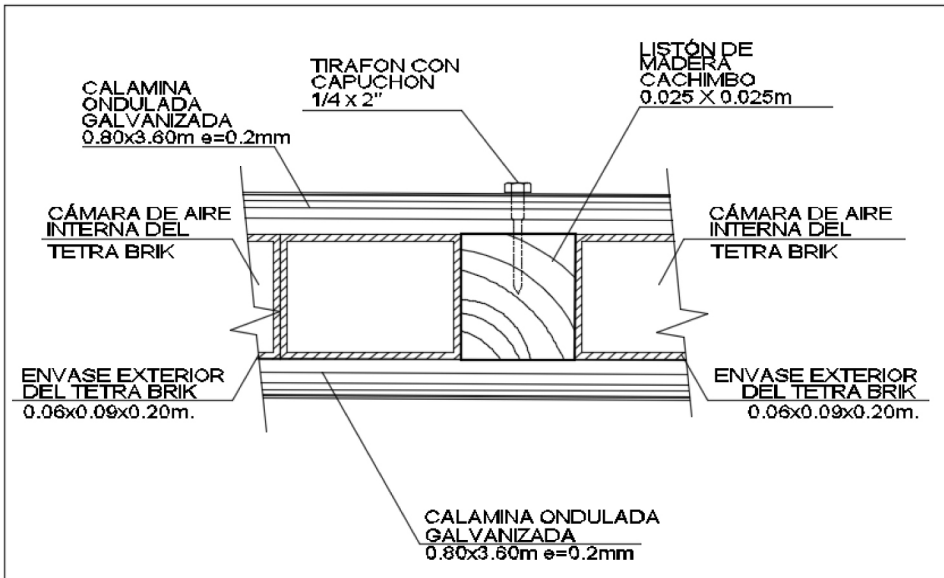


FIGURA 11. Techo Modelo 2. Formado por dos calaminas metálicas unidas por un bastidor de madera. En el interior se ha fijado una capa de envases abiertos de Tetra Brik.

Fuente: Elaboración propia

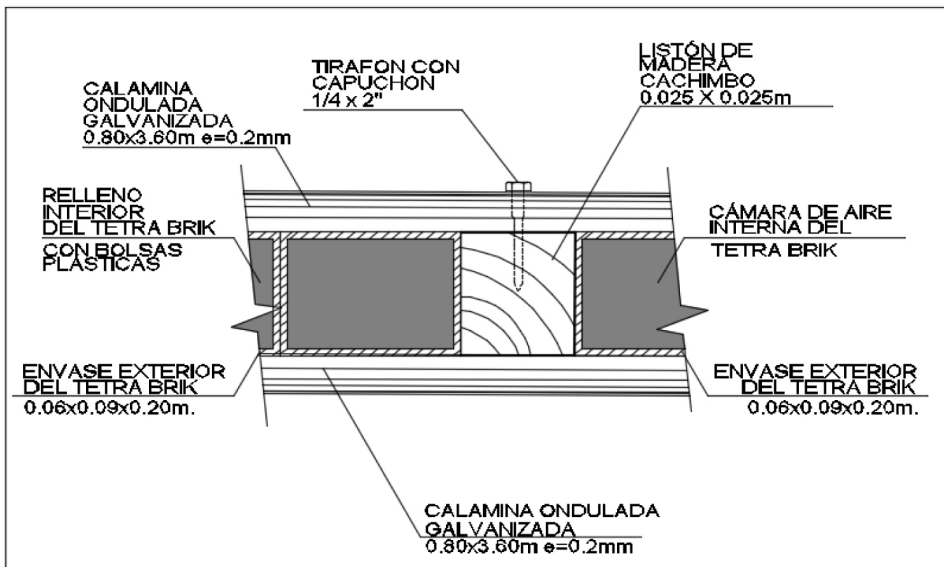


FIGURA 12. Techo Modelo 3. Formado por dos calaminas metálicas unidas por un bastidor de madera. En el interior se han fijado de envases cerrados de Tetra Brik pero rellenos de bolsas plásticas. Fuente: Elaboración propia

2.2.2. Método de cálculo

El método de cálculo aplicado a los resultados de cada uno de los tres nuevos modelos de techos otorga una muy alta confiabilidad puesto que se ha seguido el procedimiento regulado a nivel internacional mediante la norma ISO 6946 – Elementos y componentes de la edificación. Resistencia y transmitancia térmica. Método de cálculo, y se han considerado los datos de entrada provenientes de las siguientes fuentes:

- a. Los fabricantes de calamina metálica en el Perú (Fuente primaria).
- b. Ensayos en un laboratorio especializado (Fuente primaria). El equipo medidor de conductividad térmica y resistencia térmica utilizado por el laboratorio, incorpora en su procesamiento el cumplimiento de estándares internacionales, por lo que sus resultados son altamente confiables:
 - ISO 8301. Aislamiento térmico. Determinación de la resistencia térmica en estado estable y propiedades relacionadas. Aparato medidor de flujo de calor.
 - ASTM C518. Método de prueba estándar para las propiedades de transmisión térmica en estado estable.
 - JIS A 1412-1. Método de prueba para resistencia térmica y propiedades relacionadas de aislamientos térmicos - Parte 1: Aparato de placa caliente protegida.
 - DIN EN 12667. Rendimiento térmico de materiales y productos de construcción. Determinación de la resistencia térmica por medio de placas protegidas y métodos de medición de flujo de calor. Productos de resistencia térmica alta y media.

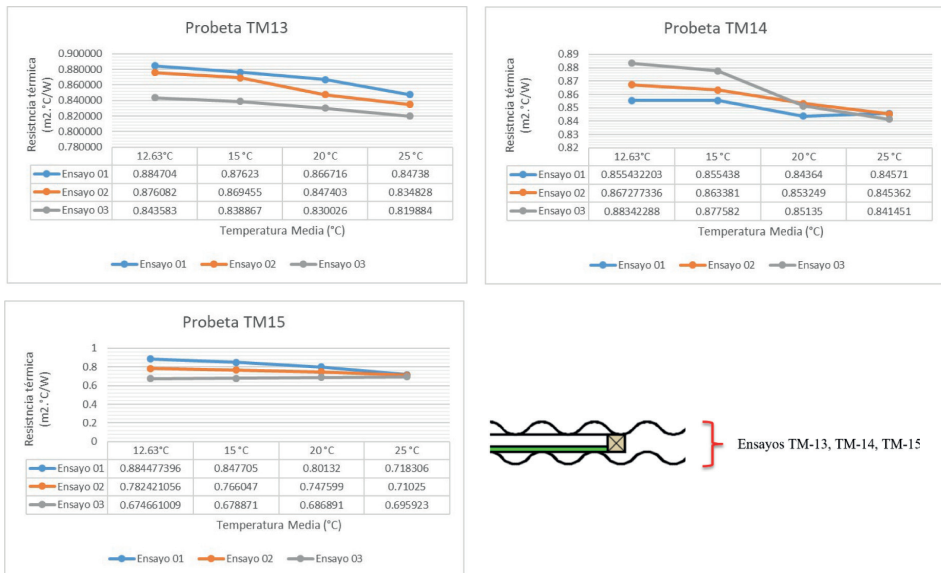


Figura 13. Valores de resistencia térmica de Probetas TM13, TM14 y TM15 obtenidos de los ensayos de laboratorio a 15 °C, 20 °C y 25 °C así como del cálculo de tendencia (12.63 °C, que es la temperatura mínima absoluta medida por SENAMHI). Fuente: Elaboración propia

c. Norma nacional EM.110 del Reglamento Nacional de Edificaciones (Obligatoria).

2.2.3. Respecto a los resultados de los ensayos de laboratorios del Modelo 1

- a. Para obtener la resistencia térmica del Modelo 1, se construyeron tres probetas aplicándoles, a su vez, tres ensayos a cada una considerando tres temperaturas medias del asentamiento humano Ciudad de Gosen (15 °C, 20 °C y 25 °C), teniendo en cuenta similares temperaturas a las indicadas en la norma EM.110.
- b. La resistencia térmica para la temperatura mínima absoluta medida por el SENAMHI en el asentamiento humano Ciudad de Gosen (12.63 °C), se calculó en base a una proyección lineal de tendencia.

2.2.4. Respecto a los resultados de los ensayos de laboratorios del Modelo 2

- a. Debido a que el equipo de ensayos térmicos del laboratorio únicamente acepta probetas con un espesor entre 0.005 m. y 0.10 m., se dividió en dos secciones el Techo Modelo 2: La Sección A fue la calamina metálica ondulada (incluyendo su cámara de aire de espesor no homogéneo) resultando un espesor total de 0.0018 m. (18 mm.) y la Sección B fue el envase de Tetra Brik, con un espesor de 0.06 m. (6 cm.). El espesor total fue de 0.0636 m.
- b. Para obtener la resistencia térmica de cada sección del Modelo 2, se construyeron tres probetas aplicándoles, a su vez, tres ensayos a cada una considerando tres

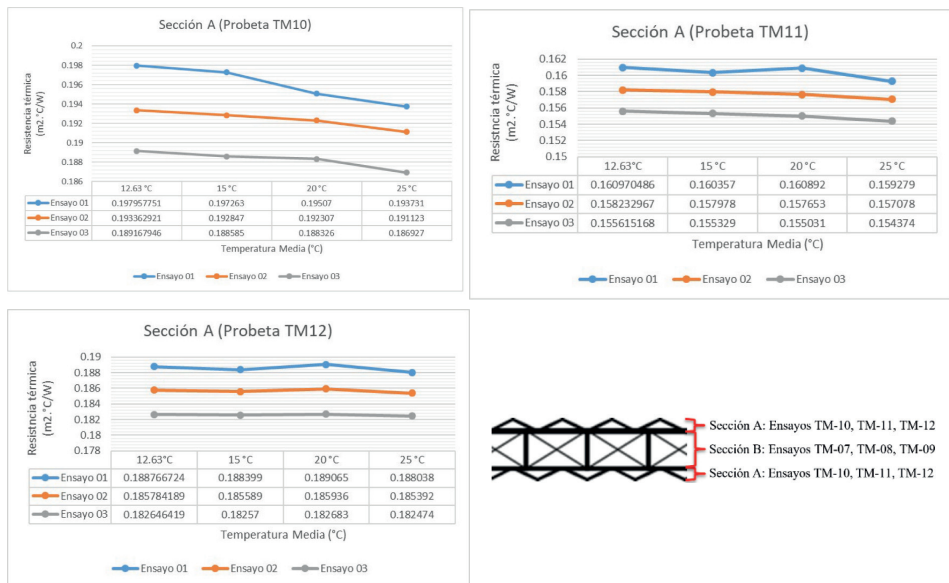


Figura 14. Valores de resistencia térmica de Probetas TM10, TM11 y TM12 obtenidos de los ensayos de laboratorio a 15 °C, 20 °C y 25 °C así como del cálculo de tendencia (12.63 °C, que es la temperatura mínima absoluta medida por SENAMHI). Fuente: Elaboración propia

temperaturas medias del asentamiento humano Ciudad de Gosen (15 °C, 20 °C y 25°C), teniendo en cuenta similares temperaturas a las indicadas en la norma EM.110.

- c. La resistencia térmica de la Sección A para la temperatura mínima absoluta medida por el SENAMHI en el asentamiento humano Ciudad de Gosen (12.63 °C), se calculó en base a una proyección lineal de tendencia.
- d. A fin de obtener la resistencia térmica de la Sección B para la temperatura mínima absoluta medida por el SENAMHI en el asentamiento humano Ciudad de Gosen (12.63 °C), se calculó en base a una proyección lineal de tendencia.

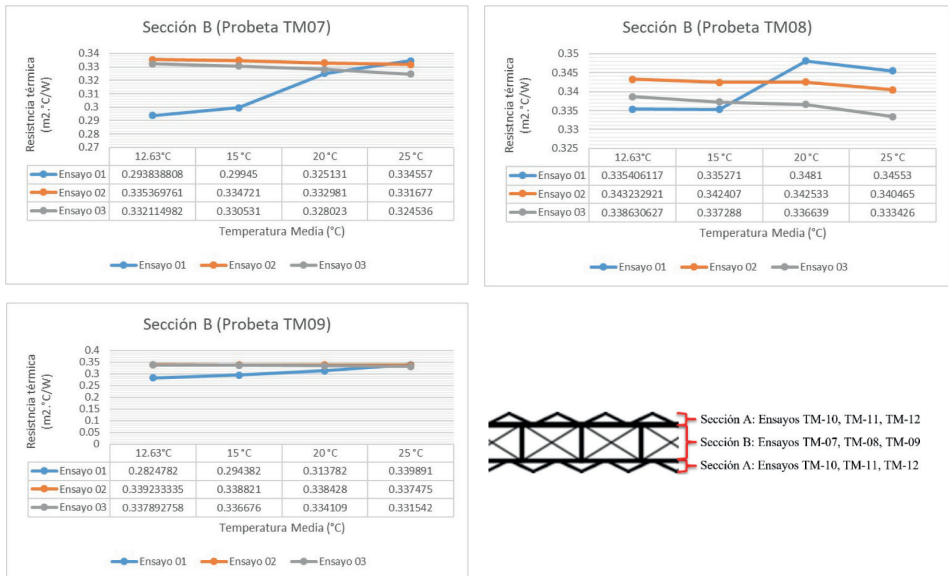


Figura 15. Valores de resistencia térmica de Probetas TM07, TM08 y TM09 obtenidos de los ensayos de laboratorio a 15 °C, 20 °C y 25 °C así como del cálculo de tendencia (12.63 °C, que es la temperatura mínima absoluta medida por SENAMHI). Fuente: Elaboración propia

2.2.5. Respecto a los resultados de los ensayos de laboratorios del Modelo 3

- a. Debido a que el equipo de ensayos térmicos del laboratorio únicamente acepta probetas con un espesor entre 0.005 m y 0.10 m, se dividió en dos secciones el Techo Modelo 3:

Sección A, la calamina metálica ondulada (incluyendo su cámara de aire de espesor no homogéneo) resultando un espesor total de 0.0018 m (18 mm).

Sección B, el envase de Tetra Brik relleno con bolsas plásticas, con un espesor de 0.06 m (6 cm).

La unión de ambas secciones, resulta en un espesor total de 0.0636 m.

- b. Para obtener la resistencia térmica de cada sección del Modelo 3, se construyeron tres probetas aplicándoles, a su vez, tres ensayos a cada una considerando tres temperaturas medias del asentamiento humano Ciudad de Gosen (15 °C, 20 °C y 25°C), teniendo en cuenta similares temperaturas a las indicadas en la norma EM.110.
- c. La resistencia térmica de la Sección A para la temperatura mínima absoluta medida por el SENAMHI en el asentamiento humano Ciudad de Gosen (12.63 °C), se calculó en base a una proyección lineal de tendencia.
- d. A fin de obtener la resistencia térmica de la Sección B para la temperatura mínima absoluta medida por el SENAMHI en el asentamiento humano Ciudad de Gosen (12.63 °C), se calculó en base a una proyección lineal de tendencia.

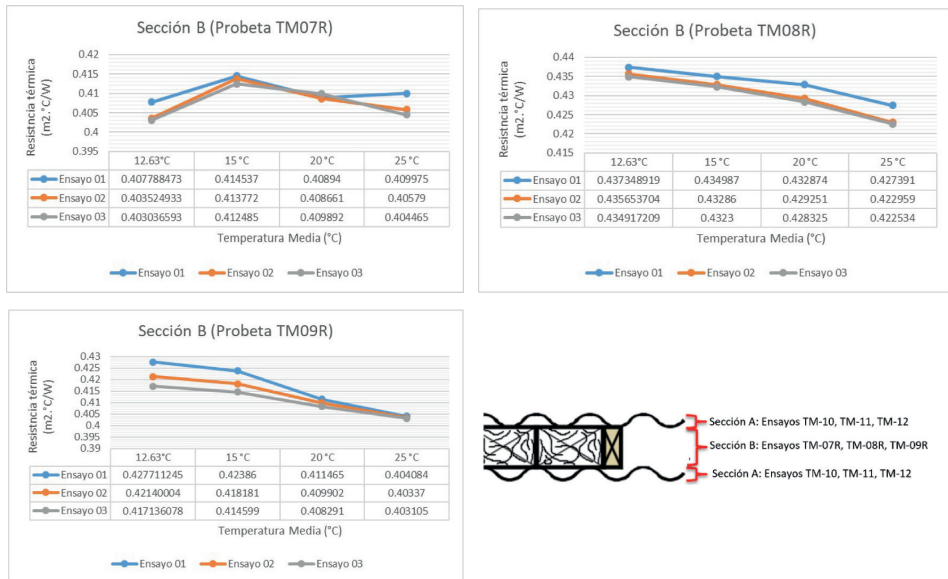


Figura 16. Valores de resistencia térmica de Probetas TM07R, TM08R y TM09R obtenidos de los ensayos de laboratorio a 15 °C, 20 °C y 25 °C así como del cálculo de tendencia (12.63 °C, que es la temperatura mínima absoluta medida por SENAMHI). Fuente: Elaboración propia

2.2.6. Respecto al cálculo de la transmitancia térmica de los tres modelos de techo

- a. Aplicando el procedimiento de cálculo indicado en el literal b) del numeral 3.3 del presente artículo, pero sustituyendo el valor de Resistencia térmica de acuerdo a los promedios de los ensayos obtenidos (ver Figuras 14 a 16), se obtienen los siguientes resultados:

TABLA 2. Valores de transmitancia térmica según modelo de techo

Tipo de techo	Valor U (W/m ² .°C)
Modelo 1	0.94
Modelo 2	1.10
Modelo 3	0.99

2.2.7. Respecto al cálculo de la cantidad de Tetra Brik y bolsas plásticas reusadas

- a. Para el Modelo 1, cada módulo ocupa un área de 1.44 m² (planchas de 0.80 m x 1.80 m). Cada envase abierto de Tetra Brik ocupa un área de 0.0775 m² (0.31 m x 0.25 m). En tal sentido, según diseño (ver Figura 10), se necesitan 11 envases abiertos de Tetra Brik para cubrir un módulo.
- b. Para el Modelo 2, cada módulo ocupa un área de 1.44 m² (planchas de 0.80 m x 1.80 m). Cada envase abierto de Tetra Brik ocupa un área de 0.0248 m² (0.31 m x 0.08 m). En tal sentido, según diseño (ver Figura 11), se necesitan 30 envases cerrados de Tetra Brik para cubrir un módulo.
- c. Para el Modelo 3 (ver Figura 12), se necesitan 30 envases cerrados de Tetra Brik para cubrir un módulo debido a que el diseño es equivalente, salvo por las bolsas plásticas reusadas. En este sentido, se presenta a continuación el cálculo efectuado para obtener la cantidad de bolsas plásticas que se necesitan para rellenar cada envase de Tetra Brik cerrado.
 - Cada envase de Tetra Brik ocupa un volumen de 0.0014 m³ (0.31 m x 0.08 m x 0.06 m).
 - Se opta por una bolsa de plástico de 0.30 m. x 0.20 m., que regalan en los supermercados para embolsar frutas o verduras.



Figura 17. Bolsa de plástico utilizada para el cálculo. Fuente: Elaboración propia.

- Se calcula el volumen que ocupa la bolsa apretándola con el puño, reduciéndola a un tamaño equivalente al que ocupa una cuchara de te, para que ingrese al envase cerrado y se adecue al volumen interior cuando se junte a las otras bolsas plásticas. Se estima una esfera 0.015 m de radio, por lo que se obtiene un volumen de 0.000014 m³.



Figura 18. Volumen aproximado de la bolsa de plástico apretada por un puño adulto.

Fuente: Elaboración propia

- Si cada envase de Tetra Brik tiene un volumen interior de 0.0014 m^3 y cada bolsa de plástico tiene un volumen de 0.000014 m^3 , quiere decir que por cada envase de Tetra Brik podrían ingresar aproximadamente 100 bolsas de plástico.

TABLA 3. Cantidad de envases de Tetra Brik y de bolsas plásticas reusados

Tipo de techo	Tetra Brik	Bolsas plásticas
Modelo 1	11	0
Modelo 2	30	0
Modelo 3	30	3000

2.2.8. Comparación con otros aislantes térmicos

Asimismo, cabe resaltar que los valores obtenidos para cada uno de los tres tipos de nuevos techos, más allá de brindar cinco veces más de aislamiento térmico (en promedio) respecto al techo existente, son comparables al nivel de aislamiento que brindan aislantes térmicos industrializados, como se muestra en la Tabla 4.

TABLA 4. Comparación entre valores de transmitancia térmico de los tres nuevos modelos de techo con productos industrializados de aislantes térmicos

Techos / Aislantes térmicos		U (W/m ² . °C)
1	Modelo 1: TBA (Tetra Brik Abierto)	0.94
2	Modelo 2: TBCV (Tetra Brik Cerrado y Vacío).	1.10
3	Modelo 3: TBCR (Tetra Brik Cerrado y Relleno con bolsas plásticas)	0.99
4	Lana de fibra de vidrio (rollo)	0.82
5	Poliestireno expandido (plancha)	0.63
6	Lana de poliéster (rollo)	0.79
7	Lana mineral de roca (plancha)	0.80
8	Lana de vidrio con foil de aluminio (rollo)	0.84
9	Poliestireno extruido (plancha)	0.89

Fuente: Elaboración propia

3. Conclusiones

- a. Si bien la temperatura invernal del Sector 15 de Ticlio Chico (Villa Maria del Triunfo) es baja si se compara con la temperatura media de Lima Metropolitana, la confluencia de una serie de factores (ubicación geográfica, configuración urbana, vientos, etc.) produce que la sensación de frío de la población sea más penosa, comparable a la temperatura que se puede sentir en un invierno de Cusco.
- b. Las viviendas donde habitan las familias del Sector 15 de Ticlio Chico, al componerse de muros de machihembrado de madera (espesor=1cm) y techo de calamina metálica (espesor=0.14mm a 0.25mm) no brindan protección térmica adecuada para las condiciones climáticas que afrontan todos los años, poniendo en riesgo la salud. Respecto al techo:
 - El calor interior se pierde rápidamente, debido a que es un material metálico y a su ínfimo espesor. El valor U calculado es de $4.54 \text{ W/m}^2\text{°C}$.
 - Ingresa aire frío del exterior a través de las grietas que se producen por el inadecuado proceso constructivo y nulo mantenimiento.
- c. Una capa de envases abiertos de Tetra Brik y de calamina metálica fijados como aislante térmico en el techo existente de calamina metálica (Modelo 1 TBA) de las viviendas ubicadas en Ticlio Chico reduce un 80% la transmitancia térmica del techo existente. El valor U obtenido mediante ensayos de laboratorio es de $0.94 \text{ W/m}^2\text{°C}$.
- d. Una capa de envases cerrados y vacíos de Tetra Brik y calamina metálica fijados como aislante térmico en el techo existente de calamina metálica (Modelo 2 TBCV) de las viviendas ubicadas en Ticlio Chico reduce un 76% la transmitancia térmica del techo existente. El valor U obtenido mediante ensayos de laboratorio es de $1.10 \text{ W/m}^2\text{°C}$.
- e. Una capa de envases cerrados de Tetra Brik rellenos con bolsas plásticas y calamina metálica fijados como aislante térmico en el techo existente de calamina metálica (Modelo 3 TBKR) de las viviendas ubicadas en Ticlio Chico reduce un 78% la transmitancia térmica del techo existente. El valor U obtenido mediante ensayos de laboratorio es de $0.99 \text{ W/m}^2\text{°C}$.
- f. La manera de construir los tres tipos de techos anteriormente mencionados no solo mejora el aislamiento térmico (por conducción), sino que también reduce las infiltraciones de aire frío. El mayor espesor de los tres tipos de techos anteriormente mencionados también evidencia una mejora constructiva debido a que por el diseño efectuado se incrementa su rigidez y su masa térmica evitándose el hundimiento de la parte central en caso su apoyo se realice en sus extremos, así como el levantamiento de los extremos, como consecuencia del hundimiento anteriormente mencionado.

- g. La composición de los modelos de techo minimiza la contaminación ambiental debido al reaprovechamiento de envases de Tetra Brik y de bolsas plásticas. Cabe precisar que en el Perú, el reciclaje de Tetra Brick (fundamentalmente realizado por la misma empresa Tetra Pak) apenas llega al 10% del total de residuos generados de Tetra Brik. Dicho en otras palabras, existe una gran oportunidad de reutilizar los envases de Tetra Brik.
- h. Considerando las 84 viviendas que conforman el sector 15 de Ticlio Chico y asumiendo que cada vivienda tiene al menos 50 m² de área techada con calaminas metálicas, se consigue el siguiente reaprovechamiento de residuos:

TABLA 5. Número de Tetra Brik y bolsas plásticas que se reaprovecharían en las viviendas del Sector 15 del asentamiento humano Ciudad de Gosen

Residuos reaprovechados	Modelo 1	Modelo 2	Modelo 3
N° de envases de Tetra Brik	32,340	88,200	88,200
N° de bolsas plásticas	x	x	8,820,000

Esto supone una gran ayuda para mitigar el impacto ambiental del sector construcción.

- i. La alta performance térmica que alcanzan los tres tipos de techo es comparable a lo que ofrecen los aislantes térmicos industrializados convencionales (lana de vidrio, poliestireno, etc.), sin embargo, tienen tres cualidades que las diferencian de estos mismos.
- Son de bajo costo y utilizan materiales que se pueden adquirir en todo el Perú, como son la calamina metálica, los envases de Tetra Brik postconsumo y listones de madera.
 - Se pueden fabricar e instalar mediante un procedimiento sencillo.
 - Reaprovechan un residuo, por lo que se contribuye a la reducción de la contaminación ambiental generado por la industria de la construcción.

Referencias

- Aceros Arequipa. (s.f.). *Planchas zincadas onduladas*. Aceros Arequipa. Perú. Recuperado de: <http://www.acerosarequipa.com/fileadmin/templates/AcerosCorporacion/PDF/planchas-zincadas-onduladas.pdf>.
- Defensoría del Pueblo (2019). *Informe Defensorial N° 181-2019-DP (¿Dónde va nuestra basura?: Recomendaciones para mejorar la gestión de los residuos sólidos municipales)*. Recuperado de: <https://www.defensoria.gob.pe/informes/informe-defensorial-no-181-donde-va-nuestra-basura/>

- Lefian, A. (2014). *Análisis del comportamiento térmico e higrotérmico de los eco ladrillos y los tetra ladrillos aplicados a la vivienda de emergencia en Chile*. Tesis del Máster de Arquitectura, Energía y Medioambiente, Universidad Politécnica de Cataluña. Recuperado de: <http://upcommons.upc.edu/handle/2099.1/23477>
- Ministerio de Vivienda, Construcción y Saneamiento. (2014). *Decreto Supremo N° 006-2014-VIVIENDA que aprueba la Norma EM.110 Confort térmico y lumínico con eficiencia energética*. Lima, Perú. 12 de Mayo del 2014. Recuperado de: <http://www3.vivienda.gob.pe/dnc/normas.aspx>
- Organización Internacional de Estandarización. (2012). *Norma ISO 6946. Componentes y elementos para la edificación. Resistencia térmica y transmitancia térmica. Método de cálculo*. Recuperado de: <https://www.une.org/encuentra-tu-norma/busca-tu-norma/?c=N0049213>
- Tetra Pak. (s.f.). *Tetra Brik*. Recuperado de: <https://www.tetrapak.com/pe/packaging/tetra-brik>