

UNIVERSIDAD TÉCNICA DE AMBATO

FACULTAD DE INGENIERÍA CIVIL Y MECÁNICA

CARRERA DE INGENIERÍA CIVIL

TEMA:

"CARACTERIZACIÓN DE LA INFLAMABILIDAD DEL MATERIAL DE CUBIERTA PANEL TIPO SÁNDWICH UTILIZADO EN CONSTRUCCIONES, EN BASE A SUS PROPIEDADES FÍSICAS"

Trabajo de titulación modalidad trabajo experimental, presentado previo a la obtención del título de Ingeniero Civil.

ESTUDIANTE:

KEVIN JOSUE TACURI CHIMBORAZO

TUTOR:

ING. LOURDES GABRIELA PEÑAFIEL VALLA, M.SC.

Ambato – Ecuador

Febrero 2025

APROBACIÓN DEL TUTOR

En mi calidad de tutor del trabajo experimental, previo a la obtención del Título de Ingeniero Civil, con el tema: **"CARACTERIZACIÓN DE LA INFLAMABILIDAD DEL MATERIAL DE CUBIERTA PANEL TIPO SÁNDWICH UTILIZADO EN CONSTRUCCIONES, EN BASE A SUS PROPIEDADES FÍSICAS"**, elaborado por el estudiante Kevin Josue Tacuri Chimborazo, portador de la cédula de ciudadanía número 1805442868, estudiante de la Carrera de Ingeniería Civil de la Facultad de Ingeniería Civil y Mecánica.

Certifico:

- Que el presente trabajo experimental es original de su autor.
- Ha sido revisado cada uno de sus capítulos componentes.
- Está concluido en su totalidad.

Ambato, febrero 2025



.....

Ing. Lourdes Gabriela Peñafiel Valla, M.Sc.

TUTOR

AUTORÍA DEL TRABAJO DE TITULACIÓN

Yo, **Kevin Josue Tacuri Chimborazo**, con *C.I. 1805442868* declaro que todos los contenidos y actividades expuestos en el desarrollo del presente trabajo experimental con el tema: **"CARACTERIZACIÓN DE LA INFLAMABILIDAD DEL MATERIAL DE CUBIERTA PANEL TIPO SÁNDWICH UTILIZADO EN CONSTRUCCIONES, EN BASE A SUS PROPIEDADES FÍSICAS"**, así como también los análisis estadísticos, gráficos, conclusiones y recomendaciones son de mi exclusiva responsabilidad como autor del trabajo experimental a excepción de las referencias bibliográficas citadas en el mismo. En tal virtud, el contenido, efectos legales y académicos que se desprenden del mismo son de exclusiva responsabilidad del autor.

Ambato, febrero 2025



.....

Kevin Josue Tacuri Chimborazo

C.I. 1805442868

AUTOR

DERECHOS DE AUTOR

Autorizo a la Universidad Técnica de Ambato, para que haga de este trabajo experimental o parte de él, un documento disponible para su lectura consulta y procesos de investigación, según las normas de la Institución.

Cedo los Derechos en línea patrimoniales de mi trabajo experimental, con fines de difusión pública, además apruebo la reproducción de este documento dentro de las regulaciones de la Universidad, siempre y cuando esta reproducción no suponga una ganancia económica y se realice respetando mis derechos de autor.

Ambato, febrero 2025



.....

Tacuri Chimborazo Kevin Josue

C.I. 1805442868

AUTOR

APROBACIÓN DEL TRIBUNAL DE GRADO

Los miembros del Tribunal de Grado aprueban el informe del trabajo experimental, realizado por el estudiante **Kevin Josue Tacuri Chimborazo**, de la Carrera de Ingeniería Civil bajo el tema: **"CARACTERIZACIÓN DE LA INFLAMABILIDAD DEL MATERIAL DE CUBIERTA PANEL TIPO SÁNDWICH UTILIZADO EN CONSTRUCCIONES, EN BASE A SUS PROPIEDADES FÍSICAS ".**

Ambato, febrero 2025

Para constancia firma:

.....	.....
Ing. Mayra Alexandra Viscaíno Cuzco, Mg.	Ing. Andrés Sebastián Hidalgo Velastegui, Mg.
MIEMBRO CALIFICADOR	MIEMBRO CALIFICADOR

DEDICATORIA

A mis padres, José Tacuri y Delia Chimborazo, por brindarme todo su amor, por apoyarme en todo momento y por siempre alentarme a seguir adelante. Todo su esfuerzo y sacrificio han sido esenciales para que hoy alcance este logro.

A mis hermanos, Andrew y Michelle, por su constante disposición a brindarme su ayuda y por ser una fuente de motivación fundamental a lo largo de este arduo recorrido.

AGRADECIMIENTO

En primer lugar, agradezco a Dios, por brindarme la salud, la sabiduría y las bendiciones necesarias para afrontar este desafío y alcanzar este importante logro en mi vida.

A mis padres, quienes, con su amor, apoyo incondicional y sacrificio, me han guiado y motivado a lo largo de este camino. Gracias por creer en mí y por ser mi mayor inspiración.

A mis hermanos, por su constante ánimo y por estar siempre dispuestos a acompañarme en cada paso. Su apoyo ha sido esencial para superar los momentos más difíciles.

A Cinthya, por su apoyo incondicional, su motivación constante y por estar siempre a mi lado en este camino. Gracias por creer en mí y ser parte de este logro.

A mis amigos, quienes han sido una fuente constante de apoyo, comprensión y motivación durante todo este proceso. Su compañía y amistad han hecho este recorrido más llevadero y significativo.

Finalmente, agradezco a mis docentes de la universidad, quienes, con su dedicación, paciencia y conocimientos, me han brindado las herramientas necesarias para desarrollar esta investigación. Su orientación ha sido fundamental para mi crecimiento académico y profesional.

ÍNDICE GENERAL DE CONTENIDO

APROBACIÓN DEL TUTOR ii
AUTORÍA DEL TRABAJO DE TITULACIÓN iii
DERECHOS DE AUTOR iv
APROBACIÓN DEL TRIBUNAL DE GRADO v
DEDICATORIA vi
AGRADECIMIENTO vii
ÍNDICE GENERAL DE CONTENIDO viii
ÍNDICE DE FIGURAS x
ÍNDICE DE TABLAS xi
ÍNDICE DE ANEXOS xii
SIGLAS, ACRÓNIMOS Y ABREVIATURAS xiii
RESUMEN EJECUTIVO xiv
ABSTRACT xv
CAPÍTULO I.- MARCO TEÓRICO 1
I. JUSTIFICACIÓN 1
II. ANTECEDENTES INVESTIGATIVOS 2
III. OBJETIVOS 6
A. OBJETIVO GENERAL 6
B. OBJETIVOS ESPECÍFICOS 6
CAPÍTULO II.- METODOLOGÍA 7
I. EQUIPOS Y MATERIALES 7
II. MÉTODOS 8
A. Fase I: Análisis de las propiedades físicas del material de cubierta panel tipo sándwich 8
B. Fase II: Determinación del índice de inflamabilidad del material de cubierta panel tipo sándwich y clasificación del material de cubierta 8
C. Fase III: Determinación de la conductividad térmica y del índice de carbonización del material 16
CAPITULO III.- RESULTADOS Y DISCUSIÓN 17
I. ANÁLISIS Y DISCUSIÓN DE LOS RESULTADOS 17
A. Fase I: Análisis de las propiedades físicas del material de cubierta panel tipo sándwich 17
B. Fase II: Determinación del índice de inflamabilidad del material de cubierta panel tipo sándwich y clasificación del material de cubierta 18

C. Fase III: Determinación de la conductividad térmica y del índice de carbonización del material 29
II. VERIFICACIÓN DE HIPÓTESIS 33
A. HIPÓTESIS 33
B. VERIFICACIÓN DE LA HIPÓTESIS 33
CAPITULO IV.- CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES 34
I. CONCLUSIONES 34
II. RECOMENDACIONES 34
REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS 36
Anexos 39

ÍNDICE DE FIGURAS

Fig. 1 Corte de las muestras de ensayo. 9
Fig. 2 Dimensiones de las muestras de ensayo. 9
Fig. 3 Código de identificación de las muestras. 9
Fig. 4 Identificación de las muestras. 10
Fig. 5 Acondicionamiento de las muestras de ensayo. 10
Fig. 6 Registro de pesos durante el acondicionamiento. 11
Fig. 7 Medición de la velocidad de aire presente en la campana de extracción. 11
Fig. 8 Verificación de la distancia del quemador, a superficie expuesta. 12
Fig. 9 Verificación de la altura de la llama a 20mm. 12
Fig. 10 Ensayo de reacción al fuego de la muestra 13
Fig. 11 Determinación de la temperatura, mediante la cámara térmica. 13
Fig. 12 Muestras acondicionadas para ensayo a borde, Panel de cubierta tipo sándwich. 20
Fig. 13 Muestras acondicionadas para ensayo a superficie, Panel de cubierta tipo sándwich. 21
Fig. 14 Muestras ensayadas sobre el borde, Panel de cubierta tipo sándwich. 22
Fig. 15 Muestras ensayadas en superficie, Panel de cubierta tipo sándwich. 23
Fig. 16 Medición factor (Fs), muestra ensayada sobre el borde. 26
Fig. 17 Medición factor (Fs), muestra ensayada sobre la superficie. 27

ÍNDICE DE TABLAS

TABLA I CLASES, COMBUSTIBILIDAD Y CARACTERÍSTICAS DE LA NORMA UNE-EN 13501-1:2007+A1 [20] 14

TABLA II CRITERIOS DE CLASIFICACIÓN, SEGÚN LA NORMA UNE-EN 13501-1:2007+A1 15

TABLA III CLASIFICACIÓN ADICIONAL, SEGÚN LA NORMA UNE-EN 13501-1:2007+A1 16

TABLA IV PROPIEDADES FÍSICAS DEL PANEL DE CUBIERTA TIPO SÁNDWICH (NÚCLEO DE PIR) [21] 17

TABLA V CARACTERÍSTICAS TÉRMICAS DEL PANEL DE CUBIERTA TIPO SÁNDWICH (NÚCLEO DE PIR) [21] 17

TABLA VI PROPIEDADES AISLANTES ACÚSTICAS DEL PANEL DE CUBIERTA TIPO SÁNDWICH (NÚCLEO DE PIR) [21] 18

TABLA VII CONDICIONES DE ENSAYO (APLICACIÓN DE LA LLAMA SOBRE EL BORDE) 19

TABLA VIII ACONDICIONAMIENTO MUESTRAS (APLICACIÓN DE LA LLAMA SOBRE EL BORDE) 19

TABLA IX CONDICIONES DE ENSAYO (APLICACIÓN DE LA LLAMA SOBRE LA SUPERFICIE) 20

TABLA X ACONDICIONAMIENTO MUESTRAS (APLICACIÓN DE LA LLAMA SOBRE LA SUPERFICIE) 21

TABLA XI RESULTADOS DE LA APLICACIÓN DE LA LLAMA SOBRE EL BORDE... 22

TABLA XII RESULTADOS DE LA APLICACIÓN DE LA LLAMA EN SUPERFICIE..... 23

TABLA XIII RESULTADOS CÁMARA TÉRMICA AVANZADA, MUESTRAS ENSAYADAS SOBRE EL BORDE 24

TABLA XIV RESULTADOS CÁMARA TÉRMICA AVANZADA, MUESTRAS ENSAYADAS SOBRE LA SUPERFICIE 25

TABLA XV PROPAGACIÓN VERTICAL DE LA LLAMA (Fs), DE LAS MUESTRAS ENSAYAS SOBRE EL BORDE 26

TABLA XVI PROPAGACIÓN VERTICAL DE LA LLAMA (Fs), DE LAS MUESTRAS ENSAYAS SOBRE LA SUPERFICIE 27

TABLA XVII CLASIFICACIÓN DEL PANEL TIPO SÁNDWICH DE CUBIERTA SEGÚN EN 13501-1. 28

TABLA XVIII RESULTADOS ÍNDICE DE CARBONIZACIÓN, DE LAS MUESTRAS ENSAYADAS SOBRE EL BORDE 31

TABLA XIX RESULTADOS ÍNDICE DE CARBONIZACIÓN, DE LAS MUESTRAS ENSAYADAS SOBRE EL BORDE 32

TABLA XX RESULTADOS ÍNDICE DE CARBONIZACIÓN, DE LAS MUESTRAS ENSAYADAS SOBRE EL BORDE 32

ÍNDICE DE ANEXOS

Anexo 1: Fotografías 40
Anexo 2: Fotografías de los resultados de la cámara térmica avanzada 42
Anexo 3: Fotografías de la propagación vertical de la llama 44
Anexo 4: Medición de áreas en donde se presenta carbonización. 46
Anexo 5: Informes del ensayo de inflamabilidad, LIM-UTA 48

SIGLAS, ACRÓNIMOS Y ABREVIATURAS

CA	Aglomerado de corcho
CTE DB SI	Código Técnico de la Edificación
CS	Placas de silicona de calcio
EN	Norma Europea
EPS	Espuma de poliestireno expandido
FG	Placas de yeso ignífugas
Fs	Propagación de la llama
GFRP	Polímeros reforzados con fibra de vidrio
MGO	Placas de óxido de magnesio
MW	Lana mineral
PET	Espuma de tereftalato de polietileno
PIR	Poliisocianurato
PS	Poliestireno
RSCIEI	Reglamento de Seguridad contra Incendios en Establecimientos Industriales
SW	Lana de roca
SNGRE	Servicio Nacional de Gestión de Riesgos y Emergencias

RESUMEN EJECUTIVO

Las diferentes alternativas en cubiertas de techos, como el panel tipo sándwich, han sido empleadas de manera significativa en las construcciones, de tal forma que no ha sido considerado su comportamiento frente a una fuente de ignición, cuál sería la reacción ante el fuego y su contribución frente a un incendio. Ante esta necesidad, la presente investigación caracteriza la inflamabilidad de paneles tipo sándwich con núcleo de poliisocianurato (PIR), analizando la influencia de sus propiedades físicas en su comportamiento frente al fuego para clasificarlos según normativas internacionales y evaluar su idoneidad en aplicaciones constructivas.

El estudio se estructuró en tres fases. En la primera, se determinaron las propiedades físicas del panel tipo sándwich, como densidad, espesor y resistencia térmica, utilizando información técnica proporcionada por los fabricantes. Estas características se analizaron para comprender su influencia en la reacción del material frente al fuego. En la segunda fase, se realizaron ensayos experimentales de inflamabilidad conforme a las normas NTE INEN-ISO 11925-2 y UNE-EN 13501-1. Estos ensayos incluyeron la aplicación controlada de una llama en la superficie y el borde del material, determinando parámetros como la propagación vertical de la llama, la producción de humo y la generación de gotas inflamadas. El material fue clasificado como B-s3, d2, lo que indica una reacción limitada al fuego, moderada generación de humo y caída de partículas inflamadas. Finalmente, en la tercera fase, se evaluó la conductividad térmica del panel (0.02 W/m·K) y su índice de carbonización. Los resultados consolidaron la eficacia del núcleo PIR como aislante térmico y su capacidad para resistir la propagación del fuego.

Los resultados demuestran que el panel tipo sándwich con núcleo PIR es seguro y eficiente para usos constructivos. No obstante, se recomienda investigar mejoras mediante aditivos retardantes o recubrimientos ignífugos, además de comparar su desempeño con otros materiales, como paneles con núcleos de lana mineral, poliestireno expandido (EPS), espuma fenólica, para evaluar ventajas en seguridad, costo y durabilidad.

Palabras clave: Inflamabilidad, panel sándwich, poliisocianurato (PIR), conductividad térmica, índice de carbonización.

ABSTRACT

Roof covering alternatives, such as sandwich panels, have been widely used in construction. However, their behavior when exposed to an ignition source, their reaction to fire, and their contribution to fire incidents have not been thoroughly considered. Addressing this need, the present research characterizes the flammability of sandwich panels with a polyisocyanurate (PIR) core, analyzing the influence of their physical properties on fire behavior to classify them according to international standards and assess their suitability for construction applications.

The study was structured in three phases. In the first phase, the physical properties of the sandwich panel, such as density, thickness, and thermal resistance, were determined using technical information provided by manufacturers. These characteristics were analyzed to understand their impact on the material's reaction to fire. In the second phase, experimental flammability tests were conducted according to the NTE INEN-ISO 11925-2 and UNE-EN 13501-1 standards. These tests included controlled flame applications on the material's surface and edges, assessing parameters such as vertical flame spread, smoke production, and flaming droplets. The material was classified as B-s3, d2, indicating limited fire reaction, moderate smoke production, and the presence of flaming particles. Finally, in the third phase, the panel’s thermal conductivity (0.02 W/m·K) and charring index were evaluated. The results confirmed the PIR core’s effectiveness as a thermal insulator and its resistance to flame spread.

The findings demonstrate that sandwich panels with PIR cores are safe and efficient for construction purposes. However, further research is recommended to explore improvements through fire-retardant additives or coatings. Additionally, comparing their performance with other materials, such as panels with mineral wool cores, expanded polystyrene (EPS), and phenolic foam, could provide insights into safety, cost, and durability advantages.

Keywords: Flammability, sandwich panel, polyisocyanurate (PIR), thermal conductivity, charring index.

CAPÍTULO I.- MARCO TEÓRICO

I. JUSTIFICACIÓN

En el ámbito de la ingeniería civil, los materiales utilizados en la construcción han experimentado avances significativos a lo largo del tiempo, impulsados por diversas necesidades constructivas. Estos nuevos materiales ofrecen características únicas, como ligereza, altas propiedades mecánicas, versatilidad en formas y diseños, además de ser ideales para resolver problemas de aislamiento térmico y presentar una notable resistencia al fuego. Esta última propiedad es especialmente importante, ya que, al optar por materiales de cubierta distintos al concreto, ya sea por razones económicas o estéticas, a menudo se deja de lado un aspecto crucial: la garantía de seguridad frente a eventos adversos, como los incendios [1].

En Ecuador al igual que muchos países de Latinoamérica, se enfrenta constantemente a la ocurrencia de situaciones de riesgo a causa de llamas no controladas en escenarios forestales y urbanos, lo cual pone en peligro a la humanidad, fauna, recursos naturales, edificaciones, etc. Según el Servicio Nacional de Gestión de Riesgos y Emergencias (SNGRE) durante el año 2018 se han registrado aproximadamente 1510 incendios estructurales en diferentes provincias del país, siendo la mayoría de los siniestros causados por negligencias y descuidos de los ciudadanos. En referencia a lo anterior, los incendios estructurales constituyen una de las amenazas más recurrentes en el país, incrementándose cada vez más el número de víctimas, pérdidas económicas y de infraestructura [2].

En la industria de la construcción, los materiales de cubierta tipo sándwich son ampliamente utilizados debido a su ligereza, resistencia estructural y capacidades de aislamiento térmico. Sin embargo, la inflamabilidad de estos materiales representa un riesgo significativo para la seguridad contra incendios en edificaciones. El comportamiento de una instalación con paneles sándwich frente al fuego no es una ciencia exacta, ya que no solo se debe considerar el panel en sí. Hay otros factores decisivos para tener en cuenta, como el tipo de panel, el material aislante del núcleo, el grado de fijación de las caras externas o internas, y otros aspectos como bordes sin protección y perforaciones [3].

Por este motivo, fue necesario realizar un análisis de inflamabilidad en los paneles tipo sándwich, comúnmente utilizados como cubiertas en diversas construcciones del país. Estos paneles fueron ensayados tanto en su superficie como en sus bordes para evaluar su reacción al fuego y, de esta manera, se clasificaron conforme a una norma europea, considerando su resistencia al fuego y sus propiedades físicas.

II. ANTECEDENTES INVESTIGATIVOS

La utilización de paneles tipo sándwich ha crecido en las últimas décadas, lo que ha llevado a los fabricantes a certificar sus productos y actualizar la normativa correspondiente. Estos paneles, compuestos por dos capas exteriores de metal que proporcionan resistencia mecánica y un núcleo aislante, pueden fabricarse con diversas combinaciones de materiales. Las capas metálicas, que pueden ser de aluminio, acero, cobre o acero inoxidable, varían en grosor (generalmente entre 0,5 y 0,6 mm) y en diseño (lisos, perfilados o nervados). Los núcleos, que cumplen la función de aislante térmico, pueden ser de diferentes materiales, como espuma de poliuretano, poliestireno expandido, espuma fenólica, lana mineral, con espesores que oscilan entre 30 y 300 mm según el uso [4].

Los paneles sándwich metálicos con núcleo aislante se utilizan ampliamente debido a sus propiedades físicas y aislantes. Se instalan tanto en interiores como en exteriores, en cerramientos de cubiertas y fachadas. Dado su uso extendido, es crucial priorizar la reducción de los riesgos de incendio [5].

Según lo propuesto por Penalva en [5], en su artículo realizó la investigación sobre el comportamiento al fuego de los paneles sándwich metálicos exponiendo diversos aspectos que deben conocerse para reducir el riesgo de propagación del incendio en lugares que utilicen estos paneles, en donde concluye que la confiabilidad en la prevención de incendios no puede depender exclusivamente de la clasificación de reacción al fuego. Es necesario considerar tanto las medidas de protección activa como las pasivas, asegurando su adecuado desempeño. También se indica que el mantenimiento y la inspección de los sistemas de protección activa y pasiva deben llevarse a cabo por personal capacitado.

También, en [5] se menciona que el comportamiento frente al fuego de los paneles sándwich está regulado por el Código Técnico de la Edificación (CTE DB SI) y el Reglamento de Seguridad contra Incendios en Establecimientos Industriales (RSCIEI). Estos establecen los requisitos mínimos que deben cumplir los paneles para ser instalados en un determinado espacio. En cuanto a la reacción al fuego, el CTE DB SI exige una clasificación que varía desde euroclase B-s1, d0 hasta C-s2, d0 para recintos interiores, y entre B-s3, d2 y C-s3, d2 para exteriores. En cambio, el RSCIEI solo requiere una euroclase C-s3, d0.

Por otra parte, M. Murillo A *et al.* [6], expone que el comportamiento resistente al fuego de dos paneles sándwich con núcleo de espuma de Poliisocianurato (PIR) con función estructural, compuestos por tejido reforzado con fibra de vidrio (uno recubierto con placa de yeso y el otro

con la placa cerámica en sus caras expuestas al fuego), con unas dimensiones de 3150 mm × 2800 mm x 150 mm se evaluaron según norma EN 13381-1. Estos se compararon entre sí para analizar qué sistema tenía mayor resistencia y mejor comportamiento al fuego, según la norma, considerando los diferentes materiales con los que estaban recubiertos en su cara externa. A partir de esto, los resultados indicaron que el sistema con placas de yeso demostró un mejor desempeño y mayor tiempo de resistencia al fuego que el sistema con cerámica.

Así mismo, en el artículo publicado por Pereira et al. [7], presenta la evaluación del comportamiento frente al fuego de diferentes conjuntos de muros sándwich no portantes, basado en métodos de ensayo de resistencia al fuego establecidos en las normas EN 13501-2, EN 1363-1 y EN 1364-1. Los objetivos principales son: (i) evaluar el comportamiento frente al fuego de diferentes materiales del núcleo; (ii) evaluar la eficacia de diversos materiales ignífugos; (iii) clasificar la resistencia al fuego de los distintos sistemas de paredes; y (iv) diseñar un panel sándwich capaz de resistir 60 minutos de exposición al fuego sin perder su integridad estructural (E) ni sus propiedades de aislamiento térmico (I). Los materiales del núcleo evaluados incluyeron espuma de poliestireno expandido (EPS), espuma de tereftalato de polietileno (PET), aglomerado de corcho (CA) y lana de roca (SW). Los materiales ignífugos probados fueron placas de yeso ignífugas (FG) y placas de óxido de magnesio (MGO), con polímeros reforzados con fibra de vidrio (GFRP) utilizados para las capas externas de todos los paneles. Y como resultado se expone que los núcleos de aglomerado de corcho mostraron la tasa de descomposición térmica más baja durante la exposición al fuego, y los paneles sándwich con núcleos de aglomerado de corcho resistieron exitosamente la duración prevista de exposición al fuego, cumpliendo con los requisitos de rendimiento sin necesidad de utilizar placas ignífugas adicionales.

De igual manera, Roszkowski *et al.* [8] su artículo presenta los resultados de las pruebas de resistencia al fuego realizadas según la norma EN 1364-1 para muros no portantes fabricados con paneles sándwich con el uso de diferentes núcleos. A partir de esto se concluye que los paneles con núcleo de lana mineral (MW) ofrecen un excelente aislamiento y resistencia al fuego, soportando hasta 240 minutos sin comprometer su integridad estructural ni aislamiento térmico. Los paneles con núcleo de PIR también tienen buenas propiedades aislantes, pero presentan descomposición del núcleo y grandes deflexiones durante el fuego, con una resistencia de hasta 30 minutos. Por otro lado, los paneles con núcleo de EPS tienen el peor rendimiento, ya que su núcleo se descompone rápidamente, lo que lleva a una baja capacidad de aislamiento y una resistencia al fuego de solo 30 minutos. Las paredes hechas de paneles

sándwich con núcleo de poliestireno expandido (EPS) en comparación con el núcleo de lana mineral (MW) y el núcleo de espuma de poliuretano (PIR) tienen una capacidad de aislamiento mucho peor. El núcleo de EPS se consume por completo durante los primeros 5 a 10 minutos de condiciones de incendio.

También Murillo A *et al.* [9], presenta en su investigación los resultados de un análisis experimental y estadístico comparativo del desarrollo de la reacción al fuego en paneles sándwich compuestos por láminas de acero y núcleo de espuma de Poliisocianurato (PIR), con juntas de dimensiones iguales (1000 mm × 1500 mm y 500 mm × 1500 mm), pero de diferentes grosores (30, 50, 100 y 150 mm). En donde se llevaron a cabo cinco pruebas de Elemento de Combustión Única (SBI) en paneles sándwich individuales de PIR con juntas verticales y se compararon sus resultados entre sí. A partir de esto concluye que cuatro de las cinco muestras fueron clasificadas como clase A2, mientras que la muestra número cinco presentó el peor rendimiento, siendo clasificada como clase C debido a que su promedio de tasa de crecimiento del fuego (FIGRA) superó el valor límite para encajar en las clases A o B, demostrando que este tipo de paneles tiene un buen rendimiento en reacción al fuego.

De acuerdo con M. Proença [10], se llevaron a cabo estudios experimentales sobre el comportamiento de resistencia al fuego de paneles sándwich compuestos, que consisten en caras de polímero reforzado con fibra de vidrio (GFRP) y un núcleo de espuma de poliuretano, sometidos a un escenario de incendio estándar y a una carga mecánica. En este estudio, se ensayaron tres especímenes sándwich a escala real: uno sin protección y dos protegidos con placas de silicona de calcio (CS). Los resultados concluyeron que los paneles sándwich compuestos son susceptibles al fuego. En este sentido, el panel desprotegido falló tras solo 25 minutos de exposición, debido a un modo de fallo que involucró diversos mecanismos de daño, como la ruptura de las fibras de vidrio en la cara inferior, la degradación total del núcleo y el fallo por flexión en la cara superior. Por otro lado, los paneles protegidos con tableros CS mostraron una resistencia al fuego significativamente incrementada, alcanzando hasta 80 minutos (en el caso del panel adherido) y 100 minutos (con cavidad de aire).

Mientras que Celiński, M *et al.* [11], realizó una serie de pruebas con paneles sándwich comúnmente disponibles para conocer los parámetros básicos que determinan el comportamiento de estos materiales en condiciones de incendio. Y como resultado se obtuvo que la lana mineral es prácticamente no inflamable y la cantidad de humo generado es casi 10 veces menor que el valor más bajo obtenido con cualquier otro panel sándwich, pero muestra una densidad muy alta y una conductividad térmica elevada. Los núcleos de poliestireno (PS)

poseen una alta inflamabilidad y se caracterizan por una baja densidad (12-32 kg/m3) y una conductividad térmica un 25% menor que la de la lana mineral.

Por otro lado, Crewe R *et al.* [12], experimentó con cuatro salas con paneles sándwich según lo prescrito en el ensayo ISO 13784-1, con ciertas modificaciones. Los resultados mostraron diferencias significativas en la tasa de crecimiento del fuego y el comportamiento de combustión entre los paneles rellenos de poliisocianurato (PIR) y los rellenos de lana de roca tanto en los experimentos con y sin cuna de madera. Además, los experimentos demostraron que las modificaciones de la prueba estándar pueden conducir a resultados extremadamente diferentes para algunos de los productos.

Según los estudios realizados por Zhou *et al.* [13], indica que investigó la tasa de propagación del fuego y las características de las gotas en paneles sándwich de metal-PE durante la combustión. Concluyendo que, durante la combustión, el núcleo de PE se derritió, formándose gotas cuyas características variaron en diferentes condiciones. A medida que aumentó la longitud del panel, también lo hicieron la masa y el área de las gotas, así como la tasa de pérdida y crecimiento de masa. Además, la presencia de pernos provocó deformaciones por flexión, incrementándose con la longitud de la muestra. Se observó el fenómeno de llama superior al elevarse e incendiarse los gases de pirólisis por encima de la muestra de 40 cm.

Además Mendoza M *et al.* [14], en su trabajo estudia la conductividad térmica a condiciones de temperatura cercanas a 0 ºC de compuestos tipo sándwich formados a partir de materiales monolíticos más usados en construcción como el drywall, ladrillo, poliestireno expandido, lana de vidrio y lana poliéster. Determinó que los resultados encontrados para cada compuesto son menores de 0,1 W.m-1. ºC-1. Estos valores bajos en conductividad térmica abren la puerta a la consideración de estos paneles tipo sándwich como opciones prácticas para la edificación en áreas propensas a las heladas.

Por otro lado, en [6] se indica que teniendo en cuenta que el núcleo de espuma PIR suele tener una baja conductividad térmica (0,02326 W/mK), al igual que otros materiales que también son aislantes térmicos, los autores sugieren que se trata de una excelente alternativa a los sistemas constructivos de muros que permite proteger la vida humana y la edificación ante cualquier incendio, minimizando el alto potencial de incendio y brindando protección reduciendo el calor o efectos del frío, y poder ser utilizado en estructuras comerciales, residenciales o de uso cotidiano sin ningún tipo de pesadez.

III. OBJETIVOS

A. OBJETIVO GENERAL

Caracterizar la inflamabilidad del material de cubierta panel tipo sándwich, utilizado en construcciones, en base a sus propiedades físicas.

B. OBJETIVOS ESPECÍFICOS

1) Determinar las propiedades físicas del material de cubierta tipo sándwich utilizado en construcciones, para comprender cómo estas propiedades afectan la inflamabilidad del material.
2) Experimentar la inflamabilidad de los materiales de cubierta tipo sándwich mediante ensayos de reacción y resistencia al fuego detallados en la normativa y clasificar el material.
3) Determinar la conductividad térmica, el índice de inflamabilidad y carbonización del material.

CAPÍTULO II.- METODOLOGÍA

Para alcanzar los objetivos del trabajo investigativo, se implementaron tres fases. Así pues, la primera fase se enfocó en el análisis de las propiedades físicas del material de cubierta panel tipo sándwich mediante información de su ficha técnica, con el propósito de comprender cómo dichas propiedades influyen en la inflamabilidad de los materiales.

A continuación, en la segunda fase se llevó a cabo la evaluación del índice de inflamabilidad del material de cubierta de acuerdo con la normativa NTE INEN-ISO 11925-2 [15]. Además, siguiendo la normativa EN 13501-1 [16], se realizó la clasificación del material de cubierta en función de su comportamiento frente al fuego y de sus propiedades físicas.

Finalmente, en la última fase se realizó una exhausta revisión bibliográfica con el objetivo de determinar su conductividad térmica. Asimismo, se evaluó el índice de carbonización del panel tipo sándwich utilizado como material de cubierta.

I. EQUIPOS Y MATERIALES

A continuación, se detallan los materiales, herramientas y equipos que fueron indispensables para la realización de cada uno de los objetivos.

Inicialmente, para la primera fase se utilizó una Laptop (Asus TUF GAMING F15 Intel i7), para la revisión exhaustiva de la literatura disponible en internet y para el registro de diferentes datos. También, en esta fase se adquirió el material de cubierta a ensayar como el panel sándwich (Marca Kutermico) con núcleo formado de poliisocianurato (PIR) del proveedor Kubiec ubicado en la ciudad de Quito.

En la segunda fase, se utilizó una amoladora (marca Dewalt) para cortar las probetas a ensayar, y un flexómetro (marca Century) para medirlas con precisión. Además, se emplearon una cámara de ensayos de reacción al fuego para materiales de construcción (NTE INEN – ISO 11925-2, licencia: 002-005000098168), una cámara de acondicionamiento (Adeucarpi), un teléfono celular como cámara fotográfica, un cronómetro (Sper Scientific) para registrar el tiempo de exposición a la llama, y una cámara térmica avanzada (Fotric 340 Series) para medir las temperaturas. También se utilizó la laptop mencionada previamente para clasificar los materiales de acuerdo con la normativa, basándose en sus propiedades físicas tras las pruebas de inflamabilidad.

Finalmente, en la tercera fase, se utilizó una laptop (Asus TUF GAMING F15 Intel i7) para registrar diversos datos en un software de cálculo ingenieril, con el objetivo de determinar el índice de carbonización.

II. MÉTODOS

Como se mencionó preliminarmente, esta investigación se dividió en 3 fases que se van a describir a continuación:

A. Fase I: Análisis de las propiedades físicas del material de cubierta panel tipo sándwich

Para el desarrollo de esta fase, se adoptó inicialmente una metodología cualitativa. En consecuencia, y en continuidad con las investigaciones previas realizadas en [17] y [18], en las que se sometieron diversos materiales de construcción a pruebas de inflamabilidad, se seleccionó el panel tipo sándwich, utilizado comúnmente como cubierta en diversas construcciones del país. Además, a través de una exhaustiva revisión bibliográfica, se determinó tanto la composición del núcleo como el espesor del panel tipo sándwich más frecuentemente utilizado en las construcciones y comercializado en el mercado.

Así pues, se utilizó la ficha técnica del panel tipo sándwich como material de cubierta para obtener información detallada sobre sus propiedades físicas y evaluar su influencia en la inflamabilidad del material. Para ello, se empleó una metodología cuantitativa, dado que se analizaron datos numéricos relacionados con las propiedades físicas del material.

B. Fase II: Determinación del índice de inflamabilidad del material de cubierta panel tipo sándwich y clasificación del material de cubierta

En esta segunda fase, se aplicó el método experimental en la que, mediante ensayos de reacción al fuego, se determinó el índice de inflamabilidad del panel tipo sándwich. Se realizaron pruebas de reacción al fuego tanto en los bordes como en la superficie, de acuerdo con la normativa NTE INEN-ISO 11925-2, la cual consistió en exponer el material a una pequeña fuente de ignición, como una llama. El procedimiento que se realizó se encuentra detallado en los siguientes pasos:

1) Elaboración de las muestras de ensayo

La elaboración de las muestras de ensayo se realizó siguiendo lo indicado en la normativa, la cual establece que deben extraerse de una muestra representativa del material, tal como se muestra en la Fig. 1. En total, se cortaron seis muestras, el número mínimo requerido por la

norma. Tres de ellas se cortaron en dirección longitudinal y las otras tres en dirección transversal. Las dimensiones de las muestras fueron de 250 mm x 90 mm, como se observa en la Fig. 2.



Fig. 1 Corte de las muestras de ensayo.

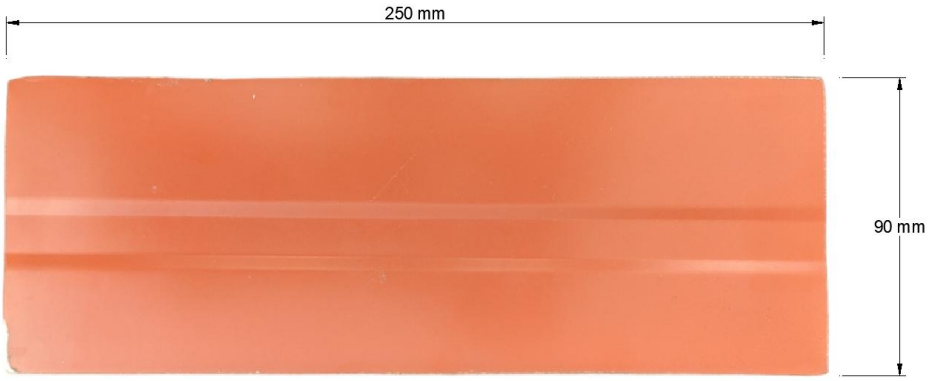


Fig. 2 Dimensiones de las muestras de ensayo.

Además, en cada una de las muestras de ensayo a borde expuesto, se marcó desde el borde hasta una altura de 150 mm. Por otro lado, en las muestras de ensayo a superficie expuesta, se señaló una distancia de 150 mm desde una altura de 40 mm medida a partir del borde de la muestra. Así mismo, cada muestra fue identificada con un código especifico, las cuales fueron nombradas en base al tipo de ensayo, sentido del corte y numero de muestra, como se aprecia en la Fig. 3 y Fig. 4.

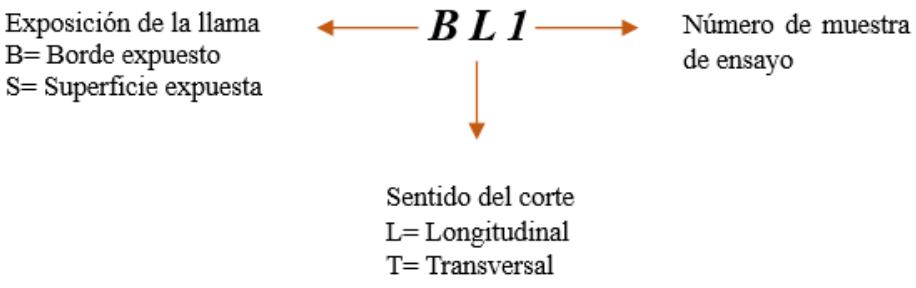


Fig. 3 Código de identificación de las muestras.

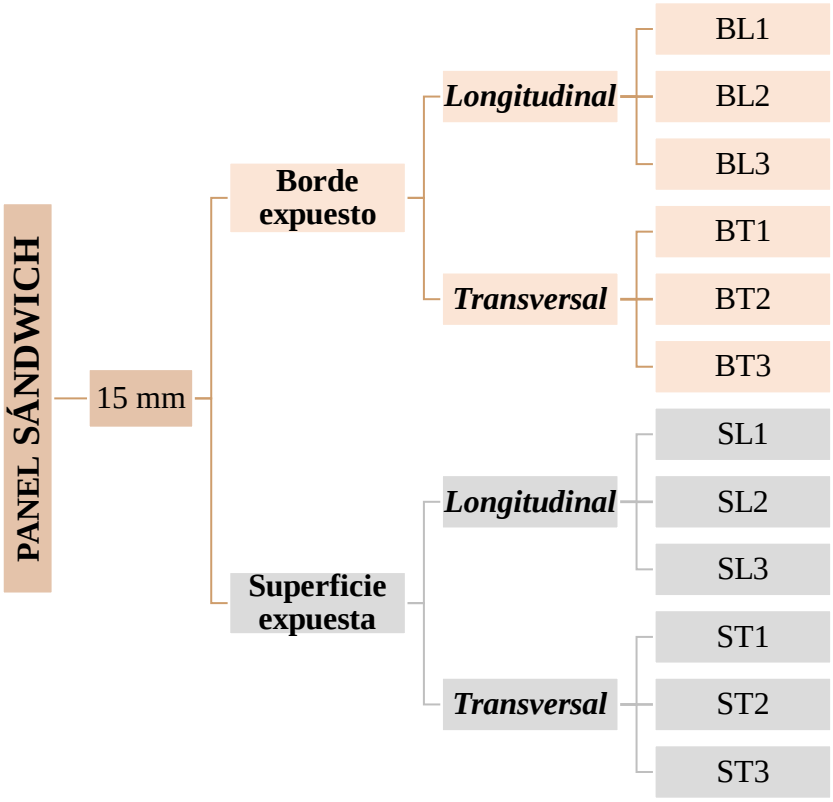


Fig. 4 Identificación de las muestras.

2) Acondicionamiento de las muestras

Previamente al ensayo de reacción al fuego las muestras de ensayo se acondicionaron por un tiempo de 96 horas bajo una temperatura de 23.59 °C y a una humedad relativa de 52.40 % según la norma NTE INEN-ISO 11925-2, en donde indica que se deben acondicionar las diferentes muestras por un período mínimo de 48 horas, para lograr una masa constante, y una temperatura de (23 ± 2) °C y una humedad relativa de (50 ± 5) %.



Fig. 5 Acondicionamiento de las muestras de ensayo.

Además, se registraron los pesos iniciales antes del acondicionamiento y se repitió este proceso durante las primeras 24, 48, 72 y 96 horas de acondicionamiento hasta que se alcanzó una masa constante, según la guía de la norma, que menciona que se considera que se alcanza masa constante cuando dos sucesivas pesadas, realizadas con un intervalo de 24 h, no difieren entre sí en más de un 0,1 % de la masa de la muestra o 0,1 g, eligiendo el mayor valor entre los anteriores [15].



Fig. 6 Registro de pesos durante el acondicionamiento.

3) Ensayo de las muestras

La norma menciona en [15], que se dispone dos tiempos de aplicación de la llama, 15 s o 30 s, a partir de esto se optó por un tiempo de aplicación de 30 s obteniendo resultados oportunos que ayudaron significativamente en el desarrollo del trabajo investigativo.

Ahora bien, de manera preliminar se comprobó velocidad del flujo de aire presente en la cámara de combustión, para lo cual según la normativa se requiere de velocidades de aire comprendidas entre (0.7 ± 0.1) m/s, considerando su medición desde la llama piloto en ignición y la campana extractora encendida, como se muestra en la Fig. 7.



Fig. 7 Medición de la velocidad de aire presente en la campana de extracción.

Seguidamente, se retiró las seis muestras de ensayo que se encontraban en el ambiente de acondicionamiento y según lo indica en [15], se ensayaron en un periodo de 30 minutos. Después, se colocó cada una de las muestras de ensayo en el portamuestras y se midió las distancias del quemador (Inclinado a 45°) a la muestra mediante el correspondiente espaciador, como se muestra en la Fig. 8, verificando que la distancia para la aproximación de la llama a borde expuesto sea de 16 mm de longitud y para la aproximación de la llama a superficie expuesta la distancia sea de 5 mm entre el borde del quemador y la superficie del material.



Fig. 8 Verificación de la distancia del quemador, a superficie expuesta.

Luego, se encendió el quemador en posición vertical y se ajustó la altura de la llama a 20 mm, como se muestra en la Fig. 9. A continuación, se inclinó el quemador 45 ° respecto a su eje vertical y se colocó debajo de la muestra un doble papel filtro en una bandeja de aluminio de 100 mm x 50 mm y 10 mm de profundidad. Este papel filtro, al igual que las muestras, fue acondicionado previamente contando con una masa por unidad de área de (75 ± 15) g/m² y con un contenido de cenizas inferior al 0,1 %.



Fig. 9 Verificación de la altura de la llama a 20mm.

Finalmente, cumplido los parámetros anteriormente mencionados, se inició el ensayo de reacción al fuego aplicado a los 30 s, y con ayuda de un cronómetro se controló el tiempo desde el momento en que la llama contacta con la muestra de ensayo, notorio en la Fig. 10.



Fig. 10 Ensayo de reacción al fuego de la muestra

4) Cámara térmica avanzada

En primer lugar, se revisó el manual del equipo en [19], para asegurar su correcto manejo y siguiendo las instrucciones del técnico de laboratorio, se logró garantizar la precisión de los resultados obtenidos con este equipo.

Continuando, se utilizó la cámara térmica avanzada con cual se determinó la temperatura máxima que alcanzan las muestras durante la aplicación de la llama en un periodo de 30 segundos en el desarrollo del ensayo de reacción al fuego, como se evidencia en la Fig. 11. De esta manera se obtuvo una grabación que inicio simultáneamente cuando la llama entro en contacto con la muestra.



Fig. 11 Determinación de la temperatura, mediante la cámara térmica.

5) Clasificación del material de cubierta

Se llevó a cabo la clasificación del material de acuerdo con la norma europea UNE-EN 13501-1:2007+A1, basándose en los resultados obtenidos de los ensayos de reacción al fuego. Este proceso permitió evaluar con precisión la inflamabilidad del material y su comportamiento ante la aplicación de una llama. A partir de los datos recopilados durante los ensayos, se asignaron clases específicas (A1, A2, B, C, D, E, F) que reflejan el desempeño del material. Las características de cada clase se explican de mejor manera en la Tabla I.

La norma establece diversos criterios de clasificación según el tipo de ensayo realizado, tal como se detalla en la Tabla II. A partir del ensayo de reacción al fuego (NTE INEN-ISO 11925-2), se midió la propagación de la llama (F_s) en milímetros, lo que permitió asignar la clase correspondiente al material de cubierta. Además, se evaluó si el material generaba producción de humo y se verificó la presencia de gotas o partículas inflamadas del papel filtro utilizado en el ensayo, de acuerdo con los criterios adicionales establecidos en la Tabla III.

Finalmente, tras recopilar toda la información de las etapas previas y realizar una investigación tanto cualitativa como cuantitativa, se determinó la reacción al fuego de estos materiales. Esto permitió clasificarlos en función de sus propiedades físicas, basadas en las fichas técnicas proporcionadas por los fabricantes de cada producto analizado, y establecer su comportamiento ante una fuente de ignición aplicada.

TABLA I

CLASES, COMBUSTIBILIDAD Y CARACTERÍSTICAS DE LA NORMA UNE-EN 13501-1:2007+A1 [20]

Clase	**Combustibilidad**	**Características**
A1	No combustible.	Productos que no contribuirán en ninguna fase del fuego, incluido el fuego totalmente desarrollado.
A2	Poco combustible.	Materiales con poder calorífico muy limitado, no aportan, de modo significativo, una carga al fuego ni contribuyen a su desarrollo.
B	Combustible con contribución muy limitada al fuego.	Productos capaces de resistir, durante un periodo extenso, el ataque de una llama pequeña sin que se produzca una propagación sustancial de la llama.
C	Combustible con contribución limitada al fuego.	Productos capaces de resistir, durante un periodo más largo, el ataque de una llama pequeña sin que se produzca una propagación sustancial de la llama.

D	Combustible con contribución media al fuego.	Productos capaces de resistir, durante un periodo largo, el ataque de una llama pequeña sin que se produzca una propagación sustancial de la llama.
E	Combustible con contribución alta al fuego.	Productos capaces de resistir, durante un periodo breve, el ataque de una llama pequeña sin que se produzca una propagación sustancial de la llama.
F	Sin clasificar.	Productos para los cuales no se han determinado comportamientos de reacción al fuego o no se pueden clasificar con las clases anteriores.

TABLA II

CRITERIOS DE CLASIFICACIÓN, SEGÚN LA NORMA UNE-EN 13501-1:2007+A1

Clase	**Norma de ensayo**	**Criterio de clasificación**	**Clasificación adicional**
A1	EN ISO 1182	$\Delta T \leq 30$ ºC; y $\Delta m \leq 50\%$; y $t_f = 0$ (es decir, sin producción sostenida de llamas)	-
	EN ISO 1716	$PCS \leq 2{,}0$ MJ/kg	
A2	EN ISO 1182	$\Delta T \leq 50$ ºC; y $\Delta m \leq 50\%$; y $t_f \leq 20$ s	-
	EN ISO 1716	$PCS \leq 4{,}0$ MJ/m^2 $PCS \leq 3{,}0$ MJ/kg	-
	EN 13823	$FIGRA \leq 120$ W/s $LFS <$ borde de la muestra y $THR_{600s} \leq 7{,}5$ MJ	Producción de humo y Gotas/partículas inflamadas
B	EN 13823	$FIGRA \leq 120$ W/s y $LFS <$ borde de la muestra y $THR_{600s} \leq 7{,}5$ MJ	Producción de humo y Gotas/partículas inflamadas
	EN ISO 11925-2 Exposición = 30 s	$F_s \leq 150$ mm dentro de 60 s	
C	EN 13823	$FIGRA \leq 250$ W/s y $LFS <$ borde de la muestra y $THR_{600s} \leq 15$ MJ	Producción de humo y Gotas/partículas inflamadas
	EN ISO 11925-2 Exposición = 30 s	$F_s \leq 150$ mm dentro de 60 s	
D	EN 13823	$FIGRA \leq 750$ W/s	Producción de humo y

	EN ISO 11925-2 Exposición = 30 s	$F_S \leq 150$ mm dentro de 60 s	Gotas/partículas inflamadas
E	EN ISO 11925-2 Exposición = 15 s	$F_S \leq 150$ mm dentro de 20 s	Gotas/partículas inflamadas
F	Ningún comportamiento determinado.		

TABLA III

CLASIFICACIÓN ADICIONAL, SEGÚN LA NORMA UNE-EN 13501-1:2007+A1

Clasificación adicional para producción de humo	
s1	Para los parámetros SMOGRA $\leq 30\ m^2/s^2$ ó $TSP_{600s} \leq 50m^2$ según la norma EN 13823.
s2	Para los parámetros SMOGRA $\leq 180\ m^2/s^2$ ó $TSP_{600s} \leq 200m^2$ según la norma EN 13823.
s3	Productos para los cuales no se declara ningún comportamiento o que no cumplen los criterios de s1 y s2.
Clasificación adicional para gotas/partículas en llamas	
d0	Ausencia de gotas/partículas en llamas dentro de 600 s según la norma EN 13823.
d1	Ausencia de gotas/partículas en llamas persistiendo más de 10 s dentro de 600 s según la norma EN 13823.
d2	No d0 o d1.

C. Fase III: Determinación de la conductividad térmica y del índice de carbonización del material

Para el desarrollo de la fase tres, se emplearon métodos tanto cualitativos como cuantitativos para determinar la conductividad térmica del material de cubierta tipo panel sándwich. Se llevó a cabo una revisión bibliográfica de catálogos, artículos e investigaciones, lo que permitió establecer el valor de la conductividad térmica del panel tipo sándwich con núcleo de PIR (Poliisocianurato). Por otro lado, tras someter las muestras a los ensayos de reacción al fuego, se registraron sus pesos y se compararon con los valores obtenidos antes del ensayo, así como las áreas que presentaron carbonización, con el fin de calcular el índice de carbonización del material.

CAPÍTULO III.- RESULTADOS Y DISCUSIÓN

I. ANÁLISIS Y DISCUSIÓN DE LOS RESULTADOS

A. Fase I: Análisis de las propiedades físicas del material de cubierta panel tipo sándwich

1) Selección del material

Continuando las investigaciones realizadas en [17] y [18], referentes a la caracterización de la inflamabilidad de materiales de construcción utilizados en obra civil y mediante revisión bibliográfica se identificó que el panel sándwich con núcleo de poliisocianurato (PIR) con un espesor de 15 mm es el más utilizado en construcciones y comercializado en el mercado.

2) Propiedades físicas del panel de cubierta tipo sándwich (Núcleo de PIR)

Una vez seleccionado el elemento a ensayar en cuanto a su inflamabilidad, se obtuvieron las propiedades físicas relevantes, que se encuentran detalladas en la ficha técnica proporcionadas por el fabricante del producto sometido a la prueba. Estos datos se presentan a continuación en la TABLA IV**.**

TABLA IV

PROPIEDADES FÍSICAS DEL PANEL DE CUBIERTA TIPO SÁNDWICH (NÚCLEO DE PIR) [21]

Panel de cubierta tipo sándwich (Núcleo de PIR)	
Propiedades Físicas	
Ancho:	1000 mm
Espesor:	15 mm
Peso panel:	6.79 kg/m^2
Densidad:	34 - 45 kg/m^3

Por otro lado en [21] además de sus propiedades físicas, se identificó otras especificaciones técnicas del material tales como las características térmicas y las propiedades aislantes acústicas las cuales se describen en la siguiente TABLA V y TABLA VI respectivamente.

TABLA V

CARACTERÍSTICAS TÉRMICAS DEL PANEL DE CUBIERTA TIPO SÁNDWICH (NÚCLEO DE PIR) [21]

Panel de cubierta tipo sándwich (Núcleo de PIR)	
Características Térmicas	
Temperatura de operación:	De -200 °C a +120 °C
Resistencia térmica para 15 mm:	0.75 $K.m^2/watts$

Incombustibilidad:	M1 NFP92501
Fire rating:	••••

Nota: Fire rating, es la capacidad de una obra o edificio para resistir el paso del fuego. Su valoración va de cinco puntos como la máxima valoración y un punto la mínima valoración.

TABLA VI

PROPIEDADES AISLANTES ACÚSTICAS DEL PANEL DE CUBIERTA TIPO SÁNDWICH (NÚCLEO DE PIR) [21]

Panel de cubierta tipo sándwich (Núcleo de PIR)	
Propiedades aislantes acústicas	
***Nivel de aislamiento acústico (dB) para 50 mm:**	36
****Coeficiente de reducción de ruido (NRC) para 50 mm:**	0.50

Nota: *El nivel de aislamiento acústico indica los dB que el material utilizado logra disminuir. ** A mayor coeficiente de reducción de ruido, mejor aislamiento acústico.

El panel de cubierta tipo sándwich con núcleo PIR combina propiedades físicas, térmicas y acústicas que lo convierten en un material versátil para diversas aplicaciones de construcción. Su ligereza, con un peso de 6,79 kg/m², y su moderada densidad entre 34 y 45 kg/m³, facilitan su instalación sin comprometer la resistencia estructural. Además, su alta resistencia térmica y su amplio rango de temperatura de funcionamiento lo posicionan como una solución eficiente para el aislamiento térmico en condiciones extremas. En términos de seguridad, su clasificación M1 y un Fire Rating de 4/5 destacan su capacidad para frenar la propagación del fuego. Finalmente, su nivel de aislamiento acústico y coeficiente de reducción de ruido ofrecen un rendimiento aceptable en el control de la transmisión del sonido, convirtiéndolo en una opción completa para proyectos donde se buscan características de eficiencia, seguridad y confort.

B. Fase II: Determinación del índice de inflamabilidad del material de cubierta panel tipo sándwich y clasificación del material de cubierta

Se procedió a la ejecución del ensayo de reacción al fuego cumpliendo con la norma NTE INEN-ISO 11925-2, inflamabilidad de los productos de construcción cuando se someten a la acción directa de la llama, ensayo con una fuente de llama única, donde se obtuvo los siguientes resultados, el cual discute y analiza la facilidad con la que un material se inflamará, especialmente en las condiciones al comienzo del fuego.

1) Resultados obtenidos del acondicionamiento

A continuación, se describen con detalle las condiciones y características bajo las cuales se realizaron los ensayos de reacción al fuego, tanto a borde como en superficie expuesta, evidente

en las tablas TABLA VII y TABLA IX. Asimismo, se presentan los resultados obtenidos del proceso de acondicionamiento de las muestras del material panel de cubierta tipo sándwich (con núcleo de PIR), tal como se evidencia en las tablas, TABLA VIII y TABLA X.

TABLA VII

CONDICIONES DE ENSAYO (APLICACIÓN DE LA LLAMA SOBRE EL BORDE)

PANEL DE CUBIERTA TIPO SÁNDWICH (NÚCLEO DE PIR)				
INFORMACIÓN GENERAL DEL MATERIAL				
Tipo de superficie del material:	Plano		No plano	X
Espesor del material:	15 mm			
Características del material:	Simple		Compuesto	X
Identificación del producto:	Kutérmico PIR (Panel Sandwich) 15 mm			
Preparación de la muestra:	Corte con amoladora a las dimensiones según ISO 11925-2:2010			
N° de muestras:	3 en sentido longitudinal y 3 en sentido transversal			
Dimensiones:	250 x 90 mm			
Color en el anverso:	Tomate	**Color en el reverso:**	Blanco	
Superficie en el anverso:	Acero estructural	**Superficie en el reverso:**	Acero estructural	
Nombre del fabricante:	Kubiec			
Dirección del fabricante:	Pichincha-Ecuador			
CONDICIONES DEL ENSAYO				
Cámara de inflamabilidad:	ISO 11925-2: 2010			
Tiempo de aplicación de la llama:	30 segundos			
Velocidad del aire en la campana extractora:	0.154 m/s			
Humedad relativa:	51.20 %	**Temperatura:**	23.7 °C	
Tiempo total del ensayo:	60 segundos			
Punto de aplicación de la llama:	Superficie		Borde inferior	X

TABLA VIII

ACONDICIONAMIENTO MUESTRAS (APLICACIÓN DE LA LLAMA SOBRE EL BORDE)

ACONDICIONAMIENTO PANEL DE CUBIERTA TIPO SÁNDWICH (NÚCLEO DE PIR)					
Tiempo de acondicionamiento:			96 horas		
Humedad relativa:	51.20 %		**Temperatura:**	23.7 °C	
Código	**Peso inicial (g):**	**Peso ac. 72h (g):**	**Peso ac. 96h (g):**	**Dif. 0.1g**	**Cumple acondicionamiento**
BL1	154.73	154.65	154.64	0.01	Sí
BL2	152.73	152.62	152.61	0.01	Sí
BL3	152.03	151.97	151.97	0	Sí
BT1	150.81	150.70	150.69	0.01	Sí
BT2	155.00	154.89	154.89	0	Sí
BT3	151.22	151.16	151.16	0	Sí



Fig. 12 Muestras acondicionadas para ensayo a borde, Panel de cubierta tipo sándwich.

Análisis: La TABLA VII, muestra las características del panel de cubierta tipo sándwich de espesor 15mm donde se detalla que es un material de color tomate en una cara y blanco en el reverso, se aplicó la llama en el borde y el tiempo de aplicación de esta fue de 30 segundos, conociendo también la temperatura y tiempo de acondicionamiento; 23.7 ºC y 96 horas respectivamente, aplicados para obtener los resultados detallados en la TABLA VIII, donde se visualiza que cumple el acondicionamiento que la norma establece, el cuál debe ser en un tiempo mínimo de 48 horas dentro de la cámara de acondicionamiento y alcanzar masa constante que comprende hasta 0.1g de diferencia entre dos pesajes en un intervalo de 24 horas.

TABLA IX

CONDICIONES DE ENSAYO (APLICACIÓN DE LA LLAMA SOBRE LA SUPERFICIE)

PANEL DE CUBIERTA TIPO SÁNDWICH (NÚCLEO DE PIR)				
INFORMACIÓN GENERAL DEL MATERIAL				
Tipo de superficie del material:	Plano		No plano	X
Espesor del material:	15 mm			
Características del material:	Simple		Compuesto	X
Identificación del producto:	Kutérmico PIR (Panel Sandwich) 15 mm			
Preparación de la muestra:	Corte con amoladora a las dimensiones según ISO 11925-2:2010			
N° de muestras:	3 en sentido longitudinal y 3 en sentido transversal			
Dimensiones:	250 x 90 mm			
Color en el anverso:	Tomate	**Color en el reverso:**	Blanco	
Superficie en el anverso:	Acero estructural	**Superficie en el reverso:**	Acero estructural	
Nombre del fabricante:	Kubiec			
Dirección del fabricante:	Pichincha-Ecuador			
CONDICIONES DEL ENSAYO				
Cámara de inflamabilidad:	ISO 11925-2: 2010			
Tiempo de aplicación de la llama:	30 segundos			
Velocidad del aire en la campana extractora:	0.154 m/s			
Humedad relativa:	51.20 %	**Temperatura:**	23.7 °C	
Tiempo total del ensayo:	60 segundos			
Punto de aplicación de la llama:	Superficie	X	Borde inferior	

TABLA X

ACONDICIONAMIENTO MUESTRAS (APLICACIÓN DE LA LLAMA SOBRE LA SUPERFICIE)

ACONDICIONAMIENTO PANEL DE CUBIERTA TIPO SÁNDWICH (NÚCLEO DE PIR)					
Tiempo de acondicionamiento:			96 horas		
Humedad relativa:	51.20 %		**Temperatura:**	23.7 °C	
Código	**Peso inicial (g):**	**Peso ac. 72h (g):**	**Peso ac. 96h (g):**	**Dif. 0.1g**	**Cumple acondicionamiento**
SL1	154.10	156.97	156.97	0	Sí
SL2	152.96	152.90	152.90	0	Sí
SL3	152.70	152.64	152.64	0	Sí
ST1	155.54	155.41	155.40	0.01	Sí
ST2	155.15	155.06	155.05	0.01	Sí
ST3	153.26	153.18	153.17	0.01	Sí



Fig. 13 Muestras acondicionadas para ensayo a superficie, Panel de cubierta tipo sándwich.

Análisis: La TABLA IX muestra las características del panel de cubierta tipo sándwich de espesor 15mm donde se describe que es un material de color tomate en el anverso y blanco en el reverso, se aplicó la llama en la superficie y el tiempo de aplicación de la misma fue de 30 segundos, con una temperatura de acondicionamiento de 23.7 ºC y con un tiempo de acondicionamiento de 96 horas, aplicados para obtener los resultados detallados en la TABLA X donde se visualiza que cumple el acondicionamiento que la norma establece con 0.1g de diferencia entre dos pesajes en un intervalo de 24 horas.

2) Resultados del ensayo de reacción al fuego

En esta sección se muestra los resultados de los ensayos de reacción al fuego ejecutados sobre el borde expuesto así como en la superficie, a cada una de las muestras del material panel tipo sándwich, llevados a cabo dentro de la cámara de inflamabilidad como se puede apreciar parte del proceso de ensayo en el Anexo 1, donde se determinó si el material presenta ignición y la distancia que alcanza la llama y el tiempo que le lleva, y para conocer su clasificación

adicional de producción de humo / gotas y partículas inflamadas como se establece en la TABLA II mediante la visualización si el papel filtro sufre ignición o no.

TABLA XI

RESULTADOS DE LA APLICACIÓN DE LA LLAMA SOBRE EL BORDE

PANEL DE CUBIERTA TIPO SÁNDWICH (NÚCLEO DE PIR)					
Espesor:	15 mm		**Tiempo de aplicación de la llama:**		30 s
Aplicación de la llama:	Borde expuesto		**Duración total del ensayo:**		60 s
RESULTADOS DEL ENSAYO DE REACCIÓN AL FUEGO					
Código	**Produce Ignición**	**La punta de la llama alcanza los 150 mm**	**Tiempo en alcanzar los 150 mm** [s]	**Presencia de gotas/ Partículas inflamadas**	**Ignición del papel filtro**
Longitudinal					
BL1	Sí	No	0	No	No
BL2	Sí	No	0	No	No
BL3	Sí	No	0	No	No
Transversal					
BT1	Sí	No	0	No	No
BT2	Sí	No	0	No	No
BT3	Sí	No	0	No	No



Fig. 14 Muestras ensayadas sobre el borde, Panel de cubierta tipo sándwich.

Análisis: En la TABLA XI se evidencia los resultados de las muestras del material panel tipo sándwich luego de la aplicación de la llama sobre el borde durante 30 segundos acorde a la normativa, determinando que las probetas ensayadas presentan ignición, pero la llama no alcanza los 150 mm en el tiempo establecido. La norma NTE INEN-ISO 11925-2 establece que, si el tiempo de aplicación de llama es de 30 segundos, el ensayo debe durar 60 segundos, es decir, solo se medirá el tiempo en alcanzar los 150 mm dentro de los 60 segundos, si el material

se inflama se anotará el tiempo en el que alcanza los 150 mm, caso contrario no se colocará ningún valor; así mismo se registró la ignición del papel filtro, dando como resultado que no se encendió, pues no caían gotas inflamadas al no alcanzar la combustión inicial.

TABLA XII

RESULTADOS DE LA APLICACIÓN DE LA LLAMA EN SUPERFICIE

PANEL DE CUBIERTA TIPO SÁNDWICH (NÚCLEO DE PIR)					
Espesor:	15 mm		**Tiempo de aplicación de la llama:**		30 s
Aplicación de la llama:	Superficie		**Duración total del ensayo:**		60 s
RESULTADOS DEL ENSAYO DE REACCIÓN AL FUEGO					
Código	**Produce Ignición**	**La punta de la llama alcanza los 150 mm**	**Tiempo en alcanzar los 150 mm** [s]	**Presencia de gotas/ Partículas inflamadas**	**Ignición del papel filtro**
Longitudinal					
SL1	No	No	0	No	No
SL2	No	No	0	No	No
SL3	No	No	0	No	No
Transversal					
ST1	No	No	0	No	No
ST2	No	No	0	No	No
ST3	No	No	0	No	No



Fig. 15 Muestras ensayadas en superficie, Panel de cubierta tipo sándwich.

Análisis: En la TABLA XII se evidencia los resultados de las muestras del material panel tipo sándwich luego de la aplicación de la llama sobre la superficie durante 30 segundos acorde a la normativa, donde se obtiene que ninguna de las probetas ensayadas alcanza la ignición, tampoco la llama alcanza 150 mm en el tiempo establecido. La norma NTE INEN-ISO 11925-2 establece que, si el tiempo de aplicación de llama es de 30 segundos, el ensayo debe durar 60

segundos, si el material se inflama se anotará el tiempo en el que alcanza los 150 mm, caso contrario no se colocará ningún valor, de igual manera se registró la ignición del papel filtro, dando como resultado que no se encendió, pues no caían gotas inflamadas porque no alcanzó la ignición inicial.

3) Resultados de temperatura con la cámara térmica

Con la ayuda de la cámara térmica avanzada se registró el punto máximo de temperatura alcanzado en las muestras luego de aplicar la llama durante un periodo de 30 segundos. Dichos valores registrados se encuentran expresados en grados centígrados. Por otro lado, se verificó la existencia de propagación de la llama, cuyos resultados se presentan en la TABLA XIII y en la TABLA XIV.

Además, se incluyen las imágenes correspondientes capturadas con la cámara térmica avanzada, las cuales se detallan en el Anexo 2.

TABLA XIII
RESULTADOS CÁMARA TÉRMICA AVANZADA, MUESTRAS ENSAYADAS SOBRE EL BORDE

PANEL DE CUBIERTA TIPO SÁNDWICH (NÚCLEO DE PIR)		
RESULTADOS DE LA CÁMARA TÉRMICA AVANZADA		
Aplicación de la llama:	Borde expuesto	
Código	**Temperatura máx. alcanzada a los 30 [s] °C**	**Propagación de la llama después de 30 [s] Sí o No**
Longitudinal		
BL1	839.1	No
BL2	862.9	No
BL3	854.3	No
Transversal		
BT1	907.9	No
BT2	916.0	No
BT3	883.8	No

Análisis: Los resultados obtenidos mediante la cámara térmica muestran un rango de temperatura entre 839.1 °C y 916.0 °C en las muestras del panel de cubierta tipo sándwich de 15 mm de espesor durante los 30 segundos del ensayo de reacción al fuego. Además, se concluye que no existe propagación de la llama después de los 30 segundos de finalizar la exposición directa a la llama. Estos resultados demuestran un buen comportamiento del núcleo PIR frente a la exposición térmica y su capacidad para evitar la propagación del fuego.

TABLA XIV

RESULTADOS CÁMARA TÉRMICA AVANZADA, MUESTRAS ENSAYADAS SOBRE LA SUPERFICIE

PANEL DE CUBIERTA TIPO SÁNDWICH (NÚCLEO DE PIR)		
RESULTADOS DE LA CÁMARA TÉRMICA AVANZADA		
Aplicación de la llama:	Superficie	
Código	**Temperatura máx. alcanzada a los 30 [s] °C**	**Propagación de la llama después de 30 [s] Sí o No**
Longitudinal		
SL1	514.0	No
SL2	460.2	No
SL3	252.8	No
Transversal		
ST1	311.1	No
ST2	311.4	No
ST3	292.8	No

Análisis: Los resultados obtenidos mediante la cámara térmica muestran un rango de temperatura entre 252.8 °C y 514.0 °C en las muestras del panel de cubierta tipo sándwich de 15 mm de espesor durante los 30 segundos del ensayo de reacción al fuego. Además, se concluye que no existe propagación de la llama después de los 30 segundos de finalizar la exposición directa a la llama. Estos resultados evidencian una alta resistencia térmica cuando se expone directamente al fuego en la superficie, manteniendo su estabilidad sin propagar las llamas.

4) Clasificación de los materiales

Luego de haber ejecutado los ensayos a las muestras, se obtuvieron los resultados correspondientes al parámetro de propagación vertical (Fs), establecido como requisito en la norma UNE-EN 13501-1:2007+A1. Este parámetro es fundamental para clasificar y caracterizar el material según la norma europea y de igual manera, realizar la clasificación acorde a sus propiedades físicas.

a) Resultados de la distancia de propagación vertical de la llama

A continuación, se presentan los resultados obtenidos de la medición de las distancias de propagación vertical (F_S) en cada una de las muestras. El análisis se realizó tomando como referencia el criterio de clasificación definidos en las normas NTE INEN-ISO 11925-1 y EN 13501-1, los cuales se detallan en la TABLA XV y en la TABLA XVI .

Por otro lado, se incluyeron imágenes fotográficas del ensayo, en las que se documenta la altura alcanzada por la propagación vertical. La línea trazada en el material representa la altura límite de 150 mm establecida en la norma, como se puede observar en la Fig. 16 y la Fig. 17, mientras que el resto de las imágenes se encuentran detalladas en el Anexo 3.

TABLA XV

PROPAGACIÓN VERTICAL DE LA LLAMA (F_s), DE LAS MUESTRAS ENSAYAS SOBRE EL BORDE

PANEL DE CUBIERTA TIPO SÁNDWICH (NÚCLEO DE PIR)		
RESULTADOS DISTANCIA DE LA PROPAGACIÓN VERTICAL DE LA LLAMA (F_s)		
Aplicación de la llama:	Borde expuesto	
Código	**Distancia de propagación vertical (F_s) [mm]**	**Criterio de clasificación para ISO 11925-2 según EN 13501-1**
BL1	10.95	< 150 mm
BL2	13.97	< 150 mm
BL3	13.68	< 150 mm
BT1	6.82	< 150 mm
BT2	13.72	< 150 mm
BT3	15.65	< 150 mm

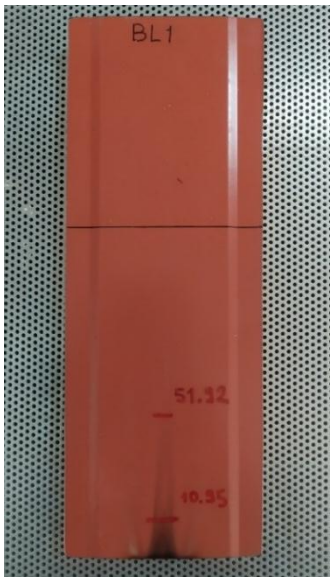


Fig. 16 Medición factor (F_s), muestra ensayada sobre el borde.

Análisis: La TABLA XV presenta los resultados del factor de propagación vertical (F_s) en las muestras del panel tipo sándwich (Núcleo de PIR). La medición se realizó desde el punto de aplicación de la llama hasta la máxima altura alcanzada por la misma en cada una de las probetas. Por lo tanto, se evidencia que en todas las muestras ensayadas la distancia de propagación de la llama es menor a 150 mm cumpliendo con el parámetro. Este valor permite determinar la clasificación del producto de acuerdo con la norma europea.

TABLA XVI

PROPAGACIÓN VERTICAL DE LA LLAMA (F_s), DE LAS MUESTRAS ENSAYAS SOBRE LA SUPERFICIE

PANEL DE CUBIERTA TIPO SÁNDWICH (NÚCLEO DE PIR)		
RESULTADOS DISTANCIA DE LA PROPAGACIÓN VERTICAL DE LA LLAMA (F_s)		
Aplicación de la llama:	Superficie	
Código	**Distancia de propagación vertical (F_s) [mm]**	**Criterio de clasificación para ISO 11925-2 según EN 13501-1**
SL1	0	< 150 mm
SL2	0	< 150 mm
SL3	0	< 150 mm
ST1	0	< 150 mm
ST2	0	< 150 mm
ST3	0	< 150 mm



Fig. 17 Medición factor (F_s), muestra ensayada sobre la superficie.

Análisis: La TABLA XVI presenta los resultados del factor de propagación vertical (F_s) en las muestras del panel tipo sándwich (Núcleo de PIR) ensayadas sobre la superficie. La medición se realizó desde el punto donde se aplicó la llama, ubicado a 40 mm del borde, hasta el punto máximo alcanzado por la punta de la llama. Por lo tanto, se evidencia que en todas las muestras ensayadas no existe propagación de la llama cumpliendo con el parámetro. Este valor permite determinar la clasificación del producto de acuerdo con norma europea.

b) Clasificación del material según la norma europea

De acuerdo con los resultados establecidos en la TABLA XV y en la TABLA XVI del parámetro de propagación vertical de la llama (F_s), obtenidos posterior a la ejecución de los ensayos de reacción al fuego según la norma ISO 11925-2, como resultado se determinó que son valores menores a 150 mm en todas las muestras del material de cubierta panel tipo sándwich (Núcleo de PIR), sin embargo se optó por utilizar los resultados más significativos evidentes en la TABLA XV para realizar la respectiva clasificación del material. Por lo tanto, al cumplir con los parámetros de clasificación detallados en la TABLA II, lo cual lo categoriza en las clases B, C y D, como estable la norma EN 13501-1.

Del mismo modo, se realizó la clasificación considerando el parámetro adicional relacionado con la emisión de humo y la caída de gotas o partículas inflamadas, cuyos detalles se presentan inicialmente en la TABLA III.

En ese sentido, se detallan en la TABLA XVII los criterios de clasificación en función de los resultados obtenidos anteriormente, según la norma En 13501-1.

TABLA XVII

CLASIFICACIÓN DEL PANEL TIPO SÁNDWICH DE CUBIERTA SEGÚN EN 13501-1.

Material	**Comportamiento al fuego**		**Producción de humo**			**Gotas en llamas**	
Panel tipo sándwich de cubierta (Núcleo de PIR) 15 mm	B	**-**	s	3	,	d	2

Análisis: El material panel tipo sándwich de cubierta con núcleo de PIR de 15 mm fue clasificado con un comportamiento al fuego de clase **B**, lo que indica una reacción limitada frente a la exposición al fuego. Por lo tanto, es un producto capaz de resistir, durante un periodo extenso, el ataque de una llama pequeña sin que se produzca una propagación sustancial del fuego.

En cuanto a la producción de humo, se determinó un nivel **s3**, lo que corresponde a productos para los cuales no se declara ningún comportamiento o que no cumplen los criterios de clasificación de s1 y s2. Además, se registró una clasificación **d2** respecto a la caída de gotas o partículas inflamadas, lo que significa que no es d0 o d1 según los parámetros de la normativa En 13501-1. Estos resultados reflejan el desempeño del material conforme a los criterios establecidos en las normas de reacción al fuego.

En [5] indica que tanto el código europeo, Código Técnico de la Edificación (CTE DB SI) y el Reglamento de Seguridad contra Incendios en Establecimientos Industriales (RSCIEI) en cuanto a la reacción al fuego, el CTE DB SI exige una clasificación que varía desde euroclase B-s1, d0 hasta C-s2, d0 para recintos interiores, y entre B-s3, d2 y C-s3, d2 para exteriores. En cambio, el RSCIEI solo requiere una euroclase C-s3, d0. En ese sentido, la clasificación realizada es acertada ya que cumple con los requisitos mencionados anteriormente demostrando que el panel sándwich evaluado presenta un buen comportamiento frente al fuego, con una reacción limitada.

Además, en [9] indica que se realizó un análisis experimental de reacción al fuego de los paneles sándwich compuestos por láminas de acero y núcleo de espuma de Poliisocianurato (PIR), en donde mediante pruebas de Elemento de Combustión Única (SBI) las muestras fueron clasificadas como euroclase A2-s2, d0. Por lo tanto, en comparación con la clasificación realizada esta es superior demostrando que este tipo de paneles tiene un buen rendimiento en reacción al fuego, sin embargo, en importante tomar en cuenta que las muestras fueron ensayadas con una norma diferente a la de este proyecto.

C. Fase III: Determinación de la conductividad térmica y del índice de carbonización del material

La determinación de la conductividad térmica y del índice de carbonización fue crucial para evaluar el comportamiento del material frente al calor y al fuego. La conductividad térmica se obtuvo a partir del catálogo técnico del material, lo que permitió evaluar su capacidad para conducir el calor y, por ende, su eficiencia como aislante térmico. Por otra parte, el índice de carbonización se analizó mediante la medición del peso de las muestras antes y después de los ensayos de reacción al fuego. Estos parámetros fueron fundamentales para determinar la idoneidad del material en aplicaciones constructivas, especialmente en escenarios donde la exposición al fuego o a temperaturas extremas representa un factor determinante.

En ese sentido, fue necesario conocer la definición de conductividad térmica. En [22] menciona que la conductividad térmica (λ) es una propiedad que evalúa la capacidad de un material para transferir energía en forma de calor cuando existe una diferencia de temperatura. Se expresa en unidades de vatios por metro-kelvin (W/(m·K)). Y la resistencia térmica por unidad de área (R) es una propiedad que relaciona la capacidad de un material para resistir el flujo de calor con el espesor de la muestra. Esta magnitud está directamente relacionada con la

con la conductividad térmica. Sus unidades son ($m^2 \cdot K/W$) y su ecuación se expresa de la siguiente manera:

$$R = \frac{d}{\lambda} \quad (1)$$

Donde:

d es el espesor del material (en metros, m).

λ es la conductividad térmica del material en W/(m·K)

1) Resultados de la conductividad térmica del material

Analizando el catálogo técnico del material, proporcionado por la empresa en donde se obtuvo el producto, se obtuvo un valor de resistencia térmica (R) de 0.75 $m^2 \cdot K/W$ para un espesor de 15 mm del panel sándwich de cubierta (Núcleo de PIR).

De esta manera al despejar de la ecuación (1), determinamos que el valor de conductividad térmica del panel sándwich de cubierta (Núcleo de PIR) de 15 mm de espesor es de 0.02 W/(m·K) como se puede apreciar a continuación:

$$\lambda = \frac{d}{R} \quad (2)$$

$$\lambda = \frac{0.015\ m}{0.75\ \frac{m^2 \cdot K}{W}}$$

$$\lambda = 0.02\ \frac{W}{m \cdot K}$$

Por otro lado en [23], menciona que el valor de conductividad térmica (λ) es de 0,02326 W/(m·K) para baldosas termoacústicas (Paneles sándwich de cubierta) con un núcleo aislante PIR (espuma rígida de poliisocianurato), de espesor que vas desde los 30 mm a los 50 mm dependiendo de la geometría de las superficies metálicas.

2) Resultados del índice de carbonización del material

Una vez concluido con los ensayos de reacción al fuego, se procedió a registrar los pesos de todas las muestras comparándolos con los valores obtenidos antes de los ensayos, por otro lado, se registró el valor de las áreas que presencian carbonización de las muestras ensayadas a borde expuesto. Este análisis permitió determinar el índice de carbonización del material de cubierta tipo panel sándwich, cuyos resultados se presentan a continuación en la TABLA XVIII , TABLA XIX y en la TABLA XX.

Es importante destacar que el análisis del índice de carbonización se realizó únicamente en las muestras ensayadas a borde expuesto, debido a que estas mostraron resultados significativos en comparación a las muestras ensayadas sobre la superficie, ya que no presentaron evidencia de carbonización, como se detalla en el Anexo 3.

La TABLA XVIII presenta los resultados del índice de carbonización por peso para paneles de cubierta tipo sándwich con núcleo de PIR, evaluados con la aplicación de llama en el borde expuesto. Se midieron los pesos iniciales y finales de cada muestra (BL1, BL2, BL3, BT1, BT2 y BT3), y se calculó el índice de carbonización como el porcentaje de pérdida de peso tras la exposición al fuego.

TABLA XVIII

RESULTADOS ÍNDICE DE CARBONIZACIÓN, DE LAS MUESTRAS ENSAYADAS SOBRE EL BORDE

PANEL DE CUBIERTA TIPO SÁNDWICH (NÚCLEO DE PIR)			
RESULTADOS ÍNDICE DE CARBONIZACIÓN POR PESO			
Aplicación de la llama:	Borde expuesto		
Código	**Peso inicial (g)**	**Peso Final (g)**	**Índice de carbonización %**
BL1	154.73	154.49	0.16
BL2	152.73	152.57	0.10
BL3	152.03	151.92	0.07
BT1	150.81	150.65	0.11
BT2	155.00	154.84	0.10
BT3	151.22	151.11	0.07

Análisis: Los resultados indican que las muestras experimentaron una pérdida de peso mínima, con índices de carbonización que varían entre 0.07% y 0.16%. En los ensayos longitudinales, el valor más alto correspondió a BL1 con un índice de 0.16%, mientras que BL3 mostró el valor más bajo, 0.07%. Por otro lado, en los ensayos transversales, el índice máximo fue de 0.11% para BT1, y el mínimo de 0.07% para BT3.

Estos resultados reflejan una excelente resistencia del núcleo de PIR frente a la carbonización, evidenciando que las pérdidas de material son prácticamente insignificantes bajo estas condiciones de ensayo. Esto confirma que el material es adecuado para aplicaciones donde la resistencia al fuego representa un aspecto fundamental

TABLA XIX

RESULTADOS ÍNDICE DE CARBONIZACIÓN, DE LAS MUESTRAS ENSAYADAS SOBRE EL BORDE

PANEL DE CUBIERTA TIPO SÁNDWICH (NÚCLEO DE PIR)			
RESULTADOS ÍNDICE DE CARBONIZACIÓN POR ÁREA			
Aplicación de la llama:	Borde expuesto		
Análisis:	En el núcleo del material		
Código	**Área Carbonizada [cm²]**	**Área Total Expuesta [cm²]**	**Índice de carbonización %**
SL1	4.50	13.5	33.3
SL2	4.95	13.5	36.7
SL3	5.25	13.5	38.9
ST1	4.50	13.5	33.3
ST2	5.25	13.5	38.9
ST3	5.25	13.5	38.9

TABLA XX

RESULTADOS ÍNDICE DE CARBONIZACIÓN, DE LAS MUESTRAS ENSAYADAS SOBRE EL BORDE

PANEL DE CUBIERTA TIPO SÁNDWICH (NÚCLEO DE PIR)			
RESULTADOS ÍNDICE DE CARBONIZACIÓN POR ÁREA			
Aplicación de la llama:	Borde expuesto		
Análisis:	En la cara del material		
Código	**Área Carbonizada [cm²]**	**Área Total Expuesta [cm²]**	**Índice de carbonización %**
SL1	2.25	225	1.0
SL2	1.69	225	0.8
SL3	1.30	225	0.6
ST1	0.60	225	0.3
ST2	1.30	225	0.6
ST3	2.25	225	1.0

Análisis: Los resultados de las tablas muestran el comportamiento de los paneles tipo sándwich con núcleo de PIR frente a la aplicación de la llama en el borde expuesto en donde se evidencia carbonización el núcleo del material y en la cara del panel. El área carbonizada en el núcleo va de 4.5 cm² a 5.25 cm², pero el índice de carbonización es relativamente alto, con valores entre 33.3 % y 38.9 %, lo que evidencia una mayor vulnerabilidad en esta zona. En comparación, de la cara del material, aunque el área carbonizada va de 0.60 cm² a 2.25 cm², el índice de carbonización es considerablemente menor, oscilando entre 0.3 % y 1.0 %, lo que indica una mayor resistencia al fuego. Este comportamiento resalta que la cara del panel ofrece mejor protección frente a la propagación del fuego en comparación con el núcleo, lo cual es clave para aplicaciones donde la seguridad contra incendios es prioritaria.

II. VERIFICACIÓN DE HIPÓTESIS

A. HIPÓTESIS

El material de cubierta panel tipo sándwich utilizado en construcciones se combustiona con exposición al fuego por sus propiedades físicas.

B. VERIFICACIÓN DE LA HIPÓTESIS

Los resultados experimentales obtenidos en el desarrollo de esta investigación permiten concluir que, si bien el material presenta cierta combustión inicial bajo exposición al fuego, sus propiedades físicas limitan de manera significativa la propagación de las llamas, demostrando un comportamiento favorable frente a eventos de ignición.

En las pruebas realizadas conforme a la norma NTE INEN-ISO 11925-2, el material fue evaluado tanto en los bordes como en la superficie. En las pruebas sobre los bordes, se observó ignición inicial; sin embargo, la propagación vertical de la llama fue inferior a 15.65 mm, significativamente menor al límite de 150 mm establecido por la normativa. Este resultado evidencia que, aunque las propiedades físicas del material permiten la ignición, no contribuyen a una propagación significativa.

Las propiedades físicas del núcleo de poliisocianurato (PIR), como su baja densidad (34-45 kg/m^3), su espesor (15 mm) y su alta resistencia térmica ($R = 0.75\ m^2 \cdot K/W$), son determinantes en su comportamiento frente al fuego. Adicionalmente, los datos obtenidos mediante cámara térmica mostraron que, aunque el material alcanzó temperaturas máximas de 916 °C en los bordes y 514 °C en la superficie durante los ensayos, no se observó propagación posterior de las llamas.

El análisis final clasificó al material como B-s3, d2 según la norma UNE-EN 13501-1:2007+A1, lo que indica una reacción limitada frente al fuego, con producción moderada de humo (s3) y partículas inflamadas (d2). Esta clasificación valida que, si bien el material puede entrar en combustión bajo ciertas condiciones, sus propiedades físicas restringen de manera significativa la propagación del fuego, garantizando un desempeño seguro en aplicaciones constructivas.

En conclusión, la hipótesis se verifica completamente, ya que, aunque el material puede presentar combustión inicial, sus propiedades físicas no favorecen una propagación considerable, destacándose como un material con buen comportamiento frente al fuego y adecuado para su uso en el sector de la construcción.

CAPITULO IV.- CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES

I. CONCLUSIONES

- La caracterización del panel tipo sándwich, con núcleo de poliisocianurato (PIR), evidenció que sus propiedades físicas, como densidad (34 - 45 kg/m³), espesor (15 mm) y peso (6.79 kg/m²), influyen directamente en su comportamiento frente al fuego. Los ensayos demostraron que estas propiedades contribuyen a la baja propagación vertical de la llama (<150 mm), cumpliendo con los criterios establecidos en la norma UNE-EN 13501-1:2007+A1.
- Se determinó que, tras los ensayos realizados en 12 probetas del material de cubierta tipo sándwich con un espesor de 15 mm, ninguna muestra alcanzó una propagación vertical mayor a 150 mm (F_s). Este comportamiento permite clasificar dichos materiales como no inflamables en un tiempo de evaluación de 60 segundos, cumpliendo con los criterios establecidos para la duración del ensayo, el cual incluyó 30 segundos de exposición directa a la llama y 30 segundos adicionales sin su presencia.
- Se clasificó el material de cubierta panel tipo sándwich en función del comportamiento al fuego y en base a sus propiedades físicas según la normativa EN 13501-1. Perteneciendo a la clase B, lo que demuestra una reacción limitada frente a la exposición al fuego y la capacidad de resistir el ataque de una llama pequeña sin propagación significativa durante un periodo prolongado. En cuanto a la producción de humo, obtuvo una clasificación s3, indicando niveles elevados o no clasificados dentro de los criterios más restrictivos, mientras que en la caída de gotas o partículas inflamadas se clasificó como d2, evidenciando que no cumple con los parámetros más exigentes de las categorías d0 o d1.
- Con una resistencia térmica (R) de 0.75 m²·K/W y una conductividad térmica de 0.02 W/(m·K), el panel evaluado mostró alta eficiencia como aislante térmico. Estos valores son consistentes con su composición de núcleo PIR, lo que lo posiciona como una opción adecuada para construcciones que requieren propiedades de aislamiento en condiciones extremas de temperatura.
- Los ensayos realizados sobre los bordes del panel tipo sándwich revelaron un índice de carbonización mínimo, con pesos de las muestras prácticamente constantes antes y después de las pruebas. Las temperaturas registradas, que alcanzaron hasta 916 °C

sin propagación de llama, confirman que el material mantiene su integridad estructural bajo condiciones de fuego.

II. RECOMENDACIONES

- Aunque el panel tipo sándwich con núcleo de poliisocianurato (PIR) presenta una reacción limitada al fuego y cumple con normativas internacionales, se recomienda complementar su uso con medidas de protección pasiva y activa contra incendios, como la instalación de barreras cortafuegos, sistemas de rociadores automáticos y monitoreo continuo de las condiciones ambientales en las estructuras donde se utilice.
- Considerando su clasificación como B-s3, d2 y su desempeño térmico, se recomienda priorizar el uso del panel tipo sándwich en construcciones donde se requieran materiales con alta resistencia térmica y una reacción limitada al fuego, como naves industriales, almacenes, centros logísticos y edificaciones con estrictos requisitos de seguridad en exteriores e interiores
- Se recomienda la ejecución de una próxima investigación en donde se realice la comparación del panel tipo sándwich con núcleo de poliisocianurato (PIR) frente a otros materiales de cubierta, como los de núcleo de lana mineral o espuma fenólica, permitirá identificar sus ventajas y desventajas en términos de resistencia al fuego, durabilidad y costos. Asimismo, la incorporación de aditivos retardantes de fuego o el uso de capas externas con propiedades ignífugas podría optimizar significativamente su desempeño, mejorando su clasificación bajo normativas internacionales y ampliando su aplicabilidad en edificaciones con altos requisitos de seguridad contra incendios.

REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

[1] A. M. de Marco, Los nuevos materiales en la construcción. Reverte, 2021.

[2] A. B. Ocampo, «Zonificación de riesgo por incendios estructurales en la ciudad de Guaranda, Ecuador», Unpublished, 2022. Accedido: 2 de octubre de 2024. [En línea]. Disponible en: https://rgdoi.net/10.13140/RG.2.2.15486.46408

[3] Manual de instalación, mantenimiento Y verificación de construcciones con paneles sándwich, Edición 2018. Madrid: CEPREVEN, 2018.

[4] J. M. Chillón Moreno, J. Sánchez Montero, y J. Pecharromán Sacristán, «Determinación de la resistencia a esfuerzo cortante en ensayos de flexión a paneles sándwich PUR: análisis de las dificultades y simulación por elementos finitos», Inf. Constr., vol. 69, n.º 547, p. 208, sep. 2017, doi: 10.3989/id56079.

[5] A. Galán Penalva, «Comportamiento al fuego de los paneles sándwich metálicos. Análisis sobre el uso adecuado de este producto», BIA, n.º 292, pp. 54-56, 2017, Accedido: 3 de octubre de 2024. [En línea]. Disponible en: http://www.riarte.es/handle/20.500.12251/764

[6] M. Murillo A, A. Acosta P, C. Quesada Q, V. Abisambra G, B. F. Tutikian, y R. Christ, «Comparative experimental analysis of the fire resistance of sandwich panels with polyisocyanourate core reinforced with fiberglass fabric», Case Stud. Therm. Eng., vol. 40, p. 102550, dic. 2022, doi: 10.1016/j.csite.2022.102550.

[7] D. Pereira, A. Gago, J. Proença, y T. Morgado, «Fire performance of sandwich wall assemblies», Compos. Part B Eng., vol. 93, pp. 123-131, may 2016, doi: 10.1016/j.compositesb.2016.03.001.

[8] P. Roszkowski y P. Sulik, «Sandwich panels – behavior in fire based on fire resistance tests.», Appl. Struct. Fire Eng., ene. 2016, doi: 10.14311/asfe.2015.065.

[9] M. Murillo A. et al., «Analysis of the influence of thickness on fire reaction performance in polyisocyanurate core sandwich panels», J. Mater. Res. Technol., vol. 9, n.º 5, pp. 9487-9497, sep. 2020, doi: 10.1016/j.jmrt.2020.06.088.

[10] M. Proença, M. Garrido, J. R. Correia, y M. G. Gomes, «Fire resistance behaviour of GFRP-polyurethane composite sandwich panels for building floors», Compos. Part B Eng., vol. 224, p. 109171, nov. 2021, doi: 10.1016/j.compositesb.2021.109171.

[11] M. Celiński, K. Sałasińska, K. Mizera, y P. Kozikowski, «Fire behavior of sandwich panels with different cores», en Advances in the Toxicity of Construction and Building Materials, F. Pacheco-Torgal, J. O. Falkinham, y J. A. Gałaj, Eds., en Woodhead

Publishing Series in Civil and Structural Engineering. , Woodhead Publishing, 2022, pp. 137-170. doi: 10.1016/B978-0-12-824533-0.00003-7.

[12] R. J. Crewe et al., «Fire Performance of Sandwich Panels in a Modified ISO 13784-1 Small Room Test: The Influence of Increased Fire Load for Different Insulation Materials», Fire Technol., vol. 54, n.º 4, pp. 819-852, jul. 2018, doi: 10.1007/s10694-018-0703-5.

[13] R. Zhou, Z. Chen, Y. Fan, Z. Yu, J. Qian, y J. Jiang, «Fire Spread Characteristics of Metal-Polyethylene Sandwich Panels», Buildings, vol. 11, n.º 9, p. 396, sep. 2021, doi: 10.3390/buildings11090396.

[14] M. A. Mendoza, M. J. Piñas Moya, M. J. Horn Mutschler, y M. M. M. Gómez León, «Conductividad térmica de compuestos tipo sándwich usados en la industria de la construcción», TECNIA, vol. 31, n.º 1, pp. 42-50, jun. 2021, doi: 10.21754/tecnia.v21i1.1198.

[15] Ensayos de reacción al fuego de los materiales de construcción. Inflamabilidad de los productos de construcción cuando se someten a la acción directa de la llama. Parte 2: ensayo con una fuente de llama única., NTE INEN ISO 11925-2:2010, Quito., 2014.

[16] Clasificación en función del comportamiento frente al fuego de los productos de construcción y elementos para la edificación. Parte1: Clasificación a partir de datos obtenidos en ensayos de reacción al fuego, UNE-EN 13501-1:2007+A1, España., 2010.

[17] S. P. Torres Morales, «Caracterización de la inflamabilidad de los materiales de revestimiento utilizados en construcciones, en base a sus propiedades físicas», feb. 2024, Accedido: 14 de noviembre de 2024. [En línea]. Disponible en: https://repositorio.uta.edu.ec/handle/123456789/40998

[18] A. A. Valdez Pombosa., «Caracterización de la flamabilidad de los materiales de revestimiento utilizados en construcción, ensayados a borde», ago. 2024, Accedido: 14 de noviembre de 2024. [En línea]. Disponible en: https://repositorio.uta.edu.ec/handle/123456789/42563

[19] «Support for FOTRIC V-series thermal camera», FOTRIC. Accedido: 25 de octubre de 2024. [En línea]. Disponible en: https://www.fotric.com/support-v-series

[20] J. Peret, «UNE EN 13501-1 Explicado: Clave para la Clasificación y Seguridad contra Incendios», Dabedan. Accedido: 4 de noviembre de 2024. [En línea]. Disponible en: https://www.dabedan.com/une-en-13501-1-explicado-clave-para-la-clasificacion-y-seguridad-contra-incendios/

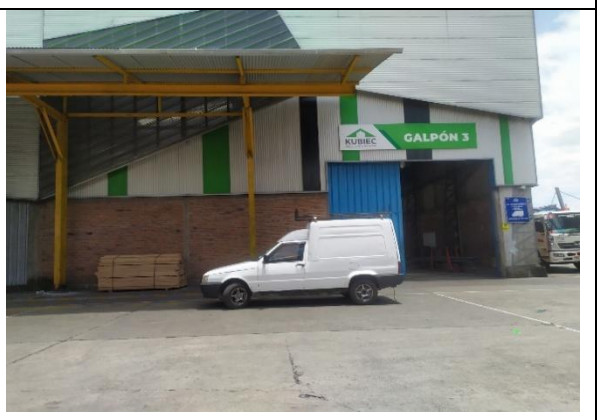
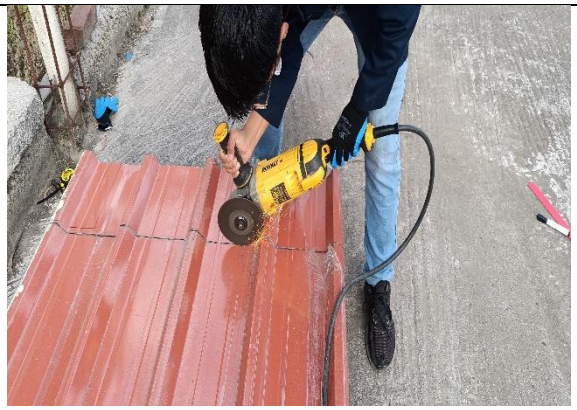
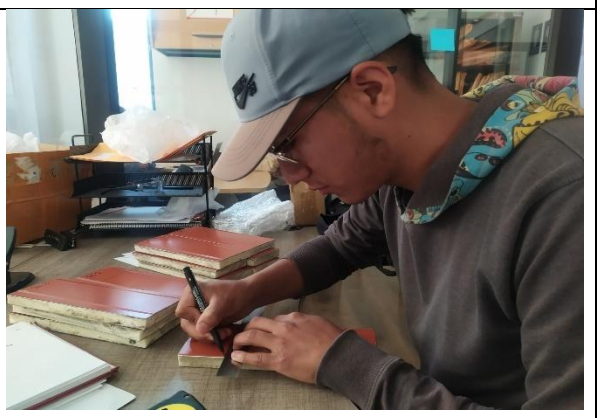
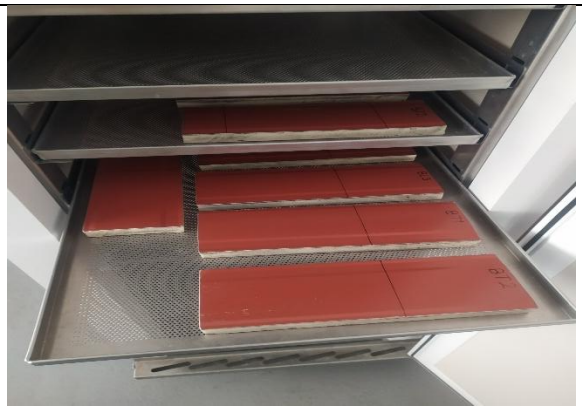
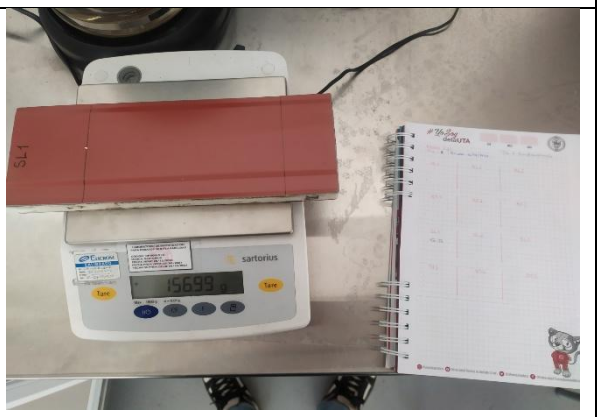
[21] Kubiec, «Kutermico», Kubiec. Accedido: 20 de noviembre de 2024. [En línea]. Disponible en: https://kubiec.com/kutermico/

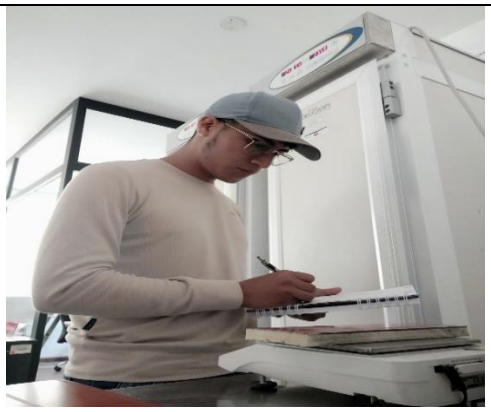
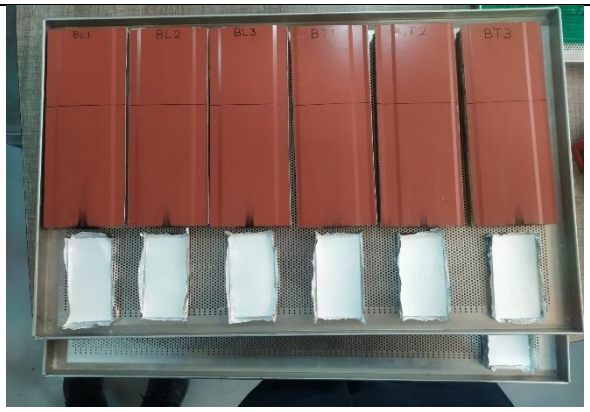
[22] A. Rojo de la Fuente, «Diseño, construcción y validación de un prototipo modificado de hot box de escala reducida para la evaluación de la conductividad térmica de diferentes materiales aislantes bajo condiciones controladas», Universidad de Valladolid, 2024. Accedido: 18 de diciembre de 2024. [En línea]. Disponible en: https://uvadoc.uva.es/handle/10324/71006

[23] V. D. Scarelli, «Evaluación comparativa de la eficiencia térmica de núcleos aislantes de baldosas termoacústicas en edificios de la región de campo Mourão-PR-», Universidad Tecnológica Federal de Paraná, Campo Mourão. [En línea]. Disponible en: https://riut.utfpr.edu.br/jspui/bitstream/1/6429/2/eficienciatermicatelhastermoacusticas.pdf

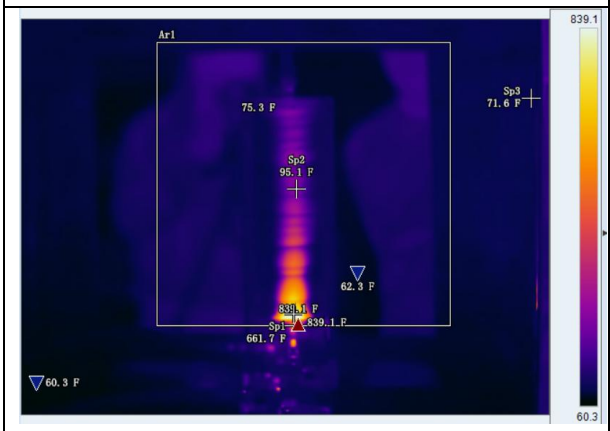
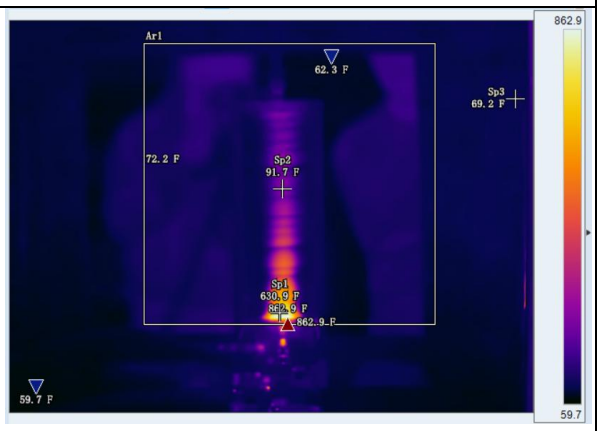
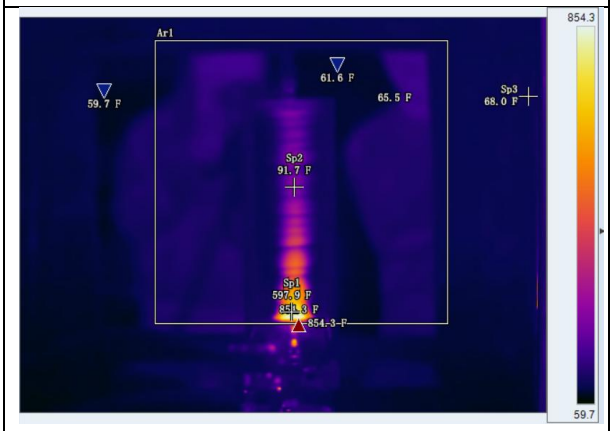
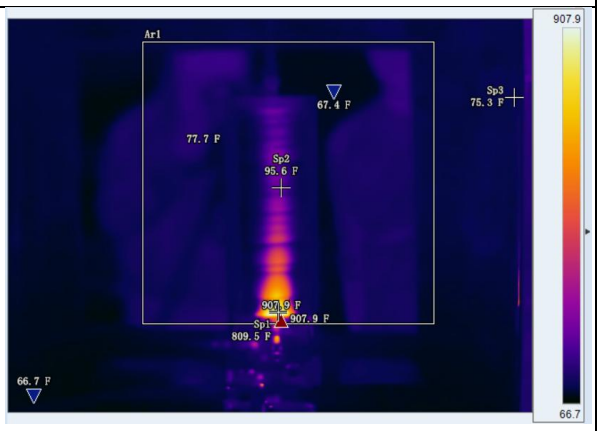
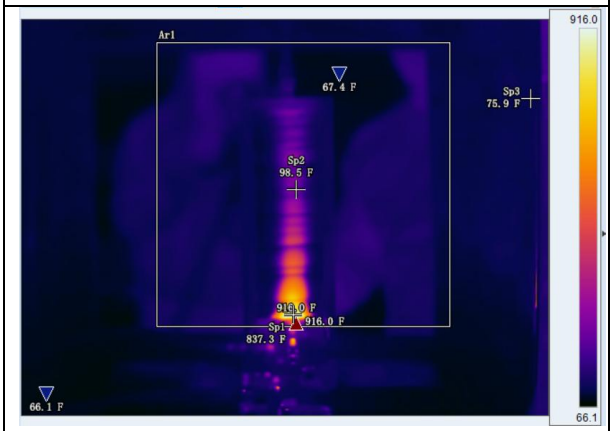
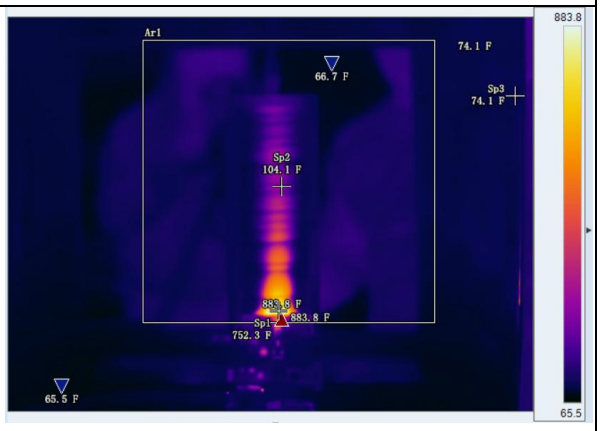
Anexos

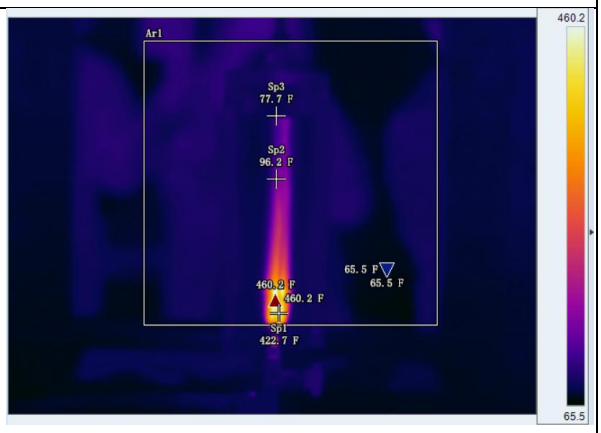
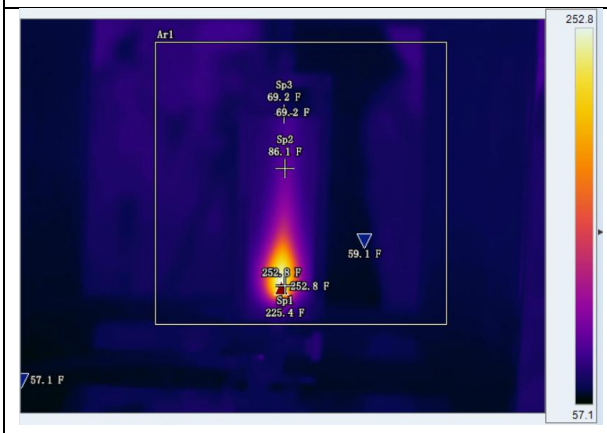
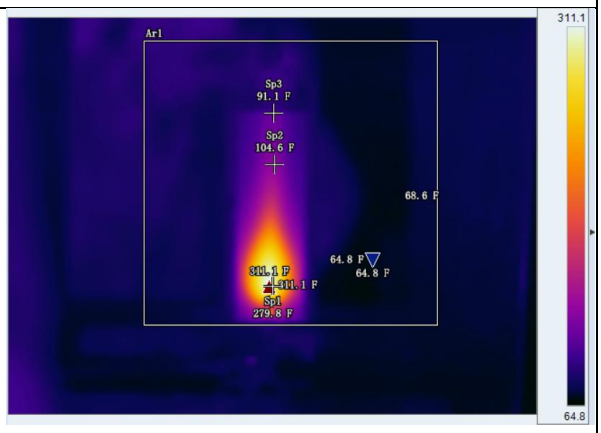
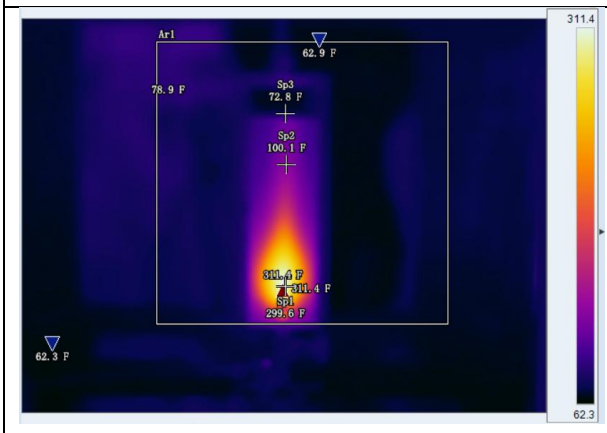
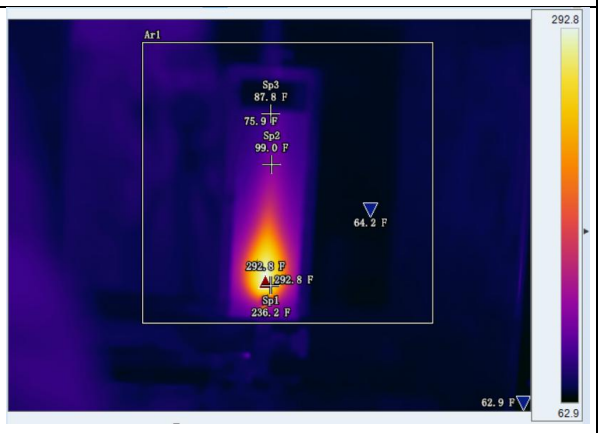
Anexo 1: Fotografías

Fotografía 1	**Fotografía 2**
	
Compra del material a ensayar en KUBIEC.	Transporte del material a ensayar.
Fotografía 3	**Fotografía 4**
	
Corte del material según las dimensiones de la norma ISO 11925-2.	Anotación de códigos de las muestras.
Fotografía 5	**Fotografía 6**
	
Acondicionamiento de las muestras.	Pesaje inicial de las muestras.

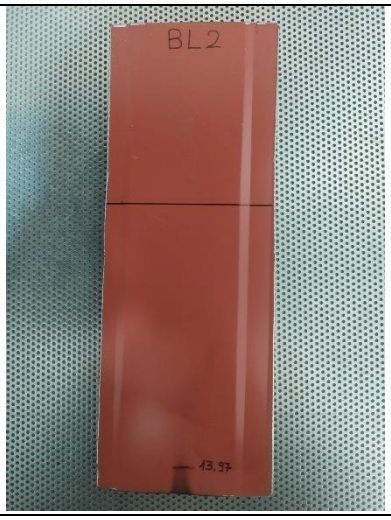
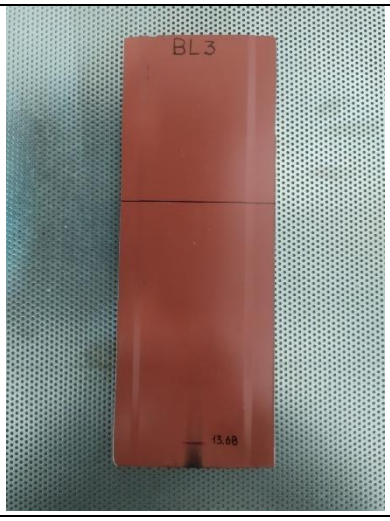
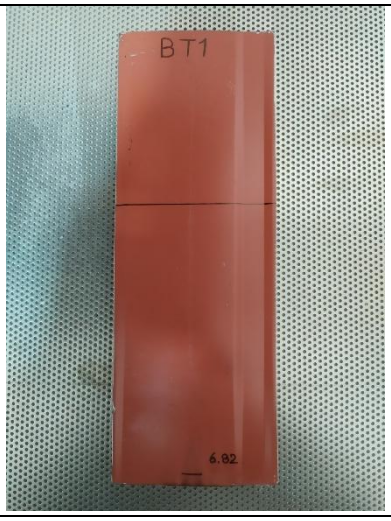
Fotografía 7	**Fotografía 8**
	
Anotación de valores de pesos de las muestras.	Colocación de la muestra en el portamuestra.
Fotografía 9	**Fotografía 10**
	
Ajuste de aplicación de la llama sobre la muestra.	Ajuste del tamaño de la llama a 20 mm.
Fotografía 11	**Fotografía 12**
	
Aplicación de la llama durante un tiempo de 30 seg, según la norma ISO 11925-2.	Colocación de las muestras en una bandeja posterior al ensayo.

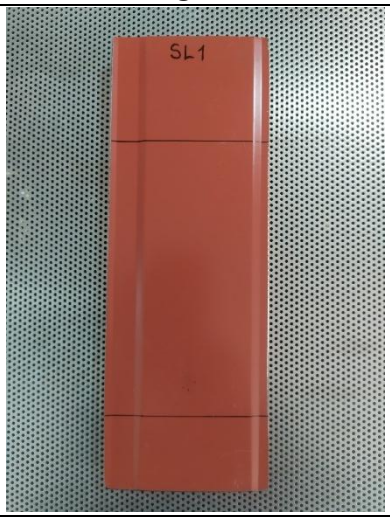
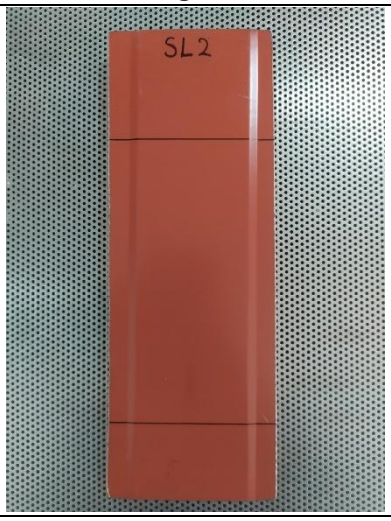
Anexo 2: Fotografías de los resultados de la cámara térmica avanzada

Fotografía 1	**Fotografía 2**
	
Temperatura máx. 839.1 °C (BL1).	Temperatura máx. 862.9 °C (BL2).
Fotografía 3	**Fotografía 4**
	
Temperatura máx. 854.3 °C (BL3).	Temperatura máx. 907.9 °C (BT1).
Fotografía 5	**Fotografía 6**
	
Temperatura máx. 916 °C (BT2).	Temperatura máx. 883.8 °C (BT3).

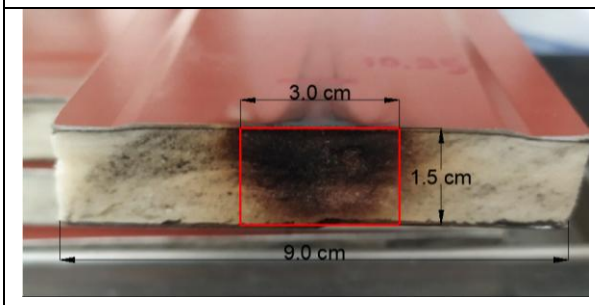
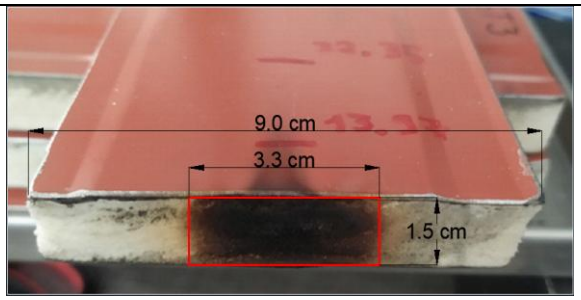
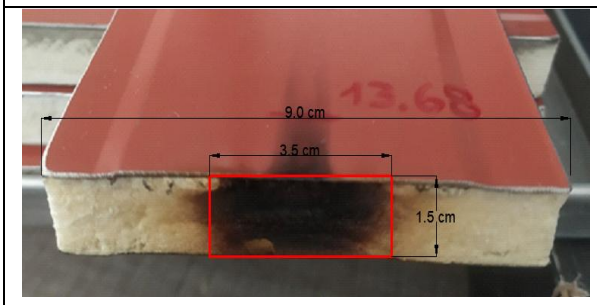
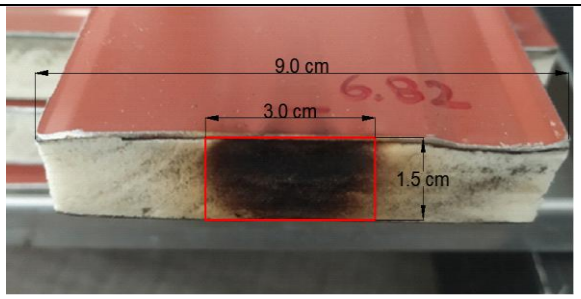
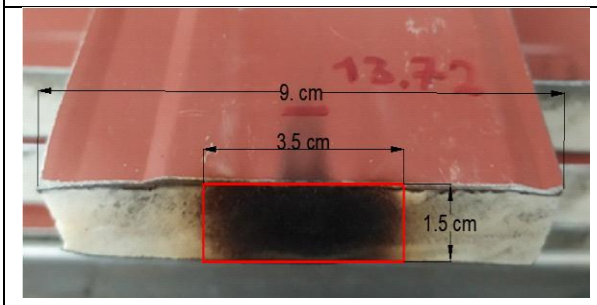
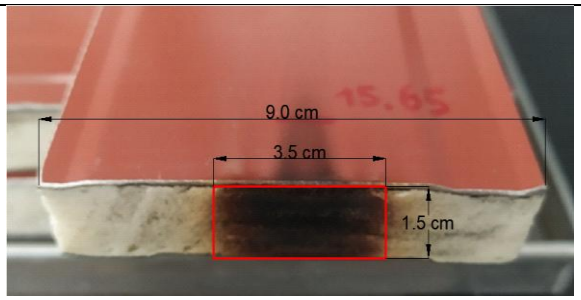
Fotografía 7	**Fotografía 8**
	
Temperatura máx. 514 °C (SL1).	Temperatura máx. 460.2 °C (SL2).
Fotografía 9	**Fotografía 10**
	
Temperatura máx. 252.8 °C (SL3).	Temperatura máx. 311.1 °C (ST1).
Fotografía 11	**Fotografía 12**
	
Temperatura máx. 311.4 °C (ST2).	Temperatura máx. 292.8 °C (ST3).

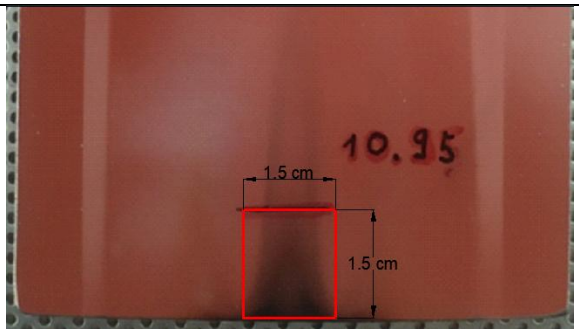
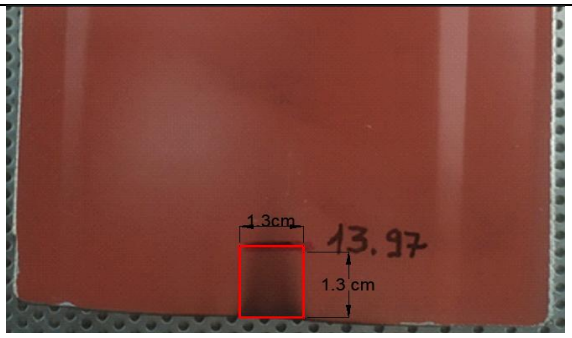
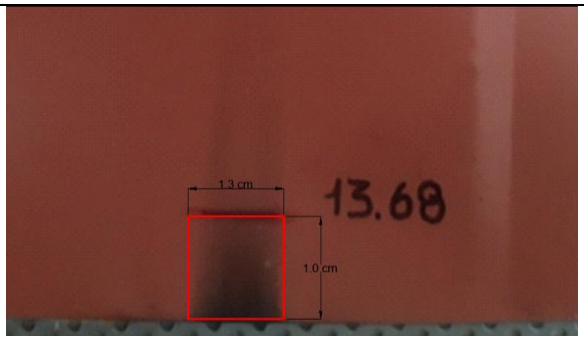
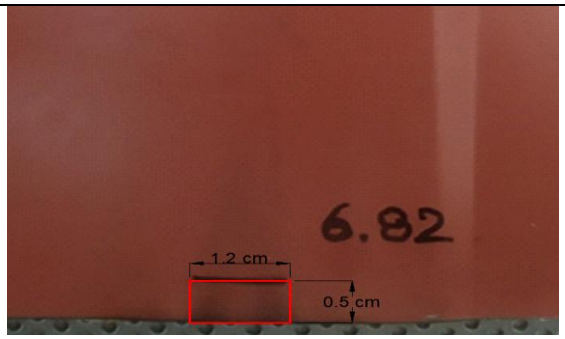
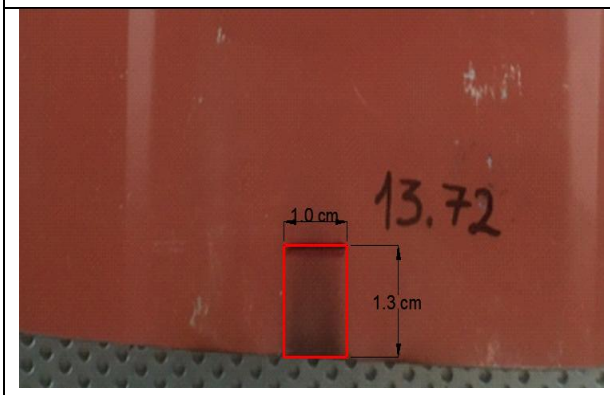
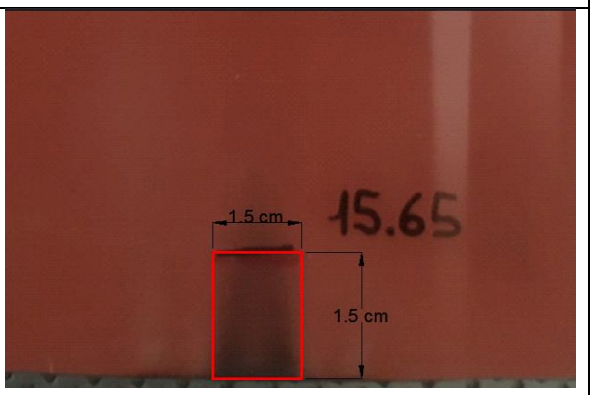
Anexo 3: Fotografías de la propagación vertical de la llama

Fotografía 1	**Fotografía 2**
	
Código: BL1	Código: BL2
Fotografía 3	**Fotografía 4**
	
Código: BL3	Código: BT1
Fotografía 5	**Fotografía 6**
	
Código: BT2	Código: BT3

Fotografía 7	**Fotografía 8**
	
Código: SL1	Código: SL2
Fotografía 9	**Fotografía 10**
	
Código: SL3	Código: ST1
Fotografía 11	**Fotografía 12**
	
Código: ST2	Código: ST3

Anexo 4: Medición de áreas en donde se presenta carbonización.

Fotografía 1	**Fotografía 2**
	
Área carbonizada: 4.50 cm^2 (BL1).	Área carbonizada: 514 cm^2 (BL2).
Fotografía 3	**Fotografía 4**
	
Área carbonizada: 514 cm^2 (BL3).	Área carbonizada: 514 cm^2 (BT1).
Fotografía 5	**Fotografía 6**
	
Área carbonizada: 514 cm^2 (BT2).	Área carbonizada: 514 cm^2 (BT3).

Fotografía 7	**Fotografía 8**
	
Área carbonizada: 514 cm^2 (BL1).	Área carbonizada: 514 cm^2 (BL2).
Fotografía 9	**Fotografía 10**
	
Área carbonizada: 514 cm^2 (BL3).	Área carbonizada: 514 cm^2 (BT1).
Fotografía 11	**Fotografía 12**
	
Área carbonizada: 514 cm^2 (BT2).	Área carbonizada: 514 cm^2 (BT3).

Anexo 5: Informes del ensayo de inflamabilidad, LIM-UTA

LABORATORIO DE INVESTIGACIÓN PARA ENSAYOS DE FLAMABILIDAD DE LA UNIVERSIDAD TÉCNICA DE AMBATO

INFORME DEL ENSAYO DE FLAMABILIDAD SEGÚN NTE INEN-ISO 11925-2

KUTÉRMICO PIR (PANEL SANDWICH) 15 mm	
Fecha de recepción	14/10/2024
Número de probetas	6
Dimensiones	250mm x 90mm
Color adverso	Tomate
Color reverso	Blanco
Superficie adversa	Lisa
Superficie reversa	Lisa

CÓDIGO: LIM-UTA-2024-11925-2-INT- 0016
5 de noviembre de 2024
AMBATO – ECUADOR

1. ANTECEDENTES:

Con fecha 14 de octubre de 2024, el Sr. Kevin Josué Tacuri Chimborazo, en calidad de ESTUDIANTE de la Facultad de Ingeniería Civil y Mecánica de la Universidad Técnica de Ambato, domiciliado en TUNGURAHUA / AMBATO / ATOCHA y con número de ruc/cédula: 1805442868, solicita al Laboratorio de Investigación Mecánica para ensayos de inflamabilidad de la Universidad Técnica de Ambato, con datos claramente identificados, realizar la prueba de inflamabilidad según la norma NTE INEN-11925-2, de la muestra de **KUTÉRMICO PIR (PANEL SANDWICH) 15 mm,** el cual es utilizado en construcción de obras civiles.

2. PROCESO GENERAL

Según lo indica el método, la prueba de inflamabilidad se realizó sobre sus respectivas submuestras, las cuales se prepararon y manipularon de acuerdo con el proceso de acondicionamiento detallado en la Norma NTE INEN-ISO 11925-2.

Las pruebas se efectuaron dentro de la cámara de inflamabilidad, en cuyo interior las muestras se colocaron de manera vertical en su respectivo soporte dentro de la cámara de combustión. Además, para proporcionar la llama se utilizó un mechero bunsen y gas propano al 95% de pureza suministrado a 20kPa de presión. Por último, se efectuaron los ensayos con las muestras solicitadas y los resultados que se relacionan solamente con los ítems sometidos a ensayo fueron registrados y tabulados.

3. DATOS SUMINISTRADOS POR EL CLIENTE

3.1. DATOS PRELIMINARES	
Nombre del material:	**KUTÉRMICO PIR (PANEL SANDWICH) 15 mm**
Muestreo:	Materiales seleccionados y remitidos por el solicitante
Tipo de material:	Compuesto
Origen del material:	Elaborado nacionalmente
Uso del material:	Exteriores
Dimensiones de la muestra:	250 mm X 90 mm
Responsable del corte de las muestras:	Solicitante
Tipo de entrega de las muestras:	6 muestras

Fotografía:	

4. PARÁMETROS DEL ENSAYO Y RESULTADOS

Códigos:	**BL1, BL2, BL3, BT1, BT2, BT3**	**Fecha de Recepción:**	**14/10/2024**

4.1. INFORMACIÓN DEL SOLICITANTE	
Nombre / razón social:	KEVIN JOSUÉ TACURI CHIMBORAZO
CI / RUC:	1805442868
Dirección	TUNGURAHUA / AMBATO / ATOCHA
Teléfono:	0962647886
Correo electrónico:	ktacuri2868@uta.edu.ec

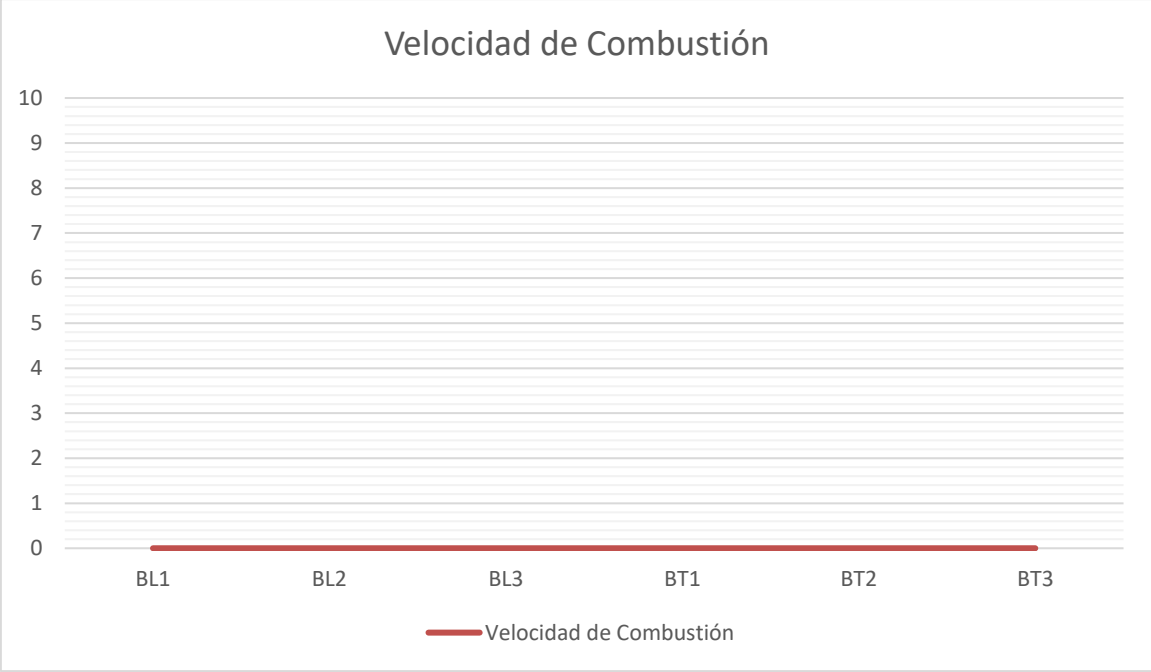
4.2. INFORMACIÓN DE LOS ÍTEMS DE ENSAYO				
	Productos (Marque con una X)			
Tipo de superficie del material:	Plano		No plano	**X**
Espesor del material:	**18,25 mm**			
Características del material:	Simple		Compuesto	**X**
Identificación del producto:	KUTÉRMICO PIR (PANEL SANDWICH) 15 mm			
Preparación de la muestra:	Corte con amoladora a las dimensiones según lo especificado en ISO 11925-2:2010			
N° de muestras:	(3 en sentido longitudinal y 3 en sentido transversal) un grupo para cada caso, según la característica del material			
Dimensiones:	250 x 90 mm			
Color en el anverso:	TOMATE	**Color en el reverso:**	BLANCO	
Material en el anverso:	ACERO ESTRUCTURAL	**Material en el reverso:**	ACERO ESTRUCTURAL	
Nombre del fabricante:	KUBIEC			
Dirección del fabricante:	PICHINCHA - ECUADOR			
Fotografías de los ítems de ensayo:				

4.3. ACONDICIONAMIENTO DE LOS ÍTEMS DE ENSAYO							
Código del ítem:	**Peso inicial (g):**	**Peso ac. 72h (g):**	**Peso ac. 96h (g):**	**Dif. 0.1g**	**Cumple acondicionamiento**	**Fecha de ingreso:**	**Fecha de salida:**
BL1	154,73	154,65	154,64	0,01	Si	14/10/2024	18/10/2024
BL2	152,73	152,62	152,61	0,01	Si	14/10/2024	18/10/2024
BL3	152,03	151,97	151,97	0	Si	14/10/2024	18/10/2024
BT1	150,81	150,70	150,69	0,01	Si	14/10/2024	18/10/2024
BT2	155,00	154,89	154,89	0	Si	14/10/2024	18/10/2024
BT3	151,22	151,16	151,16	0	Si	14/10/2024	18/10/2024
Humedad relativa:		**51.20 %**					
Temperatura:		**23.7 °C**					
Tiempo de acondicionamiento:		**96 Horas**					

4.4. CONDICIONES DEL ENSAYO					
Fecha del ensayo:	18/10/2024	**Método de fijación:**	Porta probetas para materiales planos		
Cámara de inflamabilidad:	ISO 11925-2: 2010				
Tiempo de aplicación de la llama:	**30 SEGUNDOS**				
Velocidad de aire en lacampana extractora:	0,154 m/s				
Humedad relativa:	51,20%	**Temperatura:**	23,7 °C		
Tiempo total del ensayo:	60 segundos				
Punto de aplicación para la ignición:	**Superficie**		**Borde inferior**	**X**	

4.5. RESULTADOS DEL ENSAYO

KUTÉRMICO PIR (PANEL SANDWICH) 18,25 mm								
N° Probeta	**Ignición**	**Tiempo que tardo en ocurrir (seg)**	**La punta de la llama alcanza los 150 mm**	**Tiempo en que la llama alcanza los 150 mm (seg)**	**Presencia de gotas / Partículas inflamadas**	**Ignición del papel filtro**	**Tiempo en extinguirse la llama luego de retirar el fuego (s)**	**Velocidad de combustión en los 150 mm (mm/seg)**
BL1	Si	1	No	-	No	No	0	0
BL2	Si	1	No	-	No	No	0	0
BL3	Si	1	No	-	No	No	0	0
BT1	Si	1	No	-	No	No	0	0
BT2	Si	1	No	-	No	No	0	0
BT3	Si	1	No	-	No	No	0	0



Fotografía de los ítems ensayados


Items de Interés:
✓ Durante el ensayo se pudo observar que el material ensayado es incombustible. ✓ La propagación de la llama no sobrepaso los 150 mm desde el borde inferior para las muestras ensayadas.

Declaración:

"Los resultados del ensayo corresponden al comportamiento de muestras de ensayo de un producto bajo unas condiciones de ensayo particulares; no pretenden constituir el único criterio de valoración del riesgo de incendio potencial del producto en servicio"

5. CONCLUSIONES

De acuerdo con el material ensayado: **KUTÉRMICO PIR (PANEL SANDWICH) 15 mm** el parámetro de propagación vertical de la llama (Fs) aplicada en la superficie expuesta de las probetas, según la norma UNE-EN 13501-1:2007+A1 es:

Número de Muestra	Parámetro de propagación vertical Fs (Distancia en mm)
Probeta 1 – BL1	0
Probeta 2 – BL2	0
Probeta 3 – BL3	0
Probeta 4 – BT1	0
Probeta 5 – BT2	0
Probeta 6 – BT3	0

Firmado electrónicamente por: GONZALO EFRAIN NARANJO ALTAMIRANO

Ing. Mec. Gonzalo Naranjo
Técnico - LIM

Firmado electrónicamente por: VICTOR RODRIGO ESPIN GUERRERO

Ing. Mec. Víctor Espín, Mg.
Coordinador - LIM

Firmado electrónicamente por: CHRISTIAN BYRON CASTRO MINIGUANO

Ing. Mec. Christian Castro, Mg.
Director - LIM

6. CONSIDERACIONES FINALES

- El LIM no se responsabiliza de los datos erróneos ingresados o proporcionados por la empresa y/o solicitantes utilizados en la elaboración del presente informe.
- Toda la información presentada en el informe es responsabilidad del LIM, excepto cuando la información suministrada por la empresa y/o solicitante tiene incidencia directa con los resultados.
- El informe debe ser usado dentro de las instalaciones de la empresa solicitante y sin una previa autorización por parte del Laboratorio de Investigación Mecánica para ensayos de inflamabilidad de la Universidad Técnica de Ambato no puede ser reproducido.
- Los resultados obtenidos en el informe corresponden a los materiales seleccionados y remitidos por el solicitante, por lo tanto, la utilización y manejo de los materiales es exclusiva del solicitante.
- El presente informe es válido única y exclusivamente para los materiales ensayados y la aplicación declarada por el solicitante. Los resultados no puedes ser trasladados a lotes o a una serie de productos.
- El solicitante es responsable del uso indebido que pueda darse del presente documento y está sujeta a sanciones civiles y penales que se pudieran presentar.
- Se consideró la aplicación de los factores de corrección de los certificados de calibración en las mediciones de los diferentes equipos utilizados por el laboratorio.

LABORATORIO DE INVESTIGACIÓN PARA ENSAYOS DE FLAMABILIDAD DE LA UNIVERSIDAD TÉCNICA DE AMBATO

INFORME DEL ENSAYO DE FLAMABILIDAD SEGÚN NTE INEN-ISO 11925-2

KUTÉRMICO PIR (PANEL SANDWICH) 15 mm	
Fecha de recepción	14/10/2024
Número de probetas	6
Dimensiones	250mm x 90mm
Color adverso	Tomate
Color reverso	Blanco
Superficie adversa	Lisa
Superficie reversa	Lisa

CÓDIGO: LIM-UTA-2024-11925-2-INT- 0017
5 de noviembre de 2024
AMBATO – ECUADOR

1. ANTECEDENTES:

Con fecha 14 de octubre de 2024, el Sr. Kevin Josué Tacuri Chimborazo, en calidad de ESTUDIANTE de la Facultad de Ingeniería Civil y Mecánica de la Universidad Técnica de Ambato, domiciliado en TUNGURAHUA / AMBATO / ATOCHA y con número de ruc/cédula: 1805442868, solicita al Laboratorio de Investigación Mecánica para ensayos de inflamabilidad de la Universidad Técnica de Ambato, con datos claramente identificados, realizar la prueba de inflamabilidad según la norma NTE INEN-11925-2, de la muestra de **KUTÉRMICO PIR (PANEL SANDWICH) 15 mm,** el cual es utilizado en construcción de obras civiles.

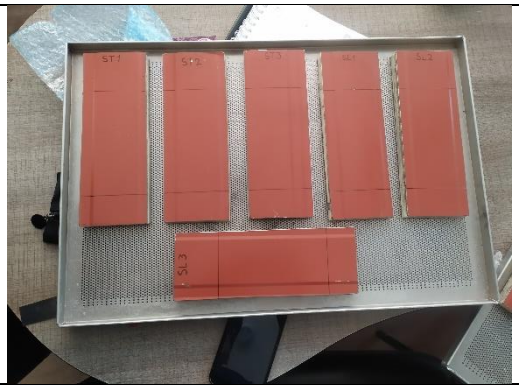
2. PROCESO GENERAL

Según lo indica el método, la prueba de inflamabilidad se realizó sobre sus respectivas submuestras, las cuales se prepararon y manipularon de acuerdo con el proceso de acondicionamiento detallado en la Norma NTE INEN-ISO 11925-2.

Las pruebas se efectuaron dentro de la cámara de inflamabilidad, en cuyo interior las muestras se colocaron de manera vertical en su respectivo soporte dentro de la cámara de combustión. Además, para proporcionar la llama se utilizó un mechero bunsen y gas propano al 95% de pureza suministrado a 20kPa de presión. Por último, se efectuaron los ensayos con las muestras solicitadas y los resultados que se relacionan solamente con los ítems sometidos a ensayo fueron registrados y tabulados.

3. DATOS SUMINISTRADOS POR EL CLIENTE

3.1. DATOS PRELIMINARES	
Nombre del material:	**KUTÉRMICO PIR (PANEL SANDWICH) 15 mm**
Muestreo:	Materiales seleccionados y remitidos por el solicitante
Tipo de material:	Compuesto
Origen del material:	Elaborado nacionalmente
Uso del material:	Exteriores
Dimensiones de la muestra:	250 mm X 90 mm
Responsable del corte de las muestras:	Solicitante
Tipo de entrega de las muestras:	6 muestras

Fotografía:		

4. PARÁMETROS DEL ENSAYO Y RESULTADOS

Códigos:	**SL1, SL2, SL3, ST1, ST2, ST3**	**Fecha de Recepción:**	**14/10/2024**

4.1. INFORMACIÓN DEL SOLICITANTE	
Nombre / razón social:	KEVIN JOSUÉ TACURI CHIMBORAZO
CI / RUC:	1805442868
Dirección	TUNGURAHUA / AMBATO / ATOCHA
Teléfono:	0962647886
Correo electrónico:	ktacuri2868@uta.edu.ec

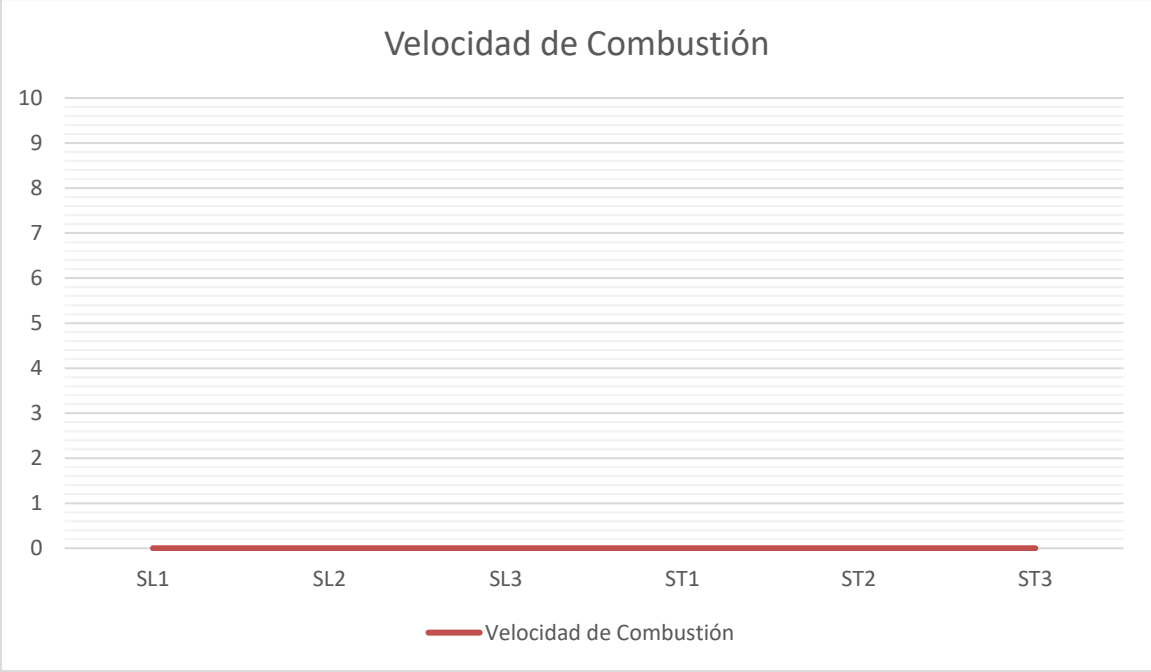
4.2. INFORMACIÓN DE LOS ÍTEMS DE ENSAYO				
	Productos (Marque con una X)			
Tipo de superficie del material:	Plano		No plano	**X**
Espesor del material:	**18,25 mm**			
Características del material:	Simple		Compuesto	**X**
Identificación del producto:	KUTÉRMICO PIR (PANEL SANDWICH) 15 mm			
Preparación de la muestra:	Corte con amoladora a las dimensiones según lo especificado en ISO 11925-2:2010			
N° de muestras:	(3 en sentido longitudinal y 3 en sentido transversal) un grupo para cada caso, según la característica del material			
Dimensiones:	250 x 90 mm			
Color en el anverso:	TOMATE	**Color en el reverso:**	BLANCO	
Material en el anverso:	ACERO ESTRUCTURAL	**Material en el reverso:**	ACERO ESTRUCTURAL	
Nombre del fabricante:	KUBIEC			
Dirección del fabricante:	PICHINCHA - ECUADOR			
Fotografías de los ítems de ensayo:				

4.3. ACONDICIONAMIENTO DE LOS ÍTEMS DE ENSAYO							
Código del ítem:	**Peso inicial (g):**	**Peso ac. 72h (g):**	**Peso ac. 96h (g):**	**Dif. 0.1g**	**Cumple acondicionamiento**	**Fecha de ingreso:**	**Fecha de salida:**
SL1	157,10	156,97	156,97	0	Si	14/10/2024	18/10/2024
SL2	152,96	152,90	152,90	0	Si	14/10/2024	18/10/2024
SL3	152,70	152,64	152,64	0	Si	14/10/2024	18/10/2024
ST1	155,54	155,41	155,40	0,01	Si	14/10/2024	18/10/2024
ST2	155,15	155,06	155,05	0,01	Si	14/10/2024	18/10/2024
ST3	153,26	153,18	153,17	0,01	Si	14/10/2024	18/10/2024
Humedad relativa:		**51.20 %**					
Temperatura:		**23.7 °C**					
Tiempo de acondicionamiento:		**96 Horas**					

4.4. CONDICIONES DEL ENSAYO					
Fecha del ensayo:	18/10/2024	**Método de fijación:**	Porta probetas para materiales planos		
Cámara de inflamabilidad:	ISO 11925-2: 2010				
Tiempo de aplicación de la llama:	**30 SEGUNDOS**				
Velocidad de aire en lacampana extractora:	0,154 m/s				
Humedad relativa:	51,20%	**Temperatura:**	23,7 °C		
Tiempo total del ensayo:	60 segundos				
Punto de aplicación para la ignición:	**Superficie**	**X**	**Borde inferior**		

4.5. RESULTADOS DEL ENSAYO

KUTÉRMICO PIR (PANEL SANDWICH) 18,25 mm								
N° Probeta	**Ignición**	**Tiempo que tardo en ocurrir (seg)**	**La punta de la llama alcanza los 150 mm**	**Tiempo en que la llama alcanza los 150 mm (seg)**	**Presencia de gotas / Partículas inflamadas**	**Ignición del papel filtro**	**Tiempo en extinguirse la llama luego de retirar el fuego (s)**	**Velocidad de combustión en los 150 mm (mm/seg)**
SL1	No	-	No	-	No	No	0	0
SL2	No	-	No	-	No	No	0	0
SL3	No	-	No	-	No	No	0	0
ST1	No	-	No	-	No	No	0	0
ST2	No	-	No	-	No	No	0	0
ST3	No	-	No	-	No	No	0	0



Fotografía de los ítems ensayados


Items de Interés:
✓ Durante el ensayo se pudo observar que el material ensayado es incombustible. ✓ La propagación de la llama no sobrepaso los 150 mm desde el borde inferior para las muestras ensayadas.

Declaración:

"Los resultados del ensayo corresponden al comportamiento de muestras de ensayo de un producto bajo unas condiciones de ensayo particulares; no pretenden constituir el único criterio de valoración del riesgo de incendio potencial del producto en servicio"

5. CONCLUSIONES

De acuerdo con el material ensayado: **KUTÉRMICO PIR (PANEL SANDWICH) 15 mm** el parámetro de propagación vertical de la llama (Fs) aplicada en la superficie expuesta de las probetas, según la norma UNE-EN 13501-1:2007+A1 es:

Número de Muestra	Parámetro de propagación vertical Fs (Distancia en mm)
Probeta 1 – SL1	0
Probeta 2 – SL2	0
Probeta 3 – SL3	0
Probeta 4 – ST1	0
Probeta 5 – ST2	0
Probeta 6 – ST3	0

Firmado electrónicamente por: GONZALO EFRAIN NARANJO ALTAMIRANO

Ing. Mec. Gonzalo Naranjo
Técnico - LIM

Firmado electrónicamente por: VICTOR RODRIGO ESPIN GUERRERO

Ing. Mec. Víctor Espín, Mg.
Coordinador - LIM

Firmado electrónicamente por: CHRISTIAN BYRON CASTRO MINIGUANO

Ing. Mec. Christian Castro, Mg.
Director - LIM

6. CONSIDERACIONES FINALES

- El LIM no se responsabiliza de los datos erróneos ingresados o proporcionados por la empresa y/o solicitantes utilizados en la elaboración del presente informe.
- Toda la información presentada en el informe es responsabilidad del LIM, excepto cuando la información suministrada por la empresa y/o solicitante tiene incidencia directa con los resultados.
- El informe debe ser usado dentro de las instalaciones de la empresa solicitante y sin una previa autorización por parte del Laboratorio de Investigación Mecánica para ensayos de inflamabilidad de la Universidad Técnica de Ambato no puede ser reproducido.
- Los resultados obtenidos en el informe corresponden a los materiales seleccionados y remitidos por el solicitante, por lo tanto, la utilización y manejo de los materiales es exclusiva del solicitante.
- El presente informe es válido única y exclusivamente para los materiales ensayados y la aplicación declarada por el solicitante. Los resultados no puedes ser trasladados a lotes o a una serie de productos.
- El solicitante es responsable del uso indebido que pueda darse del presente documento y está sujeta a sanciones civiles y penales que se pudieran presentar.
- Se consideró la aplicación de los factores de corrección de los certificados de calibración en las mediciones de los diferentes equipos utilizados por el laboratorio.