

ANÁLISIS COMPARATIVO ENTRE CUBIERTAS PLANAS HÚMEDAS Y SECAS NO TRANSITABLES

Autores:

Jorge Nicolás Guillén Arteaga
Pablo Mateo Vázquez Vintimilla

Director:

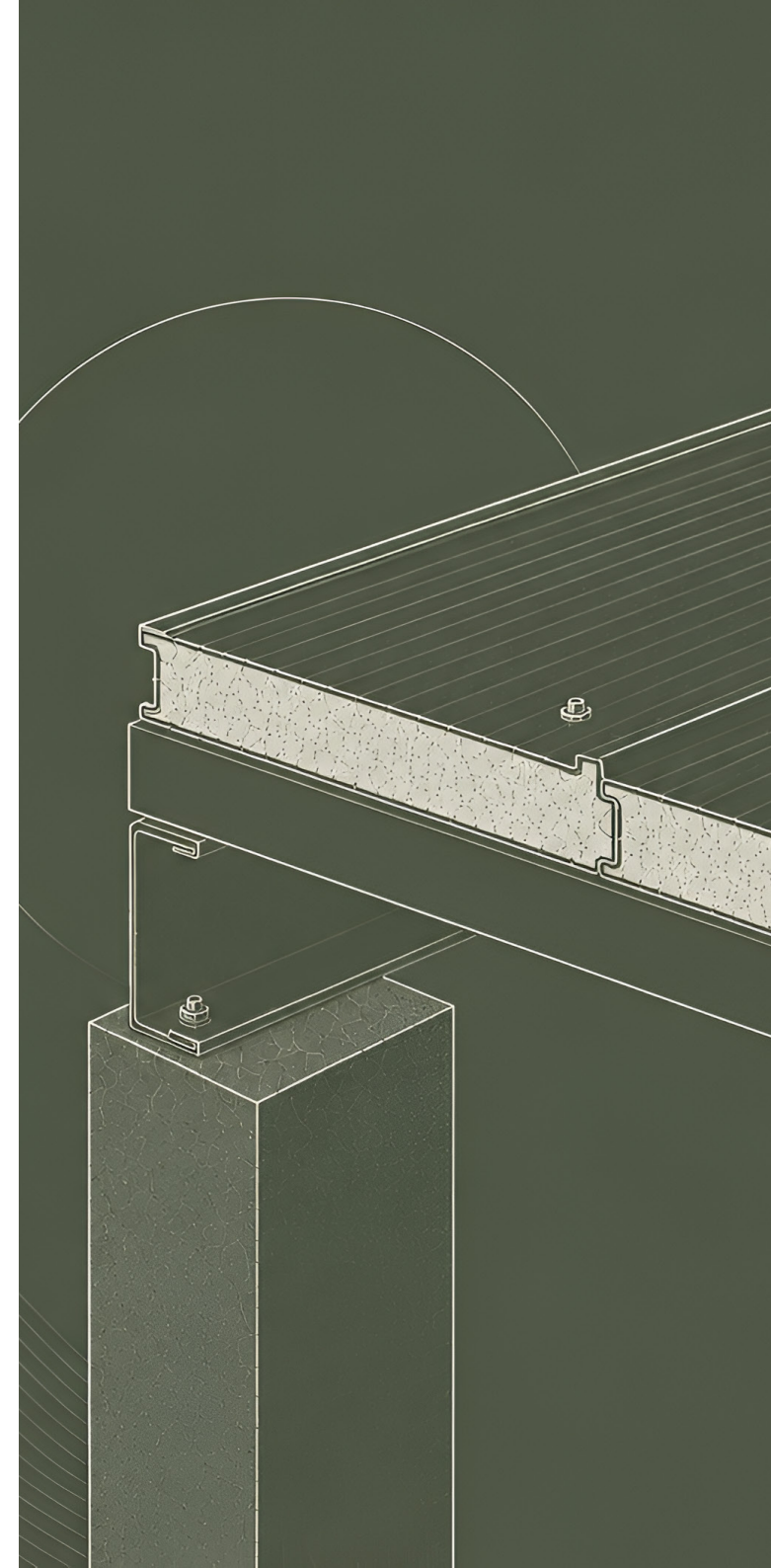
Mgt. Carlos Contreras Lojano

Escuela de Arquitectura

Proyecto Final de Carrera previo a la obtención del título de Arquitecto

Cuenca-Ecuador

2026





FACULTAD DE
ARQUITECTURA

Análisis comparativo entre cubiertas planas húmedas y secas no transitables

Facultad de Diseño, Arquitectura y Arte
Escuela de Arquitectura

Proyecto Final de Carrera previo a la obtención del título de Arquitecto

Autores:

Jorge Nicolás Guillén Arteaga

Pablo Mateo Vázquez Vintimilla

Director:

Mgt. Carlos Contreras Lojano

Cuenca-Ecuador

2026

Agradecimientos

Jorge Guillén

Quiero expresar mi más sincero agradecimiento a mis padres, por todo el esfuerzo, sacrificio y dedicación que realizaron para permitirme alcanzar esta meta académica.

A mis hermanos, Valentina y Daniel, por su apoyo incondicional, por acompañarme siempre y por ser una parte fundamental de mi vida.

A José, a quien considero un hermano, por estar presente tanto en los buenos como en los malos momentos, por sus palabras de ánimo, su confianza en mí y por demostrarme siempre su amistad sincera.

A mi gran amigo y compañero de tesis, Pablo, por su arduo trabajo, dedicación y compromiso durante el desarrollo de esta investigación.

Finalmente, agradezco a toda mi familia, mis amigos de arquitectura y a mis amigos más cercanos, quienes hicieron de esta etapa universitaria una experiencia más llevadera, llena de aprendizajes, apoyo y buenos recuerdos.

Agradecimientos

Pablo Vázquez

Mi más grande y sincero agradecimiento es para mis padres, quienes nunca dejaron de confiar en este proceso y me acompañaron en cada uno de los altibajos a lo largo de este camino.

A mi hermano, Juan, quien, a pesar de no haber estado presente físicamente durante este proceso, siempre depositó su fe en mí, motivándome a seguir adelante con esta investigación.

A mi querida novia, Natalia, por comprender y respetar el tiempo dedicado a este trabajo, por ser una magnífica compañera y una constante fuente de inspiración.

A mis abuelos, quienes siempre confiaron en mí y nunca dejaron de brindarme palabras de aliento para impulsarme a dar lo mejor de mí.

A mi gran compañero, Jorge, por su paciencia y por demostrar una admirable capacidad de trabajo durante el desarrollo de esta investigación.

Y, finalmente, a todas las personas que me acompañaron en este proceso, amigos, colegas y seres queridos, porque nada de esto habría sido posible sin el apoyo, el cariño y el calor humano de quienes me rodean.

Dedicatoria

Jorge Guillén

A mis padres, Jorge y Tatiana, por creer en mí incluso en los momentos en los que yo dudaba.

Gracias por su amor incondicional, sus consejos, sus palabras de ánimo y consuelo durante los momentos más difíciles de mi carrera. Gracias por cada esfuerzo y sacrificio realizado para brindarme la oportunidad de estudiar y cumplir esta meta. Este logro también les pertenece a ustedes, porque nunca dejaron de confiar en mí ni de apoyarme.

A mi abuela Leonor, por ser siempre una de mis mayores motivaciones. En los momentos en los que pensaba rendirme, pensar en usted me daba fuerzas para continuar. Le dedico este logro con todo mi cariño y gratitud.

A mis hermanos, Valentina y Daniel, por acompañarme a lo largo de este camino, por su apoyo constante y por estar siempre presentes en cada etapa de mi vida.

Dedicatoria

Pablo Vázquez

Dedicado a mis padres, Pablo y Rosana, por darme la fuerza y la confianza cuando yo mismo no me creía capaz de alcanzar mis sueños. Siempre estuvieron a mi lado, brindándome el aliento y el apoyo necesario para continuar adelante. Me quedo corto de palabras al intentar expresar todo lo que hicieron por mí y las incontables veces en que supieron darme el valor necesario para no rendirme durante este proceso.

A mi hermano, Juan, cuya inteligencia y cariño siempre estuvieron presentes, convirtiéndose en una profunda fuente de inspiración para mi vida.

Y a mis compañeros más fieles, quienes nunca me abandonaron y permanecieron conmigo día y noche mientras desarrollaba este trabajo: Cosmo y Frodo. Mi corazón les pertenece.

<p>01</p> <p>GENERALIDADES</p>	<p>Problemática y Justificación <u>14</u> Objetivos <u>16</u> Pregunta de Investigación e Hipótesis <u>18</u></p>
<p>02</p> <p>ESTADO DEL ARTE</p>	<p>1.1 Tipos de Cubiertas Húmedas..... <u>22</u> 1.2 Discusión Comparativa de las Tipologías de Cubiertas Húmedas Revisadas <u>23</u> 1.3 Tipos de Cubiertas Seca <u>32</u> 1.4 Discusión Comparativa de las Tipologías de Cubiertas Secas Revisadas..... <u>33</u></p>
<p>03</p> <p>MARCO TEÓRICO</p>	<p>2.1 Criterios Normativos de Clasificación de las Cubiertas <u>42</u> 2.2 Aislamiento Térmico..... <u>43</u> 2.3 Aislamiento Acústico <u>44</u> 2.4 Referencias de Modulación Estructural <u>50</u> 2.5 Selección de Tipologías Para el Análisis de la Investigación..... <u>51</u> 2.6 Uso de Sistemas Estructurales en el Ecuador..... <u>52</u></p>

<p>03</p> <p>DIAGNÓSTICO DE CUBIERTAS</p>	<p>3.1 Tipologías de Cubiertas Húmedas Analizadas..... <u>56</u> 3.2 Análisis Técnico Cubiertas Húmedas..... <u>60</u> 3.3 Análisis Constructivo Cubiertas Húmedas..... <u>84</u> 3.4 Análisis Económico Cubiertas Húmedas..... <u>89</u> 3.5 Tipologías de Cubiertas Secas Analizadas <u>92</u> 3.6 Análisis Técnico Cubiertas Secas <u>102</u> 3.7 Análisis Constructivo Cubiertas Secas <u>129</u> 3.8 Análisis Económico Cubiertas Secas <u>134</u> 3.9 Comparativa de Sistemas de Cubiertas Secas <u>139</u> 3.10 Análisis de Referentes..... <u>145</u></p>
<p>04</p> <p>PROPUESTA Y APLICACIÓN EN EL CASO DE ESTUDIO</p>	<p>4.1 Caso de Estudio <u>154</u> 4.2 Propuesta para Caso Estudio <u>160</u> 4.3 Análisis Técnico-Constructivo-Económico Propuestas y Caso de Estudio..... <u>170</u></p>
<p>05</p> <p>CONCLUSIONES</p>	<p>5.1 Conclusiones Generales <u>194</u> 5.2 Bibliografía <u>196</u> 5.3 Anexos..... <u>202</u> 5.4 Índice de Figuras..... <u>220</u></p>

Palabras Clave:

Diseño arquitectónico - Materiales de construcción - Elemento estructural (construcción) - Hormigón - Costes de construcción - Prefabricación (construcción)

Resumen:

Las cubiertas constituyen uno de los elementos de mayor incidencia técnica y económica dentro de la edificación, especialmente los sistemas tradicionales de hormigón armado utilizados en Ecuador. La investigación comparó el desempeño técnico, constructivo y económico entre cubiertas húmedas y cubiertas secas de mínima pendiente, como deck metálico, panel sándwich y tableros estructurales. La metodología se basó en un análisis comparativo de peso propio, transmitancia térmica, aislamiento acústico, tiempos de construcción y costos directos. Los resultados evidenciaron que el panel sándwich con núcleo EPS presentó el desempeño más equilibrado, destacando por su eficiencia térmica, confort acústico, rapidez constructiva y reducción significativa de cargas y costos.

Key Words:

Building design - Building materials - Structural elements (buildings) - Concrete - Building costs - Prefabrication (buildings)

Abstract:

Roof systems represent one of the most technically and economically significant components in buildings, especially traditional reinforced concrete systems widely used in Ecuador. This research compared the technical, constructive, and economic performance of wet roofs and lightweight low-slope dry roof systems, including metal deck, sandwich panels, and structural boards. The methodology was based on a comparative analysis considering self-weight, thermal transmittance, acoustic insulation, construction time, and direct costs. The results showed that the EPS sandwich panel achieved the most balanced performance, standing out for its thermal efficiency, acoustic comfort, faster construction process, and significant reduction in structural loads and costs.



GENERALIDADES

Problemática y Justificación
Objetivos
Pregunta de Investigación e Hipótesis

Problemática y Justificación

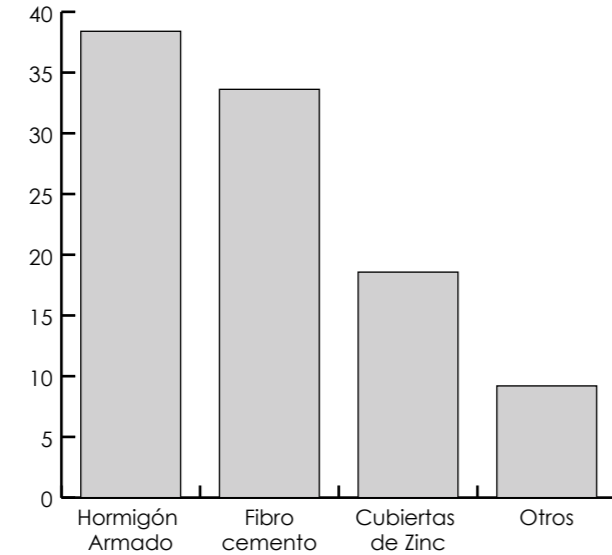
La cubierta es uno de los componentes que más condiciona una edificación. De ella dependen el comportamiento estructural, el confort interior y buena parte del desempeño térmico y acústico del proyecto, además de su función evidente de proteger frente al clima. Cuando se resuelve con hormigón armado, esa cubierta exige encofrados, armado, fundición y curado; cada uno de esos pasos suma tiempo de obra, material y mano de obra especializada. No es un detalle menor: la forma en que se construye el techo repercute en el costo y en el ritmo de toda la edificación.

Esa preferencia por el hormigón se refleja en las cifras nacionales. De acuerdo con la Estadística de Edificaciones (Instituto Nacional de Estadística y Censos [INEC], 2025), el hormigón armado encabeza los materiales de cubierta en Ecuador con un 38,4 %, seguido del fibrocemento ondulado (33,62 %), las cubiertas de zinc (18,57 %) y otras soluciones (9,20 %). El dato confirma que los sistemas tradicionales siguen dominando. Sin embargo, esa misma solidez tiene una contraparte: esta elección puede generar cargas permanentes elevadas, plazos de ejecución largos y una fuerte dependencia de procesos húmedos en obra.

De igual forma, según Montero (2016) documenta que las estructuras de hormigón tienden a desarrollar fisuras, grietas, humedades y eflorescencias,

originadas tanto por el ambiente como por errores de diseño o ejecución a pesar de ser ampliamente usadas en la construcción por su disponibilidad, durabilidad y comportamiento estructura. Estas patologías comprometen la durabilidad y obligan a intervenir, generando gastos que a lo largo de la vida útil del edificio. Lo que provoca preguntarse si existen alternativas capaces de resolver la cubierta

Figura 1. Materiales más utilizados en cubiertas en Ecuador



Nota. Elaboración propia con datos de Estadísticas de Edificaciones (ESED, 2025).

de forma más eficiente sin sacrificar su desempeño.

Las cubiertas secas o ligeras aparecen como una alternativa. Al ser menos pesadas, montarse más rápido y prescindir en gran medida del agua durante la construcción. Chávez y Lalangui (2022) reportan reducciones importantes de peso estructural al recurrir a sistemas ligeros, y Cañar y Pizarro (2023) destacan el ahorro de tiempo y la simplificación de procesos que permite construir en seco.

A lo mencionado se suma que muchos de estos sistemas secos o ligeros integran aislantes y configuraciones multicapa, lo que puede mejorar el comportamiento térmico y acústico de la envolvente, dos aspectos cada vez más decisivos en el diseño, que tienen como objetivo cumplir con parámetros de confort que exigen la Norma Ecuatoriana de la construcción.

Pese al uso creciente de estos sistemas, y los antecedentes mencionados la necesidad está en desarrollar un análisis comparativo que permita identificar, bajo criterios técnicos, constructivos y económicos, las condiciones en las que cada sistema de cubierta resulta más adecuado, contribuyendo a una toma de decisiones más informada en el diseño arquitectónico. Y bajo fundamentos determinar si las cubiertas

secas podrían considerarse como una opción con mayor ventaja frente a las cubiertas húmedas, al poseer otro tipo de características que pueden resultar más beneficiosas según el contexto en el que se emplee el sistema.

Objetivos

Objetivo General

-Comparar el desempeño técnico, económico y constructivo de las cubiertas húmedas de mínima pendiente con las cubiertas secas de mínima pendiente de estructura metálica, madera o paneles prefabricados con el fin de determinar cuál representa una alternativa más eficiente, económica y sostenible al momento de su aplicación.

Objetivos Específicos

-Identificar las limitaciones técnicas, constructivas, y económicas que presentan las cubiertas húmedas y las cubiertas secas.

-Comparar las cubiertas secas de mínima pendiente entre sí para determinar cuáles presentan un mejor desempeño técnico, estructural y económico.

-Analizar referentes por cada sistema de cubierta seca seleccionada para evaluar sus soluciones técnicas y recomendaciones de aplicación.

-Aplicación del sistema de cubierta seca con mínima pendiente en el Aulario de la facultad de Psicología de la Universidad de Cuenca, como reemplazo de la cubierta húmeda con el fin de evaluar su desempeño.

Pregunta de Investigación e Hipótesis

Pregunta de Investigación

¿En qué medida las cubiertas secas no transitables de mínima pendiente presentan un mejor desempeño técnico, constructivo y económico frente a las cubiertas húmedas, y bajo qué condiciones pueden constituirse como una alternativa más eficiente y viable para su aplicación en edificaciones en el contexto ecuatoriano?

Hipótesis

El uso de sistemas de construcción secos para la realización de cubiertas permite optimizar recursos, reducir tiempos de ejecución y mejorar la eficiencia estructural y económica en comparación con los sistemas constructivos húmedos tradicionalmente empleados en el Ecuador, con intención de mejorar la intervención tanto técnica como económica ya sea al momento de realizar ampliaciones en edificaciones o distintos tipos de aplicaciones.



Capítulo 1

ESTADO DEL ARTE

- 1.1 Tipos de Cubiertas Húmedas
- 1.2 Discusión Comparativa de las Tipologías de Cubiertas Húmedas Revisadas
- 1.3 Tipos de Cubiertas Secas
- 1.4 Discusión Comparativa de las Tipologías de Cubiertas Secas Revisadas

1.1 Tipos de Cubiertas Húmedas

Las cubiertas húmedas forman parte de los sistemas constructivos ejecutados mediante el uso de hormigón, los cuales se desarrollan a partir del vertido de este material en estado fresco dentro de encofrados que definen su geometría final. En el ámbito de la ingeniería estructural, las losas de hormigón presentan distintas configuraciones en función de su comportamiento estructural y de la forma en que el material es dispuesto dentro del elemento. Estas configuraciones varían según la distribución del material en el elemento estructural, lo cual da lugar a diferentes soluciones constructivas en la práctica (Wight & MacGregor, 2012).

En este contexto, el estudio de las cubiertas húmedas puede abordarse a partir de la identificación de las distintas tipologías de losas utilizadas en la práctica, por lo que en el presente apartado se describen las distintas soluciones identificadas mediante la documentación revisada.

1. La cubierta maciza de hormigón armado (ver Figura No. 2), con espesores que normalmente varían entre 7 y 15 cm, ejecutada a partir de un encofrado que constituye el molde en el cual se vierte el hormigón sobre una armadura metálica o de madera (De Hormigón, s.f.). Esta tipología es la más directa dentro de los sistemas de cubierta de hormigón,

al ser caracterizada por disponer el material de manera continua en toda la sección, manteniendo un espesor constante, dicha condición implica que el comportamiento estructural del elemento depende directamente de su sección completa (Universidad Tun Hussein Onn de Malasia, s.f)

2. Las cubiertas nervadas, son una tipología de losas de hormigón armado en la cual el sistema estructura se configura mediante nervaduras que actúan como elementos resistentes dentro del conjunto (StructurePoint, 2017). En este tipo de sistemas, la disposición del material permite reducir la cantidad de concreto, concentrando la resistencia en los elementos estructurales principales (Oliveira et al., 2018). Dentro de esta familia de cubiertas nervadas existen subtipos como: las cubiertas nervadas unidireccionales (ver Figura No. 3), que son aquellas que presentan nervaduras orientadas en una sola dirección, facilitando la distribución de cargas de manera eficiente en una dirección específica. Por otro lado, las cubiertas nervadas bidireccionales (ver Figura No. 4), que se caracterizan

por poseer nervaduras que se cruzan formando ángulos rectos, presentan una mayor rigidez y también una capacidad portante distribuida en ambas direcciones. Este tipo de cubierta se ejecuta mediante el uso de moldes o encofrados temporales, entre los cuales destacan los casetones plásticos reutilizables, los bloques de poliestireno expandido (EPS) y los bloques de piedra pómez. (MaxAcero, 2025).

3. Las cubiertas de hormigón con placa colaborante (ver Figura No. 5), es un sistema estructural compuesto por una lámina de acero perfilada y una capa de hormigón armado vertida in situ. En este tipo de losas, el deck metálico actúa inicialmente como encofrado permanente durante la fase constructiva, y posteriormente, forma parte del sistema resistente una vez que el hormigón ha endurecido. El comportamiento estructural de este sistema se basa en la acción compuesta entre el acero y el hormigón, lo que permite que ambos materiales trabajen conjuntamente para resistir las cargas aplicadas (Steel Construction Institute, 2009). Es un sistema con mayor rapidez

de montaje, menores espesores y una estructura más liviana en comparación a otros sistemas de cubiertas de hormigón armado (DIPAC, 2023).

4. Las cubiertas alveolares (ver Figura No. 6), corresponden a elementos prefabricados de hormigón caracterizados por la presencia de cavidades longitudinales continuas en su sección. Estas cavidades permiten reducir el peso propio del elemento sin eliminar su función estructural. Su proceso constructivo se basa en la fabricación en planta bajo condiciones controladas, seguida del transporte y montaje en obra, lo que las diferencia de los sistemas ejecutados completamente in situ (Precast/Prestressed Concrete Institute, 2016).
5. Las prelosas pretensadas (ver Figura No. 7), corresponde a sistemas semi-prefabricados constituidos por una lámina inferior de hormigón prefabricado que actúa como base estructural y como encofrado permanente para una capa de hormigón vertida posteriormente en obra. Así una vez que el hormigón alcanza su resistencia, ambos

componentes conforman un elemento estructural compuesto (Andece, s.f). Además esta prelosa es una evolución industrializada de la vigueta, con mayor sección prefabricada, menor hormigón y armado a lañadirenoobraenlaqueentre los nervios se pueden insertar bloques de poliestireno expandido con el fin de aligerar el peso del forjado final. (Polo, Huaman, Torres, Robles, Moteza, 2020).

6. Las losas macizas prefabricadas (ver Figura No. 8), son elementos de hormigón armado producidos en planta y posteriormente instalados en obra, caracterizados por mantener una sección continua sin la incorporación de cavidades internas. A diferencia de las losas alveolares, no presentan vacíos longitudinales, lo que implica una distribución completa del material dentro del elemento estructural (Andece, 2019). Su diferencia respecto a las losas macizas ejecutadas in situ radica en el proceso constructivo, el cual se basa en la prefabricación y posterior montaje, modificando las condiciones de ejecución sin alterar la lógica estructural del elemento.

1.2 Discusión Comparativa de las Tipologías de Cubiertas Húmedas

El análisis de las cubiertas húmedas permite identificar que las diferencias entre las tipologías no se limitan únicamente a su configuración formal, sino que responden a diferentes aspectos como: la distribución del material dentro del elemento, el proceso constructivo y las implicaciones estructurales derivadas en relación a su peso propio.

En relación con la distribución del material, las losas macizas representan la solución más directa, al disponer el hormigón de manera continua en toda la sección. En contraste, las losas nervadas modifican esta lógica al concentrar el material en nervaduras estructurales, reduciendo el volumen de concreto en zonas menos solicitadas. Este principio de reducción de material permite disminuir el peso propio del sistema en comparación con losas macizas equivalentes, manteniendo su capacidad resistente (Oliveira et al., 2018).

De manera similar, las losas alveolares también introducen una estrategia de reducción de material, pero a través de cavidades longitudinales continuas en elementos prefabricados, lo que permite optimizar el peso propio del sistema desde su proceso de fabricación (Precast/Prestressed Concrete Institute, 2016). Por su parte, las prelosas pretensadas presentan una distribución del material distinta, se desarrolla en dos etapas: una primera

fase prefabricada, en la que el elemento posee un espesor reducido, y una segunda fase in situ, en la que se completa la sección estructural mediante el vertido de hormigón. Como resultado, se obtiene un elemento compuesto en el que el material no se dispone de manera continua desde el inicio, sino que se integra progresivamente hasta conformar la losa final (ANDECE, s.f.). Finalmente las losas macizas prefabricadas mantienen una distribución continua del material, similar a la losa maciza tradicional, pero trasladan su proceso de fabricación a planta, lo que no modifica la lógica estructural del elemento, sino únicamente su proceso de ejecución (ANDECE, 2019).

Desde el punto de vista del proceso constructivo, las tipologías de cubiertas húmedas pueden diferenciarse en función del grado de ejecución en obra y del nivel de industrialización que incorporan, lo que permite agruparlas en sistemas in situ, prefabricados y mixtos.

En primer lugar, las losas macizas y nervadas corresponden a sistemas ejecutados completamente en obra, en los cuales el proceso constructivo se basa en la disposición de encofrados, la colocación de armaduras y el posterior vertido de hormigón en estado fresco. En el caso de las losas nervadas, este proceso incorpora además moldes o elementos de

aligeramiento que permiten generar las nervaduras dentro del sistema, manteniendo la lógica general de ejecución en sitio (Oliveira et al., 2018).

Por otro lado, las losas macizas prefabricadas corresponden a elementos de hormigón producidos en planta y posteriormente instalados en obra, formando parte de los sistemas de forjados industrializados. A diferencia de las losas alveolares, que incorporan vacíos longitudinales para reducir el peso propio del elemento, las losas macizas prefabricadas mantienen una sección continua de material, lo que implica una distribución completa del hormigón dentro del elemento estructural. Esta condición no modifica su lógica resistente en comparación con una losa maciza ejecutada en sitio, sino que introduce una variación en el proceso constructivo, al trasladar su producción a un entorno industrializado (ANDECE, 2019).

Finalmente, las prelasas pretensadas y las cubiertas con placa colaborante se sitúan en una categoría intermedia, al combinar elementos prefabricados con hormigón vertido en obra. En las prelasas, la lámina inferior prefabricada actúa como encofrado permanente, sobre el cual se ejecuta una capa adicional de hormigón que completa la sección estructural (ANDECE, s.f.).

De manera similar, en las cubiertas con placa colaborante, la lámina metálica perfilada cumple la función de soporte durante la fase constructiva y elimina la necesidad de encofrado inferior, permitiendo el vertido directo del hormigón sobre este elemento (Steel Construction Institute, 2009).

En conjunto, estas diferencias evidencian que el proceso constructivo no solo define la forma de ejecución de cada sistema, sino que también incide en variables como el uso de encofrados, el tiempo de construcción y el grado de industrialización, aspectos determinantes dentro del análisis comparativo de cubiertas de hormigón. Las diferencias entre las tipologías de cubiertas húmedas adquieren mayor relevancia al analizar sus implicaciones estructurales, particularmente en relación con el peso propio, el cual forma parte de las cargas permanentes consideradas en el diseño estructural.

Desde esta perspectiva, el peso propio constituye una acción fundamental dentro del análisis estructural, ya que forma parte de las cargas que actúan de manera continua sobre la edificación. En consecuencia, su magnitud influye en las cargas que deben ser resistidas por los elementos estructurales (ASCE, 2022).

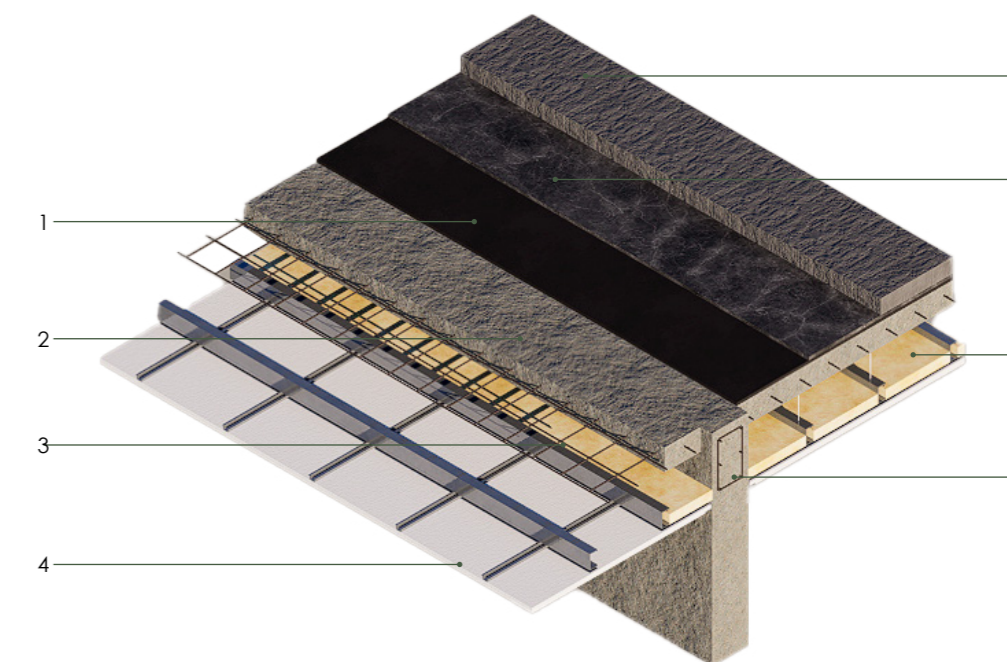
Las variaciones en el peso propio entre diferentes

sistemas de cubierta no solo representan una diferencia material, sino que inciden en el comportamiento global de la estructura, dado que una reducción en la masa del sistema implica una disminución de las cargas gravitacionales asociadas (SCI, 2009).

Adicionalmente, el peso propio adquiere una relevancia particular en el análisis sísmico, debido a que las fuerzas generadas durante un evento dependen de la masa de la estructura. Por lo tanto, una menor masa estructural contribuye a reducir las fuerzas sísmicas que

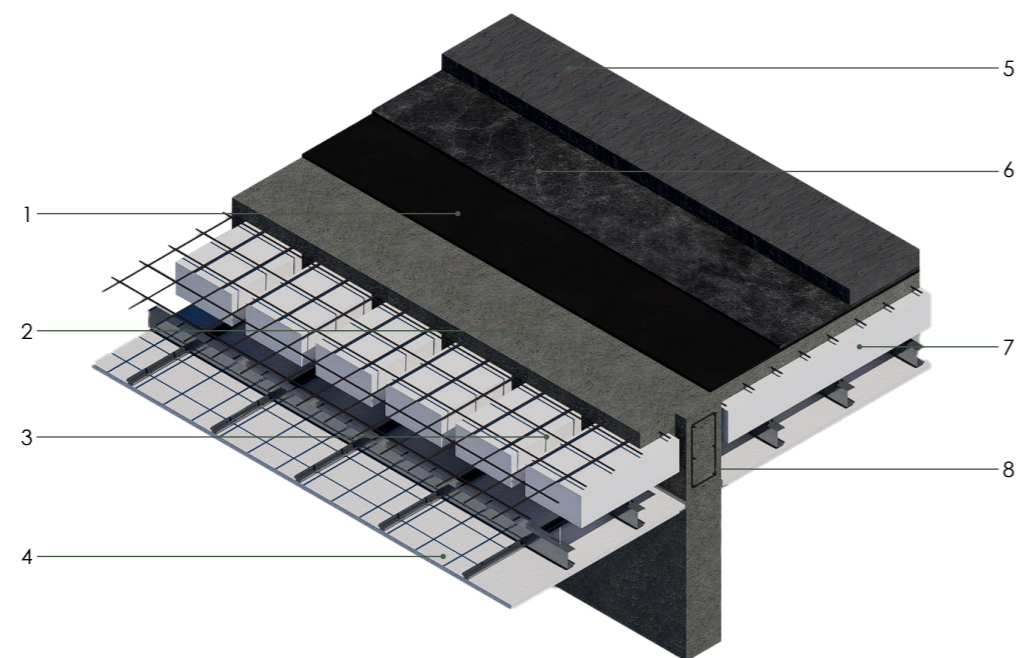
1. Lámina asfáltica SUPER K 2500
2. Losa de Hormigón Armado e: 25cm
3. Malla electrosoldada R196
4. Cielo Raso de Tableros de Yeso con Perfilera Galvanizada
5. Mortero de Nivelación 2%
6. Textura impermeabilizante TECHOFIELT 1500 con armadura
7. Aislante Termoacústico Lana de Vidrio e:63.5mm
8. Estructura Principal de Hormigón

Fig. 2. Cubierta Losa Maciza



Nota: Elaboración propia en base a Guía de la Construcción Ilustrada (2011) y Banco de Detalles (2002)

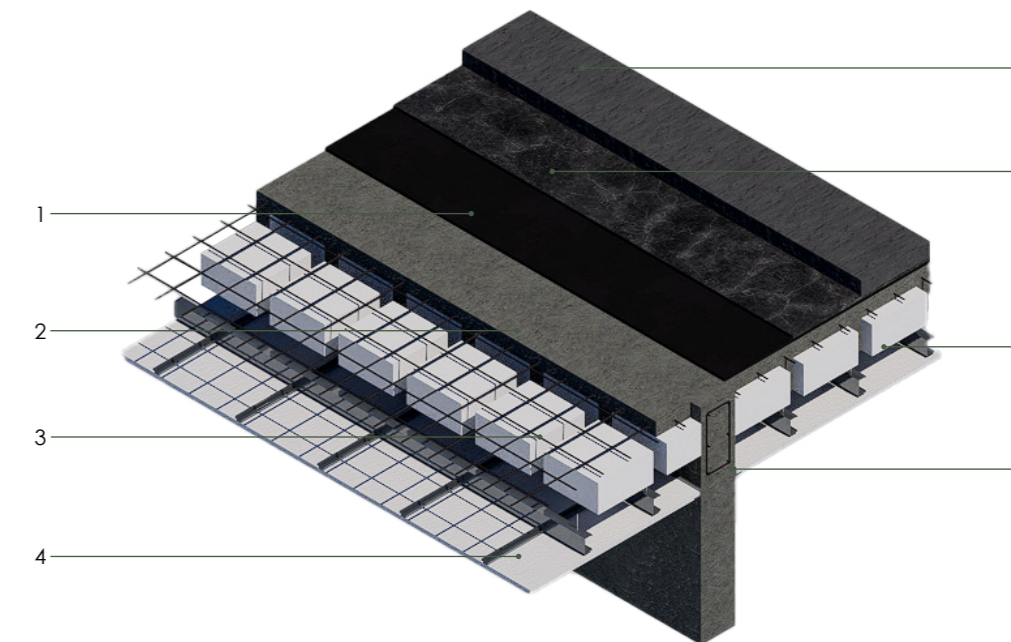
Fig. 3. Cubierta Losa Nervada Unidireccional



1. Lámina asfáltica SUPER K 2500
2. Losa Nervada de Hormigón Armado e: 10cm
3. Malla electrosoldada R196
4. Cielo Raso de Tableros de Yeso con Perfilera Galvanizada
5. Mortero de Nivelación 2%
6. Textura impermeabilizante TECHOFIELT 1500 con armadura
7. Casetones EPS 40x40x20 cm (Adosados)
8. Estructura Principal de Hormigón

Nota: Elaboración propia en base a Guía de la Construcción Ilustrada (2011) y Banco de Detalles (2002)

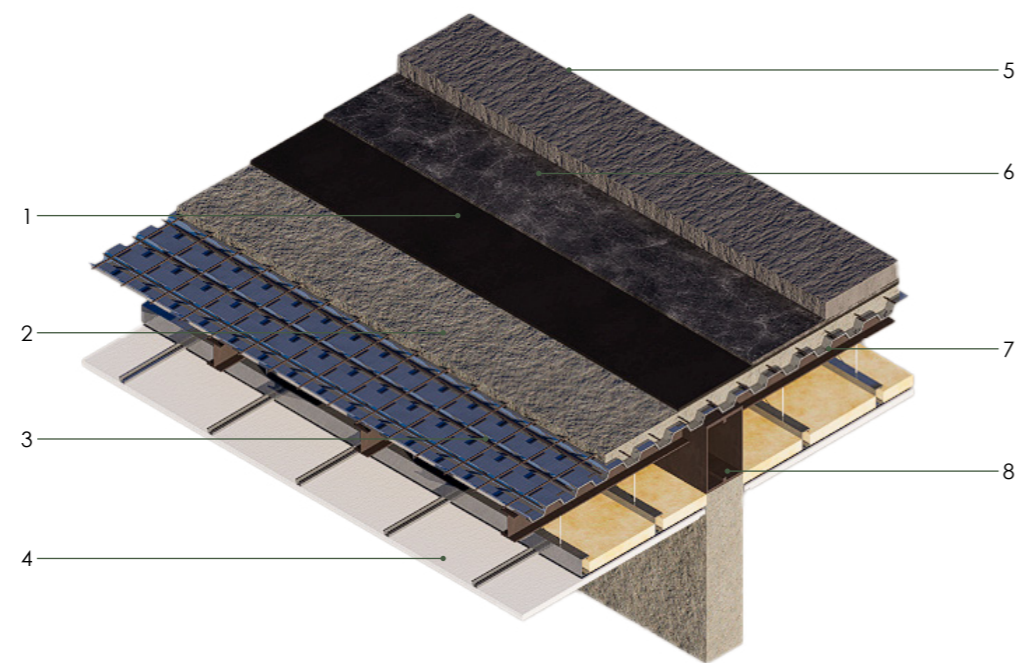
Fig. 4. Cubierta Losa Nervada Bidireccional



1. Lámina asfáltica SUPER K 2500
2. Losa Nervada de Hormigón Armado e: 10cm
3. Malla electrosoldada R196
4. Cielo Raso de Tableros de Yeso con Perfilera Galvanizada
5. Mortero de Nivelación 2%
6. Textura impermeabilizante TECHOFIELT 1500 con armadura
7. Casetones EPS 40x40x20 cm
8. Estructura Principal de Hormigón

Nota: Elaboración propia en base a Guía de la Construcción Ilustrada (2011) y Banco de Detalles (2002)

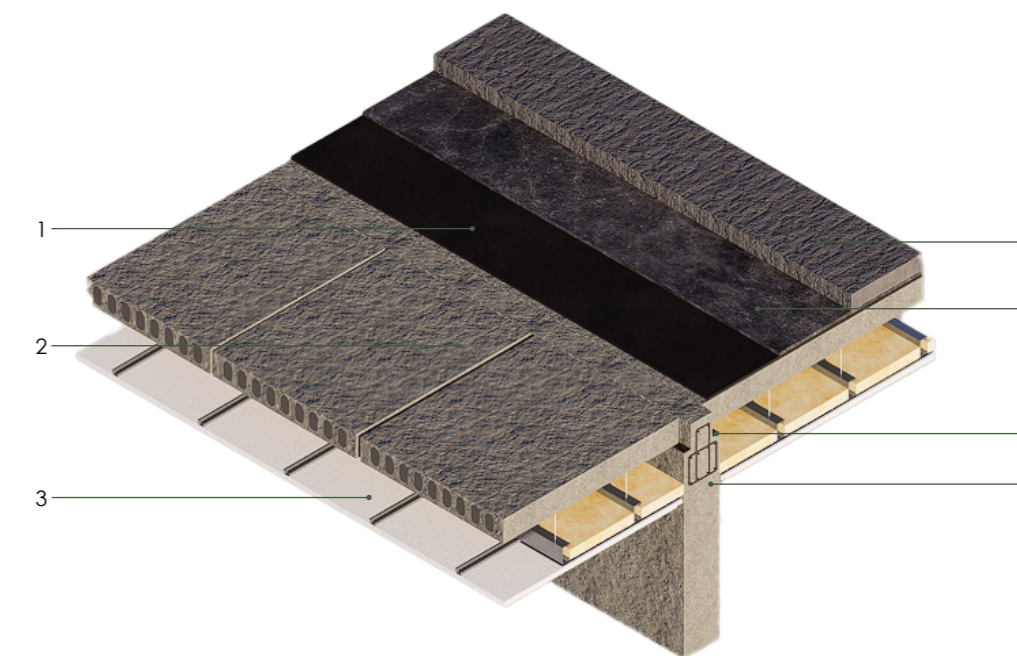
Fig. 5. Cubierta Placa Colaborante



1. Lámina asfáltica SUPER K 2500
2. Losa de Hormigón Armado e: 10cm
3. Malla electrosoldada R196
4. Cielo Raso de Tableros de Yeso con Perfilera Galvanizada
5. Mortero de Nivelación 2%
6. Textura impermeabilizante TECHOFIELT 1500 con armadura
7. Placa Colaborante e: 0,76 mm
8. Estructura Principal de Hormigón y Acero

Nota: Elaboración propia en base a Guía de la Construcción Ilustrada (2011) y Banco de Detalles (2002)

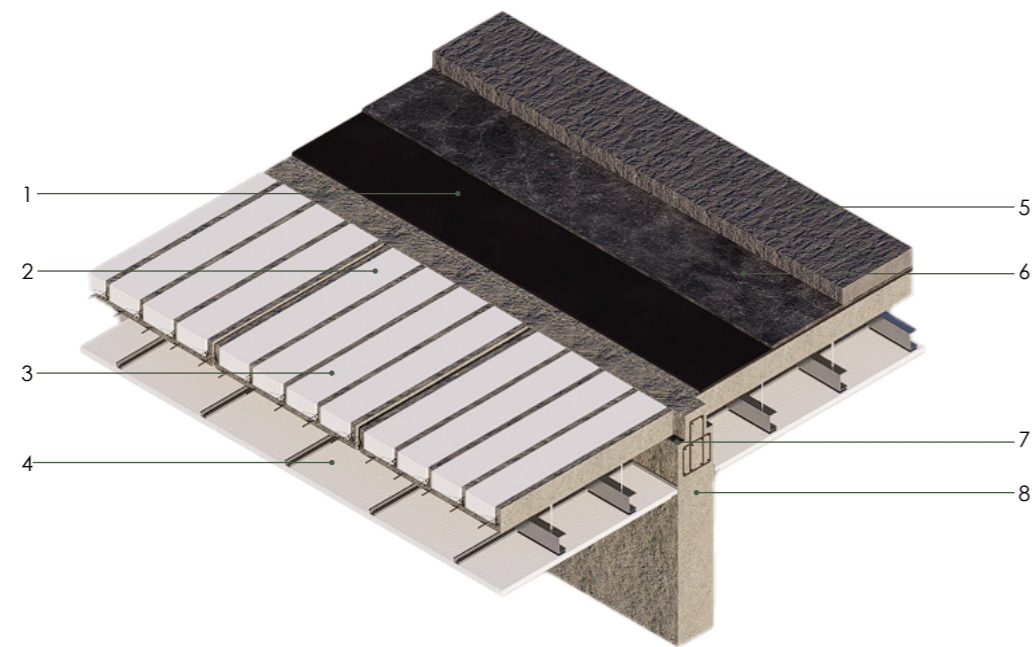
Fig. 6. Cubierta Losa Alveolar



1. Lámina asfáltica SUPER K 2500
2. Losa Alveolar e: 15cm
3. Cielo Raso de Tableros de Yeso con Perfilera Galvanizada
4. Mortero de Nivelación 2%
5. Textura impermeabilizante TECHOFIELT 1500 con armadura
6. Neopreno
7. Estructura Principal de Acero

Nota: Elaboración propia en base a Banco de Detalles (2002) y Viguetas Navarras, Guía de colocación de placas (2025)

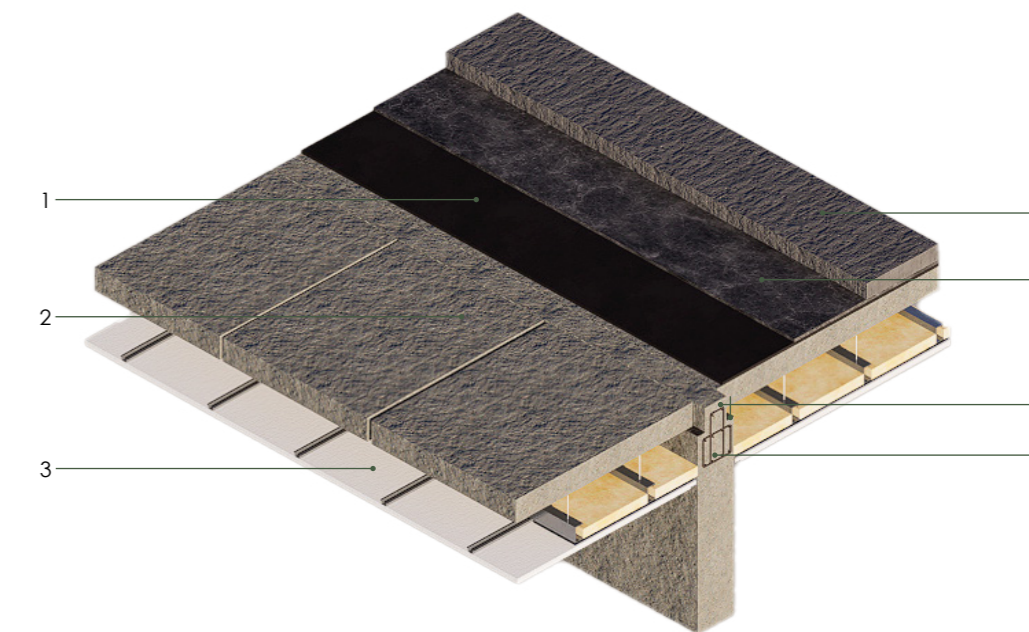
Fig. 7. Cubierta Prelosa Pretensada



1. Lámina asfáltica SUPER K 2500
2. Sobrelosa de Hormigón e: 15cm
3. Prelosa prefabricada con alivianamientos de EPS
4. Cielo Raso de Tableros de Yeso con Perfilera Galvanizada
5. Mortero de Nivelación 2%
6. Textura impermeabilizante TECHOFIELT 1500 con armadura
7. Neopreno
8. Estructura Principal de Acero

Nota: Elaboración propia en base a Banco de Detalles (2002) y Viguetas Navarras, Guía de colocación de placas (2025)

Fig. 8. Cubierta Maciza Prefabricada



1. Lámina asfáltica SUPER K 2500
2. Losa Maciza Prefabricada e: 15cm
3. Cielo Raso de Tableros de Yeso con Perfilera Galvanizada
4. Mortero de Nivelación 2%
5. Textura impermeabilizante TECHOFIELT 1500 con armadura
6. Neopreno
7. Estructura Principal de Acero

Nota: Elaboración propia en base a Banco de Detalles (2002) y Viguetas Navarras, Guía de colocación de placas (2025)

1.3 Tipos de Cubiertas Secas

Las cubiertas secas o cubiertas ligeras, las cuales poseen un carácter modular a diferencia de las cubiertas húmedas, corresponden a sistemas constructivos ejecutados mediante el ensamblaje de componentes prefabricados, instalados en obra sin recurrir a procesos húmedos (Steel Construction Institute, 2009).

Dichas cubiertas pueden clasificarse en función de los materiales que conforman el sistema y del rol que estos desempeñan dentro de la solución constructiva. A partir de esta premisa, en el siguiente apartado se presentan las principales tipologías consideradas en el presente estudio:

1. Las cubiertas de panel sándwich (ver Figura No. 9), que está compuesta por dos láminas metálicas de acero galvanizado y en el centro de poliuretano rígido de alta densidad, poliisocianurato, o lana mineral de roca, el cual actúa como aislante térmico y acústico, mientras que las láminas metálicas le brindan rigidez estructural y protección contra el clima exterior. Además, se presenta en módulos de distintos espesores y acabados, con recubrimientos de pintura de alta durabilidad que

pueden llegar a durar hasta 20 años en condiciones normales (Iza, 2013).

2. Las cubiertas tipo deck (ver Figura No. 10) corresponden a sistemas de cubierta utilizados principalmente en edificaciones industriales, caracterizados por el empleo de una chapa metálica perfilada fijada sobre la estructura, la cual actúa como soporte del sistema de cubierta. Por su versatilidad se permite su uso en cubiertas planas o con ligera pendiente, adaptándose a distintas configuraciones arquitectónicas. Es un sistema ligero cuya aplicación se asocia a construcciones que requieren rapidez de ejecución y capacidad de adaptación a diferentes configuraciones arquitectónicas (INCOPERFIL, s.f).
3. Las cubiertas con tableros planos de fibrocemento (ver Figura No. 11), el cual es un sistema ligero con placas compuestas por cemento Portland reforzado con fibras (celulosa o sintéticas), lo que les da estabilidad, resistencia mecánica y durabilidad

frente al clima. Según el manual técnico de Eternit, es un material resistente a la humedad y apto para aplicaciones exteriores incluyendo cubiertas y cerramientos (Eternit, 2022). Dichas placas se instalan de manera perpendicular hacia las vigas o correas estructurales, las cuales se fijan con tornillos autoperforantes mientras se dejan juntas de dilatación recomendadas por el fabricante. Además el sistema requiere impermeabilización superior y aislamiento termoacústico para un mayor confort (Eternit, 2025).

4. Las cubiertas con tableros OSB (ver Figura No. 12), el cual es un elemento estructural conformado por astillas de madera orientadas y unidas mediante resinas bajo presión y temperatura. Empleado en cubiertas como superficie continua de soporte, instalada sobre una subestructura portante. En aplicaciones de cubierta, los paneles OSB permiten generar una base continua capaz de soportar cargas distribuidas, siendo utilizados en sistemas constructivos ligeros,

especialmente en estructuras de madera o acero liviano. Su uso en cubiertas está reconocido dentro de los sistemas de panelización estructural empleados en edificación, tal como lo indica la Asociación de Paneles de Madera Estructural (APA).

5. Las cubiertas con tableros de plywood (ver Figura No. 13) el cual es un elemento estructural constituido por láminas delgadas de madera dispuestas en capas cruzadas y adheridas entre sí mediante adhesivos. Es utilizado en cubiertas como elemento de soporte continuo, colocado sobre una subestructura que transmite las cargas hacia el sistema estructural principal. El plywood permite conformar una superficie continua que actúa como base del sistema y su aplicación en cubiertas se encuentra documentada dentro de los sistemas estructurales de madera, donde cumple la función de soporte del cerramiento superior, conforme a lo señalado por la Asociación de Paneles de Madera Estructural (APA).

1.4 Discusión Comparativa de las Tipologías de Cubiertas Secas

El Steel Deck Institute (2022) señala que las cubiertas tipo deck se configuran a partir de láminas metálicas perfiladas que actúan como elemento de cerramiento y soporte, fijadas directamente a la estructura y empleadas en cubiertas de baja pendiente. Este organismo indica que dichas láminas, conformadas en frío y generalmente galvanizadas, presentan nervaduras que les otorgan rigidez y capacidad resistente, permitiendo soportar cargas significativas con un bajo peso propio (Steel Deck Institute, 2024). De igual forma destaca que la elevada relación resistencia-peso del sistema contribuye a reducir las cargas transmitidas a la estructura principal y, por ende, los requerimientos de cimentación. No obstante, de acuerdo con RCABC (s.f.), el deck no constituye por sí mismo un sistema completo de cubierta, ya que requiere la incorporación de capas adicionales, como impermeabilización, aislamiento térmico y acabados para cumplir adecuadamente su función. Por su parte, la European Commission (2009) define a los paneles sándwich como elementos prefabricados que integran en una sola unidad el cerramiento y el aislamiento térmico, utilizados principalmente en edificaciones industriales y comerciales. En esta línea, Balex Metal (s.f.) precisa que estos paneles compuestos por un núcleo aislante revestido en ambas caras con chapas metálicas, tiene como función la de actuar como cerramiento, no estructural, dado que las cargas son transmitidas al sistema portante al que se

fijan. Complementariamente, Synthesia (s.f.) señala que el alto grado de prefabricación de estos sistemas se traduce en menores tiempos de instalación, menor mantenimiento y un buen desempeño térmico y acústico.

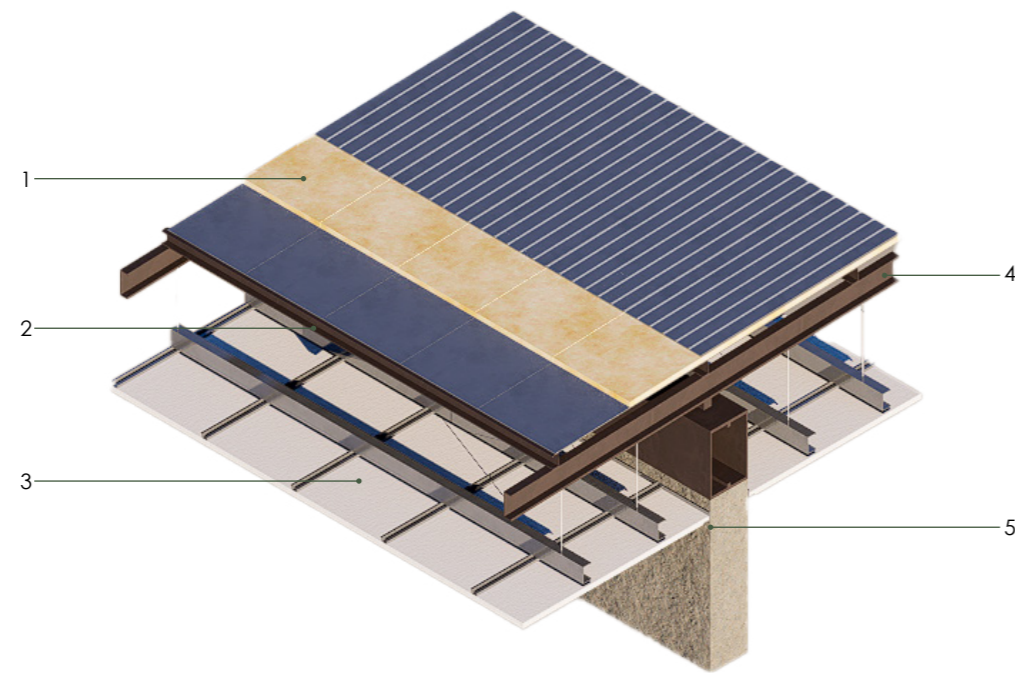
En contraste, la APA (The Engineered Wood Association, 2019) indica que los sistemas basados en tableros estructurales, como OSB y plywood, funcionan como superficies continuas instaladas sobre una subestructura, actuando como base del cerramiento dentro de sistemas constructivos ligeros. La misma fuente establece que los tableros clasificados como Structural I están diseñados para ofrecer alta rigidez y resistencia al pandeo, siendo aptos para aplicaciones en cubierta, mientras que la APA (2008) describe que el OSB se compone de astillas orientadas en capas cruzadas que distribuyen la resistencia en ambas direcciones del panel. De manera análoga, los tableros planos de fibrocemento se emplean también como superficies continuas de cerramiento en sistemas ligeros, actuando como soporte para capas de acabado e impermeabilización. Según Eternit (s.f.), el fibrocemento es un material compuesto por una matriz cementicia reforzada con fibras, lo que le confiere estabilidad dimensional, resistencia mecánica y durabilidad frente a la humedad y agentes ambientales. En consecuencia, tanto los tableros de madera como los de fibrocemento no constituyen por sí mismos una solución de cubierta terminada, ya que requieren la incorporación de capas impermeables adicionales

para garantizar la estanqueidad del sistema (APA, 2019; Eternit, s.f.). En conjunto, la European Commission (2009), el Steel Deck Institute (2022) y la APA (The Engineered Wood Association, 2019) coinciden en que los sistemas de cubierta ligera se diferencian principalmente por el tipo de elemento empleado como cerramiento, lámina metálica, panel prefabricado o tablero estructural.

Asimismo, Balex Metal (s.f.) y Synthesia (s.f.) destacan que el grado de integración funcional varía entre sistemas: el panel sándwich resuelve en un solo elemento el cerramiento, el aislamiento y el acabado, el deck metálico y los sistemas basados en tableros requieren la incorporación de capas adicionales. Esta diferencia, incide directamente en los tiempos de montaje, los costos de instalación y la complejidad de coordinación entre subsistemas constructivos.

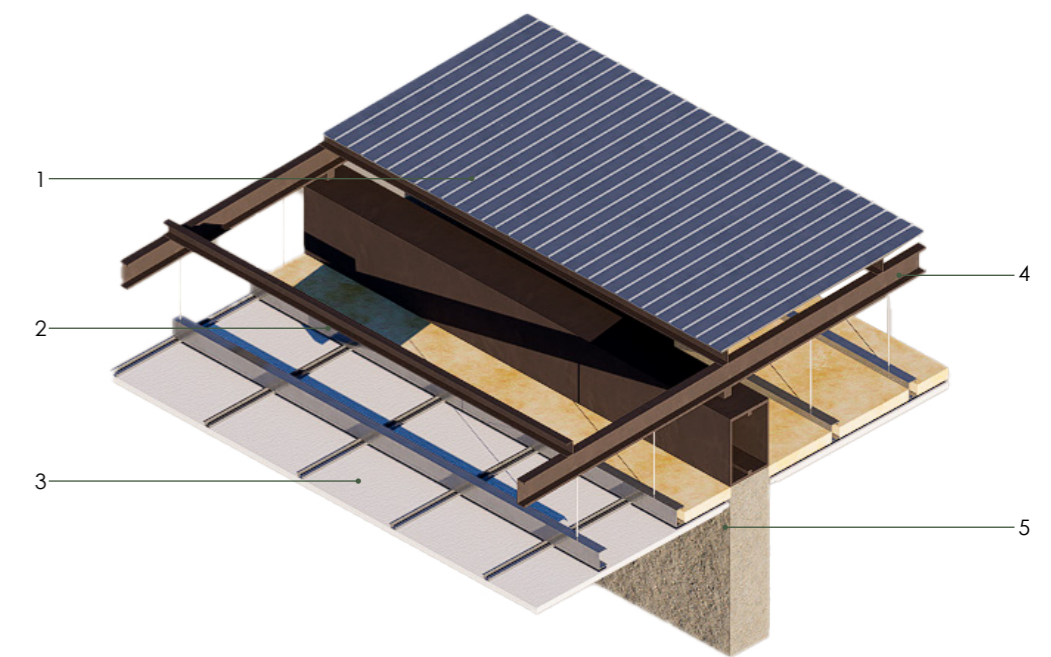
1. Panel Sándwich Metálico con relleno de EPS, PIR o Lana Mineral de Roca e: 50 mm
2. Subestructura Correas Tipo "G" 80x40x15x2 mm
3. Cielo Raso de Tableros de Yeso con Perfilera Galvanizada
4. Viga Secundaria con Pendiente al 2%
5. Estructura Principal de Hormigón y Acero

Fig. 9. Cubierta Panel Sándwich



Nota: Elaboración propia en base a Guía de la Construcción Ilustrada (2011) y Banco de Detalles (2002)

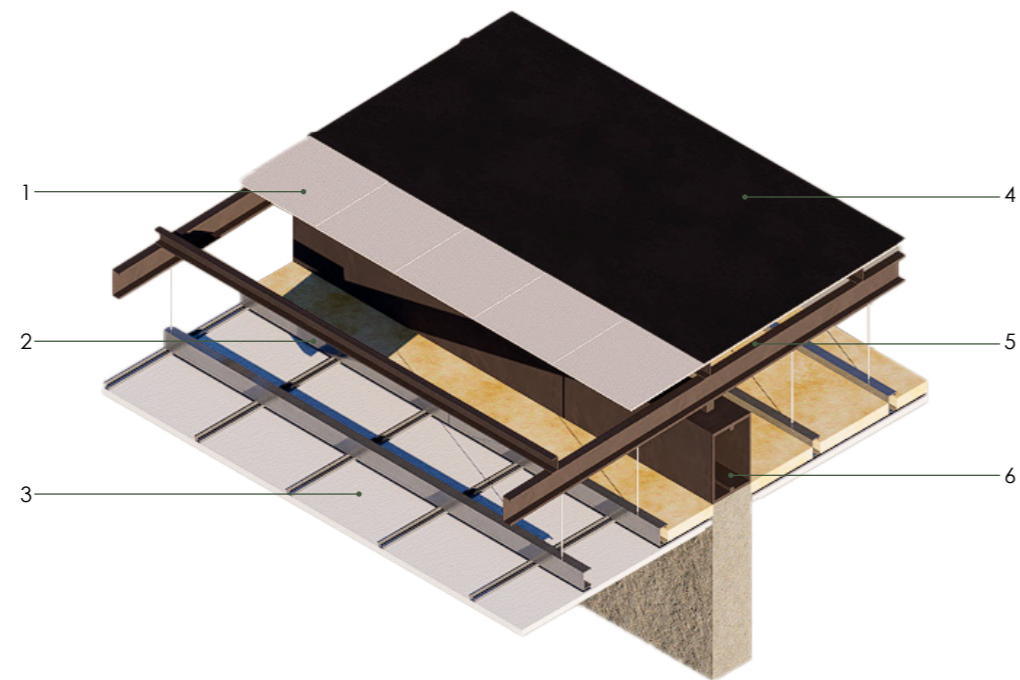
Fig. 10. Cubierta Deck



1. Plancha Deck Metálica e: 0,50 mm
2. Subestructura Correas Tipo "G" 80x40x15x2 mm
3. Cielo Raso de Tableros de Yeso con Perfilera Galvanizada
4. Viga Secundaria con Pendiente al 2%
5. Estructura Principal de Hormigón y Acero

Nota: Elaboración propia en base a Guía de la Construcción Ilustrada (2011) y Banco de Detalles (2002)

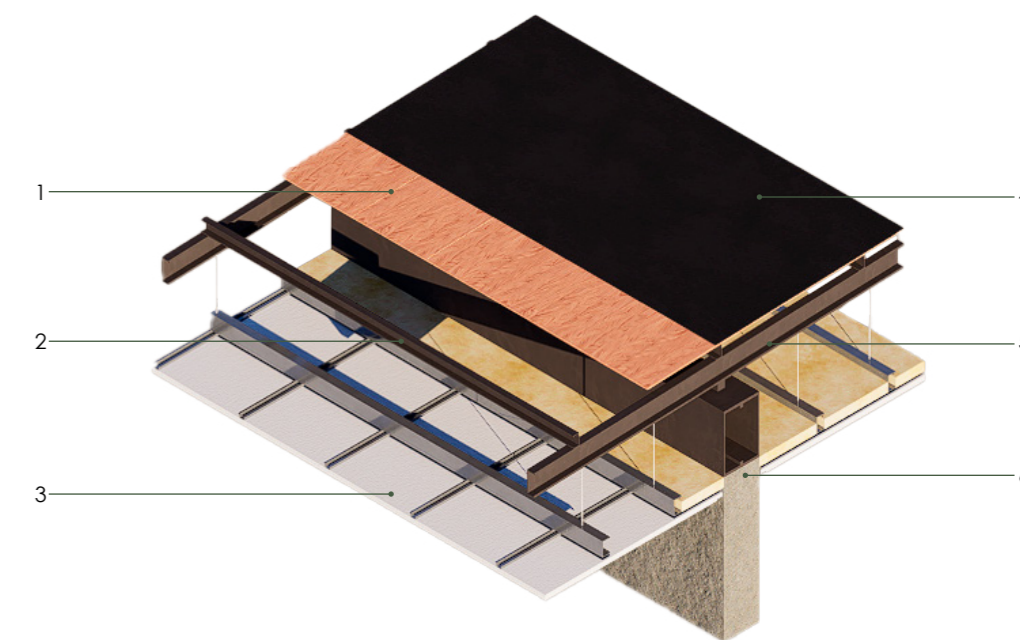
Fig. 11. Cubierta con Tablero Plano de Fibrocemento



1. Tablero Plano de Fibrocemento e: 15 cm
2. Subestructura Correas Tipo "G" 80x40x15x2 mm
3. Cielo Raso de Tableros de Yeso con Perfilera Galvanizada
4. Impermeabilizante termofusible Imperpol
5. Viga Secundaria con Pendiente al 2%
6. Estructura Principal de Hormigón y Acero

Nota: Elaboración propia en base a Banco de Detalles (2002)

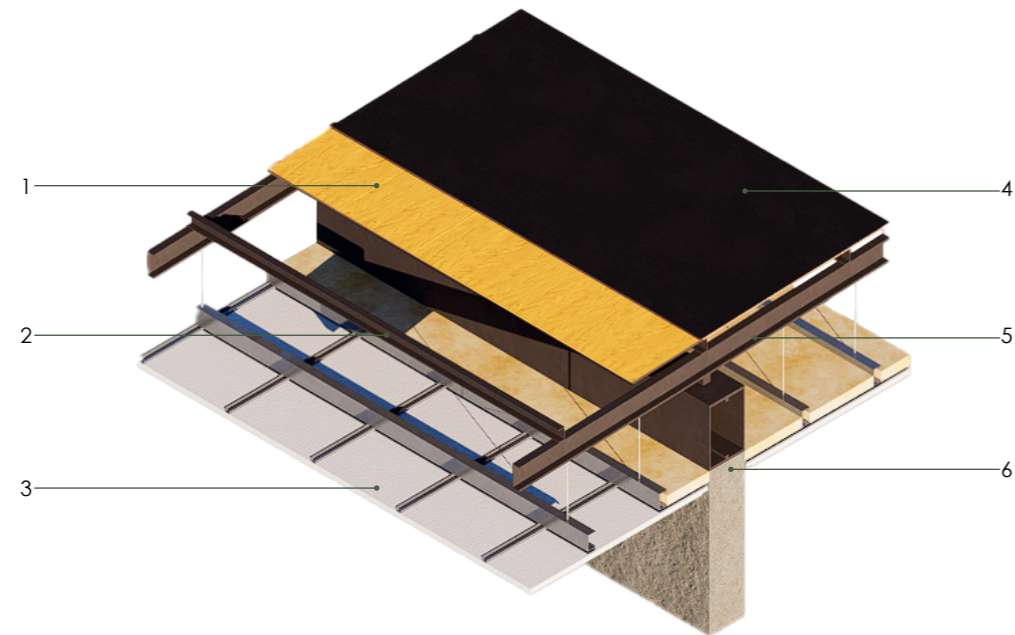
Fig. 12. Cubierta con Tableros OSB



1. Tablero OSB Edimca e: 15 cm
2. Subestructura Correas Tipo "G" 80x40x15x2 mm
3. Cielo Raso de Tableros de Yeso con Perfilera Galvanizada
4. Impermeabilizante termofusible Imperpol
5. Viga Secundaria con Pendiente al 2%
6. Estructura Principal de Hormigón y Acero

Nota: Elaboración propia en base a Banco de Detalles (2002)

Fig. 13. Cubierta con Tableros Plywood



1. Tablero OSB Edimca e: 15 cm
2. Subestructura Correas Tipo "G" 80x40x15x2 mm
3. Cielo Raso de Tableros de Yeso con Perfilera Galvanizada
4. Impermeabilizante termofusible Imperpol
5. Viga Secundaria con Pendiente al 2%
6. Estructura Principal de Hormigón y Acero

Nota: Elaboración propia en base a Banco de Detalles (2002)



Capítulo 2

MARCO TEÓRICO

- 2.1 Criterios Normativos de Clasificación de las Cubiertas
- 2.2 Aislamiento Térmico
- 2.3 Aislamiento Acústico
- 2.4 Referencias de Modulación Estructural
- 2.5 Selección de Tipologías para el Análisis de la Investigación
- 2.6 Uso de Sistemas Estructurales en el Ecuador y Cuenca

2.1 Criterios Normativos de Clasificación de las Cubiertas

La cubierta es un elemento fundamental de la edificación, ya que protege los espacios interiores y condiciona el desempeño térmico, acústico, estructural y económico del proyecto. Su configuración influye directamente en el peso propio de la estructura, en los costos de la ejecución, en los tiempos constructivos, y en el comportamiento global del edificio a lo largo de su vida útil.

En el contexto ecuatoriano, las cubiertas húmedas, como la losa nervada o con placa colaborante, han sido ampliamente utilizadas por su resistencia y durabilidad. Sin embargo, presentan limitaciones importantes como el alto peso propio, mayores tiempos de ejecución y costos elevados, además de depender de sistemas adicionales para su aislamiento térmico e impermeabilización. Frente a esto, las cubiertas secas se caracterizan por su bajo peso y rapidez de montaje, lo que permite reducir cargas estructurales y optimizar recursos. Sin embargo de igual manera presentan limitaciones asociadas a las características de los materiales y a la forma en que se resuelve su sistema constructivo. En sistemas de cubierta plana, la evacuación del agua no depende de la inclinación de la superficie, sino del desempeño de la impermeabilización, por lo que la estanqueidad del sistema se encuentra directamente condicionada por la correcta ejecución de las uniones y sellos (FEMA, 2021). De igual forma esta deben ser correctamente fijadas a la estructura para garantizar la transmisión

de cargas y su comportamiento frente a acciones externas, indicando que el desempeño del sistema depende de la correcta instalación de sus conexiones (Steel Deck Institute, 2006).

En cuanto al peso de las cubiertas, según el Documento Básico DB-SE-AE "Acciones en la edificación" del Código Técnico de la Edificación, "se entiende por cubierta ligera aquella cuya carga permanente debida únicamente a su cerramiento no excede de 1 kN/m²" (Código Técnico de la Edificación, 2019). En términos equivalentes, este valor corresponde aproximadamente a 100 kg/m², por lo que aquellas que se encuentren por debajo de este valor serán consideradas como cubiertas ligeras. En consecuencia, para efectos comparativos, aquellas cubiertas cuyo peso propio supere dicho valor se consideran como cubiertas pesadas dentro del presente estudio.

En cuanto a las pendientes de las cubiertas, el Código Técnico de la Edificación, en su Documento Básico DB-HS, establece en la Tabla 2.9 que para cubiertas no transitables con protección mediante lámina autoprottegida se admiten pendientes comprendidas entre el 1% y el 15% (Código Técnico de la Edificación, 2019). El valor máximo señalado responde a criterios de funcionamiento del sistema de impermeabilización y evacuación de aguas lluvia, y no a una definición conceptual

de cubierta plana desde el punto de vista tipológico, sino a un parámetro técnico asociado al desempeño del sistema. Con base en la literatura consultada, para efectos del presente estudio comparativo se considerarán como cubiertas secas o ligeras aquellas cuyo peso propio sea inferior a 100 kg/m², mientras que las cubiertas húmedas o pesadas corresponderá a aquellas cuyo peso propio supere dicho valor.

Por otra parte, en cuanto a las pendientes, aquellas próximas al 15% pueden incidir significativamente en la volumetría del edificio, incrementando la altura de los frontones y alterando su lectura formal. Por esta razón, se adopta un criterio más restrictivo para las cubiertas planas, limitando el análisis a pendientes máximas del 10%, con el fin de no afectar la configuración arquitectónica y mantener la condición de baja pendiente.

Tabla 1. Delimitación de los pesos para el estudio

Peso Propio Máximo (kg/m ²)	Cubiertas Húmedas	Cubiertas Secas
	> 100 kg/m ²	< 100 kg/m ²

Nota. Elaboración propia en base a el documento básico DB-SE-AE "Acciones en la edificación" del Código Técnico de la Edificación (CTE) de España

2.2 Aislamiento Térmico

La aislación térmica constituye un aspecto clave en el análisis de cubiertas, ya que incide directamente en el confort interior de la edificación. Dado que la ciudad de Cuenca se ubica en la zona climática 3 (continental lluviosa), es necesario cumplir los valores máximos establecidos en la normativa para garantizar condiciones adecuadas de confort térmico.

Este estudio considera los valores indicados en la tabla 6 "Requisitos de envolventes para la zona climática 3" de la Norma Ecuatoriana de la Construcción, en el documento NEC-HS-EE "Eficiencia Energética". En el caso de espacios habitables no climatizados, se establece una transmitancia térmica máxima de 2,9 W/m²K, valor que las cubiertas analizadas deben cumplir para aproximarse al desempeño térmico requerido.

Tabla 2. Requisitos de envolventes par la zona climática 3 (continental lluviosa)

Tipo de espacio	Condición	U máximo (W/m ² K)	R mínimo (m ² K/W)
Habitable	Climatizado	0,273	3,5
Habitable	No climatizado	2,9	0,89
No habitable	—	4,7	0,21

Nota. Elaboración propia en base a "Requisitos de envolventes para la zona climática 3" de la Norma Ecuatoriana de la Construcción

Para evaluar este comportamiento, se calcula la transmitancia térmica (factor U), definida como la cantidad de calor que atraviesa un elemento constructivo por unidad de tiempo debido a una diferencia de temperatura entre sus caras, considerando tanto los materiales como las resistencias superficiales, según la Norma Ecuatoriana de la Construcción (2023).

La transmitancia térmica se obtiene mediante la expresión:

$$U = \frac{1}{R_{si} + R_1 + R_2 + R_3... + R_n + R_{se}}$$

(Ecuación 1)

donde la resistencia térmica de cada material se calcula como la relación entre su espesor y su conductividad térmica (e/λ).

Si bien la Norma Ecuatoriana de la Construcción (NEC-HS-EE, 2023) establece los valores máximos de transmitancia térmica para la envolvente, no define de manera explícita las resistencias térmicas superficiales interiores (R_{si}) y exteriores (R_{se}) necesarias para su cálculo.

No obstante, dicha normativa se fundamenta en metodologías internacionales, particularmente en la norma ISO 6946, la cual establece valores estandarizados en

función de la dirección del flujo de calor.

En este sentido, para el análisis de cubiertas, donde el flujo térmico es ascendente, tomando en cuenta que lo que se requiere en nuestro tipo de zona climática es el mantener el calor dentro de la edificación. Se adoptan valores de R_{si} = 0,10 m²K/W y R_{se} = 0,04 m²K/W, conforme a lo indicado en dicha norma.

Estos valores permiten completar el cálculo de la transmitancia térmica del elemento constructivo, garantizando coherencia con los criterios técnicos internacionalmente aceptados.

El procedimiento para obtener el valor de transmitancia térmica se realiza mediante los siguientes pasos descritos a continuación:

1. Identificación de capas

Se define la composición de la cubierta, identificando cada una de las capas que la conforman.

2. Obtención de propiedades térmicas

Conductividad térmica (λ) de cada material:

Fuente principal: NEC-HS-EE (2023)

Fuente complementaria: norma chilena NCH 853 (en caso de ausencia de datos en la NEC)

Resistencias superficiales:

R_{si} y R_{se} tomadas de la norma ISO 6946

3. Cálculo de resistencias por capa

Se calcula la resistencia térmica de cada material mediante:

$$R = e / \lambda$$

4. Suma de resistencias

Se obtiene la resistencia total del sistema:

$$R_{total} = R_{si} + \sum(e/\lambda) + R_{se}$$

Cálculo de transmitancia térmica

Se calcula la transmitancia térmica:

$$U = 1 / R_{total}$$

5. Verificación normativa

El valor obtenido se compara con el límite establecido en la NEC para determinar si la cubierta cumple con el requerimiento térmico.

2.3 Aislamiento Acústico

En cuanto al aislamiento acústico, Everest y Pohlmann (2015) lo definen como la reducción de la transmisión del sonido de un espacio a otro mediante una estructura separadora, es decir que esto corresponde a la capacidad que tiene un sistema, como una cubierta, para reducir la transmisión del sonido entre dos espacios, garantizando condiciones de confort adecuadas en el interior.

En regiones con alta pluviometría como la Sierra ecuatoriana, el ruido generado por la lluvia sobre la cubierta representa uno de los principales agentes de perturbación acústica para los ocupantes. Según la International Organization for Standardization (ISO, 2006), el impacto de la lluvia sobre los elementos de cubierta genera una excitación de tipo impulsivo que induce vibración estructural en el elemento y la irradia como sonido hacia el espacio habitable inferior.

Cuando llueve sobre una cubierta, el ruido que perciben los ocupantes del espacio interior proviene de dos mecanismos que actúan simultáneamente. El primero es el ruido aéreo: el sonido del aguacero que viaja por el aire exterior, llega a la cubierta y parte de él la atraviesa. La resistencia del sistema a este tipo de ruido depende principalmente de la masa por metro cuadrado de cada capa (Sharp, 1978). Este es el mecanismo que modela la Ley de Masa.

El segundo es el ruido de impacto: Ocurre cuando cada gota golpea físicamente la superficie de la cubierta. Ese golpe hace vibrar el material como un tambor y esa vibración se convierte en sonido hacia el interior. La resistencia a este mecanismo depende no solo de la masa, sino también del amortiguamiento interno del material: su capacidad de absorber la energía del golpe antes de que se irradie como sonido (ISO, 2006).

Es por esta razón que para evaluar el aislamiento frente a la lluvia, la metodología internacional estandarizada presenta un ensayo de laboratorio definido en la ISO 140-18:2006, que incluye los requisitos para la medición de ruido de lluvia. Este método reproduce lluvia artificial con gotas de diámetro, velocidad y caudal controlados sobre el elemento de cubierta en cámara que carece de eco, y mide el nivel sonoro resultante en el recinto receptor. La propia ISO 140-18 declara explícitamente que la lluvia real queda fuera de su alcance porque su naturaleza es variable, impredecible e intermitente (ISO, 2006), lo que evidencia que incluso el método de referencia internacional reconoce la complejidad de reproducir el fenómeno en condiciones de campo sin instalaciones específicas.

Schmid et al. (2021) confirman que la predicción del ruido de lluvia requiere modelar la fuerza de impacto

de las gotas, la respuesta dinámica de la estructura y la radiación sonora resultante. La complejidad de este proceso ha sido reconocida también por Chéné et al. (2010), quienes señalan que incluso entre laboratorios certificados existen diferencias en los resultados de ensayo debidas a variaciones en las condiciones de montaje y contorno del elemento analizado.

Debido a las razones mencionadas acerca de la dificultad que lleva consigo realizar un análisis específico de ruido de impacto como lo es la lluvia, y en el presente estudio al no disponer de cámara de ensayo certificada, equipo de lluvia artificial calibrado ni instrumentación acústica para medición de campo. La realización de ensayos según ISO 10140-5 está fuera del alcance de los recursos disponibles. Esta limitación no invalida el análisis: la misma literatura especializada documenta que la medición directa del ruido de lluvia es técnicamente compleja incluso en contextos de investigación con laboratorio (Schmid et al., 2021; Chéné et al., 2010).

Es por esto que con base en las limitaciones identificadas y en lo que resulta viable dentro del alcance del análisis comparativo, se plantea una metodología que no busca cuantificar el nivel de ruido de lluvia en condiciones reales de uso. En su lugar, el objetivo es establecer una jerarquía comparativa entre tipologías de cubierta a partir

de sus propiedades físicas objetivas. Para ello, se utiliza el índice STC (Sound Transmission Class), el cual establece que el ruido de lluvia es de naturaleza predominantemente impulsiva y no debe equipararse a la transmisión de ruido aéreo, por lo que el estudio lo utiliza como indicador del potencial de aislamiento frente al ruido aéreo, complementado con una evaluación cualitativa de las propiedades de los materiales, que permite interpretar su comportamiento esperado ante el ruido de impacto.

Variables que determinan el comportamiento acústico

A partir de los modelos de predicción de Sharp (1978) y la evidencia experimental de Yan et al. (2016), pueden identificarse tres variables físicas que actúan en conjunto y que determinan el comportamiento acústico de un sistema: la masa superficial, el amortiguamiento interno del material y la continuidad del sistema.

1. Masa superficial

La masa superficial es el peso del sistema por metro cuadrado de superficie (kg/m^2) y constituye la variable de mayor influencia en el aislamiento al ruido aéreo. Según Sharp (1978), al duplicar la masa superficial de un elemento su aislamiento al ruido aéreo mejora

aproximadamente 6 dB. Yan et al. (2016) confirmaron experimentalmente que las cubiertas de baja masa producen niveles de ruido interior significativamente mayores bajo lluvia intensa que los sistemas más pesados. Es la única de las tres propiedades que admite predicción numérica directa.

2. Amortiguamiento interno del material

El amortiguamiento interno es la capacidad del material de convertir en calor parte de la energía mecánica que recibe al ser golpeado, en lugar de irradiarla como sonido. Esta propiedad se expresa mediante el factor de pérdida (η): a mayor η , mayor capacidad del material de disipar la energía del impacto antes de convertirla en ruido audible.

En cuanto a los tableros de fibrocemento plano no existe un valor publicado de forma independiente, por lo que se interpreta su comportamiento a través de su composición: cemento con fibras celulósicas. Neithalath et al. (2004) documenta que la incorporación de fibras celulósicas en compuestos de cemento aumenta la capacidad de amortiguamiento interno respecto al cemento puro, por la fricción y disipación de energía en la interfaz fibra matriz. Lo cual sitúa al fibrocemento en

un rango intermedio entre el hormigón y los tableros de madera derivada.

Los valores de referencia del factor de pérdida para los materiales relevantes se muestran en la siguiente tabla:

Tabla 3. Factor de pérdida de los materiales analizados

Material	Factor de pérdida η (aprox.)
Hormigón denso	0,004 – 0,008
Hormigón ligero	0,015
Plywood	0,013
OSB	0,010 – 0,030
Fibrocemento plano	Medio
Acero y aleaciones de aluminio	0,0001 – 0,0003

Nota. Valores del factor de pérdida η tomados de Irvine (2010) y Sound Damped Steel (s.f.). Para compuestos celulosa-cemento (referencia para tablero de fibrocemento plano) se indica comportamiento cualitativo según Neithalath et al. (2004)

La tabla muestra que el hormigón tiene un factor de pérdida entre 13 y 80 veces mayor que el acero sin tratamiento. Esto explica, con base en datos medidos, por qué los sistemas de hormigón disipan más eficientemente la energía del impacto de la lluvia. Los tableros de

madera derivada y el fibrocemento presentan valores intermedios. La lámina metálica sin tratamiento tiene el factor de pérdida más bajo del grupo, lo que la convierte en la más eficiente transmisora de vibraciones de impacto (Sound Damped Steel, s.f.).

En el contexto de la lluvia, cada gota que impacta la cubierta le entrega energía mecánica. Lo que hace el material con esa energía depende de η :

- Material con η alto \rightarrow absorbe gran parte de la energía internamente \rightarrow menos vibración \rightarrow menos sonido irradiado hacia el interior
- Material con η bajo \rightarrow convierte casi toda la energía en vibración \rightarrow más sonido irradiado

3. Continuidad del sistema constructivo

Cuando dos hojas están separadas por una cámara de aire, la discontinuidad entre ellas interrumpe la transmisión directa de vibraciones: el sonido tiene que volver a excitar el aire para llegar de una hoja a la otra, perdiendo energía en ese proceso (Klimapedia, 2019). Sin embargo, cualquier conexión rígida entre las dos hojas, una perfilearía metálica que las toca simultáneamente, un

tornillo, una viga que las atraviesa, actúa como puente acústico y transmite la vibración directamente, reduciendo el beneficio de la cámara. Fielders (2019) describe estas conexiones como el equivalente acústico de un cortocircuito eléctrico. Por ello, el diseño de la perfilearía del cielorraso es un factor relevante en el desempeño acústico real del sistema

Fundamentos para el cálculo de aislamiento acústico

La Pérdida de Transmisión (TL)

La Pérdida de Transmisión (TL) expresa en decibelios cuánto se reduce el sonido al cruzar un sistema constructivo. Según la ISO 717-1 (ISO, 2020), el TL varía con la frecuencia y se determina en 16 bandas de tercio de octava desde 125 Hz hasta 4 000 Hz.

La Ley de Masa

Para materiales homogéneos, el TL puede estimarse mediante la Ley de Masa formulada por Sharp (1978), la cual establece que:

$$TL = 20 \cdot \log_{10}(f \times m) - 48 \quad (\text{Ecuación 2})$$

donde f es la frecuencia en Hz y m la masa superficial en kg/m^2 . Este modelo describe el aislamiento frente

al ruido aéreo en elementos simples. Marshall Day Acoustics (2024) documenta que las predicciones de STC obtenidas con este método se ubican dentro de ± 3 dB respecto a ensayos de laboratorio para la mayoría de construcciones convencionales.

Sistema de doble hoja con cámara de aire

En sistemas constructivos compuestos por dos hojas separadas por una cámara de aire, como ocurre en cubiertas con cielo raso suspendido, el comportamiento acústico varía en función de la frecuencia. Este fenómeno está gobernado por la frecuencia de resonancia (fr), la cual define el umbral a partir del cual la cavidad deja de comportarse como un volumen pasivo y comienza a contribuir al aislamiento acústico del sistema (Sharp, 1978; Klimapedia, 2019).

Por debajo de la frecuencia de resonancia, ambas hojas vibran de manera acoplada, comportándose como una única masa equivalente ($m_1 + m_2$), por lo que el sistema sigue la Ley de Masa aplicada a dicha masa total. En cambio, por encima de fr , las hojas vibran de forma independiente y la cámara de aire actúa como un desacoplador acústico, incrementando el aislamiento global del sistema (Sharp, 1978).

En este régimen, la pérdida de transmisión total puede expresarse como:

$$TL_{total} = TL_1 + TL_2 + 20 \cdot \log_{10}(f \times d) - 29$$

(Ecuación 3)

donde TL_1 y TL_2 corresponden a la pérdida de transmisión de cada hoja individual y d es la distancia entre ellas (m) (Sharp, 1978).

La frecuencia de resonancia se calcula según Klimapedia (2019) como:

$$fr = 85 / \sqrt{d \times m_{reducida}}$$

(Ecuación 4)

$$\text{donde } m_{reducida} = (m_1 \times m_2) / (m_1 + m_2)$$

En consecuencia por debajo de fr las dos hojas actúan como masa total ($m_1 + m_2$) y se aplica la Ec. 2. Por encima de fr se utiliza la Ec. 3. y la cámara mejora el aislamiento del sistema.

Procedimiento de cálculo para la obtención del STC

El STC resume la curva TL en un índice numérico único que facilita la comparación entre sistemas. Se determina según ASTM E413 (ASTM International, 2022).

El procedimiento a seguir según ASTM International (2022) es:

Paso 1. Calcular el TL en las 16 frecuencias en Hz (125-160-200-250-315-400-500-630-800-

1K-1.25K- 1.6K-2K-2.5K-3.15K-4K) aplicando la Ec. 2 o la Ec. 3 según corresponda.

Paso 2. Seleccionar un valor candidato de STC.

Paso 3. Construir la curva patrón: el valor de la curva en cada frecuencia es igual al STC candidato más un desplazamiento fijo definido por la norma:

$$\text{Valor patrón } (f) = \text{STC}_{candidato} + \text{desplazamiento fijo } (f)$$

Los desplazamientos fijos establecidos según ASTM E413 (ASTM International, 2022) se clasifican en:

Tabla 4. Desplazamientos fijos

125 Hz	160 Hz	200 Hz	250 Hz	315 Hz	400 Hz	500 Hz	630 Hz
-16	-13	-10	-7	-4	-1	0	+1
800 Hz	1K Hz	1.25K Hz	1.6k Hz	2K Hz	2.5K Hz	3.15K Hz	4K Hz
+2	+3	+3	+3	+3	+3	+3	+3

Nota. Valores tomados de ASTM E413-22 (ASTM International, 2022). A 500 Hz el desplazamiento es 0, es la frecuencia de referencia del índice. Valores negativos indican que la norma exige menos a bajas frecuencias; valores positivos indican mayor exigencia a frecuencias altas.

Paso 4. Calcular las deficiencias en cada frecuencia:

$$Deficiencia(f) = Valor\ patrón(f) - TL\ sistema(f) \quad (si\ el\ resultado\ es\ negativo,\ se\ toma\ como\ 0)$$

Una deficiencia positiva indica que el sistema queda por debajo de lo que la curva patrón exige en esa frecuencia.

Paso 5. Verificar las dos condiciones para la validez del valor STC. Si el candidato las cumple, subir un punto y repetir. Si alguna falla, bajar un punto. El STC es el número más alto que satisface ambas condiciones simultáneamente (ASTM International, 2022).

Las dos condiciones para la validez del STC se encuentran definidas en ASTM E413 (ASTM International, 2022):

1. Ninguna deficiencia individual supera 8 dB en ninguna de las 16 frecuencias. El sistema no puede tener un punto débil pronunciado en ninguna frecuencia específica. Si en una sola frecuencia queda 8,1 dB por debajo de la curva patrón, el candidato es rechazado automáticamente.

2. La suma de todas las deficiencias de las 16 frecuencias no supera 32 dB. El sistema no puede acumular muchas deficiencias pequeñas. Aunque ninguna supere 8 dB individualmente, si la suma total supera 32 dB el candidato también es rechazado.

El STC final es el número entero más alto que satisface ambas condiciones de forma simultánea. Un STC más alto indica mayor potencial de aislamiento frente al ruido aéreo (ASTM International, 2022).

Escala de clasificación

Tabla 5. Clasificación de referencia según ASTM E413 (ASTM International, 2022):

Rango STC	Clasificación
< 35	Deficiente
35 – 44	Aceptable
45 – 55	Muy bueno
> 55	Excelente

Nota. Elaboración propia basada en ASTM E413-22 (ASTM International, 2022).

Alcance y limitaciones del análisis

La metodología adoptada permite sostener con respaldo metodológico:

Jerarquía relativa entre sistemas. El STC permite ordenar los sistemas de mayor a menor potencial de aislamiento aéreo, con una precisión de ± 3 dB según Marshall Day Acoustics (2024).

Identificación de tipologías vulnerables. La evaluación cualitativa de masa, amortiguamiento y continuidad permite identificar qué sistemas presentan el perfil más desfavorable frente al ruido de impacto de lluvia, en coherencia con la evidencia experimental de Yan et al. (2016) y Ballagh (1990).

Tendencia general del comportamiento. La combinación de STC y evaluación cualitativa permite concluir sobre el comportamiento esperado de cada tipología frente a la lluvia como tendencia, no como valor exacto.

Lo que el análisis no puede afirmar es el nivel exacto de ruido de lluvia en dBA en el interior de un espacio determinado. Ese resultado requiere el ensayo de laboratorio según ISO 10140-5:2010/Amd.1:2014, condición que, como se establece en la descripción no está disponible en el marco del presente estudio.

2.4 Referencias de Modulación Estructural

La modulación estructural de las edificaciones se establece a partir de retículas dimensionales que permiten coordinar los distintos componentes constructivos del proyecto. En este contexto, la coordinación dimensional constituye un sistema fundamental para garantizar la correcta articulación del proceso constructivo, ya que organiza el dimensionamiento de los elementos y ensamblajes del edificio, facilitando la compatibilidad entre componentes provenientes de distintos sistemas de fabricación. Sus principales objetivos son optimizar la eficiencia económica en la producción, reducir la necesidad de elementos no estandarizados y minimizar el desperdicio de material en obra (Adler, 1999).

El sistema de coordinación dimensional se fundamenta en los principios definidos por la norma ISO 2848:1984, la cual establece el módulo básico M como una unidad de referencia de 100 mm sobre la que se estructura la retícula dimensional del edificio (ISO, 1984).

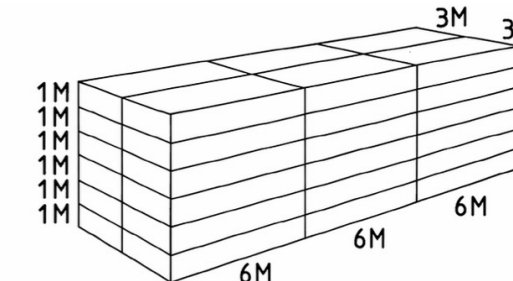
A partir de este módulo, la norma ISO 1040:1983 define los multimódulos estandarizados para la coordinación horizontal, expresados como múltiplos de M, entre ellos 3M, 6M, 12M, 30M y 60M, equivalentes a 300 mm, 600 mm, 1.200 mm, 3.000 mm y 6.000 mm respectivamente (ISO, 1983). Esta lógica se refleja también en la práctica proyectual, donde se prioriza el uso de múltiplos de 300 mm

como base para la organización dimensional de los elementos estructurales (Adler, 1999).

Sobre esta base normativa, el presente trabajo adopta tres luces de referencia para el análisis comparativo de sistemas estructurales: 3 m, 6 m y 7,5 m. Las dos primeras corresponden directamente a los multimódulos 30M y 60M definidos por la ISO 1040:1983, es decir, 3.000 mm y 6.000 mm respectivamente. Por su parte, la luz de 7,5 m, equivalente a 7.500 mm, no se encuentra explícitamente definida dentro de los multimódulos normalizados, pero constituye un múltiplo exacto de 25 incrementos de 300 mm, lo que la hace plenamente compatible con el sistema de coordinación dimensional. Su adopción se justifica además por su correspondencia con configuraciones funcionales de estacionamiento: considerando un ancho estándar de 2,4 m por plaza, tres unidades en batería generan una dimensión de 7,2 m, cuyo valor normalizado inmediatamente superior dentro del sistema modular es 7,5 m (Adler, 1999).

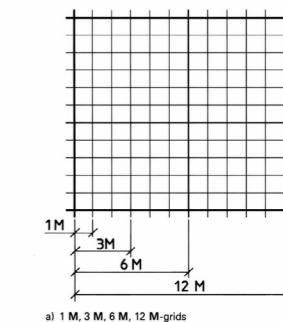
La selección de estas tres luces no responde a criterios arbitrarios ni exclusivamente tipológicos, sino a un fundamento normativo verificable. Todas ellas son múltiplos directos o compatibles con el sistema de coordinación dimensional internacionalmente reconocido, y permiten cubrir un rango representativo de escalas dentro del diseño arquitectónico.

Figura 14. Retícula espacial modular tridimensional con módulo básico M = 100 mm



Nota. Tomado de ISO 2848: Building construction — Modular coordination — Principles and rules (Figs. 1 y 2a), por International Organization for Standardization, 1984, ISO.

Figura 15. Superposición de retículas modulares horizontales: multimódulos 1M, 3M, 6M y 12M derivados del módulo básico



Nota. Tomado de ISO 2848: Building construction — Modular coordination — Principles and rules (Figs. 1 y 2a), por International Organization for Standardization, 1984, ISO.

2.5 Selección de Tipologías para el Análisis de la Investigación

A partir del análisis de las bases de datos de las Estadísticas de Edificaciones (ESED) correspondientes a los años 2024 y 2025 se identificó la distribución de los sistemas de cubierta tanto a nivel nacional como local. Los resultados evidencian que la mayor parte de las edificaciones emplean sistemas livianos, principalmente fibrocemento y láminas de zinc, los cuales representan más del 50% de los casos a nivel nacional y aproximadamente el 65%–70% en el cantón Cuenca (Instituto Nacional de Estadística y Censos [INEC], 2024, 2025).

No obstante, estos sistemas corresponden principalmente a soluciones de cerramiento no estructural y, en su mayoría, asociadas a cubiertas inclinadas, por lo que no forman parte del alcance del presente estudio. En este sentido, el análisis se centra en las tipologías que corresponden a cubiertas estructurales planas, dentro de las cuales se identifican principalmente el hormigón armado y las losas mixtas (cubiertas con placa colaborante).

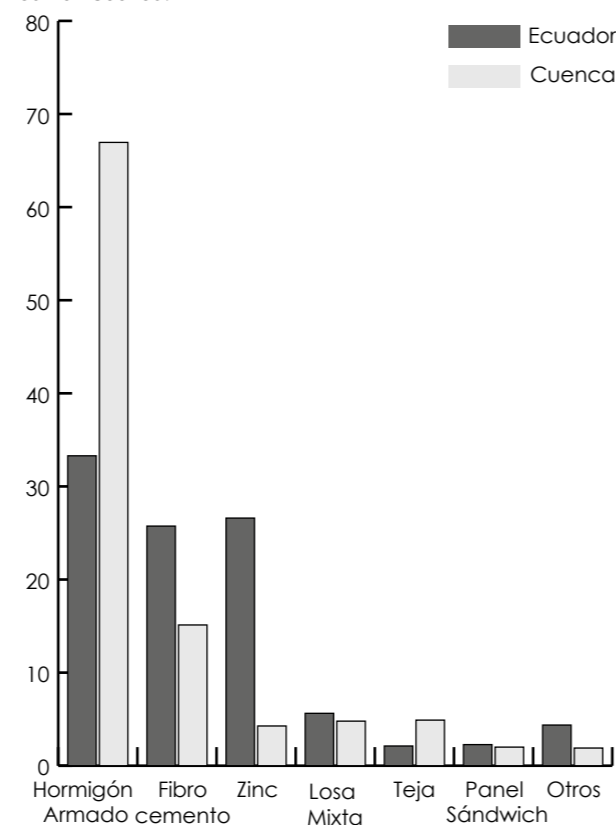
A nivel nacional, el hormigón armado representa aproximadamente el 36% del total de edificaciones en ambos años analizados, mientras que las losas mixtas representan un 5%. En el caso del cantón Cuenca, estos sistemas representan entre el 15% para el hormigón armado, y 4% para las losas mixtas (INEC, 2024, 2025).

Estos resultados, tomando en cuenta del conjunto de sistemas de cubierta, dentro de las cuales se menciona al fibrocemento, la teja, las láminas de zinc, el policarbonato, la madera, y el panel sándwich, el hormigón armado constituye la solución estructural predominante dentro de las cubiertas húmedas, mientras que las losas mixtas se presentan como una alternativa incorporada dentro de la práctica constructiva contemporánea. En este contexto, ambas tipologías representan el universo real de cubiertas estructurales comparables dentro del ámbito de edificaciones analizado.

En consecuencia, la selección de las cubiertas nervadas y las cubiertas con placa colaborante se fundamenta en su pertenencia a este grupo de sistemas estructurales, así como en su capacidad de representar dos estrategias diferenciadas de resolución estructural: la optimización del material dentro del hormigón armado y la acción compuesta entre acero y hormigón (Steel Construction Institute [SCI], 2009; ASCE, 2022).

Nota. Elaboración propia con base en las Estadísticas de Edificaciones (ESED) correspondiente a los años 2024 y 2025, Instituto Nacional de Estadística y Censos (INEC). Los valores corresponden a un promedio ponderado en función del número total de registros.

Figura 16. Distribución de los sistemas de cubierta en Ecuador y el cantón Cuenca.



2.6 Uso de Sistemas Estructurales en el Ecuador y Cuenca

A diferencia del análisis desarrollado para las cubiertas húmedas, en el caso de las cubiertas secas no se plantea una selección parcial de tipologías, sino la inclusión de la totalidad de los sistemas identificados dentro del alcance del estudio.

Esto debido que las tipologías analizadas, cubierta tipo deck, panel sándwich y sistemas basados en tableros estructurales como OSB, plywood y fibrocemento, corresponden a soluciones utilizadas para resolver cubiertas ligeras en condiciones comparables, particularmente en aplicaciones de baja pendiente y sistemas de cerramiento sobre subestructura portante.

De acuerdo con la documentación técnica disponible, estos sistemas se emplean en cubiertas como soluciones constructivas diferenciadas en función del material principal y de la forma en que se resuelve el cerramiento, incluyendo láminas metálicas perfiladas, tableros estructurales de madera y paneles prefabricados tipo sándwich utilizados en edificación

En este sentido, la inclusión de todas las tipologías permite establecer una comparación integral entre los sistemas de cubiertas secas, considerando las distintas formas en que estos resuelven el cerramiento de la cubierta dentro de un mismo contexto constructivo.

En el contexto ecuatoriano, la configuración de los sistemas estructurales presenta una marcada predominancia del hormigón armado dentro del sector de la edificación. A partir del procesamiento de las bases de datos de Estadísticas de Edificaciones (ESED) del Instituto Nacional de Estadística y Censos (INEC, 2024; 2025), se determina que aproximadamente el 84.27% de las construcciones a nivel nacional emplean este material como sistema estructural principal, mientras que las estructuras metálicas representan cerca del 10.64%. Estos valores fueron obtenidos mediante el cálculo de proporciones sobre el total de registros válidos de ambas bases de datos, aplicando un promedio ponderado en función del número de observaciones de cada año (INEC, 2024; 2025).

Sin embargo, al analizar el comportamiento a escala local, se identifican variaciones en la distribución de los sistemas estructurales. En el cantón Cuenca, el uso del hormigón armado desciende aproximadamente al 67.68%, mientras que la participación de estructuras metálicas incrementa hasta alrededor del 30.30%.

Esta diferencia entre el contexto nacional y el local permite evidenciar una tendencia hacia la incorporación de sistemas constructivos más livianos, los cuales, en muchos casos, se relacionan con el uso de cubiertas secas o ligeras. No obstante, el hormigón armado continúa siendo el sis-

tema predominante y más ampliamente utilizado.

En este sentido, y con el fin de garantizar una comparación objetiva entre las distintas soluciones de cubierta analizadas en la presente investigación, la estructura principal no representa un elemento sustancial para nuestro análisis, por lo que independientemente de si la misma es una estructura principal mixta o una de hormigón armado se pueden controlar las variables dentro del estudio, permitiendo que las diferencias observadas en el desempeño técnico, constructivo y económico correspondan exclusivamente al tipo de cubierta empleado, y no a variaciones en el sistema estructural.

La adopción de un sistema mixto se podría fundamentar en su capacidad de integrar las ventajas de ambos materiales predominantes en el contexto analizado. Por otro lado, el hormigón armado, ampliamente utilizado a nivel nacional, garantiza estabilidad, rigidez y compatibilidad con los sistemas constructivos locales; por otro, el acero, cuya presencia es más significativa a escala local.

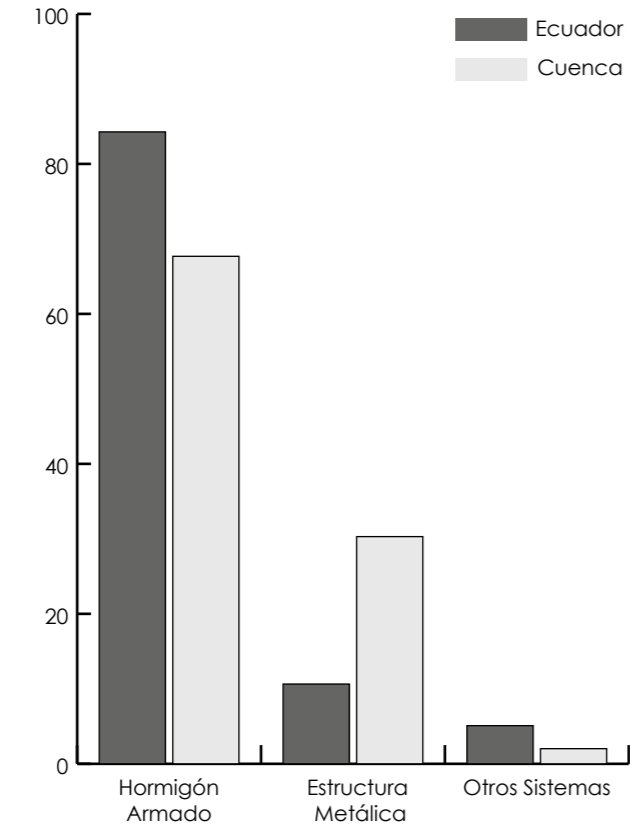
No obstante, se establece como excepción el caso de las losas nervadas, las cuales, por su propia lógica estructural y constructiva, requieren la continuidad material y monolítica del hormigón armado tanto en elementos verticales como ho-

rizontales. En estos casos, la estructura es completamente de hormigón armado, con el fin de garantizar la coherencia del sistema estructural y evitar incompatibilidades en su funcionamiento.

En consecuencia, el análisis comparativo entre cubiertas húmedas y secas se desarrolla sobre una base estructural no estrictamente definida, ya que no intervendrá en las conclusiones y la consistencia de las mismas.

Nota. Elaboración propia con base en las Estadísticas de Edificaciones (ESED) correspondiente a los años 2024 y 2025, Instituto Nacional de Estadística y Censos (INEC). Los valores corresponden a un promedio ponderado en función del número total de registros.

Figura 17. Distribución de los sistemas estructurales en Ecuador y el cantón Cuenca.





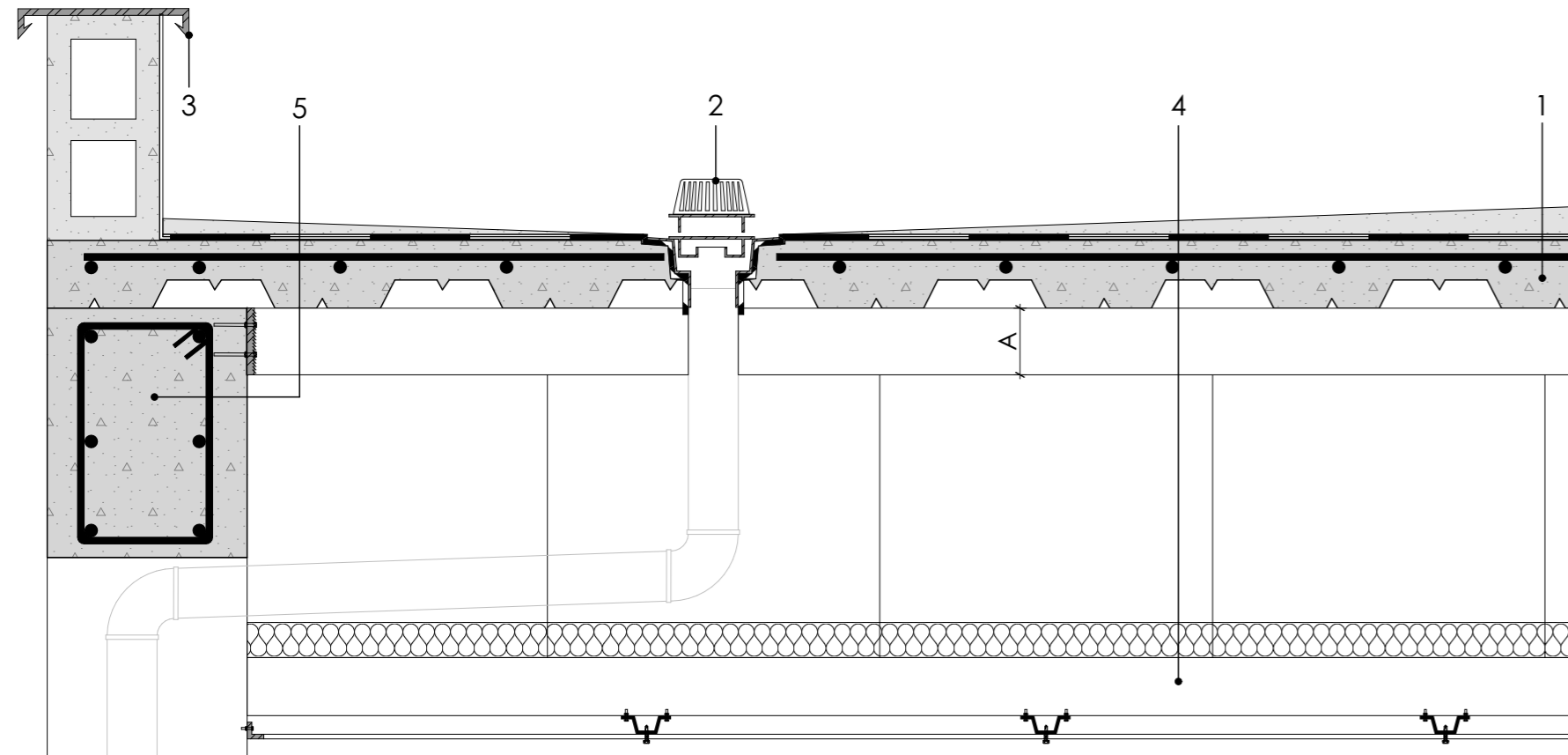
Capítulo 3

DIAGNÓSTICO DE CUBIERTAS

- 3.1 Tipologías de Cubiertas Húmedas Analizadas
- 3.2 Análisis Técnico Cubiertas Húmedas
- 3.3 Análisis Constructivo Cubiertas Húmedas
- 3.4 Análisis Económico Cubiertas Húmedas
- 3.5 Tipologías de Cubiertas Secas Analizadas
- 3.6 Análisis Técnico Cubiertas Secas
- 3.7 Análisis Constructivo Cubiertas Secas
- 3.8 Análisis Económico Cubiertas Secas
- 3.9 Comparativa de Sistemas de Cubiertas Secas
- 3.10 Análisis de Referentes

3.1 Tipologías de Cubiertas Húmedas Analizadas

Figura 18. Detalle Constructivo de Cubierta de Placa Colaborante



Nota. Elaboración propia

1. LOSA DE CUBIERTA PLACA COLABORANTE

- M:** -Hormigón armado $f_c'240 \text{ kgf/cm}^2$
 -Ref. Acero malla electrosoldada R196
 -Placa colaborante Novalosa $e=0,76 \text{ mm}$ (L= 3 m)
 $e=1,00 \text{ mm}$ (L= 6 m)
 $e=1,00 \text{ mm}$ (L= 7,5 m)
 -Viga Secundaria "A" = IPE 120 (L= 3m)
 IPE 220 (L= 6m)
 IPE 300 (L= 7,5m)

(Separación entre vigas secundarias =1,50m)

- Mortero de nivelación $p=2\%$
 -Textura impermeabilizante TECHOFIELT 1500 con armadura
 -Lámina asfáltica SUPER K 2500
 -Cazoleta sifónica 3 piezas, cazoleta, sifón y tapa rejilla
 -Goterón de acero galvanizado

- D:** $e=22,5 \text{ cm}$ (L= 3 m)
 $e=33,5 \text{ cm}$ (L= 6 m)
 $e=43,5 \text{ cm}$ (L= 7,5 m)

A: N/A

- F:** -Perno Expansivo 3/4"
 -Soldadura

2. CAZOLETA 3 PIEZAS, CAZOLETA CUPULA CANASTILLA

M: N/A

D: N/A

A: N/A

F: N/A

3. GOTERÓN

M: Acero galvanizado

D: $e=0,50 \text{ MM}$

A: N/A

F: Tornillo autoperforante

4. CIELO RASO

- M:** -Plancha fibrocemento PLYCEM 610x1219 mm $e=5 \text{ mm}$
 -Canal "U" acero galvanizado alto=10 cm
 -Perfil omega angosto acero galvanizado
 -Angular "L" cielo
 -Cámara de aire $e= 30\text{cm}$

D: 15 cm

- A:** -Empaste 2 manos (Lijado)
 -Pintura 2 manos (SikaWall para interiores)

- F:** -Tornillo MM10-075 (Uniones entre perfiles)
 -Tornillo PL7-150 (Fijación de PLYCEM a perfil omega)
 -Tornillo autoperforante con arandela
 -Alambre galvanizado para cielos rasos

5. ESTRUCTURA PRINCIPAL

- M:** -Viga de hormigón armado 25X40 cm
 -Columna de hormigón armado 25x25 cm

D: N/A

A: N/A

F: N/A

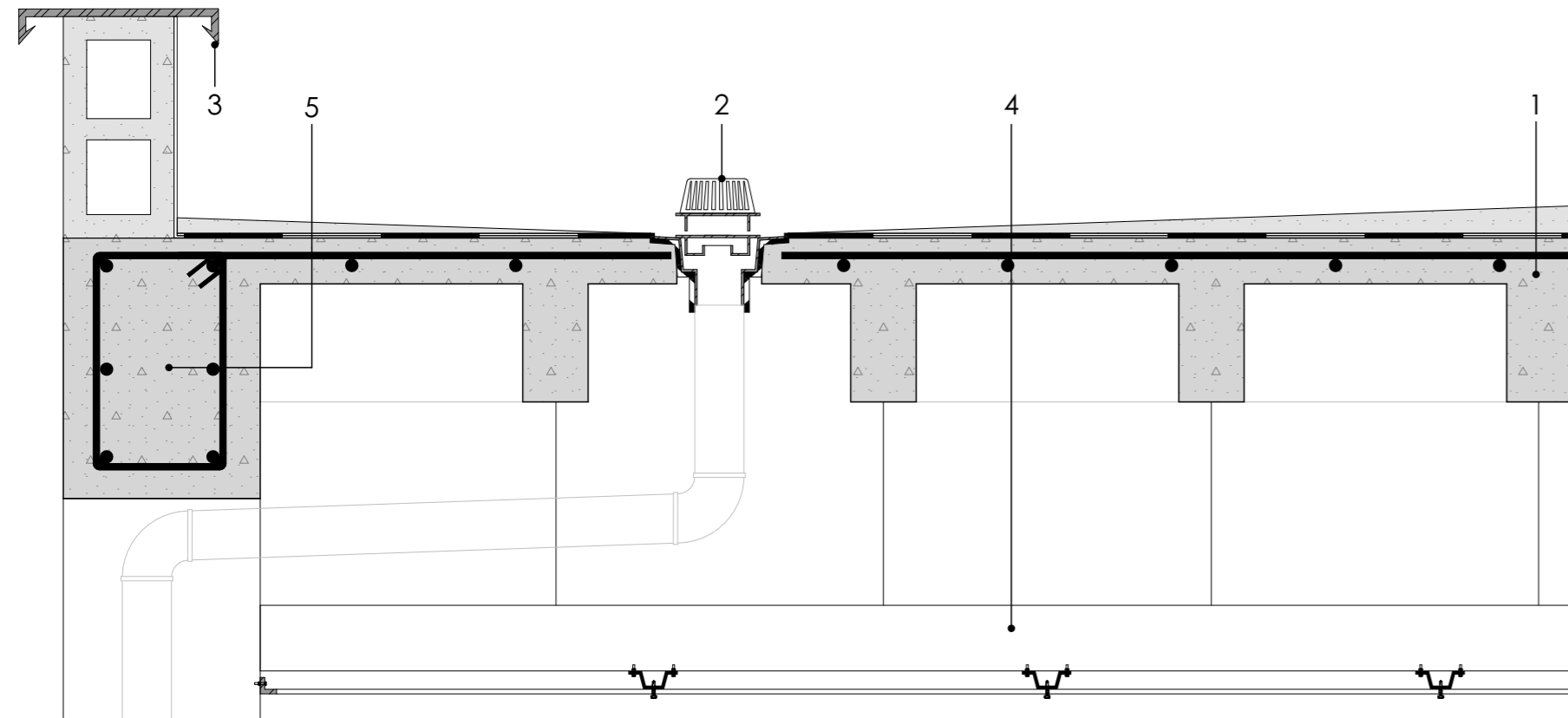
M: Material

D: Dimensión

A: Acabado

F: Fijación

Figura 19. Detalle Constructivo de Cubierta Nervada Bidireccional



Nota.

1. LOSA DE CUBIERTA NERVADA BIDIRECCIONAL

M: -Hormigón armado $f_c'240 \text{ kgf/cm}^2$

- Ref. Acero malla electrosoldada R196
- Bloque poliestileno $40 \times 40 \times 20 \text{ cm}$ (L= 3 m)
- $40 \times 40 \times 20 \text{ cm}$ (L= 6 m)
- $60 \times 60 \times 25 \text{ cm}$ (L= 7,5 m)

- Mortero de nivelación $p=2\%$
- Textura impermeabilizante TECHOFIELT 1500 con armadura
- Lámina asfáltica SUPER K 2500
- Cazoleta sifónica 3 piezas, cazoleta, sifón y tapa rejilla
- Goterón de acero galvanizado

- D:** $e=25 \text{ cm}$ (L= 3 m)
 $e=26 \text{ cm}$ (L= 6 m)
 $e=27 \text{ cm}$ (L= 7,5 m)

A: N/A

F: N/A

2. CAZOLETA 3 PIEZAS, CAZOLETA CUPULA CANASTILLA

M: N/A

D: N/A

A: N/A

F: N/A

3. GOTERÓN

M: Acero galvanizado

D: $e=0,50 \text{ MM}$

A: N/A

F: Tornillo autoperforante

4. CIELO RASO

M: -Plancha fibrocemento PLYCEM $610 \times 1219 \text{ mm}$
 $e=5 \text{ mm}$

-Canal "U" acero galvanizado alto=10 cm

-Perfil omega angosto acero galvanizado

-Angular "L" cielo

-Cámara de aire $e= 30 \text{ cm}$

D: 15 cm

A: -Empaste 2 manos (Lijado)

-Pintura 2 manos (SikaWall para interiores)

F: -Tornillo MM10-075 (Uniones entre perfiles)

-Tornillo PL7-150 (Fijación de PLYCEM a perfil omega)

- Tornillo autoperforante con arandela
- Alambre galvanizado para cielos rasos

5. ESTRUCTURA PRINCIPAL

M: -Viga de hormigón armado $25 \times 40 \text{ cm}$

-Columna de hormigón armado $25 \times 25 \text{ cm}$

D: N/A

A: N/A

F: N/A

M: Material

D: Dimensión

A: Acabado

F: Fijación

3.2 Análisis Técnico Cubiertas Húmedas

Dentro del aspecto técnico de las cubiertas húmedas, el peso propio total de los sistemas contempla al peso de las capas que lo componen más las vigas secundarias que sostienen al mismo.

La verificación de deflexiones en elementos estructurales de acero se enmarca dentro de los criterios de estado límite de servicio, establecidos en la especificación ANSI/AISC 360. En este contexto, el International Building Code (IBC) define límites de deflexión en función del uso del elemento estructural el cual establece que las vigas de cubierta que soportan cielos rasos requieren restricciones más estrictas, típicamente del orden de L/360 para carga viva y L/240 para carga total (carga muerta más carga viva), con el objetivo de prevenir daños en elementos no estructurales como cielos rasos o acabados frágiles. En contraste, elementos que no sostienen componentes sensibles pueden admitir límites menos exigentes, como L/180 para carga viva y L/120 para carga total.

Considerando la naturaleza comparativa del presente estudio y la necesidad de optimizar el procedimiento de cálculo, se adopta un criterio simplificado basado en la verificación de la deflexión bajo carga total de servicio, empleando el límite más restrictivo correspondiente a cada condición. Bajo este enfoque, las vigas secundarias que sostienen cielo raso, el sistema de cubierta y sus diferentes capas (malla electrosoldada, aislamiento termoacustico, etc) se evalúan con un límite de L/360.

El procedimiento de selección de vigas secundarias se basa en el criterio de deflexión máxima admisible. La carga distribuida W se calcula multiplicando el peso total de las capas del sistema por la separación entre vigas planteada, y con dicho valor se determina la inercia mínima requerida mediante la ecuación de deflexión máxima para viga simplemente apoyada con carga uniformemente distribuida.

Fórmulas empleadas

- Deflexión máxima admisible:

$$d_{max} = L / 360 \text{ (vigas secundarias — con cielo raso)}$$

- Carga lineal distribuida:

$$W \text{ [N/m]} = \text{Peso total [kg/m}^2\text{]} \times \text{Separación [m]} \times 9,81 \text{ [m/s}^2\text{]}$$

- Momento de inercia mínimo requerido:

$$I \text{ [cm}^4\text{]} = 5 \times W \times L^4 / (384 \times E \times d_{max}) \times 10^8$$

Donde: W en N/m · L en metros · E = 200 × 10⁹Pa · d_{max} en metros

- Conversión de peso del perfil a kg/m²:

$$\text{Peso viga secundaria [kg/m}^2\text{]} = \text{Peso perfil [kg/m]} / \text{Separación [m]}$$

Tanto las cubiertas húmedas como las cubiertas secas que sostienen a un cielo raso, corresponden a un sistema suspendido de placa de yeso

tipo drywall compuesto por placas Gyplac ST de 1/2 pulgada (12,7 mm) en formato 1,22x2,44m, con un peso propio de 6,80 kg/m² según la ficha técnica del fabricante. Las placas se fijan a una subestructura metálica galvanizada conformada por perfiles omega secundarios y viguetas principales, dispuestos con separaciones de 0,61 m y 0,81 m respectivamente.

El peso de la subestructura metálica del cielo raso se determinó a partir de la conversión del peso lineal de los perfiles galvanizados a carga superficial. Considerando viguetas cada 0,81 m y omegas cada 0,61 m, el peso de la subestructura resulta de la suma de ambos aportes, obteniéndose un valor aproximado de 1,49 kg/m² de perfilaría metálica. A este sistema se incorpora además un aislamiento termoacústico "Eterboard" de lana de vidrio con un espesor de 63,5 mm y una densidad 12 kg/m³, cuyo peso propio sería de 0,76 kg/m². Y por último la masilla en pasta Gyplac, que tiene un rendimiento de 1,2 kg/m² al tratar las juntas en la placa de yeso. Como resultado, el peso propio total del cielo raso drywall se obtiene sumando los aportes de cada componente, alcanzando un valor aproximado de 10,25 kg/m².

Cálculo del peso propio del sistema de cubierta con placa colaborante

A continuación se presenta el desglose de capas y sus pesos unitarios (kg/m²) para el sistema de cubierta con placa colaborante. Incluido una carga viva de 70 kg/m², valor referencial tomando de la Norma Ecuatoriana de la Construcción.

El sistema de cubierta de placa colaborante utiliza perfiles laminados IPE en las vigas secundarias consultados a través del catálogo de Dipac. La carga varía según la luz debido al espesor de hormigón requerido.

Las vigas secundarias contemplan a la Novalosa, losa de compresión de hormigón, malla electrosoldada, la bicapa de impermeabilización aplicada y carga viva. Adicionando un cielo raso con su perfilaría galvanizada y el aislante termoacústico.

Nota. Tabla 6-7-8. Elaboración propia con base en información técnica de Novacero (sistema Novalosa y hormigón), Disensa (malla electrosoldada), Gyplac ST (cielo raso), Dipac (Vigas Secundarias) y valores normativos de carga viva establecidos en la Norma Ecuatoriana de la Construcción.

Tabla 6. Composición de cargas por sistema de placa colaborante luz de 3 metros

Sistema	Capa	Peso (kg/m ²)
Placa colaborante Luz 3 m	Novalosa (55mm)	7,47
	Losa de Compresión de Hormigón (5 cm)	179,8
	Malla electrosoldada R-196 (10x10)	3,07
	Carga viva	70
	Cielo raso + Perfilaría Galvanizada + Aislante Termoacústico	10,25
	Imp. Super K	3,89
	Imp. TechoFieIt	1,80
Peso Propio Total sin Viga Secundaria		276,28

Tabla 7. Composición de cargas por sistema de placa colaborante luz de 6 metros

Sistema	Capa	Peso (kg/m ²)
Placa colaborante Luz 6 m	Novalosa (1,00 mm)	9,82
	Losa de Compresión de Hormigón (6 cm)	203,3
	Malla electrosoldada R-196 (10x10)	3,07
	Carga viva	70
	Cielo raso + Perfilaría Galvanizada + Aislante Termoacústico	10,25
	Imp. Super K	3,89
Imp. TechoFieIt	1,80	
Peso Propio Total sin Viga Secundaria		302,13

Tabla 8. Composición de cargas por sistema de placa colaborante luz de 7,5 metros

Sistema	Capa	Peso (kg/m ²)
Placa colaborante Luz 6 m	Novalosa (1,00 mm)	9,82
	Losa de Compresión de Hormigón (8 cm)	251,3
	Malla electrosoldada R-196 (10x10)	3,07
	Carga viva	70
	Cielo raso + Perfilera Galvanizada + Aislante Termoacústico	10,25
	Imp. Super K	3,89
	Imp. TechoFieIt	1,80
Peso Propio Total sin Viga Secundaria		350,13

Tabla 9. Selección de vigas secundarias IPE.

Luz (m)	Peso total (kg/m ²)	W (kN/m)	dmax (m)	I req (cm ⁴)	Perfil seleccionado	Peso V.S (kg/m)	Sep. (m)	Peso (kg/m ²)
3	276,28	4,06	0,00833	257,37	IPE 120	10,40	1,50	6,93
6	302,13	4,44	0,01667	2250,26	IPE 220	26,20	1,50	17,46
7,5	350,13	5,15	0,02083	5095,12	IPE 300	42,20	1,50	28,13

Nota. Elaboración propia con base en información técnica de Dipac para los perfiles estructurales.

El peso propio total del sistema de cubierta con placa colaborante aumenta progresivamente en función de la luz, debido principalmente al incremento en el espesor de la losa de compresión de hormigón requerida para cada vano. Para una luz de 3 m el peso total del sistema es de 283,31 kg/m², para 6 m asciende a 319,59 kg/m² y para 7,5 m alcanza los 378,26 kg/m², lo que representa un incremento del 37% entre la luz menor y la mayor.

El componente de mayor peso en todos los casos es la losa de compresión de hormigón, que representa aproximadamente el 64% del peso total del sistema. Los demás componentes como la Novalosa, la malla electrosoldada y el cielo raso con perfilera galvanizada se mantienen constantes o con variaciones mínimas entre luces.

Cabe destacar que el peso de las vigas secundarias también aumenta considerablemente con la luz, pasando de 6,93 kg/m² respectivamente en la luz de 3 m, a 28,13 kg/m² en la luz de 7,5 m, lo que refleja la necesidad de perfiles estructurales de mayor sección para resistir las cargas acumuladas en vanos más grandes.

Nota. Elaboración propia con base en información técnica de Dipac para los perfiles estructurales, Novacero (sistema Novalosa y hormigón), Disensa (malla electrosoldada), Gyplac ST (cielo raso), Eternit (lana de fibra de vidrio 63.5mm) y valores normativos de carga viva establecidos en la Norma Ecuatoriana de la Construcción.

Tabla 10. Peso propio total de los sistemas de cubierta con placa colaborante

Sistema	Placa Colaborante		
	Luz (m)	3	6
Viga Secundaria de acero A36 negro (kg/m ²)	6,93	17,46	28,13
Novalosa 55mm (kg/m ²)	7,47	9,82	9,82
Losa de Compresión de Hormigón (kg/m ²)	179,8	203,3	251,3
Malla electrosoldada R-196 (kg/m ²)	3,07	3,07	3,07
Cielo raso + Perfilera Galvanizada + Aislante Termoacústico (kg/m ²)	10,25	10,25	10,25
Carga Viva (kg/m ²)	70	70	70
Imp. Super K	3,89	3,89	3,89
Imp. TechoFieIt	1,80	1,80	1,80
Peso Total del Sistema (kg/m²)	283,31	319,59	378,26

Cálculo del peso propio del sistema de losa nervada bidireccional

A continuación se presenta el desglose de capas y sus pesos unitarios (kg/m²) para el sistema de cubierta con losa nervada bidireccional, ya que la relación entre la luz mayor y la luz menor es menor o igual a dos. Bajo esta condición geométrica, la losa presenta una rigidez significativa en ambas direcciones, lo que garantiza que las cargas se distribuyan de forma efectiva hacia los apoyos perimetrales.

El peso propio se determinó considerando la geometría de los casetones, el ancho de los nervios, la capa de compresión de hormigón, el refuerzo de malla electrosoldada, el cielo raso suspendido, la impermeabilización bicapa del sistema y el material de relleno utilizado entre los nervios. Se analizaron dos configuraciones de casetones en función de la luz estructural: para luces de 3 m y 6 m se emplearon casetones de 40x40x20 cm, y para la luz de 7,5 m se utilizaron casetones de 60x60x25 cm. Asimismo, se consideraron dos anchos de nervio estructural, 10 cm y 15 cm. El volumen de hormigón por metro cuadrado se calculó mediante la expresión $V = t + h(1 - (a/p)^2)$, donde (t) es el espesor de la capa de compresión, (h) es la altura del casetón, (a) es el ancho del casetón, y (p) es la distancia entre ejes de nervios (suma del ancho del casetón y el nervio). Mientras que el volumen del casetón se calculó mediante la expresión $V = (a/p)^2 + h$.

El peso propio total del sistema de cubierta con losa nervada bidireccional presenta un incremento directamente proporcional a la luz del vano, determinado principalmente por el aumento en el volumen de hormigón necesario para cubrir mayores luces. Para una luz de 3 m el peso total es de 313,61 kg/m², para 6 m asciende a 337,61 kg/m² y para 7,5 m alcanza los 405,45 kg/m², representando un incremento del casi 30% entre la luz menor y la mayor.

El componente dominante en todos los casos es el hormigón, que representa aproximadamente el 95% del peso total del sistema, con valores de 292,8, 316,8 y 384 kg/m² para las luces de 3, 6 y 7,5 m respectivamente. Este incremento se debe al mayor espesor de losa requerido para resistir los esfuerzos en vanos más largos. Por otro lado, el casetón de EPS se mantiene prácticamente constante en 2,56 kg/m² para las luces de 3 y 6 m, con un ligero aumento a 3,2 kg/m² en la luz de 7,5 m, mientras que la malla electrosoldada R-196 y el cielo raso con perfilera galvanizada permanecen invariables en 3,07 y 9,49 kg/m² respectivamente para todas las luces, al ser elementos que no dependen de la longitud del vano.

Nota. Elaboración propia con base en información técnica de Disensa (malla electrosoldada), Gyplac ST (cielo raso), y Plastex (casetones EPS).

Tabla 11. Peso propio total de los cubierta nervada bidireccional

Sistema	Losa Nervada Bidireccional		
	Luz (m)	3	6
Hormigón (Volumen · 2400) (kg/m ²)	292,8	316,8	384
Casetón EPS (Volumen · Densidad EPS) (kg/m ²)	2,56	2,56	3,2
Malla electrosoldada R-196 (kg/m ²)	3,07	3,07	3,07
Cielo raso + Perfilera Galvanizada + Aislante Termoacústico (kg/m ²)	9,49	9,49	9,49
Imp. Super K	3,89	3,89	3,89
Imp. TechoFieIt	1,80	1,80	1,80
Peso Propio Total (kg/m²)	313,61	337,61	405,45

Aislamiento Térmico Cubiertas Húmedas

El comportamiento de aislamiento térmico de las cubiertas húmedas se evalúa mediante el procedimiento de cálculo descrito en el marco teórico, cuyo objetivo es determinar la transmitancia térmica (factor U) del sistema de cubierta analizado a partir de las capas que lo componen. Posteriormente, el valor obtenido se contrasta con los límites establecidos por la normativa vigente, verificando su cumplimiento con la Norma Ecuatoriana de la Construcción (NEC). En este caso, se considera como referencia el valor máximo de transmitancia de 2,9 W/m²K, correspondiente a la ciudad de Cuenca, ubicada en la zona climática 3 (continental lluviosa).

Cálculo de Aislamiento Térmico en Cubierta con Placa Colaborante

El sistema de cubierta con placa colaborante está compuesto por las siguientes capas que inciden en el análisis térmico: hormigón armado vertido sobre la placa metálica, aislante termoacústico de lana de vidrio (63,5 mm), tablero de yeso (12,5 mm) y una cámara de aire superior a 10 cm destinada al paso de instalaciones. El coeficiente de transmitancia térmica U se obtiene mediante la fórmula $U = 1/Rt$, donde Rt es la suma de todas las resistencias térmicas de las capas, incluyendo las resistencias superficiales interior (Rsi = 0,10 m²K/W) y exterior (Rse = 0,04 m²K/W), conforme a la norma ISO 6946.

Tabla 12. Cálculo del coeficiente de transmitancia térmica U – Cubierta con Placa Colaborante – Luz 3 m

Capa	Material	e (m)	λ (W/mK)	R (m ² K/W)
Resistencia superficial exterior	—	—	—	0,0400
Hormigón armado	Hormigón	0,1050	1,630	0,0644
Aislante termoacústico	Lana de vidrio	0,0635	0,046	1,3804
Cámara de aire (> 10 cm)	Aire	> 0,10	—	0,4900
Tablero de yeso	Placa de yeso	0,0125	0,290	0,0431
Resistencia superficial interior	—	—	—	0,1000
Resistencia térmica total $Rt = \sum R = 2,1180 \text{ m}^2\text{K/W}$				2,1180
Coeficiente de transmitancia térmica $U = 1/Rt$				0,4722 W/m²K
Límite normativo NEC: U máx = 2,9 W/m ² K				CUMPLE

Nota. Elaboración propia en base a información técnica proporcionada por la Norma Ecuatoriana de la Construcción Tabla 20. Propiedades térmicas de los materiales a partir de la revisión literaria y la norma ISO 6946.

La cubierta con placa colaborante de luz 3 m, con un espesor de hormigón de 10,5 cm, tiene una resistencia térmica total de $R_t = 2,1180 \text{ m}^2\text{K/W}$ y un coeficiente de transmitancia térmica de $U = 0,4722 \text{ W/m}^2\text{K}$. Este valor es significativamente inferior al límite máximo establecido por la NEC de $2,9 \text{ W/m}^2\text{K}$, por lo que el sistema cumple ampliamente con la normativa vigente. El aislante de lana de vidrio y la cámara de aire son los elementos que mayor contribución térmica aportan al sistema.

Para la luz de 6 m, el mayor espesor de hormigón (11,5 cm frente a los 10,5 cm de la luz 3 m) incrementa ligeramente la resistencia térmica total a $R_t = 2,1241 \text{ m}^2\text{K/W}$, resultando en $U = 0,4708 \text{ W/m}^2\text{K}$. El incremento de espesor del hormigón contribuye marginalmente al aislamiento, dado que el hormigón posee una conductividad térmica relativamente alta ($\lambda = 1,63 \text{ W/mK}$). El sistema cumple con la normativa, al mantenerse por debajo del límite de $2,9 \text{ W/m}^2\text{K}$.

Tabla 13. Cálculo del coeficiente de transmitancia térmica U – Cubierta con Placa Colaborante – Luz 6 m

Capa	Material	e (m)	λ (W/mK)	R ($\text{m}^2\text{K/W}$)
Resistencia superficial exterior	—	—	—	0,0400
Hormigón armado	Hormigón	0,1150	1,630	0,0706
Aislante termoacústico	Lana de vidrio	0,0635	0,046	1,3804
Cámara de aire (> 10 cm)	Aire	> 0,10	—	0,4900
Tablero de yeso	Placa de yeso	0,0125	0,290	0,0431
Resistencia superficial interior	—	—	—	0,1000
Resistencia térmica total $R_t = \sum R = 2,1241 \text{ m}^2\text{K/W}$				2,1241
Coeficiente de transmitancia térmica $U = 1/R_t$				0,4708 W/m²K
Límite normativo NEC: $U \text{ máx} = 2,9 \text{ W/m}^2\text{K}$				CUMPLE

Nota. Elaboración propia en base a información técnica proporcionada por la Norma Ecuatoriana de la Construcción Tabla 20. Propiedades térmicas de los materiales a partir de la revisión literaria y la norma ISO 6946.

Con un espesor de hormigón de 13,5 cm para la luz de 7,5 m, la resistencia total alcanza $R_t = 2,1364 \text{ m}^2\text{K/W}$ y $U = 0,4681 \text{ W/m}^2\text{K}$. Comparando los tres escenarios de la cubierta con placa colaborante, se observa que el incremento de espesor del hormigón armado produce una ligera mejora en el aislamiento térmico. Sin embargo, la variación entre las tres luces es pequeña ($= 0,01 \text{ W/m}^2\text{K}$), lo que confirma que el aislamiento del sistema está gobernado principalmente por la lana de vidrio y la cámara de aire, y no por el espesor estructural del hormigón. Los tres escenarios cumplen holgadamente con el límite normativo.

Tabla 14. Cálculo del coeficiente de transmitancia térmica U – Cubierta con Placa Colaborante – Luz 7,5 m

Capa	Material	e (m)	λ (W/mK)	R ($\text{m}^2\text{K/W}$)
Resistencia superficial exterior	—	—	—	0,0400
Hormigón armado	Hormigón	0,1350	1,630	0,0828
Aislante termoacústico	Lana de vidrio	0,0635	0,046	1,3804
Cámara de aire (> 10 cm)	Aire	> 0,10	—	0,4900
Tablero de yeso	Placa de yeso	0,0125	0,290	0,0431
Resistencia superficial interior	—	—	—	0,1000
Resistencia térmica total $R_t = \sum R = 2,1364 \text{ m}^2\text{K/W}$				2,1364
Coeficiente de transmitancia térmica $U = 1/R_t$				0,4681 W/m²K
Límite normativo NEC: $U \text{ máx} = 2,9 \text{ W/m}^2\text{K}$				CUMPLE

Nota. Elaboración propia en base a información técnica proporcionada por la Norma Ecuatoriana de la Construcción Tabla 20. Propiedades térmicas de los materiales a partir de la revisión literaria y la norma ISO 6946.

Aislamiento Térmico Cubierta con Losa Nervada Bidireccional

En la losa nervada bidireccional, el flujo térmico no atraviesa un medio homogéneo sino dos trayectorias diferenciadas en paralelo: la zona con casetones de EPS (80% del área) y la zona correspondiente a los nervios de hormigón armado (20% del área). El coeficiente U del sistema combinado se calcula mediante la ponderación de ambas zonas según sus fracciones de área: $U_{\text{Total}} = 0,80 \times U_{80} + 0,20 \times U_{20}$, conforme al método de cálculo para elementos no homogéneos de la norma ISO 6946.

En la losa nervada de luz 3 m, la zona con casetones EPS (80%) alcanza $U_{80} = 0,1753 \text{ W/m}^2\text{K}$. La zona de nervios (20%), que sustituye el EPS por hormigón armado continuo ($\lambda = 1,63 \text{ W/mK}$), resulta en $U_{20} = 1,2100 \text{ W/m}^2\text{K}$, notablemente mayor por la alta conductividad del hormigón. $U_{\text{total}} = 0,3822 \text{ W/m}^2\text{K}$, cumple con el límite de $2,9 \text{ W/m}^2\text{K}$. No obstante, los nervios de hormigón constituyen un puente térmico severo que eleva considerablemente la transmitancia de esa zona frente a la zona aislada con EPS.

$U_{\text{total}} = 0,80 \times U_{80} + 0,20 \times U_{20}$	0,3822 W/m ² K
Límite normativo NEC: $U_{\text{máx}} = 2,9 \text{ W/m}^2\text{K}$	CUMPLE

Tabla 15. Cálculo U – Cubierta con Losa Nervada Bidireccional – Luz 3 m – Zona 80% (Casetones EPS)

Capa	Material	e (m)	λ (W/mK)	R (m ² K/W)
Resistencia superficial exterior	—	—	—	0,0400
Loseta de compresión (hormigón)	Hormigón	0,0500	1,630	0,0307
Casetones EPS	EPS	0,2000	0,040	5,0000
Cámara de aire (> 10 cm)	Aire	> 0,10	—	0,4900
Tablero de yeso	Placa de yeso	0,0125	0,290	0,0431
Resistencia superficial interior	—	—	—	0,1000
Rt (80%) = 5,7038 m²K/W				U₈₀ = 0,1753 W/m²K

Tabla 16. Cálculo U – Cubierta con Losa Nervada Bidireccional – Luz 3 m – Zona 20% (Nervios de hormigón)

Capa	Material	e (m)	λ (W/mK)	R (m ² K/W)
Resistencia superficial exterior	—	—	—	0,0400
Loseta de compresión (hormigón)	Hormigón	0,0500	1,630	0,0307
Nervios de hormigón armado	Hormigón armado	0,2000	1,630	0,1227
Cámara de aire (> 10 cm)	Aire	> 0,10	—	0,4900
Tablero de yeso	Placa de yeso	0,0125	0,290	0,0431
Resistencia superficial interior	—	—	—	0,1000
Rt (20%) = 0,8265 m²K/W				U₂₀ = 1,2100 W/m²K

Nota. Elaboración propia en base a información técnica proporcionada por la Norma Ecuatoriana de la Construcción Tabla 20. Propiedades térmicas de los materiales a partir de la revisión literaria y la norma ISO 6946.

En la luz de 6 m, el incremento en el espesor de la loseta de compresión (6 cm en la zona 80%) produce una reducción mínima de la transmitancia respecto a la luz de 3 m, obteniendo $U_{80} = 0,1751 \text{ W/m}^2\text{K}$. Los nervios de hormigón mantienen $U_{20} = 1,2100 \text{ W/m}^2\text{K}$ al compartir el mismo espesor de nervio (20 cm).

El valor combinado de $U_{\text{total}} = 0,3821 \text{ W/m}^2\text{K}$ cumple con la normativa NEC. La variación respecto a la luz de 3 m es prácticamente nula, confirmando que el espesor de la loseta de compresión tiene una incidencia marginal en el resultado global y que el comportamiento térmico del sistema está condicionado principalmente por los nervios de hormigón.

$U_{\text{total}} = 0,80 \times U_{80} + 0,20 \times U_{20}$	0,3821 W/m ² K
Límite normativo NEC: $U_{\text{máx}} = 2,9 \text{ W/m}^2\text{K}$	CUMPLE

Tabla 17. Cálculo U – Cubierta con Losa Nervada Bidireccional – Luz 6 m – Zona 80% (Casetones EPS)

Capa	Material	e (m)	λ (W/mK)	R (m ² K/W)
Resistencia superficial exterior	—	—	—	0,0400
Loseta de compresión (hormigón)	Hormigón	0,0600	1,630	0,0368
Casetones EPS	EPS	0,2000	0,040	5,0000
Cámara de aire (> 10 cm)	Aire	> 0,10	—	0,4900
Tablero de yeso	Placa de yeso	0,0125	0,290	0,0431
Resistencia superficial interior	—	—	—	0,1000
Rt (80%) = 5,7099 m²K/W				U₈₀ = 0,1751 W/m²K

Tabla 18. Cálculo U – Cubierta con Losa Nervada Bidireccional – Luz 6 m – Zona 20% (Nervios de hormigón)

Capa	Material	e (m)	λ (W/mK)	R (m ² K/W)
Resistencia superficial exterior	—	—	—	0,0400
Loseta de compresión (hormigón)	Hormigón	0,0500	1,630	0,0307
Nervios de hormigón armado	Hormigón armado	0,2000	1,630	0,1227
Cámara de aire (> 10 cm)	Aire	> 0,10	—	0,4900
Tablero de yeso	Placa de yeso	0,0125	0,290	0,0431
Resistencia superficial interior	—	—	—	0,1000
Rt (20%) = 2,2069 m²K/W				U₂₀ = 1,2100 W/m²K

Nota. Elaboración propia en base a información técnica proporcionada por la Norma Ecuatoriana de la Construcción Tabla 20. Propiedades térmicas de los materiales a partir de la revisión literaria y la norma ISO 6946.

En la luz de 7,5 m, el mayor espesor de los casetones EPS (25 cm frente a 20 cm) mejora sensiblemente el aislamiento de la zona mayoritaria, alcanzando $U_{80}=0,1436$ W/m²K, el mejor valor de los tres escenarios de losa nervada. Los nervios de 25 cm reducen ligeramente su transmitancia a $U_{20}= 1,1667$ W/m²K.

El resultado combinado $U_{total} = 0,3482$ W/m²K es el más favorable de los tres escenarios y cumple con la normativa NEC. Comparando los tres escenarios de losa nervada, todos cumplen el límite de 2,9 W/m²K gracias al peso predominante de la zona EPS (80%), aunque los nervios de hormigón representan en todos los casos el punto térmico débil del sistema. La ausencia de un aislante continuo que interrumpa dichos puentes térmicos posiciona a la losa nervada como el sistema de mayor transmitancia entre los analizados.

$U_{total} = 0,80 \times U_{80} + 0,20 \times U_{20}$	0,3482 W/m ² K
Límite normativo NEC: $U_{m\acute{a}x} = 2,9$ W/m ² K	CUMPLE

Tabla 19. Cálculo U – Cubierta con Losa Nervada Bidireccional – Luz 7,5 m – Zona 80% (Casetones EPS)

Capa	Material	e (m)	λ (W/mK)	R (m ² K/W)
Resistencia superficial exterior	—	—	—	0,0400
Loseta de compresión (hormigón)	Hormigón	0,0700	1,630	0,0429
Casetones EPS	EPS	0,2500	0,040	6,2500
Cámara de aire (> 10 cm)	Aire	> 0,10	—	0,4900
Tablero de yeso	Placa de yeso	0,0125	0,290	0,0431
Resistencia superficial interior	—	—	—	0,1000
Rt (80%) = 6,9660 m²K/W				U₈₀ = 0,1436 W/m²K

Tabla 20. Cálculo U – Cubierta con Losa Nervada Bidireccional – Luz 7,5 m – Zona 20% (Nervios de hormigón)

Capa	Material	e (m)	λ (W/mK)	R (m ² K/W)
Resistencia superficial exterior	—	—	—	0,0400
Loseta de compresión (hormigón)	Hormigón	0,0500	1,630	0,0307
Nervios de hormigón armado	Hormigón armado	0,2500	1,630	0,1534
Cámara de aire (> 10 cm)	Aire	> 0,10	—	0,4900
Tablero de yeso	Placa de yeso	0,0125	0,290	0,0431
Resistencia superficial interior	—	—	—	0,1000
Rt (20%) = 0,8572 m²K/W				U₂₀ = 1,1667 W/m²K

Nota. Elaboración propia en base a información técnica proporcionada por la Norma Ecuatoriana de la Construcción Tabla 20. Propiedades térmicas de los materiales a partir de la revisión literaria y la norma ISO 6946.

Aislamiento Acústico Cubiertas Húmedas

El análisis busca responder una pregunta concreta de diseño: ¿qué tan bien aísla cada sistema de cubierta el ruido generado por la lluvia, y en qué se diferencian entre sí las tipologías analizadas?

Como se establece en el marco teórico, el ruido de lluvia es un fenómeno de impacto estructural que no puede cuantificarse de forma absoluta sin ensayo de laboratorio según ISO 10140-5. Lo que sí es posible, y lo que este análisis realiza, es establecer una jerarquía relativa entre sistemas a partir de sus propiedades físicas objetivas, siguiendo el principio metodológico de Ballagh (1990): comparar sistemas bajo condiciones de análisis constantes produce resultados válidos y diferenciadores aunque no se disponga de instrumentación.

Para cada sistema se calcula el STC (Sound Transmission Class) mediante la Ley de Masa de Sharp (1978) y el procedimiento de ajuste de curva patrón de ASTM E413 (ASTM International, 2022). El STC es el índice que permite comparar los sistemas: un STC más alto indica mayor potencial de aislamiento frente al ruido aéreo y, por extensión, mejor comportamiento esperado frente a la lluvia. Este índice no predice niveles de ruido en dBA bajo lluvia real, esa cuantificación requiere ensayo certificado, pero sí permite

ordenar las tipologías de mayor a menor capacidad de aislamiento con respaldo metodológico.

El análisis se complementa con la evaluación cualitativa de tres propiedades físicas de cada sistema, masa superficial, amortiguamiento interno y continuidad constructiva, que explican por qué cada tipología ocupa la posición que ocupa en la jerarquía y permiten anticipar su comportamiento específico frente al ruido de impacto de lluvia, que es el mecanismo que el STC no captura directamente (ISO, 2006; Schmid et al., 2021).

El modelo de Sharp (1978) fue desarrollado y validado experimentalmente para cámaras de aire en rangos convencionales de sistemas de cielorraso. Su aplicación con cámaras de mayor espesor constituye una extrapolación del modelo: la tendencia física es correcta, mayor cámara implica f_r menor y mayor proporción del espectro en régimen de doble hoja (Sharp, 1978), pero la precisión de ± 3 dB documentada por Marshall Day Acoustics (2024) no está garantizada fuera del rango de validación experimental. En el presente análisis se aplican los espesores reales de cámara de cada sistema, determinados por los requerimientos funcionales y estructurales del proyecto. Los valores de STC resultantes representan el límite teórico superior del sistema en condiciones ideales, sin puentes acústicos.

En los sistemas analizados, la cámara de aire aloja además elementos estructurales, vigas de soporte, correas e instalaciones, que constituyen conexiones rígidas entre la hoja superior y el cielorraso. Según Sharp (1978), estas conexiones transmiten vibración directamente entre hojas, limitando en la práctica el beneficio teórico de la cavidad. El modelo no incorpora este efecto, por lo que los valores calculados representan el escenario sin puentes acústicos. La realidad construida producirá valores de STC menores que los predichos, especialmente en los sistemas donde las conexiones estructurales son más frecuentes o rígidas (Fielders, 2019).

El procedimiento de cálculo sigue las ecuaciones establecidas en el marco teórico. Para la evaluación cualitativa de cada sistema se aplican las siguientes escalas de referencia, que permiten clasificar cada propiedad con respaldo en datos documentados:

Tabla 21. Rangos de clasificación de masa para los sistemas

Clasificación masa	Rango (kg/m ²)
Muy alto	> 200
Alto	50 – 200
Medio	20 – 50
Bajo	10 – 20
Muy bajo	< 10

Nota. Elaboración propia en base a la información consultada en Sharp (1978)

Tabla 22. Rangos de clasificación de amortiguación para los sistemas

Clasificación amort.	Factor de pérdida η
Alto	> 0,015
Medio	0,004 – 0,015
Medio-bajo	0,002 – 0,004
Bajo	< 0,002

Nota. Elaboración propia en base a la información consultada en Irvine (2010): Sound Damped Steel (s.f.). El factor de pérdida del fibrocemento plano no tiene valor η publicado de forma independiente.

Aislamiento Acústico Cubierta con Placa Colaborante

Placa colaborante — módulo 3 m

M_1 comprende a las capas superiores: novalosa, la malla electrosoldada y el hormigón vertido sobre la placa metálica.

M_2 comprende a las capas inferiores: cielo raso y el aislante termoacústico de lana de vidrio.

Tabla 23. Datos de entrada y frecuencia de resonancia - Luz 3 m

m_1 (kg/m ²)	m_2 (kg/m ²)	d (m)	m_{red} (kg/m ²)	f_r (Hz) Ec.4
190,34	10,25	0,4	9,7262	43,1 Hz

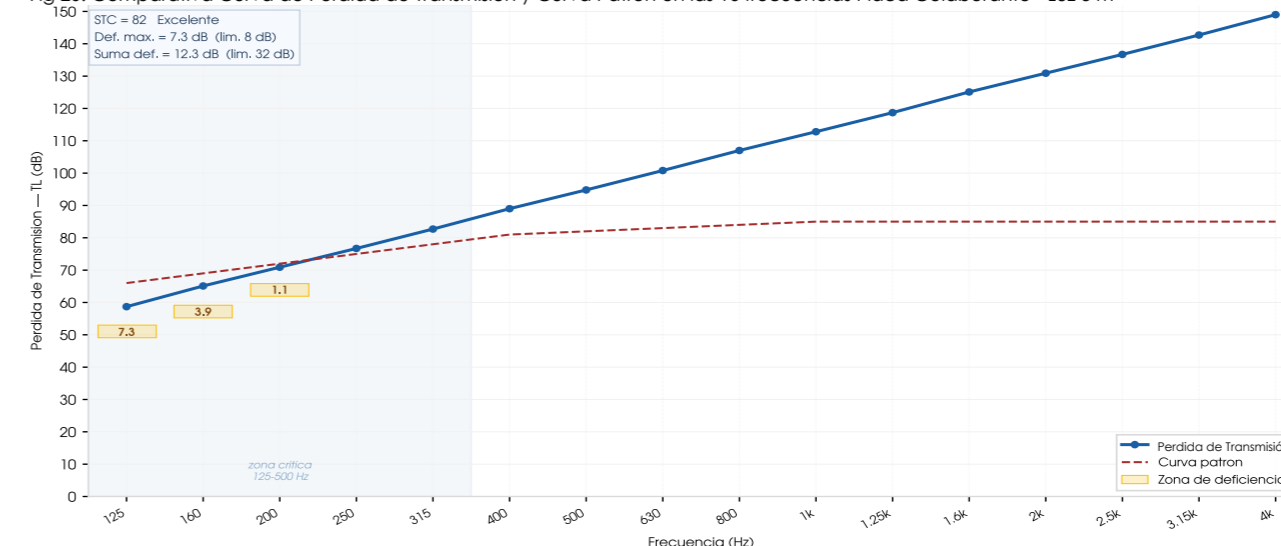
Nota. Elaboración propia en base a las capas del sistema y la ecuación 4.

Tabla 24. Pérdida de Transmisión en las 16 frecuencias (Ec. 2 y 3) - Placa Colaborante Luz 3 m

Frecuencia	Pérdida de Transmisión	Curva patrón STC=82
125 Hz	58,7 dB	66 dB ← deficiencia: 7,3 dB
160 Hz	65,1 dB	69 dB ← deficiencia: 3,9 dB
200 Hz	70,9 dB	72 dB ← deficiencia: 1,1 dB
250 Hz	76,7 dB	75 dB
315 Hz	82,7 dB	78 dB
400 Hz	89 dB	81 dB
500 Hz	94,8 dB	82 dB
630 Hz	100,8 dB	83 dB
800 Hz	107 dB	84 dB
1000 Hz	112,8 dB	85 dB
1250 Hz	118,7 dB	85 dB
1600 Hz	125,1 dB	85 dB
2000 Hz	130,9 dB	85 dB
2500 Hz	136,7 dB	85 dB
3150 Hz	142,7 dB	85 dB
4000 Hz	149 dB	85 dB

Nota. Elaboración propia a partir de Sharp (1978), ASTM E413-22 (ASTM International, 2022). Se prueba STC = 82: deficiencia máxima = 7.3 dB (límite 8 dB) | suma de deficiencias = 12.3 dB (límite 32 dB). STC = 82 - Excelente.

Fig 20. Comparativa Curva de Perdida de Transmisión y Curva Patrón en las 16 frecuencias Placa Colaborante - Luz 3 m



Nota. Elaboración propia en base a Sharp (1978), ASTM E413-22 (ASTM International, 2022).

Tabla 25. Evaluación de las tres propiedades determinantes Placa Colaborante - Luz 3 m

Propiedad	Valor / descripción	Clasificación	Implicación acústica
Masa superficial	$m_1 = 190,34 \text{ kg/m}^2$	Alto	Alta resistencia al ruido aéreo. Domina el resultado del STC
Amortiguamiento interno	$\eta = 0,004-0,008$	Medio	Disipación moderada de la energía de impacto de la lluvia
Continuidad del sistema	d = 0,4 m	Riesgo moderado	Vigas IPE y correas metálicas dentro de la cámara constituyen puentes acústicos potenciales entre cubierta y cielo raso (Fielders, 2019)

Nota. Elaboración propia en base a Sharp (1978), Irvine (2010), Fielders (2019), Klimapedia (2019)

Los valores de TL superan a la curva patrón en todas las frecuencias a partir de 250 Hz, sin ninguna deficiencia en ese rango. Las únicas zonas deficientes aparecen a 125, 160, 200 Hz, con una deficiencia máxima de 7,3 dB y una suma de 12,3 dB, ambas dentro de los límites de ASTM E413. Esto significa que el sistema falla marginalmente solo en las frecuencias más graves del espectro, que son también las más críticas para la lluvia intensa.

La separación entre la curva de pérdida de transmisión y la curva patrón crece progresivamente desde 400 Hz en adelante, lo que indica que el sistema tiene un margen creciente de seguridad en las frecuencias medias y altas. Su masa alta (190,34 kg/m²) es el factor que sostiene ese comportamiento, respaldado por el amortiguamiento moderado documentado para el hormigón ($\eta = 0,004-0,008$; Irvine, 2010). Las conexiones estructurales dentro de la cámara, vigas IPE y correas, representan el riesgo práctico más relevante: si actúan como puentes acústicos, las deficiencias reales serán mayores que las teóricas calculadas.

Placa colaborante — módulo 6 m

M_1 comprende a las capas superiores: novalosa, la malla electrosoldada y el hormigón vertido sobre la placa metálica. M_2 comprende a las capas inferiores: cielo raso y el aislante termoacústico de lana de vidrio.

Tabla 26. Datos de entrada y frecuencia de resonancia - Luz 6 m

m_1 (kg/m ²)	m_2 (kg/m ²)	d (m)	m_{red} (kg/m ²)	f_r (Hz) Ec.4
216,19	10,25	0,4	9,786	43 Hz

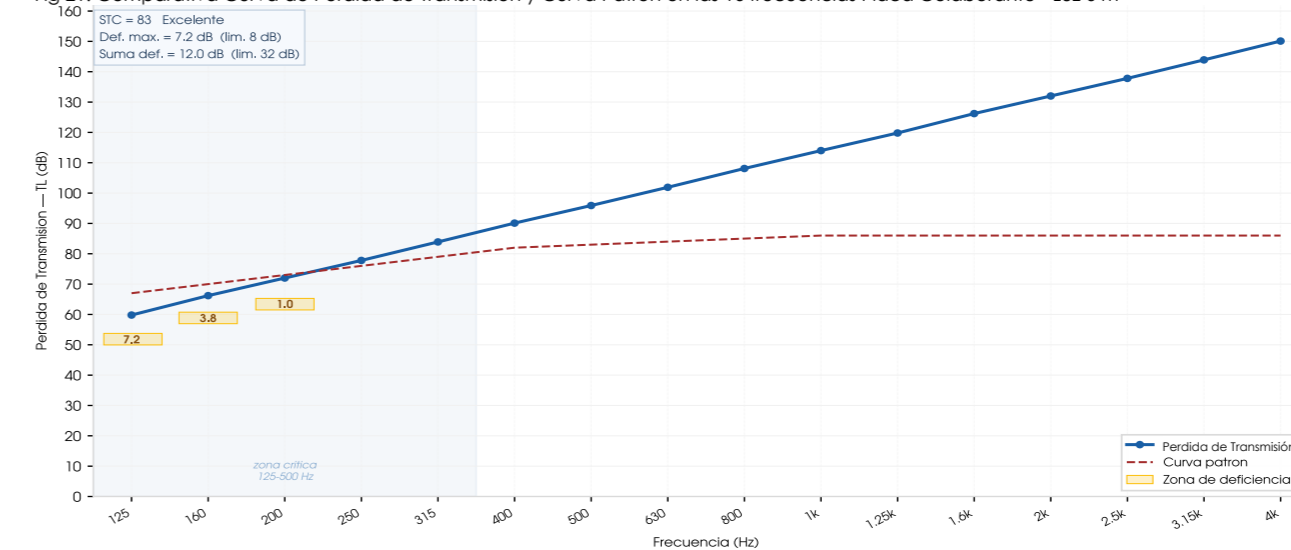
Nota. Elaboración propia en base a las capas del sistema y la ecuación 4.

Tabla 27. Pérdida de Transmisión en las 16 frecuencias (Ec. 2 y 3) - Placa Colaborante Luz 6m

Frecuencia	Pérdida de Transmisión	Curva patrón STC=82
125 Hz	59,8 dB	67 dB ← def: 7,2 dB
160 Hz	66,2 dB	70 dB ← def: 3,8 dB
200 Hz	72 dB	73 dB ← def: 1 dB
250 Hz	77,8 dB	76 dB
315 Hz	83,9 dB	79 dB
400 Hz	90,1 dB	82 dB
500 Hz	95,9 dB	83 dB
630 Hz	101,9 dB	84 dB
800 Hz	108,1 dB	85 dB
1000 Hz	114 dB	86 dB
1250 Hz	119,8 dB	86 dB
1600 Hz	126,2 dB	86 dB
2000 Hz	132 dB	86 dB
2500 Hz	137,8 dB	86 dB
3150 Hz	143,9 dB	86 dB
4000 Hz	150,1 dB	86 dB

Nota. Elaboración propia a partir de Sharp (1978), ASTM E413-22 (ASTM International, 2022). STC candidato 83: deficiencia máxima = 7,2 dB (límite: 8 dB) | suma de deficiencias = 12 dB (límite: 32 dB). STC = 83 — Excelente.

Fig 21. Comparativa Curva de Perdida de Transmisión y Curva Patrón en las 16 frecuencias Placa Colaborante - Luz 6 m



Nota. Elaboración propia en base a Sharp (1978), ASTM E413-22 (ASTM International, 2022).

Tabla 28. Evaluación de las tres propiedades determinantes Placa Colaborante - Luz 6 m

Propiedad	Valor / descripción	Clasificación	Implicación acústica
Masa superficial	$m_1 = 216,19 \text{ kg/m}^2$	Muy alto	Alta resistencia al ruido aéreo. Domina el resultado del STC
Amortiguamiento interno	$\eta = 0,004-0,008$	Medio	Disipación moderada de la energía de impacto de la lluvia
Continuidad del sistema	d = 0,4 m	Riesgo moderado	Vigas IPE y correas metálicas dentro de la cámara constituyen puentes acústicos potenciales entre cubierta y cielo raso (Fielders, 2019)

Nota. Elaboración propia en base a Sharp (1978), Irvine (2010), Fielders (2019), Klimapedia (2019)

El sistema muestra un perfil prácticamente idéntico al módulo de 3 m en la distribución de deficiencias, con zonas deficientes en 125, 160, 200 Hz. La diferencia respecto al módulo anterior es visible en la posición de la curva de pérdida de transmisión: en el módulo de 6 m la línea TL está desplazada levemente hacia arriba en todo el espectro, consecuencia del incremento de masa de 25,85 kg/m². Ese desplazamiento produce una deficiencia máxima de 7,2 dB frente a los 7,3 dB del módulo de 3 m, una mejora pequeña pero coherente con la Ley de Masa (Sharp, 1978).

El sistema obtiene STC 83, un punto más que el módulo de 3 m, lo que ilustra el rendimiento decreciente de la masa a valores ya elevados. El amortiguamiento del hormigón ($\eta = 0,004-0,008$; Irvine, 2010) y el riesgo de puentes acústicos por vigas IPE son equivalentes al módulo anterior.

Placa colaborante — módulo 7,5 m

M₁ comprende a las capas superiores: novalosa, la malla electrosoldada y el hormigón vertido sobre la placa metálica. M₂ comprende a las capas inferiores: cielo raso y el aislante termoacústico de lana de vidrio.

Tabla 29. Datos de entrada y frecuencia de resonancia - Luz 7,5 m

m ₁ (kg/m ²)	m ₂ (kg/m ²)	d (m)	m _{red} (kg/m ²)	fr (Hz) Ec.4
264,19	10,25	0,4	9,8672	42,8 Hz

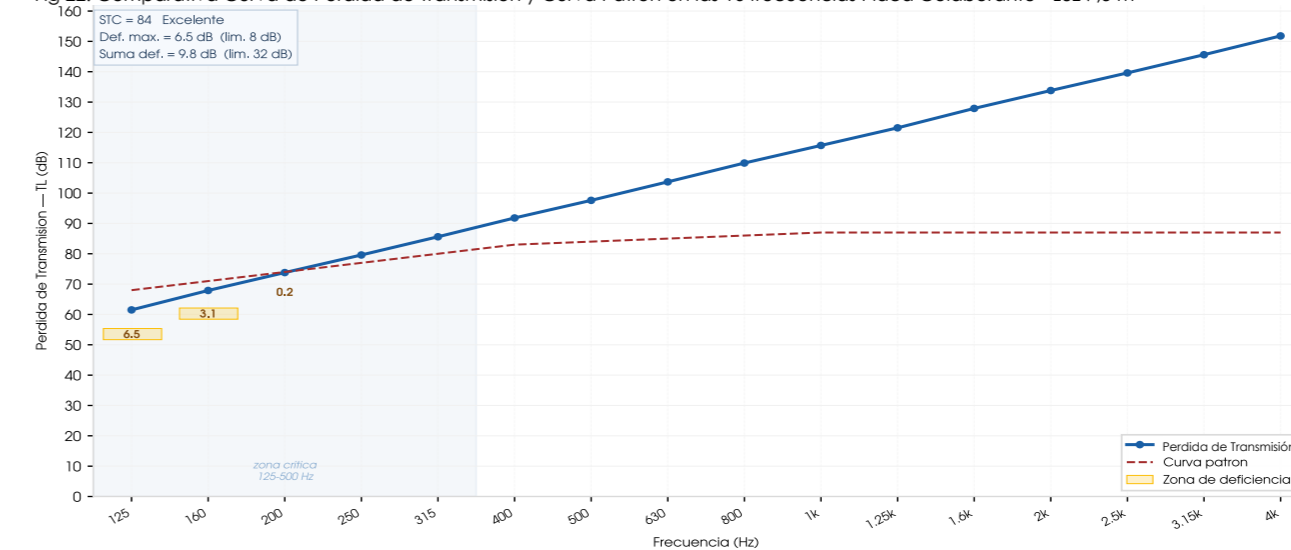
Nota. Elaboración propia en base a las capas del sistema y la ecuación 4.

Tabla 30. Pérdida de Transmisión en las 16 frecuencias (Ec. 2 y 3) - Placa Colaborante Luz 7,5 m

Frecuencia	Pérdida de Transmisión	Curva patrón STC=82
125 Hz	61,5 dB	68 dB ← def: 6,5 dB
160 Hz	67,9 dB	71 dB ← def: 3,1 dB
200 Hz	73,8 dB	74 dB ← def: 0,2 dB
250 Hz	79,6 dB	77 dB
315 Hz	85,6 dB	80 dB
400 Hz	91,8 dB	83 dB
500 Hz	97,6 dB	84 dB
630 Hz	103,7 dB	85 dB
800 Hz	109,9 dB	86 dB
1000 Hz	115,7 dB	87 dB
1250 Hz	121,5 dB	87 dB
1600 Hz	127,9 dB	87 dB
2000 Hz	133,8 dB	87 dB
2500 Hz	139,6 dB	87 dB
3150 Hz	145,6 dB	87 dB
4000 Hz	151,8 dB	87 dB

Nota. Elaboración propia a partir de Sharp (1978), ASTM E413-22 (ASTM International, 2022). STC candidato 84: deficiencia máxima = 6,5 dB (límite: 8 dB) | suma de deficiencias = 9,8 dB (límite: 32 dB). STC = 84 — Excelente.

Fig 22. Comparativa Curva de Perdida de Transmisión y Curva Patrón en las 16 frecuencias Placa Colaborante - Luz 7,5 m



Nota. Elaboración propia en base a Sharp (1978), ASTM E413-22 (ASTM International, 2022).

Tabla 31. Evaluación de las tres propiedades determinantes Placa Colaborante - Luz 7,5 m

Propiedad	Valor / descripción	Clasificación	Implicación acústica
Masa superficial	m ₁ = 264,19 kg/m ²	Muy alto	Alta resistencia al ruido aéreo. Domina el resultado del STC
Amortiguamiento interno	η = 0,004–0,008	Medio	Disipación moderada de la energía de impacto de la lluvia
Continuidad del sistema	d = 0,4 m	Riesgo moderado	Vigas IPE y correas metálicas dentro de la cámara constituyen puentes acústicos potenciales entre cubierta y cielo raso (Fielders, 2019)

Nota. Elaboración propia en base a Sharp (1978), Irvine (2010), Fielders (2019), Klimapedia (2019)

El análisis del sistema en 125, 160, 200 Hz, muestra una deficiencia máxima de 6,5 dB y una suma total de 9,8 dB, la más baja del grupo pesado. La curva de TL supera la curva patrón con mayor holgura que en los módulos anteriores en el rango 125–200 Hz, lo que refleja directamente el efecto del incremento de masa.

A partir de 250 Hz la curva de pérdida de transmisión está claramente por encima de la curva patrón sin ninguna zona de deficiencia. El sistema obtiene STC 84, el más alto del grupo de placas colaborantes y equivalente al de las losas nervadas. Cualitativamente, la masa de 264,19 kg/m² lo sitúa en la categoría alto, con el mismo amortiguamiento moderado del hormigón (η = 0,004–0,008; Irvine, 2010). Es el sistema de placa colaborante con el perfil más completo del análisis.

Losa nervada — módulo 3 m

M₁ comprende a las capas superiores: el hormigón del sistema, los casetones EPS y la malla electrosoldada.

M₂ comprende a las capas inferiores: cielo raso.

Tabla 32. Datos de entrada y frecuencia de resonancia - Luz 3 m

m ₁ (kg/m ²)	m ₂ (kg/m ²)	d (m)	m _{red} (kg/m ²)	fr (Hz) Ec.4
321,43	9,49	0,3	9,2178	51,1 Hz

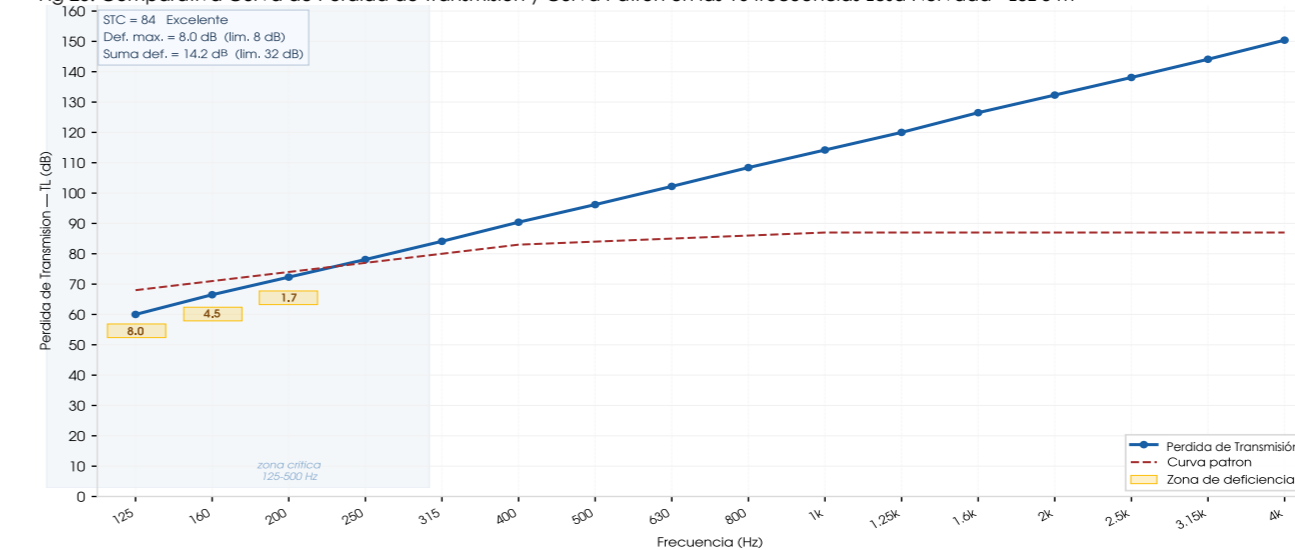
Nota. Elaboración propia en base a las capas del sistema y la ecuación 4.

Tabla 33. Pérdida de Transmisión en las 16 frecuencias (Ec. 2 y 3) - Losa Nevada Luz 3 m

Frecuencia	Pérdida de Transmisión	Curva patrón STC=82
125 Hz	60 dB	68 dB ← def: 8 dB
160 Hz	66,5 dB	71 dB ← def: 4,5 dB
200 Hz	72,3 dB	74 dB ← def: 1,7 dB
250 Hz	78,1 dB	77 dB
315 Hz	84,1 dB	80 dB
400 Hz	90,4 dB	83 dB
500 Hz	96,2 dB	84 dB
630 Hz	102,2 dB	85 dB
800 Hz	108,4 dB	86 dB
1000 Hz	114,2 dB	87 dB
1250 Hz	120 dB	87 dB
1600 Hz	126,5 dB	87 dB
2000 Hz	132,3 dB	87 dB
2500 Hz	138,1 dB	87 dB
3150 Hz	144,1 dB	87 dB
4000 Hz	150,4 dB	87 dB

Nota. Elaboración propia a partir de Sharp (1978), ASTM E413-22 (ASTM International, 2022). STC candidato 84: deficiencia máxima = 8 dB (límite: 8 dB) | suma de deficiencias = 14.2 dB (límite: 32 dB). STC = 84 — Excelente.

Fig 23. Comparativa Curva de Pérdida de Transmisión y Curva Patrón en las 16 frecuencias Losa Nevada - Luz 3 m



Nota. Elaboración propia en base a Sharp (1978), ASTM E413-22 (ASTM International, 2022).

Tabla 34. Evaluación de las tres propiedades determinantes Losa Nevada - Luz 3 m

Propiedad	Valor / descripción	Clasificación	Implicación acústica
Masa superficial	m ₁ = 321,43 kg/m ²	Muy alto	Alta resistencia al ruido aéreo. Domina el resultado del STC
Amortiguamiento interno	η = 0,004–0,008	Medio	Disipación moderada de la energía de impacto de la lluvia
Continuidad del sistema	d = 0,3 m	Riesgo moderado	Vigas IPE y correas metálicas dentro de la cámara constituyen puentes acústicos potenciales entre cubierta y cielo raso (Fielders, 2019)

Nota. Elaboración propia en base a Sharp (1978), Irvine (2010), Fielders (2019), Klimapedia (2019)

El sistema muestra deficiencias en 125, 160, 200 Hz, con una deficiencia máxima de 8 dB, marginalmente mayor que en la placa colaborante de módulo 7,5 m (6.5 dB) pese a tener mayor masa. Este comportamiento se explica porque el STC candidato es también mayor: al subir el STC, la curva patrón exige más a bajas frecuencias, y la diferencia entre lo exigido y lo ofrecido puede aumentar aunque el TL absoluto sea mayor.

La curva de pérdida de transmisión supera ampliamente la curva patrón desde 250 Hz en adelante. La masa muy alta (321,43 kg/m²) y el sistema monolítico de hormigón con cielo raso colgado, sin conexiones rígidas directas si los soportes están aislados, le dan el mejor perfil cualitativo del análisis.

Losa nervada — módulo 6 m

M₁ comprende a las capas superiores: el hormigón del sistema, los casetones EPS y la malla electrosoldada.

M₂ comprende a las capas inferiores: cielo raso.

Tabla 35. Datos de entrada y frecuencia de resonancia - Luz 3 m

m ₁ (kg/m ²)	m ₂ (kg/m ²)	d (m)	m _{red} (kg/m ²)	fr (Hz) Ec.4
366,27	9,49	0,3	9,2503	51 Hz

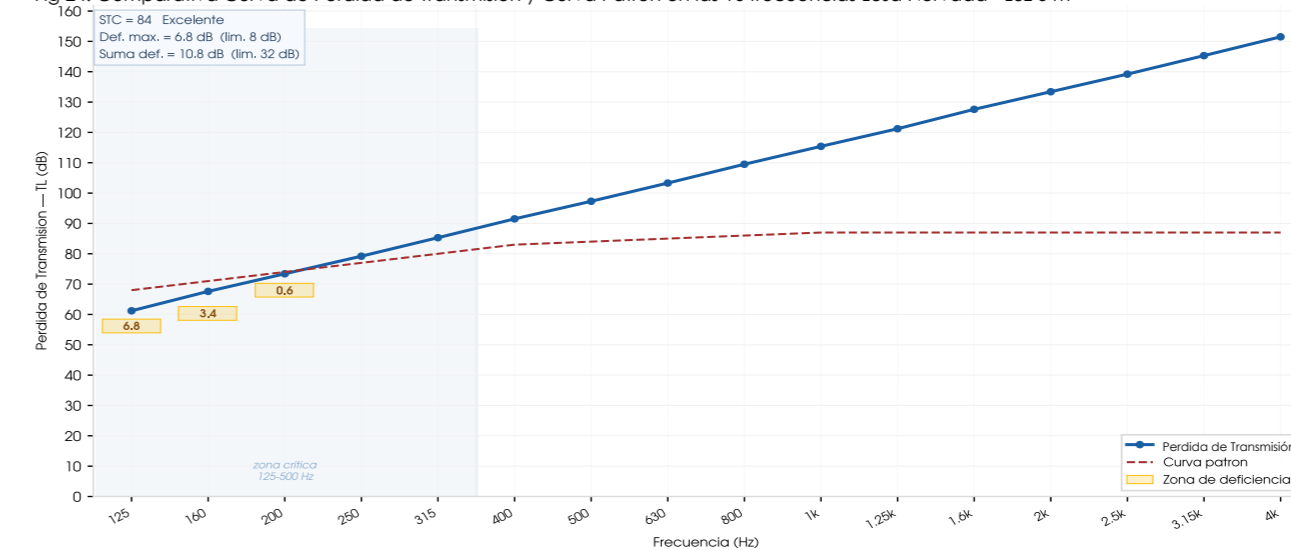
Nota. Elaboración propia en base a las capas del sistema y la ecuación 4.

Tabla 36. Pérdida de Transmisión en las 16 frecuencias (Ec. 2 y 3) - Losa Nervada Luz 6 m

Frecuencia	Pérdida de Transmisión	Curva patrón STC=82
125 Hz	61,2 dB	68 dB ← def: 6,8 dB
160 Hz	67,6 dB	71 dB ← def: 3,4 dB
200 Hz	73,4 dB	74 dB ← def: 0,6 dB
250 Hz	79,2 dB	77 dB
315 Hz	85,3 dB	80 dB
400 Hz	91,5 dB	83 dB
500 Hz	97,3 dB	84 dB
630 Hz	103,3 dB	85 dB
800 Hz	109,5 dB	86 dB
1000 Hz	115,4 dB	87 dB
1250 Hz	121,2 dB	87 dB
1600 Hz	127,6 dB	87 dB
2000 Hz	133,4 dB	87 dB
2500 Hz	139,2 dB	87 dB
3150 Hz	145,3 dB	87 dB
4000 Hz	151,5 dB	87 dB

Nota. Elaboración propia a partir de Sharp (1978), ASTM E413-22 (ASTM International, 2022). STC candidato 84: deficiencia máxima = 6,8 dB (límite: 8 dB) | suma de deficiencias = 10,8 dB (límite: 32 dB). STC = 84 — Excelente.

Fig 24. Comparativa Curva de Perdida de Transmisión y Curva Patrón en las 16 frecuencias Losa Nervada - Luz 6 m



Nota. Elaboración propia en base a Sharp (1978), ASTM E413-22 (ASTM International, 2022).

Tabla 37. Evaluación de las tres propiedades determinantes Losa Nervada - Luz 6 m

Propiedad	Valor / descripción	Clasificación	Implicación acústica
Masa superficial	m ₁ = 366,27 kg/m ²	Muy alto	Alta resistencia al ruido aéreo. Domina el resultado del STC
Amortiguamiento interno	η = 0,004–0,008	Medio	Disipación moderada de la energía de impacto de la lluvia
Continuidad del sistema	d = 0,3 m	Riesgo moderado	Vigas IPE y correas metálicas dentro de la cámara constituyen puentes acústicos potenciales entre cubierta y cielo raso (Fielders, 2019)

Nota. Elaboración propia en base a Sharp (1978), Irvine (2010), Fielders (2019), Klimapedia (2019)

El sistema es prácticamente idéntico en distribución de deficiencias a la losa de módulo 3 m, con zonas deficientes en 125, 160, 200 Hz. La diferencia visible es que la deficiencia máxima baja a 6,8 dB frente a 8 dB del módulo de 3 m, reflejo del incremento de masa de 44,84 kg/m². Sin embargo ambos sistemas obtienen STC 84: el aumento de masa mejora el comportamiento en las frecuencias problemáticas pero no es suficiente para subir un punto de STC.

La separación entre la curva de pérdida de transmisión y la curva patrón entre frecuencias medias y altas es amplia y estable, lo que confirma que el límite del sistema no está en esas frecuencias sino exclusivamente en las graves. Cualitativamente, el perfil es idéntico al módulo de 3 m.

Losa nervada — módulo 7,5 m

M₁ comprende a las capas superiores: el hormigón del sistema, los casetones EPS y la malla electrosoldada.

M₂ comprende a las capas inferiores: cielo raso.

Tabla 38. Datos de entrada y frecuencia de resonancia - Luz 3 m

m ₁ (kg/m ²)	m ₂ (kg/m ²)	d (m)	m _{red} (kg/m ²)	fr (Hz) Ec.4
390,27	9,49	0,3	9,2647	55,9 Hz

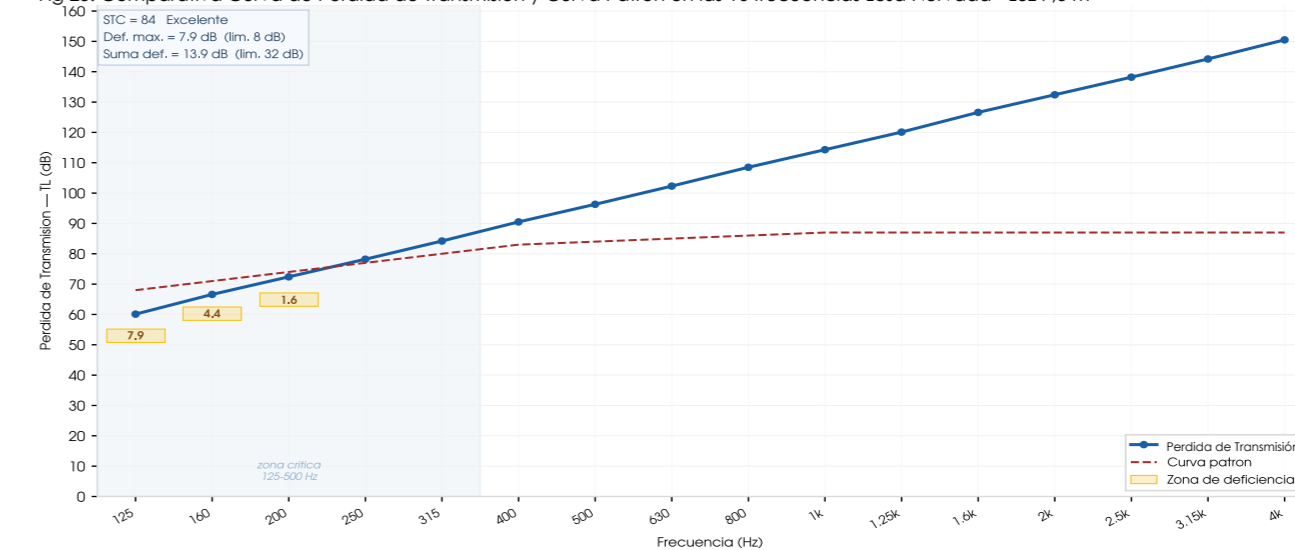
Nota. Elaboración propia en base a las capas del sistema y la ecuación 4.

Tabla 39. Pérdida de Transmisión en las 16 frecuencias (Ec. 2 y 3) - Losa Nervada Luz 7,5 m

Frecuencia	Pérdida de Transmisión	Curva patrón STC=82
125 Hz	60,1 dB	68 dB ← def: 7,9 dB
160 Hz	66,6 dB	71 dB ← def: 4,4 dB
200 Hz	72,4 dB	74 dB ← def: 1,6 dB
250 Hz	78,2 dB	77 dB
315 Hz	84,2 dB	80 dB
400 Hz	90,5 dB	83 dB
500 Hz	96,3 dB	84 dB
630 Hz	102,3 dB	85 dB
800 Hz	108,5 dB	86 dB
1000 Hz	114,3 dB	87 dB
1250 Hz	120,1 dB	87 dB
1600 Hz	126,6 dB	87 dB
2000 Hz	132,4 dB	87 dB
2500 Hz	138,2 dB	87 dB
3150 Hz	144,2 dB	87 dB
4000 Hz	150,5 dB	87 dB

Nota. Elaboración propia a partir de Sharp (1978), ASTM E413-22 (ASTM International, 2022). STC candidato 84: deficiencia máxima = 7,9 dB (límite: 8 dB) | suma de deficiencias = 13,9 dB (límite: 32 dB). STC = 84 — Excelente.

Fig 25. Comparativa Curva de Pérdida de Transmisión y Curva Patrón en las 16 frecuencias Losa Nervada - Luz 7,5 m



Nota. Elaboración propia en base a Sharp (1978), ASTM E413-22 (ASTM International, 2022).

Tabla 40. Evaluación de las tres propiedades determinantes Losa Nervada - Luz 7,5 m

Propiedad	Valor / descripción	Clasificación	Implicación acústica
Masa superficial	m ₁ = 390,27 kg/m ²	Muy alto	Alta resistencia al ruido aéreo. Domina el resultado del STC
Amortiguamiento interno	η = 0,004–0,008	Medio	Disipación moderada de la energía de impacto de la lluvia
Continuidad del sistema	d = 0,3 m	Riesgo moderado	Vigas IPE y correas metálicas dentro de la cámara constituyen puentes acústicos potenciales entre cubierta y cielo raso (Fielders, 2019)

Nota. Elaboración propia en base a Sharp (1978), Irvine (2010), Fielders (2019), Klimapedia (2019)

El sistema muestra el TL más alto del análisis en términos absolutos, con valores que alcanzan los 150,5 dB a 4000 Hz. Las deficiencias se limitan a 125, 160, 200 Hz con una deficiencia máxima de 7,9 dB. A partir de 250 Hz la curva TL supera la curva patrón sin ninguna zona problemática.

El sistema obtiene STC 84, igual que los demás módulos de losa nervada, lo que confirma que en este rango de masas el modelo ha alcanzado el límite práctico de mejora por masa: los 68,84 kg/m² adicionales respecto al módulo de 3 m no producen un STC mayor. Es el sistema con mayor masa del análisis (390,27 kg/m², categoría muy alta) y el amortiguamiento propio del hormigón lo sitúa favorablemente frente al ruido de impacto.

3.3 Análisis Constructivo Cubiertas Húmedas

En el ámbito constructivo, las cubiertas húmedas requieren de encofrados complejos, apuntalamientos y tiempos de curado prolongados, acciones que pueden retrasar una construcción frente a sistemas ligeros o livianos. De igual manera un estudio local demuestra que este sistema tradicional de hormigón armado suele presentar mayores tiempos de construcción que con sistemas en seco como los de las cubiertas secas según Vallejos (2021).

Dentro del aspecto constructivo, consideramos clave el analizar dos puntos importantes, tales como el de las patologías constructivas más comunes que sufre el hormigón, mismas que causan daños al material, ya sea estético o estructurales. Si bien parte del estudio surge del uso de cubiertas nuevas, consideramos relevante mencionar los problemas que pueden traer a futuro las cubiertas húmedas si no se les da el cuidado debido.

El análisis constructivo también contempla un análisis de los tiempos de construcción que ocupan los distintos sistemas de cubiertas analizadas.

Patologías constructivas

1. La carbonatación, que es una reacción química entre el dióxido de carbono, el aire y la humedad del hormigón, que transforma al hidróxido de calcio en carbonato de

calcio disminuyendo la alcalinidad, este proceso reduce el pH del hormigón, y elimina la protección alcalina del acero de refuerzo favoreciendo la corrosión del mismo. Esto ocurre más rápido en ambientes templados con una humedad intermedia, y aunque superficialmente puede endurecer el material, el avance interno es un conflicto para la durabilidad estructural. Montero (2016)

2. Las fisuras por contracción plástica ocurren antes del fraguado final del hormigón, aparecen cuando la evaporación del agua superficial es más rápida que la exudación (un exceso de exudación puede crear una capa superficial porosa y débil, que reduce la resistencia y durabilidad del hormigón), y si bien no representan un peligro estructural inmediato, sí afectan a la estética y pueden favorecer la aparición de futuros deterioros menores con el paso del tiempo. Montero (2016)
3. Las eflorescencias, que son de origen químico y estético, se producen por sales solubles (sulfatos, carbonatos, cloruros, etc) que migran con el agua hacia la superficie del concreto y cristalizan al evaporarse. Esto causa manchas blancas, que si bien no afectan la resistencia estructural,

indican problemas de impermeabilización o humedad interna, pudiendo generar deterioro visual y poner en evidencia la necesidad de mantenimiento y control del sistema. Montero (2016)

4. La corrosión del acero, que es un proceso en el que el acero de refuerzo se oxida por acción del agua, el oxígeno y agentes agresivos como el CO₂ o cloruros, el óxido que se forma ocupa un gran volumen y genera una presión interna que fisura el recubrimiento, provocando una pérdida de adherencia entre el acero y el hormigón, esta patología disminuye la capacidad mecánica del elemento. Montero (2016)

Fig. 26. Viga Empotrada en muro de hormigón presenta carbonatación



Nota. Tomado de HUMESEC (2022)

Fig. 27. Eflorescencia en el hormigón



Nota. Tomado de HCM Hormigones (2018)

Fig.28. Losa con fisura por contracción plástica



Nota. Tomado de 360 en Concreto (s.f)

Fig.29. Corrosión en la estructura



Nota. Tomado de Desarrollos ESC (2023)

Análisis de tiempos de construcción de cubiertas húmedas

El análisis de tiempos de construcción, aplicable tanto a sistemas de cubiertas húmedas y secas, adoptó una metodología análoga a la empleada en la evaluación económica. A partir de los mismos rubros referenciales, se seleccionaron tres registros actuales de rendimiento provenientes de las bases de datos de la Cámara de la Industria de la Construcción (CAMICON) y del Sistema Oficial de Contratación Pública (SERCOP), con los cuales se estableció un valor promedio representativo para cada rubro definido.

Posteriormente, para cada rubro elaborado, se identificó el rendimiento de mano de obra más representativo en función del recurso predominante dentro de la actividad, adoptando dicho valor como referencia para el cálculo (ver Tabla 40).

Una vez definidos los rendimientos individuales, se procede a la sumatoria de los tiempos correspondientes a cada uno de los rubros que componen el sistema de cubierta, obteniendo así un tiempo total expresado en horas por la unidad que corresponda al desglose de APUS consultados.

Este valor fue posteriormente convertido a días mediante su relación con la jornada laboral estándar, estableciendo el

rendimiento en días por metro cuadrado.

Ejemplo:
8 (horas) = 1 (Día)
1,2 (horas) = ? (Día)
(1,2 x 1) / 8 = 0,15 Días

Finalmente, el tiempo total de ejecución de cada sistema se determinó multiplicando este rendimiento por las áreas de análisis consideradas 9m², 36m² y 56,25m², permitiendo así establecer una base homogénea para la comparación de los tiempos de construcción entre sistemas de cubierta húmeda

Tabla 41. Ejemplo de rendimiento en mano de obra para un sistema constructivo

MANO DE OBRA					
DESCRIPCIÓN	CANTIDAD A	JORNAL/HORA B	COSTO HORA C = A * B	RENDIMIENTO R	COSTO D = C * R
Peón (EOE2)	2,00	4,23	8,46	0,500	4,23
Albañil (EOD2)	1,00	4,28	4,28	0,500	2,14
Maestro mayor (EOC2)	1,00	4,75	4,75	0,100	0,48
SUBTOTAL (N)					6,85

Nota. Elaboración propia en base a los APUS consultados en la CAMICON y SERCOP.

y seca. Además se le deberá considerar el tiempo de fraguado del hormigón de 28 días hasta que el material alcance su máxima resistencia y el sistema de cubierta se encuentre totalmente listo.

Ejemplo:
0,15 x 9 = 1,35 + 28 = 29,35 Días
0,15 x 36 = 5,4 + 28 = 33,40 Días
0,15 x 56,25 = 8,43 + 28 = 36,43 Días

Es de esta manera que la tabla 41 y 42 reflejan la cantidad de días que tomaría elaborar los sistemas de 3x3, 6x6, y 7,5x7,5 de las tipologías de cubiertas nervadas y cubiertas de placa

Análisis de Tiempos de Cubierta con Placa Colaborante

Este sistema comprende siete APUS. El APU de mayor peso en tiempo de mano de obra es el hormigón premezclado con 0,50 h/m², seguido por el cielo raso e impermeabilización con 0,50 h/m² y 0,45 h/m² respectivamente. La instalación de la placa colaborante es el rubro más veloz del sistema con 0,25 h/m², reflejando su naturaleza industrializada y de ensamblaje directo.

El sistema introduce un factor determinante ausente en los sistemas secos: el tiempo de fraguado del hormigón, de 28 días calendario. Este período de espera obligatoria no demanda mano de obra pero paraliza la ejecución de las capas superiores (impermeabilización, mortero de pendiente y cielo raso), razón por la cual debe contabilizarse en el plazo total de la obra. El fraguado representa entre el 62% y el 91% del plazo total según el módulo, siendo su incidencia más crítica en el módulo pequeño (9 m²), donde el tiempo de espera casi cuadruplica el tiempo efectivo de trabajo.

Nota. Elaboración propia en base a los APUS actualizados de la CAMICON y SERCOP. Revisar Anexo 1-2-3-4-5-6-15 para consultar el APU completo. El tiempo de fraguado del hormigón (28 días calendario) es un período de espera que no demanda mano de obra, pero es obligatorio antes de aplicar capas superiores. Se incluye en el total de días del sistema

Tabla 42. Tiempos de construcción cubierta con placa colaborante

LOSA PLACA COLABORANTE									
RUBRO		1 m ² (referencia)		3x3 m = 9 m		6x6 m = 36 m ²		7,5x7,5 m = 56,25 m	
Nº	Descripción del APU	Horas	Días	Horas	Días	Horas	Días	Horas	Días
	m ²	h/m ²	días/m ²	h	días	h	días	h	días
1	Sum. Instalación Placa Colaborante e=65	0,25	0,03	2,25	0,28	9,00	1,13	14,06	1,76
2	Hormigón Premezclado f'c=240 kg/cm ² (incl. encofrado, aditivo, bomba y mixer)	0,50	0,06	4,50	0,56	18,00	2,25	28,13	3,52
3	Malla Electrosoldada R-196	0,30	0,04	2,70	0,34	10,80	1,35	16,88	2,11
4	Cielo Raso Gypsum e=1/2" (incl. estructura, empaste y pintura)	0,50	0,06	4,50	0,56	18,00	2,25	28,13	3,52
5	Impermeabilización de Cubierta	0,45	0,06	4,05	0,51	16,20	2,03	25,31	3,16
6	Mortero de Cubierta con Pendiente	0,40	0,05	3,60	0,45	14,40	1,80	22,50	2,81
15	Provisión e Instalación de Estructura Metálica	0,05	0,01	0,45	0,06	1,80	0,23	2,81	0,35
—	Tiempo de Fraguado del Hormigón (28 días)	—	28,00	—	28,00	—	28,00	—	28,00
TOTAL	TIEMPO TOTAL DEL SISTEMA	2,45	28,31	22,05	30,76	88,20	39,03	137,81	45,23

Análisis de Tiempos de Cubierta con Losa Nervada Bidireccional

La losa nervada es el sistema con el mayor tiempo de mano de obra de todos los evaluados: 2,71 h/m², producto de seis APUs íntegramente ejecutados in situ. La losa alivianada en dos direcciones e=25 cm concentra el mayor rendimiento unitario con 0,56 h/m², el más alto de cualquier elemento estructural analizado, consecuencia directa del armado, vaciado y desencofrado en sitio sin apoyo de elementos prefabricados. Al igual que en la placa colaborante, el vaciado de hormigón obliga a respetar un período de fraguado de 28 días antes de continuar con los trabajos superiores.

Comparada con la placa colaborante, la losa nervada demanda un 12,9% más de horas de trabajo en el módulo de 56,25 m² (152,44 h vs. 135,00 h), pero al incorporar el fraguado, idéntico para ambas, la diferencia en el plazo total se reduce proporcionalmente: 47,05 días vs. 44,88 días, apenas 2,17 días adicionales. Esto revela que en los sistemas húmedos el fraguado domina el calendario de obra y minimiza el impacto relativo de la diferencia entre la placa y la losa nervada.

Nota. Elaboración propia en base a los APUS actualizados de la CAMICON y SERCOP. Revisar Anexo 3-4-5-6-7-8 para consultar el APU completo. El tiempo de fraguado del hormigón (28 días calendario) es un período de espera que no demanda mano de obra, pero es obligatorio antes de aplicar capas superiores. Se incluye en el total de días del sistema.

Tabla 43. Tiempos de construcción cubierta con losa nervada bidireccional.

LOSA NERVADA BIDIRECCIONAL									
RUBRO		1 m ² (referencia)		3×3 m = 9 m		6×6 m = 36 m ²		7,5×7,5 m = 56,25 m	
Nº	Descripción del APU	Horas	Días	Horas	Días	Horas	Días	Horas	Días
	m ²	h/m ²	días/m ²	h	días	h	días	h	días
7	Losa Alivianada 2 direcciones e=25 cm (incl. H.S, alivianamientos y encofrado)	0,56	0,07	5,04	0,63	20,16	2,52	31,50	3,94
8	Hormigón Simple sobre Vigas (incl. encofrado)	0,50	0,06	4,50	0,56	18,00	2,25	28,13	3,52
3	Malla Electrosoldada R-196	0,30	0,04	2,70	0,34	10,80	1,35	16,88	2,11
4	Cielo Raso Gypsum e=1/2" (incl. estructura, empaste y pintura)	0,50	0,06	4,50	0,56	18,00	2,25	28,13	3,52
5	Impermeabilización de Cubierta	0,45	0,06	4,05	0,51	16,20	2,03	25,31	3,16
6	Mortero de Cubierta con Pendiente	0,40	0,05	3,60	0,45	14,40	1,80	22,50	2,81
—	Tiempo de Fraguado del Hormigón (28 días)	—	28,00	—	28,00	—	28,00	—	28,00
TOTAL	TIEMPO TOTAL DEL SISTEMA	2,71	28,34	24,39	31,05	97,56	40,20	152,44	47,05

3.4 Análisis Económico Cubiertas Húmedas

En el ámbito económico, las cubiertas de hormigón representan un componente relevante dentro del presupuesto total de una edificación, debido a la naturaleza de sus procesos constructivos y a los recursos que demandan. Estos sistemas implican el uso de encofrados, apuntalamientos y tiempos de curado que, en conjunto, inciden directamente en los costos de mano de obra, equipos y duración de la obra. Como resultado, el costo directo por metro cuadrado no solo está condicionado por el volumen de material empleado, sino también por la secuencia constructiva requerida para su ejecución.

Con el objetivo de optimizar estos aspectos, han surgido variantes como la losa con placa colaborante y los sistemas aligerados mediante casetones, los cuales buscan reducir el peso propio de la cubierta y disminuir los tiempos de ejecución. Sin embargo, a pesar de estas mejoras, todos los sistemas basados en hormigón enfrentan una condición común: la necesidad de alcanzar un equilibrio adecuado entre capacidad resistente, eficiencia constructiva y viabilidad económica. Este balance resulta determinante al momento de seleccionar el sistema más conveniente según las condiciones específicas de cada proyecto.

Según De La Cruz (2024) en contextos donde se prioriza la reducción de costos y la adaptabilidad durante el proceso constructivo, el hormigón

mezclado en obra constituye una alternativa viable. Esta opción permite ajustar la dosificación de acuerdo con las necesidades reales del proyecto, así como reducir la dependencia de proveedores externos y del transporte de material premezclado. No obstante, esta flexibilidad puede implicar variaciones en la calidad final del hormigón, dependiendo del control que se tenga sobre su preparación y colocación.

Por otro lado, cuando el enfoque se orienta hacia la obtención de una calidad uniforme, mayor control en las propiedades del material y optimización de los tiempos de ejecución, el uso de hormigón premezclado resulta más adecuado. Al ser producido bajo condiciones controladas y suministrado listo para su colocación, este tipo de hormigón permite reducir desperdicios, minimizar errores en la dosificación y mejorar la eficiencia general del proceso constructivo (De La Cruz, 2024).

En el desarrollo del presente análisis, se ha decidido excluir los costos indirectos, debido a que estos presentan una alta variabilidad en función de factores externos al sistema de cubierta. Entre estos factores se incluyen la duración total del proyecto, la gestión administrativa, la logística de obra, las condiciones de acceso, la ubicación geográfica, la escala de intervención y la presencia de imprevistos. La incorporación de estos costos podría introducir

distorsiones en la comparación entre sistemas, al no depender directamente de las características técnicas o constructivas de la cubierta, sino de condiciones particulares de cada obra.

En consecuencia, el estudio se centra exclusivamente en el análisis de costos directos, permitiendo una comparación más objetiva entre las alternativas evaluadas. La elaboración de los rubros considerados se basa en la recopilación de información actualizada correspondiente al período comprendido entre octubre de 2025 y abril de 2026, obtenida a partir de bases de datos de la Cámara de la Industria de la Construcción (CAMICON) y del Sistema Oficial de Contratación Pública (SERCOP). Estas fuentes proporcionan valores representativos del contexto local, lo que garantiza una mayor pertinencia en los resultados obtenidos.

A partir de esta información, se definieron valores unitarios para cada rubro involucrado en la construcción de los distintos sistemas de cubierta. Posteriormente, se realizó la descomposición de cada sistema en sus componentes constructivos, asignando a cada uno su respectivo costo unitario. La sumatoria de estos valores permitió determinar el costo directo total por metro cuadrado, estableciendo así una base cuantitativa sólida para la comparación económica entre las diferentes tipologías analizadas.

Análisis Económico Cubierta con Placa Colaborante

El costo directo de este sistema es de \$84,45/m², distribuido en siete rubros. El elemento de mayor peso económico es con diferencia el hormigón premezclado f'c=240 kg/cm² con \$142,50/m³, se los transforma a m² tomando un valor de \$14,96/m², representando el 19,4% del costo total del sistema. Este valor concentra en un solo rubro el costo del hormigón, encofrado, aditivo, bomba y mixer, lo que explica su magnitud. A gran distancia le sigue el cielo raso de gypsum con aislante termoacústico (\$19,93/m²), la placa colaborante propiamente dicha (\$15,72/m²), la malla electrosoldada R-196 (\$9,43/m²), la impermeabilización bicapa (\$15,22/m²) y el mortero de cubierta con pendiente (\$5,64/m²).

Un dato relevante es que la placa colaborante representa el 20,5% del costo total, mientras que el proceso húmedo del hormigón que la acompaña absorbe casi el triple de esa proporción. Esto evidencia que el costo de este sistema no reside en el elemento de cubierta sino en la estructura de hormigón que lo soporta, haciendo que su elección responda principalmente a requerimientos estructurales antes que a criterios de economía.

Nota. Elaboración propia en base a los APUS actualizados de la CAMICON y SERCOP. Revisar Anexo 1-2-3-4-5-6-15 para consultar el APU completo.

Tabla 44. Desglose del costo total del sistema de losa de placa colaborante

LOSA DE PLACA COLABORANTE			
Nº	Descripción del APU	Costo directo (\$/m ³)	Costo directo (\$/m ²)
	Unidad		
1	Sum. Instalación Placa Colaborante e=65	-	\$ 15,72
2	Hormigón Premezclado f'c=240 kg/cm ² (incl. encofrado, aditivo, bomba y mixer)	\$ 142,50	\$ 14,96
3	Malla Electrosoldada R-196	-	\$ 9,43
4	Cielo Raso Gypsum e=1/2" (incl. estructura, empaste y pintura)	-	\$ 19,93
5	Impermeabilización de Cubierta	-	\$ 15,22
6	Mortero de Cubierta con Pendiente	-	\$ 5,64
15	Provisión e Instalación de Estructura Metálica		\$3,55
COSTO TOTAL DEL SISTEMA		-	\$ 84,45

Análisis Económico Cubierta Nervada Bidireccional

Con un costo total de \$110,66/m², la losa nervada es el sistema más costoso de todos los evaluados. Su estructura de costos está dominada por dos rubros de hormigón in situ: la losa alivianada en dos direcciones e=25 cm con \$130,97/m³ y el hormigón simple sobre vigas con \$110,81/m³, se los transforma a m² tomando valores de \$32,74/m² y \$27,70/m² respectivamente, que juntos suman \$60,44/m² y representan el 58,6% del costo total del sistema. Los cuatro rubros restantes, malla, cielo raso, impermeabilización y mortero, son idénticos en precio a los de la placa colaborante, lo que confirma que la diferencia de costo entre ambas losas reside exclusivamente en la solución estructural adoptada.

Comparada con la placa colaborante, la losa nervada es un 31% más cara (\$110,66 vs. \$84,45/m²). Esta diferencia refleja la mayor complejidad constructiva de la losa alivianada, que requiere encofrado, bloques aliviantes, armado y vaciado en dos elementos distintos. frente a la placa colaborante, cuyo elemento estructural principal es prefabricado e industrializado. Considerando que la losa nervada es además el sistema más lento en tiempo de ejecución, su selección debe justificarse exclusivamente por exigencias estructurales o normativas del proyecto.

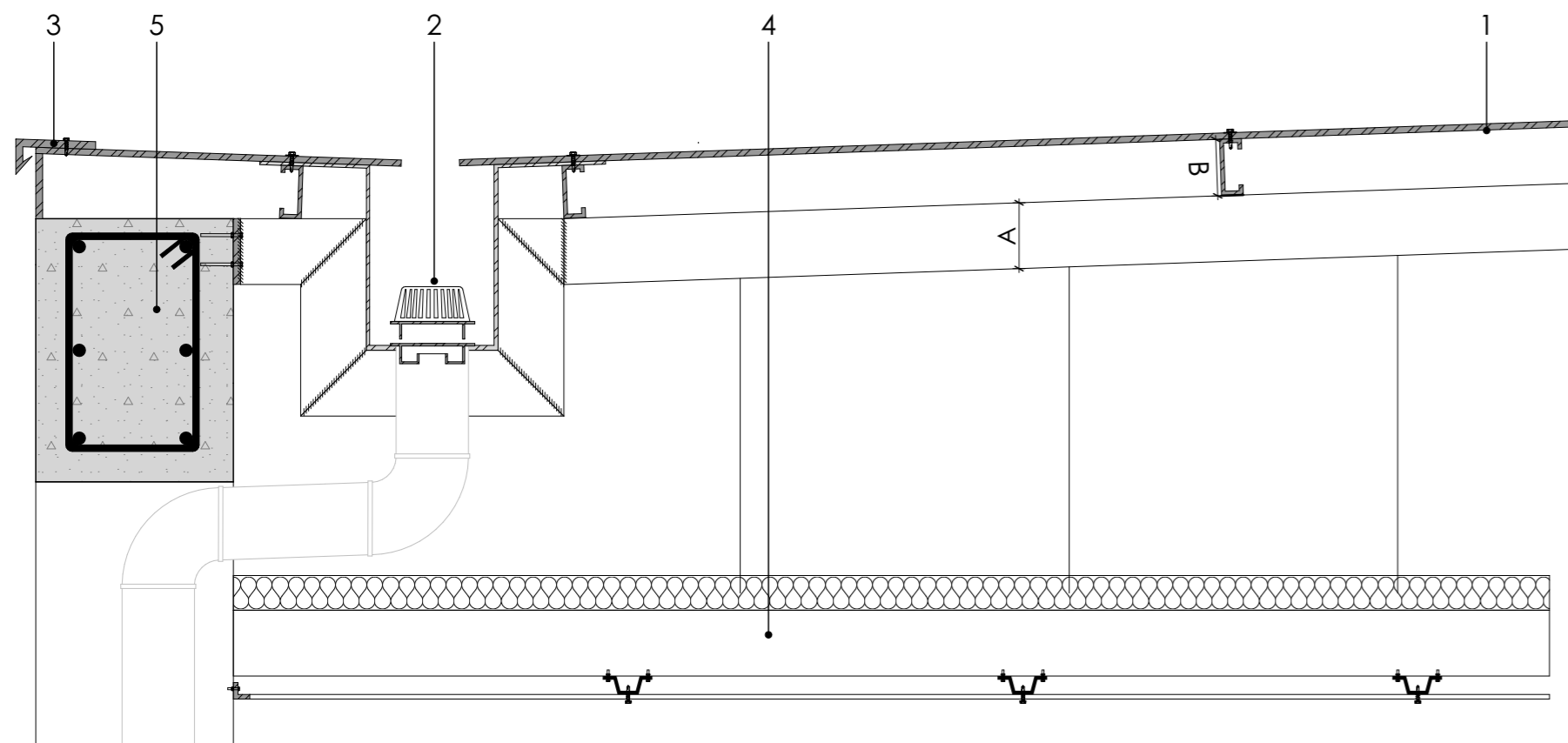
Nota. Elaboración propia en base a los APUS actualizados de la CAMICON y SERCOP. Revisar Anexo 3-4-5-6-7-8 para consultar el APU completo.

Tabla 45. Desglose del costo total del sistema de losa nervada bidireccional

LOSA NERVADA BIDIRECCIONAL e=25cm			
Nº	Descripción del APU	Costo directo (\$/m ³)	Costo directo (\$/m ²)
	Unidad		
7	Losa Alivianada 2 direcciones e=25 cm (incl. H.S, alivianamientos y encofrado)	\$ 130,97	\$ 32,74
8	Hormigón Simple sobre Vigas (incl. encofrado)	\$ 110,81	\$ 27,70
3	Malla Electrosoldada R-196	-	\$ 9,43
4	Cielo Raso Gypsum e=1/2" (incl. estructura, empaste y pintura)	-	\$ 19,93
5	Impermeabilización de Cubierta	-	\$ 15,22
6	Mortero de Cubierta con Pendiente	-	\$ 5,64
COSTO TOTAL DEL SISTEMA		-	\$ 110,66

3.5 Tipologías de Cubiertas Secas Analizadas

Figura 30. Detalle Constructivo de Cubierta Deck



Nota. Elaboración propia

1. CUBIERTA TIPO DECK

M: -Placha deck Kubiec e= 0,50 mm

- “A” = Correa tipo “G” 60x30x10x2 mm (L= 3m)
- Correa tipo “G” 100x50x15x2 mm (L= 6m)
- Correa tipo “G” 125x50x30x6 mm (L= 7,5m)
- “B” = Correa tipo “G” 60x30x10x2 mm (L= 3m)
- Correa tipo “G” 80x40x15x2 mm (L= 6m)
- Correa tipo “G” 80x40x15x3 mm (L= 7,5m)

D: e=12 cm (L= 3 m)

e=18 cm (L= 6 m)

e=20,5 cm (L= 7,5 m)

A: Acero negro

F: -Tornillo autoperforante con arandela

-Perno Expansivo 3/4"

-Soldadura

2. CAZOLETA 3 PIEZAS, CAZOLETA CUPULA CANASTILLA

M: -Cazoleta

-Tubo PVC desagüe Plastigama 110 mm

-Codo PVC desagüe Plastigama 110 mm

D: N/A

A: N/A

F: -Perno Expansivo 3/4"

-Soldadura

3. GOTERÓN

M: Acero galvanizado

D: e=0,50 MM

A: N/A

F: Tornillo autoperforante

4. CIELO RASO

M: -Plancha fibrocemento PLYCEM 610x1219 mm

e=5 mm

-Canal “U” acero galvanizado alto=10 cm

-Perfil omega angosto acero galvanizado

-Angular “L” cielo

-Aislante termoacústico lana de vidrio e=63,5 mm

-Cámara de aire e= 40 cm

D: 15 cm

A: -Empaste 2 manos (Lijado)

-Pintura 2 manos (SikaWall para interiores)

F: -Tornillo MM10-075 (Uniones entre perfiles)

-Tornillo PL7-150 (Fijación de PLYCEM a perfil omega)

-Tornillo autoperforante con arandela

-Alambre galvanizado para cielos rasos

5. ESTRUCTURA PRINCIPAL

M: -Viga de hormigón armado 25X40 cm

-Columna de hormigón armado 25x25 cm

D: N/A

A: N/A

F: N/A

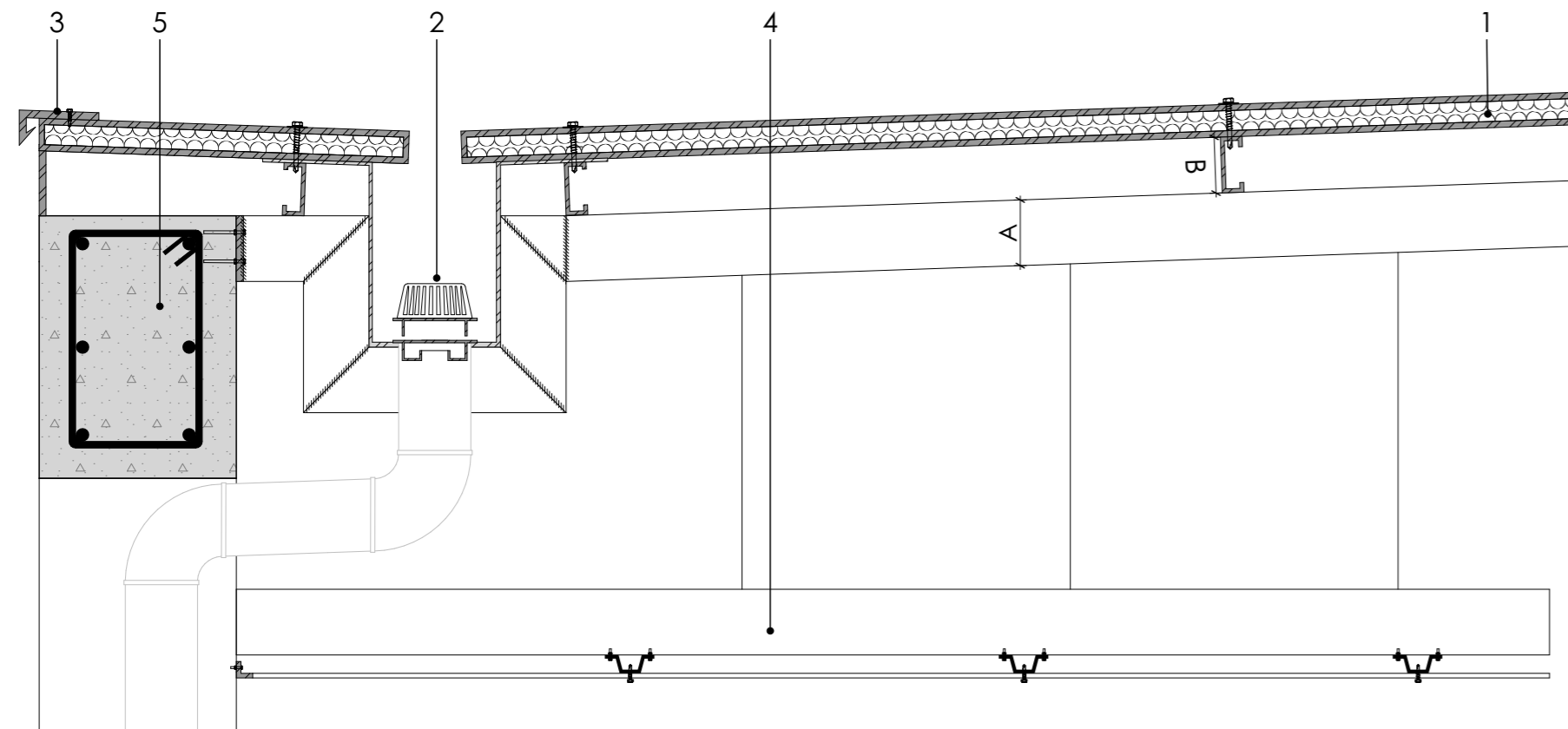
M: Material

D: Dimensión

A: Acabado

F: Fijación

Figura 31. Detalle Constructivo de Cubierta de Panel Sándwich



Nota. Elaboración propia

1. CUBIERTA PANEL SANDWICH

M: -Panel Sandwich Kubiec e= 50 mm

-Aislamiento de lana mineral de roca, poliisocianurato (PIR) o poliestireno expandido (EPS)

-“A” = Correa tipo “G” 80x40x15x2 mm (L= 3m)

Correa tipo “G” 100x50x15x3 mm (L= 6m)

Correa tipo “G” 150x50x15x5 mm (L= 7,5m)

-“B” = Correa tipo “G” 60x30x10x2 mm (L= 3m)

Correa tipo “G” 80x40x15x3 mm (L= 6m)

Correa tipo “G” 100x50x15x3 mm (L= 7,5m)

D: e=14 cm (L= 3 m)

e=18 cm (L= 6 m)

e=25 cm (L= 7,5 m)

A: Acero negro

F: -Tornillo autoperforante con arandela

-Perno Expansivo 3/4"

-Soldadura

2. CAZOLETA 3 PIEZAS, CAZOLETA CUPULA CANASTILLA

M: -Cazoleta

-Tubo PVC desagüe Plastigama 110 mm

-Codo PVC desagüe Plastigama 110 mm

D: N/A

A: N/A

F: -Perno Expansivo 3/4"

-Soldadura

3. GOTERÓN

M: Acero galvanizado

D: e=0,50 MM

A: N/A

F: Tornillo autoperforante

4. CIELO RASO

M: -Plancha fibrocemento PLYCEM 610x1219 mm

e=5 mm

-Canal “U” acero galvanizado alto=10 cm

-Perfil omega angosto acero galvanizado

-Angular “L” cielo

-Cámara de aire e= 40 cm

D: 15 cm

A: -Empaste 2 manos (Lijado)

-Pintura 2 manos (SikaWall para interiores)

F: -Tornillo MM10-075 (Uniones entre perfiles)

-Tornillo PL7-150 (Fijación de PLYCEM a perfil omega)

-Tornillo autoperforante con arandela

-Alambre galvanizado para cielos rasos

5. ESTRUCTURA PRINCIPAL

M: -Viga de hormigón armado 25X40 cm

-Columna de hormigón armado 25x25 cm

D: N/A

A: N/A

F: N/A

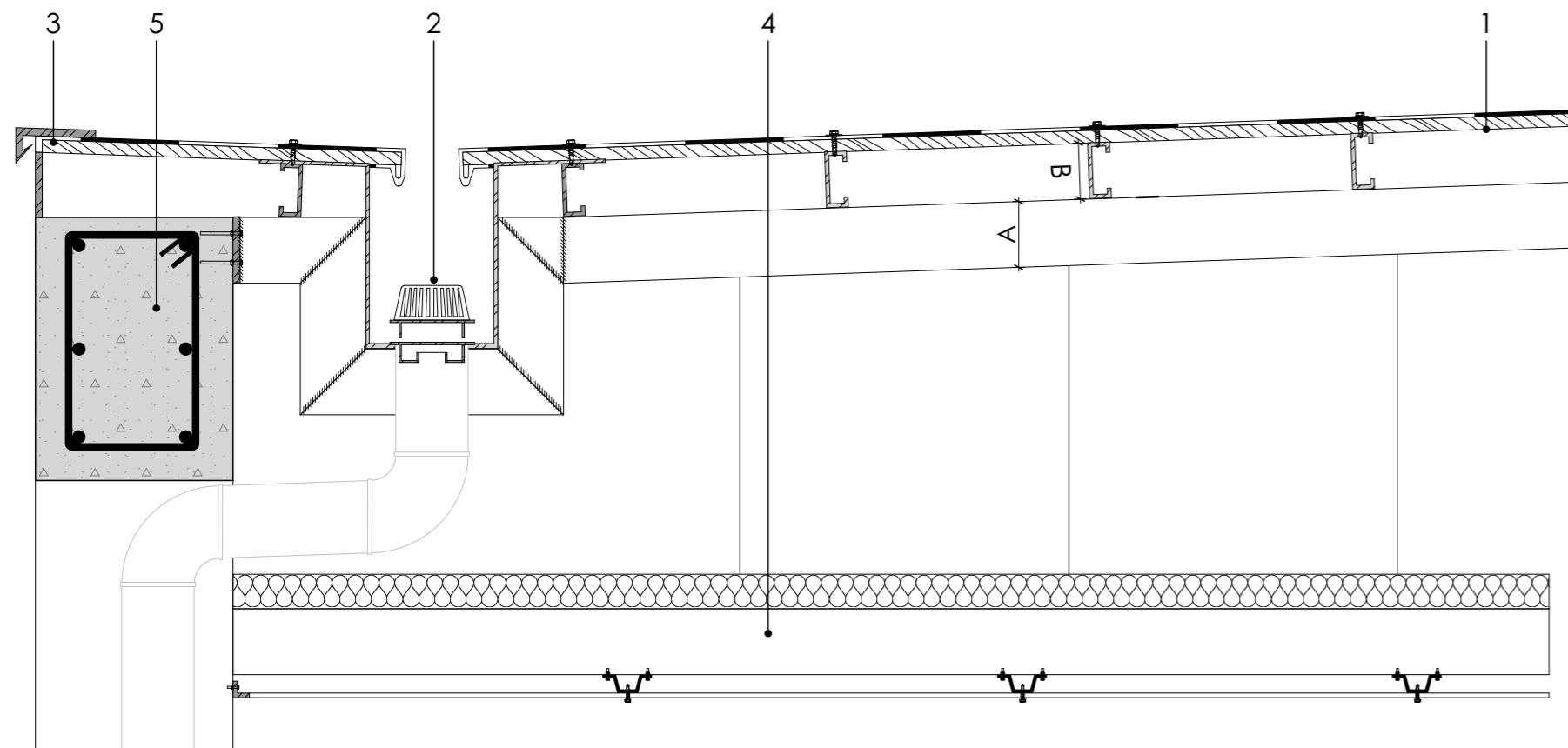
M: Material

D: Dimensión

A: Acabado

F: Fijación

Figura 32. Detalle Constructivo de Cubierta con Tablero Osb



Nota. Elaboración propia

1. CUBIERTA TABLEROS OSB

- M:** -Tablero OSB EDIMCA e= 15 mm
 -Impermeabilizante termo fusible Imperpol- Imptek
 -"A" = Correa tipo "G" 80x40x15x2 mm (L= 3m)
 Correa tipo "G" 100x50x15x4 mm (L= 6m)
 Correa tipo "G" 150x75x25x5 mm (L= 7,5m)
 -"B" = Correa tipo "G" 60x30x10x2 mm (L= 3m)
 Correa tipo "G" 80x40x15x2 mm (L= 6m)
 Correa tipo "G" 80x40x15x3 mm (L= 7,5m)

- D:** e=14 cm (L= 3 m)
 e=18 cm (L= 6 m)
 e=23 cm (L= 7,5 m)

- A:** -Acero Negro
 -Galvanizado
F: -Tornillo autoperforante con arandela
 -Perno Expansivo 3/4"
 -Soldadura

2. CAZOLETA 3 PIEZAS, CAZOLETA CUPULA CANASTILLA

- M:** -Cazoleta
 -Tubo PVC desagüe Plastigama 110 mm

- Codo PVC desagüe Plastigama 110 mm

- D:** N/A
A: N/A
F: -Perno Expansivo 3/4"
 -Soldadura

3. GOTERÓN

- M:** Acero galvanizado
D: e=0,50 MM
A: N/A

- F:** Tornillo autoperforante

4. CIELO RASO

- M:** -Plancha fibrocemento PLYCEM 610x1219 mm
 e=5 mm
 -Canal "U" acero galvanizado alto=10 cm
 -Perfil omega angosto acero galvanizado
 -Angular "L" cielo
 -Aislante termoacústico lana de vidrio e=63,5 mm
 -Cámara de aire e= 40 cm

- D:** 15 cm
A: -Empaste 2 manos (Lijado)

- Pintura 2 manos (SikaWall para interiores)
F: -Tornillo MM10-075 (Uniones entre perfiles)
 -Tornillo PL7-150 (Fijación de PLYCEM a perfil omega)
 -Tornillo autoperforante con arandela
 -Alambre galvanizado para cielos rasos

5. ESTRUCTURA PRINCIPAL

- M:** -Viga de hormigón armado 25X40 cm
 -Columna de hormigón armado 25x25 cm
D: N/A
A: N/A
F: N/A

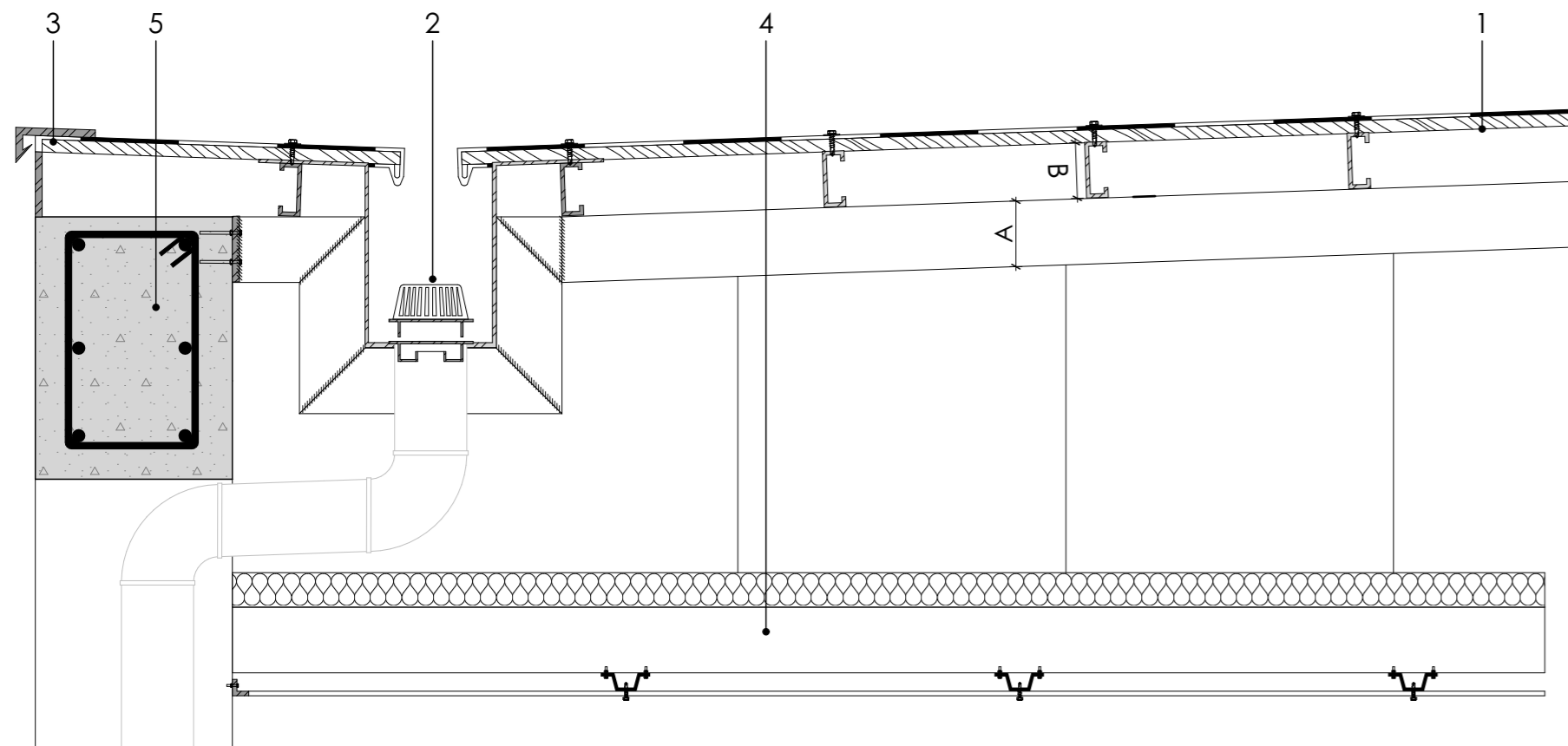
M: Material

D: Dimensión

A: Acabado

F: Fijación

Figura 33. Detalle Constructivo de Cubierta con Tablero Plywood



Nota. Elaboración propia

1. CUBIERTA TABLEROS PLYWOOD

- M:** -Tablero PLYWOOD EDIMCA e= 15 mm
 -Impermeabilizante termo fusible Imperpol- Imptek
 -"A" = Correa tipo "G" 80x40x15x2 mm (L= 3m)
 Correa tipo "G" 100x50x15x4 mm (L= 6m)
 Correa tipo "G" 150x75x25x5 mm (L= 7,5m)
 -"B" = Correa tipo "G" 60x30x10x2 mm (L= 3m)
 Correa tipo "G" 80x40x15x2 mm (L= 6m)
 Correa tipo "G" 80x40x15x3 mm (L= 7,5m)

- D:** e=14 cm (L= 3 m)
 e=18 cm (L= 6 m)
 e=23 cm (L= 7,5 m)

- A:** -Acero Negro
 -Galvanizado

- F:** -Tornillo autoperforante con arandela
 -Perno Expansivo 3/4"
 -Soldadura

2. CAZOLETA 3 PIEZAS, CAZOLETA CUPULA CANASTILLA

- M:** -Cazoleta
 -Tubo PVC desagüe Plastigama 110 mm

- Codo PVC desagüe Plastigama 110 mm

- D:** N/A

- A:** N/A

- F:** -Perno Expansivo 3/4"

- Soldadura

3. GOTERÓN

- M:** Acero galvanizado

- D:** e=0,50 MM

- A:** N/A

- F:** Tornillo autoperforante

4. CIELO RASO

- M:** -Plancha fibrocemento PLYCEM 610x1219 mm
 e=5 mm
 -Canal "U" acero galvanizado alto=10 cm
 -Perfil omega angosto acero galvanizado
 -Angular "L" cielo
 -Aislante termoacústico lana de vidrio e=63,5 mm
 -Cámara de aire e= 40 cm

- D:** 15 cm

- A:** -Empaste 2 manos (Lijado)

- Pintura 2 manos (SikaWall para interiores)

- F:** -Tornillo MM10-075 (Uniones entre perfiles)

- Tornillo PL7-150 (Fijación de PLYCEM a perfil omega)

- Tornillo autoperforante con arandela

- Alambre galvanizado para cielos rasos

5. ESTRUCTURA PRINCIPAL

- M:** -Viga de hormigón armado 25X40 cm

- Columna de hormigón armado 25x25 cm

- D:** N/A

- A:** N/A

- F:** N/A

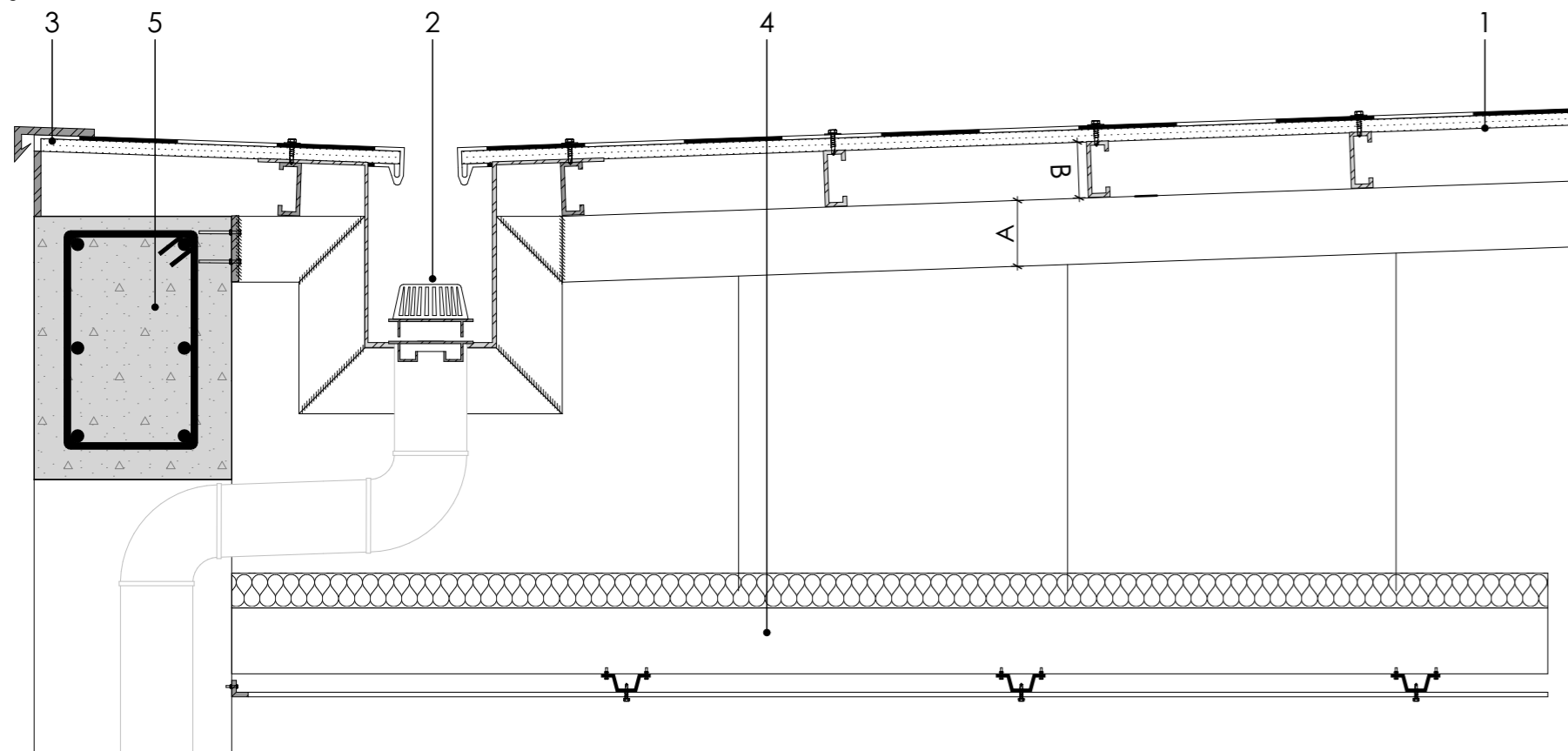
M: Material

D: Dimensión

A: Acabado

F: Fijación

Figura 34. Detalle Constructivo de Cubierta con Tablero Fibrocemento



Nota. Elaboración propia

1. CUBIERTA TABLEROS FIBROCEMENTO

- M:** -Tablero fibrocemento ETERBOARD e= 0,50 mm
 -Impermeabilizante termo fusible Imperpol- Imptek
 -"A" = Correa tipo "G" 80x40x15x3 mm (L= 3m)
 Correa tipo "G" 100x50x25x5 mm (L= 6m)
 Correa tipo "G" 175x75x25x4 mm (L= 7,5m)
 -"B" = Correa tipo "G" 60x30x10x2 mm (L= 3m)
 Correa tipo "G" 80x40x15x3 mm (L= 6m)
 Correa tipo "G" 100x50x15x3 mm (L= 7,5m)

- D:** e=14 cm (L= 3 m)
 e=18 cm (L= 6 m)
 e=27,5 cm (L= 7,5 m)

- A:** -Acero Negro
 -Galvanizado
F: -Tornillo autoperforante con arandela
 -Perno Expansivo 3/4"
 -Soldadura

2. CAZOLETA 3 PIEZAS, CAZOLETA CUPULA CANASTILLA

- M:** -Cazoleta
 -Tubo PVC desagüe Plastigama 110 mm

- Codo PVC desagüe Plastigama 110 mm

- D:** N/A
A: N/A
F: -Perno Expansivo 3/4"
 -Soldadura

3. GOTERÓN

- M:** Acero galvanizado
D: e=0,50 MM
A: N/A

- F:** Tornillo autoperforante

4. CIELO RASO

- M:** -Plancha fibrocemento PLYCEM 610x1219 mm
 e=5 mm
 -Canal "U" acero galvanizado alto=10 cm
 -Perfil omega angosto acero galvanizado
 -Angular "L" cielo
 -Aislante termoacústico lana de vidrio e=63,5 mm
 -Cámara de aire e= 40 cm

- D:** 15 cm
A: -Empaste 2 manos (Lijado)

- Pintura 2 manos (SikaWall para interiores)
F: -Tornillo MM10-075 (Uniones entre perfiles)
 -Tornillo PL7-150 (Fijación de PLYCEM a perfil omega)
 -Tornillo autoperforante con arandela
 -Alambre galvanizado para cielos rasos

5. ESTRUCTURA PRINCIPAL

- M:** -Viga de hormigón armado 25X40 cm
 -Columna de hormigón armado 25x25 cm
D: N/A
A: N/A
F: N/A

M: Material

D: Dimensión

A: Acabado

F: Fijación

3.6 Análisis Técnico Cubiertas Secas

De la misma manera en que se siguió el proceso de análisis técnico para las cubiertas húmedas, el peso propio de las cubiertas secas se obtuvo a partir de la sumatoria de los pesos unitarios de cada una de las capas que conforman el sistema. En todos los casos se consideraron los elementos principales que permanecen de forma permanente en la cubierta, tales como el material superior de cerramiento, el cielo raso con su respectiva perfilería, el aislamiento termoacústico cuando corresponde, y la impermeabilización en los sistemas de tableros, adicionalmente, el peso de las vigas secundarias y la subestructura.

A continuación se presenta el desglose de capas y sus pesos unitarios (kg/m²) para los sistemas de cubiertas secas analizadas.

Cubierta Deck

El sistema de cubierta deck utiliza correas tipo "G" tanto para la subestructura como para las vigas secundarias. La subestructura contempla únicamente al sistema de cerramiento, es decir la plancha metálica deck. Mientras que las vigas secundarias contemplan al sistema de cerramiento más el cielo raso. Criterio: dmax = L/180 para subestructura | dmax = L/360 para vigas secundarias.
Separación = 1.50

Tabla 46. Selección de subestructura de correas tipo G.

Sistema	Subestructura Cubierta Deck		
	Luz	3 m	6m
Peso total (kg/m ²)	5,15	5,15	5,15
W (kN/m)	0,0758	0,0758	0,0758
dmax (m)	0,01667	0,03333	0,04167
I req (cm ⁴)	2,4	19,2	37,5
Perfil Seleccionado	G 60 x 30 x 10 x 2	G 80 x 40 x 15 x 2	G 80 x 40 x 15 x 3
Peso Perfil (kg/m)	1,96	2,75	3,95
Sep. (m)	1,50	1,50	1,50
Peso Perfil (kg/m ²)	1,31	1,83	2,63

Nota. Elaboración propia con base en información técnica de Dipac para los perfiles estructurales.

Tabla 47. Selección de vigas secundarias de correas tipo G.

Sistema	Vigas Secundarias Cubierta Deck		
	Luz	3 m	6 m
Peso total (kg/m ²)	16,71	17,23	19,86
W (kN/m)	0,246	0,2537	0,2924
dmax (m)	0,00833	0,01667	0,02083
I req (cm ⁴)	9,58	59,96	288,6
Perfil seleccionado	G 60 x 30 x 10 x 2	G 100 x 50 x 15 x 2	G 125 x 50 x 30 x 6
Peso Perfil (kg/m)	1,96	3,38	11,32
Sep. (m)	1,5	1,5	1,5
Peso Perfil (kg/m ²)	1,31	2,25	7,54

Nota. Elaboración propia con base en información técnica de Dipac para los perfiles estructurales.

El peso propio total del sistema de cubierta deck aumenta progresivamente con la luz del vano, registrando valores de 18,02 kg/m² para 3 m, 19.48 kg/m² para 6 m y 25,57 kg/m² para 7,5 m, lo que representa un incremento del 31,5% entre la luz menor y la mayor. Este sistema se mantiene como una de las alternativas más livianas dentro de los sistemas de cubierta seca, lo que supone una ventaja significativa al minimizar las cargas transferidas a la estructura portante.

Los componentes de plancha metálica y cielo raso con perfilería más aislante termoacústico permanecen constantes en 5,15 y 10,25 kg/m² para todas las luces, representando en conjunto el 83% del peso total en la luz de 3 m. La totalidad de la variación en el peso del sistema entre luces recae sobre la subestructura y las vigas secundarias de acero A36 negro, cuyos valores crecen al requerirse perfiles de mayor sección para vanos más amplios. La subestructura aumenta de 1,31 a 2,63 kg/m² y las vigas secundarias de 1,31 a 7,54 kg/m² entre las luces de 3 y 7,5 m, siendo las vigas secundarias el componente de mayor variación proporcional, al incrementarse aproximadamente cinco veces y media entre la luz menor y la mayor.

Tabla 48. Peso propio total de los sistemas de cubierta deck

Sistema	Cubierta Deck		
	Luz (m)	3	6
Plancha Metálica (kg/m ²)	5,15	5,15	5,15
Cielo Raso + Perfilería + Aislante Termoacústico (kg/m ²)	10,25	10,25	10,25
Subestructura de acero A36 negro (kg/m ²)	1,31	1,83	2,63
Viga Secundaria de acero A36 negro (kg/m ²)	1,31	2,25	7,54
Peso Propio Total (kg/m ²)	18,02	19,48	25,57

Nota. Elaboración propia con base en información técnica de Kubieć (plancha metálica Kubiloc), Dipac (perfiles estructurales), Gyplac ST (cielo raso), Eternit (lana de fibra de vidrio 63.5mm)

Cubierta Panel Sándwich

El sistema de cubierta de panel sándwich utiliza correas tipo "G" tanto para la subestructura como para las vigas secundarias. La subestructura contempla únicamente al sistema de cerramiento, es decir el panel sándwich. Mientras que las vigas secundarias contemplan al sistema de cerramiento más el cielo raso.

Criterio: $d_{max} = L/180$ para subestructura | $d_{max} = L/360$ para vigas secundarias.

Separación = 1.50 m

Tabla 49. Selección de subestructura de correas tipo G.

Sistema	Subestructura Cubierta Panel Sándwich			
	Luz	3 m	6 m	7,5 m
Peso total (kg/m²)	10,03	10,03	10,03	10,03
W (kN/m)	0,1476	0,1476	0,1476	0,1476
dmax (m)	0,01667	0,03333	0,04167	0,04167
I req (cm⁴)	4,7	37,4	73	73
Perfil seleccionado	G 60 x 30 x 10 x 2	G 80 x 40 x 15 x 3	G 100 x 50 x 15 x 3	G 100 x 50 x 15 x 3
Peso Perfil (kg/m)	1,96	3,95	4,89	4,89
Sep. (m)	1,5	1,5	1,5	1,5
Peso Perfil (kg/m²)	1,31	2,63	3,32	3,32

Nota. Elaboración propia con base en información técnica de Dipac para los perfiles estructurales.

Tabla 50. Selección de vigas secundarias de correas tipo G.

Sistema	Vigas Secundarias Cubierta Panel Sándwich			
	Luz	3 m	6 m	7,5 m
Peso total (kg/m²)	20,83	22,15	22,84	22,84
W (kN/m)	0,3067	0,3262	0,3364	0,3364
dmax (m)	0,00833	0,01667	0,02083	0,02083
I req (cm⁴)	19,41	77,03	332,2	332,2
Perfil seleccionado	G 80 x 40 x 15 x 2	G 100 x 50 x 15 x 3	G 150 x 50 x 15 x 5	G 150 x 50 x 15 x 5
Peso Perfil (kg/m)	2,75	4,89	9,53	9,53
Sep. (m)	1,5	1,5	1,5	1,5
Peso Perfil (kg/m²)	1,83	3,32	6,35	6,35

Nota. Elaboración propia con base en información técnica de Dipac para los perfiles estructurales.

El peso propio total del sistema de cubierta con panel sándwich registra valores de 22,66 kg/m² para 3 m, 25,47 kg/m² para 6 m y 29,19 kg/m² para 7,5 m, representando un incremento del 28,8% entre la luz menor y la mayor. Comparado con el sistema de cubierta deck, el panel sándwich resulta ligeramente más pesado en todas las luces, con diferencias de 4,12 kg/m² para 3 m, 4,92 kg/m² para 6 m y 4,81 kg/m² para 7,5 m, diferencia atribuida al mayor peso propio del panel sándwich (10,03 kg/m²) frente a la plancha metálica del deck (5,15 kg/m²), siendo el cielo raso con perfilera el único componente que difiere adicionalmente, con 9,49 kg/m² en el panel sándwich frente a 10,25 kg/m² en el deck debido a que en el panel no se considera al aislante termoacústico ya que este viene de por sí dentro del mismo.

La variación entre luces recae exclusivamente sobre la subestructura y las vigas secundarias de acero A36 negro, que aumentan de 1,31 y 1,83 kg/m² en la luz de 3 m a 3,32 y 6,35 kg/m² en la luz de 7,5 m, siendo las vigas secundarias el componente de mayor variación proporcional al casi cuadruplicar su peso entre la luz menor y la mayor.

Tabla 51. Peso propio total de los sistemas de panel sándwich

Sistema	Cubierta Deck			
	Luz (m)	3	6	7,5
Panel Sándwich (kg/m²)	10,03	10,03	10,03	10,03
Cielo Raso + Perfilera + Aislante Termoacústico (kg/m²)	9,49	9,49	9,49	9,49
Subestructura de acero A36 negro (kg/m²)	1,31	2,63	3,32	3,32
Viga Secundaria de acero A36 negro (kg/m²)	1,83	3,32	6,35	6,35
Peso Propio Total (kg/m²)	22,66	25,47	29,19	29,19

Nota. Elaboración propia con base en información técnica de Kubiec (panel Kubiec Kubiloc Total 38), Dipac (perfiles estructurales), y Gyplac ST (cielo raso).

Cubierta de Tableros Osb

El sistema de cubierta de tableros OSB utiliza correas tipo "G" galvanizadas para la subestructura y para las vigas secundarias utiliza las correas tipo "G" de acero A36 negro. La subestructura contempla al sistema de cerramiento y el impermeabilizante autoadhesivo. Mientras que las vigas secundarias contemplan al sistema de cerramiento, el impermeabilizante más el cielo raso.

Criterio: $d_{max} = L/180$ para subestructura | $d_{max} = L/360$ para vigas secundarias.

Separación = 0,61 m para subestructura | 1.50 m vigas secundarias

Tabla 52. Selección de subestructura de correas tipo G.

Sistema	Subestructura Cubierta Panel Sándwich		
	Luz	3 m	6 m
Peso total (kg/m²)	15,65	15,65	15,65
W (kN/m)	0,0937	0,0937	0,0937
dmax (m)	0,01667	0,03333	0,04167
I req (cm⁴)	3	23,7	46,3
Perfil seleccionado	G 60 x 30 x 10 x 2	G 80 x 40 x 15 x 2	G 80 x 40 x 15 x 3
Peso Perfil (kg/m)	1,96	2,75	3,95
Sep. (m)	0,61	0,61	0,61
Peso Perfil (kg/m²)	3,21	4,5	6,47

Nota. Elaboración propia con base en información técnica de Dipac para los perfiles estructurales.

Tabla 53. Selección de vigas secundarias de correas tipo G.

Sistema	Vigas Secundarias Cubierta Panel Sándwich		
	Luz	3 m	6 m
Peso total (kg/m²)	29,11	30,4	32,37
W (kN/m)	0,4287	0,4477	0,4767
dmax (m)	0,00833	0,01667	0,02083
I req (cm⁴)	27,1	107,2	471,5
Perfil seleccionado	G 80 x 40 x 15 x 2	G 100 x 50 x 15 x 4	G 150 x 75 x 25 x 5
Peso Perfil (kg/m)	2,75	6,29	12,28
Sep. (m)	1,5	1,5	1,5
Peso Perfil (kg/m²)	1,83	4,19	8,19

Nota. Elaboración propia con base en información técnica de Dipac para los perfiles estructurales.

El peso propio total del sistema de cubierta con tableros OSB presenta un incremento progresivo con la luz del vano, registrando valores de 30,94 kg/m² para 3 m, 34,59 kg/m² para 6 m y 40,56 kg/m² para 7,5 m, lo que representa un aumento del 31,1% entre la luz menor y la mayor. Comparado con los sistemas de cubierta deck y panel sándwich, el tablero OSB resulta considerablemente más pesado en todas las luces, superándolos en aproximadamente 12 a 16 kg/m², diferencia atribuida principalmente al mayor peso propio del tablero OSB y la incorporación del impermeabilizante autoadhesivo como capa adicional.

Los componentes de tablero OSB, impermeabilizante autoadhesivo y cielo raso con perfilera más aislante termoacústico permanecen constantes en 10,65, 5,00 y 10,25 kg/m² respectivamente para todas las luces, representando en conjunto el 84,3% del peso total en la luz de 3 m. La variación del peso total entre luces recae sobre la subestructura y las vigas secundarias de acero A36 negro, que aumentan de 3,21 y 1,83 kg/m² en la luz de 3 m a 6,47 y 8,19 kg/m² en la luz de 7,5 m respectivamente.

Tabla 54. Peso propio total de los sistemas de cubierta con tableros OSB

Sistema	Cubierta Tableros Osb		
	Luz (m)	3	6
Tablero Osb (kg/m²)	10,65	10,65	10,65
Impermeabilizante (kg/m²)	5	5	5
Cielo Raso + Perfilera + Aislante Termoacústico (kg/m²)	10,25	10,25	10,25
Subestructura de acero A36 negro (kg/m²)	3,21	4,5	6,47
Viga Secundaria de acero A36 negro (kg/m²)	1,83	4,19	8,19
Peso Propio Total (kg/m²)	30,94	34,59	40,56

Nota. Elaboración propia con base en información técnica de Edimca (tablero OSB 15 mm), Impktek (impermeabilizante autoadhesivo autoprotectido Imperpol Ultra), Dipac (perfiles estructurales), Eternit (lana de fibra de vidrio 63.5mm) y Gyplac ST (cielo raso).

Cubierta de Tableros Plywood

El sistema de cubierta de tableros plywood utiliza correas tipo "G" galvanizadas para la subestructura y para las vigas secundarias utiliza las correas tipo "G" de acero A36 negro. La subestructura contempla al sistema de cerramiento y el impermeabilizante autoadhesivo. Mientras que las vigas secundarias contemplan al sistema de cerramiento, el impermeabilizante más el cielo raso.

Criterio: $d_{max} = L/180$ para subestructura | $d_{max} = L/360$ para vigas secundarias.

Separación = 0,61 m para subestructura | 1.50 m vigas secundarias

Tabla 55. Selección de subestructura de correas tipo G.

Sistema	Subestructura Cubierta Panel Sándwich		
	Luz	3 m	6 m
Peso total (kg/m²)	13,28	13,28	13,28
W (kN/m)	0,0795	0,0795	0,0795
dmax (m)	0,01667	0,03333	0,04167
I req (cm⁴)	2,5	20,1	39,3
Perfil seleccionado	G 60 x 30 x 10 x 2	G 80 x 40 x 15 x 2	G 80 x 40 x 15 x 3
Peso (kg/m)	1,96	2,75	3,95
Sep. (m)	0,61	0,61	0,61
Peso Perfil (kg/m²)	3,21	4,5	6,47

Nota. Elaboración propia con base en información técnica de Dipac para los perfiles estructurales.

Tabla 56. Selección de vigas secundarias de correas tipo G.

Sistema	Vigas Secundarias Cubierta Panel Sándwich		
	Luz	3 m	6 m
Peso total (kg/m²)	26,74	28,03	30
W (kN/m)	0,3938	0,4128	0,4415
dmax (m)	0,00833	0,01667	0,02083
I req (cm⁴)	24,89	98,82	436,8
Perfil seleccionado	G 80 x 40 x 15 x 2	G 100 x 50 x 15 x 4	G 150 x 75 x 25 x 5
Peso (kg/m)	2,75	6,29	12,28
Sep. (m)	1,5	1,5	1,5
Peso Perfil (kg/m²)	1,83	4,19	8,19

Nota. Elaboración propia con base en información técnica de Dipac para los perfiles estructurales.

El peso propio total del sistema de cubierta con tableros plywood presenta valores de 28,57 kg/m² para 3 m, 32,22 kg/m² para 6 m y 38,19 kg/m² para 7,5 m, con un incremento del 33,7% entre la luz menor y la mayor. Al comparar con el sistema de tableros OSB, el plywood resulta más liviano en todas las luces, con diferencias de 2,37 kg/m² para 3 m, 2,37 kg/m² para 6 m y 2,37 kg/m² para 7,5 m, diferencia que se mantiene constante en todas las luces y que se explica exclusivamente por la menor densidad del tablero plywood (8,28 kg/m²) frente al tablero OSB (10,65 kg/m²), siendo todos los demás componentes idénticos entre ambos sistemas.

Al igual que en el sistema OSB, la variación del peso total entre luces recae sobre la subestructura y las vigas secundarias de acero A36 negro, que aumentan de 3,21 y 1,83 kg/m² en la luz de 3 m a 6,47 y 8,19 kg/m² en la luz de 7,5 m, valores idénticos a los del sistema OSB dado que la selección de perfiles estructurales responde a las mismas cargas acumuladas. De igual forma, en la luz de 7,5 m las vigas secundarias superan en peso a la subestructura, evidenciando la mayor demanda estructural que imponen los vanos más largos independientemente del tipo de tablero utilizado.

Tabla 57. Peso propio total de los sistemas de cubierta con tableros Plywood

Sistema	Cubierta Tableros Osb		
	Luz (m)	3	6
Tablero Plywood (kg/m²)	8,28	8,28	8,28
Impermeabilizante (kg/m²)	5	5	5
Cielo Raso + Perfilería + Aislante Termoacústico (kg/m²)	10,25	10,25	10,25
Subestructura de acero A36 negro (kg/m²)	3,21	4,5	6,47
Viga Secundaria de acero A36 negro (kg/m²)	1,83	4,19	8,19
Peso Propio Total (kg/m²)	28,57	32,22	38,19

Nota. Elaboración propia con base en información técnica de Edimca (tablero plywood 15 mm), Impktek (impermeabilizante autoadhesivo autoprotegido Imperpol Ultra), Dipac (perfiles estructurales), Eternit (lana de fibra de vidrio 63.5mm) y Gyplac ST (cielo raso).

Cubierta de Tableros Planos de Fibrocemento

El sistema de cubierta de tableros planos de fibrocemento utiliza correas tipo "G" galvanizadas para la subestructura y para las vigas secundarias utiliza las correas tipo "G" de acero A36 negro. La subestructura contempla al sistema de cerramiento y el impermeabilizante autoadhesivo. Mientras que las vigas secundarias contemplan al sistema de cerramiento, el impermeabilizante más el cielo raso.

Criterio: $d_{max} = L/180$ para subestructura | $d_{max} = L/360$ para vigas secundarias.

Separación = 0,61 m para subestructura | 1.50 m vigas secundarias

Tabla 58. Selección de subestructura de correas tipo G.

Sistema	Subestructura Cubierta Panel Sándwich		
	Luz	3 m	6 m
Peso total (kg/m²)	25,86	25,86	25,86
W (kN/m)	0,1547	0,1547	0,1547
dmax (m)	0,01667	0,03333	0,04167
I req (cm⁴)	4,9	39,2	76,5
Perfil seleccionado	G 60 x 30 x 10 x 2	G 80 x 40 x 15 x 3	G 100 x 50 x 15 x 3
Peso Perfil (kg/m)	1,96	3,95	4,89
Sep. (m)	0,61	0,61	0,61
Peso Perfil (kg/m²)	3,21	6,47	8,01

Nota. Elaboración propia con base en información técnica de Dipac para los perfiles estructurales.

Tabla 59. Selección de vigas secundarias de correas tipo G.

Sistema	Vigas Secundarias Cubierta Panel Sándwich		
	Luz	3 m	6 m
Peso total (kg/m²)	39,32	42,58	44,12
W (kN/m)	0,5791	0,6271	0,6498
dmax (m)	0,00833	0,01667	0,02083
I req (cm⁴)	36,61	150,2	642,8
Perfil seleccionado	G 80 x 40 x 15 x 3	G 100 x 50 x 25 x 5	G 175 x 75 x 25 x 4
Peso Perfil (kg/m)	3,95	8,35	10,84
Sep. (m)	1,5	1,5	1,5
Peso Perfil (kg/m²)	2,63	5,57	7,23

Nota. Elaboración propia con base en información técnica de Dipac para los perfiles estructurales.

El peso propio total del sistema de cubierta con tableros planos de fibrocemento registra valores de 41,95 kg/m² para 3 m, 48,15 kg/m² para 6 m y 51,35 kg/m² para 7,5 m, representando un incremento del 22,4% entre la luz menor y la mayor. Este sistema es el más pesado dentro de los sistemas de cubierta seca analizados, superando al tablero OSB en aproximadamente 11 kg/m² y al tablero plywood en cerca de 13 kg/m² para todas las luces, diferencia que se explica principalmente por el mayor peso propio del tablero de fibrocemento (20,86 kg/m²) en comparación con el OSB (10,65 kg/m²) y el plywood (8,28 kg/m²).

A diferencia de los sistemas OSB y plywood donde las vigas secundarias superan a la subestructura en la luz de 7,5 m, en el sistema de fibrocemento la subestructura mantiene un peso ligeramente superior en todas las luces, lo que refleja una mayor demanda sobre este elemento debido al peso más elevado del tablero que debe soportar directamente.

Tabla 60. Peso propio total de los sistemas de cubierta con tableros planos de fibrocemento

Sistema	Cubierta Tableros Osb		
	Luz (m)	3	6
Tablero Plano de Fibrocemento (kg/m²)	20,86	20,86	20,86
Impermeabilizante (kg/m²)	5	5	5
Cielo Raso + Perfilera + Aislante Termoacústico (kg/m²)	10,25	10,25	10,25
Subestructura de acero A36 negro (kg/m²)	3,21	6,47	8,01
Viga Secundaria de acero A36 negro (kg/m²)	2,63	5,57	7,23
Peso Propio Total (kg/m²)	41,95	48,15	51,35

Nota. Elaboración propia con base en información técnica de Eternit (tablero plano de fibrocemento 14 mm y lana de fibra de vidrio 63.5mm), Impktek (impermeabilizante autoadhesivo autoprotectido Imperpol Ultra), Dipac (perfiles estructurales), y Gyplac ST (cielo raso).

Aislamiento Térmico Cubiertas Secas

El comportamiento de aislamiento térmico de las cubiertas secas se evalúa mediante el cálculo descrito en el marco teórico, cuyo objetivo es determinar el factor U del sistema de cubierta analizado a partir de las capas que lo componen. Posteriormente, el valor obtenido se contrasta con los límites establecidos por la normativa vigente, verificando su cumplimiento con la NECposu. En este caso, se considera como referencia el valor máximo de transmitancia de 2,9 W/m²K, correspondiente a la ciudad de Cuenca, ubicada en la zona climática 3 (continental lluviosa).

Aislamiento Térmico Cubierta Deck

Debido al elevado valor de conductividad de la placa metálica ($\lambda = 50 \text{ W/mK}$), su resistencia térmica resulta despreciable y se omite del cálculo. El sistema queda definido únicamente por: aislante de lana de vidrio (63,5 mm), cámara de aire (> 10 cm) y tablero de yeso (12,5 mm).

El sistema obtiene $U = 0,4870 \text{ W/m}^2\text{K}$, un valor bajo comparado con los sistemas anteriormente analizados, posicionandola como una solución con mayor eficiencia térmica. Cumple sobradamente con el límite de 2,9 W/m²K. Comparado con la cubierta de placa colaborante, cuya única diferencia es la adición de la capa de hormigón, la cubierta deck mejora el aislamiento al no incluir dicha capa conductiva, confirmando que la eliminación de materiales de alta conductividad optimiza el comportamiento térmico.

Tabla 61. Cálculo del coeficiente de transmitancia térmica U – Cubierta Deck

Capa	Material	e (m)	λ (W/mK)	R (m²K/W)
Resistencia superficial exterior	—	—	—	0,0400
Aislante termoacústico	Lana de vidrio	0,0635	0,046	1,3804
Cámara de aire (> 10 cm)	Aire	> 0,10	—	0,4900
Tablero de yeso	Placa de yeso	0,0125	0,290	0,0431
Resistencia superficial interior	—	—	—	0,1000
Resistencia térmica total $R_t = \Sigma R = 2,0535 \text{ m}^2\text{K/W}$				2,0535
Coeficiente de transmitancia térmica $U = 1/R_t$				0,4870 W/m²K
Límite normativo NEC: $U \text{ máx} = 2,9 \text{ W/m}^2\text{K}$				CUMPLE

Nota. Elaboración propia en base a información técnica proporcionada por la Norma Ecuatoriana de la Construcción Tabla 20. Propiedades térmicas de los materiales a partir de la revisión literaria y la norma ISO 6946.

Aislamiento Térmico Cubierta Panel Sándwich

La cubierta de panel sándwich presenta valores de transmitancia térmica (U) definidos en el catálogo técnico de Kubiec, los cuales varían en función del tipo de material aislante empleado. Entre las alternativas consideradas se incluyen lana mineral de roca con densidades entre 32 y 144 kg/m³, poliisocianurato (PIR) con densidades de 34 a 45 kg/m³ y poliestireno expandido (EPS) con densidades de 10 a 18 kg/m³. Adicionalmente se compone del tablero de yeso y una cámara de aire superior a 10 cm, destinada al paso de instalaciones.

El panel sándwich con lana mineral de roca ($\lambda = 0,035 \text{ W/mK}$, $e = 50 \text{ mm}$) proporciona una resistencia aislante de $R = 1,4286 \text{ m}^2\text{K/W}$. La resistencia total alcanza $R_t = 2,1017 \text{ m}^2\text{K/W}$, con un coeficiente de transmitancia de $U = 0,4758 \text{ W/m}^2\text{K}$. El sistema cumple con el límite normativo de 2,9 W/m²K. La lana mineral de roca ofrece, además del aislamiento térmico, buenas propiedades de resistencia al fuego y absorción acústica.

Tabla 62. Cálculo del coeficiente de transmitancia térmica U – Cubierta Panel Sándwich (Lana Mineral de Roca)

Capa	Material	e (m)	λ (W/mK)	R (m²K/W)
Resistencia superficial exterior	—	—	—	0,0400
Aislante termoacústico	Lana mineral de roca	0,050	0,035	1,4286
Cámara de aire (> 10 cm)	Aire	> 0,10	—	0,4900
Tablero de yeso	Placa de yeso	0,0125	0,290	0,0431
Resistencia superficial interior	—	—	—	0,1000
Resistencia térmica total $R_t = \Sigma R = 2,1017 \text{ m}^2\text{K/W}$				2,1017
Coeficiente de transmitancia térmica $U = 1/R_t$				0,4758 W/m²K
Límite normativo NEC: $U \text{ máx} = 2,9 \text{ W/m}^2\text{K}$				CUMPLE

Nota. Elaboración propia en base a información técnica proporcionada por la Norma Ecuatoriana de la Construcción Tabla 20. Propiedades térmicas de los materiales a partir de la revisión literaria y la norma ISO 6946.

Con poliisocianurato ($\lambda = 0,020 \text{ W/mK}$, $e = 50 \text{ mm}$), la resistencia del aislante se duplica respecto a la lana mineral de roca, alcanzando $R = 2,5000 \text{ m}^2\text{K/W}$. La resistencia térmica total es $R_t = 3,1731 \text{ m}^2\text{K/W}$, resultando en $U = 0,3151 \text{ W/m}^2\text{K}$. El panel sándwich con PIR presenta la mayor eficiencia térmica del conjunto, siendo una solución premium para proyectos que demanden alto rendimiento energético con espesores reducidos. Cumple holgadamente con la normativa.

Tabla 63. Cálculo del coeficiente de transmitancia térmica U – Cubierta Panel Sándwich (Poliisocianurato(PIR))

Capa	Material	e (m)	λ (W/mK)	R ($\text{m}^2\text{K/W}$)
Resistencia superficial exterior	—	—	—	0,0400
Aislante termoacústico	Lana mineral de roca	0,050	0,020	2,5000
Cámara de aire (> 10 cm)	Aire	> 0,10	—	0,4900
Tablero de yeso	Placa de yeso	0,0125	0,290	0,0431
Resistencia superficial interior	—	—	—	0,1000
Resistencia térmica total $R_t = \sum R = 3,1731 \text{ m}^2\text{K/W}$				3,1731
Coeficiente de transmitancia térmica $U = 1/R_t$				0,3151 W/m²K
Límite normativo NEC: $U \text{ máx} = 2,9 \text{ W/m}^2\text{K}$				CUMPLE

Nota. Elaboración propia en base a información técnica proporcionada por la Norma Ecuatoriana de la Construcción Tabla 20. Propiedades térmicas de los materiales a partir de la revisión literaria y la norma ISO 6946.

El panel sándwich con EPS comparte la misma conductividad térmica que el PIR ($\lambda = 0,020 \text{ W/mK}$), por lo que el resultado es idéntico: $R_t = 3,1731 \text{ m}^2\text{K/W}$ y $U = 0,3151 \text{ W/m}^2\text{K}$. Aunque los valores calculados son equivalentes, el PIR y el EPS difieren en sus propiedades complementarias: el PIR posee mayor resistencia al fuego y mejor comportamiento a altas temperaturas, mientras que el EPS resulta generalmente más económico. Ambos cumplen la normativa. Comparando los tres materiales del panel sándwich, la lana mineral de roca presenta el valor de U más alto de los tres ($0,4758 \text{ W/m}^2\text{K}$ frente a $0,3151 \text{ W/m}^2\text{K}$ del PIR/EPS), aunque todos cumplen la normativa con amplio margen. La elección entre materiales deberá ponderarse en función de criterios de comportamiento frente al fuego, coste, disponibilidad y requisitos acústicos del proyecto.

Tabla 64. Cálculo del coeficiente de transmitancia térmica U – Cubierta Panel Sándwich (Poliestireno Expandido (EPS))

Capa	Material	e (m)	λ (W/mK)	R ($\text{m}^2\text{K/W}$)
Resistencia superficial exterior	—	—	—	0,0400
Aislante termoacústico	Lana mineral de roca	0,050	0,020	2,5000
Cámara de aire (> 10 cm)	Aire	> 0,10	—	0,4900
Tablero de yeso	Placa de yeso	0,0125	0,290	0,0431
Resistencia superficial interior	—	—	—	0,1000
Resistencia térmica total $R_t = \sum R = 3,1731 \text{ m}^2\text{K/W}$				3,1731
Coeficiente de transmitancia térmica $U = 1/R_t$				0,3151 W/m²K
Límite normativo NEC: $U \text{ máx} = 2,9 \text{ W/m}^2\text{K}$				CUMPLE

Nota. Elaboración propia en base a información técnica proporcionada por la Norma Ecuatoriana de la Construcción Tabla 20. Propiedades térmicas de los materiales a partir de la revisión literaria y la norma ISO 6946.

Aislamiento Térmico Cubierta Tableros Osb

Las capas consideradas para el aislamiento térmico de la cubierta con tableros OSB, por la incidencia que tienen en cuanto a este apartado son: los tableros de OSB, el aislante termoacústico de lana de vidrio, el tablero de yeso, el impermeabilizante autoadhesivo autoprottegido y una cámara de aire superior a 10 cm considerando el paso de instalaciones del sistema.

La cubierta con tableros OSB alcanza $U = 0,4430 \text{ W/m}^2\text{K}$, valor que cumple con el límite normativo. La adición del tablero OSB y especialmente de la membrana impermeabilizante de baja conductividad ($\lambda = 0,04 \text{ W/mK}$) mejoran la resistencia térmica respecto al sistema deck. Dentro del grupo de cubiertas secas, el sistema OSB presenta buen desempeño gracias a la baja conductividad de sus capas complementarias.

Tabla 65. Cálculo del coeficiente de transmitancia térmica U – Cubierta con Tableros Osb

Capa	Material	e (m)	λ (W/mK)	R (m ² K/W)
Resistencia superficial exterior	—	—	—	0,0400
Tablero OSB	OSB	0,0151	0,1300	0,1162
Imoermeabilizante Autoadhesivo Autoprottegido	Membrana impermeabilizante	0,0035	0,0400	0,0875
Aislante termoacústico	Lana de vidrio	0,0635	0,0460	1,3804
Cámara de aire (> 10 cm)	Aire	> 0,10	—	0,49
Tablero de yeso	Placa de yeso	0,0125	0,290	0,0431
Resistencia superficial interior	—	—	—	0,1000
Resistencia térmica total $R_t = \sum R = 2,2572 \text{ m}^2\text{K/W}$				2,2572
Coeficiente de transmitancia térmica $U = 1/R_t$				0,4430 W/m²K
Límite normativo NEC: $U \text{ máx} = 2,9 \text{ W/m}^2\text{K}$				CUMPLE

Nota. Elaboración propia en base a información técnica proporcionada por la Norma Ecuatoriana de la Construcción Tabla 20. Propiedades térmicas de los materiales a partir de la revisión literaria y la norma ISO 6946.

Aislamiento Térmico Cubierta Tableros Plywood

Las capas consideradas para el aislamiento térmico de la cubierta con tableros Plywood, por la incidencia que tienen en cuanto a este apartado son: los tableros plywood, el aislante termoacústico de lana de vidrio, el tablero de yeso, el impermeabilizante autoadhesivo autoprottegido, y una cámara de aire superior a 10 cm considerando el paso de instalaciones del sistema.

El sistema con tableros plywood obtiene $U = 0,4447 \text{ W/m}^2\text{K}$, prácticamente idéntico al valor del OSB ($0,4430 \text{ W/m}^2\text{K}$). La diferencia entre ambos sistemas es de apenas $0,00163 \text{ W/m}^2\text{K}$, inferior al margen de precisión del cálculo, lo que indica que desde el punto de vista del aislamiento térmico, ambas soluciones son equivalentes. La elección entre OSB y plywood debería basarse entonces en criterios estructurales, de durabilidad, disponibilidad o costo, ya que térmicamente son indistinguibles. Ambos cumplen con la normativa.

Tabla 66. Cálculo del coeficiente de transmitancia térmica U – Cubierta con Tableros Plywood

Capa	Material	e (m)	λ (W/mK)	R (m ² K/W)
Resistencia superficial exterior	—	—	—	0,0400
Tablero Plywood	Plywood	0,0151	0,1400	0,1079
Imoermeabilizante Autoadhesivo Autoprottegido	Membrana impermeabilizante	0,0035	0,0400	0,0875
Aislante termoacústico	Lana de vidrio	0,0635	0,0460	1,3804
Cámara de aire (> 10 cm)	Aire	> 0,10	—	0,49
Tablero de yeso	Placa de yeso	0,0125	0,290	0,0431
Resistencia superficial interior	—	—	—	0,1000
Resistencia térmica total $R_t = \sum R = 2,2489 \text{ m}^2\text{K/W}$				2,2489
Coeficiente de transmitancia térmica $U = 1/R_t$				0,4447 W/m²K
Límite normativo NEC: $U \text{ máx} = 2,9 \text{ W/m}^2\text{K}$				CUMPLE

Nota. Elaboración propia en base a información técnica proporcionada por la Norma Ecuatoriana de la Construcción Tabla 20. Propiedades térmicas de los materiales a partir de la revisión literaria y la norma ISO 6946.

Aislamiento Térmico Cubierta Tableros Fibrocemento

Las capas consideradas para el aislamiento térmico de la cubierta con tableros Fibrocemento, por la incidencia que tienen en cuanto a este apartado son: los tableros Fibrocemento, el aislante termoacústico de lana de vidrio, el tablero de yeso, el impermeabilizante autoadhesivo autoprottegido, y una cámara de aire superior a 10 cm considerando el paso de instalaciones del sistema.

La cubierta con tableros de fibrocemento obtiene $U = 0,4638 \text{ W/m}^2\text{K}$, el valor más alto dentro del grupo de cubiertas ligeras, aunque sigue siendo inferior al límite de $2,9 \text{ W/m}^2\text{K}$ y por tanto cumple con la normativa. La mayor conductividad del fibrocemento ($\lambda = 0,93 \text{ W/mK}$) frente al OSB ($\lambda = 0,13 \text{ W/mK}$) o el plywood ($\lambda = 0,14 \text{ W/mK}$) representa una resistencia aportada por esa capa de apenas $R = 0,0151 \text{ m}^2\text{K/W}$, frente a los $R=0,1162 \text{ m}^2\text{K/W}$ del OSB. No obstante, dado que la capa dominante del aislamiento es la lana de vidrio y la cámara de aire, la diferencia en el valor final de U es pequeña. Comparando los tres sistemas de tablero (OSB, plywood y fibrocemento), el fibrocemento es la opción menos eficiente térmicamente, aunque todos cumplen la normativa.

Tabla 67. Cálculo del coeficiente de transmitancia térmica U – Cubierta con Tableros de Fibrocemento

Capa	Material	e (m)	λ (W/mK)	R ($\text{m}^2\text{K/W}$)
Resistencia superficial exterior	—	—	—	0,0400
Tablero Plano de Fibrocemento	Fibrocemento	0,0140	0,9300	0,0151
Imoermeabilizante Autoadhesivo Autoprottegido	Membrana impermeabilizante	0,0035	0,0400	0,0875
Aislante termoacústico	Lana de vidrio	0,0635	0,0460	1,3804
Cámara de aire (> 10 cm)	Aire	> 0,10	—	0,49
Tablero de yeso	Placa de yeso	0,0125	0,290	0,0431
Resistencia superficial interior	—	—	—	0,1000
Resistencia térmica total $R_t = \Sigma R = 2,1561 \text{ m}^2\text{K/W}$				2,1561
Coeficiente de transmitancia térmica $U = 1/R_t$				0,4638 W/m²K
Límite normativo NEC: $U \text{ máx} = 2,9 \text{ W/m}^2\text{K}$				CUMPLE

Nota. Elaboración propia en base a información técnica proporcionada por la Norma Ecuatoriana de la Construcción Tabla 20. Propiedades térmicas de los materiales a partir de la revisión literaria y la norma ISO 6946.

Aislamiento Acústico Cubiertas Secas

Con la misma lógica del apartado térmico de las cubiertas húmedas, el análisis busca comprender como aísla cada sistema de cubierta el ruido generado por la lluvia, dicho ruido es un fenómeno de impacto estructural que no puede cuantificarse de forma absoluta sin ensayo de laboratorio según ISO 10140-5. Por lo que para cada sistema se calcula el STC (Sound Transmission Class) mediante la Ley de Masa de Sharp (1978) y el procedimiento de ajuste de curva patrón de ASTM E413 (ASTM International, 2022). Y se complementa con la evaluación cualitativa de tres propiedades físicas de cada sistema, masa superficial, amortiguamiento interno y continuidad constructiva.

Aislamiento Acústico Deck

M_1 comprende a las capas superiores: placa metálica
 M_2 comprende a las capas inferiores: cielo raso y el aislante termoacústico de lana de vidrio.

Tabla 68. Datos de entrada y frecuencia de resonancia

m_1 (kg/m ²)	m_2 (kg/m ²)	d (m)	m_{red} (kg/m ²)	f_r (Hz) Ec.4
5,15	10,25	0,5	3,4278	42,8 Hz

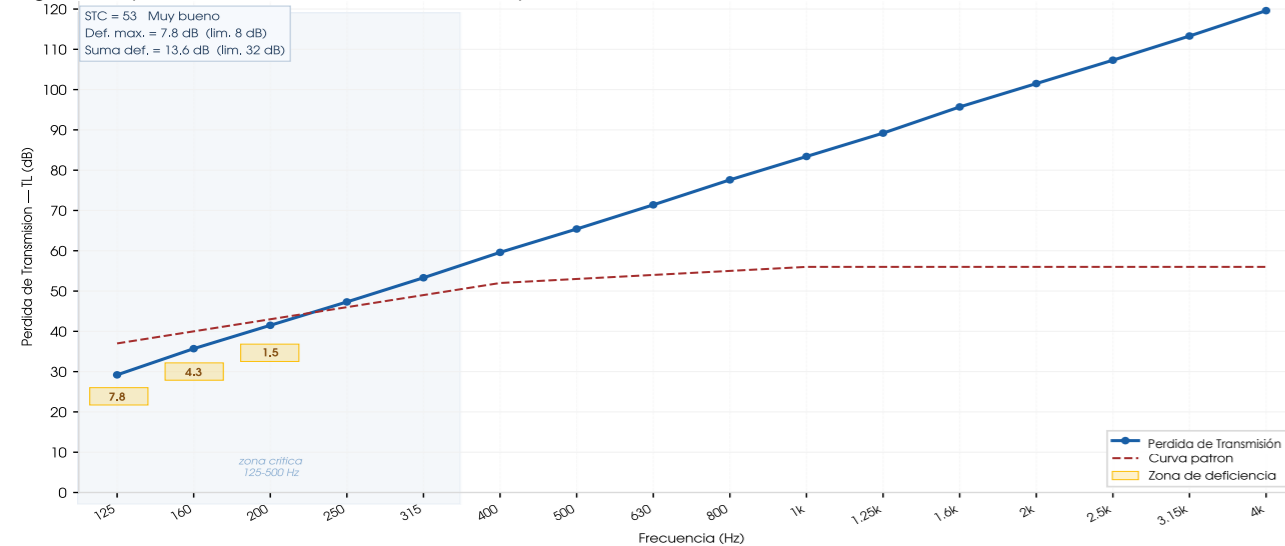
Nota. Elaboración propia en base a las capas del sistema y la ecuación 4.

Tabla 69. Pérdida de Transmisión en las 16 frecuencias (Ec. 2 y 3) - Deck

Frecuencia	Pérdida de Transmisión	Curva patrón STC=82
125 Hz	29,2 dB	37 dB ← deficiencia: 7,8 dB
160 Hz	35,7 dB	40 dB ← deficiencia: 4,3 dB
200 Hz	41,5 dB	43 dB ← deficiencia: 1,5 dB
250 Hz	47,3 dB	46 dB
315 Hz	53,3 dB	49 dB
400 Hz	59,6 dB	52 dB
500 Hz	65,4 dB	53 dB
630 Hz	71,4 dB	54 dB
800 Hz	77,6 dB	55 dB
1000 Hz	83,4 dB	56 dB
1250 Hz	89,2 dB	56 dB
1600 Hz	95,7 dB	56 dB
2000 Hz	101,5 dB	56 dB
2500 Hz	107,3 dB	56 dB
3150 Hz	113,3 dB	56 dB
4000 Hz	119,6 dB	56 dB

Nota. Elaboración propia a partir de Sharp (1978). ASTM E413-22 (ASTM International, 2022). STC candidato 53: deficiencia máxima = 7,8 dB (límite: 8 dB) | suma de deficiencias = 13,6 dB (límite: 32 dB). STC = 53 — Muy bueno.

Fig 35. Comparativa Curva de Pérdida de Transmisión y Curva Patrón en las 16 frecuencias Deck



Nota. Elaboración propia en base a Sharp (1978), ASTM E413-22 (ASTM International, 2022).

Tabla 70. Evaluación de las tres propiedades determinantes

Propiedad	Valor / descripción	Clasificación	Implicación acústica
Masa superficial	$m_1 = 5,15 \text{ kg/m}^2$	Muy Bajo	Ruido aéreo ← Resistencia limitada. Masa ← Factor + restrictivo
Amortiguamiento interno	$\eta = 0,0001-0,0003$	Bajo	Energía de impacto ← Alta transmisión. Convierte el golpe de la gota en sonido irradiado hacia el interior
Continuidad del sistema	$d = 0,5 \text{ m}$	Riesgo moderado - Bajo	Lámina metálica fijada con tornillos — las fijaciones son puentes acústicos directos entre cubierta y estructura (Fielders, 2019)

Nota. Elaboración propia en base a Sharp (1978), Irvine (2010), Sound Damped Steel (s.f.), Fielders (2019), Klimapedia (2019)

El sistema muestra el perfil de deficiencias más extenso del análisis: las zonas deficientes abarcan frecuencias consecutivas en el rango más crítico para la lluvia intensa. La curva de pérdida de transmisión queda claramente por debajo de la curva patrón en todo ese rango, con una deficiencia máxima de 7,8 dB y una suma de 13,6 dB. A partir de 400 Hz la curva TL supera la curva patrón, pero esas frecuencias no son las dominantes en el ruido de lluvia (Sound Reduction Systems, s.f.). La frecuencia más alta del análisis (64,9 Hz) hace que 125 Hz opere prácticamente en el umbral del régimen de masa total, sin aprovechar el beneficio de la cámara en la frecuencia más problemática. Cualitativamente, el deck tiene las tres propiedades en condición desfavorable simultáneamente: masa muy baja ($5,15 \text{ kg/m}^2$), amortiguamiento muy bajo ($\eta = 0,0001-0,0003$; Irvine, 2010) y alta vulnerabilidad a puentes acústicos en las fijaciones (Fielders, 2019). Es el sistema con el perfil más desfavorable del análisis.

Aislamiento Acústico Panel sándwich (núcleo EPS)

M_1 comprende a las capas superiores: Panel Sándwich.

M_2 comprende a las capas inferiores: cielo raso.

Tabla 71. Datos de entrada y frecuencia de resonancia

m_1 (kg/m ²)	m_2 (kg/m ²)	d (m)	m_{red} (kg/m ²)	f_r (Hz) Ec.4
10,03	9,49	0,5	4,48763	54,4 Hz

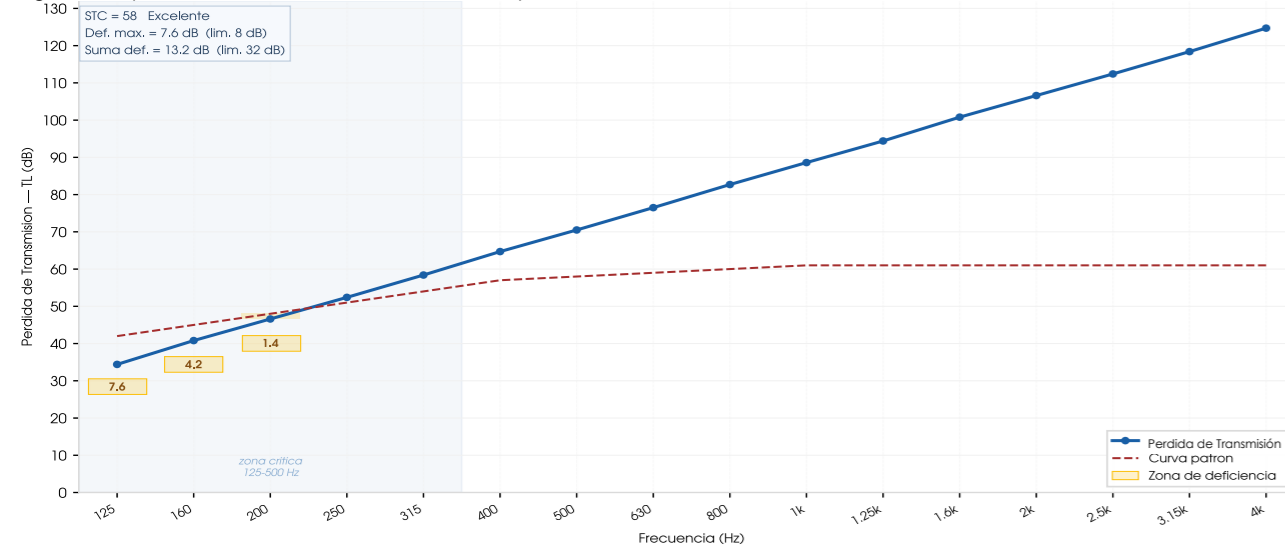
Nota. Elaboración propia en base a las capas del sistema y la ecuación 4.

Tabla 72. Pérdida de Transmisión en las 16 frecuencias (Ec. 2 y 3) - Panel Sándwich

Frecuencia	Pérdida de Transmisión	Curva patrón STC=82
125 Hz	34,4 dB	42 dB ← deficiencia: 7,6 dB
160 Hz	40,8 dB	45 dB ← deficiencia: 4,2 dB
200 Hz	46,6 dB	48 dB ← deficiencia: 1,4 dB
250 Hz	52,4 dB	51 dB
315 Hz	58,4 dB	54 dB
400 Hz	64,7 dB	57 dB
500 Hz	70,5 dB	58 dB
630 Hz	76,5 dB	59 dB
800 Hz	82,7 dB	60 dB
1000 Hz	88,6 dB	61 dB
1250 Hz	94,4 dB	61 dB
1600 Hz	100,8 dB	61 dB
2000 Hz	106,6 dB	61 dB
2500 Hz	112,4 dB	61 dB
3150 Hz	118,4 dB	61 dB
4000 Hz	124,7 dB	61 dB

Nota. Elaboración propia a partir de Sharp (1978), ASTM E413-22 (ASTM International, 2022). STC candidato 58: deficiencia máxima = 7,6 dB (límite: 8 dB) | suma de deficiencias = 13,2 dB (límite: 32 dB). Resultado: STC = 58 — Excelente.

Fig 36. Comparativa Curva de Pérdida de Transmisión y Curva Patrón en las 16 frecuencias Panel Sándwich



Nota. Elaboración propia en base a Sharp (1978), ASTM E413-22 (ASTM International, 2022).

Tabla 73. Evaluación de las tres propiedades determinantes

Propiedad	Valor / descripción	Clasificación	Implicación acústica
Masa superficial	$m_1 = 10,03 \text{ kg/m}^2$	Bajo	Energía de impacto → Alta transmisión. Convierte el golpe de la gota en sonido irradiado hacia el interior
Amortiguamiento interno	$\eta = 0,0001-0,0003$ (caras metálicas)	Bajo-Medio	Disipación moderada de la energía de impacto de la lluvia
Continuidad del sistema	$d = 0,5 \text{ m}$	Riesgo moderado - Bajo	Sistema sobre estructura secundaria. Riesgo de puentes acústicos en los puntos de fijación del tablero (Fielders, 2019)

Nota. Elaboración propia en base a Sharp (1978), Irvine (2010), Fielders (2019), Klimapedia (2019)

El sistema muestra deficiencias en 125, 160, 200 Hz, con una deficiencia máxima de 7,6 dB y una suma de 13,2 dB. La extensión de las zonas deficientes es menor que en el deck metálico, pero el rango problemático coincide igualmente con las frecuencias críticas para la lluvia. La frecuencia de 54.4 Hz es alta dentro del grupo ligero, lo que significa que 125 Hz opera muy cerca del umbral de resonancia, reduciendo el beneficio de la cámara en esa frecuencia. A partir de 315 Hz la curva de pérdida de transmisión supera la curva patrón de forma estable. Cualitativamente, el panel sándwich tiene una situación particular: el núcleo de EPS amortigua parcialmente el impacto entre las caras metálicas, pero esas caras tienen amortiguamiento intrínseco muy bajo ($\eta = 0,001-0,003$ (caras metálicas); Irvine, 2010), lo que lo sitúa por encima del deck pero por debajo de los tableros de madera en resistencia al impacto de lluvia

Aislamiento Acústico Tableros Osb

M_1 comprende a las capas superiores: impermeabilizante autoadhesivo y tableros OSB.

M_2 comprende a las capas inferiores: cielo raso y aislante termoacústico.

Tabla 74. Datos de entrada y frecuencia de resonancia

m_1 (kg/m ²)	m_2 (kg/m ²)	d (m)	m_{red} (kg/m ²)	f_r (Hz) Ec.4
10,65	10,25	0,5	5,2231	52,6 Hz

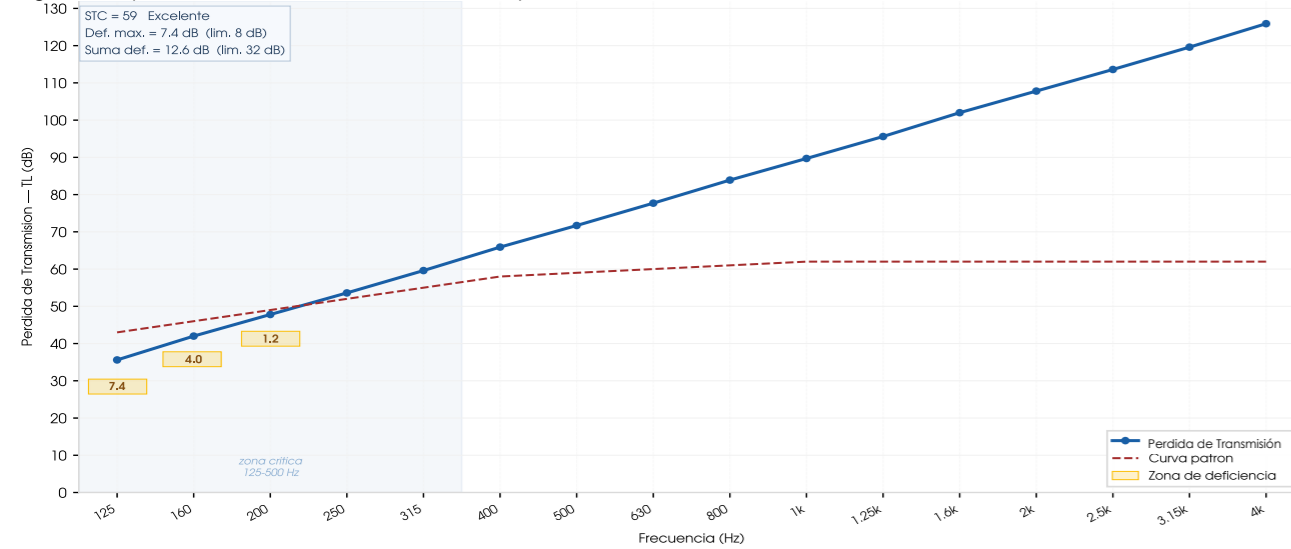
Nota. Elaboración propia en base a las capas del sistema y la ecuación 4.

Tabla 75. Pérdida de Transmisión en las 16 frecuencias (Ec. 2 y 3) - Osb

Frecuencia	Pérdida de Transmisión	Curva patrón STC=82
125 Hz	35,6 dB	43 dB ← deficiencia: 7,4 dB
160 Hz	42 dB	46 dB ← deficiencia: 4 dB
200 Hz	47,8 dB	49 dB ← deficiencia: 1,2 dB
250 Hz	53,6 dB	52 dB
315 Hz	59,6 dB	55 dB
400 Hz	65,9 dB	58 dB
500 Hz	71,7 dB	59 dB
630 Hz	77,7 dB	60 dB
800 Hz	83,9 dB	61 dB
1000 Hz	89,7 dB	62 dB
1250 Hz	95,6 dB	62 dB
1600 Hz	102 dB	62 dB
2000 Hz	107,8 dB	62 dB
2500 Hz	113,6 dB	62 dB
3150 Hz	119,6 dB	62 dB
4000 Hz	125,9 dB	62 dB

Nota. Elaboración propia a partir de Sharp (1978), ASTM E413-22 (ASTM International, 2022). STC candidato 59: deficiencia máxima = 7,4 dB (límite: 8 dB) | suma de deficiencias = 12,6 dB (límite: 32 dB). Resultado: STC = 59 — Excelente

Fig 37. Comparativa Curva de Pérdida de Transmisión y Curva Patrón en las 16 frecuencias OSB



Nota. Elaboración propia en base a Sharp (1978), ASTM E413-22 (ASTM International, 2022).

Tabla 76. Evaluación de las tres propiedades determinantes

Propiedad	Valor / descripción	Clasificación	Implicación acústica
Masa superficial	$m_1 = 10,65 \text{ kg/m}^2$	Bajo	Ruido aéreo—Resistencia limitada. Masa—Factor + restrictivo
Amortiguamiento interno	$\eta = 0,0001-0,0003$	Medio	Disipación moderada de la energía de impacto de la lluvia
Continuidad del sistema	$d = 0,5 \text{ m}$	Riesgo moderado - Bajo	Sistema sobre estructura secundaria. Riesgo de puentes acústicos en los puntos de fijación del tablero (Fielders, 2019)

Nota. Elaboración propia en base a Sharp (1978), Irvine (2010), Fielders (2019), Klimapedia (2019)

El sistema muestra deficiencias en 125, 160, 200 Hz, con una deficiencia máxima de 7,4 dB y una suma de 12,6 dB. La curva de pérdida de transmisión queda por debajo de la patrón en esas tres frecuencias graves y la supera de forma estable a partir de 250 Hz. Comparada con el panel sándwich, la curva TL del OSB tiene una posición levemente superior en todo el espectro, consecuencia de su mayor masa (10,65 vs 10,03 kg/m²). El OSB obtiene STC 59, un punto más que el sándwich. Cualitativamente, el amortiguamiento documentado para tableros de madera prensada ($\eta = 0,010-0,030$; Irvine, 2010) es el más favorable del grupo de sistemas ligeros con valor numérico publicado, lo que le da una ventaja cualitativa frente al impacto de lluvia que el STC no captura directamente.

Tabla 78. Pérdida de Transmisión en las 16 frecuencias (Ec. 2 y 3) - Plywood

Frecuencia	Pérdida de Transmisión	Curva patrón STC=82
125 Hz	33,4 dB	41 dB ← deficiencia: 7,6 dB
160 Hz	39,8 dB	44 dB ← deficiencia: 4,2 dB
200 Hz	45,6 dB	47 dB ← deficiencia: 1,4 dB
250 Hz	51,4 dB	50 dB
315 Hz	57,5 dB	53 dB
400 Hz	63,7 dB	56 dB
500 Hz	69,5 dB	57 dB
630 Hz	75,5 dB	58 dB
800 Hz	81,7 dB	59 dB
1000 Hz	87,6 dB	60 dB
1250 Hz	93,4 dB	60 dB
1600 Hz	99,8 dB	60 dB
2000 Hz	105,6 dB	60 dB
2500 Hz	111,4 dB	60 dB
3150 Hz	117,5 dB	60 dB
4000 Hz	123,7 dB	60 dB

Nota. Elaboración propia a partir de Sharp (1978), ASTM E413-22 (ASTM International, 2022).STC candidato 57: deficiencia máxima = 7,6 dB (límite: 8 dB) | suma de deficiencias = 13,2 dB (límite: 32 dB). Resultado: STC = 57 — Excelente

Aislamiento Acústico Tableros Plywood

M_1 comprende a las capas superiores: impermeabilizante autoadhesivo y tableros Plywood.

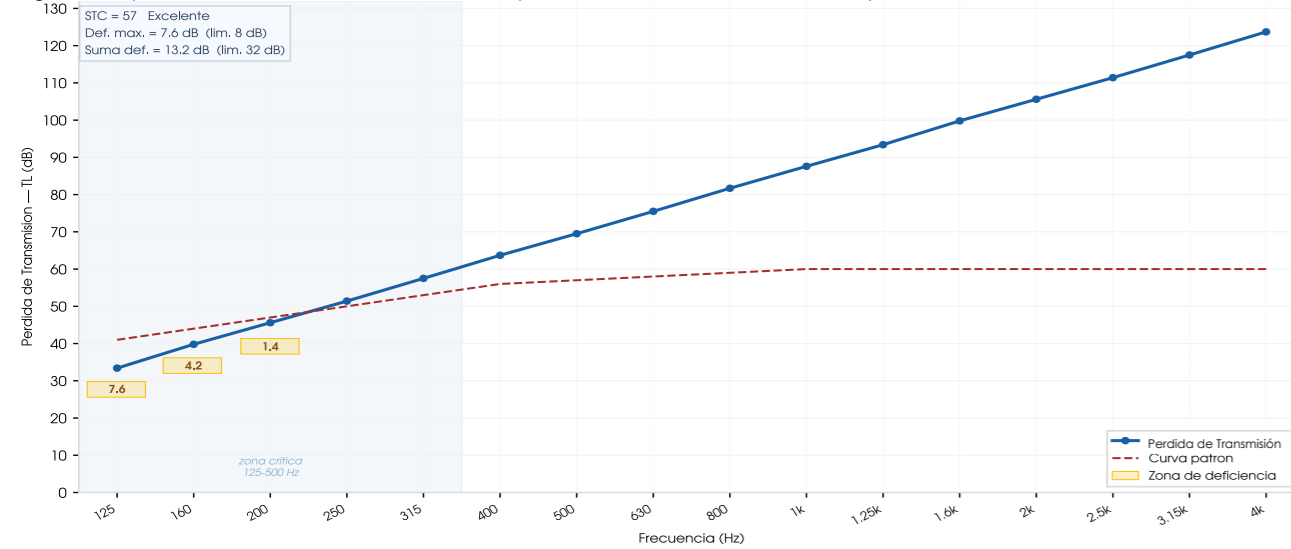
M_2 comprende a las capas inferiores: cielo raso y aislante termoacústico.

Tabla 77. Datos de entrada y frecuencia de resonancia

m_1 (kg/m ²)	m_2 (kg/m ²)	d (m)	m_{red} (kg/m ²)	f_r (Hz) Ec.4
8,28	10,25	0,5	4,5801	56,2 Hz

Nota. Elaboración propia en base a las capas del sistema y la ecuación 4.

Fig 38. Comparativa Curva de Pérdida de Transmisión y Curva Patrón en las 16 frecuencias Plywood



Nota. Elaboración propia en base a Sharp (1978), ASTM E413-22 (ASTM International, 2022).

Tabla 79. Evaluación de las tres propiedades determinantes

Propiedad	Valor / descripción	Clasificación	Implicación acústica
Masa superficial	$m_1 = 8,28 \text{ kg/m}^2$	Muy Bajo	Ruido aéreo ← Resistencia limitada. Masa ← Factor + restrictivo
Amortiguamiento interno	$\eta = 0,013$	Medio - Bajo	Transmisión moderada-alta de energía de impacto
Continuidad del sistema	$d = 0,5 \text{ m}$	Riesgo moderado - Bajo	Sistema sobre estructura secundaria. Riesgo de puentes acústicos en los puntos de fijación del tablero (Fielders, 2019)

Nota. Elaboración propia en base a Sharp (1978), Irvine (2010), Fielders (2019), Klimapedia (2019)

El sistema muestra deficiencias en 125, 160, 200 Hz, con una deficiencia máxima de 7,6 dB y una suma de 13,2 dB, prácticamente idénticas a las del OSB y el sándwich. La frecuencia de 56,2 Hz es la más alta de los tableros de madera, lo que hace que 125 Hz opere justo en el límite del régimen de masa total, sin aprovechar el beneficio de la cámara en esa frecuencia. Las curvas del plywood y el OSB son casi paralelas en todo el espectro, con el plywood levemente por debajo por su menor masa (8,28 vs 10,65 kg/m²). El amortiguamiento del plywood ($\eta = 0,013$; Irvine, 2010) es inferior al del OSB, lo que lo sitúa en posición menos favorable frente al ruido de impacto.

Tabla 81. Pérdida de Transmisión en las 16 frecuencias (Ec. 2 y 3) - Fibrocemento

Frecuencia	Pérdida de Transmisión	Curva patrón STC=82
125 Hz	41,4 dB	49 dB ← deficiencia: 7,6 dB
160 Hz	47,8 dB	52 dB ← deficiencia: 4,2 dB
200 Hz	53,6 dB	55 dB ← deficiencia: 1,4 dB
250 Hz	59,5 dB	58 dB
315 Hz	65,5 dB	61 dB
400 Hz	71,7 dB	64 dB
500 Hz	77,5 dB	65 dB
630 Hz	83,5 dB	66 dB
800 Hz	89,8 dB	67 dB
1000 Hz	95,6 dB	68 dB
1250 Hz	101,4 dB	68 dB
1600 Hz	107,8 dB	68 dB
2000 Hz	113,6 dB	68 dB
2500 Hz	119,5 dB	68 dB
3150 Hz	125,5 dB	68 dB
4000 Hz	131,7 dB	68 dB

Nota. Elaboración propia a partir de Sharp (1978), ASTM E413-22 (ASTM International, 2022). STC candidato 65: deficiencia máxima = 7,6 dB (límite: 8 dB) | suma de deficiencias = 13,2 dB (límite: 32 dB). Resultado: STC = 65 — Excelente

Aislamiento Acústico Tableros Fibrocemento

M_1 comprende a las capas superiores: impermeabilizante autoadhesivo y tableros Fibrocemento.

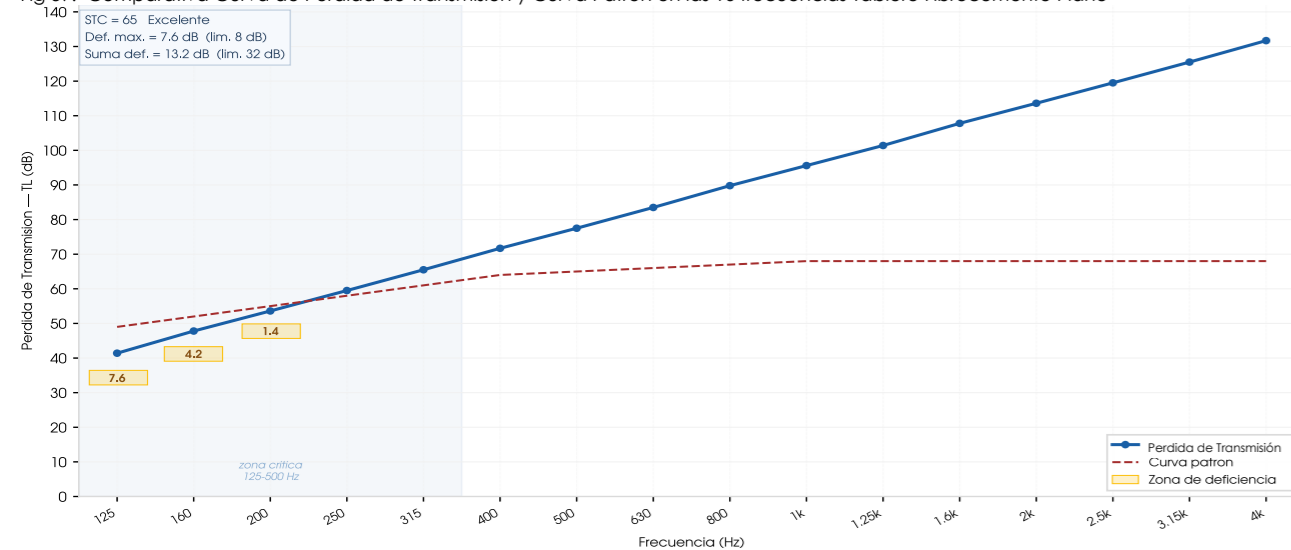
M_2 comprende a las capas inferiores: cielo raso y aislante termoacústico.

Tabla 80. Datos de entrada y frecuencia de resonancia

m_1 (kg/m ²)	m_2 (kg/m ²)	d (m)	m_{red} (kg/m ²)	f_r (Hz) Ec.4
20,86	10,25	0,5	6,8729	45,9 Hz

Nota. Elaboración propia en base a las capas del sistema y la ecuación 4.

Fig 39. Comparativa Curva de Pérdida de Transmisión y Curva Patrón en las 16 frecuencias Tablero Fibrocemento Plano



Nota. Elaboración propia en base a Sharp (1978), ASTM E413-22 (ASTM International, 2022).

Tabla 82. Evaluación de las tres propiedades determinantes

Propiedad	Valor / descripción	Clasificación	Implicación acústica
Masa superficial	$m_1 = 8,28\text{kg/m}^2$	Medio	Ruido aéreo ← Resistencia limitada. Masa ← Factor + restrictivo
Amortiguamiento interno	$\eta = \sin \eta$ publicado independientemente	Medio	Disipación moderada de la energía de impacto de la lluvia
Continuidad del sistema	$d = 0,5\text{ m}$	Riesgo moderado - Bajo	Sistema sobre estructura secundaria. Riesgo de puentes acústicos en los puntos de fijación del tablero (Fielders, 2019)

Nota. Elaboración propia en base a Sharp (1978), Irvine (2010), Fielders (2019), Klimapedia (2019)

El sistema muestra deficiencias en 125, 160, 200 Hz, con una deficiencia máxima de 7,6 dB y una suma de 13,2 dB. Lo más relevante de la gráfica es la separación entre la curva de pérdida de transmisión y la curva patrón a partir de 250 Hz: el fibrocemento supera la exigencia con mayor holgura que cualquier otro sistema ligero, lo que se traduce en el STC más alto del grupo (65) y en una diferencia de 6 puntos respecto al OSB. Esa separación es la expresión visual directa de su mayor masa ($20,86\text{ kg/m}^2$, categoría medio - más del doble que los demás sistemas ligeros). Las deficiencias se limitan a las mismas frecuencias graves que el resto del grupo, con la misma extensión pero menor amplitud que el deck y el sándwich. Cualitativamente, la geometría plana del tablero distribuye la energía del impacto de forma más uniforme que los perfiles corrugados (et al., 2003), y su amortiguamiento intermedio lo sitúa por encima de las láminas metálicas. Es la mejor alternativa ligera del análisis.

3.7 Análisis Constructivo Cubiertas Secas

Dentro del ámbito constructivo, el análisis de tiempos de construcción, se realiza de la misma manera que en cubiertas húmedas. A partir de los rubros provenientes de las bases de datos de la Cámara de la construcción (CAMICON) y Servicio Nacional de Contratación Pública (SERCOP), se seleccionaron tres registros actuales de rendimiento, con los cuales se estableció un valor promedio representativo para cada rubro definido. Posteriormente, para cada rubro, se identificó el rendimiento de mano de obra más representativo dentro de la actividad, adoptando dicho valor como referencia para el cálculo. Una vez definidos los rendimientos individuales, se procedió a la sumatoria de los tiempos de cada rubro que compone el sistema de cubierta, obteniendo así un tiempo total expresado en horas por la unidad que corresponda al desglose de APUS consultados.

Análisis de Tiempos de Cubierta Deck

El sistema se basa en tres APUS. La ausencia de hormigón elimina tiempos elevados como el de fraguado, malla, mortero de pendiente e impermeabilización, lo que reduce radicalmente el plazo de ejecución. La comparación con los sistemas de losa es contundente: para $56,25\text{ m}^2$, el deck se ejecuta en 6,48 días frente a los 45,23 días de la placa colaborante, lo que significa que el deck es 6,9 veces más rápido.

Tabla 83. Tiempos de construcción cubierta Deck

CUBIERTA DECK									
RUBRO		1 m ² (referencia)		3×3 m = 9 m		6×6 m = 36 m ²		7,5×7,5 m = 56,25 m	
N°	Descripción del APU	Horas	Días	Horas	Días	Horas	Días	Horas	Días
	m ²	h/m ²	días/m ²	h	días	h	días	h	días
15	Provisión e Instalación de Estructura Metálica	0,05	0,01	0,45	0,06	1,80	0,23	2,81	0,35
9	Cubierta Deck e=50 mm	0,37	0,05	3,35	0,42	13,39	1,67	20,93	2,62
4	Cielo Raso Gypsum e=1/2" (incl. estructura, empaste y pintura)	0,50	0,06	4,50	0,56	18,00	2,25	28,13	3,52
TOTAL	TIEMPO TOTAL DEL SISTEMA	0,92	0,12	8,30	1,04	33,19	4,15	51,86	6,48

Nota. Elaboración propia en base a los APUS actualizados de la CAMICON y SERCOP. Revisar Anexo 4-9-15 para consultar el APU completo.

Análisis de Tiempos de Cubierta Panel Sándwich
Comparte exactamente la estructura de APUs y los rendimientos del sistema deck, por lo que los tiempos son idénticos en los tres módulos. La equivalencia con el deck confirma que la elección entre ambos sistemas debe basarse en criterios técnicos y económicos, aislamiento térmico, carga, costo de materiales, y no en plazo de construcción, ya que desde la perspectiva del calendario de obra son completamente intercambiables.

Tabla 84. Tiempos de construcción cubierta Panel Sándwich

PANEL SÁNDWICH									
RUBRO		1 m ² (referencia)		3×3 m = 9 m		6×6 m = 36 m ²		7,5×7,5 m = 56,25 m	
N°	Descripción del APU	Horas	Días	Horas	Días	Horas	Días	Horas	Días
	m ²	h/m ²	días/m ²	h	días	h	días	h	días
15	Provisión e Instalación de Estructura Metálica	0,05	0,01	0,45	0,06	1,80	0,23	2,81	0,35
10	Panel Sandwich Kubitoc Total	0,37	0,05	3,35	0,42	13,39	1,67	20,93	2,62
4	Cielo Raso Gypsum e=1/2" (incl. estructura, empaste y pintura)	0,50	0,06	4,50	0,56	18,00	2,25	28,13	3,52
TOTAL	TIEMPO TOTAL DEL SISTEMA	0,92	0,12	8,30	1,04	33,19	4,15	51,86	6,48

Nota. Elaboración propia en base a los APUS actualizados de la CAMICON y SERCOP. Revisar Anexo 4-10-15 para consultar el APU completo.

Análisis de Tiempos de Cubierta Osb
El APU de impermeabilización (0,45 h/m²) es el que diferencia al OSB del deck y sandwich, incrementando el tiempo unitario de 0,922 h/m² a 1,30 h/m². Los tiempos del OSB son idénticos a los del plywood, dado que ambos sistemas comparten los mismos APUs con los mismos rendimientos. La diferencia entre ellos reside exclusivamente en las propiedades físicas del tablero, resistencia a la humedad, rigidez, comportamiento estructural, y no en el tiempo de ejecución.

Tabla 85. Tiempos de construcción cubierta Osb

CUBIERTA OSB									
RUBRO		1 m ² (referencia)		3×3 m = 9 m		6×6 m = 36 m ²		7,5×7,5 m = 56,25 m	
N°	Descripción del APU	Horas	Días	Horas	Días	Horas	Días	Horas	Días
	m ²	h/m ²	días/m ²	h	días	h	días	h	días
15	Provisión e Instalación de Estructura Metálica	0,05	0,01	0,45	0,06	1,80	0,23	2,81	0,35
11	Cubierta OSB	0,30	0,04	2,70	0,34	10,80	1,35	16,88	2,11
4	Cielo Raso Gypsum e=1/2" (incl. estructura, empaste y pintura)	0,50	0,06	4,50	0,56	18,00	2,25	28,13	3,52
12	Impermeabilización con Lámina Asfáltica (Imperpol)	0,45	0,06	4,05	0,51	16,20	2,03	25,31	3,16
TOTAL	TIEMPO TOTAL DEL SISTEMA	1,30	0,16	11,70	1,46	46,80	5,85	73,13	9,14

Nota. Elaboración propia en base a los APUS actualizados de la CAMICON y SERCOP. Revisar Anexo 4-11-12-15 para consultar el APU completo.

Tabla 86. Tiempos de construcción cubierta Plywood

CUBIERTA PLYWOOD									
RUBRO		1 m ² (referencia)		3×3 m = 9 m		6×6 m = 36 m ²		7,5×7,5 m = 56,25 m	
N°	Descripción del APU	Horas	Días	Horas	Días	Horas	Días	Horas	Días
	m ²	h/m ²	días/m ²	h	días	h	días	h	días
15	Provisión e Instalación de Estructura Metálica	0,05	0,01	0,45	0,06	1,80	0,23	2,81	0,35
13	Cubierta Plywood	0,30	0,04	2,70	0,34	10,80	1,35	16,88	2,11
4	Cielo Raso Gypsum e=1/2" (incl. estructura, empaste y pintura)	0,50	0,06	4,50	0,56	18,00	2,25	28,13	3,52
12	Impermeabilización con Lámina Asfáltica (Imperpol)	0,45	0,06	4,05	0,51	16,20	2,03	25,31	3,16
TOTAL	TIEMPO TOTAL DEL SISTEMA	1,30	0,16	11,70	1,46	46,80	5,85	73,13	9,14

Nota. Elaboración propia en base a los APUS actualizados de la CAMICON y SERCOP. Revisar Anexo 4-12-13-15 para consultar el APU completo.

Análisis de Tiempos de Cubierta Plywood

Al igual que con el deck y sandwich, la decisión entre OSB y plywood no puede fundamentarse en el plazo de obra, sino en criterios como el costo unitario del tablero, disponibilidad en el mercado local, y exigencias de humedad o carga del proyecto específico.

Tabla 87. Tiempos de construcción cubierta tablero plano de Fibrocemento

CUBIERTA TABLERO PLANO FIBROCEMENTO									
RUBRO		1 m ² (referencia)		3×3 m = 9 m		6×6 m = 36 m ²		7,5×7,5 m = 56,25 m	
N°	Descripción del APU	Horas	Días	Horas	Días	Horas	Días	Horas	Días
	m ²	h/m ²	días/m ²	h	días	h	días	h	días
15	Provisión e Instalación de Estructura Metálica	0,05	0,01	0,45	0,06	1,80	0,23	2,81	0,35
14	Cubierta Fibrocemento	0,20	0,03	1,80	0,23	7,20	0,90	11,25	1,41
4	Cielo Raso Gypsum e=1/2" (incl. estructura, empaste y pintura)	0,50	0,06	4,50	0,56	18,00	2,25	28,13	3,52
12	Impermeabilización con Lámina Asfáltica (Imperpol)	0,45	0,06	4,05	0,51	16,20	2,03	25,31	3,16
TOTAL	TIEMPO TOTAL DEL SISTEMA	1,20	0,15	10,80	1,35	43,20	5,40	67,50	8,44

Nota. Elaboración propia en base a los APUS actualizados de la CAMICON y SERCOP. Revisar Anexo 4-12-14-15 para consultar el APU completo.

Análisis de Tiempos de Cubierta con Tableros Planos de Fibrocemento

El elemento diferenciador es la placa de fibrocemento con 0,20 h/m², el rendimiento más bajo de cualquier material de cubierta analizado, lo que posiciona a este sistema como el más rápido dentro del grupo de cuatro APUs.

Respecto al OSB y plywood, el fibrocemento representa un ahorro del 7,7% en tiempo (67,50 h vs. 73,13 h para 56,25 m²), ventaja generada por los 0,10 h/m² que gana frente a esos tableros en el rubro de cubierta. Sin embargo, al compararlo con el deck o sandwich, el fibrocemento sigue siendo un 30% más lento, diferencia atribuible al APU de impermeabilización que aquellos sistemas no requieren.

3.8 Análisis Económico Cubiertas Húmedas

Con el propósito de desarrollar el análisis económico comparativo, se recopilaron costos y especificaciones técnicas de los sistemas de cubierta seca a partir de fichas técnicas de proveedores nacionales y catálogos comerciales. Complementariamente, se seleccionaron tres referencias de precios actuales, correspondientes al periodo comprendido entre octubre de 2025 y abril de 2026, obtenidas de las bases de datos de la Cámara de la Industria de la Construcción (CAMICON) y del Sistema Oficial de Contratación Pública (SERCOP). A partir de esta información, los valores fueron procesados y convertidos a costo por metro cuadrado. Finalmente, para cada sistema analizado, se realizó la sumatoria de los rubros que lo componen, con el fin de determinar el costo directo total.

Análisis Económico Cubierta Deck

El sistema deck presenta el costo más bajo de todos los sistemas analizados con \$39,99/m². El cielo raso es el APU de mayor peso económico con \$19,93/m², representando el 49,8% del costo total, seguido del panel deck con \$16,54/m² y la estructura metálica con \$3,53/m². Existe una ventaja económica del sistema deck frente a las cubiertas húmedas, cuesta 5,0 veces menos que la placa colaborante y 7,1 veces menos que la losa nervada. Además combinar el menor costo con el menor tiempo de ejecución.

Tabla 88. Desglose del costo total del sistema de cubierta deck

CUBIERTA DECK (PANEL DECK e=50 mm)		
Nº	Descripción del APU	Costo directo (\$/m²)
	Unidad	
15	Provisión e Instalación de Estructura Metálica	\$ 3,53
9	Cubierta Deck e=50 mm	\$ 16,54
4	Cielo Raso Gypsum e=1/2" (incl. estructura, empaste y pintura)	\$ 19,93
TOTAL	COSTO TOTAL DEL SISTEMA	\$ 39,99

Nota. Elaboración propia en base a Kubiec (Deck Kubiloc Total) y los APUS actualizados de la CAMICON y SERCOP. Revisar Anexo 4-9-15 para consultar el APU completo.

Análisis Económico Cubierta Panel Sándwich

El panel sandwich registra un costo de \$59,87/m², posicionándose como el sistema más costoso dentro del grupo de cubiertas ligeras. Su estructura de tres rubros coloca al panel Kubiloc Total como elemento dominante con \$40,93/m², representando el 68,4% del costo total.

Frente al deck, el sándwich cuesta un 49,7% más (\$59,87 vs. \$39,99/m²), diferencia que se origina íntegramente en el mayor valor del panel Kubiloc respecto al panel deck (\$40,93 vs. \$16,54/m²). Esta brecha de \$24,39/m² en el material de cubierta representa el sobre costo de incorporar el aislamiento térmico y acústico integrado que caracteriza al sistema sandwich. Dado que ambos sistemas son idénticos en tiempo de ejecución, la decisión entre deck y sandwich debe evaluarse en función de si las prestaciones adicionales del sandwich, confort térmico, reducción de puentes térmicos, aislación acústica, justifican ese sobre costo desde la perspectiva del uso final del espacio.

Tabla 89. Desglose del costo total del sistema de cubierta de panel sándwich

PANEL SANDWICH		
Nº	Descripción del APU	Costo directo (\$/m²)
	Unidad	
15	Provisión e Instalación de Estructura Metálica	\$ 3,55
10	Panel Sandwich Kubiloc Total 38	\$ 40,93
4	Cielo Raso Gypsum e=1/2" (incl. estructura, empaste y pintura)	\$ 15,38
TOTAL	COSTO TOTAL DEL SISTEMA	\$ 59,87

Nota. Elaboración propia en base a Kubiec (Panel Sandwich Kubiloc Total 38) y los APUS actualizados de la CAMICON y SERCOP. Revisar Anexo 4-10-15 para consultar el APU completo.

Análisis Económico Cubierta con Tableros Osb

El sistema OSB alcanza un costo de \$50,13/m² con cuatro rubros. El cielo raso de gypsum encabeza la distribución con \$19,93/m² (39,7% del total), seguido del tablero OSB con \$15,62/m², la lámina asfáltica Imperpol con \$11,03/m² y la estructura metálica con \$3,55/m². La incorporación del APU de impermeabilización independiente, ausente en el deck y sandwich, es el factor que diferencia económicamente a este sistema, representando el 22,0% del costo total.

Frente al deck (\$39,998/m²), el OSB es un 25,3% más caro, diferencia explicada casi en su totalidad por la lámina asfáltica. Frente al plywood, la diferencia se reduce a apenas \$0,16/m² (0,3%), siendo el tablero OSB (\$15,62/m²) marginalmente más costoso que el de plywood (\$15,46/m²). Esta equivalencia práctica entre OSB y plywood confirma que la elección entre ambos materiales no puede fundamentarse en el precio sino en criterios técnicos de resistencia, comportamiento frente a la humedad y disponibilidad local.

Tabla 90. Desglose del costo total del sistema de cubierta con tableros OSB

CUBIERTA OSB		
Nº	Descripción del APU	Costo directo (\$/m ²)
	Unidad	
15	Provisión e Instalación de Estructura Metálica	\$ 3,55
11	Cubierta OSB	\$ 15,62
4	Cielo Raso Gypsum e=1/2" (incl. estructura, empaste y pintura)	\$ 19,93
12	Impermeabilización con Lámina Asfáltica (Imperpol)	\$ 11,03
TOTAL	COSTO TOTAL DEL SISTEMA	\$ 50,13

Nota. Elaboración propia en base a los APUS actualizados de la CAMICON y SERCOP. Revisar Anexo 4-11-12-15 para consultar el APU completo.

Análisis Económico Cubierta con Tableros Plywood

El plywood presenta un costo de \$49,97/m², el más económico dentro del grupo de sistemas de cuatro APUS. Su distribución de costos es prácticamente idéntica a la del OSB: cielo raso (\$19,93/m²), tablero plywood (\$15,46/m²), lámina asfáltica (\$11,03/m²) y estructurametálica(\$3,55/m²). El cielorasorepresenta el 39,9% del costo total, la mayor proporción relativa de todos los sistemas de cuatro APUs.

La diferencia de \$0,16/m² respecto al OSB, originada exclusivamente en el menor precio del tablero de plywood, es económicamente irrelevante a cualquier escala de proyecto. Para el módulo mayor de 56,25 m² esa diferencia equivale a apenas \$9,00 en el costo total, lo que ratifica que plywood y OSB son intercambiables desde el punto de vista presupuestario y que la decisión debe tomarse con base en las especificaciones técnicas del proyecto.

Tabla 91. Desglose del costo total del sistema de cubierta con tableros plywood

CUBIERTA PLYWOOD		
Nº	Descripción del APU	Costo directo (\$/m ²)
	Unidad	
15	Provisión e Instalación de Estructura Metálica	\$ 3,55
13	Cubierta Plywood	\$ 15,46
4	Cielo Raso Gypsum e=1/2" (incl. estructura, empaste y pintura)	\$ 19,93
12	Impermeabilización con Lámina Asfáltica (Imperpol)	\$ 11,03
TOTAL	COSTO TOTAL DEL SISTEMA	\$ 49,97

Nota. Elaboración propia en base a los APUS actualizados de la CAMICON y SERCOP. Revisar Anexo 4-12-13-15 para consultar el APU completo.

Análisis Económico Cubierta con Tableros Planos de Fibrocemento

El fibrocemento registra un costo de \$45,75/m², posicionándose como el segundo sistema más económico tras el deck y el más asequible dentro del grupo de cuatro APUS. El tablero plano de fibrocemento con \$11,23/m² es el material de cubierta de menor costo entre todos los sistemas ligeros analizados, lo que otorga a este sistema su ventaja competitiva frente a OSB y plywood. El cielo raso (\$19,93/m²) representa el 43,6% del costo total, la proporción más alta de cualquier sistema, reflejo del bajo precio relativo del panel de fibrocemento que reduce el peso de los demás rubros. Frente al OSB (\$50,13/m²) y plywood (\$49,97/m²), el fibrocemento ofrece un ahorro de entre \$4,22 y \$4,38/m² (8,4% y 8,8% respectivamente), ventaja generada por la diferencia en el material de cubierta (\$11,23/m² vs. \$15,62/m² y \$15,46/m²). Sin embargo, comparado con el deck (\$39,998/m²), el fibrocemento sigue siendo un 14,4% más caro, diferencia atribuible exclusivamente al APU de impermeabilización con lámina asfáltica que el deck no requiere. Esto evidencia que la lámina asfáltica es el límite económico que separa a los sistemas ligeros con impermeabilización independiente de los que la tienen incorporada en el panel.

Tabla 92. Desglose del costo total del sistema de cubierta con tableros OSB

CUBIERTA FIBROCEMENTO		
Nº	Descripción del APU	Costo directo (\$/m ²)
	Unidad	
15	Provisión e Instalación de Estructura Metálica	\$ 3,55
14	Cubierta Fibrocemento	\$ 11,23
4	Cielo Raso Gypsum e=1/2" (incl. estructura, empaste y pintura)	\$ 19,93
12	Impermeabilización con Lámina Asfáltica (Imperpol)	\$ 11,03
TOTAL	COSTO TOTAL DEL SISTEMA	\$ 45,75

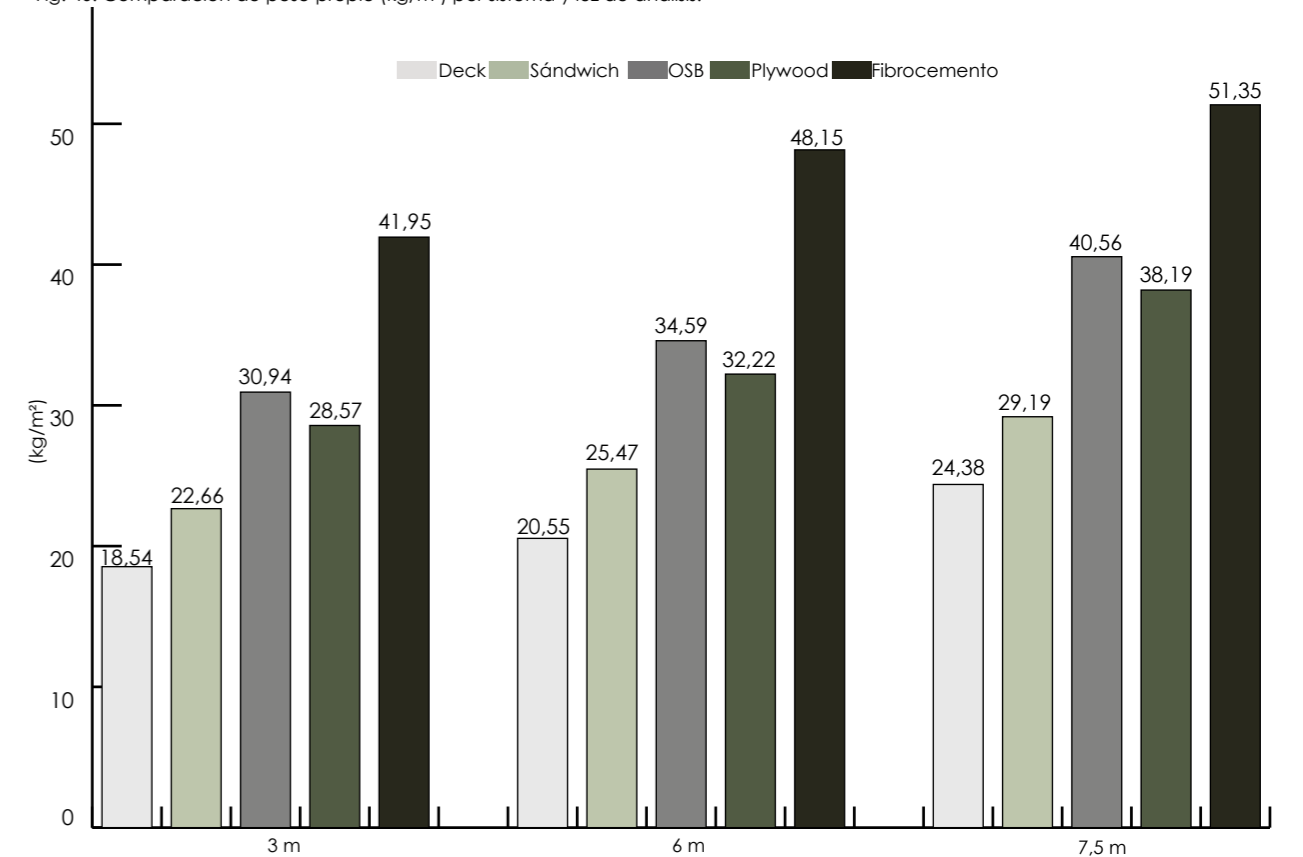
Nota. Elaboración propia en base a los APUS actualizados de la CAMICON y SERCOP. Revisar Anexo 4-12-14-15 para consultar el APU completo.

3.9 Comparativa de Sistemas de Cubiertas Secas

El análisis comparativo de los cinco sistemas de cubierta seca estudiados: deck metálico, panel sándwich, tablero OSB, tablero plywood y tablero plano de fibrocemento, se estructura en torno a cuatro parámetros de evaluación: peso propio, transmitancia térmica (factor U), aislamiento acústico (índice STC) y desempeño económico-constructivo (costo directo y tiempo de ejecución). Cada dimensión fue evaluada de manera consistente para las tres luces de referencia de 3, 6 y 7,5 metros, permitiendo identificar el comportamiento de cada sistema no sólo en términos absolutos sino también en función de la variación que introducen las luces estructurales.

La comparación se establece sobre una base estructural homogénea, de modo que las diferencias observadas entre sistemas sean atribuibles exclusivamente al tipo de cubierta empleado. El objetivo de esta sección es sintetizar los resultados obtenidos en cada dimensión analizada, evidenciar las diferencias entre sistemas y fundamentar la selección de los sistemas que presentan las condiciones más favorables dentro del grupo de cubiertas secas.

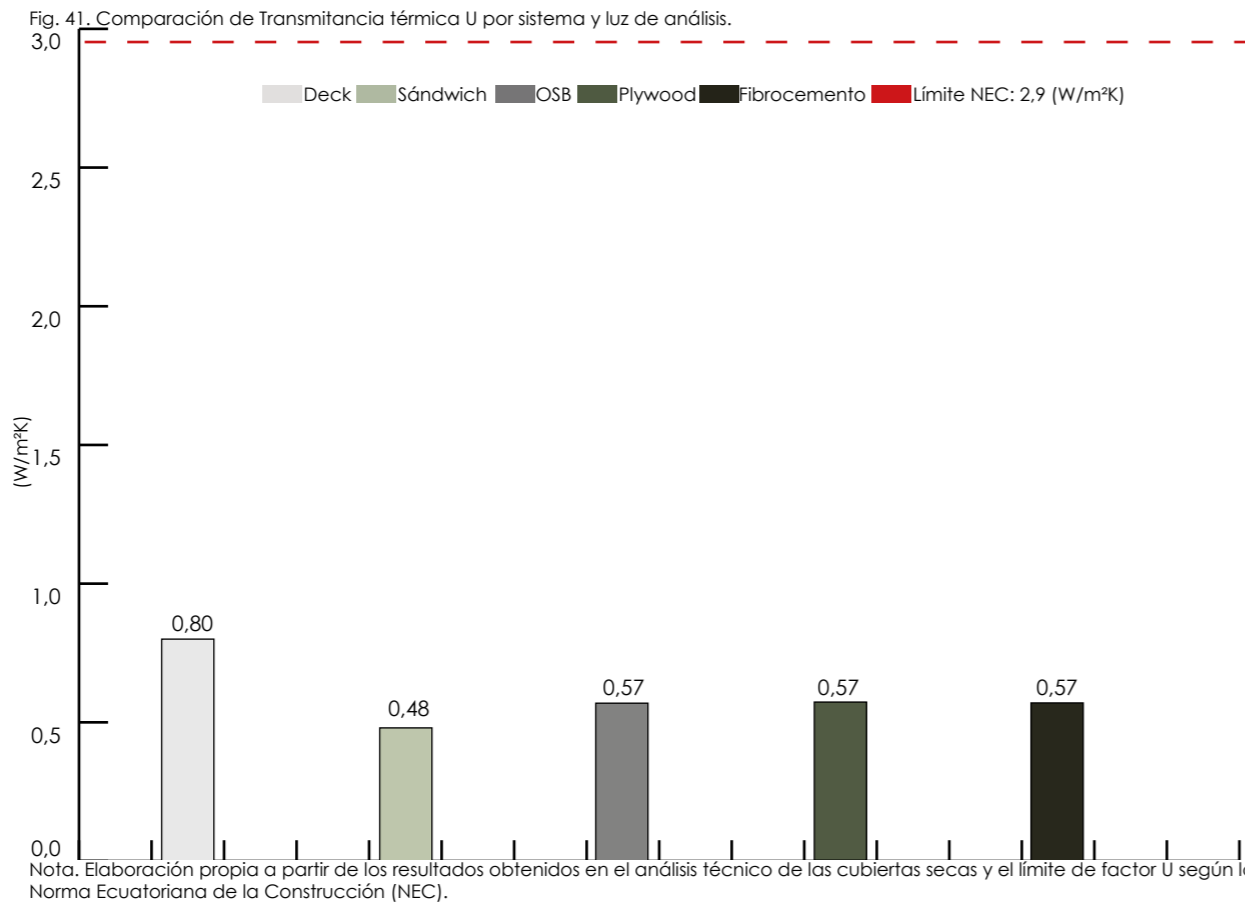
Fig. 40. Comparación de peso propio (kg/m²) por sistema y luz de análisis.



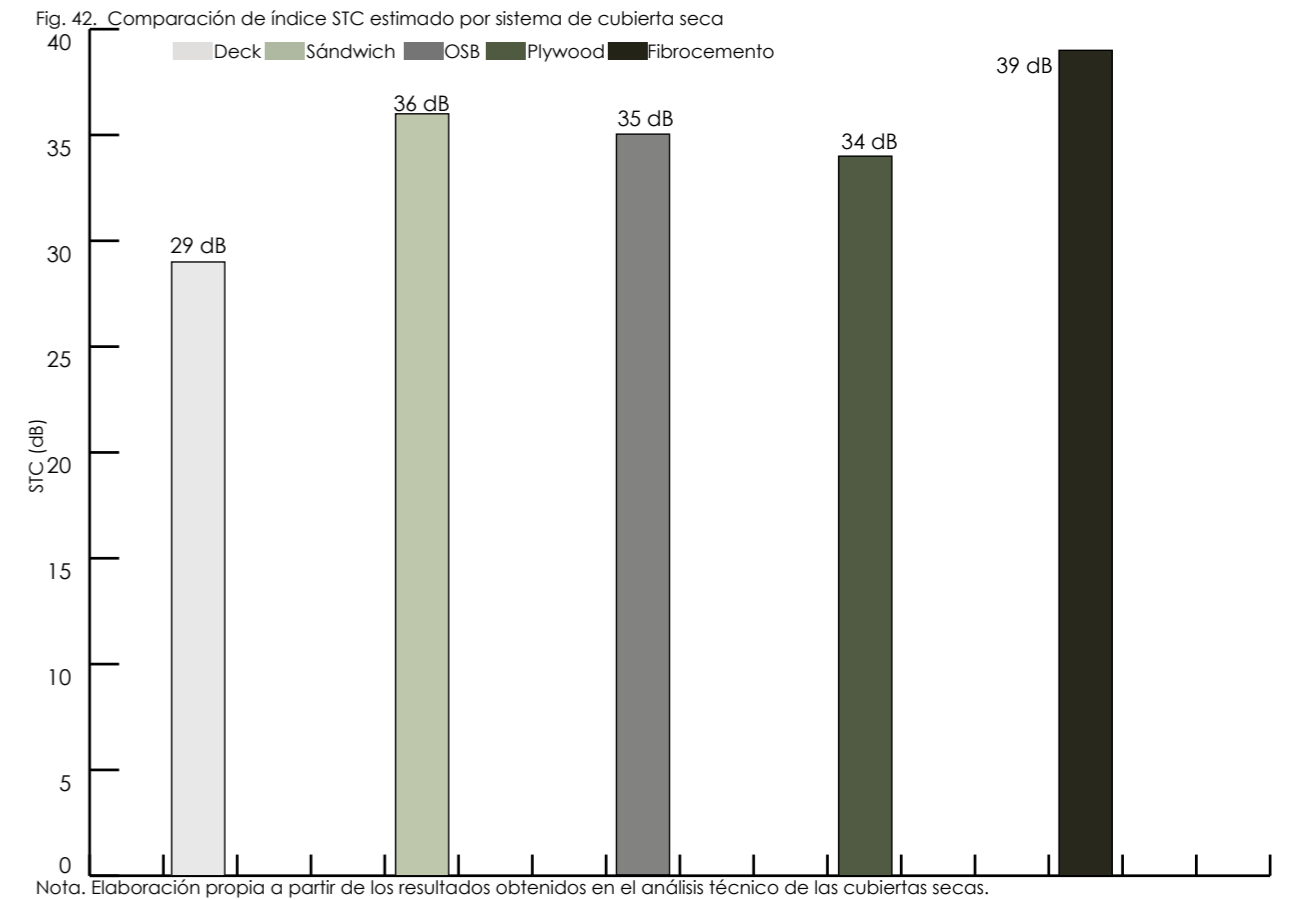
Nota. Elaboración propia a partir de los resultados obtenidos en el análisis técnico de las cubiertas secas.

Todos los sistemas se encuentran por debajo del umbral de 100 kg/m² establecido para cubiertas ligeras según el Código Técnico de la Edificación (CTE). La variación entre luces se origina exclusivamente en el incremento del peso de la subestructura y las vigas secundarias, mientras que el elemento de cubierta propiamente dicho permanece constante. El deck metálico y el panel sándwich conforman el grupo de menor peso, con una diferencia entre sí inferior a 5 kg/m² en todas las luces. El fibrocemento es el más pesado del grupo, superando al deck en más de 23 kg/m² en promedio.

El factor U es independiente de la luz analizada, ya que la composición de capas no varía entre módulos. Todos los sistemas cumplen holgadamente el límite normativo de 2,9 W/m²K establecido por la NEC para espacios habitables no climatizados de la zona climática 3 continental lluviosa (Cuenca). La ventaja del panel sándwich reside en que su aislamiento térmico está integrado en el propio núcleo de poliuretano del panel, sin depender de capas adicionales. Los sistemas de tablero, OSB, plywood y fibrocemento, alcanzan valores similares entre sí gracias a la lana de vidrio incorporada en la cámara de aire sobre el cielo raso.

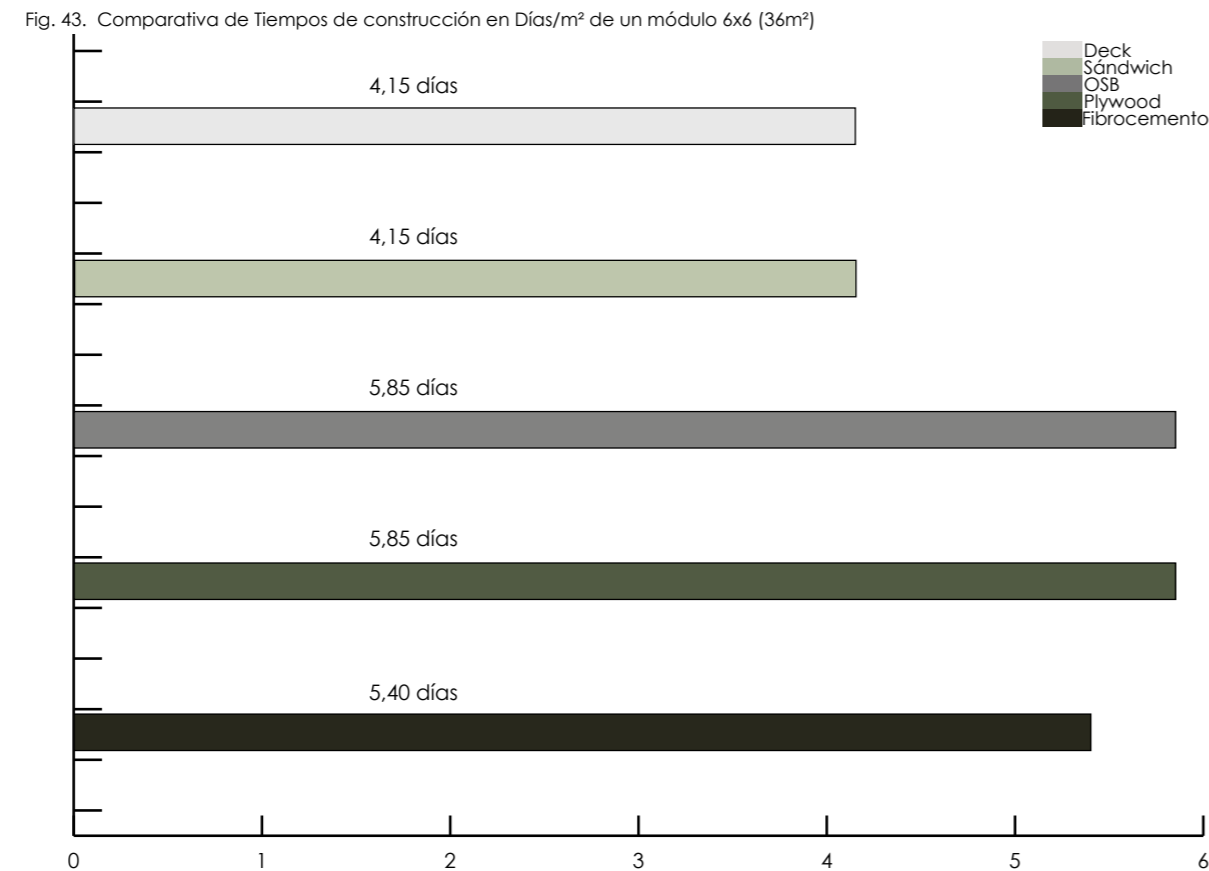


El índice STC es constante para cada sistema independientemente de la luz, dado que la masa de las hojas no varía entre módulos. La mayor masa superficial del tablero de fibrocemento (20,86 kg/m²) le otorga el mejor índice STC del grupo con 39 dB. El deck metálico presenta el valor más bajo con 29 dB, consecuencia directa de la baja masa de la plancha metálica; este comportamiento lo hace especialmente susceptible a la excitación por impacto de lluvia. El panel sándwich, con STC 36 dB, supera a los tableros OSB y plywood gracias al efecto amortiguador de su núcleo de EPS, compensando su menor masa superficial respecto al fibrocemento.



El deck metálico y el panel sándwich comparten el menor tiempo de ejecución en todos los módulos analizados, con 1,04 días para 9 m², 4,15 días para 36 m² y 6,48 días para 56,25 m².

Esta equivalencia se explica porque ambos sistemas comparten el mismo esquema de tres APUS sin requerir un proceso de impermeabilización independiente. Los sistemas de tablero, OSB, plywood y fibrocemento, incorporan un APU adicional de lámina asfáltica que incrementa el tiempo global entre un 30% y un 41% respecto al deck. OSB y plywood son idénticos en tiempo de ejecución, con 5,85 días para el módulo mayor, dado que comparten los mismos rendimientos en cada rubro.

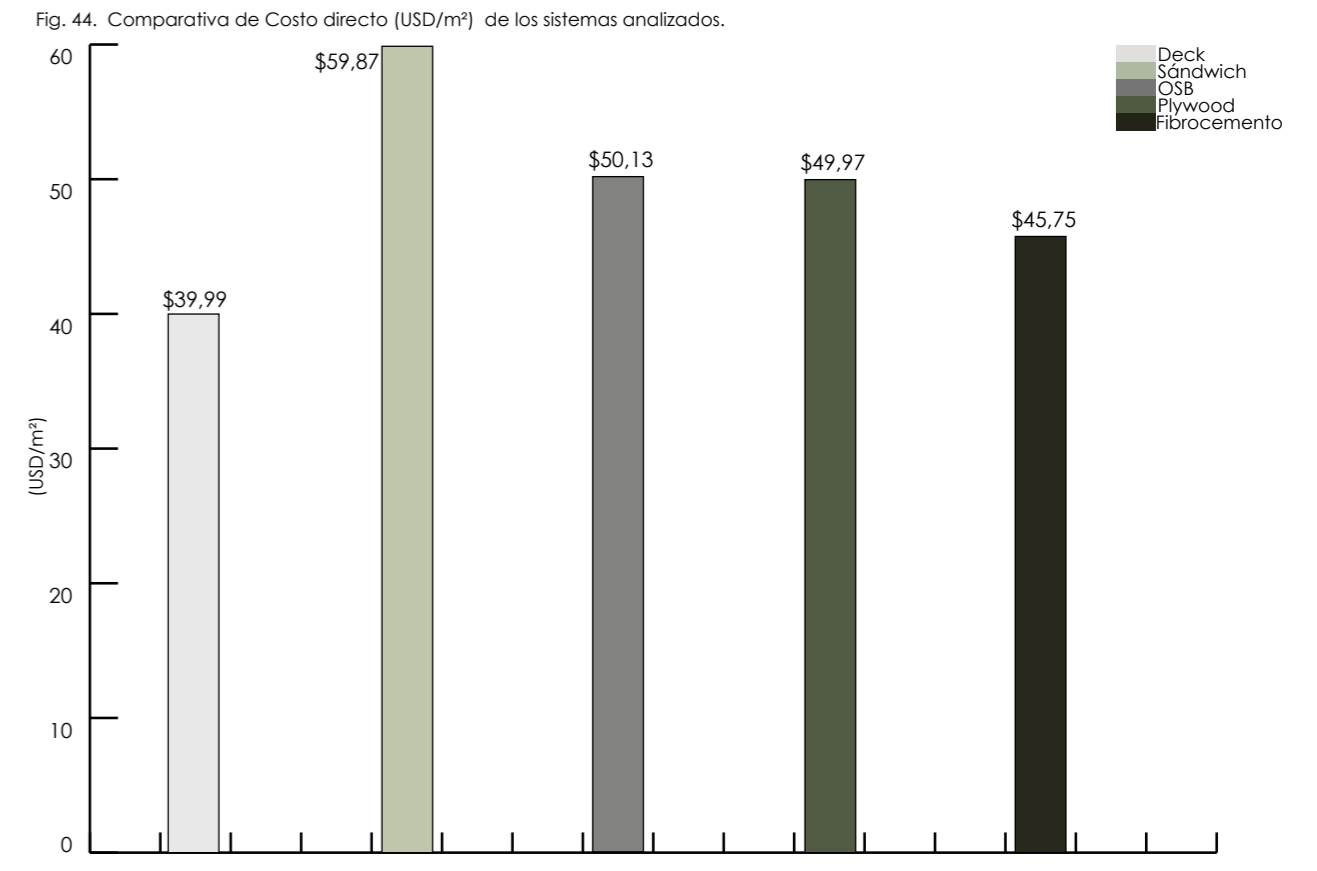


Nota. Elaboración propia a partir de los resultados obtenidos en el análisis constructivo de las cubiertas secas.

El deck metálico es el sistema más económico del grupo con \$ 39,99/m², seguido por el fibrocemento (\$ 45,75/m²), el plywood (\$49,97/m²), el OSB (\$50,13/m²) y el panel sándwich (\$ 59,87/m²).

La diferencia entre OSB y plywood es de apenas \$0,16/m², haciéndolos económicamente equivalentes.

El panel sándwich es el más costoso del grupo, con un sobrecosto de \$19,88/m² (47%) respecto al deck, diferencia atribuible íntegramente al mayor valor del panel Kubiloc frente a la plancha metálica del deck. Este sobrecosto incorpora las prestaciones de aislamiento térmico y acústico integrado que los demás sistemas solo logran mediante capas adicionales.



Nota. Elaboración propia a partir de los resultados obtenidos en el análisis económico de las cubiertas secas.

Del análisis comparativo realizado se desprende que no existe un único sistema que sea el mejor en todas las dimensiones evaluadas. Sin embargo, la evaluación conjunta de peso propio, aislamiento térmico, aislamiento acústico, tiempo de ejecución y costo por metro cuadrado permite identificar al deck metálico y al panel sándwich como los dos sistemas con las condiciones más favorables dentro del grupo de cubiertas secas analizadas.

El deck metálico se posiciona como la opción más eficiente desde una perspectiva económica y de plazo: registra el menor costo directo con \$39,99/m² y el menor tiempo de ejecución con 6,48 días para un módulo de 56,25 m², compartiendo este último valor únicamente con el panel sándwich.

Su peso propio es el más reducido del grupo, con valores que oscilan entre 18,54 y 24,38 kg/m² según la luz, lo que representa una ventaja estructural significativa.

Su principal limitación radica en el aislamiento acústico, con un STC estimado de 29 dB, el más bajo del grupo, derivado de la baja masa de la plancha metálica frente a la excitación por impacto de lluvia; limitación que puede atenuarse con tratamientos complementarios pero que lo hace menos indicado en usos

donde el confort acústico sea determinante.

El panel sándwich por su parte integra en un único elemento prefabricado las funciones de cerramiento, impermeabilización y aislamiento termoacústico, lo que le confiere el mejor desempeño térmico del grupo con valores U en el rango de 0,35 a 0,60 W/m²K, ampliamente por debajo del límite normativo de 2,9 W/m²K de la NEC, y un STC estimado de 36 dB, superado únicamente por el fibrocemento. Su tiempo de ejecución es idéntico al del deck al compartir el mismo esquema de tres APUS sin impermeabilización independiente.

El sobrecosto respecto al deck, de \$19,56/m² (47%), queda justificado en aquellos usos donde las prestaciones integradas del sistema, confort térmico, reducción de puentes térmicos y aislación acústica, sean requisitos del programa arquitectónico, eliminando además la necesidad de capas adicionales de aislamiento.

En síntesis, el sistema de cubierta deck resulta preferente cuando el criterio principal es la economía y la velocidad de ejecución, mientras que el panel sándwich es la opción más completa cuando el proyecto demanda un sistema de mayor desempeño térmico y acústico sin incremento en los plazos de obra.

Por estas razones los sistemas seleccionados para la aplicación en el caso de estudio son la cubierta deck y la cubierta de panel sándwich, fundamentados en las ventajas que se hallaron al realizar los análisis pertinentes.

3.10 Análisis de Referentes

El desarrollo se basa en analizar los parámetros investigados en cuanto a los referentes con el fin de adoptar las condiciones que se consideren pertinentes para la propuesta del sistema de cubierta que se aplicará en el caso de estudio.

Complejo Deportivo Fontela

El referente: Ampliación y Acondicionamiento del Complejo Deportivo Fontenla, Santa Comba (A Coruña, España), es tomado debido a su aplicación de cubierta de panel sándwich como solución de cerramiento en una edificación. La adopción de este sistema como elemento se justifica técnicamente por su naturaleza de elemento compuesto autoportante, que integra en una sola unidad constructiva tres funciones diferenciadas: protección frente a la intemperie, aislamiento térmico-acústico, y acabado interior. Esta integración reduce las capas húmedas en obra, algo esencial en edificios educativos, como es nuestro caso de estudio, donde los plazos de construcción deben minimizarse y las condiciones de habitabilidad son exigentes desde el primer día de uso.

La composición de capas de este sistema de cubierta de panel sándwich es de:

1. Cara exterior de acero inoxidable (1 cm)

La cara exterior de acero inoxidable cumple una función doble: actúa como barrera de protección frente a la intemperie y, junto con la cara interior, aporta rigidez a flexión al conjunto del panel. Esta capacidad resistente permite que el panel trabaje como elemento autoportante entre apoyos, salvando luces entre puntos de fijación sin deformaciones excesivas y sin necesidad de subestructura adicional.

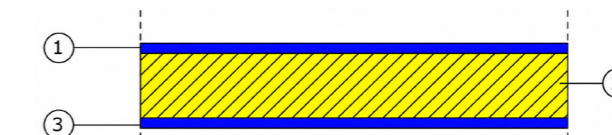
2. Núcleo de lana mineral (10 cm)

La lana mineral como núcleo aislante se justifica por su comportamiento frente al fuego, la capacidad de absorción acústica, la cual contribuye al control de ruido aéreo como de impacto como lo es la lluvia.

3. Cara interior de acero inoxidable (1 cm)

Actúa como acabado interior resistente y de fácil mantenimiento, adecuado para espacios de uso intensivo como los educativos. Su rigidez contribuye además a la capacidad del panel para trabajar a flexión compuesta.

Fig. 45. Composición por capas del panel sándwich



Nota. Tomado de "Ampliación y Acondicionamiento del Complejo Deportivo Fontenla en Santa Comba (A Coruña)". p 56

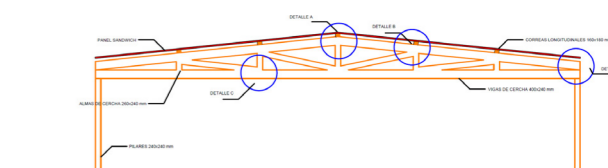
En cuanto al sistema de fijación de este sistema de cubierta, se adoptan los principios del sistema de fijación del panel a su soporte, prescindiendo de los perfiles estructurales específicos de madera laminada que corresponden a ese proyecto. A continuación, la lógica constructiva del sistema:

Sistema en seco: la fijación del panel mediante tornillería permite el desmontaje y la reposición de piezas individuales, lo que facilita el mantenimiento.

Perfilería de apoyo galvanizada: el uso de un perfil de apoyo entre el panel y el elemento portante actúa como elemento de regularización, absorbiendo las tolerancias de montaje de la estructura sin transmitir las al panel.

Angular metálico de remate: el perfil angular en el encuentro entre el panel y la estructura evita concentraciones de tensión en los bordes del panel, zona vulnerable frente a cargas de viento con efecto de succión.

Fig. 46. Sección transversal del complejo deportivo Fontela.



Nota. Tomado de "Ampliación y Acondicionamiento del Complejo Deportivo Fontenla en Santa Comba (A Coruña)". p 53

Edificio Wozoco

El referente: Edificio Wozoco, realizado sobre una obra construida entre 1994 y 1997 (Ámsterdam) proyecto residencial, de 100 viviendas, con una superficie de 7.500 m² y presupuesto de €4.500.000, es tomado como un referente de cubierta deck debido a la composición mostrada del sistema de cubierta y el comportamiento técnico de cada capa, sin adoptar los elementos de la estructura principal del edificio (hormigón armado y cerchas metálicas de los voladizos), que responden a condiciones específicas de ese proyecto. La composición de capas de la edificación se compone en:

1. Lámina impermeable

La lámina impermeable es la capa de primera línea de defensa frente a la entrada de agua. El sistema deck trata la impermeabilización como una capa independiente, lo que permite su sustitución o reparación sin intervenir en el resto del sistema.

2. Aislamiento térmico — Lana de roca (6 cm)

Al igual que en el panel sándwich, la lana de roca se selecciona como material aislante. Su espesor de 6 cm en el referente Wozoco puede ajustarse en la propuesta según las exigencias térmicas de la normativa aplicable al caso de estudio.

3. Barrera de vapor (1 mm)

La barrera de vapor es el elemento que diferencia técnicamente el sistema deck del panel sándwich. En un edificio educativo, donde el interior se mantiene climatizado y con alta ocupación simultánea, la diferencia de presión de vapor entre el interior caliente y húmedo y el exterior frío genera un flujo de vapor a través de la cubierta.

Sin una barrera de vapor correctamente posicionada por debajo del aislante, ese flujo de vapor llegaría a la zona fría del sistema, donde condensaría en forma líquida, saturando progresivamente el aislante, reduciendo su eficacia térmica y generando humedad intersticial que puede derivar en patologías graves: corrosión de la chapa, eflorescencias en el cielo raso, o crecimiento de microorganismos.

4. Chapa grecada de acero — DECK (4 mm)

La chapa grecada de acero es el elemento estructural central del sistema deck. Su geometría nervada le confiere una inercia a flexión muy superior a la de una chapa plana del mismo espesor, permitiéndole salvar luces entre apoyos con un peso propio reducido.

La chapa deck cumple una función doble en el sistema de cubierta propuesto:

- Soporte de cargas gravitatorias

- Diafragma horizontal rígido

La fijación de la chapa deck a la subestructura es mediante tornillos autoperforantes.

5. Cámara de aire

La cámara de aire entre la chapa deck y la subestructura cumple dos funciones técnicas:

- Contribuye a la disipación térmica del sistema.

- Permite el paso de instalaciones.

6. Subestructura metálica

Tiene como función la transmisión de las cargas de la cubierta a la estructura principal del edificio.

7. Cielo raso de yeso laminado suspendido

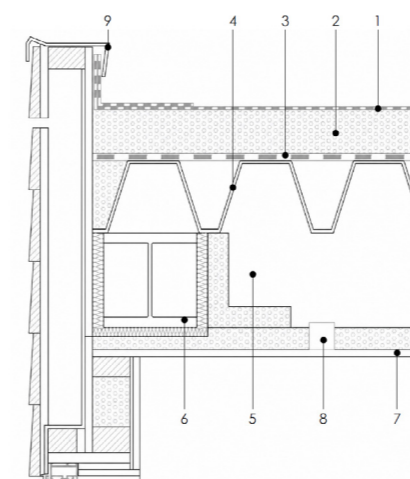
El cielo raso suspendido de yeso laminado cierra el sistema por su cara interior y cumple tres funciones técnicas complementarias:

Proporciona el acabado interior requerido para un uso educativo

Contribuye al control acústico del espacio interior mediante la absorción del ruido aéreo

Permite el mantenimiento e inspección de las instalaciones que discurren por la cámara.

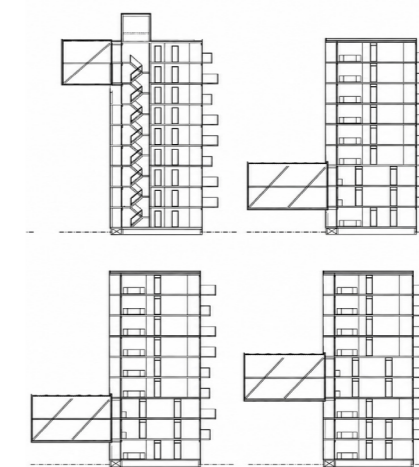
Fig. 51. Detalle constructivo de evacuación de aguas lluvia



Nota. Tomado de "Aproximación Arquitectónica y Análisis Constructivo del Edificio Wozoco de MVRDV", pg 40

1. Lámina impermeable (no especifica el tipo)
2. Aislamiento térmico (lana de roca) 0,06 m
3. Barrera de vapor 0,001 m
4. Chapa grecada acero (deck) 0,004 m
5. Cámara de aire
6. Perfil metálico (no especificado)
7. Acabado interior (cielo raso de yeso)
8. Estructura cielo raso
9. Goterón de Aluminio lacado

Fig. 52. Secciones Edificio Wozoco



Nota. Tomado de "Aproximación Arquitectónica y Análisis Constructivo del Edificio Wozoco de MVRDV", p. 32

SISTEMA DE ANCLAJE Y FIJACIÓN

No se especifica con exactitud la fijación del sistema pero los detalles constructivos y la información nos permite inferir el sistema de fijación.

Información existente:

- Perfilera metálica
- Subestructura
- Chapa metálica (soporte de cubierta)
- Cielo raso suspendido

Se puede inferir que la chapa metálica se fija mediante conexiones mecánicas a los elementos secundarios. En este tipo de sistema es común el uso de fijaciones puntuales, como tornillos autoperforantes o similares. Tanto para la cubierta de panel sándwich como la cubierta deck, responden a principios comunes extraídos de ambos referentes, sin reproducir los detalles específicos de conexión a sus respectivas estructuras portantes.

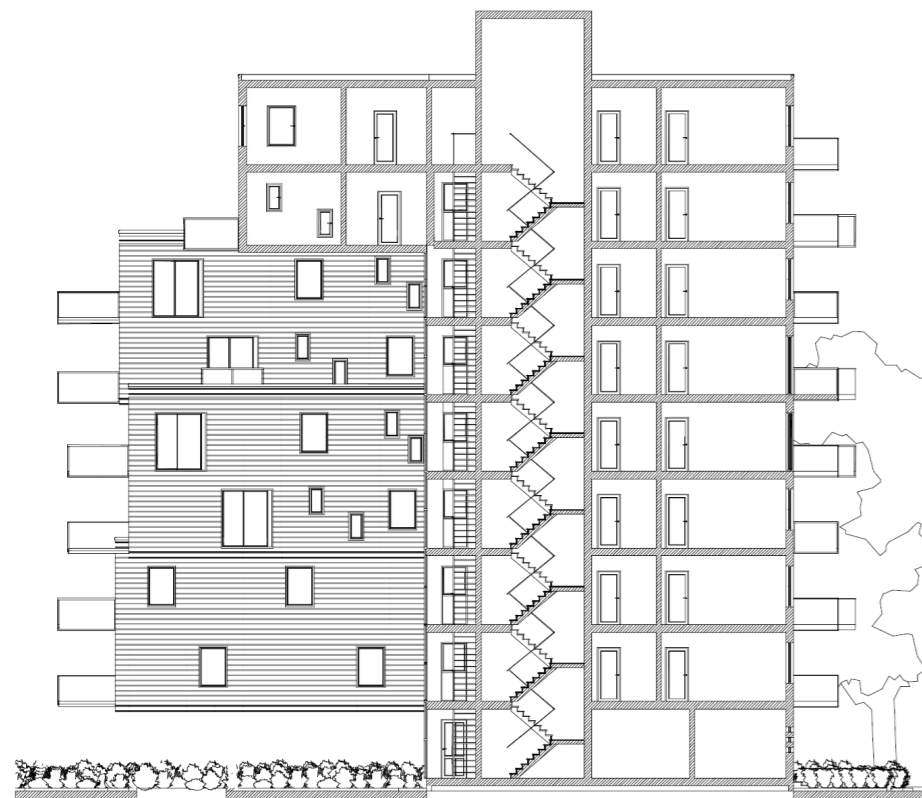
- Sistema completamente en seco: la totalidad de las fijaciones entre capas se resuelven mediante tornillería y perfilera metálica, sin adhesivos ni morteros.

- Perfilera de regularización: entre el panel sándwich y su soporte, y entre la chapa deck y su subestructura, se interpone una perfilera de apoyo que absorbe las tolerancias de montaje sin transmitir las a los elementos de cerramiento.

- Tornillos autoperforantes en deck: la fijación de la chapa deck a la subestructura mediante tornillos autoperforantes garantiza la transmisión de cortante en el plano del diafragma. S

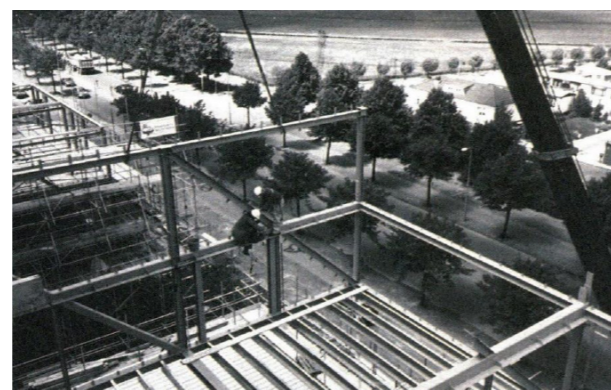
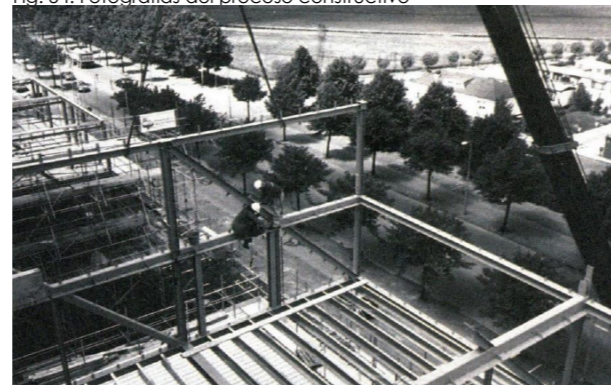
- Remate perimetral: el goterón de aluminio lacado identificado en el referente de Wozoco se adopta como solución de remate perimetral, evitando la filtración de agua por el borde de la cubierta.

Fig. 53. Sección transversal ampliada



Nota. Tomado de "Aproximación Arquitectónica y Análisis Constructivo del Edificio Wozoco de MVRDV". p 30

Fig. 54. Fotografías del proceso constructivo



Nota. Tomado de "Aproximación Arquitectónica y Análisis Constructivo del Edificio Wozoco de MVRDV". p 34



CAPÍTULO 4

PROPUESTA Y APLICACIÓN EN EL CASO DE ESTUDIO

4.1 Caso de Estudio

4.2 Propuesta para Caso Estudio

4.3 Análisis Técnico-Constructivo-Económico Propuestas y Caso de Estudio

4.1 Caso de Estudio

La arquitectura educativa de nivel superior constituye una tipología de edificación que trasciende la simple provisión de espacios físicos para la enseñanza. En ella convergen exigencias funcionales, estructurales, estéticas y de confort ambiental que demandan soluciones técnicas cuidadosamente articuladas. En este marco, se analiza las generalidades del Aulario de la Universidad de Cuenca, obra del arquitecto ecuatoriano Javier Durán, como edificio de referencia para el estudio comparativo de sistemas de cubierta propuestos frente a la solución de losa nervada actualmente empleada en su construcción.

El Aulario de la Universidad de Cuenca es una obra de arquitectura educacional universitaria emplazada en el Cantón Cuenca, Ecuador (ArchDaily, 2012), diseñada específicamente para albergar aulas y espacios académicos de educación superior. Pertenece a la tipología de edificios universitarios de uso colectivo, caracterizada por su orientación hacia la docencia presencial y la organización eficiente de espacios de aprendizaje.

El proyecto fue diseñado por el arquitecto Javier Durán, con el equipo técnico conformado por Rubén Culcay, Diego Proaño, María Isabel Carrasco y Cristian Sotomayor. La autoría institucional corresponde a la Unidad de Planificación Física de la Universidad de Cuenca, siendo el promotor la

propia universidad. La construcción estuvo a cargo de la Constructora RHR, con un presupuesto de \$1.200.000,00 USD. El área total construida es de 3.450 m² y el año de ejecución fue 2011 (ArchDaily, 2012).

Sobre su inserción en el contexto universitario, ArchDaily (2012) señala que el Aulario se emplaza dentro de un campus universitario consolidado, y que su presencia, a más de solucionar una necesidad de espacio físico y aulas dentro de la Universidad, cualifica una zona que hasta ese momento albergaba aulas aisladas construidas provisionalmente.

Este dato resulta de especial relevancia urbanística y arquitectónica: la obra no responde únicamente a una demanda cuantitativa de metros cuadrados, sino que actúa como elemento ordenador y cualificador del conjunto del campus, sustituyendo una condición de precariedad constructiva por una edificación permanente y de carácter institucional.

De acuerdo con la ficha técnica publicada por ArchDaily (2012), los materiales predominantes en la construcción del Aulario son la madera y el concreto. La combinación de estos materiales responde a una lógica constructiva propia de la arquitectura contemporánea ecuatoriana, donde el hormigón armado provee la estructura portante y la rigidez sísmica requerida por las normas técnicas nacionales,

mientras que la madera aporta calidez estética y funcionalidad en elementos secundarios como revestimientos, carpinterías y detalles de fachada.

La cubierta, objeto central del presente análisis, ha sido resuelta mediante losa nervada de hormigón armado, sistema estructural que, si bien ofrece resistencia mecánica y continuidad monolítica con el resto de la estructura, presenta limitaciones en términos de peso propio, tiempo de ejecución y prestaciones térmicas, aspectos que serán abordados en detalle en las secciones posteriores de este estudio.

La configuración volumétrica del edificio responde a una organización en plantas tipo, con aulas distribuidas en varios niveles comunicados por núcleos de circulación vertical. Según los planos publicados por ArchDaily (2012), el proyecto cuenta con planta baja y plantas altas tipo, lo que evidencia una lógica de apilamiento eficiente de los espacios docentes. La fachada, resuelta con amplias superficies vidriadas, favorece la iluminación natural de las aulas, aspecto determinante en el confort visual de los usuarios y en la reducción del consumo energético por iluminación artificial.

La elección del Aulario de la Universidad de Cuenca como edificio de referencia para el análisis comparativo de sistemas de cubierta no es fortuita,

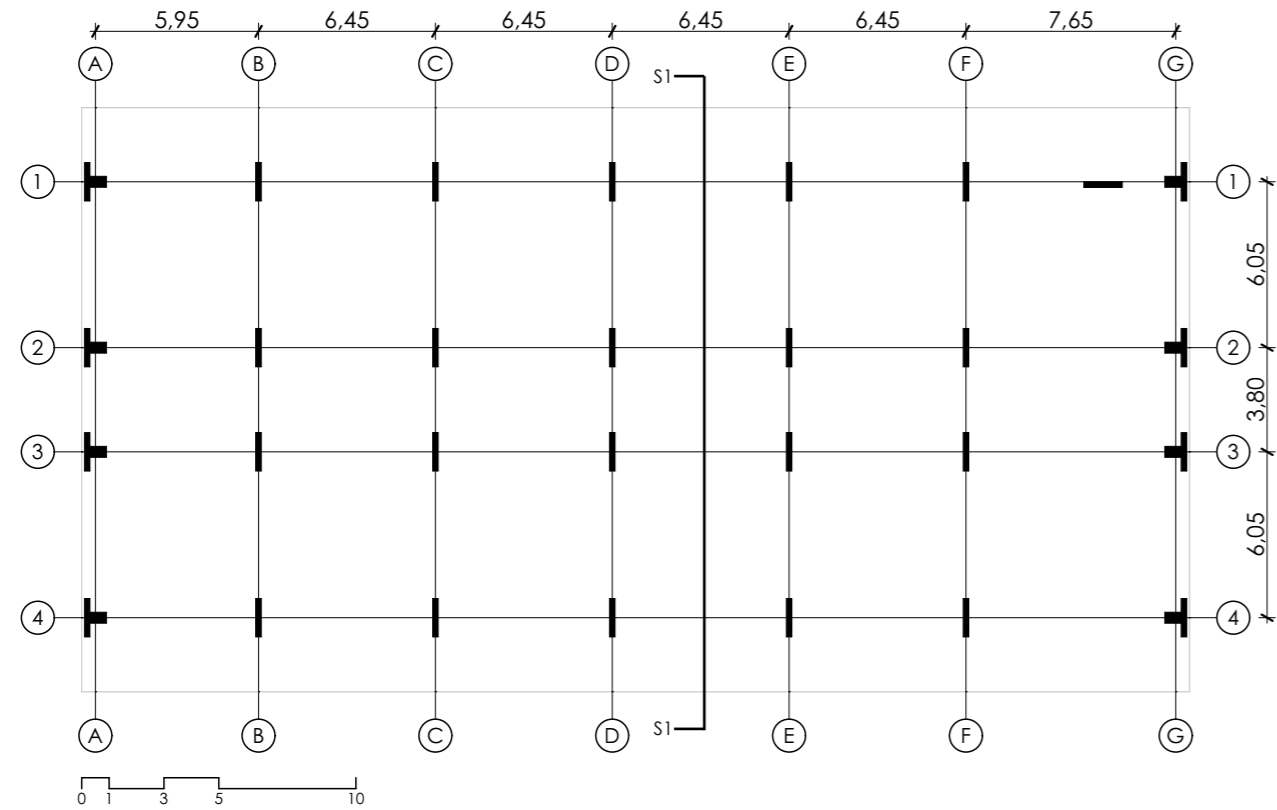
sino que obedece a criterios técnicos, contextuales y académicos bien fundamentados. En primer lugar, la naturaleza del edificio como equipamiento educativo de uso intensivo lo convierte en un escenario especialmente sensible a las prestaciones de la cubierta. Las aulas universitarias demandan condiciones estables de confort térmico y acústico durante largas jornadas de uso, lo que hace que el comportamiento de la cubierta, en términos de aislamiento, peso, impermeabilidad y mantenimiento, tenga un impacto directo sobre la calidad del ambiente interior y sobre los costos operativos de la edificación a lo largo de su vida útil. En segundo lugar, el sistema de cubierta actualmente empleado, la losa nervada de hormigón armado, representa la solución convencional más extendida en la construcción universitaria ecuatoriana (ArchDaily, 2012). Si bien este sistema es estructuralmente robusto y técnicamente conocido por los profesionales locales, no siempre constituye la alternativa óptima cuando se evalúan en conjunto variables como el peso propio transmitido a la estructura, el aislamiento térmico, los tiempos de ejecución y los costos de construcción. Frente a esta realidad, los sistemas de cubierta tipo deck metálico y panel sándwich emergen como alternativas que, en determinadas condiciones, pueden ofrecer ventajas significativas en estos mismos rubros.

Fig. 55. Aulario de Psicología de la Universidad de Cuenca



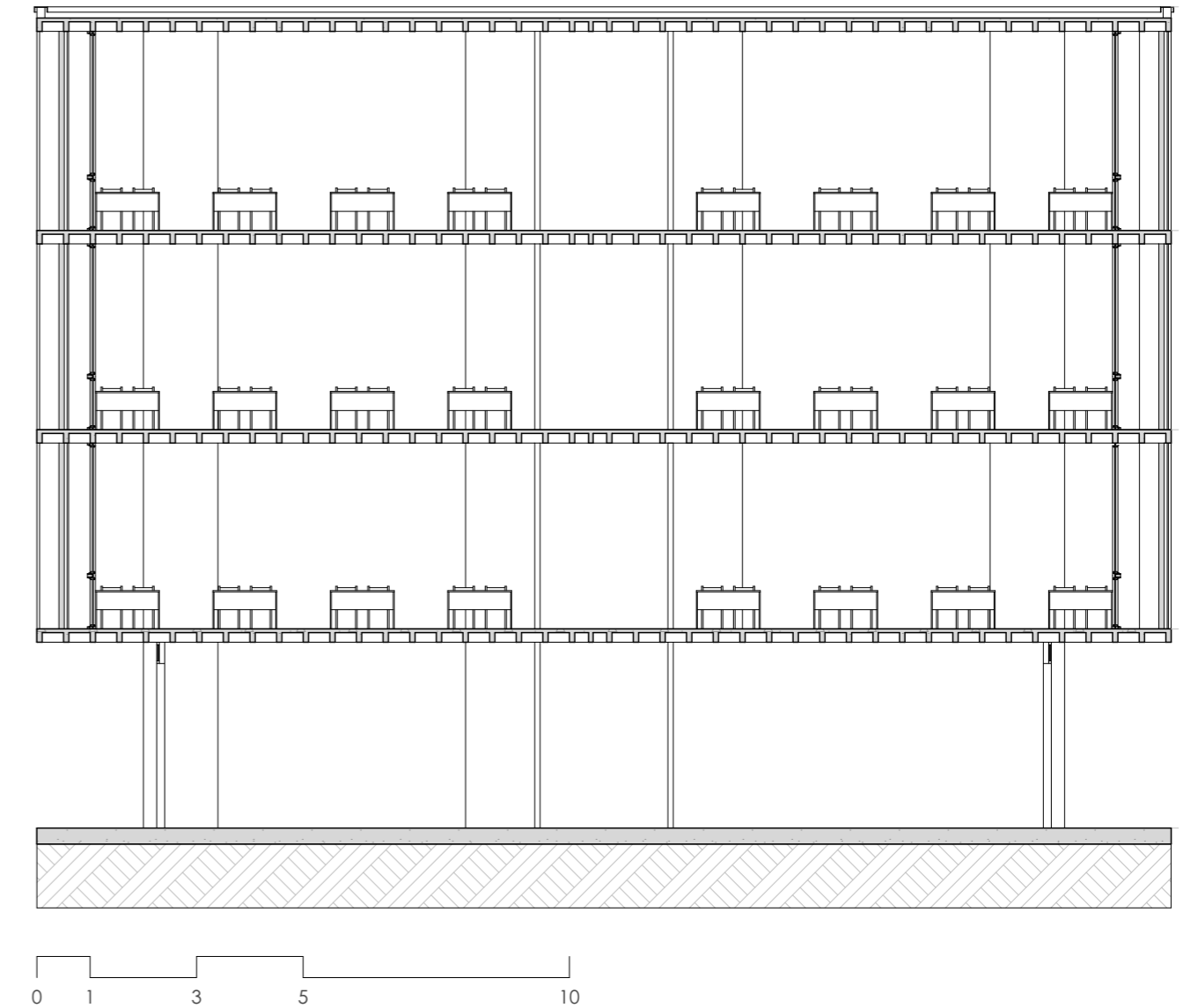
Nota. Fotografía de Sebastián Crespo (s.f)

Fig 56. Plano Estructural Aulario Psicología Universidad de Cuenca



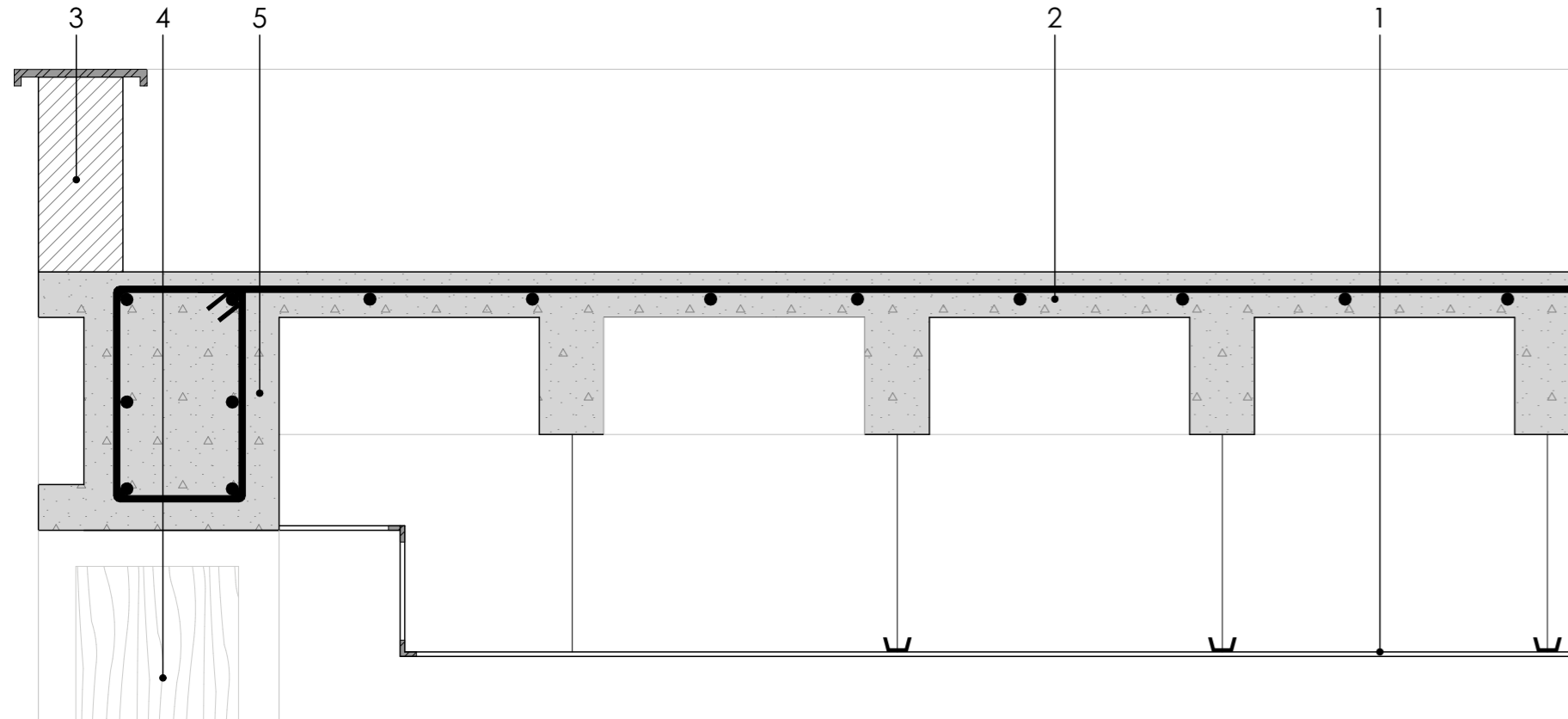
Nota. Redibujo en base a los planos del Aulario de Psicología de la Universidad de Cuenca

Fig 57. Sección Transversal Aulario Psicología Universidad de Cuenca



Nota. Redibujo en base a los planos del Aulario de Psicología de la Universidad de Cuenca

Figura 58. Sección 1 Detalle Constructivo de Cubierta de Losa Nervada Bidireccional del Aulario de Psicología de la Universidad de Cuenca



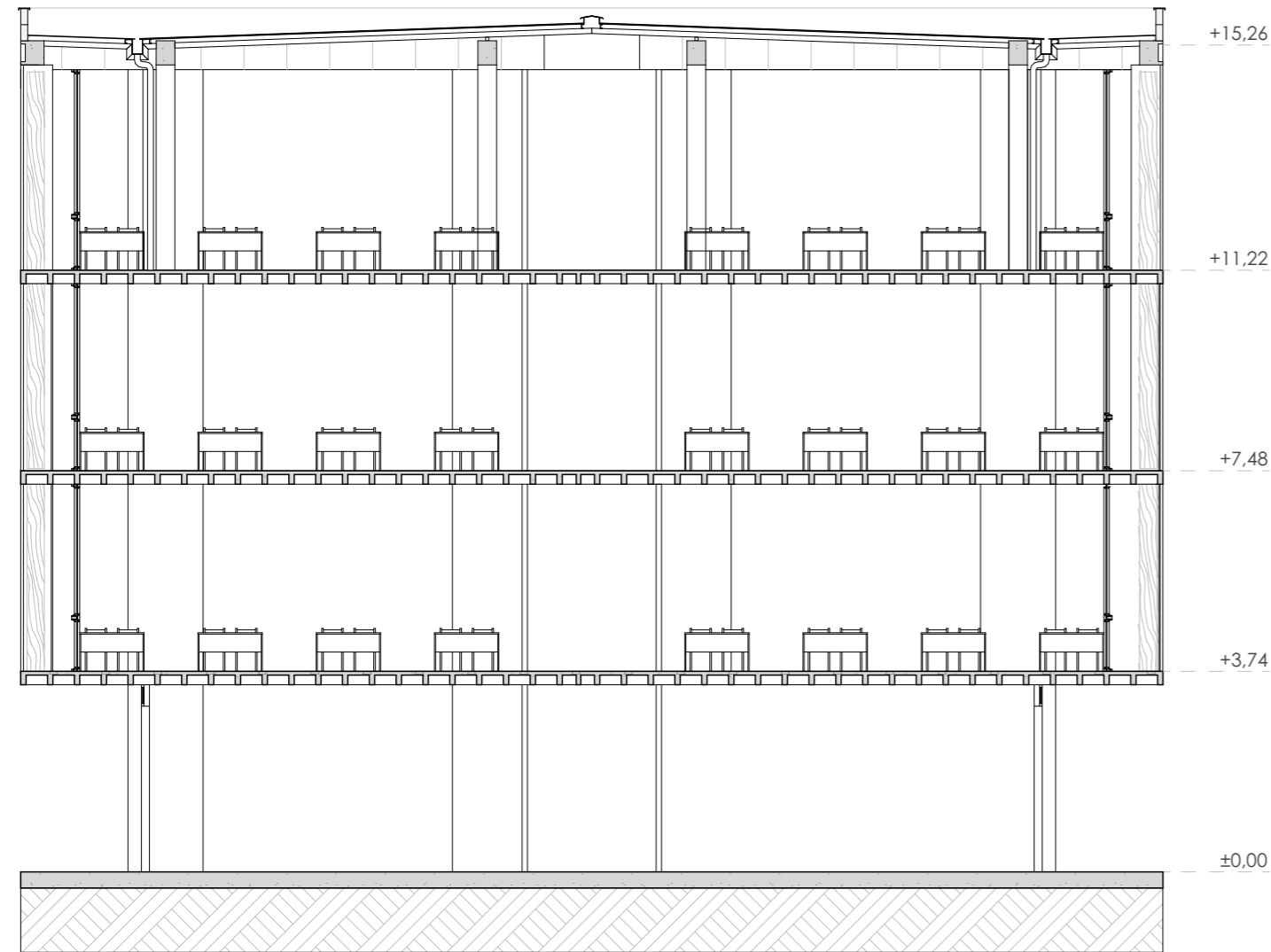
Nota. Recibido en base a los planos del Aulario de Psicología de la Universidad de Cuenca

Cubierta Actual Losa Nervada Bidireccional

1. Cielo raso falso yeso cartón e=9 mm
2. Losa nervada de hormigón H=25cm
3. Mampostería de ladrillo Tochana 13x30x20 cm
4. Parasol de madera de teca 4x50x320 cm
5. Viga de borde de hormigón armado de 30x45 cm

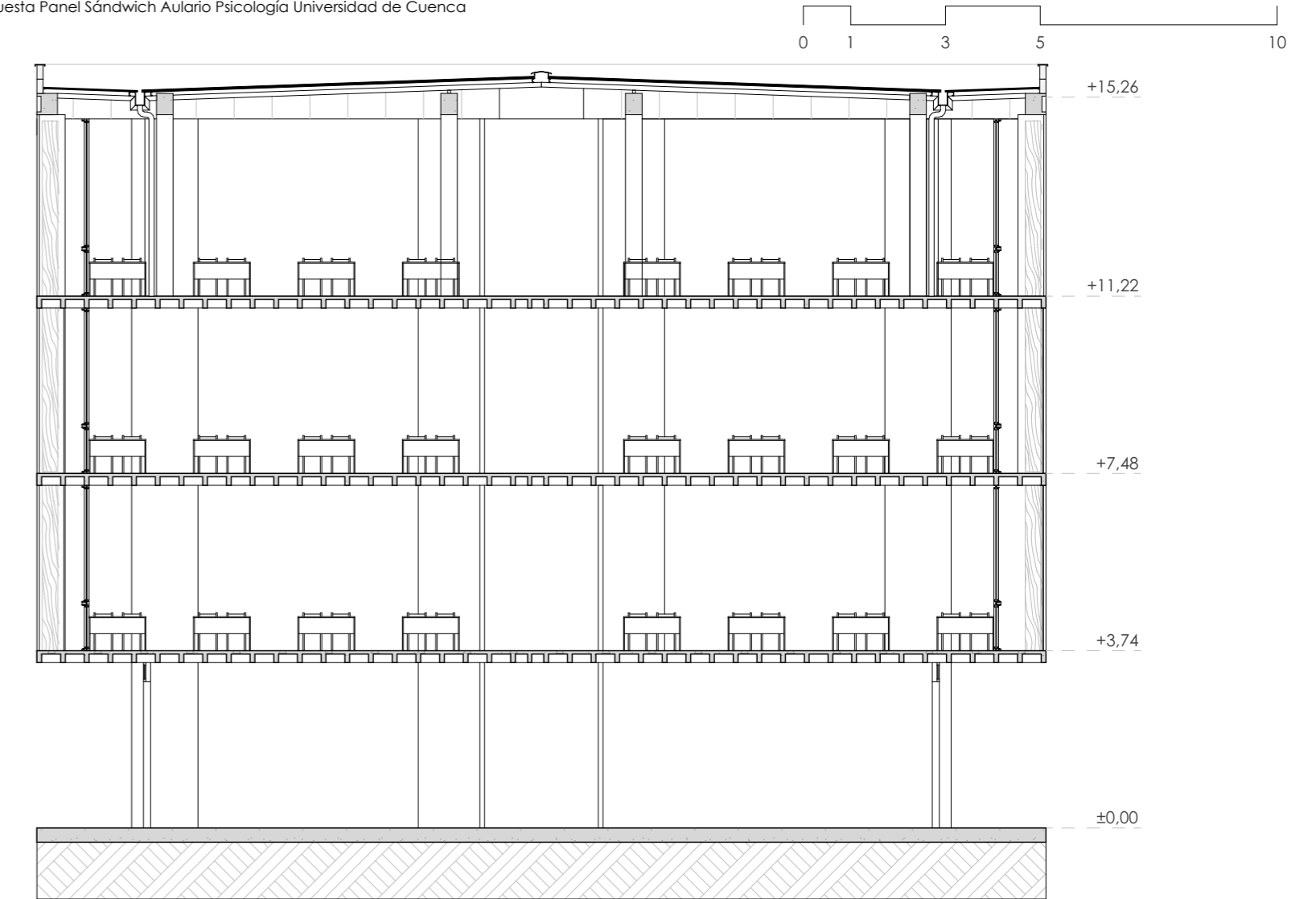
4.2 Propuesta Caso de Estudio

Fig 59. Sección Transversal Propuesta de Cubierta Deck Aulario Psicología Universidad de Cuenca



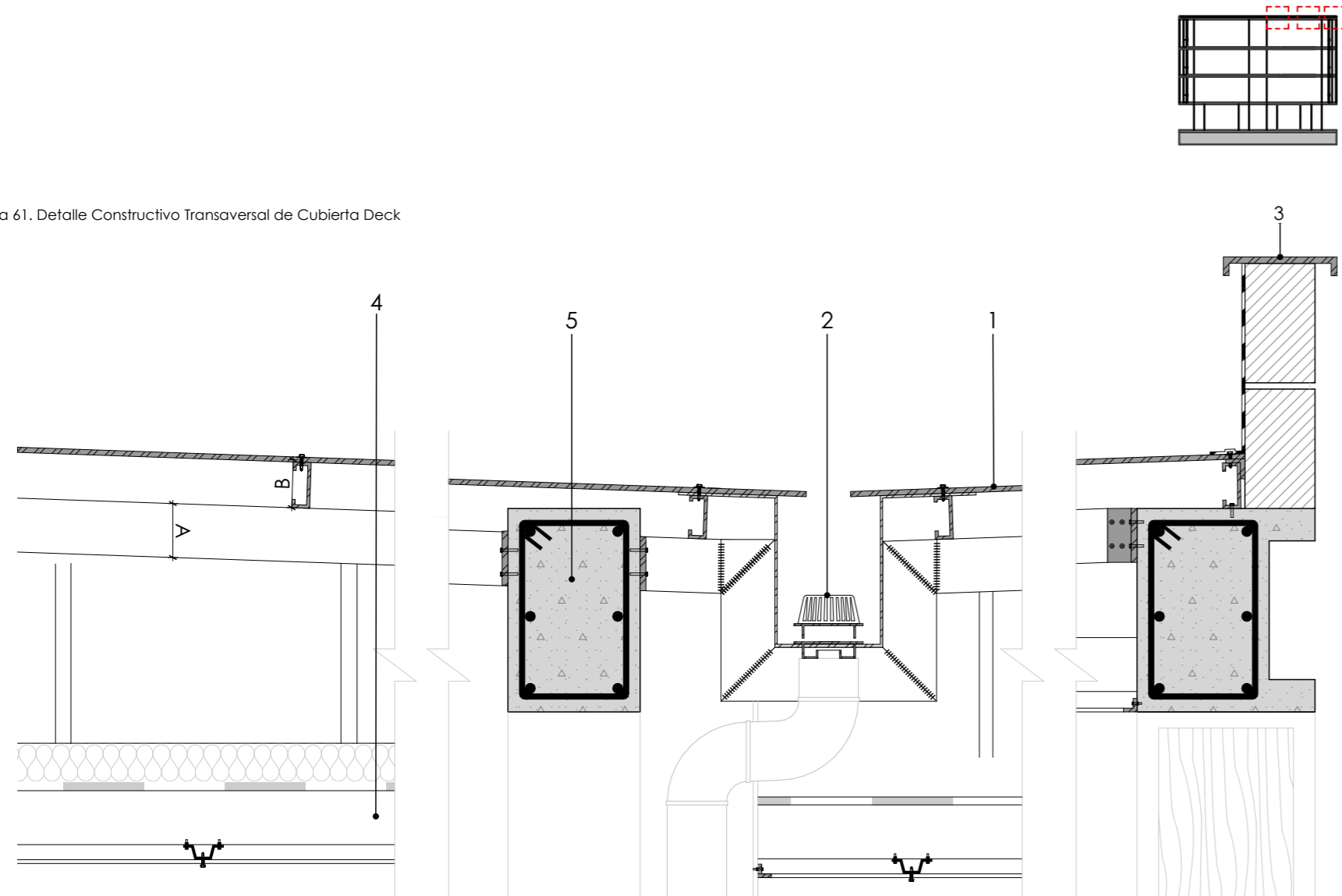
Nota. Elaboración Propia

Fig 60. Sección Transversal Propuesta Panel Sándwich Aulario Psicología Universidad de Cuenca



Nota. Elaboración Propia

Figura 61. Detalle Constructivo Transversal de Cubierta Deck



Nota. Elaboración propia

1. PROPUESTA CUBIERTA DECK

- M:** -Plancha deck Kubiec e= 0,50 mm
 -Impermeabilizante de chova Wesco 100cmx10m
 -"A" = Correa tipo "G" 100x50x15x2 mm (L= 6m)
 -"B" = Correa tipo "G" 80x40x15x2 mm (L= 6m)

D: e=18 cm (L= 6 m)

A: Acero negro

- F:** -Tornillo autoperforante con arandela
 -Perno Expansivo 3/4"
 -Soldadura

2. CAZOLETA 3 PIEZAS, CAZOLETA CUPULA CANASTILLA

M: N/A

D: N/A

A: Acero negro

F: N/A

3. GOTERÓN

- M:** -Acero galvanizado
 -Ladrillo tochana 30x20x13 cm

D: e=0,50 MM

A: N/A

F: Tornillo autoperforante

4. CIELO RASO

- M:** -Plancha fibrocemento PLYCEM 610x1219 mm
 e=5 mm
 -Canal "U" acero galvanizado alto=10 cm
 -Canal "U" acero galvanizado alto=4 cm
 -Perfil omega angosto acero galvanizado
 -Angular "L" cielo
 -Aislante termoacústico lana de vidrio e=63,5 mm
 -Cámara de aire e= 40 cm
 -Barrera de vapor e= 15 mm

D: 15 cm

- A:** -Empaste 2 manos (Lijado)
 -Pintura 2 manos (SikaWall para interiores)

- F:** -Tornillo MM10-075 (Uniones entre perfiles)
 -Tornillo PL7-150 (Fijación de PLYCEM a perfil omega)
 -Tornillo autoperforante con arandela

5. ESTRUCTURA PRINCIPAL

- M:** -Viga de hormigón armado 25X40 cm

-Columna de hormi3n armado 25x25 cm

D: N/A

A: N/A

F: N/A

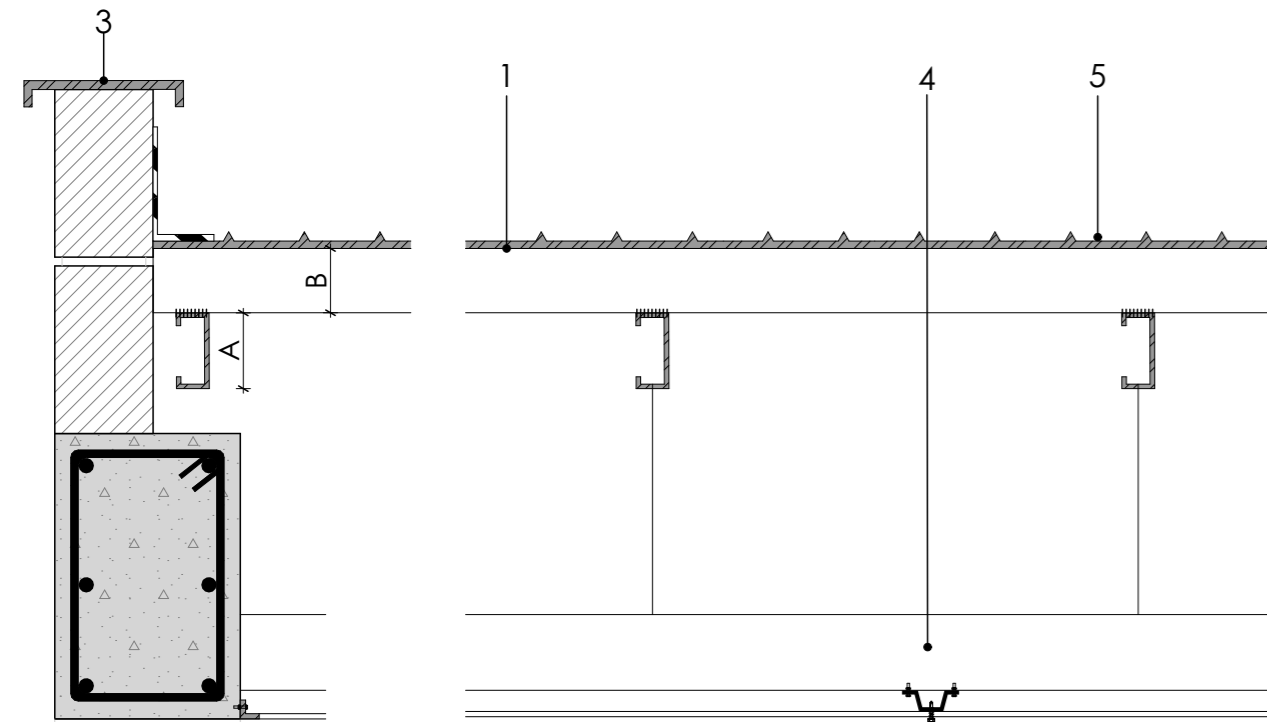
M: Material

D: Dimensi3n

A: Acabado

F: Fijaci3n

Figura 62. Detalle Constructivo Longitudinal de Cubierta Deck



Nota. Fig. 62-63 Elaboración propia

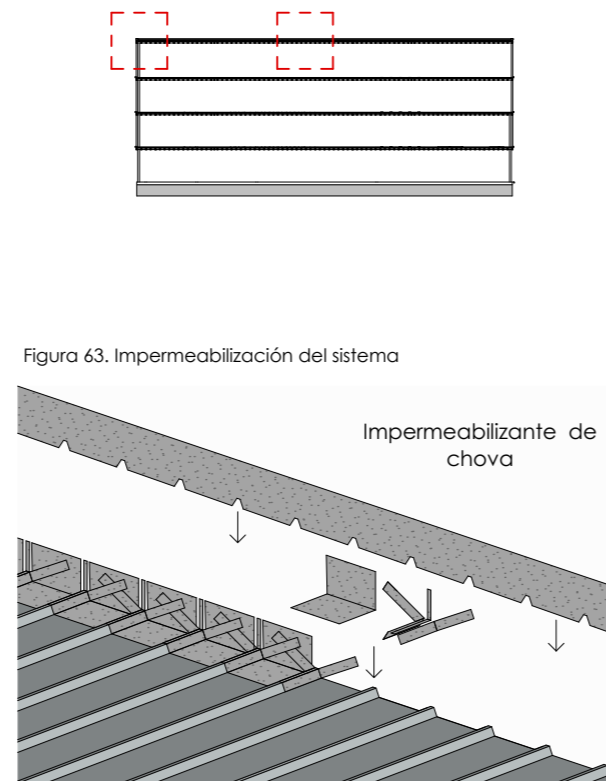
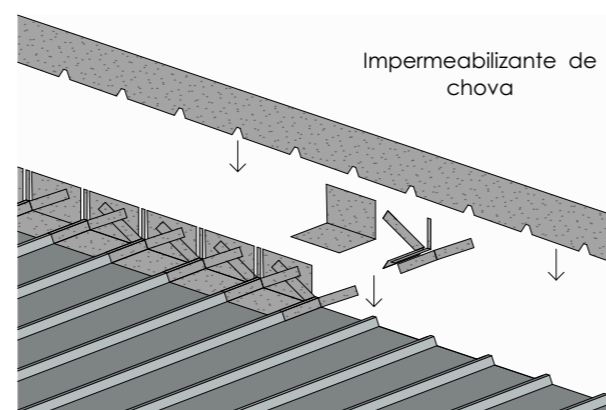


Figura 63. Impermeabilización del sistema



1. PROPUESTA CUBIERTA DECK

- M:** -Plancha deck Kubiec $e=0,50$ mm
 -Impermeabilizante de chova Wesco 100cmx10m
 -"A" = Correa tipo "G" 100x50x15x2 mm (L= 6m)
 -"B" = Correa tipo "G" 80x40x15x2 mm (L= 6m)

D: $e=18$ cm (L= 6 m)

A: Acero negro

- F:** -Tornillo autoperforante con arandela
 -Soldadura

2. CAZOLETA 3 PIEZAS, CAZOLETA CUPULA CANASTILLA

M: N/A

D: N/A

A: Acero negro

F: N/A

3. GOTERÓN

- M:** -Acero galvanizado
 -Ladrillo tochana 30x20x13 cm

D: $e=0,50$ MM

A: N/A

F: Tornillo autoperforante

4. CIELO RASO

- M:** -Plancha fibrocemento PLYCEM 610x1219 mm
 $e=5$ mm
 -Canal "U" acero galvanizado alto=10 cm
 -Canal "U" acero galvanizado alto=4 cm
 -Perfil omega angosto acero galvanizado
 -Angular "L" cielo
 -Aislante termoacústico lana de vidrio $e=63,5$ mm
 -Cámara de aire $e=40$ cm
 -Barrera de vapor $e=15$ mm

D: 15 cm

- A:** -Empaste 2 manos (Lijado)
 -Pintura 2 manos (SikaWall para interiores)

- F:** -Tornillo MM10-075 (Uniones entre perfiles)
 -Tornillo PL7-150 (Fijación de PLYCEM a perfil omega)
 -Tornillo autoperforante con arandela

5. ESTRUCTURA PRINCIPAL

- M:** -Viga de hormigón armado 25X40 cm
 -Columna de hormigón armado 25x25 cm

D: N/A

A: N/A

F: N/A

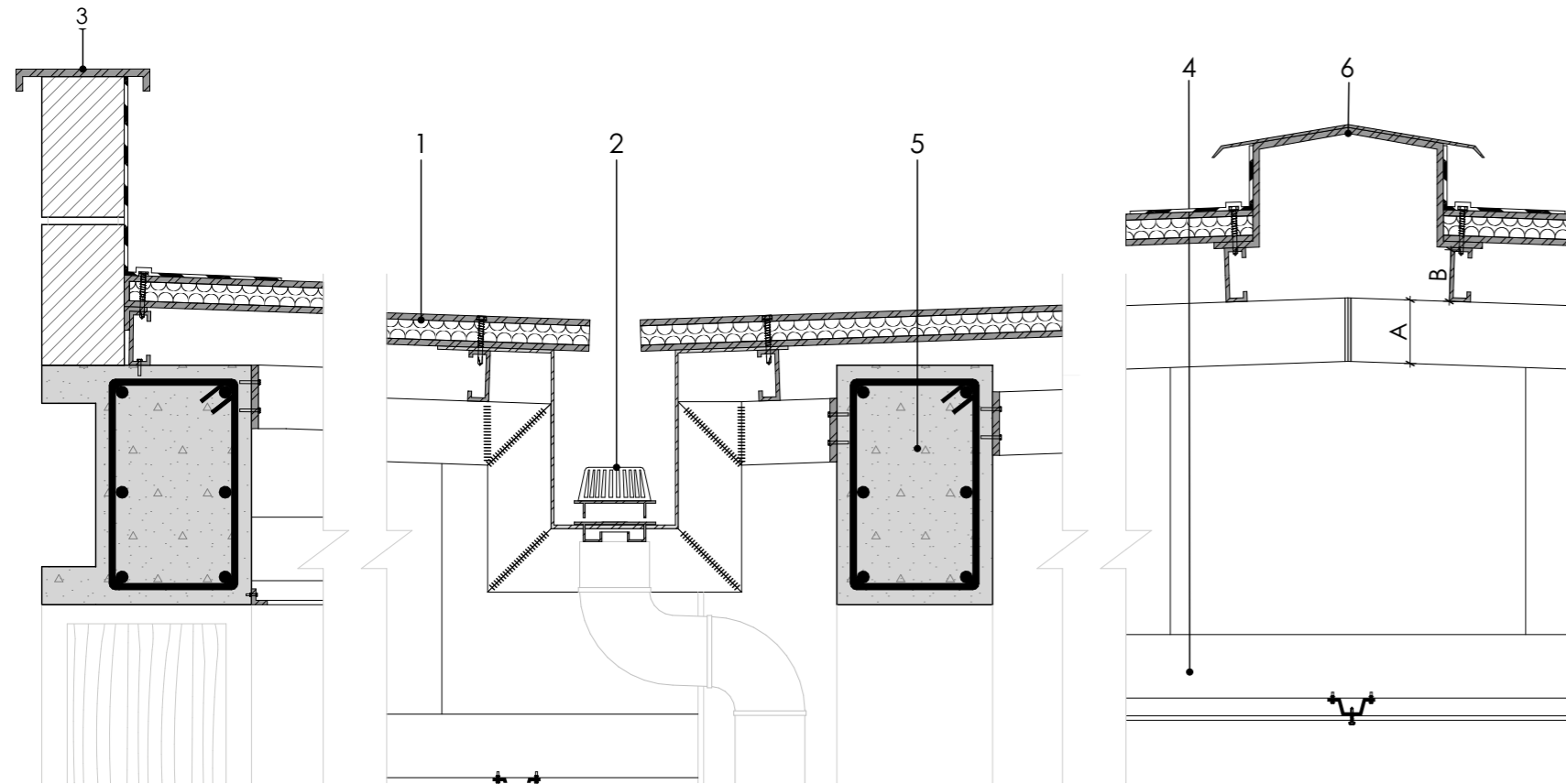
M: Material

D: Dimensión

A: Acabado

F: Fijación

Figura 64. Detalle Constructivo Transversal de Cubierta Panel Sándwich



Nota. Elaboración propia

1. PROPUESTA CUBIERTA DE PANEL SANDWICH

- M:** -Panel Sandwich Kubiec e= 50 mm
 -Aislamiento de poliestireno expandido (EPS)
 -Impermeabilizante de chova Wesco 100cmx10m
 -"A" = Correa tipo "G" 100x50x15x3 mm (L= 6m)
 -"B" = Correa tipo "G" 80x40x15x3 mm (L= 6m)

- D:** e=18 cm (L= 6 m)
A: Acero negro
F: -Tornillo autoperforante con arandela
 -Perno Expansivo 3/4"
 -Soldadura

2. CAZOLETA 3 PIEZAS, CAZOLETA CUPULA CANASTILLA

- M:** N/A
D: N/A
A: Acero negro
F: N/A

3. GOTERÓN

- M:** -Acero galvanizado
 -Ladrillo tochana 30x20x13 cm
D: e=0,50 MM

- A:** N/A
F: Tornillo autoperforante

4. CIELO RASO

- M:** -Plancha fibrocemento PLYCEM 610x1219 mm
 e=5 mm
 -Canal "U" acero galvanizado alto=10 cm
 -Perfil omega angosto acero galvanizado
 -Angular "L" cielo
 -Cámara de aire e= 40 cm

- D:** 15 cm
A: -Empaste 2 manos (Lijado)
 -Pintura 2 manos (SikaWall para interiores)
F: -Tornillo MM10-075 (Uniones entre perfiles)
 -Tornillo PL7-150 (Fijación de PLYCEM a perfil omega)
 -Tornillo autoperforante con arandela
 -Alambre galvanizado para cielos rasos

5. ESTRUCTURA PRINCIPAL

- M:** -Viga de hormigón armado 25X40 cm
 -Columna de hormigón armado 25x25 cm

- D:** N/A
A: N/A
F: N/A
6. CUMBRERO
M: -Cumbrero AR2000 Acero galvanizado
 -Goterón de acero galvanizado
 -Impermeabilización autoadhesivo Imptek 10x1 m
 e=3 mm
D: N/A
A: N/A
F: Tornillo autoperforante

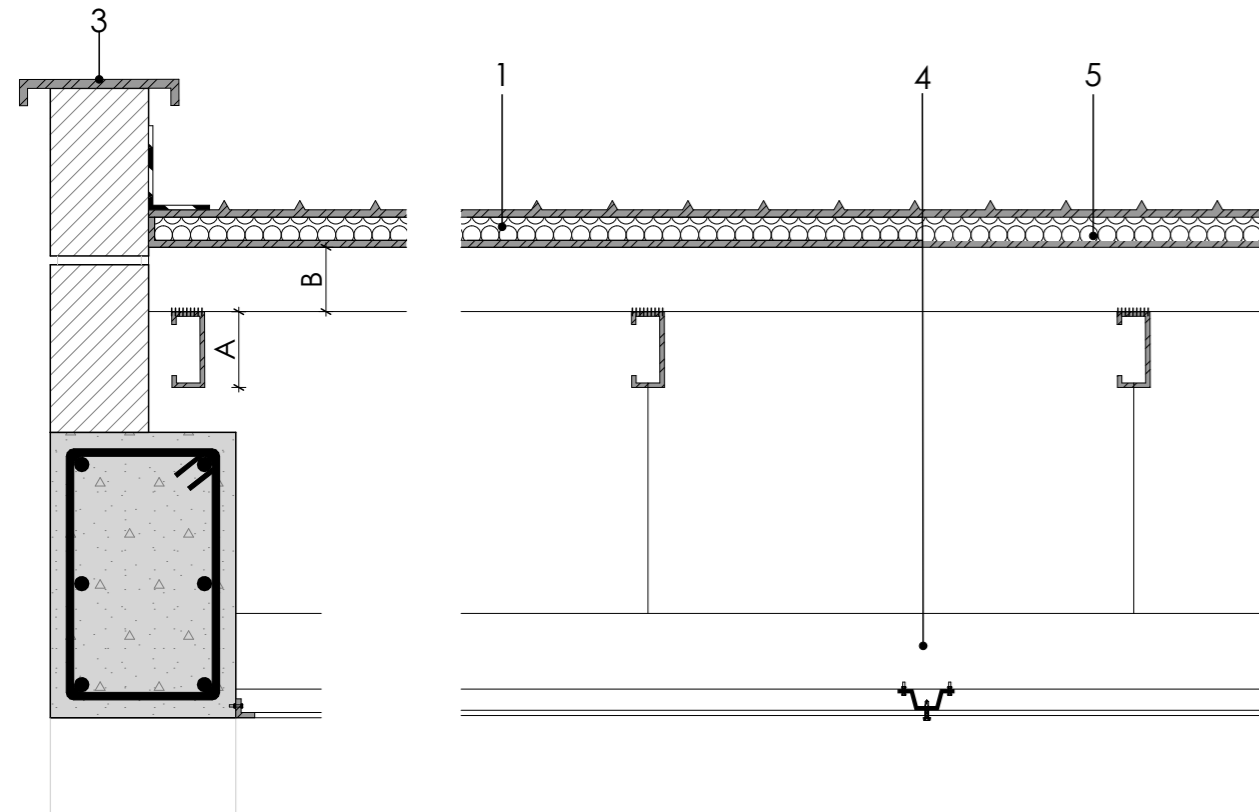
M: Material

D: Dimensión

A: Acabado

F: Fijación

Figura 65. Detalle Constructivo Longitudinal de Cubierta Panel Sándwich



Nota. Fig. 65-66 Elaboración propia

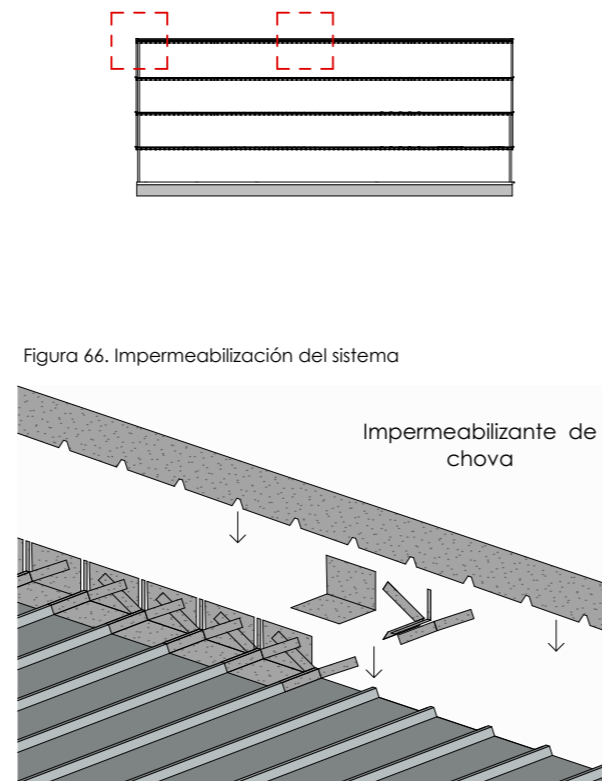


Figura 66. Impermeabilización del sistema

1. PROPUESTA CUBIERTA DE PANEL SANDWICH

- M:** -Panel Sandwich Kubiec e= 50 mm
- Aislamiento de poliestireno expandido (EPS)
- Impermeabilizante de chova Wesco 100cmx10m
- “A” = Correa tipo “G” 100x50x15x3 mm (L= 6m)
- “B” = Correa tipo “G” 80x40x15x3 mm (L= 6m)

D: e=18 cm (L= 6 m)

A: Acero negro

- F:** -Tornillo auto perforante con arandela
- Perno Expansivo 3/4"
- Soldadura

2. CAZOLETA 3 PIEZAS, CAZOLETA CUPULA CANASTILLA

M: N/A

D: N/A

A: Acero negro

F: N/A

3. GOTERÓN

- M:** -Acero galvanizado
- Ladrillo tochana 30x20x13 cm

D: e=0,50 MM

A: N/A

F: Tornillo auto perforante

4. CIELO RASO

- M:** -Plancha fibrocemento PLYCEM 610x1219 mm e=5 mm
- Canal “U” acero galvanizado alto=10 cm
- Perfil omega angosto acero galvanizado
- Angular “L” cielo
- Cámara de aire e= 40 cm

D: 15 cm

A: -Empaste 2 manos (Lijado)

-Pintura 2 manos (SikaWall para interiores)

- F:** -Tornillo MM10-075 (Uniones entre perfiles)
- Tornillo PL7-150 (Fijación de PLYCEM a perfil omega)
- Tornillo auto perforante con arandela
- Alambre galvanizado para cielos rasos

5. ESTRUCTURA PRINCIPAL

- M:** -Viga de hormigón armado 25X40 cm
- Columna de hormigón armado 25x25 cm

D: N/A

A: N/A

F: N/A

6. CUMBRERO

- M:** -Cumbrero AR2000 Acero galvanizado
- Goterón de acero galvanizado
- Impermeabilización autoadhesivo Imptek 10x1 m e=3 mm

D: N/A

A: N/A

F: Tornillo auto perforante

M: Material

D: Dimensión

A: Acabado

F: Fijación

4.3 Análisis Técnico-Constructivo-Económico Propuestas y Caso de Estudio

Peso Propio Total de los Sistemas Analizados

La diferencia de peso propio entre los sistemas propuestos y la losa existente no es simplemente una variable de confort constructivo, sino una condición estructural determinante para la viabilidad de la intervención.

La losa nervada bidireccional acumula 337,61 kg/m² debido a la acumulación de capas de hormigón armado, casetones de EPS, malla electrosoldada, mortero de pendiente e impermeabilización; este valor representa una carga muerta permanente que fue dimensionada en el diseño estructural original del aluario.

Cuando se plantea una intervención de reemplazo de cubierta sobre una edificación en funcionamiento, la reducción de carga muerta cobra una importancia capital por tres razones fundamentales:

En primer lugar, toda carga adicional que supere la carga de diseño original implica una revisión estructural de vigas, columnas y cimentaciones, con el consiguiente refuerzo o intervención de elementos estructurales existentes. Los sistemas propuestos, al reducir el peso en más del 92%, eliminan prácticamente esta exigencia, ya que en ambos casos la carga residual es marginal respecto a la capacidad portante original.

En segundo lugar, en zonas sísmicas, la reducción de masa en cubierta disminuye directamente la fuerza sísmica horizontal. Una reducción de 270.000 kg en cubierta puede traducirse en una disminución apreciable de la cortante basal de diseño, lo que beneficia la respuesta estructural global del edificio.

Entre las dos propuestas, la Cubierta Deck presenta la mayor ventaja con 19,48 kg/m² frente a 25,47 kg/m² del Panel Sándwich, una diferencia de 5,99 kg/m² (equivalente a 5.204,35 kg adicionales en el total de la cubierta). Aunque ambos sistemas son estructuralmente viables para la intervención, la Cubierta Deck ofrece una ligereza superior que minimiza aún más las demandas sobre la estructura existente.

Nota. Tabla 93 y 94 Elaboración Propia en base al Análisis Técnico de las Cubiertas Húmedas y Secas realizadas en el Diagnóstico

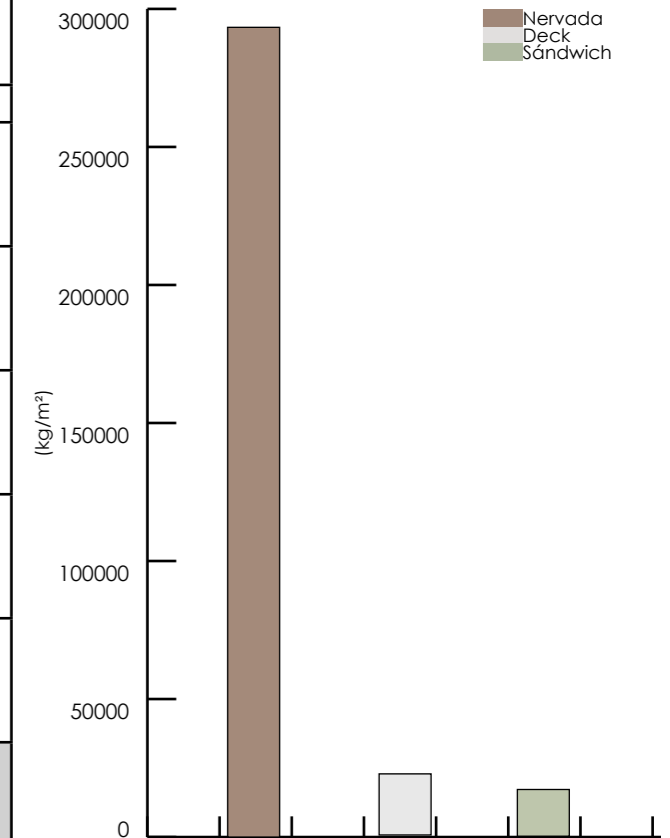
Tabla 93. Peso Propio Total Losa Nervada Bidireccional Actual

Sistema	Losa Nervada Bidireccional
Luz (m)	6
Hormigón (Volumen · 2400) (kg/m ²)	316,8
Casetón EPS (Volumen · Densidad EPS) (kg/m ²)	2,56
Malla Electrosoldada R-196 (kg/m ²)	3,07
Imp Super K (kg/m ²)	3,89
Imp. TechoFieit (kg/m ²)	1,80
Cielo raso (kg/m ²)	9,49
Peso Propio Total (kg/m ²)	337,61
Peso Total de la Cubierta (868,84 m ²) (kg)	293.329,0724

Tabla 94. Peso Propio Total Propuesta Cubierta Deck y Cubierta Panel Sándwich

Sistema	Panel Sándwich	Cubierta Deck
Luz (m)	6	6
Sistema (kg/m ²)	10,03	5,15
Cielo Raso (kg/m ²)	9,49	10,25
Subestructura de acero negro (kg/m ²)	2,63	1,83
Viga Secundaria de acero negro (kg/m ²)	3,32	2,25
Peso Propio Total (kg/m ²)	25,47	19,48
Peso Total Cubierta (868,84 m ²) (kg)	22.129,35	16.925,00

Fig 67. Comparativa Peso Propio Total entre los Sistemas Analizados



Nota. Elaboración propia en base a los resultados obtenidos

Aislamiento Térmico de los Sistemas Analizados

En el caso de aislamiento térmico en la losa nervada bidireccional, el flujo térmico no atraviesa un medio homogéneo sino dos trayectorias diferenciadas en paralelo: la zona con casetones de EPS (80% del área) y la zona correspondiente a los nervios de hormigón armado (20% del área). El coeficiente U del sistema combinado se calcula mediante la ponderación de ambas zonas según sus fracciones de área: $U_{Total} = 0,80 \times U_{80} + 0,20 \times U_{20}$, conforme al método de cálculo para elementos no homogéneos de la norma ISO 6946.

En la luz de 6 m, la zona con casetones EPS (80%) alcanza $U_{80} = 0,1753 \text{ W/m}^2\text{K}$. La zona de nervios (20%), que sustituye el EPS por hormigón armado continuo ($\lambda = 1,63 \text{ W/mK}$), resulta en $U_{20} = 1,2100 \text{ W/m}^2\text{K}$, notablemente mayor por la alta conductividad del hormigón.

El valor $U_{total} = 0,3822 \text{ W/m}^2\text{K}$, cumple con el límite de $2,9 \text{ W/m}^2\text{K}$. No obstante, los nervios de hormigón constituyen un puente térmico severo que eleva considerablemente la transmitancia de esa zona frente a la zona aislada con EPS.

$U_{total} = 0,80 \times U_{80} + 0,20 \times U_{20}$	0,3822 W/m²K
Límite normativo NEC: $U_{m\acute{a}x} = 2,9 \text{ W/m}^2\text{K}$	CUMPLE

Tabla 95. Cálculo U – Cubierta con Losa Nervada Bidireccional – Luz 6 m – Zona 80% (Casetones EPS)

Capa	Material	e (m)	λ (W/mK)	R (m²K/W)
Resistencia superficial exterior	—	—	—	0,0400
Loseta de compresión (hormigón)	Hormigón	0,0500	1,630	0,0307
Casetones EPS	EPS	0,2000	0,040	5,0000
Cámara de aire (> 10 cm)	Aire	> 0,10	—	0,4900
Tablero de yeso	Placa de yeso	0,0125	0,290	0,0431
Resistencia superficial interior	—	—	—	0,1000
Rt (80%) = 5,7038 m²K/W				U₈₀ = 0,1753 W/m²K

Tabla 96. Cálculo U – Cubierta con Losa Nervada Bidireccional – Luz 6 m – Zona 20% (Nervios de hormigón)

Capa	Material	e (m)	λ (W/mK)	R (m²K/W)
Resistencia superficial exterior	—	—	—	0,0400
Loseta de compresión (hormigón)	Hormigón	0,0500	1,630	0,0307
Nervios de hormigón armado	Hormigón armado	0,2000	1,630	0,1227
Cámara de aire (> 10 cm)	Aire	> 0,10	—	0,4900
Tablero de yeso	Placa de yeso	0,0125	0,290	0,0431
Resistencia superficial interior	—	—	—	0,1000
Rt (20%) = 0.8265 m²K/W				U₂₀ = 1,2100 W/m²K

Nota. Tabla 95 y 96 Elaboración propia en base a información técnica proporcionada por la Norma Ecuatoriana de la Construcción Tabla 20. Propiedades térmicas de los materiales a partir de la revisión literaria y la norma ISO 6946.

Aislamiento Térmico Propuesta de Cubierta Deck

En la propuesta de cubierta tipo deck dado el elevado valor de conductividad de la placa metálica ($\lambda = 50 \text{ W/mK}$), su resistencia térmica resulta despreciable y se omite del cálculo. De esta forma el sistema queda definido únicamente por: aislante de lana de vidrio (63,5 mm), cámara de aire (> 10 cm) y tablero de yeso (12,5 mm).

El sistema obtiene $U = 0,4870 \text{ W/m}^2\text{K}$, un valor menor comparado con el sistema de losa nervada bidireccional que se encuentra actualmente en la edificación. Sin embargo cumple sobradamente con el límite de $2,9 \text{ W/m}^2\text{K}$.

Tabla 97. Cálculo del coeficiente de transmitancia térmica U – Cubierta Deck

Capa	Material	e (m)	λ (W/mK)	R (m²K/W)
Resistencia superficial exterior	—	—	—	0,0400
Aislante termoacústico	Lana de vidrio	0,0635	0,046	1,3804
Cámara de aire (> 10 cm)	Aire	> 0,10	—	0,4900
Tablero de yeso	Placa de yeso	0,0125	0,290	0,0431
Resistencia superficial interior	—	—	—	0,1000
Resistencia térmica total $R_t = \sum R = 2,0535 \text{ m}^2\text{K/W}$				2,0535
Coeficiente de transmitancia térmica $U = 1/R_t$				0,4870 W/m²K
Límite normativo NEC: $U_{m\acute{a}x} = 2,9 \text{ W/m}^2\text{K}$				CUMPLE

Nota. Elaboración propia en base a información técnica proporcionada por la Norma Ecuatoriana de la Construcción Tabla 20. Propiedades térmicas de los materiales a partir de la revisión literaria y la norma ISO 6946.

Aislamiento Térmico Propuesta de Cubierta de Panel Sándwich

La cubierta de panel sándwich presenta valores de transmitancia térmica (U) definidos en el catálogo técnico de Kubiec, los cuales varían en función del tipo de material aislante empleado. Para la propuesta se optó por el poliestireno expandido (EPS) con densidades de 10 a 18 kg/m³. Adicionalmente el sistema se compone del tablero de yeso y una cámara de aire superior 40 cm, destinada al paso de instalaciones.

El sistema obtiene U = 0,31151 W/m²K, un valor mayor comparado con el sistema de losa nervada bidireccional que se encuentra actualmente en la edificación y la propuesta de cubierta deck. Los tres sistemas cumplen holgadamente con el límite normativo de la NEC (U máx = 2,9 W/m²K), lo que en términos reglamentarios los coloca en igualdad de condiciones. Sin embargo, el análisis técnico más profundo revela diferencias cualitativas importantes que van más allá del cumplimiento normativo.

Tabla 98. Cálculo del coeficiente de transmitancia térmica U – Cubierta Panel Sándwich (Poliestireno Expandido (EPS))

Capa	Material	e (m)	λ (W/mK)	R (m ² K/W)
Resistencia superficial exterior	—	—	—	0,0400
Aislante termoacústico	Lana mineral de roca	0,050	0,020	2,5000
Cámara de aire (> 10 cm)	Aire	> 0,10	—	0,4900
Tablero de yeso	Placa de yeso	0,0125	0,290	0,0431
Resistencia superficial interior	—	—	—	0,1000
Resistencia térmica total Rt = ΣR = 3,1731 m ² K/W				3,1731
Coeficiente de transmitancia térmica U = 1/Rt				0,3151 W/m²K
Límite normativo NEC: U máx = 2,9 W/m ² K				CUMPLE

Nota. Elaboración propia en base a información técnica proporcionada por la Norma Ecuatoriana de la Construcción Tabla 20. Propiedades térmicas de los materiales a partir de la revisión literaria y la norma ISO 6946.

La Losa Nervada Bidireccional obtiene un U combinado de 0,3822 W/m²K, valor que resulta engañosamente favorable si no se considera la naturaleza híbrida del sistema.

Los casetones de EPS de 200 mm de espesor (λ = 0,040 W/mK) aportan una resistencia térmica de 5,000 m²K/W en la zona que representan, constituyendo el aislante de mayor eficiencia del análisis.

Sin embargo, los nervios de hormigón armado continuo (λ = 1,630 W/mK) generan un puente térmico severo con U₈₀ = 1,2100 W/m²K, que es prácticamente 7 veces superior al U₂₀ = 0,1753 W/m²K de la zona aislada. Este contraste térmico entre zonas produce condensaciones localizadas, pérdidas de calor diferenciadas y potenciales patologías, aspectos que el valor U combinado no refleja suficientemente.

El Panel Sándwich con núcleo de EPS (50 mm, λ = 0,020 W/mK) obtiene el mejor desempeño global con U = 0,3151 W/m²K, superando incluso a la losa nervada. Esto es notable considerando que el espesor del aislante es cuatro veces menor (50 mm vs 200 mm), lo que se explica por la mayor calidad del EPS empleado (densidad optimizada, λ = 0,020 vs 0,040 W/mK) y la ausencia de puentes térmicos estructurales. El sistema constituye una envoltura térmica homogénea y continua, lo que le confiere

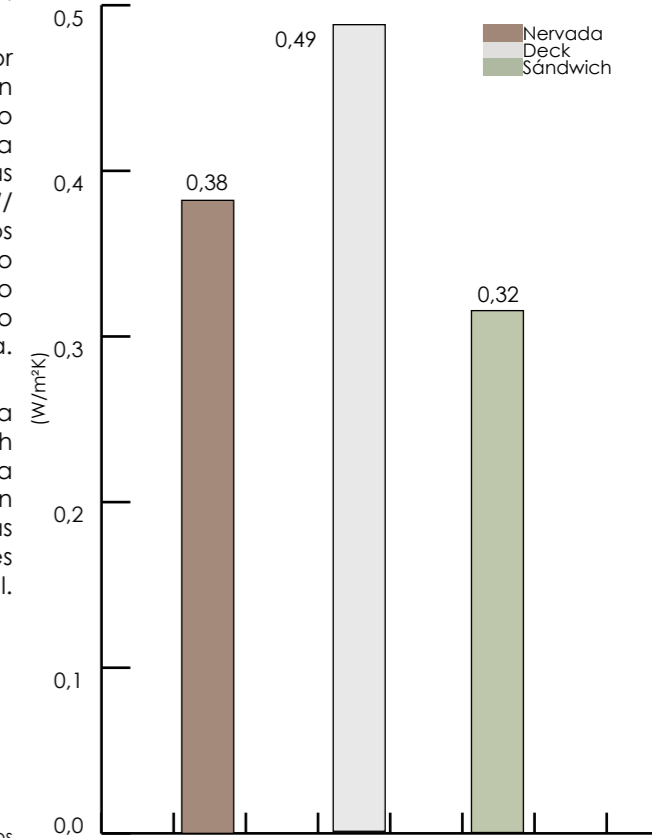
un comportamiento térmico real superior al que sugieren los valores ponderados de la losa nervada.

La Cubierta Deck alcanza U = 0,4870 W/m²K, valor superior (menor eficiencia) al Panel Sándwich en un 35%. Si bien cumple la norma, la lana de vidrio de 63,5 mm, aunque eficiente, no compensa completamente la conductividad de las placas metálicas, que por su naturaleza (λ_ acero ≈ 50 W/mK) actúan como conductores directos en los puntos de fijación (tornillos, perfiles de anclaje), generando puentes térmicos puntuales que el cálculo analítico unidimensional no cuantifica explícitamente pero que deterioran el desempeño real del sistema.

Desde la perspectiva del confort térmico en el clima de Cuenca (continental lluvioso), el Panel Sándwich ofrece la respuesta más adecuada al combinar baja transmitancia con continuidad aislante, condición fundamental para mantener temperaturas interiores estables en aulas durante las variaciones diurnas características del clima andino ecuatorial.

Nota. Elaboración propia en base a los resultados obtenidos

Fig 68. Comparativa Aislamiento Térmico entre los Sistemas Analizados



Aislamiento Acústico de los Sistemas Analizados

Losa nervada — módulo 6 m

M₁ comprende a las capas superiores: el hormigón del sistema, los casetones EPS y la malla electrosoldada.

M₂ comprende a las capas inferiores: cielo raso.

Tabla 99. Datos de entrada y frecuencia de resonancia - Luz 3 m

m ₁ (kg/m ²)	m ₂ (kg/m ²)	d (m)	m _{red} (kg/m ²)	fr (Hz) Ec.4
321,43	9,49	0,3	9,2178	51,1 Hz

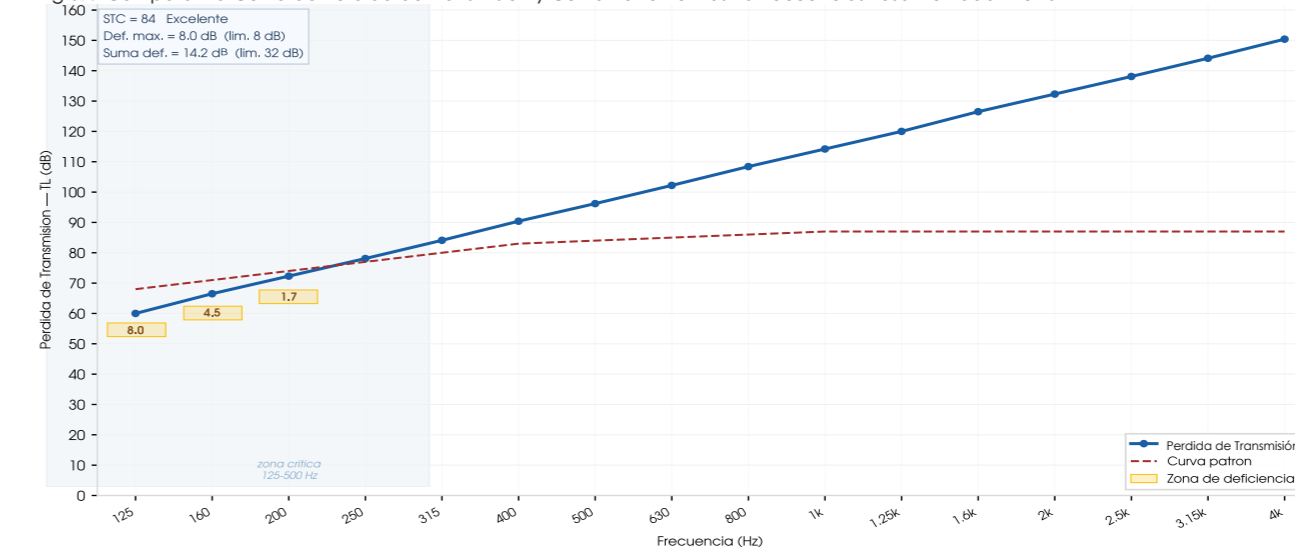
Nota. Elaboración propia en base a las capas del sistema y la ecuación 4.

Tabla 100 . Pérdida de Transmisión en las 16 frecuencias (Ec. 2 y 3) - Losa Nervada Luz 6 m

Frecuencia	Pérdida de Transmisión	Curva patrón STC=82
125 Hz	60 dB	68 dB ← def: 8 dB
160 Hz	66,5 dB	71 dB ← def: 4,5 dB
200 Hz	72,3 dB	74 dB ← def: 1,7 dB
250 Hz	78,1 dB	77 dB
315 Hz	84,1 dB	80 dB
400 Hz	90,4 dB	83 dB
500 Hz	96,2 dB	84 dB
630 Hz	102,2 dB	85 dB
800 Hz	108,4 dB	86 dB
1000 Hz	114,2 dB	87 dB
1250 Hz	120 dB	87 dB
1600 Hz	126,5 dB	87 dB
2000 Hz	132,3 dB	87 dB
2500 Hz	138,1 dB	87 dB
3150 Hz	144,1 dB	87 dB
4000 Hz	150,4 dB	87 dB

Nota. Elaboración propia a partir de Sharp (1978), ASTM E413-22 (ASTM International, 2022). STC candidato 84: deficiencia máxima = 8 dB (límite: 8 dB) | suma de deficiencias = 14.2 dB (límite: 32 dB). STC = 84 — Excelente.

Fig 69. Comparativa Curva de Pérdida de Transmisión y Curva Patrón en las 16 frecuencias Losa Nervada - Luz 6 m



Nota. Elaboración propia en base a Sharp (1978), ASTM E413-22 (ASTM International, 2022).

Tabla 101. Evaluación de las tres propiedades determinantes Losa Nervada - Luz 3 m

Propiedad	Valor / descripción	Clasificación	Implicación acústica
Masa superficial	m ₁ = 321,43 kg/m ²	Muy alto	Alta resistencia al ruido aéreo. Domina el resultado del STC
Amortiguamiento interno	η = 0,004–0,008	Medio	Disipación moderada de la energía de impacto de la lluvia
Continuidad del sistema	d = 0,3 m	Riesgo moderado	Vigas IPE y correas metálicas dentro de la cámara constituyen puentes acústicos potenciales entre cubierta y cielo raso (Fielders, 2019)

Nota. Elaboración propia en base a Sharp (1978), Irvine (2010), Fielders (2019), Klimapedia (2019)

El sistema muestra deficiencias en 125, 160, 200 Hz, con una deficiencia máxima de 8 dB, marginalmente mayor que en la placa colaborante de módulo 7,5 m (6.5 dB) pese a tener mayor masa. Este comportamiento se explica porque el STC candidato es también mayor: al subir el STC, la curva patrón exige más a bajas frecuencias, y la diferencia entre lo exigido y lo ofrecido puede aumentar aunque la pérdida de transmisión absoluta sea mayor.

La curva azul muestra una pérdida de transmisión que supera ampliamente la curva patrón desde 250 Hz en adelante. La masa muy alta (321,43 kg/m²) y el sistema monolítico de hormigón con cielo raso colgado, sin conexiones rígidas directas si los soportes están aislados, le dan el mejor perfil cualitativo del análisis.

Aislamiento Acústico Deck

M₁ comprende a las capas superiores: placa metálica
M₂ comprende a las capas inferiores: cielo raso
y el aislante termoacústico de lana de vidrio.

Tabla 102. Datos de entrada y frecuencia de resonancia

m ₁ (kg/m ²)	m ₂ (kg/m ²)	d (m)	m _{red} (kg/m ²)	f _r (Hz) Ec.4
5,15	10,25	0,5	3,4278	42,8 Hz

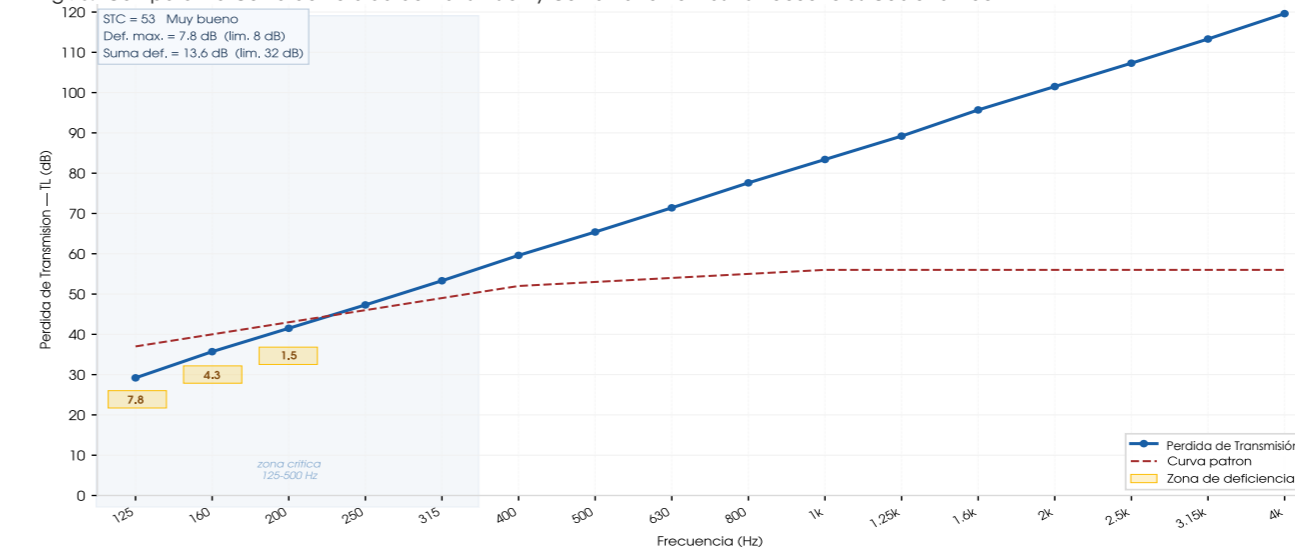
Nota. Elaboración propia en base a las capas del sistema y la ecuación 4.

Tabla 103. Pérdida de Transmisión en las 16 frecuencias (Ec. 2 y 3) - Deck

Frecuencia	Pérdida de Transmisión	Curva patrón STC=82
125 Hz	29,2 dB	37 dB ← deficiencia: 7,8 dB
160 Hz	35,7 dB	40 dB ← deficiencia: 4,3 dB
200 Hz	41,5 dB	43 dB ← deficiencia: 1,5 dB
250 Hz	47,3 dB	46 dB
315 Hz	53,3 dB	49 dB
400 Hz	59,6 dB	52 dB
500 Hz	65,4 dB	53 dB
630 Hz	71,4 dB	54 dB
800 Hz	77,6 dB	55 dB
1000 Hz	83,4 dB	56 dB
1250 Hz	89,2 dB	56 dB
1600 Hz	95,7 dB	56 dB
2000 Hz	101,5 dB	56 dB
2500 Hz	107,3 dB	56 dB
3150 Hz	113,3 dB	56 dB
4000 Hz	119,6 dB	56 dB

Nota. Elaboración propia a partir de Sharp (1978), ASTM E413-22 (ASTM International, 2022). STC candidato 53: deficiencia máxima = 7,8 dB (límite: 8 dB) | suma de deficiencias = 13,6 dB (límite: 32 dB). STC = 53 — Muy bueno.

Fig 70. Comparativa Curva de Pérdida de Transmisión y Curva Patrón en las 16 frecuencias Cubierta Deck



Nota. Elaboración propia en base a Sharp (1978), ASTM E413-22 (ASTM International, 2022).

Tabla 104. Evaluación de las tres propiedades determinantes

Propiedad	Valor / descripción	Clasificación	Implicación acústica
Masa superficial	m ₁ = 5,15 kg/m ²	Muy Bajo	Ruido aéreo ← Resistencia limitada. Masa ← Factor + restrictivo
Amortiguamiento interno	η = 0,0001–0,0003	Bajo	Energía de impacto ← Alta transmisión. Convierte el golpe de la gota en sonido irradiado hacia el interior
Continuidad del sistema	d = 0,5 m	Riesgo moderado - Bajo	Lámina metálica fijada con tornillos — las fijaciones son puentes acústicos directos entre cubierta y estructura (Fielders, 2019)

Nota. Elaboración propia en base a Sharp (1978), Irvine (2010), Sound Damped Steel (s.f), Fielders (2019), Klimapedia (2019)

El sistema muestra el perfil de deficiencias más extenso del análisis: las zonas deficientes abarcan frecuencias consecutivas en el rango más crítico para la lluvia intensa. La curva de TL queda claramente por debajo de la curva patrón en todo ese rango, con una deficiencia máxima de 7,8 dB y una suma de 13,6 dB.

A partir de 400 Hz la curva de pérdida de transmisión supera la curva patrón, pero esas frecuencias no son las dominantes en el ruido de lluvia (Sound Reduction Systems, s.f.). La frecuencia más alta del análisis (64,9 Hz) hace que 125 Hz opere prácticamente en el umbral del régimen de masa total, sin aprovechar el beneficio de la cámara en la frecuencia más problemática.

Cualitativamente, el deck tiene las tres propiedades en condición desfavorable simultáneamente: masa muy baja (5,15 kg/m²), amortiguamiento muy bajo (η = 0,0001–0,0003; Irvine, 2010) y alta vulnerabilidad a puentes acústicos en las fijaciones (Fielders, 2019). Es el sistema con el perfil más desfavorable del análisis.

Aislamiento Acústico Panel sándwich (núcleo EPS)

M₁ comprende a las capas superiores: Panel Sándwich.

M₂ comprende a las capas inferiores: cielo raso.

Tabla 105. Datos de entrada y frecuencia de resonancia

m ₁ (kg/m ²)	m ₂ (kg/m ²)	d (m)	m _{red} (kg/m ²)	f _r (Hz) Ec.4
10,03	9,49	0,5	4,48763	54,4 Hz

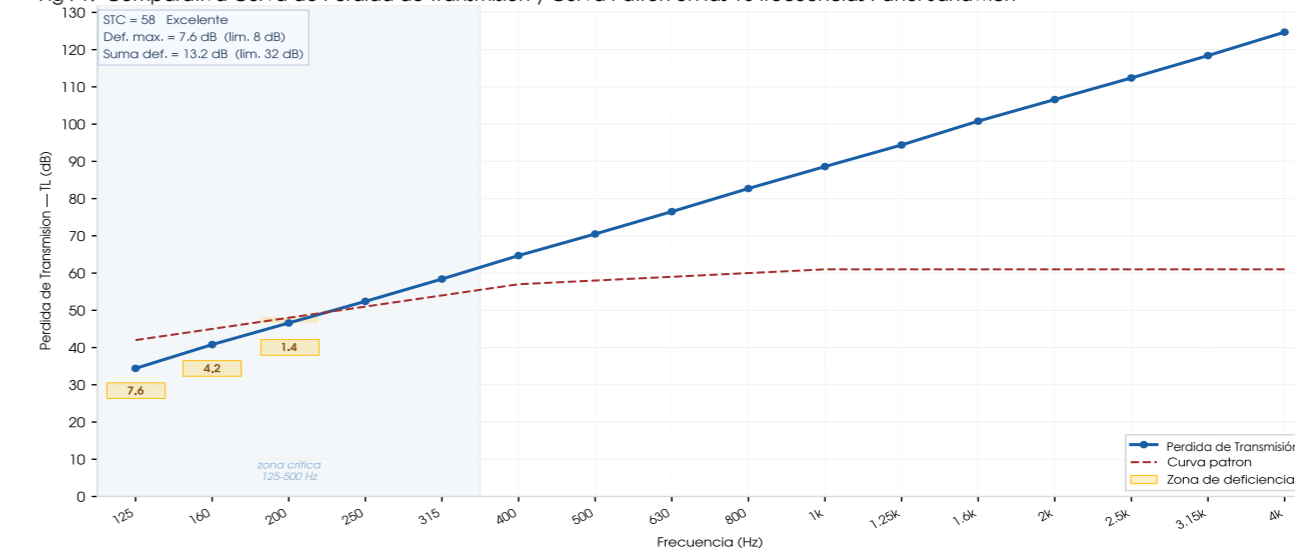
Nota. Elaboración propia en base a las capas del sistema y la ecuación 4.

Tabla 106. Pérdida de Transmisión en las 16 frecuencias (Ec. 2 y 3) - Panel Sándwich

Frecuencia	Perdida de Transmisión	Curva patrón STC=82
125 Hz	34,4 dB	42 dB ← deficiencia: 7,6 dB
160 Hz	40,8 dB	45 dB ← deficiencia: 4,2 dB
200 Hz	46,6 dB	48 dB ← deficiencia: 1,4 dB
250 Hz	52,4 dB	51 dB
315 Hz	58,4 dB	54 dB
400 Hz	64,7 dB	57 dB
500 Hz	70,5 dB	58 dB
630 Hz	76,5 dB	59 dB
800 Hz	82,7 dB	60 dB
1000 Hz	88,6 dB	61 dB
1250 Hz	94,4 dB	61 dB
1600 Hz	100,8 dB	61 dB
2000 Hz	106,6 dB	61 dB
2500 Hz	112,4 dB	61 dB
3150 Hz	118,4 dB	61 dB
4000 Hz	124,7 dB	61 dB

Nota. Elaboración propia a partir de Sharp (1978), ASTM E413-22 (ASTM International, 2022). STC candidato 58: deficiencia máxima = 7,6 dB (límite: 8 dB) | suma de deficiencias = 13,2 dB (límite: 32 dB). Resultado: STC = 58 — Excelente.

Fig 71. Comparativa Curva de Perdida de Transmisión y Curva Patrón en las 16 frecuencias Panel Sándwich



Nota. Elaboración propia en base a Sharp (1978), ASTM E413-22 (ASTM International, 2022).

Tabla 107. Evaluación de las tres propiedades determinantes

Propiedad	Valor / descripción	Clasificación	Implicación acústica
Masa superficial	m ₁ = 10,03 kg/m ²	Bajo	Energía de impacto ← Alta transmisión. Convierte el golpe de la gota en sonido irradiado hacia el interior
Amortiguamiento interno	η = 0,0001–0,0003 (caras metálicas)	Bajo-Medio	Disipación moderada de la energía de impacto de la lluvia
Continuidad del sistema	d = 0,5 m	Riesgo moderado - Bajo	Sistema sobre estructura secundaria. Riesgo de puentes acústicos en los puntos de fijación del tablero (Fielders, 2019)

Nota. Elaboración propia en base a Sharp (1978), Irvine (2010), Fielders (2019), Klimapedia (2019)

El sistema muestra deficiencias en 125, 160, 200 Hz, con una deficiencia máxima de 7,6 dB y una suma de 13,2 dB. La extensión de las zonas deficientes es menor que en el deck metálico, pero el rango problemático coincide igualmente con las frecuencias críticas para la lluvia.)

La frecuencia de 54.4 Hz es alta dentro del grupo ligero, lo que significa que 125 Hz opera muy cerca del umbral de resonancia, reduciendo el beneficio de la cámara en esa frecuencia. A partir de 315 Hz la curva TL supera la curva patrón de forma estable.

Cualitativamente, el panel sándwich tiene una situación particular: el núcleo de EPS amortigua parcialmente el impacto entre las caras metálicas, pero esas caras tienen amortiguamiento intrínseco muy bajo (η = 0,001–0,003 (caras metálicas); Irvine, 2010), lo que lo sitúa por encima del deck pero por debajo de los tableros de madera en resistencia al impacto de lluvia.

El análisis acústico revela la diferencia más pronunciada entre los sistemas, evidenciando que la masa superficial es el parámetro dominante en el aislamiento al ruido aéreo, tal como predice la ley de masa. La Losa Nervada Bidireccional, con $m_1 = 321,43 \text{ kg/m}^2$, 62 veces superior al deck y 32 veces al panel sándwich, alcanza un $STC = 84$ que la sitúa como referente de excelencia acústica difícilmente replicable por sistemas livianos.

Es importante contextualizar adecuadamente las deficiencias detectadas en bajas frecuencias (125–200 Hz) para los tres sistemas. Este comportamiento es inherente al modelo matemático utilizado: al incrementarse el STC candidato, la curva patrón de referencia exige valores mayores en el rango de bajas frecuencias, por lo que incluso un TL absoluto más alto puede mostrar una deficiencia relativa mayor. En el caso de la losa nervada, la deficiencia máxima de 8 dB se produce precisamente porque el STC candidato es 84, el más alto del análisis, no porque el sistema tenga un comportamiento deficiente en términos absolutos.

La Losa Nervada Bidireccional ofrece una pérdida de transmisión que supera en 20–30 dB a las propuestas en las frecuencias más críticas (250–1000 Hz), garantizando un ambiente acústico interior de más calidad. El sistema monolítico de hormigón, combinado con el cielo raso colgado,

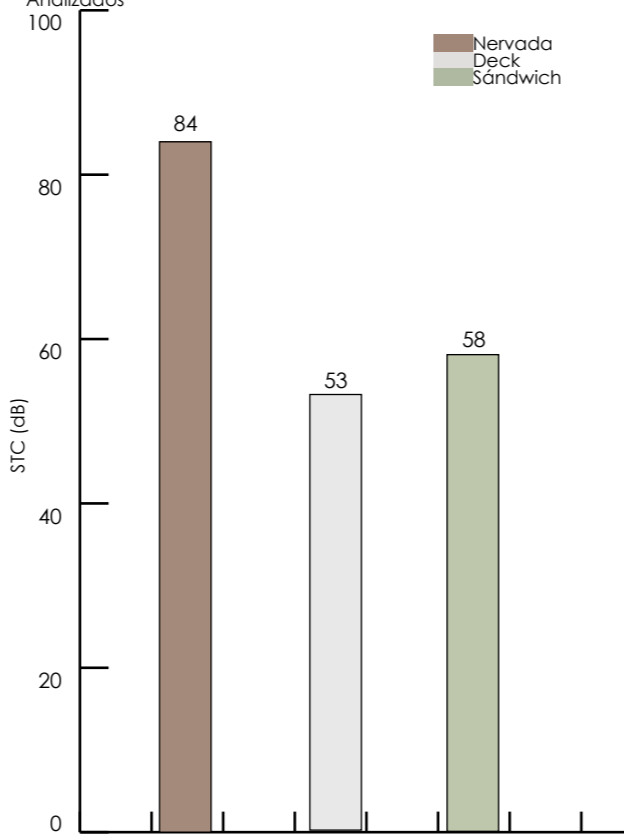
genera una cámara de amortiguamiento eficaz.

El Panel Sándwich con $STC = 58$ supera al deck en 5 puntos STC , diferencia perceptible al oído humano (aproximadamente 5 dB corresponden a una reducción del 50% en la energía sonora percibida). El núcleo de EPS aporta amortiguamiento interno entre las caras metálicas (η estimado entre 0,001 y 0,003), reduciendo la transmisión por impacto respecto a una lámina metálica simple. Sin embargo, la baja masa superficial ($10,03 \text{ kg/m}^2$) limita estructuralmente la atenuación al ruido aéreo en frecuencias medias.

La Cubierta Deck, con $STC = 53$, presenta el perfil más desfavorable: masa muy reducida ($5,15 \text{ kg/m}^2$), amortiguamiento intrínseco extremadamente bajo ($\eta = 0,0001-0,0003$ para acero), y alta vulnerabilidad a puentes acústicos en los puntos de fijación mecánica. El ruido de lluvia sobre cubierta metálica no aislada puede alcanzar niveles de 70–80 dB en el interior sin tratamiento adicional, condición crítica para el uso educativo del aula.

En consecuencia, si bien el $STC=53$ clasifica como 'Muy bueno', este valor se obtiene en condiciones ideales de laboratorio; en instalación real sobre edificio en uso, las fijaciones mecánicas, discontinuidades y puentes acústicos reducen el desempeño efectivo, situando al deck como el sistema con mayor riesgo de incumplir los estándares de confort acústico.

Fig 72. Comparativa Aislamiento Acústico entre los Sistemas Analizados



Nota. Elaboración propia en base a los resultados obtenidos

Tiempos de Construcción de los Sistemas Analizados

Tabla 108. Tiempos de construcción cubierta actual con losa nervada bidireccional

LOSA NERVADA BIDIRECCIONAL e=25cm					
RUBRO		1 m ² (referencia)		Número de obreros	Rendimiento en días
N°	Descripción del APU	Horas	Días		
	m ²	h/m ²	días/m ²		
7	Losa Alivianada 2 direcciones e=25 cm (incl. H.S, alivianamientos y encofrado)	0,56	0,07	8	7,60235
8	Hormigón Simple sobre Vigas (incl. encofrado)	0,5	0,06	6	8,6884
3	Malla Electrosoldada R-196	0,3	0,04	2	17,3768
4	Cielo Raso Gypsum e=1/2" (incl. estructura, empaste y pintura)	0,5	0,06	3	17,3768
5	Impermeabilización de Cubierta	0,45	0,06	2	26,0652
6	Mortero de Cubierta con Pendiente	0,4	0,05	2	21,721
—	Tiempo de Fraguado del Hormigón (28 días)	—	28	-	28
TOTAL	TIEMPO TOTAL DEL SISTEMA	2,71	0,34		126,83055

Nota. Elaboración propia en base a los APUS actualizados de la CAMICON y SERCOP. Revisar Anexo 3-4-5-6-7-8 para consultar el APU completo. El tiempo de fraguado del hormigón (28 días calendario) es un período de espera que no demanda mano de obra, pero es obligatorio antes de aplicar capas superiores. Se incluye en el total de días del sistema.

Tabla 109. Tiempos de construcción propuesta Cubierta Deck

CUBIERTA DECK					
RUBRO		1 m ² (referencia)		Número de obreros	Rendimiento en días
N°	Descripción del APU	Horas	Días		
	m ²	h/m ²	días/m ²		
15	Provisión e Instalación de Estructura Metálica	0,05	0,01	4	2,1721
9	Cubierta Deck e=50 mm	0,37	0,05	4	10,8605
4	Cielo Raso Gypsum e=1/2" (incl. estructura, empaste y pintura)	0,5	0,06	3	17,3768
TOTAL	TIEMPO TOTAL DEL SISTEMA	0,92	0,12	-	30,4094

Nota. Elaboración propia en base a los APUS actualizados de la CAMICON y SERCOP. Revisar Anexo 4-9-15 para consultar el APU completo.

Tabla 110. Tiempos de construcción propuesta Cubierta Panel Sándwich

CUBIERTA PANEL SÁNDWICH					
RUBRO		1 m ² (referencia)		Número de obreros	Rendimiento en días
N°	Descripción del APU	Horas	Días		
	m ²	h/m ²	días/m ²		
15	Provisión e Instalación de Estructura Metálica	0,05	0,01	4	2,1721
10	Panel Sandwich Kubitoc Total	0,37	0,05	4	10,8605
4	Cielo Raso Gypsum e=1/2" (incl. estructura, empaste y pintura)	0,5	0,06	3	17,3768
TOTAL	TIEMPO TOTAL DEL SISTEMA	0,92	0,12	-	30,4094

Nota. Elaboración propia en base a los APUS actualizados de la CAMICON y SERCOP. Revisar Anexo 4-10-15 para consultar el APU completo.

Mediante el rendimiento unitario más representativo de cada sistema, se estableció una base homogénea de comparación. Sin embargo, para la estimación del plazo de ejecución de la cubierta real de 868.84 m², se incorporó el número real de obreros asignado a cada rubro, aplicando la relación: $\text{Días} = (\text{Rendimiento días/m}^2 \times \text{Área}) \div \text{N}^\circ \text{ obreros}$. Este ajuste permite obtener duraciones realistas considerando el trabajo simultáneo de las cuadrillas. El tiempo de fraguado del hormigón (28 días) se mantiene como valor fijo independiente del área, ya que corresponde a una propiedad del material y no a un rendimiento de mano de obra.

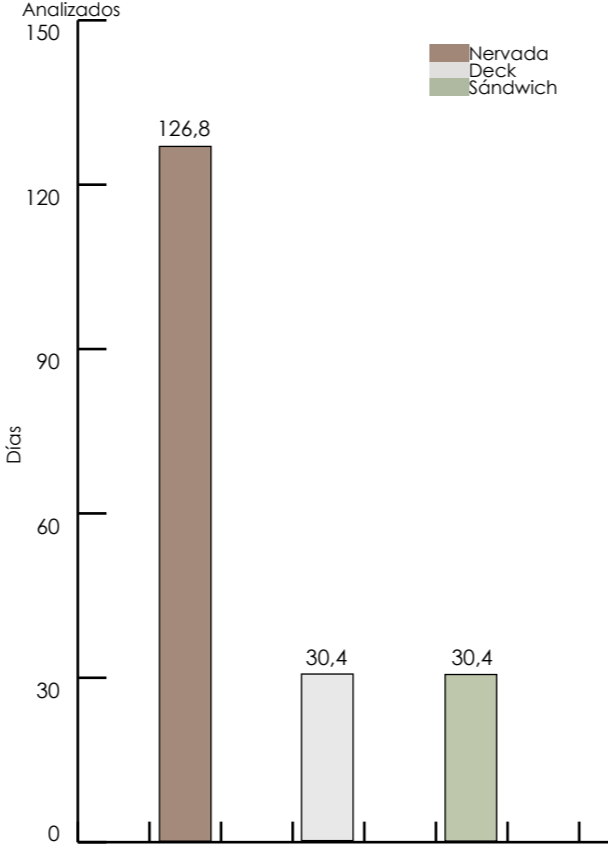
El análisis de tiempos permite dimensionar el plazo que demandaría ejecutar cada sistema de cubierta bajo condiciones actuales de obra. La losa nervada unidireccional, tomada como referencia por ser el sistema existente, requeriría 126.83 días de ejecución si se construyera hoy, plazo condicionado principalmente por los 28 días de fraguado del hormigón, tiempo que no puede reducirse con mayor número de obreros al ser una propiedad intrínseca del material. Frente a esta referencia, las dos propuestas presentan plazos notablemente menores: tanto la Cubierta Deck como el Panel Sándwich alcanzan un tiempo total de 30.41 días, distribuidos entre la instalación de estructura metálica (2.17 días), la cubierta propiamente dicha (10.86 días) y el cielo raso (17.38 días). Esto

representa una reducción del 76% en el plazo de ejecución respecto al sistema existente, lo cual constituye una ventaja constructiva significativa.

La reducción del 76% en el plazo de ejecución constituye, en el contexto específico de este proyecto, una ventaja de primera importancia. La Losa Nervada Bidireccional requeriría 126,83 días de obra continua, plazo condicionado irreductiblemente por el período de fraguado del hormigón (28 días), que no puede acortarse mediante incremento de mano de obra o tecnología constructiva convencional, ya que responde a procesos físico-químicos de hidratación del cemento. A esto se suman las etapas de encofrado, colocación de malla electrosoldada, hormigonado, desencofrado, impermeabilización y mortero de pendiente, cada una con sus propios tiempos mínimos. En términos académicos, 126 días representan más de cuatro meses de obras.

Los sistemas propuestos, deck y panel Sándwich, comparten idéntico plazo de 30,41 días, distribuidos en tres rubros en secuencia: instalación de estructura metálica (2,17 días), colocación de cubierta (10,86 días) y ejecución del cielo raso (17,38 días). Un proceso seco, sin esperas de fraguado ni procesos húmedos le da una ventaja diferencial a los sistemas propuestos frente al sistema actual de la edificación.

Fig 73. Comparativa Tiempos de Construcción entre los Sistemas Analizados



Nota. Elaboración propia en base a los resultados obtenidos

Costo de los Sistemas Analizados

Tabla 111. Desglose del costo total del sistema de losa nervada bidireccional

LOSA NERVADA BIDIRECCIONAL e=25cm								
Nº	Descripción del APU	Material	Costo Unitario del Sistema (\$/m²)	Costo Unitario del Sistema (\$/m²)	m² de cubierta	Costo Total de la Cubierta (USD)		
	Unidad	m³						
7	Losa Alivianada 2 direcciones e=25 cm (incl. H.S, alivianamientos y encofrado)	225,90	\$ 130,97	\$ 32,74	868,84	\$96.145,83		
8	Hormigón Simple sobre Vigas (incl. encofrado)	61,66	\$ 110,81	\$ 27,70				
3	Malla Electrosoldada R-196		-	\$ 9,43				
4	Cielo Raso Gypsum e=1/2" (incl. estructura, empaste y pintura)		-	\$ 19,93				
5	Impermeabilización de Cubierta		-	\$ 15,22				
6	Mortero de Cubierta con Pendiente		-	\$ 5,64				
TOTAL	COSTO TOTAL DEL SISTEMA		-	\$ 110,66				

Nota. Elaboración propia en base a Kubiec (Deck Kubiloc Total) y los APUS actualizados de la CAMICON y SERCOP. Revisar Anexo 4-9-15 para consultar el APU completo.

Tabla 112. Desglose del costo total del sistema de cubierta deck

CUBIERTA DECK (PANEL DECK e=50 mm)				
N°	Descripción del APU	Costo Unitario del Sistema	m² de cubierta	Costo Total de la Cubierta
	Unidad	(\$/m²)		(USD)
15	Provisión e Instalación de Estructura Metálica	\$ 3,53	868,84	\$34.753,60
9	Cubierta Deck e=50 mm	\$ 16,54		
4	Cielo Raso Gypsum e=1/2" (incl. estructura, empaste y pintura)	\$ 19,93		
TOTAL	COSTO TOTAL DEL SISTEMA	\$ 40,00		

Nota. Elaboración propia en base a Kubiec (Deck Kubiloc Total) y los APUS actualizados de la CAMICON y SERCOP. Revisar Anexo 4-9-15 para consultar el APU completo.

Tabla 113. Desglose del costo total del sistema de panel sándwich

CUBIERTA DECK (PANEL DECK e=50 mm)				
N°	Descripción del APU	Costo Unitario del Sistema	m² de cubierta	Costo Total de la Cubierta
	Unidad	(\$/m²)		(USD)
15	Provisión e Instalación de Estructura Metálica	\$ 3,53	868,84	\$52.008,76
10	Panel Sandwich Kubiloc Total	40,93		
4	Cielo Raso Gypsum e=1/2" (incl. estructura, empaste y pintura)	15,38		
TOTAL	COSTO TOTAL DEL SISTEMA	59,86		

Nota. Elaboración propia en base a Kubiec (Deck Kubiloc Total) y los APUS actualizados de la CAMICON y SERCOP. Revisar Anexo 4-10-15 para consultar el APU completo.

El análisis de costos permite comparar la inversión que representaría ejecutar cada sistema de cubierta hoy en día, incluyendo la Losa Nervada Bidireccional existente como referencia del costo que implicó en su momento y que serviría de base para dimensionar el ahorro de las propuestas actuales.

Bajo precios de mercado vigentes, la Losa Nervada Bidireccional tendría un costo de \$103.13/m², con un total de \$96.145,83 para los 868,84 m², siendo el sistema de mayor inversión debido a la complejidad de su proceso constructivo, que incluye encofrado, hormigón armado, malla electrosoldada, impermeabilización y mortero de pendiente.

La Cubierta Deck, con \$40,00/m² y un total de \$34.753,60, representa el sistema más económico, con un ahorro del 61,2% respecto a la losa existente.

El Panel Sándwich, con \$59,86/m² y un total de \$52.008,76. Estos valores corresponden a costos directos de materiales y mano de obra, sin incluir costos indirectos, utilidad ni impuestos.

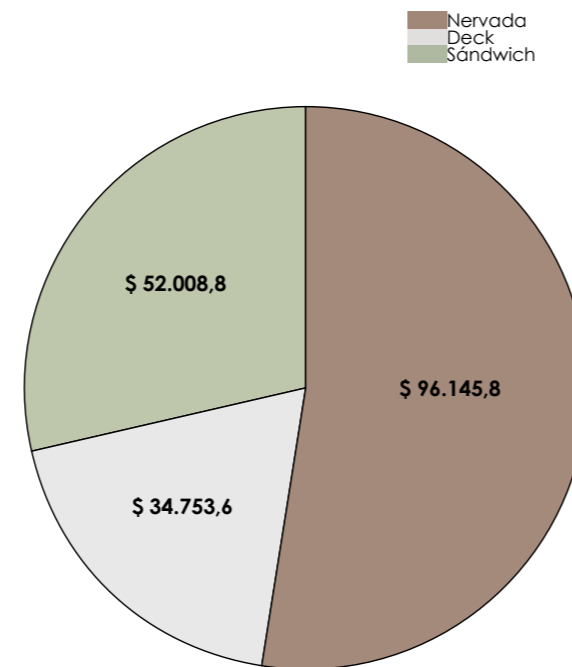
El diferencial de costo entre la Cubierta Deck (\$40,00/m²) y el Panel Sándwich (\$59,86/m²) es de \$19,86/m², equivalente a \$17.255,16 para el área total de 868,84 m².

Esta diferencia se origina principalmente en el componente de cubierta propiamente dicho: el panel sándwich con núcleo de EPS y acabado en ambas caras implica mayor complejidad de fabricación industrial y transporte especializado respecto a la placa metálica corrugada del deck, que es un producto de mayor volumen de mercado y menor costo de manufactura.

Sin embargo, la evaluación económica integral debe considerar el costo del ciclo de vida y no solo la inversión inicial. El Panel Sándwich, al ofrecer mejor desempeño térmico ($U = 0,3151$ vs. $0,4870$ W/m²K), reduce la demanda de climatización artificial a largo plazo, generando ahorros operativos sostenidos. Asimismo, su mayor resistencia acústica (STC = 58 vs. 53) podría evitar gastos posteriores en tratamientos acústicos complementarios para adecuar las aulas a estándares de confort educativo.

Frente a la Losa Nervada Bidireccional, ambas propuestas representan ahorros de capital superiores al 40%, con reducciones absolutas de \$54.845,53 (Deck) y \$37.590,37 (Sándwich).

Fig 74. Comparativa Costos Directos entre los Sistemas Analizados



Nota. Elaboración propia en base a los resultados obtenidos



CAPÍTULO 5

CONCLUSIONES

- 5.1 Conclusiones Generales
- 5.2 Bibliografía
- 5.3 Anexos
- 5.4 Índice de Figuras

5.1 Conclusiones Generales

Evaluación Integral de los Sistemas de Cubierta para el Aulario de Psicología

El análisis comparativo desarrollado a lo largo del presente capítulo ha evaluado tres sistemas de cubierta, la losa nervada bidireccional existente, la cubierta deck y el panel sándwich con núcleo de EPS, en función de cinco parámetros de desempeño: peso propio, comportamiento térmico, aislamiento acústico, plazo de ejecución y costo directo. Los resultados obtenidos permiten formular las siguientes conclusiones con sustento técnico y cuantitativo.

Sobre la Losa Nervada Bidireccional existente

La Losa Nervada Bidireccional constituyó, en el momento de su concepción, una solución estructural integral que cumple simultáneamente funciones portantes, de cubierta y de cielo raso. Su desempeño acústico excepcional, $STC = 84$, es consecuencia directa de su masa superficial de $331,92 \text{ kg/m}^2$, que ningún sistema liviano puede igualar sin recurrir a soluciones compuestas de alta complejidad constructiva. Sin embargo, esta ventaja acústica se obtiene a un costo estructural y económico.

Desde la perspectiva técnica, el sistema presenta una contradicción interna relevante: sus excelentes valores U combinados ($0,3822 \text{ W/m}^2\text{K}$) son el promedio entre zonas con comportamiento térmico radicalmente diferente, los nervios de

hormigón armado generan puentes térmicos severos con $U_{20} = 1,2100 \text{ W/m}^2\text{K}$, aproximadamente siete veces superior a la zona aislada con EPS.

Sobre la Cubierta Deck

La Cubierta Deck ofrece la solución más económica ($\$40,00/\text{m}^2$) y la de menor peso propio ($19,48 \text{ kg/m}^2$), con un plazo de ejecución de 30,41 días idéntico al Panel Sándwich.

Sin embargo, presenta las limitaciones más significativas del análisis en los parámetros de mayor impacto para el uso educativo: su desempeño acústico, $STC = 53$, es el más bajo del grupo, con un perfil cualitativo especialmente desfavorable caracterizado por masa superficial muy reducida ($5,15 \text{ kg/m}^2$), amortiguamiento intrínseco extremadamente bajo ($\eta = 0,0001-0,0003$) y alta vulnerabilidad al ruido de lluvia sobre la cara metálica.

En un clima como el de Cuenca, con precipitaciones regulares y lluvias de alta intensidad, esta condición representa un riesgo real para el confort acústico de las aulas. Asimismo, su transmitancia térmica ($U = 0,4870 \text{ W/m}^2\text{K}$), si bien normativa, es la menos eficiente de los tres sistemas, con puentes térmicos en puntos de fijación que comprometen su comportamiento en la práctica.

Sobre el Panel Sándwich con núcleo EPS

El Panel Sándwich presenta el perfil de desempeño más equilibrado del análisis, posicionándose como la alternativa técnicamente más recomendable para la intervención propuesta. En el parámetro térmico obtiene el mejor resultado ($U = 0,3151 \text{ W/m}^2\text{K}$), superando incluso a la losa nervada en términos de homogeneidad y continuidad del aislamiento, sin puentes térmicos estructurales. En el parámetro acústico alcanza $STC = 58$ clasificado como excelente, con una ventaja de 5 puntos sobre el deck que representa, en términos perceptivos, una reducción del 50% en la energía sonora transmitida al interior. Su peso propio ($25,47 \text{ kg/m}^2$) y su plazo de ejecución (30,41 días) son prácticamente idénticos al deck, lo que elimina diferencias operativas significativas entre ambos sistemas propuestos. Su costo directo de $\$59,86/\text{m}^2$ representa un ahorro del 42% respecto a la losa nervada, con una inversión adicional de $\$19,86/\text{m}^2$ sobre el deck que se justifica plenamente por el superior desempeño integral.

Recomendación final

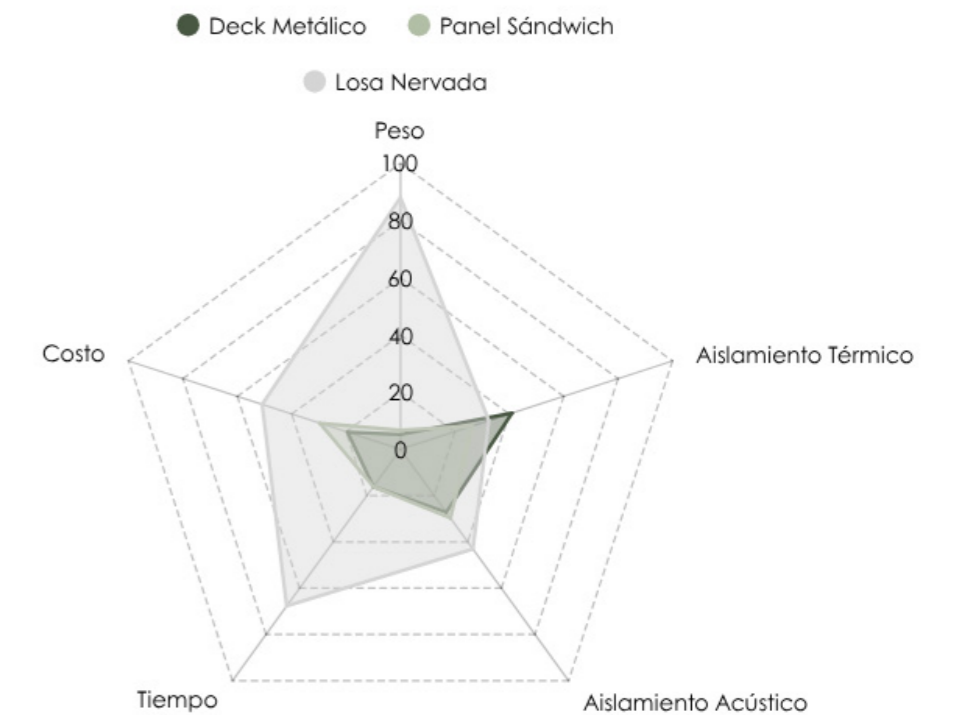
En consideración del conjunto de parámetros evaluados y del contexto específico de la intervención, una edificación universitaria, ubicada en el clima andino de Cuenca, con requerimientos de confort acústico y térmico

propios del uso educativo, el Panel Sándwich con núcleo de Poliestireno Expandido (EPS) constituye el sistema de cubierta más adecuado para reemplazar la Losa Nervada Bidireccional existente. Esta recomendación se fundamenta en su superioridad térmica, su desempeño acústico notablemente mejor que el deck, su reducción de peso del 92% sobre la estructura existente, su plazo de ejecución de un mes, y su costo de inversión que representa un ahorro significativo respecto al sistema constructivo de referencia.

La Cubierta Deck, si bien presenta ventajas en peso y costo, queda descartada como solución óptima para este uso específico precisamente por su comportamiento acústico ante lluvia, limitación que en el contexto del aulario de psicología, donde el confort acústico es condición necesaria para el desarrollo de actividades académicas.

En conclusión, el Panel Sándwich con EPS representa la intersección óptima entre eficiencia térmica, confort acústico, reducción de carga estructural, velocidad constructiva y racionalidad económica, configurándose como la propuesta que mayor beneficio aportaría al aulario de psicología de la Universidad de Cuenca como intervención de cubierta técnicamente responsable y normativamente sustentada.

Fig 75. Gráfico araña de las aptitudes de los sistemas analizados



Nota. Elaboración propia a partir de los resultados obtenidos.

5.2 Bibliografía

- Adler, D. (1999a). Design for the vehicle. En D. Adler (Ed.), *Metric handbook: Planning and design data* (2.ª ed.). Architectural Press.
- Adler, D. (1999b). Notation, drawing office practice and dimensional coordination. En D. Adler (Ed.), *Metric handbook: Planning and design data* (2.ª ed.). Architectural Press.
- Adler, D. (1999c). Structure. En D. Adler (Ed.), *Metric handbook: Planning and design data* (2.ª ed.). Architectural Press.
- Alcalde Pecero, F. (2002). Banco de detalles arquitectónicos. Gustavo Gili.
- American Society of Civil Engineers. (2022). ASCE/SEI 7-22: Minimum design loads and associated criteria for buildings and other structures. ASCE.
- ANDECE. (2019). Guía técnica: Forjados prefabricados de hormigón. <https://www.andece.org/wp-content/uploads/2019/12/Guía-Técnica-Forjados-prefabricados-de-hormigón-ANDECE.pdf>
- ANDECE. (s.f.). Descripción de prelosas. Recuperado el 21 de mayo de 2026, de https://www.andece.org/images/MASTER/descripcion_prelosas.pdf
- APA – The Engineered Wood Association. (2008). Panel design specification (Form D510). APA.
- APA – The Engineered Wood Association. (2011). Load-span tables for APA structural-use panels (Form No. Q225G). APA. <https://www.innovativepanel.com/wp-content/uploads/2015/11/American-Plywood-Association-Load-Span-Table.pdf>
- APA – The Engineered Wood Association. (2019). Engineered wood construction guide (Form No. E30X). APA. <https://www.buildgp.com/wp-content/uploads/2022/06/APA-Engineered-Wood-Construction-Guide-Roofs-E30-2020.pdf>
- ArchDaily. (2012, 22 de junio). Aulario Universidad de Cuenca / Javier Durán. ArchDaily en Español. <https://www.archdaily.cl/cl/02-165678/aulario-universidad-de-cuenca-javier-duran>
- ASTM International. (2022). ASTM E413-22: Standard classification for rating sound insulation. ASTM International.
- Balex Metal. (s.f.). Sandwich panels – What should you know? Recuperado el 21 de mayo de 2026, de <https://balex.eu/en/knowledge-base/news/sandwich-panels-what-should-you-know>
- Ballagh, K. O. (1990). Noise of simulated rainfall on roofs. *Applied Acoustics*, 31(4), 245–264. [https://doi.org/10.1016/0003-682X\(90\)90032-P](https://doi.org/10.1016/0003-682X(90)90032-P)
- Cañar Freire, E. A., & Pizarro Delgado, P. A. (2023). Comparativa del sistema tradicional versus el sistema Steel Framing en una vivienda unifamiliar [Tesis de grado, Universidad Politécnica Salesiana]. Repositorio Institucional UPS. <https://dspace.ups.edu.ec/handle/123456789/24884>
- Chávez Amaguaña, E. J., & Lalangui García, J. R. (2022). Análisis técnico comparativo entre el sistema Steel Framing y hormigón armado con diferentes cubiertas, en estructuras regulares [Tesis de grado, Universidad Politécnica Salesiana]. Repositorio Institucional UPS. <https://dspace.ups.edu.ec/bitstream/123456789/28033/1/TTS594.pdf>
- Chéné, J.-B., Guigou-Carter, C., & Villot, M. (2010). Rainfall noise measurements: Assessment and perspective four years after the publication of EN ISO 140-18 [Ponencia]. Inter-Noise 2010, Lisboa, Portugal. <https://www.researchgate.net/publication/290323387>
- Concrete Reinforcing Steel Institute. (s.f.). Economy

- of construction. CRSI. Recuperado el 21 de mayo de 2026, de <https://www.crsi.org/reinforced-concrete-benefits/economy-of-construction/>
- Contraloría General del Estado. (2025). Salarios de mano de obra. <https://www.contraloria.gob.ec/Informativo/SalariosManoObra>
- Córdova, M. F. (2014). Estudio comparativo del sistema constructivo en hormigón y acero, en un edificio [Tesis de grado, Universidad de Cuenca]. Repositorio Institucional UCuenca. <https://dspace.ucuenca.edu.ec/items/45ab92d4-6d8b-4376-b9e3-a10ce55ed31d>
- De la Cruz, U. (2024). Concreto premezclado vs concreto en sitio. CUCMEX. <https://www.cucmex.com/blog/concreto-premezclado-vs-concreto-en-sitio>
- Desarrollos ESC. (2023). Corrosión en estructuras de concreto: Causas, daños, síntomas, reparaciones y prevención. <https://desarrollosesc.com/corrosion-en-estructuras-de-concreto-causas-danos-sintomas-reparaciones-y-prevencion/>
- De Hormigón. (s.f.). Losa de hormigón armado. De Hormigón. <https://dehormigon.com.ar/hormigon-armado/losa-de-hormigon-armado>
- DIPAC. (2023, 20 de marzo). Las ventajas de construir con losa colaborante. <https://dipacmanta.com/las-ventajas-de-construir-con-losa-colaborante/>
- Durán, J. (2011). Aulario Universidad de Cuenca [Proyecto de arquitectura]. Unidad de Planificación Física, Universidad de Cuenca; Constructora RHR.
- Edimca. (2023a). Catálogo OSB 2023. https://e.issuu.com/embed.html?d=catalogo_osb_2023&u=edimcaec
- Edimca. (2023b). Catálogo Triplex 2023. https://e.issuu.com/embed.html?d=catalogo-triplex_2023&u=edimcaec
- Eternit. (2025). Ficha técnica: Lana de fibra de vidrio. Eternit Colombia. <https://www.eternit.com.co/wp-content/uploads/2025/09/Ficha-Tecnica-Lana-de-Fibra-de-Vidrio-sep2025.pdf>
- Eternit. (2022). FT placas de fibrocemento Plyding. <https://www.eternit.com.co/wp-content/uploads/2022/08/FT-Placas-de-Fibrocemento-Plyding.pdf>
- Everest, F. A., & Pohlmann, K. C. (2015). *Master handbook of acoustics* (6.ª ed.). McGraw-Hill Education.
- European Commission. (2009). Best practice for the specification and installation of metal cladding and secondary steelwork (Technical Steel Research). Publications Office of the European Union.
- Federal Emergency Management Agency. (s.f.). FEMA P-2181 Fact Sheet 3.3.2: Roof systems – Low-slope roofs. FEMA. Recuperado el 21 de mayo de 2026, de https://www.fema.gov/sites/default/files/documents/fema_p-2181-fact-sheet-3-3-2-roof-systems-low-slope-roofs.pdf
- Fielders. (2019). Aramax: Roofing acoustics. Fielders Australia. <https://specifying.fielders.com.au/aramax/roofing-acoustics/>
- Gesto González, N. (2017). Ampliación y acondicionamiento del Complejo Deportivo Fontenla en Santa Comba (A Coruña) [Trabajo de fin de grado, Universidade da Coruña]. RUC. <http://hdl.handle.net/2183/18581>
- Graham, M. (2021, 1 de abril). Plywood or OSB? Professional Roofing. <https://www.professionalroofing.net/Articles/Plywood-or-OSB--04-01-2021/4853>
- Guía de la construcción ilustrada. (2011). Gustavo Gili.

HCM Hormigones. (2018). Patologías habituales en el hormigón armado. <https://hcmhormigones.es/patologias-habituales-en-el-hormigon-armado/>

HUMSESEC. (2022). Carbonatación del hormigón. <https://humesec.es/consejos/carbonatacion-del-hormigon/>

Import Aceros. (s.f.). Cubiertas metálicas. Recuperado el 21 de mayo de 2026, de <https://www.importaceros.com/ecuador-quito/cubiertas-metalicas>

In Roofing. (2025). Ponding on flat roofing. AllBase. <https://www.allbase.co.uk/industry/roofing/ponding-on-flat-roofing/>

INCOPERFIL. (s.f.). Cubierta deck en construcción industrial: Ventajas y características. Recuperado el 21 de mayo de 2026, de <https://incoperfil.com/actualidad-y-prensa/cubierta-deck-en-construccion-industrial-ventajas-y-caracteristicas/>

Instituto Nacional de Estadística y Censos. (2024). Estadísticas de Edificaciones (ESED) – IV Trimestre 2024. INEC. https://www.ecuadorencifras.gob.ec/documentos/web-inec/Estadisticas_Economicas/Encuesta_Edificaciones/2025/Trimestral_IV/2.2025_ESED_Principales_resultados_IVT.pdf

Instituto Nacional de Estadística y Censos. (2025). ESED – Encuesta de Edificaciones Trimestral. INEC. <https://www.ecuadorencifras.gob.ec/esed-encuesta-edificaciones-trimestral/>

Instituto Nacional de Normalización. (2007). NCh 853:2007. Acondicionamiento térmico – Envoltente térmica de edificios – Cálculo de resistencias y transmitancias térmicas. INN.

International Code Council. (2021a). International Building Code (IBC 2021), §1507.10.1. <https://codes.iccsafe.org/s/IBC2021V2.0/chapter-15-roof-assemblies-and-rooftop-structures/IBC2021V2.0-Ch15-Sec1507.10.1>

International Code Council. (2021b). International Residential Code (IRC 2021), §R905.2.2, §R905.11. <https://codes.iccsafe.org/content/IRC2021P1/chapter-9-roof-assemblies>

International Institute of Building Enclosure Consultants. (2016). 2016 CTS Roberts. IIBEC. <https://iibec.org/publication-post/2016-cts-roberts>

International Institute of Building Enclosure Consultants. (s.f.). Roof decks A to Z – Part IX: Oriented Strand Board (OSB). IIBEC. Recuperado el 21 de mayo de 2026,

de <https://iibec.org/publication-post/roof-decks-a-to-z-part-ix-oriented-strand-board-osb/>

International Organization for Standardization. (1983). ISO 1040: Building construction — Modular coordination — Multimodules for horizontal coordinating dimensions. ISO.

International Organization for Standardization. (1984). ISO 2848: Building construction — Modular coordination — Principles and rules. ISO.

International Organization for Standardization. (2006). ISO 140-18: Acoustics — Measurement of sound insulation in buildings and of building elements — Part 18: Laboratory measurement of sound generated by rainfall on building elements. ISO.

International Organization for Standardization. (2010). ISO 10140-5: Acoustics — Laboratory measurement of sound insulation of building elements — Part 5: Requirements for test facilities and equipment. ISO.

International Organization for Standardization. (2012). ISO 3382-3: Acoustics — Measurement of room acoustic parameters — Part 3: Open plan offices. ISO. <https://www.iso.org/standard/68433.html>

html

International Organization for Standardization. (2017). ISO 6946: Building components and building elements — Thermal resistance and thermal transmittance — Calculation methods. ISO. <https://www.iso.org/standard/65708.html>

International Organization for Standardization. (2020). ISO 717-1: Acoustics — Rating of sound insulation in buildings and of building elements — Part 1: Airborne sound insulation. ISO. <https://www.iso.org/standard/77435.html>

Irvine, T. (2010). Damping properties of materials. Vibrationdata. http://www.vibrationdata.com/tutorials_alt/damping.pdf

Iza Alomoto, M. A. (2013). Modelación de un sistema estructural alternativo, para una vivienda de dos pisos (paneles metálicos con inyección de poliuretano de alta densidad) [Tesis de grado, Escuela Politécnica Nacional]. Repositorio Digital EPN. <https://bibdigital.epn.edu.ec/handle/15000/5986>

Kelly Roofing. (s.f.). Common metal roof problems. Recuperado el 21 de mayo de 2026, de <https://www.kellyroofing.com/services/repair/common-metal-roof-problems>

Klimapedia. (2019). Sound insulation of cavity constructions (AE004). <https://klimapedia.nl/wp-content/uploads/2019/11/AE004-Sound-insulation-of-cavity-constructions.pdf>

Kosny, J., & Yarbrough, D. W. (2022). Thermal efficiency of insulation in building structures: The impact of thermal bridging. ResearchGate. <https://www.researchgate.net/publication/361111149>

Kubiec. (2023). Catálogo técnico de productos. <https://kubiec.com/download/1210/>

Lalvay, F. (2025, 15 de abril). Entrevista personal [Comunicación personal, realizada por J. N. Guillén Arteaga y P. M. Vázquez Vintimilla]. Cuenca, Ecuador.

Marshall Day Acoustics. (2024). INSUL version 10.0 — Sound insulation prediction software: User guide. Marshall Day Acoustics Ltd. <https://www.insul.co.nz>

Martí Almansa, J. A. (2019). Aproximación arquitectónica y análisis constructivo del edificio Wozoco de MVRDV [Trabajo de fin de grado, Universitat Politècnica de València]. RiuNet. <http://hdl.handle.net/10251/134394>

MaxAcero. (2025, 13 de noviembre). Losa nervada:

Características, ventajas y aplicaciones. <https://maxacero.com/blog/losa-nervada-caracteristicas-ventajas-aplicaciones/>

Ministerio de Desarrollo Urbano y Vivienda. (2023). NEC-HS-EE: Norma Ecuatoriana de Construcción – Eficiencia Energética. MIDUVI. <https://www.habitatyvivienda.gob.ec/wp-content/uploads/2023/03/4.-NEC-HS-Eficiencia-Energetica.pdf>

Ministerio de Fomento de España. (2019a). Documento Básico SE: Seguridad estructural. Código Técnico de la Edificación. <https://www.codigotecnico.org/DocumentosCTE/SeguridadEstructural.html>

Ministerio de Fomento de España. (2019b). Documento Básico HS: Salubridad. Código Técnico de la Edificación. <https://www.codigotecnico.org/DocumentosCTE/Salubridad.html>

Montero Rivas, W. F. (2016). Evaluación de patologías en las estructuras de concreto [Tesis de grado, Universidad Católica de Cuenca]. Repositorio Institucional UCACUE. <https://dspace.ucacue.edu.ec/handle/ucacue/1977>

Neithalath, N., Weiss, J., & Olek, J. (2004). Acoustic performance and damping behavior of

- cellulose–cement composites. *Cement and Concrete Composites*, 26(4), 359–370. [https://doi.org/10.1016/S0958-9465\(03\)00020-9](https://doi.org/10.1016/S0958-9465(03)00020-9)
- Oliveira, D., Picanço, M., & Sacramento, R. (2018). Reinforced concrete ribbed slabs with wide-beam. *ResearchGate*. <https://www.researchgate.net/publication/328417300>
- ONSUN. (2025, 25 de abril). Plywood decking: A complete guide. <https://www.onsungroup.com/plywood-decking-a-complete-guide/>
- Palomeque Parra, F. O. (2014). Propuesta de diseño de una planta para la fabricación de tejas de microcemento en el cantón Cuenca [Tesis de grado, Universidad Politécnica Salesiana]. Repositorio Institucional UPS. <https://dspace.ups.edu.ec/handle/123456789/7983>
- Panel Sandwich Group. (s.f.). Cubierta DECK. Recuperado el 21 de mayo de 2026, de <https://panelsandwich.ec/blog/cubierta-deck/>
- Panel Sandwich Plus. (s.f.). Estructura para colocar panel sándwich: Recomendaciones de instalación. Recuperado el 21 de mayo de 2026, de <https://www.panelsandwichplus.com/blog/estructura-para-colocar-panel-sandwich.php>
- Polo, C., Huaman, J., Torres, J., Robles, L., & Moteza, N. (2020). Sistema prelosa [Presentación de diapositivas]. SlideShare. <https://es.slideshare.net/slideshow/sistema-prelosa/234999004>
- Precast/Prestressed Concrete Institute. (2016). PCI manual for the design and construction of concrete parking structures (MNL-116). <https://www.coreslab.com/wp-content/uploads/2022/12/PCI-Hollowcore-Design-Manual-MNL-116.pdf>
- RCABC – Roofing Contractors Association of British Columbia. (s.f.). Roof decks. En *Roofing Practices Manual*. Recuperado el 21 de mayo de 2026, de https://rpm.rcabc.org/index.php/Roof_Decks
- Schmid, G., Kingan, M., Panton, L., & Willmott, G. R. (2021). On the measurement and prediction of rainfall noise. *Applied Acoustics*, 173, Artículo 107601. <https://doi.org/10.1016/j.apacoust.2020.107601>
- Sharp, B. H. (1978). Prediction methods for the sound transmission of building elements. *Noise Control Engineering*, 11(2), 53–63.
- Sound Damped Steel. (s.f.). Laminated metal: How does it work? Recuperado el 21 de mayo de 2026, de <https://sounddampedsteel.com/laminated-metal-how-does-it-work/>
- Sound Reduction Systems. (s.f.). The problem of rainfall on profiled metal roofing systems. Recuperado el 21 de mayo de 2026, de <https://www.soundreduction.co.uk/about-us/news/the-problem-of-noise-created-by-rainfall-on-profiled-metal-roofing-systems/>
- Steel Construction Institute. (2009). SCI P300: Composite slabs and beams using steel decking. SCI. https://www.steelconstruction.info/images/b/b8/SCI_P300.pdf
- Steel Deck Institute. (2006). Steel deck manual. SDI. https://stud-steeldeck.com/wp-content/uploads/2018/07/sdi_manual.pdf
- Steel Deck Institute. (2022). ANSI/SDI SD-2022: Standard for steel deck. SDI. <https://sdi.org/codes-standards/sdi-standards/>
- Steel Deck Institute. (2024). Steel roof deck essentials: What every engineer should know. SDI. <https://sdi.org/uncategorized/steel-roof-deck-essentials-what-every-engineer-should-know/>
- StructurePoint. (2017). Two-way joist concrete waffle slab floor design. <https://structurepoint.org/publication/pdf/Two-Way-Joist-Concrete->

- Waffle-Slab-Floor-Design-Detailing_.pdf
- Synthesia. (s.f.). Guide to choosing the right sandwich panel. Recuperado el 21 de mayo de 2026, de <https://blog.synthesia.com/en/guide-to-choosing-the-right-sandwich-panel>
- The Concrete Society. (s.f.). Plastic shrinkage cracks. *Concrete.org.uk*. Recuperado el 21 de mayo de 2026, de <https://www.concrete.org.uk/fingertips/plastic-shrinkage-cracks/>
- University of Tun Hussein Onn Malaysia. (s.f.). Chapter 6.0 – Slab design. Recuperado el 21 de mayo de 2026, de https://drhilton.weebly.com/uploads/3/8/6/1/38613897/chapter_6.0_-_slab_design.pdf
- Vallejos Buri, K. A. (2021). Comparativa del sistema tradicional versus el sistema Steel Framing en la construcción de viviendas de hasta 2 pisos con luces de hasta 5 metros [Tesis de grado, Universidad Politécnica Salesiana]. Repositorio Institucional UPS. <https://dspace.ups.edu.ec/bitstream/123456789/21489/1/UPS-CT009457.pdf>
- Viguetas Navarras. (2023). Guía de colocación de placa alveolar. <https://www.viguetasnavarras.com/wp-content/uploads/2023/09/VN-Guia-Placa-Alveolar.pdf>
- Wight, J. K., & MacGregor, J. G. (2012). Reinforced concrete: Mechanics and design (6.ª ed.). Pearson.
- Yan, X., Lu, S., & Li, J. (2016). Experimental studies on the rain noise of lightweight roofs: Natural rains vs artificial rains. *Applied Acoustics*, 106, 63–76. <https://doi.org/10.1016/j.apacoust.2015.12.022>

5.3 Anexos

Anexo 1. Sum. Instalación de Placa Colaborante

ANALISIS DE PRECIOS UNITARIOS					
RUBRO:	1				UNIDAD: m2
DESCRIPCION	SUM. INSTALACIÓN DE PLACA COLABORANTE e=65				
EQUIPOS					
DESCRIPCION	CANTIDAD A	TARIFA B	COSTO HORA C = A * B	RENDIMIENTO R = H/U	COSTO D = C * R
Herramienta manual menor					0,15
SUBTOTAL (M)					0,15
MANO DE OBRA					
DESCRIPCION	CANTIDAD A	JORNAL/HORA B	COSTO HORA C = A * B	RENDIMIENTO R	COSTO D = C * R
Peon	4,00	4,23	16,92	0,250	4,23
Albañil	4,00	4,28	17,12	0,200	3,42
Maestro mayor	0,10	4,75	0,48	0,200	0,10
SUBTOTAL (N)					7,75
MATERIALES					
DESCRIPCION	UNIDAD	CANTIDAD A	PRECIO UNIT. B	COSTO C = A * B	
Placa Colaborante e=65	m2	1,050	7,45	7,82	
SUBTOTAL (O)					7,82
TRANSPORTE					
DESCRIPCION	UNIDAD	CANTIDAD A	PREC. M3/KM B	COSTO C = A * B	
TOTAL COSTO DIRECTO					15,72

Anexo 2. Hormigón premezclado simple, incluye encofrado, aditivo, bomba y mixer

ANALISIS DE PRECIOS UNITARIOS					
RUBRO:	2				UNIDAD: m3
DESCRIPCION	HORMIGÓN PREMEZCLADO SIMPLE F'C = 240 KG/CM2, INCLUYE Encofrado, ADITIVO, BOMBA Y MIXER				
EQUIPOS					
DESCRIPCION	CANTIDAD A	TARIFA B	COSTO HORA C = A * B	RENDIMIENTO R = H/U	COSTO D = C * R
Herramienta manual menor					1,29
Concretera	1	3,75	3,75	0,500	1,88
Vibrador	1	2,5	2,5	0,500	1,25
Helicóptero Alisador	1	5	5	0,500	2,50
SUBTOTAL (M)					6,92
MANO DE OBRA					
DESCRIPCION	CANTIDAD A	JORNAL/HORA B	COSTO HORA C = A * B	RENDIMIENTO R	COSTO D = C * R
Peon	8,00	4,23	33,84	0,500	16,92
Albañil	4,00	4,28	17,12	0,500	8,56
Maestro mayor	0,10	4,75	0,48	0,050	0,02
SUBTOTAL (N)					25,50
MATERIALES					
DESCRIPCION	UNIDAD	CANTIDAD A	PRECIO UNIT. B	COSTO C = A * B	
HORMIGÓN PREMEZCLADO SIMPLE F'C = 240 KG/CM2, INCLUYE ADITIVO, BOMBA Y MIXER	m3	1,000	100,18	100,18	
Tabla de encofrado A=20 CM X240 CM	u	5,5	1,8	9,90	
SUBTOTAL (O)					110,08
TRANSPORTE					
DESCRIPCION	UNIDAD	CANTIDAD A	PREC. M3/KM B	COSTO C = A * B	
TOTAL COSTO DIRECTO					142,50

Anexo 3. Malla electrosoldada R-196

ANALISIS DE PRECIOS UNITARIOS					
RUBRO:	3				UNIDAD: m2
DESCRIPCION	MALLA ELECTROSOLDADA R-196				
EQUIPOS					
DESCRIPCION	CANTIDAD A	TARIFA B	COSTO HORA C = A * B	RENDIMIENTO R = H/U	COSTO D = C * R
Herramienta manual menor					1
SUBTOTAL (M)					1,00
MANO DE OBRA					
DESCRIPCION	CANTIDAD A	JORNAL/HORA B	COSTO HORA C = A * B	RENDIMIENTO R	COSTO D = C * R
Peón (EOE2)	2,00	4,23	8,46	0,300	2,54
Tecnico de obras civiles (EOC2)	1,00	4,52	4,52	0,020	0,09
SUBTOTAL (N)					2,63
MATERIALES					
DESCRIPCION	UNIDAD	CANTIDAD A	PRECIO UNIT. B	COSTO C = A * B	
Malla R196 (6,25x2,4)	m2	1,050	5,1	5,36	
Alambre galvanizado #18	kg	0,2	2,22	0,44	
SUBTOTAL (O)				5,80	
TRANSPORTE					
DESCRIPCION	UNIDAD	CANTIDAD A	COSTO/KM	TARIFA	COSTO C = A * B
TOTAL COSTO DIRECTO					9,43

Anexo 4. Cielo raso gypsum e=1/2" para interiores, incluye estructura, elementos de sujeción, empastado

ANALISIS DE PRECIOS UNITARIOS					
RUBRO:	4				UNIDAD: m2
DESCRIPCION	Cielo raso gypsum e=1/2" para interiores, incluye estructura, elementos de sujeción, empaste y pintura, suministro e instalación				
EQUIPOS					
DESCRIPCION	CANTIDAD A	TARIFA B	COSTO HORA C = A * B	RENDIMIENTO R = H/U	COSTO D = C * R
Herramientas varias	3,00	0,40	1,20	0,50	0,6
Andamio Metálico, modulo H=1,5m	1,00	0,32	0,32	0,50	0,16
SUBTOTAL (M)					0,76
MANO DE OBRA					
DESCRIPCION	CANTIDAD A	JORNAL/HORA B	COSTO HORA C = A * B	RENDIMIENTO R	COSTO D = C * R
Peon (EOE2)	2,00	4,23	8,46	0,500	4,23
Albañil (EOD2)	1,00	4,28	4,28	0,500	2,14
Maestro mayor (EOC2)	0,10	4,75	0,48	0,100	0,05
SUBTOTAL (N)					6,42
MATERIALES					
DESCRIPCION	UNIDAD	CANTIDAD A	PRECIO UNIT. B	COSTO C = A * B	
Cielo Raso de Gypsum e=1/2" para interiores (incluye perflería metálica, elementos de sujeción, empaste y pintura)	m2	1,000	8,2	8,20	
Aislante Termoacústico	m2	1	4,55	4,55	
SUBTOTAL (O)				12,75	
TRANSPORTE					
DESCRIPCION	UNIDAD	CANTIDAD A	PREC. M3/KM B	COSTO C = A * B	
TOTAL COSTO DIRECTO				19,93	

Anexo 5. Impermeabilización de Cubierta

ANALISIS DE PRECIOS UNITARIOS					
RUBRO:	5				UNIDAD: m2
DESCRIPCION	Impermeabilización de Cubierta				
EQUIPOS					
DESCRIPCION	CANTIDAD A	TARIFA B	COSTO HORA C = A * B	RENDIMIENTO R = H/U	COSTO D = C * R
Herramientas varias	1,00	0,40	0,40	0,50	0,2
SUBTOTAL (M)					0,2
MANO DE OBRA					
DESCRIPCION	CANTIDAD A	JORNAL/HORA B	COSTO HORA C = A * B	RENDIMIENTO R	COSTO D = C * R
Peon (EOE2)	1,00	4,23	4,23	0,450	1,90
Albañil (EOD2)	1,00	4,28	4,28	0,450	1,93
Maestro mayor (EOC2)	0,10	4,75	0,48	0,450	0,21
SUBTOTAL (N)					4,04
MATERIALES					
DESCRIPCION	UNIDAD	CANTIDAD A	PRECIO UNIT. B	COSTO C = A * B	
Textura impermeabilizante TECHOFIELT 1500 con armadura	m2	0,066	77,05	5,09	
Lámina asfáltica SUPER K 2500	m2	0,100	58,91	5,89	
SUBTOTAL (O)				10,98	
TRANSPORTE					
DESCRIPCION	UNIDAD	CANTIDAD A	PREC. M3/KM B	COSTO C = A * B	
TOTAL COSTO DIRECTO				15,22	

Anexo 6. Mortero de cubierta con pendiente

ANALISIS DE PRECIOS UNITARIOS					
RUBRO:	6				UNIDAD: m2
DESCRIPCION	Mortero de cubierta con pendiente				
EQUIPOS					
DESCRIPCION	CANTIDAD A	TARIFA B	COSTO HORA C = A * B	RENDIMIENTO R = H/U	COSTO D = C * R
Herramientas Menor	1,00	0,40	0,40	0,50	0,2
SUBTOTAL (M)					0,2
MANO DE OBRA					
DESCRIPCION	CANTIDAD A	JORNAL/HORA B	COSTO HORA C = A * B	RENDIMIENTO R	COSTO D = C * R
Peon (EOE2)	1,00	4,23	4,23	0,400	1,69
Albañil (EOD2)	1,00	4,28	4,28	0,400	1,71
Maestro mayor (EOC2)	0,10	4,75	0,48	0,400	0,19
SUBTOTAL (N)					3,59
MATERIALES					
DESCRIPCION	UNIDAD	CANTIDAD A	PRECIO UNIT. B	COSTO C = A * B	
Cemento	sc	0,185	8,5	1,57	
Arena	m3	0,022	12,15	0,27	
Agua	m3	0,008	0,44	0,00	
SUBTOTAL (O)				1,84	
TRANSPORTE					
DESCRIPCION	UNIDAD	CANTIDAD A	PREC. M3/KM B	COSTO C = A * B	
TOTAL COSTO DIRECTO				5,64	

Anexo 7. Losa alivianada en 2 direcciones e=25cm (incluye H.S y alivianamientos)

ANÁLISIS DE PRECIOS UNITARIOS					
RUBRO:	7	UNIDAD: m3			
DESCRIPCIÓN	Losa Alivianada en 2 direcciones e=25 cm (incluye H.S y Alivianamientos)				
Incluye encofrado					
EQUIPOS					
DESCRIPCIÓN	CANTIDAD A	TARIFA B	COSTO HORA C = A * B	RENDIMIENTO R = H/U	COSTO D = C * R
Herramienta manual menor	1,00	0,77	0,77	1,00	0,77
Vibrador 5HP	1,00	2,50	2,50	0,50	1,25
Concretera	1,00	3,10	3,10	0,50	1,55
SUBTOTAL (M)					3,58
MANO DE OBRA					
DESCRIPCIÓN	CANTIDAD A	JORNAL/HORA B	COSTO HORA C = A * B	RENDIMIENTO R	COSTO D = C * R
Peon	4,00	4,23	16,92	0,560	9,48
Albañil	4,00	4,28	17,12	0,560	9,59
Maestro mayor	0,10	4,75	0,48	0,560	0,27
SUBTOTAL (N)					19,33
MATERIALES					
DESCRIPCIÓN		UNIDAD	CANTIDAD A	PRECIO UNIT. B	COSTO C = A * B
Bloque liviano de 20x20x40		u	8,000	0,46	3,68
Arena		m3	0,163	10,14	1,65
Grava		u	5,500	1,8	9,90
Agua		lit	0,055	0,64	0,04
Cemento portland 1		kg	8	8,5	68,00
Tablas de encofrado		u	5	3,14	15,70
Listón de encofrado		u	3	1,35	4,05
Puntal		u	3	1,35	4,05

Clavos de 2" a 4"	kg	0,5	2	1,00
SUBTOTAL (O)				108,06
TRANSPORTE				
DESCRIPCIÓN	UNIDAD	CANTIDAD A	PREC. M3/KM B	COSTO C = A * B
TOTAL COSTO DIRECTO				130,97

Anexo 8. Hormigón sobre vigas

ANÁLISIS DE PRECIOS UNITARIOS					
RUBRO:	8	UNIDAD: m3			
DESCRIPCIÓN	Hormigón simple sobre vigas				
Incluye encofrado					
EQUIPOS					
DESCRIPCIÓN	CANTIDAD A	TARIFA B	COSTO HORA C = A * B	RENDIMIENTO R = H/U	COSTO D = C * R
Herramienta manual menor	1,00	0,77	0,77	1,00	0,77
Vibrador 5HP	1,00	2,50	2,50	0,50	1,25
Concretera	1,00	3,10	3,10	0,50	1,55
SUBTOTAL (M)					3,58
MANO DE OBRA					
DESCRIPCIÓN	CANTIDAD A	JORNAL/HORA B	COSTO HORA C = A * B	RENDIMIENTO R	COSTO D = C * R
Peon	3,00	4,23	12,69	0,500	6,35
Albañil	3,00	4,28	12,84	0,500	6,42
Maestro mayor	0,10	4,75	0,48	0,500	0,24
SUBTOTAL (N)					13,00
MATERIALES					
DESCRIPCIÓN		UNIDAD	CANTIDAD A	PRECIO UNIT. B	COSTO C = A * B
Arena		m3	0,163	10,14	
Grava		u	5,500	1,8	9,90
Agua		lit	0,055	0,64	0,04
Cemento portland I		kg	7	8,5	59,50
Tablas de encofrado		u	5	3,14	15,70
Listón de encofrado		u	3	1,35	4,05
Puntal		u	3	1,35	4,05

Clavos de 2" a 4"		kg	0,5	2	1,00
SUBTOTAL (O)					94,24
TRANSPORTE					
DESCRIPCIÓN		UNIDAD	CANTIDAD A	PREC. M3/KM B	COSTO C = A * B
TOTAL COSTO DIRECTO					110,81

Anexo 9. Cubierta Deck e=0.50 mm

ANALISIS DE PRECIOS UNITARIOS					
RUBRO:	9				UNIDAD: m2
DESCRIPCION	CUBIERTA DECK e=50 mm				
EQUIPOS					
DESCRIPCION	CANTIDAD A	TARIFA B	COSTO HORA C = A * B	RENDIMIENTO R = H/U	COSTO D = C * R
Herramienta manual menor					0,27
Amoladora	1,00	2,00	2,00	0,30	0,60
Taladro	0,50	1,00	0,50	0,30	0,15
SUBTOTAL (M)					0,87
MANO DE OBRA					
DESCRIPCION	CANTIDAD A	JORNAL/HORA B	COSTO HORA C = A * B	RENDIMIENTO R	COSTO D = C * R
Peon	3,00	4,23	12,69	0,372	4,72
Electricista	1,00	4,28	4,28	0,372	1,59
Maestro mayor	0,10	4,75	0,48	0,372	0,18
SUBTOTAL (N)					6,49
MATERIALES					
DESCRIPCION	UNIDAD	CANTIDAD A	PRECIO UNIT. B	COSTO C = A * B	
Plancha metalica e=50mm Kublec	m2	1,00	8,60	8,60	
Disco de corte 7"	u	0,05	2,00	0,10	
Pernos autoperforantes	u	6,00	0,08	0,48	
SUBTOTAL (O)					9,18
TRANSPORTE					
DESCRIPCION	UNIDAD	CANTIDAD A	PREC. M3/KM B	COSTO C = A * B	
TOTAL COSTO DIRECTO				16,54	

Anexo 10. Panel Sándwich

ANALISIS DE PRECIOS UNITARIOS					
RUBRO:	10				UNIDAD: m2
DESCRIPCION	Panel Sandwich				
EQUIPOS					
DESCRIPCION	CANTIDAD A	TARIFA B	COSTO HORA C = A * B	RENDIMIENTO R = H/U	COSTO D = C * R
Herramienta manual menor					0,27
Amoladora	1,00	2,00	2,00	0,30	0,60
Taladro	0,50	1,00	0,50	0,30	0,15
SUBTOTAL (M)					0,87
MANO DE OBRA					
DESCRIPCION	CANTIDAD A	JORNAL/HORA B	COSTO HORA C = A * B	RENDIMIENTO R	COSTO D = C * R
Peon	3,00	4,23	12,69	0,300	3,81
Electricista	1,00	4,28	4,28	0,300	1,28
Maestro mayor	0,10	4,75	0,48	0,300	0,14
SUBTOTAL (N)					5,23
MATERIALES					
DESCRIPCION	UNIDAD	CANTIDAD A	PRECIO UNIT. B	COSTO C = A * B	
Panel Sandwich Kubilac Total	m2	1,00	34,25	34,25	
Disco de corte 7"	u	0,05	2,00	0,10	
Pernos autoperforantes	u	6,00	0,08	0,48	
SUBTOTAL (O)					34,83
TRANSPORTE					
DESCRIPCION	UNIDAD	CANTIDAD A	PREC. M3/KM B	COSTO C = A * B	
TOTAL COSTO DIRECTO				40,93	

Anexo 11. Cubierta Osb

ANALISIS DE PRECIOS UNITARIOS					
RUBRO:	11		UNIDAD: m2		
DESCRIPCION	Cubierta Osb				
EQUIPOS					
DESCRIPCION	CANTIDAD A	TARIFA B	COSTO HORA C = A * B	RENDIMIENTO R = H/U	COSTO D = C * R
Herramienta manual menor					0,05
Andamios metálicos	1,00	1,00	1,00	0,05	0,05
SUBTOTAL (M)					0,10
MANO DE OBRA					
DESCRIPCION	CANTIDAD A	JORNAL/HORA B	COSTO HORA C = A * B	RENDIMIENTO R	COSTO D = C * R
Peon (EOE2)	1,00	4,23	4,23	0,300	1,27
Albañil (EOD2)	1,00	4,28	4,28	0,300	1,28
Maestro mayor (EOC2)	0,10	4,75	0,48	0,300	0,14
SUBTOTAL (N)					2,70
MATERIALES					
DESCRIPCION	UNIDAD	CANTIDAD A	PRECIO UNIT. B	COSTO C = A * B	
Tablero de Osb	m2	1,00	12,24	12,24	
Disco de corte 7"	u	0,05	2,00	0,10	
Pernos auto perforantes	u	6,00	0,08	0,48	
SUBTOTAL (O)				12,82	
TRANSPORTE					
DESCRIPCION	UNIDAD	CANTIDAD A	PREC. M3/KM B	COSTO C = A * B	
TOTAL COSTO DIRECTO				15,62	

Anexo 12. Impermeabilización con lámina asfáltica

ANALISIS DE PRECIOS UNITARIOS					
RUBRO:	12		UNIDAD: m2		
DESCRIPCION	Impermeabilización con lamina Asfáltica				
EQUIPOS					
DESCRIPCION	CANTIDAD A	TARIFA B	COSTO HORA C = A * B	RENDIMIENTO R = H/U	COSTO D = C * R
Herramientas varias	1,00	0,40	0,40	0,50	0,2
SUBTOTAL (M)					0,2
MANO DE OBRA					
DESCRIPCION	CANTIDAD A	JORNAL/HORA B	COSTO HORA C = A * B	RENDIMIENTO R	COSTO D = C * R
Peon (EOE2)	1,00	4,23	4,23	0,450	1,90
Albañil (EOD2)	1,00	4,28	4,28	0,450	1,93
Maestro mayor (EOC2)	0,10	4,75	0,48	0,450	0,21
SUBTOTAL (N)					4,04
MATERIALES					
DESCRIPCION	UNIDAD	CANTIDAD A	PRECIO UNIT. B	COSTO C = A * B	
Impermeabilizante termofusible Imperpool (IMPTEK)	m2	1,000	6,79	6,79	
SUBTOTAL (O)				6,79	
TRANSPORTE					
DESCRIPCION	UNIDAD	CANTIDAD A	PREC. M3/KM B	COSTO C = A * B	
TOTAL COSTO DIRECTO				11,03	

Anexo 13. Cubierta Plywood

ANALISIS DE PRECIOS UNITARIOS					
RUBRO:	13				UNIDAD: m2
DESCRIPCION	Cubierta Plywood				
EQUIPOS					
DESCRIPCION	CANTIDAD A	TARIFA B	COSTO HORA C = A * B	RENDIMIENTO R = H/U	COSTO D = C * R
Herramienta manual menor					0,05
Andamios metálicos	1,00	1,00	1,00	0,05	0,05
SUBTOTAL (M)					0,10
MANO DE OBRA					
DESCRIPCION	CANTIDAD A	JORNAL/HORA B	COSTO HORA C = A * B	RENDIMIENTO R	COSTO D = C * R
Peon (EOE2)	1,00	4,23	4,23	0,300	1,27
Albañil (EOD2)	1,00	4,28	4,28	0,300	1,28
Maestro mayor (EOC2)	0,10	4,75	0,48	0,300	0,14
SUBTOTAL (N)					2,70
MATERIALES					
DESCRIPCION	UNIDAD	CANTIDAD A	PRECIO UNIT. B	COSTO C = A * B	
Tablero de Plywood	m2	1,00	12,08	12,08	
Disco de corte 7"	u	0,05	2,00	0,10	
Pernos auto perforantes	u	6,00	0,08	0,48	
SUBTOTAL (O)				12,66	
TRANSPORTE					
DESCRIPCION	UNIDAD	CANTIDAD A	PREC. M3/KM B	COSTO C = A * B	
TOTAL COSTO DIRECTO				15,46	

Anexo 14. Cubierta Fibrocemento

ANALISIS DE PRECIOS UNITARIOS					
RUBRO:	14				UNIDAD: m2
DESCRIPCION	Cubierta fibrocemento				
EQUIPOS					
DESCRIPCION	CANTIDAD A	TARIFA B	COSTO HORA C = A * B	RENDIMIENTO R = H/U	COSTO D = C * R
Herramienta manual menor					0,16
SUBTOTAL (M)					0,16
MANO DE OBRA					
DESCRIPCION	CANTIDAD A	JORNAL/HORA B	COSTO HORA C = A * B	RENDIMIENTO R	COSTO D = C * R
Peon (EOE2)	1,00	4,23	4,23	0,200	0,85
Albañil (EOD2)	1,00	4,28	4,28	0,200	0,86
Maestro mayor (EOC2)	0,10	4,75	0,48	0,020	0,01
SUBTOTAL (N)					1,71
MATERIALES					
DESCRIPCION	UNIDAD	CANTIDAD A	PRECIO UNIT. B	COSTO C = A * B	
Tablero de fibrocemento	m2	0,62	13,10	8,12	
Pernos de anclaje	u	1,24	1,00	1,24	
SUBTOTAL (O)				9,36	
TRANSPORTE					
DESCRIPCION	UNIDAD	CANTIDAD A	PREC. M3/KM B	COSTO C = A * B	
TOTAL COSTO DIRECTO				11,23	

Anexo 15. Provisión e instalación de estructura metálica

ANÁLISIS DE PRECIOS UNITARIOS					
RUBRO:	15	UNIDAD: kg			
DESCRIPCIÓN	PROVISIÓN E INSTALACIÓN DE ESTRUCTURA METALICA				
EQUIPOS	CANTIDAD A	TARIFA B	COSTO HORA C = A * B	RENDIMIENTO R = H/U	COSTO D = C * R
Herramienta manual menor					0,04
Amoladora	1,00	1,00	1,00	0,05	0,05
Soldadora eléctrica 360A 22VA	1,00	5,00	5,00	0,05	0,25
Andamios metálicos	1,00	1,00	1,00	0,05	0,05
Equipo de pintura	1,00	2,50	2,50	0,05	0,13
Tecla	1,00	0,80	0,80	0,05	0,04
SUBTOTAL (M)					0,56
MANO DE OBRA					
DESCRIPCIÓN	CANTIDAD A	JORNAL/HORA B	COSTO HORA C = A * B	RENDIMIENTO R	COSTO D = C * R
Peon	2,00	4,23	8,46	0,050	0,42
Pinlor	1,00	4,28	4,28	0,050	0,21
Maestro mayor	0,10	4,75	0,48	0,050	0,02
Técnico electromecánico de construcción	1,00	4,28	4,28	0,05	0,21
SUBTOTAL (N)					0,87
MATERIALES					
DESCRIPCIÓN	UNIDAD	CANTIDAD A	PRECIO UNIT. B	COSTO C = A * B	
Lija	u	0,010	0,60	0,01	
Diluyente	gl	0,001	5,75	0,01	
Pintura anticorrosiva	gl	0,01	22,50	0,23	
Electrodo	kg	0,04	5,05	0,20	
Acero estructural A-36	kg	1,08	1,48	1,60	

Disco de corte	u	0,01	8,80	0,09
SUBTOTAL (O)				2,13
TRANSPORTE				
DESCRIPCIÓN	UNIDAD	CANTIDAD A	PREC. M3/KM B	COSTO C = A * B
TOTAL COSTO DIRECTO				3,55

5.4 Índice de Figuras

Figura 1. Materiales más utilizados en cubiertas en Ecuador

Nota. Elaboración propia con datos de Instituto Nacional de Estadística y Censos (2025).

Figura 2. Cubierta losa maciza

Nota. Elaboración propia con base en Guía de la construcción ilustrada (2011) y Alcalde Pecero (2002).

Figura 3. Cubierta losa nervada unidireccional

Nota. Elaboración propia con base en Guía de la construcción ilustrada (2011) y Alcalde Pecero (2002).

Figura 4. Cubierta losa nervada bidireccional

Nota. Elaboración propia con base en Guía de la construcción ilustrada (2011) y Alcalde Pecero (2002).

Figura 5. Cubierta placa colaborante

Nota. Elaboración propia con base en Guía de la construcción ilustrada (2011) y Alcalde Pecero (2002).

Figura 6. Cubierta losa alveolar

Nota. Elaboración propia con base en Alcalde Pecero (2002) y Viguetas Navarras (2023).

Figura 7. Cubierta prelosa pretensada

Nota. Elaboración propia con base en Alcalde

Pecero (2002) y Viguetas Navarras (2023).

Figura 8. Cubierta maciza prefabricada

Nota. Elaboración propia con base en Alcalde Pecero (2002) y Viguetas Navarras (2023).

Figura 9. Cubierta panel sándwich

Nota. Elaboración propia con base en Guía de la construcción ilustrada (2011) y Alcalde Pecero (2002).

Figura 10. Cubierta deck

Nota. Elaboración propia con base en Guía de la construcción ilustrada (2011) y Alcalde Pecero (2002).

Figura 11. Cubierta con tablero plano de fibrocemento

Nota. Elaboración propia con base en Alcalde Pecero (2002).

Figura 12. Cubierta con tableros OSB

Nota. Elaboración propia con base en Alcalde Pecero (2002).

Figura 13. Cubierta con tableros plywood

Nota. Elaboración propia con base en Alcalde Pecero (2002).

Figura 14. Retícula espacial modular tridimensional con módulo básico M = 100 mm

Nota. Tomado de International Organization for Standardization (1984), ISO 2848.

Figura 15. Superposición de retículas modulares horizontales: multimódulos 1M, 3M, 6M y 12M derivados del módulo básico

Nota. Tomado de International Organization for Standardization (1984), ISO 2848.

Figura 16. Distribución de los sistemas de cubierta en Ecuador y el cantón Cuenca

Nota. Elaboración propia con base en Instituto Nacional de Estadística y Censos (2024, 2025).

Figura 17. Distribución de los sistemas estructurales en Ecuador y el cantón Cuenca

Nota. Elaboración propia con base en Instituto Nacional de Estadística y Censos (2024, 2025).

Figura 18. Detalle constructivo de cubierta de placa colaborante

Nota. Elaboración propia.

Figura 19. Detalle constructivo de cubierta nervada bidireccional

Nota. Elaboración propia.

Figura 20. Comparativa curva de pérdida de

transmisión y curva patrón en las 16 frecuencias – Placa colaborante (luz 3 m)

Nota. Elaboración propia con base en Sharp (1978) y ASTM International (2022).

Figura 21. Comparativa curva de pérdida de transmisión y curva patrón en las 16 frecuencias – Placa colaborante (luz 6 m)

Nota. Elaboración propia con base en Sharp (1978) y ASTM International (2022).

Figura 22. Comparativa curva de pérdida de transmisión y curva patrón en las 16 frecuencias – Placa colaborante (luz 7,5 m)

Nota. Elaboración propia con base en Sharp (1978) y ASTM International (2022).

Figura 23. Comparativa curva de pérdida de transmisión y curva patrón en las 16 frecuencias – Losa nervada (luz 3 m)

Nota. Elaboración propia con base en Sharp (1978) y ASTM International (2022).

Figura 24. Comparativa curva de pérdida de transmisión y curva patrón en las 16 frecuencias – Losa nervada (luz 6 m)

Nota. Elaboración propia con base en Sharp (1978) y ASTM International (2022).

Figura 25. Comparativa curva de pérdida de

transmisión y curva patrón en las 16 frecuencias – Losa nervada (luz 7,5 m)

Nota. Elaboración propia con base en Sharp (1978) y ASTM International (2022).

Figura 26. Viga empotrada en muro de hormigón presenta carbonatación

Nota. Tomado de HUMESEC (2022).

Figura 27. Eflorescencia en el hormigón

Nota. Tomado de HCM Hormigones (2018).

Figura 28. Losa con fisura por contracción plástica

Nota. Tomado de The Concrete Society (s.f.).

Figura 29. Corrosión en la estructura

Nota. Tomado de Desarrollos ESC (2023).

Figura 30. Detalle constructivo de cubierta deck

Nota. Elaboración propia.

Figura 31. Detalle constructivo de cubierta de panel sándwich

Nota. Elaboración propia.

Figura 32. Detalle constructivo de cubierta con tablero OSB

Nota. Elaboración propia.

Figura 33. Detalle constructivo de cubierta con tablero plywood

Nota. Elaboración propia.

Figura 34. Detalle constructivo de cubierta con tablero fibrocemento

Nota. Elaboración propia.

Figura 35. Comparativa curva de pérdida de transmisión y curva patrón en las 16 frecuencias – Deck

Nota. Elaboración propia con base en Sharp (1978) y ASTM International (2022).

Figura 36. Comparativa curva de pérdida de transmisión y curva patrón en las 16 frecuencias – Panel sándwich

Nota. Elaboración propia con base en Sharp (1978) y ASTM International (2022).

Figura 37. Comparativa curva de pérdida de transmisión y curva patrón en las 16 frecuencias – OSB

Nota. Elaboración propia con base en Sharp (1978) y ASTM International (2022).

Figura 38. Comparativa curva de pérdida de transmisión y curva patrón en las 16 frecuencias – Plywood

Nota. Elaboración propia con base en Sharp (1978) y ASTM International (2022).

Figura 39. Comparativa curva de pérdida de transmisión y curva patrón en las 16 frecuencias – Tablero fibrocemento plano

Nota. Elaboración propia con base en Sharp (1978) y ASTM International (2022).

Figura 40. Comparación de peso propio (kg/m²) por sistema y luz de análisis

Nota. Elaboración propia a partir de los resultados del análisis técnico de las cubiertas secas.

Figura 41. Comparación de transmitancia térmica U por sistema y luz de análisis

Nota. Elaboración propia a partir de los resultados del análisis técnico y del límite de factor U según Ministerio de Desarrollo Urbano y Vivienda (2023).

Figura 42. Comparación de índice STC estimado por sistema de cubierta seca

Nota. Elaboración propia a partir de los resultados del análisis técnico de las cubiertas secas.

Figura 43. Comparativa de tiempos de construcción en días/m² de un módulo 6x6 (36 m²)

Nota. Elaboración propia a partir de los resultados del análisis constructivo de las cubiertas secas.

Figura 44. Comparativa de costo directo (USD/m²) de los sistemas analizados

Nota. Elaboración propia a partir de los resultados del análisis económico de

las cubiertas secas.

Figura 45. Composición por capas del panel sándwich

Nota. Elaboración propia con base en Gesto González (2017).

Figura 46. Sección transversal del complejo deportivo Fontenla

Nota. Tomado de Gesto González (2017, p. 53).

Figura 47. Detalles constructivos de solución de fijaciones en el complejo deportivo Fontenla

Nota. Tomado de Gesto González (2017, p. 54).

Figura 48. Detalle constructivo de encuentro subestructura – panel

Nota. Tomado de Gesto González (2017, p. 59).

Figura 49. Detalles constructivos de solución de cumbrero y subestructura

Nota. Tomado de Gesto González (2017, p. 61).

Figura 50. Detalle constructivo de evacuación de aguas lluvia (Fontenla)

Nota. Tomado de Gesto González (2017, p. 58).

Figura 51. Detalle constructivo de evacuación

de aguas lluvia (Wozoco)

Nota. Tomado de Martí Almansa (2019, p. 40).

Figura 52. Secciones del edificio Wozoco

Nota. Tomado de Martí Almansa (2019, p. 32).

Figura 53. Sección transversal ampliada – edificio Wozoco

Nota. Tomado de Martí Almansa (2019, p. 30).

Figura 54. Fotografías del proceso constructivo – edificio Wozoco

Nota. Tomado de Martí Almansa (2019, p. 34).

Figura 55. Aulario de Psicología de la Universidad de Cuenca

Nota. Fotografía de S. Crespo (s.f.), recuperada de ArchDaily (2012).

Figura 56. Plano estructural – Aulario de Psicología de la Universidad de Cuenca

Nota. Redibujo con base en los planos originales. Durán (2011).

Figura 57. Sección transversal – Aulario de Psicología de la Universidad de Cuenca

Nota. Redibujo con base en los planos originales. Durán (2011).

Figura 58. Sección 1 – Detalle constructivo de cubierta de losa nervada bidireccional

del Aulario de Psicología de la Universidad de Cuenca

Nota. Redibujo con base en los planos originales. Durán (2011).

Figura 59. Sección transversal – Propuesta de cubierta deck, Aulario de Psicología de la Universidad de Cuenca

Nota. Elaboración propia.

Figura 60. Sección transversal – Propuesta de panel sándwich, Aulario de Psicología de la Universidad de Cuenca

Nota. Elaboración propia.

Figura 61. Detalle constructivo transversal de cubierta deck – caso de estudio

Nota. Elaboración propia.

Figura 62. Detalle constructivo longitudinal de cubierta deck

Nota. Elaboración propia.

Figura 63. Impermeabilización del sistema (cubierta deck)

Nota. Elaboración propia.

Figura 64. Detalle constructivo transversal de cubierta panel sándwich

Nota. Elaboración propia.

Figura 65. Detalle constructivo longitudinal de cubierta panel sándwich

Nota. Elaboración propia.

Figura 66. Impermeabilización del sistema (panel sándwich)

Nota. Elaboración propia.

Figura 67. Comparativa peso propio total entre los sistemas analizados

Nota. Elaboración propia a partir de los resultados obtenidos.

Figura 68. Comparativa aislamiento térmico entre los sistemas

Nota. Elaboración propia a partir de los resultados obtenidos.

Figura 69. Comparativa curva de pérdida de transmisión y curva patrón en las 16 frecuencias – Losa nervada (caso de estudio, luz 6 m)

Nota. Elaboración propia con base en Sharp (1978) y ASTM International (2022).

Figura 70. Comparativa curva de pérdida de transmisión y curva patrón en las 16 frecuencias – Cubierta deck (caso de estudio)

Nota. Elaboración propia con base en Sharp (1978) y ASTM International (2022).

Figura 71. Comparativa curva de pérdida de transmisión y curva patrón en las 16 frecuencias – Panel sándwich (caso de

estudio)

Nota. Elaboración propia con base en Sharp (1978) y ASTM International (2022).

Figura 72. Comparativa aislamiento acústico entre los sistemas

Nota. Elaboración propia a partir de los resultados obtenidos.

Figura 73. Comparativa tiempos de construcción entre los sistemas

Nota. Elaboración propia a partir de los resultados obtenidos.

Figura 74. Comparativa costos directos entre los sistemas analizados

Nota. Elaboración propia a partir de los resultados obtenidos.

Figura 75. Gráfico araña de las aptitudes de los sistemas analizados

Nota. Elaboración propia a partir de los resultados obtenidos.

