

UNIVERSIDAD DE CUENCA

MAESTRÍA EN CONSTRUCCIONES SEGUNDA COHORTE

Diseño de un panel sándwich semi-ligero con aislamiento de fibra natural proveniente del Ecuador que supere las prestaciones de los paneles existentes actualmente en el mercado, en base a parámetros térmicos, acústicos y de respeto por el medio ambiente.

**TESIS PREVIA A LA OBTENCION DEL GRADO DE MAGISTER
EN CONSTRUCCIONES (MSc)**

AUTOR: ARQ. ALEX GUILLERMO MONGE PONTON
CI: 1716480825

DIRECTOR: ARQ. CARLOS MIQUEL ZURITA MSc
CI: 1754705646

Cuenca, marzo de 2016

RESUMEN

Esta investigación se la realiza con el objetivo de generar un panel sándwich que pueda competir con los paneles sándwich actualmente comercializados en el Ecuador. El panel propuesto es elaborado con cascarilla de arroz como aislante, y demuestra ser una alternativa energéticamente eficiente y amigable con el ambiente, ya que logra competir con los paneles sándwich con aislamientos derivados del petróleo, los cuales repercuten negativamente en el equilibrio ecológico.

Además en la investigación se puede encontrar cuadros comparativos de los diferentes aislantes térmicos, procesos y detalles constructivos del sistema de paneles sándwich.

Palabras Clave: Cascarilla de arroz, aislante térmico, panel sándwich, panel ecológico

ABSTRACT

The purpose of this research is to generate sandwich panels in order to be competitive with the different sandwich panel's marketed in Ecuador. The sandwich panel is made of rice husk as an insulator which is considered an energy-efficient and environmentally friendly alternative, as it can compete with insulated petroleum sandwich panels that produce a negative impact on the ecological balance.

The research also shows comparative tables of different thermal insulation, processes and details of the sandwich panels system

Keywords: rice husks, thermal insulation, sandwich panels, eco panel

ÍNDICE

CAPÍTULO I.....	7
1.1 INTRODUCCIÓN.....	7
1.2 OBJETIVOS DE LA INVESTIGACIÓN.....	7
1.2.1 GENERAL.....	7
1.2.2 ESPECÍFICOS.....	7
1.3 JUSTIFICACIÓN.....	7
1.4 HIPÓTESIS.....	8
1.5 METODOLOGÍA.....	8
CAPÍTULO II.....	10
2.1. BREVE RESEÑA HISTÓRICA DEL PANEL TIPO SÁNDWICH.....	10
2.1.1 <i>NORMATIVA</i>	13
2.1.2 <i>CONCLUSIONES</i>	14
2.2. DESCRIPCIÓN DEL PANEL TIPO SÁNDWICH.....	14
2.2.1 <i>INTRODUCCIÓN</i>	14
2.2.2 <i>CLASES DE PANELES TIPO SÁNDWICH</i>	17
2.2.3 <i>MONTAJE</i>	32
2.2.4 <i>PANELES TIPO SÁNDWICH COMERCIALIZADOS EN ECUADOR</i>	37
2.2.5 <i>REFERENTES SISTEMA DE PANELES TIPO SÁNDWICH EN ECUADOR</i>	45
CAPÍTULO III.....	53
3.1 PROPIEDADES TÉRMICAS DE ALGUNOS MATERIALES.....	53
3.1.1 <i>CUADRO DE MATERIALES DE USO FRECUENTE Y AISLANTES TÉRMICOS</i>	54
3.1.2 <i>CUADRO DE AISLANTES TÉRMICOS ECOLÓGICOS</i>	55
3.2 PROPIEDADES ACÚSTICAS DE LOS MATERIALES.....	57
3.3 CONCLUSIONES.....	58
CAPÍTULO IV.....	60
4.1 ELECCIÓN DE LA CHAPA Y LA CONTRACHAPA.....	60
4.2 ELECCIÓN DEL NÚCLEO DE MATERIAL ORGÁNICO.....	60
4.3. PRODUCCIÓN DE PANELES TIPO SÁNDWICH DE ACERO.....	61
4.3.1 <i>CHAPA DE ACERO LAMINADO</i>	61
4.3.2 <i>CARACTERÍSTICAS DEL ACERO LAMINADO</i>	64
4.3.3 <i>DESCRIPCIÓN DE CHAPAS METÁLICAS DEL PANEL TIPO SÁNDWICH</i>	64
4.3.4 <i>DESCRIPCIÓN DEL TRASLAPE DE LOS PANELES DE ACERO</i>	66
4.4 ESTUDIO DEL NÚCLEO.....	70
4.4.1 <i>CASCARILLA DE ARROZ</i>	70
4.4.2 <i>AGLUTINANTES</i>	71
4.4.3 <i>MATRIZ DE SELECCIÓN</i>	78
4.4.4 <i>ALMIDÓN DE YUCA</i>	79
4.4.5 <i>PANEL SÁNDWICH DE CASCARILLA DE ARROZ Y ALMIDÓN DE YUCA</i>	80
4.5 PROPUESTAS DE NÚCLEO DEL PANEL.....	83
4.5.1 <i>PROPUESTA I</i>	84
4.5.2 <i>CONTRAPROPUESTA</i>	92
CAPÍTULO V.....	101
5.1 CHAPA Y CONTRACHAPA.....	101
5.2 TRASLAPE / JUNTA.....	101
5.3 DISEÑO DEL PANEL.....	101
5.3.1 <i>DIMENSIONAMIENTO (VER PLANOS ANEXOS)</i>	102
5.3.2 <i>DIMENSIONES DE LOS PLIEGUES DE LA CHAPA Y LA CONTRACHAPA</i>	105
5.3.3 <i>TRASLAPE (VER PLANOS ANEXOS)</i>	106
5.4 DETALLES CONSTRUCTIVOS Y MONTAJE.....	107
5.4.1 <i>DETALLES DE CUBIERTA CON ANTEPECHO Y SIN (VER PLANOS ANEXOS)</i>	107
5.4.2 <i>VENTANAS (VER PLANOS ANEXOS)</i>	108
5.4.3 <i>ANCLAJE AL PISO (VER PLANOS ANEXOS)</i>	109
5.4.4 <i>ANCLAJES PISO Y TECHO (VER PLANOS ANEXOS)</i>	111
5.4.5 <i>SOLUCIONES JUNTA VERTICAL (VER PLANOS ANEXOS)</i>	112

5.4.6 SOLUCION ESQUINA EXTERIOR E INTERIOR (VER PLANOS ANEXOS).....	113
5.4.7 AXONOMETRIAS (VER PLANOS ANEXOS).....	113
5.4.8 ILUSTRACION DEL IZADO (VER PLANOS ANEXOS).....	114
5.4 DESCRIPCIÓN DEL ARMADO.....	115
CAPÍTULO VI	119
6.1 DESARROLLO DE PROTOTIPO.....	119
6.1.1 CASCARILLA.....	119
6.1.2 CASCARILLA MOLIDA Y HOMOGENEIZADA.....	119
6.1.3 PREPARACIÓN DEL AGLUTINANTE.....	119
6.1.4 MEZCLA.....	120
6.1.5 CONFORMACIÓN DEL PANEL	120
6.1.6 SECADO	122
6.1.7 ENFRIAMIENTO Y FINALIZACIÓN.....	122
6.2 DESARMADO Y RECICLAJE DEL PANEL.....	124
6.2.1 RECICLAJE DEL ACERO	124
6.2.2 RECICLAJE DE CASCARILLA DE ARROZ.....	125
6.2.3 RECICLAJE DE CASCARILLA DE ARROZ MÁS ALMIDÓN DE YUCA	126
6.3 TECNIFICACIÓN DEL PANEL PROPUESTO	127
6.3.1 PREPARACIÓN DE LA CASCARILLA	127
6.3.2 PREPARACIÓN DE CASCARILLA MÁS ALMIDÓN DE YUCA	128
6.3.3 LAMINACIÓN DE LAS PLANCHAS	129
6.3.4 PROCESO DE CONFORMACIÓN DEL NÚCLEO AISLANTE.....	129
6.4 COSTO DE PRODUCCIÓN	131
CONCLUSIONES	133
RECOMENDACIONES.....	134
BIBLIOGRAFÍA.....	135
ANEXOS.....	136

Cláusula Derechos de Autor

ALEX GUILLERMO MONGE PONTÓN, autor de la tesis "DISEÑO DE UN PANEL SÁNDWICH SEMI-LIGERO CON AISLAMIENTO DE FIBRA NATURAL PROVENIENTE DEL ECUADOR QUE SUPERE LAS PRESTACIONES DE LOS PANELES EXISTENTES ACTUALMENTE EN EL MERCADO, EN BASE A PARÁMETROS TÉRMICOS, ACÚSTICOS Y DE RESPETO POR EL MEDIO AMBIENTE", reconozco y acepto el derecho de la Universidad de Cuenca, en base al Art. 5 literal c) de su Reglamento de Propiedad Intelectual, de publicar este trabajo por cualquier medio conocido o por conocer, al ser este requisito para la obtención de mi título de MAGISTER EN CONSTRUCCIONES. El uso que la Universidad de Cuenca hiciere de este trabajo, no implicará afección alguna de mis derechos morales o patrimoniales como autor/a

Cuenca, 17 de marzo de 2016



Alex Guillermo Monge Pontón

C.I: 17164808-5

Cláusula Propiedad Intelectual

ALEX GUILLERMO MONGE PONTÓN autor de la tesis "DISEÑO DE UN PANEL SÁNDWICH SEMI-LIGERO CON AISLAMIENTO DE FIBRA NATURAL PROVENIENTE DEL ECUADOR QUE SUPERE LAS PRESTACIONES DE LOS PANELES EXISTENTES ACTUALMENTE EN EL MERCADO, EN BASE A PARÁMETROS TÉRMICOS, ACÚSTICOS Y DE RESPETO POR EL MEDIO AMBIENTE" certifico que todas las ideas, opiniones y contenidos expuestos en la presente investigación son de exclusiva responsabilidad de su autor.

Cuenca, 17 de marzo de 2016



Alex Monge

Alex Guillermo Monge Pontón

C.I: 171480825

CAPÍTULO I

1.1 INTRODUCCIÓN

Ante la necesidad de desarrollar alternativas tecnológicas en los procesos constructivos, surge la idea de aprovechar los recursos naturales que posee Ecuador. Por esta razón, se propone un panel tipo sándwich de fibra natural que tenga propiedades térmico-acústicas que superen las prestaciones de materiales derivados del petróleo, los cuales repercuten negativamente en el equilibrio ecológico.

El planeta sufre un alto impacto ambiental y, como la construcción es una de las causas, los profesionales de la misma estamos obligados a buscar e investigar alternativas más responsables en los procesos para la edificación de inmuebles.

En el caso de esta investigación se pretende generar un sistema de paneles tipo sándwich que compita con los paneles comercializados actualmente en Ecuador y cuya utilización en la construcción sea de fácil aplicación y alta durabilidad. Además el panel propuesto debe tener características térmicas, puesto que un aislamiento térmico no solo mejora el confort interior sino que contribuye a la eficiencia energética del inmueble.

1.2 OBJETIVOS DE LA INVESTIGACIÓN

1.2.1 GENERAL

- Diseñar un panel tipo sándwich con aislamiento de fibra natural proveniente de Ecuador que supere las prestaciones de los paneles existentes actualmente sobre la base de parámetros térmico-acústicos, y que sea respetuoso con el medio ambiente.

1.2.2 ESPECÍFICOS

- Investigar las propiedades térmicas del panel planteado y compararlas con los paneles existentes en el mercado.
- Reducir el consumo energético en su proceso de fabricación.
- Entregar datos de ensayos térmicos del panel propuesto.
- Determinar el mecanismo de transporte a obra, montaje y desmontaje del panel planteado.
- Establecer el costo aproximado por metro cuadrado del panel, incluyendo la fabricación y el montaje en obra.
- Fabricar un prototipo escala 1:1 del panel planteado, priorizando un método de fabricación no costoso y viable técnicamente en nuestro contexto tecnológico.
- Elaborar documentación técnica (planos de detalle y montaje).

1.3 JUSTIFICACIÓN

Los sistemas modulares tienden a ser más ecológicos ya que son sistemas constructivos que logran disminuir tiempos de construcción y son menos agresivos con el medio ambiente. Sin embargo, necesitan una detallada planificación antes de su construcción.

Proponer un panel tipo sándwich de fibra natural con características térmico-acústicas, respetuoso con el medio ambiente, no costoso y de fácil implantación en el terreno, que

garantice que el consumo de energía para su fabricación y montaje sea menor que los que actualmente se comercializan en el Ecuador, es un aporte ya que reduce el impacto ambiental que otros sistemas constructivos generan. Para disminuir el impacto ambiental del panel propuesto se debería minimizar la afectación de los recursos renovables y no renovables.

Algunas de las bondades de un sistema modular radican en la rapidez en los tiempos de fabricación y una reducción significativa del montaje en obra, dependiendo de la magnitud de la misma.

Por su naturaleza de montaje en seco los paneles tipo sándwich pueden desarmarse y ensamblarse en otro sitio. La utilización de materiales renovables y la ligereza del componente terminado hacen del sistema modular una forma de construir más amigable con el medio ambiente.

1.4 HIPÓTESIS

Es posible diseñar y fabricar un panel tipo sándwich con aislamiento de fibra natural proveniente de Ecuador que supere las prestaciones de los paneles existentes actualmente sobre la base de parámetros térmicos, respetuoso con el medio ambiente y fabricado con medios no costosos y de fácil implantación en el terreno.

1.5 METODOLOGÍA

Se hará una recopilación de información teórica sobre el objeto de estudio: panel tipo sándwich con aislamiento de fibra natural con características térmicas. Al ser esta una tecnología constructiva, se utilizarán técnicas de investigación y pruebas digitales para constatar la efectividad de la misma. Se consultarán fuentes digitales fiables, y publicaciones técnicas editadas por universidades de prestigio mundial. También se procederá a la consulta de libros y monografías especializadas, tesis y tesinas, artículos de revistas científicas y normas ecuatorianas.

Antes de proceder a la elección de los materiales para la conformación del panel se realizará un cuadro comparativo para poder identificar los más apropiados. Para ello se revisarán documentos, se analizarán productos existentes en el mercado, se llevarán a cabo observaciones de campo y se consultará a profesionales con amplia experiencia. Se realizará un estudio crítico de los datos recopilados. Luego de ello se organizará la información de acuerdo a los objetivos propuestos en la tesis, dando paso a la unión de los materiales que podrían conformar el panel tipo sándwich.

Una vez elegidos la chapa, la contrachapa y el aislante para la conformación del panel, se procederá a un estudio. Primero, mediante un *software* que nos permita analizar su comportamiento térmico y constructivo, es decir, si tiene estabilidad mecánica para poder conformar una fachada ligera. Después de haber realizado varias pruebas con el *software*, procederemos a la construcción del panel para realizar pruebas y verificar que las mismas aseveren los resultados obtenidos informáticamente.

Tras su revisión se realizará un estudio crítico del objeto, señalando los aspectos positivos y negativos. Si los resultados no son los esperados, se procederá a la elaboración de sucesivos ensayos, hasta lograr los objetivos propuestos.

Una vez escogido el panel, se procederá a analizar sus dimensiones, forma y tamaño para que sea de fácil traslado y rápido montaje. Tras determinar la forma y el tamaño, se elaborará la documentación técnica necesaria:

- Planos de montaje
- Detalles de puntos delicados como:
 - Anclaje de piso y techo
 - Uniones entre paneles
 - Esquinas
 - Encuentros con ventanas y puertas

Luego se elaborará un plan de desmontaje y reciclaje del panel, donde se explicarán los pasos a seguir para que sea reutilizado. Una vez terminado este proceso se hará un análisis de costo aproximado por metro cuadrado.

Por finalizar, se realizará la redacción del informe final de la disertación sobre el panel tipo sándwich con aislamiento de fibra natural con características térmicas y acústicas para poder ser utilizado en un sistema de fachadas ligeras.

CAPÍTULO II

2.1. BREVE RESEÑA HISTÓRICA DEL PANEL TIPO SÁNDWICH

La aparición de las fachadas ligeras se remonta a finales del siglo XIX, pero las mismas se asociaban exclusivamente a vidrio, como se puede observar en construcciones como las naves de Margarete Steiff GmbH en Giengen/Brenz, de 1904, y en la fábrica de Fagus de Walter Gropius, de 1910.



Ilustración 1: Naves de Margarete Steiff
Fuente: <http://facadesconfidential.blogspot.com/2011/>



Ilustración 2: Vista de la nave en donde el vidrio está colocado sobre las columnas
Fuente: <http://facadesconfidential.blogspot.com/2011/>

En esa época se tenía claro el concepto de que los paneles de fachada ligera no afectaban la estabilidad de la construcción, por lo que podían ser tan finos como se quisiera. Pero, para cumplir funciones de aislamiento térmico y acústico, a lo largo de siglo XX, con la aparición de nuevos productos químicos, se logró reducir el grosor de las fachadas y sus tabiques.

El arquitecto Le Corbusier en 1922 ya intuyó el uso de paneles preformados e industrializados y realizó una propuesta con la Casa Citrohan, la misma que fue probada en la Weissenhof (exposición de arquitectura) en 1927. En ese mismo evento, Walter

Gropius proyectó una casa con muros exteriores de 6 cm de ancho rellenos de corcho prensado y enlazados por perfiles metálicos.



Ilustración 3: Casa Citrohan construida a partir de elementos estandarizados
Fuente: <http://tecnne.com/arquitectura/le-corbusier-casas-citrohan/>

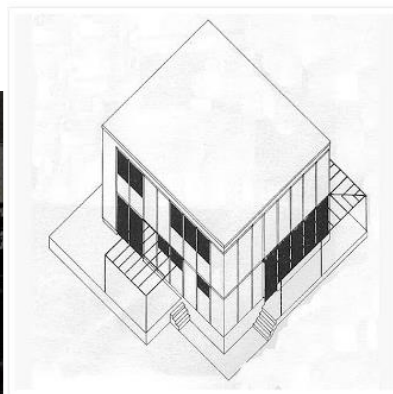
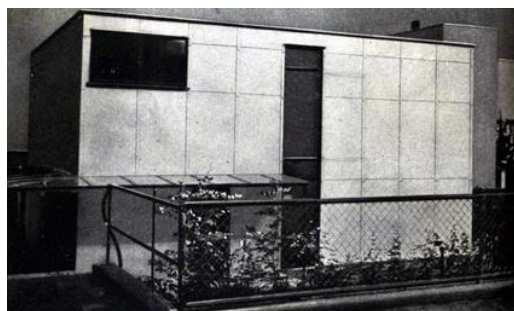


Ilustración 4: Casas 16 y 17, Walter Gropius, Colonia Weissenhof
Fuente: <http://historia1-weissenhof.blogspot.com/>

En 1939, Le Corbusier presentó un proyecto sobre la base de elementos constructivos prefabricados que se montaban sin necesidad de argamasa. Esta técnica no se desarrolló por completo sino hasta que el constructor-arquitecto Jean Prouvé experimentó con materiales y sistemas de fabricación.

A finales de la Segunda Guerra Mundial, en 1945, se identificó el uso de paneles tipo sándwich como un elemento de construcción rápida para cámaras frigoríficas y de conservación de temperatura. Esto debido a sus elevadas características aislantes, ya que permitían mantener temperaturas bajas. Se atendía así una gran demanda de productos perecederos y la necesidad de conservarlos en óptimas condiciones desde su almacenamiento hasta su distribución final.

Para 1956 nació la Maison Abbé Pierre, donde Jean Prouvé utilizó paneles con marco de madera endurecida, alma aislante de espuma plástica y parámetros de contrachapado. En las mismas fechas fueron construidas las casas Saint Dié, Sorcy y Beauvallon, las cuales fueron realizadas con paneles tipo sándwich de madera y metal, los cuales tenían un relleno de 6 cm de poliéster expandido. Fue el mismo Jean Prouvé quien realizó críticas respecto a los problemas que se detectaron en las juntas.



Ilustración 5: Casa Maison Abbé Pierre
Fuente: <http://historia1-weissenhof.blogspot.com/>

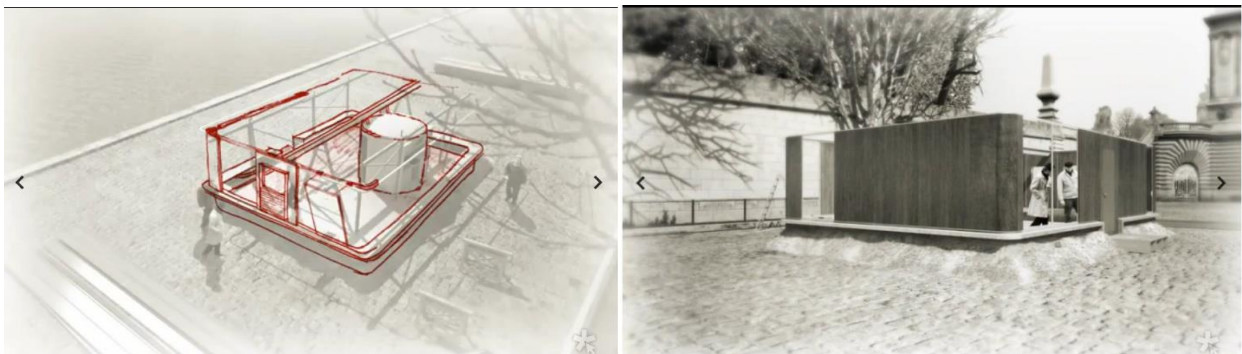


Ilustración 6: Gráficos de colocación de las paredes
Fuente: <http://www.wallpaper.com/architecture/patrick-seguin-restores-jean-prouvs>

Mientras tanto, en Estados Unidos, paralelamente a lo que ocurría en Europa, los diseñadores Charles y Ray Eames realizaron una casa en Santa Mónica como parte del programa experimental. Utilizaron elementos industrializados como paneles de contrachapado lacados, amianto-cemento y vidrio. Tras esta aparición surgieron las patentes de paneles tipo sándwich y se generalizó su uso en las construcciones. Entre los ejemplos más reconocidos de su empleo está el Sainsbury Arts Center, construido por Norman Foster en 1974, el cual utiliza paneles modulares de aluminio estriado con juntas drenantes, situados en las paredes y los techos.

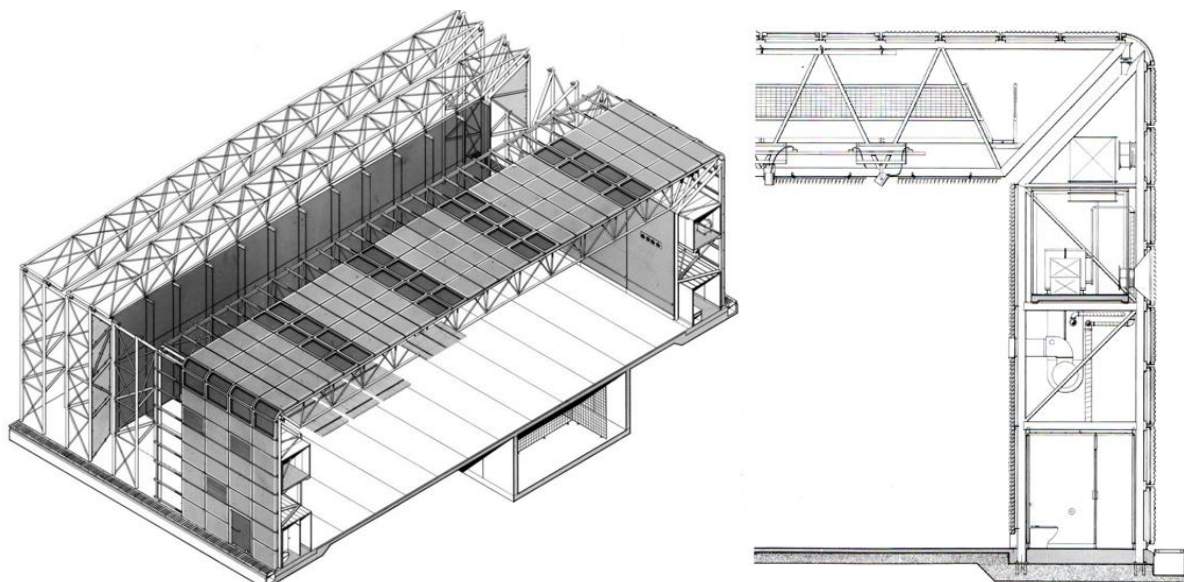


Ilustración 7: Testimonio Sainsbury Arts Center / Muestra de sección constructiva
Fuente: <http://www.fosterandpartners.com/>

En los ochenta, se continuaron realizando experiencias aisladas en el uso de paneles. Se intentó mejorar no solo sus propiedades térmicas, acústicas y mecánicas sino también las de las juntas entre los paneles.

En los inicios de los noventa, en Europa se generó el *Documento de Idoneidad Técnica* (DIT), primer documento que definió el panel tipo sándwich como un elemento de cerramiento no estructural, que no colabora en la estabilidad del edificio, pero posee características de aislamiento, impermeabilidad y durabilidad, entre otras propiedades.

2.1.1 NORMATIVA

A partir del DIT, en el año 1995, en España se aprobó la Norma UNE-41950 para paneles de poliuretano con capas de coberturas metálicas o no metálicas. Esto fue un hecho pionero en Europa puesto que ningún otro país tenía esa norma.

A diferencia del DIT, la Norma UNE-41950 “no tiene en cuenta la solución constructiva y se centra en las propiedades físicas y mecánicas del producto y sus componentes; establece unos mínimos para estas características y unifica los métodos de ensayo para determinar las propiedades. Sin embargo, la Norma UNE-41950 mantiene el enfoque del panel como elemento de cerramiento no estructural” (Pages, 2010).

A inicios del año 2000, el Centre Européen de Normalisation (CEN) recibió el encargo de redactar una norma europea basada en las exigencias reglamentarias de los distintos países. Pese a que España era el único país con una norma de producto, por tratarse de una norma voluntaria tenía mucho menos peso que los reglamentos existentes en otros países donde el panel se consideraba un producto de construcción con funciones estructurales. Con estos ingredientes resultó la Norma UNE-EN 14509.

En 2010, los paneles tipo sándwich certificados comercializados en Europa poseían el marcado CE y la marca N. El certificado CE, que viene marcado en los paneles, no indica calidad, pero es una herramienta para la transparencia que permite fácilmente comparar las propiedades de distintos productos. La marca N, sin embargo, es la garantía de que la declaración CE ha sido tratada con el todo el rigor de la norma UNE-EN 14509.

Esta norma establece claramente que “el panel tipo sándwich puede ser de cualquier aislante pero que la chapa y la contrachapa deben ser metálicas, ya sea de acero inoxidable, aluminio o cobre. Son objeto de esta norma los paneles cuyo núcleo aislante sea de poliuretano rígido, poliestireno expandido, espuma de poliestireno extrusionado, espuma fenólica, vidrio celular o lana mineral” (AENOR, 2007, p. 15).



Ilustración 8: Tipos de paneles tipo sándwich de chapas metálicas

Fuente: <http://www.dovalbuilding.com/sistemas/cerramientos/fachada/paneles-sandwich>

2.1.2 CONCLUSIONES

El uso de fachadas ligeras se remonta al siglo XIX. Con la aparición de nuevos productos químicos en el siglo XX, estas fueron evolucionando y probando su eficiencia en diferentes construcciones. Así se encontró que su principal problema era el de las juntas.

En los noventa se redactó el primer documento que define al panel tipo sándwich como un panel autoportante de cerramiento no estructural. Es en la Norma UNE-EN 14509 que se estableció que la chapa y la contrachapa del panel tipo sándwich deben ser metálicas.

En Ecuador no se pudo comprobar la existencia de una norma nacional de paneles tipo sándwich. Por tal motivo, y por ser este un trabajo de investigación, se basará en algunos parámetros establecidos en la Norma UNE-EN 14509.

2.2. DESCRIPCIÓN DEL PANEL TIPO SÁNDWICH

2.2.1 INTRODUCCIÓN

El panel tipo sándwich es un producto de la construcción que consiste en dos capas colocadas a cada lado de un núcleo de material aislante térmico, al cual están firmemente unidas, de manera que los tres componentes actúan en conjunto. La unión de los materiales permite eliminar los puntos débiles. Esto da lugar a un producto de características y propiedades superiores.

El panel tipo sándwich también se lo define como un panel autoportante con propiedades de aislamiento térmico-acústico y resistencia a agentes externos. Su montaje es bajo un sistema en seco, razón por la cual son cortados a longitudes predeterminadas de acuerdo a su necesidad, antes de su traslado a la obra.

Las diferentes partes del panel son:

- Chapa (*capa exterior*)
- Contrachapa (*capa interior*)
- Núcleo (*aislante*)
- Traslape (*junta entre paneles*)

Chapa: Es impermeable, protege el núcleo aislante y proporciona el acabado final exterior.

Núcleo: Aislante rígido que posee propiedades térmicas y acústicas.

Contrachapa: Protege el núcleo aislante y proporciona el acabado final al interior.

Traslape: Junta con geometría que brinda impermeabilidad y sellado.

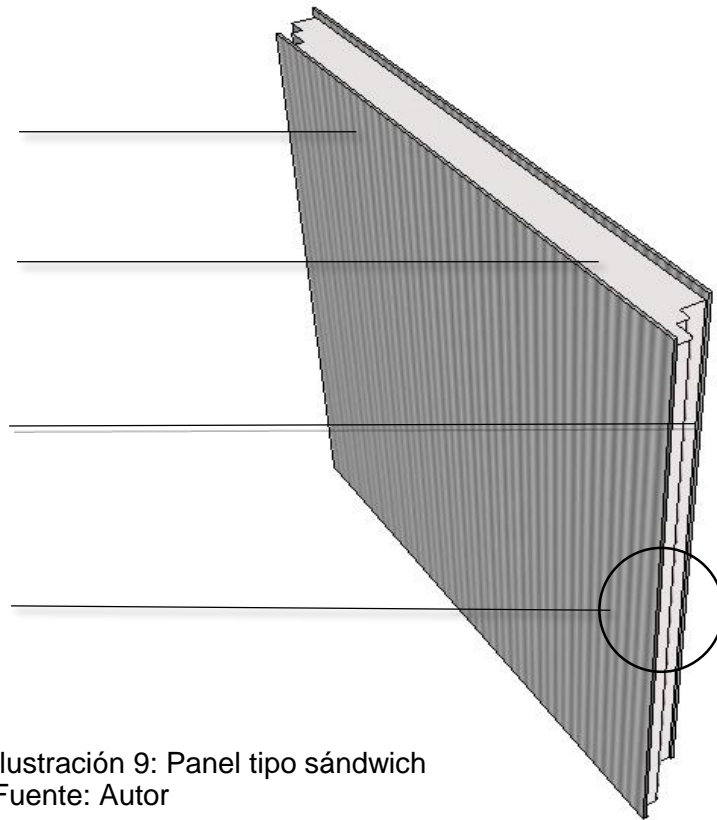


Ilustración 9: Panel tipo sándwich
Fuente: Autor

2.2.1.1 Materialidad

La chapa y la contrachapa de un panel tipo sándwich pueden o no estar conformadas por el mismo material. Esto depende de las necesidades arquitectónicas y funcionales de los ambientes. Por ejemplo, pueden ser:

- metal-metal
- metal-madera
- madera-yeso
- madera-madera
- metal-yeso
- madera-fibrocemento
- madera-PVC

Los aislantes que conforman el núcleo del panel poseen características térmico- acústicas. Entre los de mayor comercialización encontramos:

- Poliuretano (PUR)
- Poliisocianurato (PIR)
- Poliestireno expandido (EPS)
- Poliestireno extruido (XPS)
- Lana mineral de roca (LRM)

2.2.1.2 Medidas

Los paneles tipo sándwich son modulados previamente a su fabricación y responden a diseños previstos en la arquitectura del proyecto.

En lo que respecta a los espesores, generalmente se fabrican piezas desde 50 mm hasta 200 mm, pero pueden ser modificadas en proyectos especiales. En cuanto al ancho del panel, está entre 900 mm y 1.200 mm. Esto se debe a que el mayor número de paneles tipo sándwich comercializados son de acero laminado y sus bobinas alcanzan esas medidas, pero también a que con ese tamaño existe facilidad para su manejo y montaje.

El largo de los paneles responde mayoritariamente al diseño arquitectónico establecido, razón por la cual se podrían tomar como límite las dimensiones del transporte, que, en el caso de un tráiler, llegarían a alcanzar un máximo de 12 metros aproximadamente.

2.2.1.3 Traslape

El panel tipo sándwich debe ser totalmente impermeable al agua, el vapor de agua y el aire. Esto evita la degradación del núcleo. Por esta razón, el montaje y las juntas son machihembrados para minimizar los puentes térmicos y absorber las dilataciones térmicas de las capas exteriores.

El sistema de juntas impermeables más conocido se basa en resoluciones geométricas y de impermeabilidad mediante sellado exterior. Dependiendo de las condiciones atmosféricas y las condicionantes técnicas de diseño arquitectónico, las juntas pueden ser abiertas o selladas.

Los sellantes elásticos de las juntas se convierten en el principal problema, ya que deben absorber los movimientos de dilatación y resistencia a las acciones atmosféricas sin pérdida de la estanqueidad de las mismas.

2.2.1.4 Propiedades

Entre las principales propiedades de los paneles tipo sándwich podemos nombrar las siguientes:

- Alta durabilidad: Por sus materiales componentes.
- Sistema de construcción modular: Por ser módulos autoportantes que se ensamblan en obra.
- Aislamiento térmico: Por las propiedades térmicas de su núcleo.
- Aislamiento acústico: Por las propiedades acústicas de su núcleo.
- Autoportante: Por la propia estabilidad mecánica.
- Impermeabilidad: Por sus capas exteriores, que generalmente son de materiales impermeables.
- Producción industrializada: Por los procedimientos técnicos a los que es sometido el panel para ser fabricarlo.
- Económicamente asequible: Por los costos asequibles de los materiales que componen un panel.
- Sencillo y rápido para el montaje: Porque el sistema reduce un 75% el tiempo de montaje respecto al sistema convencional.

Así mismo, y como parte de las propiedades del panel tipo sándwich, debemos señalar ciertas desventajas:

- Deformación del material cuando está expuesto a altas temperaturas.
- La garantía de aislamiento y su reacción ante el fuego depende del diseño de la junta.
- En un incendio, sus aislantes hacen que se desprenda ácido cianhídrico, el cual es toxico para el ser humano.
- Puede producir toxinas aun a temperatura ambiente.
- No posee soluciones integrales en los remates ni tampoco en detalles arquitectónicos no convencionales, por lo que estos quedan a la inventiva del técnico productor o técnico diseñador.
- Los aislantes generalmente utilizados poseen características térmicas o acústicas, más no las dos a la vez.
- La altura máxima del panel generalmente se limita a la del transporte (12-15 metros).
- El acabado final del panel únicamente puede seleccionarse de la paleta de opciones brindadas por el productor, más no es de libre elección.

2.2.2 CLASES DE PANELES TIPO SÁNDWICH

2.2.2.1 Por la función

Existen dos clases de panel tipo sándwich por la función:

- Paredes (fachada)
- Cubierta

2.2.2.1.1 Paredes

Es un panel liso y de apariencia convencional, así también, el más económico. Se puede colocar tanto en posición vertical como horizontal. Posee resistencia mecánica y permite alcanzar longitudes amplias.

Generalmente es fabricado con un sistema de machihembrado con tornillería oculta. Permite acabados limpios y de alto nivel estético, ya que, una vez terminada la fachada, todas las fijaciones quedan ocultas.



Ilustración 10: Panel tipo sándwich de pared
Fuente: <https://www.panelaragon.com>

2.2.2.1.2 Cubierta

Los paneles de cubierta tienen características geométricas diferentes a las de los paneles de pared. De hecho, los paneles de cubierta poseen mayor resistencia mecánica puesto que deben resistir el peso de los operadores encargados de la instalación y el mantenimiento. Además, durante su vida operativa deben soportar posibles cargas de nieve, lluvias y viento, tanto de presión como de succión.

Por estas razones, generalmente estos paneles poseen una superficie exterior fuertemente perfilada, y el espesor tiende a ser mayor que en los paneles de pared. Los paneles están conectados a la estructura de soporte por medio de tornillos auto perforantes o con autorroscado, los cuales, a diferencia de los de pared, van vistos.

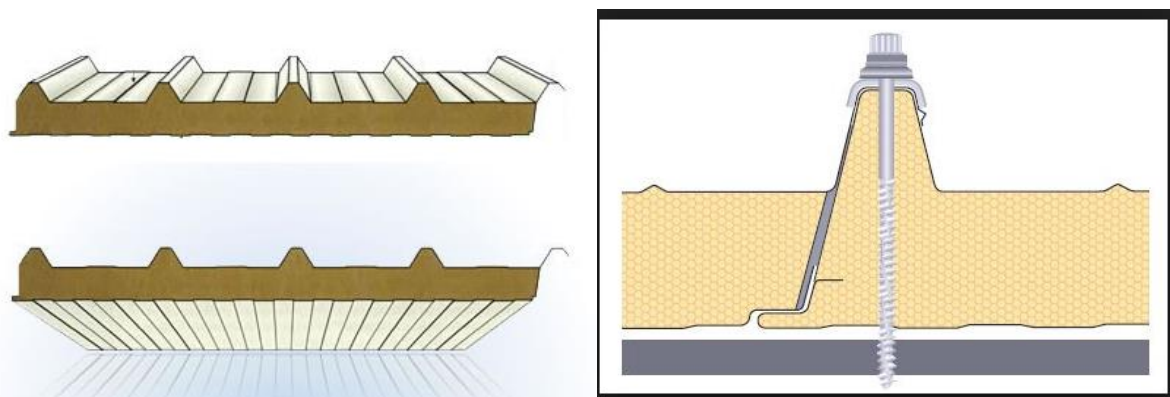


Ilustración 11: Panel tipo sándwich de cubierta / Detalle de empernado
Fuente: <https://www.panelyplast.com>

2.2.2.3 Por tipo de acabados

La clasificación por el tipo de acabado se refiere al material de la chapa y la contrachapa. Este material posee características estéticas puesto que le da el acabado final. Entre los más frecuentes podemos encontrar:

- Acero
- Madera
- Placa cartón yeso (gypsum)
- PVC
- Fibrocemento
- Mixtos

2.2.2.3.1 Acero

Es el acabado más habitual y económico para cerramientos de fachada y cubiertas. Se puede colocar tanto en posición vertical como horizontal. Este panel tiene buenas resistencias mecánicas y permite alcanzar longitudes amplias (generalmente las del transporte: 12 a 15 metros).

Las superficies de metal son muy finas, con un espesor que varía entre 0,4 y 0,7 mm. En las paredes se utiliza un sistema de machihembrado con tornillería oculta. Permite acabados limpios y de alto nivel estético, ya que, una vez terminada la fachada, todas las fijaciones quedan ocultas.

Es el panel de mayor practicidad gracias al diseño de los bordes de extremos (traslape), ya que al ser metal preformado se logran obtener conexiones estrechas entre elementos adyacentes. Esto minimiza los puentes térmicos y absorbe las dilataciones térmicas de las capas exteriores. Las caras exteriores son acero galvalume y/o prepintado. Entre sus principales ventajas está su bajo peso.

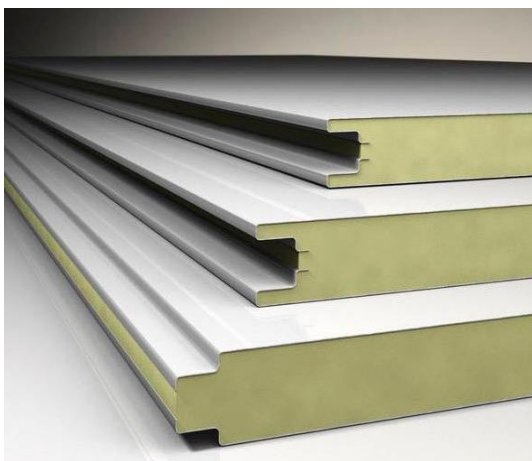


Ilustración 12: Panel tipo sándwich de acero prepintado
Fuente: www.archiexpo.es

Cabe indicar que en el grupo del acero también se encuentran los paneles de acero inoxidable, aluminio y cobre, los cuales no son comunes principalmente por su costo.

2.2.2.3.2.1 Chapas de acero inoxidable

Las caras de acero inoxidable deben tener un límite elástico máximo de 220 N/mm². El fabricante del panel debe indicar el grado del metal, el espesor y el sistema de tolerancias de cada cara. Las tolerancias del espesor deben ser tolerancias “especiales” o “normales”, tal como se describe en las normas correspondientes. Las propiedades del revestimiento

de acero inoxidable recubierto con aleación de plomo deben cumplir las normas establecidas. La masa nominal del revestimiento debe ser la masa total incluyendo ambos lados, y debe ser de al menos de 40 g/m².

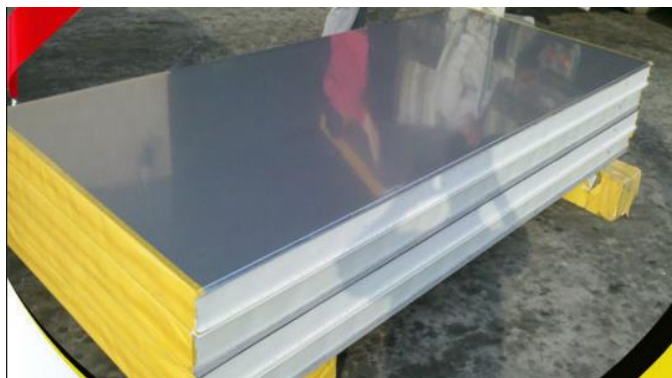


Ilustración 13: Panel tipo sándwich de acero inoxidable
Fuente: spanish.alibaba.com

2.2.2.3.2.2 Chapas de aluminio

Las caras de aluminio deben tener un valor máximo de cálculo de la tensión límite de deformación al 0,2% (llamado “límite elástico”) de 140 N/mm². El fabricante del panel debe indicar el grado del metal, el espesor y el sistema de tolerancias de cada cara. Las tolerancias del espesor deben ser tolerancias “especiales” o “normales”, tal como se describe en las normas correspondientes.

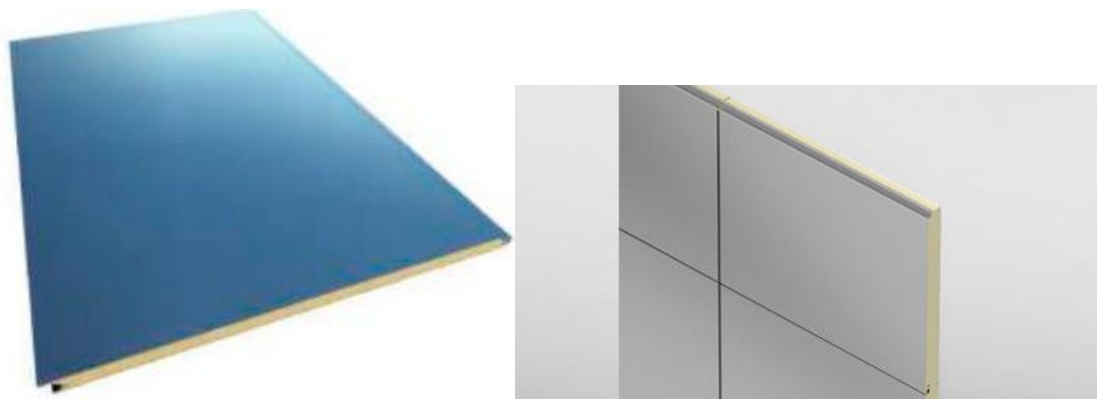


Ilustración 14: Panel tipo sándwich de aluminio
Fuente: www.ironlux.es y www.archiexpo.es

2.2.2.3.2.3 Chapas de cobre

Las caras de cobre deben tener un valor máximo de cálculo de la tensión límite de deformación al 0,2% (llamado “límite elástico”) de 180 N/mm². El fabricante del panel debe indicar el grado del metal, el espesor y el sistema de tolerancias de cada cara.

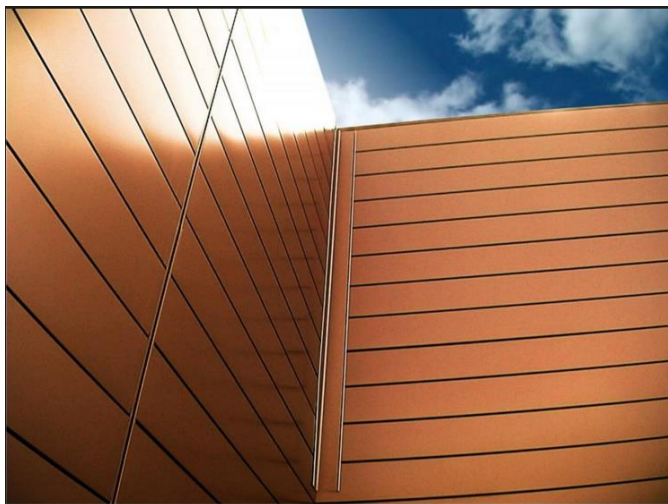


Ilustración 15: Panel tipo sándwich de cobre
Fuente: www.incoperfil.com

2.2.2.3.2 Madera

Está compuesto de dos tableros encolados a un núcleo aislante. Generalmente se usa para cubiertas. Pueden ser tableros de aglomerado hidrófugo, contrachapados fenólicos o tableros VIROC. Posee aislamiento de espesor variable en la parte central. La chapa interior tiene una función principalmente estética y está disponible en una amplia gama de acabados (tipo de maderas y colores). Al instalarlo en las cubiertas facilita la utilización en forma tradicional de teja, zinc, pizarra, cobre, entre otras. Al poner el techo (superficie final) sobre el mismo se consigue un doble sentido de ventilación de cubierta ya que aumenta el aislamiento y previene la entrada de agua por fisuras de la capa superficial. Generalmente las dimensiones de estos paneles llegan hasta 5.000 mm de largo y 1.100 mm de ancho.

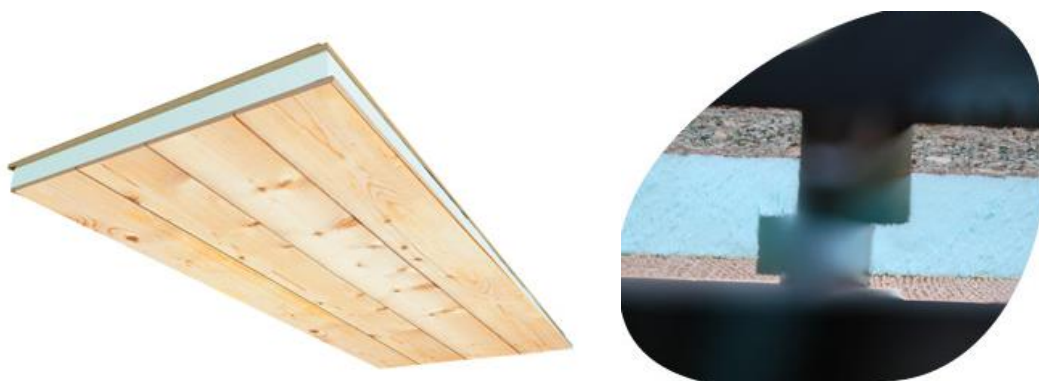


Ilustración 16: Panel tipo sándwich de madera / detalle de traslape
Fuente: <http://www.panelesmecar.com/> y www.termopanel.es

2.2.2.3.3 Placa cartón yeso (gypsum)

Este acabado admite todos los tratamientos que habitualmente se realizan sobre superficies de cartón yeso. Destaca por su clasificación B de protección ante el fuego y sus prestaciones acústicas. Al ser de gypsum permite que sus bordes sean afinados para una correcta aplicación de la pasta en las juntas de unión entre paneles. Así garantiza

superficies lisas y continuas, donde se oculta machihembrado. Son utilizados generalmente para paredes.

Este panel está formado por un tablero de aglomerado hidrófugo como chapa externa, sobre el cual debería ir la superficie final impermeable para exteriores. El espesor del aislante es variable según las necesidades de aislamiento. Como contrachapa (chapa interna) va la placa de cartón yeso. Generalmente las dimensiones de estos paneles llegan hasta 2.500 mm de largo y 600 mm de ancho.



Ilustración 17: Panel tipo sándwich de cartón yeso
Fuente: http://www.thermochip.com/dt_catalog/carton-yeso-tplh/

2.2.2.3.4 PVC

Son paneles especialmente diseñados para ambientes de altos requerimientos de salubridad e higiene. No se despintan ni se oxidan. No alojan hongos ni bacterias. Por lo tanto son comúnmente usados en cámaras frigoríficas, naves industriales, salas blancas, cocinas, carnicerías y clínicas. Se utilizan tanto en paredes como en cubiertas, pero únicamente para revestimientos internos. Generalmente las dimensiones de estos paneles llegan hasta 3.000 mm de largo y 250 mm de ancho.



Ilustración 18: Panel tipo sándwich de PVC
Fuente: <http://www.actiweb.es/pacsasrl/> y <http://www.sumipanel.com/>

2.2.2.3.5 Fibrocemento

Son paneles utilizados en la construcción de cubiertas, cerramientos exteriores o tabiques interiores sometidos a peticiones especiales. Se emplean en cubiertas y paredes. En cubiertas, la chapa está formada por un tablero aglomerado hidrófugo, sobre el cual va el tratamiento final, mientras que en la contrachapa va el panel de fibrocemento, el cual es

fabricado a partir de virutas de madera y cemento Portland, mezcladas con sustancias de mineralización y agua. Respecto al comportamiento ante el fuego, este es de clase B, panel rígido y resistente a los impactos. Generalmente llegan hasta los 2.500 mm de largo y 600 mm de ancho.

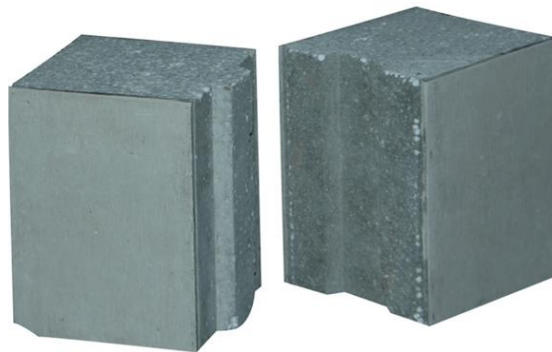


Ilustración 19: Panel tipo sándwich de fibrocemento
Fuente: <http://es.made-in-china.com/co>

2.2.2.3.6 Mixtos

Los diferentes chapas y contrachapas pueden combinarse. Generalmente se las realiza con acero, por su buen comportamiento en el exterior. Interiormente se utiliza madera o cartón yeso, ya que aportan un valor estético y decorativo indudable. Esto convierte a los paneles en un producto para todo tipo de soluciones arquitectónicas. Las dimensiones del panel son impuestas por el recubrimiento interno (contrachapa), tanto en el ancho como en el largo.

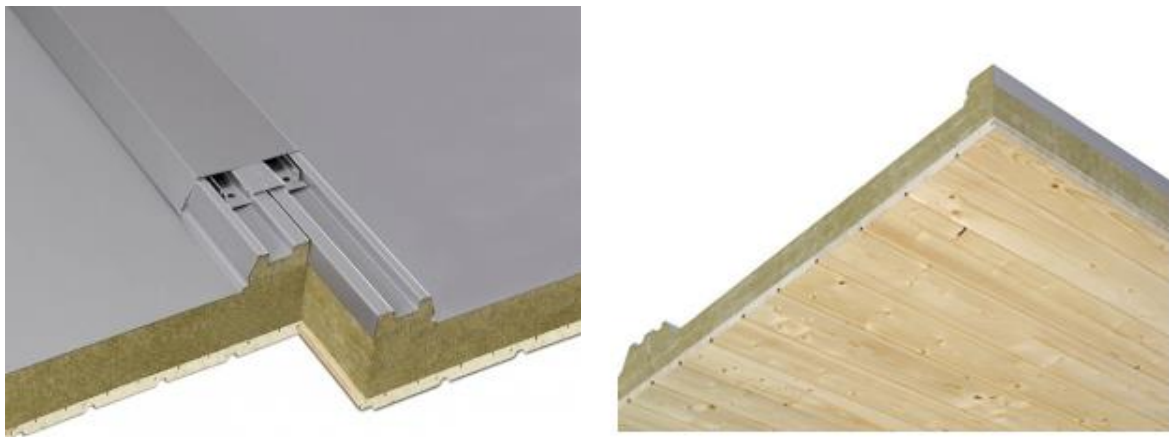


Ilustración 20: Panel mixto: acero-madera
Fuente: <http://www.dismonte.com/cubiertas/con-aislamiento>

2.2.2.3.7 Cuadro comparativo de los tipos de acabados del panel tipo sándwich

	Tipo de acabado del panel sándwich									
	Acero				Madera	Cartón Yeso	PVC	Fibrocemento	Mixtos	
	Prepint./Galva.	Inoxidable	Aluminio	Cobre						
Espesor (mm)	0,4 - 0,7	0,5 - 1,0	0,4 - 0,7	0,3 - 0,6	5 - 7	8 - 12	2 - 5	5 - 1	n/a	
Durabilidad	xxxx	xxxxx	xxxx	xxxxx	xxxx	xxxx	xxxx	xxxx	xxxxx	
Max. Ancho útil (mm)	1200	1000	1100	1100	1100	600	250	600	n/a	
Largo útil (mm)	15000	2500	2500	2500	5000	2500	3000	2500	2500	
Costo	xx	xxxxx	xxxx	xxxxx	xxxx	xxx	xxx	xxx	xxxxx	
Peso	x	xxx	xx	xxx	xxx	xxx	xx	xxx	xxx	
Utilidad en cubierta	si	si	si	si	si	si	si	si	si	
Utilidad en paredes	si	si	si	si	no	si	si	si	si	
Acabado Capa Interna	Bueno	Regular	Regular	Regular	Bueno	Bueno	Bueno	Regular	Bueno	
Acabado capa externa	Bueno	Bueno	Bueno	Bueno	Regular	Regular	Regular	Bueno	Bueno	
Características de Higieneidad	Bueno	Bueno	Regular	Regular	Regular	Regular	Bueno	Regular	Bueno	
¿Necesita recubrimiento superficial chapa interna	No	Si	Si	Si	No	Si	No	Si	No	
¿Necesita recubrimiento superficial chapa externa	No	No	No	No	Si	Si	Si	No	No	
Eficiencia de traslape	xxxxx	xxxx	xxxxx	xxxx	xxx	xxx	xxxx	xxx	xxx	



 –  : Valoración del autor de malo a bueno

Tabla 1: Cuadro comparativo de los tipos de acabados del panel tipo sándwich

Fuente: Autor

2.2.2.3.8 Conclusiones

Los paneles tipo sándwich de acero poseen características bastante similares, exceptuando que los de acero inoxidable, aluminio y cobre solo se los fabrica con una cara de acero, puesto que tener las dos de este material supone un costo elevado, aunque podría hacérselo bajo pedido.

Todos los paneles tipo sándwich pueden ser utilizados tanto para paredes como para cubiertas, pero los de madera, cartón yeso, PVC y fibrocemento utilizan aglomerado hidrófugo en una de sus caras, por lo que es necesaria la incorporación de un recubrimiento impermeable-estético final.

El único panel que otorga un acabado liso y continuo es el de cartón yeso.

Los paneles de mayor versatilidad para el diseño del traslape son los de acero, esto porque el acero es un material delgado y fácil de plegar.

Los paneles de menor espesor son los tipo sándwich de acero galvanizado y/o prepintado, lo que influye directamente en peso, costo de instalación y facilidad transporte.

Los paneles mixtos otorgan variedad de opciones en lo que a acabados arquitectónicos se refiere. Son impopulares únicamente por su costo y poca eficiencia en lo que al traslape respecta.

2.2.2.4 Por tipo de aislante

Los paneles tipo sándwich también se clasifican por aislamiento en el núcleo, sea este térmico o acústico. Los más utilizados son:

- Poliuretano (PUR)
- Poliisocianurato (PIR)

- Poliestireno expandido (EPS)
- Poliestireno extruido (XPS)
- Lana mineral de roca (LRM)

2.2.2.4.1 Poliuretano

Descripción

El poliuretano nace de la fusión de dos químicos: uno derivado del petróleo (isocianato) y otro del azúcar (poliol). Posee un coeficiente de transmisión de calor muy bajo y su duración, si está debidamente protegido, es indefinida.

Características



Ilustración 21: Presentación del material

Fuente: www.caracol.com

Tiene una alta resistencia a la absorción de agua, lo que dificulta el crecimiento de hongos y bacterias. Además, tiene muy buena resistencia al ataque de ácidos, álcalis, agua dulce y salada, hidrocarburos, entre otros, y posee una excelente adherencia a los materiales normalmente usados en la construcción sin necesidad de adherentes de ninguna especie.

Función

Las prestaciones son térmicas ya que su conductividad térmica es de 0,024 W/m°K.

Espesor

50 mm-200 mm

Componentes

- Poliol (resina hidroxilada)
- Poliisocianato
- Agente de expansión
- Activador para controlar la reacción

2.2.2.4.2 Poliisocianurato

Descripción

Las espumas de poliisocianurato (PIR) difieren de las espumas de poliuretano puro (PUR) solo en la relación de la mezcla de los componentes: polioli e isocianato. Esta relación es de aproximadamente 100:150 en comparación con el 100:100 del PUR. Por lo tanto, hay más isocianato en el PIR que en el PUR. Esta diferencia de composición ofrece al material final propiedades diferentes a causa de la distinta estructura química, incluso si el proceso de espumado y las propiedades mecánicas y físicas normalmente son parecidos.

Características

Las espumas de PIR se usan solamente por sus superiores características de estabilidad térmica y prestación al fuego, ya que pueden obtener mayor resistencia.



Ilustración 22: Núcleo de poliisocianurato
Fuente: www.archiexpo.es

Función

Las prestaciones son térmicas ya que su conductividad térmica es de 0,029 W/m°K.

Espesor

50 mm-200 mm

Componentes

Los componentes principales de las espumas de poliisocianurato son:

- Polioli
- Isocianato
- Agente de expansión
- Activador para controlar la reacción

2.2.2.4.3 Poliestireno expandido

Descripción

Es un material plástico espumado, derivado del poliestireno (un polímero termoplástico que se obtiene de la polimerización del estireno), que parte de compuestos de este material en forma de perlitas, las cuales contienen un agente expansor llamado pentano.

Después de una preexpansión, las perlitas se mantienen en silos de reposo y posteriormente son conducidas hacia máquinas de moldeo. Dentro de dichas máquinas se aplica energía térmica para que el agente expansor que contienen las perlitas se caliente y éstas aumenten su volumen, a la vez que el polímero se plastifica. Durante dicho proceso, el material se adapta a la forma de los moldes que lo contienen. Para producir poliestireno se usan recursos naturales no renovables, ya que es un plástico derivado del petróleo.

Características

Como desventajas principales está el ser fácilmente inflamable, la emisión de clorofluorocarbonos y además que es atacado por cierto tipo de disolventes, barnices o pinturas.



Ilustración 1: Poliestireno expandido

Fuente: www.rolysig.com

Función

Constituye un aislante térmico ya que su conductividad térmica es de $0,040 \text{ W/m}^\circ\text{K}$.

Espesor

50 mm-200 mm

Componentes

- Poliestireno en forma de perlitas
- Pentano (agente expansor)

2.2.2.4.4 Poliestireno extruido

Descripción

El poliestireno extruido o extrusionado, también conocido por su acrónimo inglés XPS, es una espuma rígida resultante de la extrusión del poliestireno en presencia de un gas espumante. Se usa principalmente como aislante térmico.

El poliestireno extruido comparte muchas características con el poliestireno expandido, pues su composición química es idéntica: aproximadamente un 95% de poliestireno y un 5% de gas. La diferencia radica únicamente en el proceso de conformación; pero es una diferencia crucial, ya que el extrusionado produce una estructura de burbuja cerrada que lo convierte en el único aislante térmico capaz de mojarse sin perder sus propiedades

Características

El XPS posee una conductividad térmica típica entre $0,033 \text{ W/m}^\circ\text{K}$ y $0,036 \text{ W/m}^\circ\text{K}$, aunque existen poliestirenos con valores de hasta $0,029 \text{ W/m}^\circ\text{K}$. El XPS presenta una baja absorción de agua (inferior al 0,7% a inmersión total) y unas prestaciones mecánicas muy altas (entre 200 y 700 kPa). Tiene una densidad aparente entre 307 y 33 kg/m^3 .



Ilustración 24: Poliestireno extruido

Fuente: www.archiexpo.es

Función

Es un aislante térmico ya que su conductividad térmica es de $0,036 \text{ W/m}^\circ\text{K}$.

Espesor

50 mm-200 mm

Componentes

- Poliestireno 95%

2.2.2.4.5 Lana mineral de roca

Descripción

Es un material fabricado a partir de roca volcánica y pertenece a la familia de las lanas minerales. La lana de roca se obtiene de la fundición de la roca basáltica, diluida y esparcida en ruedas que giran a gran velocidad y transforman el material en fibras. Se coloca un ligante orgánico para lograr el colchón que es conocido como lana de roca.

Características

Se utiliza principalmente como aislante térmico, gracias al aire inmóvil en su interior, que dificulta el flujo de calor a través del material. Brinda protección pasiva contra el fuego, ya que es un material no combustible. También se emplea como aislante acústico, ya que frena el movimiento de las partículas de aire y disipa la energía sonora.



Ilustración 25: Lana mineral de roca

Fuente: spanish.alibaba.com

Función

Es un aislante térmico con coeficiente de $0,040-0,036 \text{ W/m}^{\circ}\text{K}$, un aislante acústico con un coeficiente reductor de ruido de $0,7$, y brinda protección pasiva contra el fuego.

Espesor

50 mm-200 mm

Componentes

- Roca volcánica
- Ligante orgánico (basalto u ofita)

2.2.2.4.6 Cuadro comparativo de materiales aislantes

A continuación se presenta un cuadro comparativo de los paneles tipo sándwich con sus diferentes aislantes. Se incluye a manera de referencia el sistema de bloque tradicional, uno de los más utilizados en Ecuador.

Tabla de comparabilidad

MATERIALES	Material de referencia	Panel sándwich de 50 mm de espesor			
	Bloque tradicional 20°20°40	Poliuretano (PUR)	Poliisocianurato (PIR)	Poliestireno Expandido (EPS)	Lana Mineral de Roca (LMR)
Composición	cemento, arena , agregados pétreos (calizos)	Poliol(resina hidroxilada), Poliisocianato. Agente de expansión	Poliol, Isocianata, Agente de expansión activador para controla	Poliestireno en forma de perlititas, pentano (agente expansor)	Roca volcánica y ligante orgánico.
Peso Específico Kg/m ²	150 - 250	9,1	11,4	7,53	12,43
Densidad Kg/m ³	2000	40	42	18	100
Conductividad térmica W/m °K	0,14	0,024	0,029	0,04	0,04
*Combustibilidad		B-D	B		A2
*Opacidad de Humo		s1, s2, s3	s2	s1, s2	s1
* Caída de gotas o partículas inflamables		d0	d0	d0	d0
Punto de Fusión °C		bajo aprox. 260	bajo aprox. 261	bajo aprox. 177	120 resiste, y se funde por encima de 1200
Nivel de Aislamiento Acústico (dB)	47	19	18,6	17,6	31,8
Coefficiente Reductor de Ruido (NRC)		0,5	0,5	0,27	0,7
Costo	x	xxx	xxx	xx	xxxxx

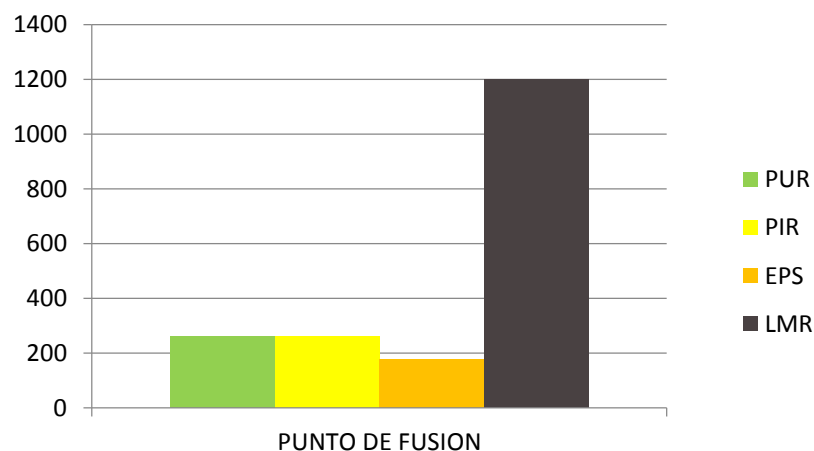
 Valoración del autor de malo a bueno

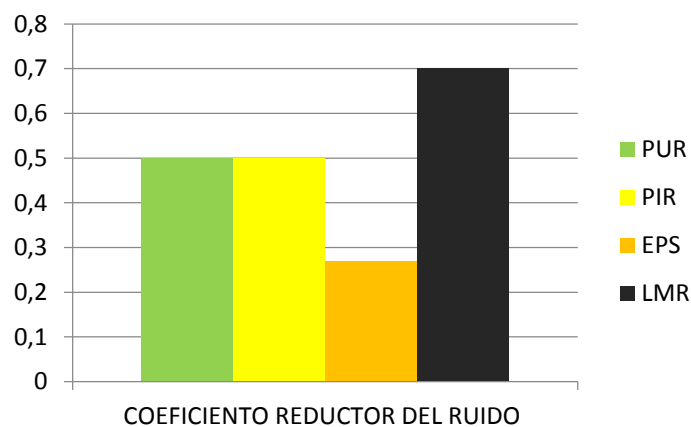
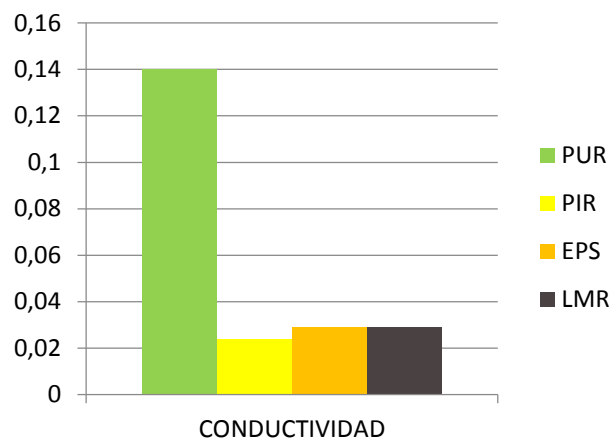
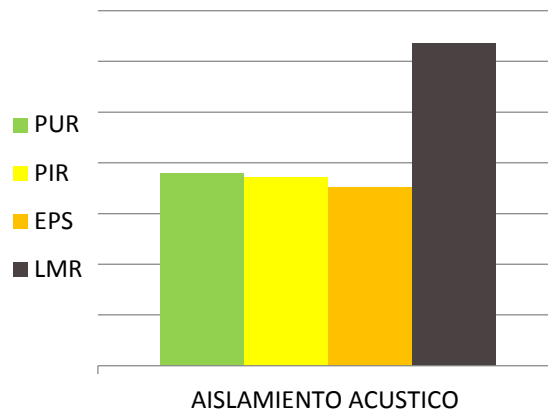
Tabla 2: Cuadro comparativo de materiales aislantes

Fuente: Autor.

(*) De acuerdo a la Clasificación Europea de Reacción al Fuego de los Materiales, según el Rd 312/2005 y la Norma UNE-EN 13501-1:2002. EUROCLASES que están como anexo a este documento

Gráficos comparativos





Conclusiones

- Los paneles tipo sándwich estudiados tienen menor peso específico en comparación con sistemas tradicionales utilizados en la región, como es el bloque.
- Al ser materiales con propiedades térmicas, se reducen los costos de climatización.
- Las instalaciones eléctricas y sanitarias en el sistema de paneles tipo sándwich van vistas ya que el panel viene terminado de fábrica y, al momento de hacer las instalaciones, se las realiza sobre el mismo.
- Los paneles no poseen soluciones integrales respecto a ventanas, puertas, detalles y remates; por lo cual se deja a la capacidad del diseñador o constructor solucionar ese tipo de detalles.

- La altura máxima del panel generalmente se limita a la del transporte (12-15 metros).
- Depende del diseño de la junta la garantía de aislamiento y la capacidad de no permitir que el agua, el aire y el fuego penetren fácilmente al núcleo.
- Los paneles, si bien no son portantes, tienen rigidez mecánica.
- A excepción del panel de lana mineral de roca (LMR), todos se derivan de recursos limitados como el petróleo.
- Los paneles tienen propiedades de resistencia al ataque de ácidos tanto de agua dulce como de agua salada.
- El panel de LMR tiene mayor peso específico y costo que PUR, PIR y EPS.
- El PUR, PIR y EPS tienen un comportamiento no satisfactorio ante el fuego según el Rd 312/2005 y la Norma UNE-EN 13501-1:2002.
- El panel de LMR tiene propiedades de protección pasiva contra el fuego. El bloque y el panel de LMR proporcionan mayor aislamiento acústico que los paneles derivados del petróleo.

2.2.3 MONTAJE

Previo a revisar el montaje es importante señalar que las características del panel son uniformes en toda la superficie, razón por la cual las interrupciones como juntas, ventanas, puertas, remates y cortes requieren un estudio específico para mantener las mismas propiedades que las de la superficie del panel.

A continuación se describen los detalles recomendados por los fabricantes de paneles tipo sándwich, los mismos que responden a características de costo-beneficio. Estos pueden ser modificados de acuerdo a los requerimientos del diseñador o constructor.

Como elemento predominante para resolver los remates y las juntas están los flashings. Los flashings son piezas delgadas de acero que se instalan en remates y puntos críticos para impedir el paso de agua, aire y fuego. Al igual que el panel, tienen características que proporcionan un acabado final.

Entre los flashings más utilizados tenemos el tipo U (rieles o canales en U) y los flashings de 90°, interior y exterior (Tipo L). Estos son sujetados mediante pernos autoperforantes, y finalmente sellados con un adhesivo elástico en algunos casos.

2.2.3.1 Tabla con detalles constructivos generales

2.2.3.1.1 Arranque vertical

Este tipo de paneles suelen montarse sobre rieles, canales o remates en forma de U, atornillándolos sobre estos para fijarlos en la posición vertical. Las juntas pueden ser simétricas y asimétricas, teniendo en cuenta los aislantes de la chapa exterior.

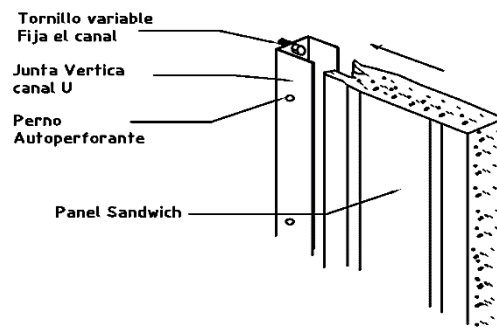


Ilustración 26: Junta vertical
Fuente: Autor

2.2.3.1.2 Arranque horizontal

Este tipo de paneles suelen montarse sobre rieles, canales o remates en forma de U, atornillándolos sobre ellos para fijarlos en la posición horizontal.

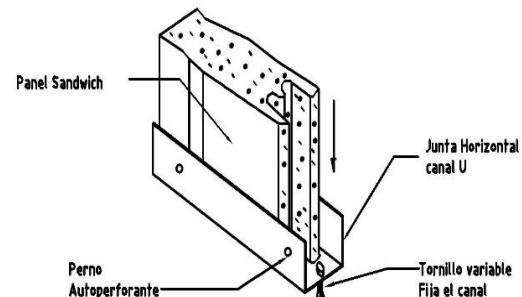
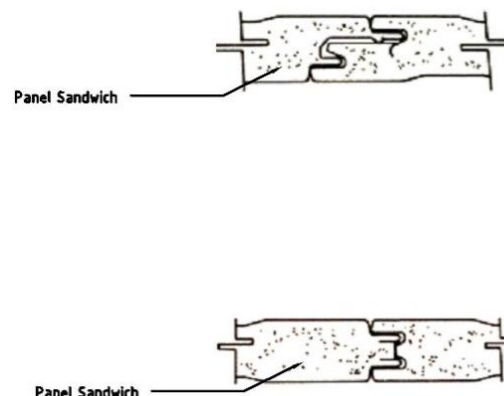
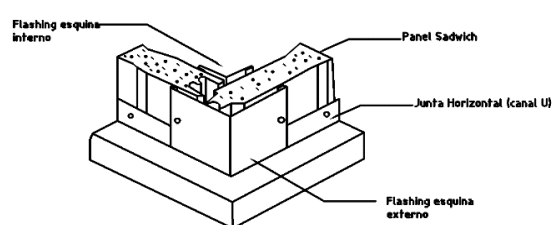
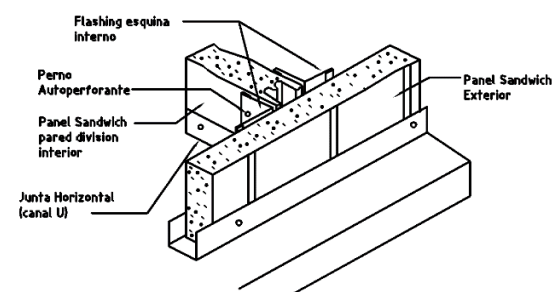


Ilustración 27: Junta horizontal
Fuente: Autor

2.2.3.1.3 Traslape vertical

Los paneles trabajan por un sistema de uniones entre sí y dependen del diseño de la junta para garantizar su aislamiento. A las juntas se las conoce como espiga (macho) y ranura (hembra). Entre la espiga y la ranura se aplica un sellante, el cual debe colocarse cuando la espiga se introduce durante la instalación, haciendo que el montaje sea impermeable al agua y el aire.



	<p>Ilustración 28: Traslape Fuente: Multy Panel Boletín Técnico 1</p>
<p>2.2.3.1.4 Esquina</p> <p>Los remates o encuentros de los paneles en esquinas son generalmente por remaches que se colocan sobre la unión para perderla y garantizar la hermeticidad, pero no existe una normalización técnica sobre estas uniones. Por ello, la industria ha solucionado todos los remates con este tipo de flashings de 90°.</p>	 <p>Ilustración 29: Esquina Fuente: Autor</p>
<p>2.2.3.1.5 Divisiones interiores</p> <p>Las paredes interiores van sobre el canal U, en el piso. Verticalmente se colocan flashings en forma de ángulo de 90° a cada lado. Esto sirve de soporte y para tapar la junta.</p>	 <p>Ilustración 30: Divisiones interiores Fuente: Autor</p>

2.2.3.1.6 Cortes para colocar ventanas, puertas, etc.

Para la colocación de ventanas, puertas, entre otros, se recurre al uso de flashings tipo canal U. Estos se ubican como marco para tapar el núcleo y darle una superficie donde la ventana se pueda sujetar.

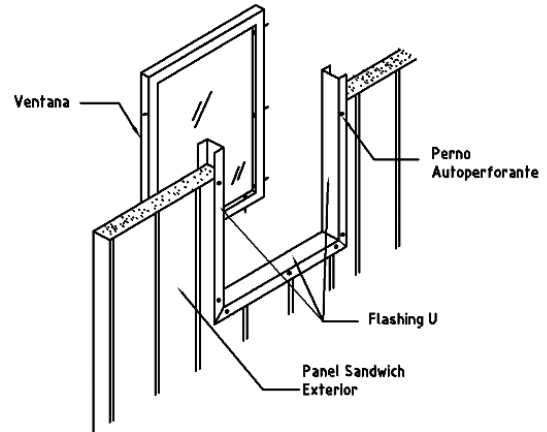


Ilustración 31: Corte para ventanas y puertas
Fuente: Elaboración propia

2.2.3.1.7 Instalación de equipos (lavamanos)

Para sujetar los equipos se perfora el panel traspasando las tres capas, y empernando de manera que quede soportado por todo el ancho del panel.

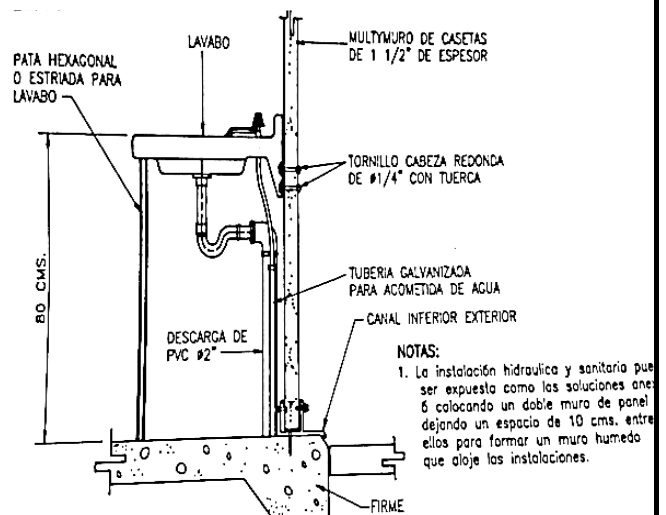


Ilustración 32: Instalación de equipos
Fuente: Multy Panel Boletín Técnico 1

2.2.3.1.8 Instalación de tuberías (ducha)

Las tuberías van vistas generalmente al exterior. Se perfora el panel por donde se necesita introducir la tubería y finalmente se procede a sellar con sellante elástico.

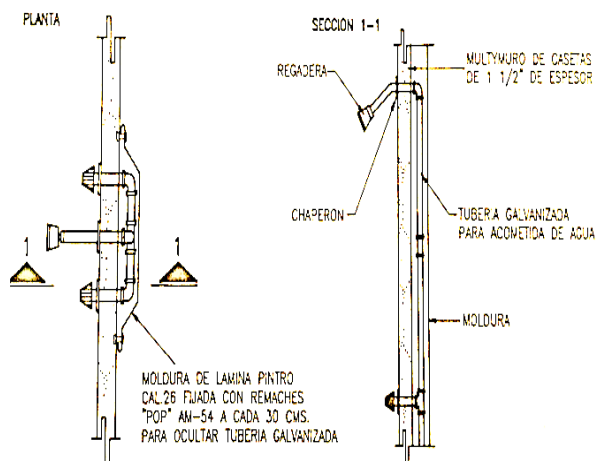


Ilustración 33: Instalación de tuberías
Fuente: Multy Panel Boletín Técnico 1

2.2.3.1.9 Instalación de izamiento

Para su instalación, los paneles deben estar apoyados siempre en los extremos y en el centro como mínimo. Igualmente, se recomienda que los paneles descansen sobre tres puntos de apoyo como mínimo. La distancia entre los apoyos está en función del espesor del panel, la carga normal de la cubierta y las sobrecargas previstas por la influencia de los fenómenos atmosféricos (vientos, nieve).

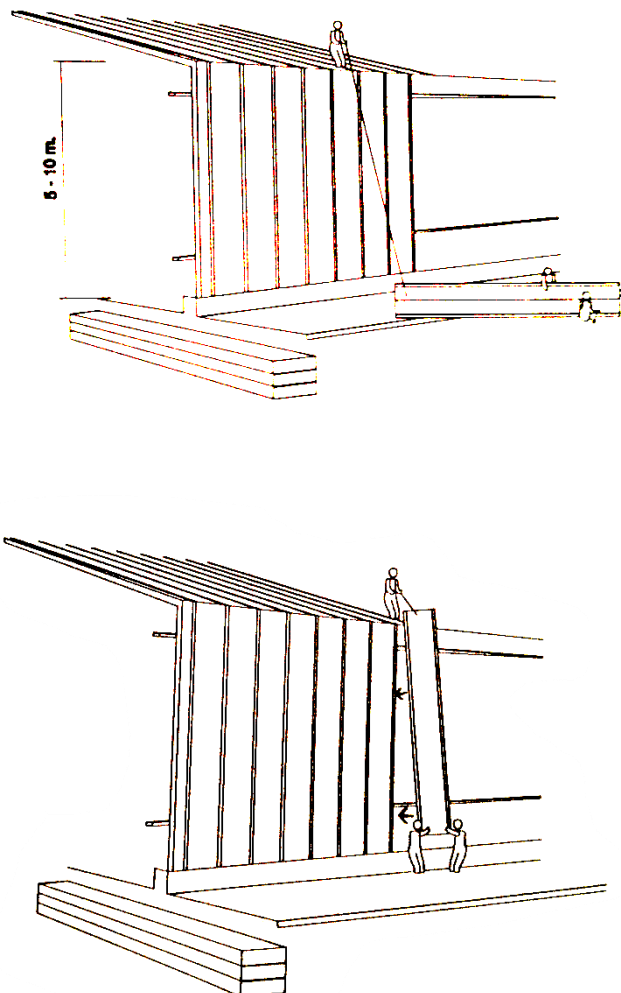


Ilustración 34: Instalación de izamiento
Fuente: MeTecno Istruzioni di Montaggio

--	--

Tabla 3: Tabla con detalles constructivos generales
Fuente: Autor

2.2.4 PANELES TIPO SÁNDWICH COMERCIALIZADOS EN ECUADOR

Se ha investigado sobre las empresas que tienen a la venta este producto en Ecuador. Hemos conseguido información de MM Refrigeración, Cora Refrigeración, Dipac y Kubiec.

2.2.4.1 MM Refrigeración

Es una empresa que inicia con la instalación de cámaras frigoríficas (1986). Diez años después incursiona en la fabricación de paneles con aislante de poliuretano.

Tipo de paneles

Paneles tipo sándwich tanto para cubierta como para paredes, con espesores de 50, 75, 100 y 125 mm. Como aislante térmico tienen el poliuretano. Los paneles pueden tener el acabado de pintura base poliéster, o lamina de acero galvanizado.

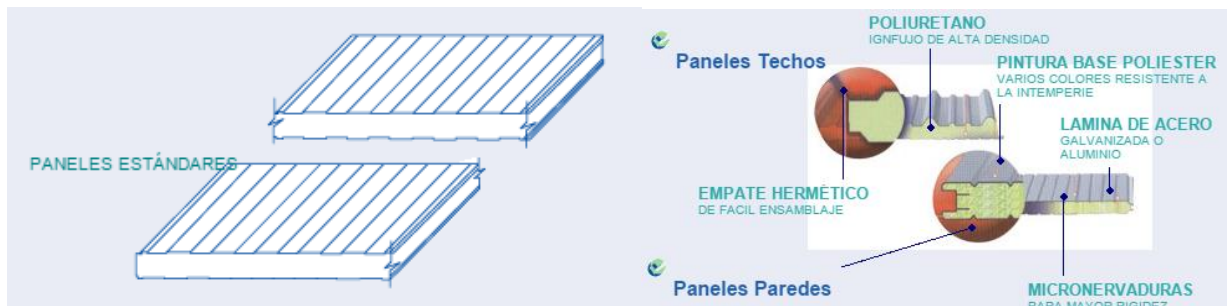


Ilustración 35: Paneles tipo sándwich MM Refrigeración
Fuente: MM Refrigeración

Tipo de junta

Junta regular tipo macho-hembra, en el cual el perno iría visto.

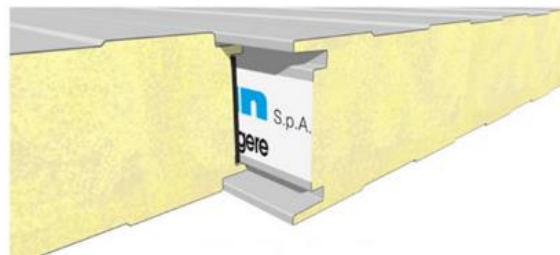


Ilustración 36: Junta macho-hembra (perno visto)
Fuente: www.btpaneles.com

Accesorios brindados

Los accesorios de los cuales dispone la empresa son canal U, esquinero interior y remate cerrado.

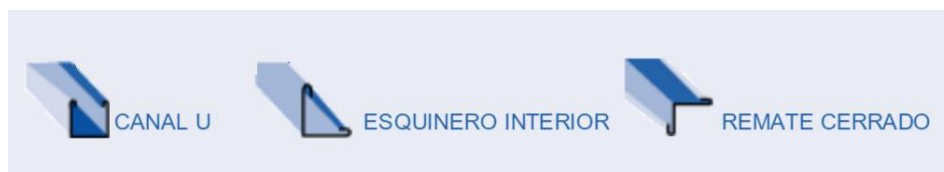


Ilustración 37: Accesorios
Fuente: MM Refrigeración

2.2.4.2 Cora Refrigeración

Es una empresa con experiencia en la refrigeración. Cora Refrigeración importa sus productos de Alemania y Chile.

Tipo de paneles

Son paneles metálicos prepintados con poliestireno y poliuretano. Las caras de acero son de 0,5 mm. Los espesores del panel poliuretano son de 50, 75, 100, 120, 150, 200 y 250; mientras que los del panel de poliestireno son de 50, 80, 100, 120 y 150.

Isopol

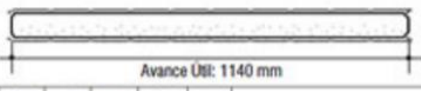
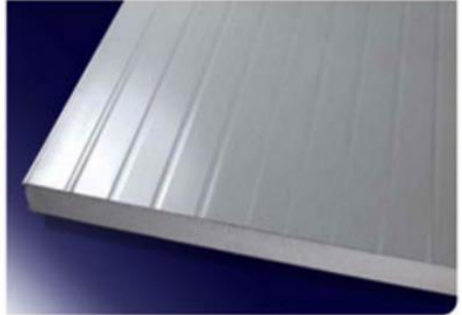
Dibujo Técnico	Variable 	
Esesores (mm)	50 75 100 120 150 200 250	
Peso (kg/m ²)	9,0 9,5 10,0 10,4 11,0 12,0 13,0	
Ancho útil	1140 mm	
Largos continuos	De 2,5 m a 14 m, según espesor del panel.	
Densidad poliestireno	20 Kg/m ³ .	
Terminación	Prepintado. Amplia gama de colores.	
Usos	Refrigeración, procesadoras de alimentos, campamentos mineros, establecimientos educacionales, oficinas, universidades, hospitales.	

Ilustración 38: Panel de poliuretano de Cora Refrigeración
Fuente: Cora Refrigeración

Isopur

Dibujo Técnico	Variable 	
Esesores (mm)	50 80 100 120 150	
Peso (kg/m ²)	10 11,2 12,0 12,8 14,0	
Ancho útil	1150 mm	
Largos continuos	De 2,5 m a 14 m, según espesor del panel.	
Densidad poliuretano	40 Kg/m ³ .	
Terminación	Prepintado. Amplia gama de colores.	
Usos	Refrigeración, procesadoras de alimentos, campamentos mineros, establecimientos educacionales, oficinas, universidades, hospitales.	

Ilustración 39: Panel de poliestireno de Cora Refrigeración
Fuente: Cora Refrigeración

Tipo de junta

Junta regular tipo macho-hembra, en el cual el perno iría visto.

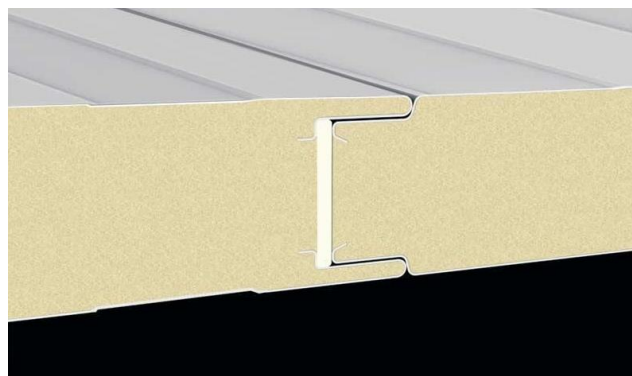


Ilustración 40: Junta macho-hembra (perno visto)
Fuente: www.panelsandwich.com

Accesorios brindados

Esta empresa no ofrece accesorios de montaje. Utiliza las diferentes empresas de acero para la fabricación de los accesorios, puesto que generalmente es la misma empresa quien realiza el montaje.

2.2.4.3 Dipac

Dipac es una empresa ecuatoriano-chilena que vende productos de acero y accesorios para los mismos. Entre sus productos de acero, en la sección Techos, podemos encontrar paneles tipo sándwich pero solo para cubiertas.

Tipo de paneles

Dentro de los paneles ofertados encontramos paneles tipo sándwich prepintados y de galvalume, ambos con aislamiento de poliuretano y ancho útil de 1.100 mm. Al ofertar paneles únicamente de cubierta tiene dos tipos:

- Techo metálico tradicional
- Techo metálico tipo teja

Los espesores ofrecidos son de 10 mm y 40 mm, en una variedad de colores.

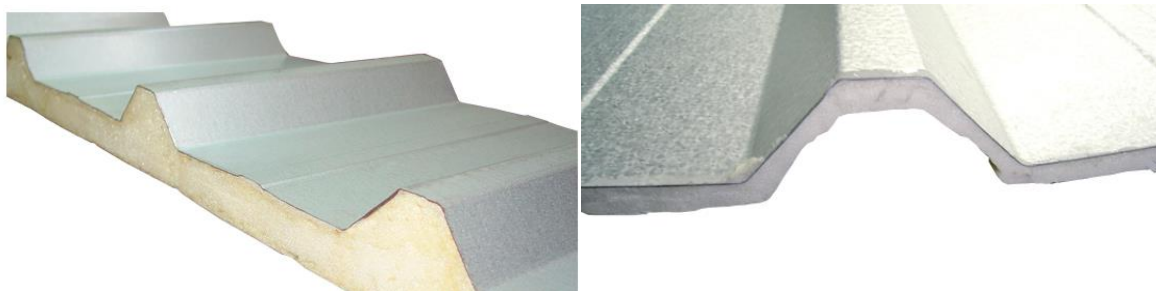


Ilustración 41: Panel de techo galvalume de poliuretano
Fuente: Dipac S. A.

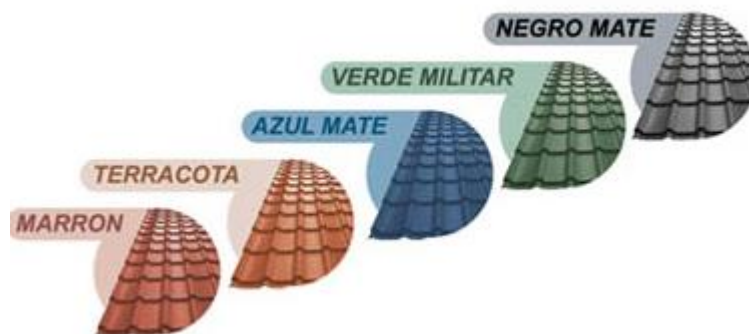


Ilustración 42: Panel prepintado tipo teja de poliuretano
Fuente: <http://www.dipacmanta.com/>

Tipo de junta

Las juntas, al ser de paneles de cubierta, son sobrepuestas de perno visto.



Ilustración 43: Junta montada en panel metálico
Fuente: www.panel-sandwich.es

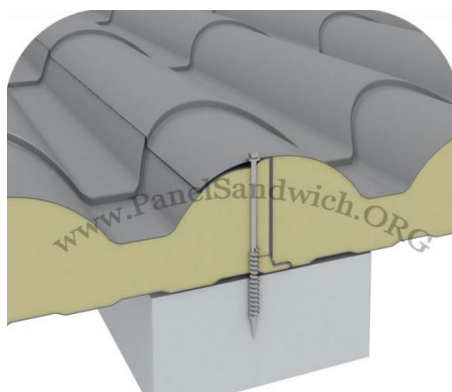


Ilustración 44: Junta montada en panel tipo teja
Fuente: www.panelsandwich.org

Accesorios brindados

Al bridar paneles para cubiertas, en el *stock* se pueden conseguir frisos, canales de agua, pernos auto perforantes y caballetes, con la opción de solicitar otros bajo pedido. Entre los más frecuentes están los flashings tipo L, abiertos y cerrados.



Ilustración 45: Caballetes
Fuente: Dipac

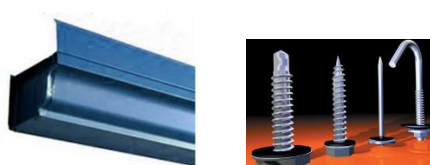


Ilustración 46: Canal de lluvias y pernos
Fuente: Dipac

2.2.4.4 Kubiec-Conduit

Es una empresa ecuatoriana dedicada a la industria del acero, con una gran gama de productos en la sección de cubiertas y paredes metálicas. Posee paneles tipo sándwich tanto para cubiertas como para paredes.

Tipo de paneles

Los paneles tipo sándwich ofertados para paredes están conformados por chapas de acero galvanume y/o prepintado con aislamiento central de poliestireno expandido EPS, con espesores de 35, 50, 75, 100, y 150 (otros espesores bajo pedido). El ancho útil de este panel es 1.200 mm.

AISLAMIENTO	
MATERIAL	Poliestireno expandido EPS
ESPEORES	35, 50, 75, 100, 150 mm
DENSIDAD	16-20 kg/m ³



Ilustración 47: Panel tipo sándwich (EPS)
Fuente: Kubiec-Conduit

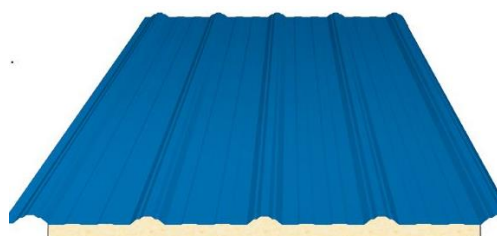
Los paneles ofertados para cubiertas son de acero galvanume y/o prepintado con aislamiento central en poliestireno expandido EPS y poliuretano. Los espesores del panel de poliestireno pueden ser de 35, 50, 75, 100 y 150; mientras los de poliuretano únicamente pueden ser de 25 mm de espesor.



AISLAMIENTO	
MATERIAL	Poliestireno expandido EPS
ESPEORES	35, 50, 75, 100, 150 mm
DENSIDAD	16-20 kg/m ³



Ilustración 48: Panel tipo sándwich de poliestireno para cubierta
Fuente: Kubiec-Conduit



AISLAMIENTO	
MATERIAL	Poliuretano PU
ESPEORES	25 mm
DENSIDAD	38 kg/m ³

Ilustración 49: Panel tipo sándwich de poliuretano para cubierta
Fuente: Kubiec-Conduit

Además de los señalados, poseen panel tipo sándwich para cubierta tipo teja, el mismo que posee 25 mm de espesor y 800 mm de ancho útil, con aislamiento de poliuretano.

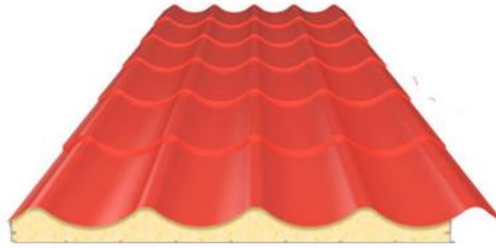


Ilustración 50: Panel tipo sándwich tipo teja de poliuretano para cubierta
Fuente: Kubic-Conduit

Tipo de junta

Para los de paredes, la junta es macho-hembra, mientras que para los de cubiertas es junta montada. Ambos van con pernos vistos.

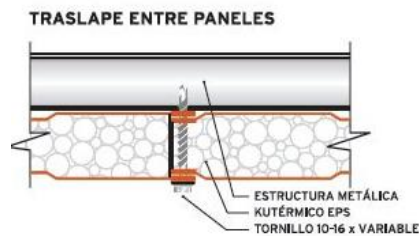


Ilustración 51: Junta macho-hembra de panel de pared
Fuente: Kubic-Conduit

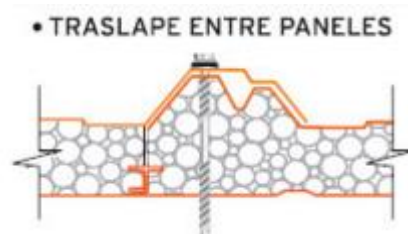


Ilustración 52: Junta sobrepuesta para panel de cubierta
Fuente: Kubic-Conduit

Detalle de Instalación

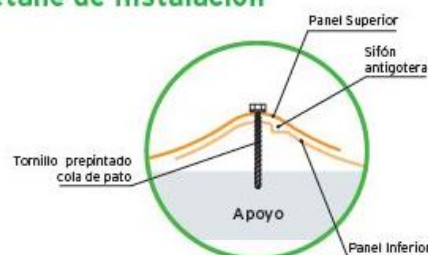


Ilustración 53: Junta sobrepuesta para panel de cubierta tipo teja
Fuente: Kubic-Conduit

Accesorios brindados

Para la sección de paredes, brindan flashings tipo L, abiertos y cerrados. También canales tipo U y pernos autoperforantes. Otros tipos de accesorios los hacen bajo pedido.

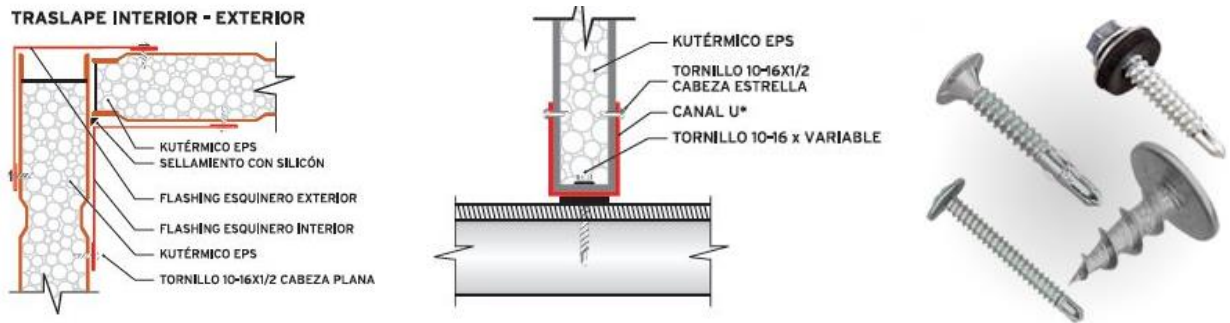


Ilustración 54: Soluciones y accesorios brindados por Kubiec.
Fuente: Kubiec-Conduit

Para las cubiertas hay mayor variedad de accesorios. Entre los más destacados: limahoyas, cumbreros, tapas, remates laterales y pernos auto perforantes.

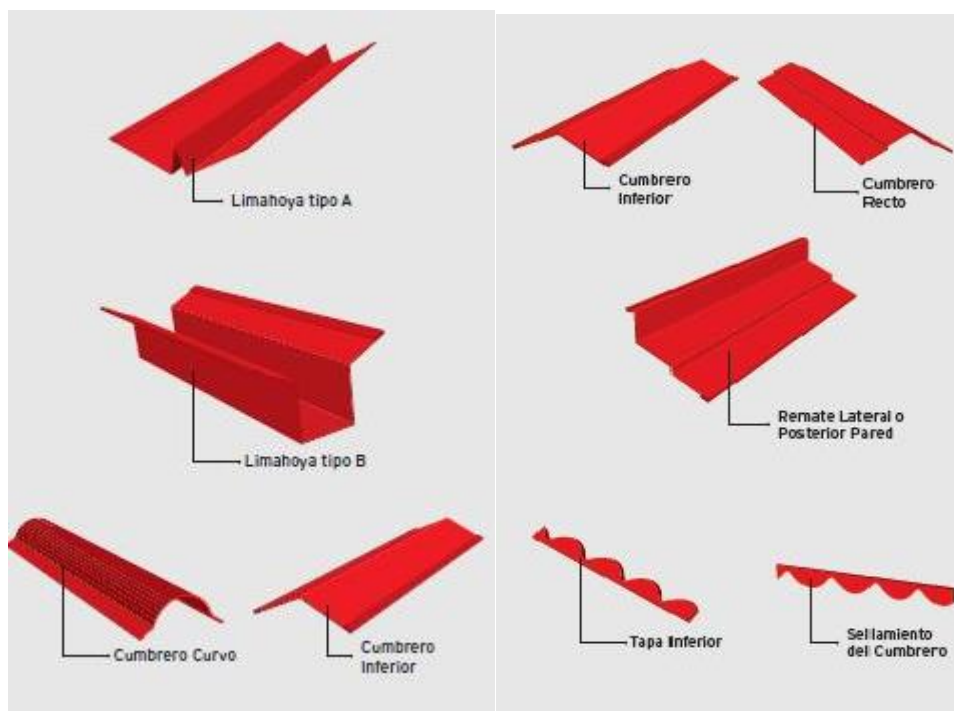


Ilustración 55: Accesorios brindados por Kubiec
Fuente: Kubiec-Conduit

2.2.4.5 Cuadro comparativo de paneles comercializados en Ecuador

A continuación se realiza un cuadro comparativo de paneles tipo sándwich de pared con el objetivo de contrastar la composición, el ancho útil, los espesores, los acabados superficiales, el tipo de traslape y el precio. En el mismo, además de constar los paneles ecuatorianos comercializados, se incluirá una empresa colombiana (con entrega en Quito-Ecuador) a manera de comparación.

Paneles comercializados	Composición	Ancho útil (mm)	Acabado y protección supercal	Espesore (mm)	Traslape	Usos	Costo m2 Área:1500 m2 e panel: 50 mm
MM Refrgeración	Lamina de acero 0,45mm +PU+ lámina de acero de 0,45 Poliuretano de Alta densidad	1000	Galvanizado y/o prepintado	50, 75, 100 y 125	Macho - hembra (perno visto)	Cámaras refrigeración, construcción industrial	35,5
Cora Refrigeración	Lamina de acero de 0,50 mm +EPS + lámina de acero de 0,50 Poliestireno expandido	1140	Galvanizado y/o prepintado	50, 80, 100, 120 y 150.	Macho - hembra (perno visto)	Cámaras refrigeración, construcción industrial	38,12
Kubiec- Conduit	Lamina de acero de 0,45 mm + PU + lámina de acero de 0.45 poliestireno expandido	1200	Galvanizado y/o prepintado	35, 50, 75, 100, y 150	Macho - hembra (perno visto)	Cámaras refrigeración, construcción industrial	30
Metecno	Lamina de acero de 0,45 mm + PU + lámina de acero de 0.45 poliestireno expandido	1000	Galvanizado y/o prepintado	30, 40, 50, 60	Macho - hembra (perno visto)	Cámaras refrigeración, construcción industrial	34,7

Tabla 4: Cuadro comparativo de paneles comercializados en Ecuador
Fuente: Autor

Como se puede observar en el cuadro, los paneles tienen un ancho promedio de un metro, y los espesores comercializados van desde 50 mm hasta 150 mm. La composición de los paneles es de poliuretano o en su defecto de poliestireno expandido.

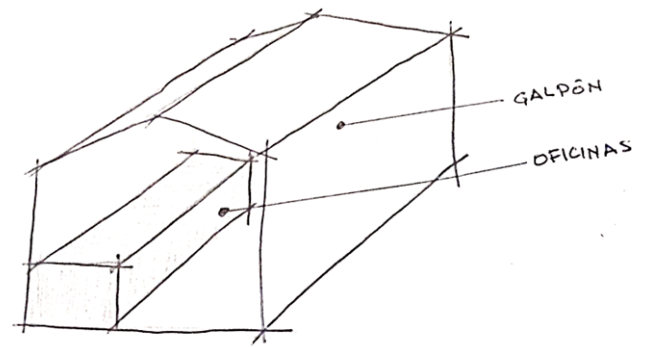
En lo que respecta a costos, Cora es el más costoso, a \$38,12 por metro cuadrado, mientras que el más económico es Kubiec, a \$30 el metro cuadrado.

El ancho útil de un panel se lo puede promediar en 1.000 mm y el tipo de traslape (junta) utilizado es el de macho-hembra con perno visto.

2.2.5 REFERENTES CONSTRUCTIVOS BAJO EL SISTEMA DE PANELES TIPO SÁNDWICH EN ECUADOR

2.2.5.1 Oficina Kubiec Norte (Quito)

La oficina está conformada por paneles tipo sándwich de poliestireno de 100 mm de ancho. El largo fue diseñado conforme los requerimientos de cada área. Las oficinas se encuentran dentro de un galpón de estructura metálica.



Los paneles están colocados sobre acero plegado de 0,45 mm, tipo U, prepintado de blanco, de 1.000 mm. Los canales están anclados al piso de hormigón (perteneciente a la bodega).

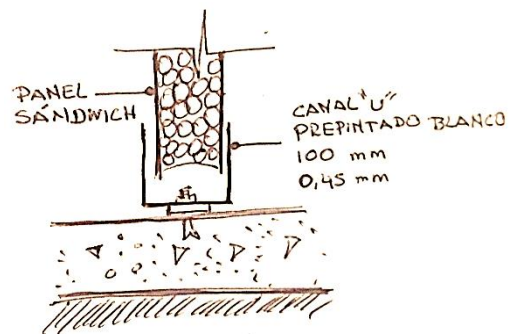


Ilustración 57: Paneles horizontales, canal U
Fuente: Propia

Los paneles son colocados de manera horizontal (generalmente son ubicados verticalmente). El ancho del panel de manera horizontal es de 1.200 mm. El mismo establece la altura de todas las ventanas. Los cortes de las ventanas y las puertas están resueltos a través de canales tipo U, los cuales van colocados en ambos sentidos con el objetivo de darles continuidad a las paredes. Los remates esquineros son resueltos con flashings tipo L, tanto al interior como al exterior.

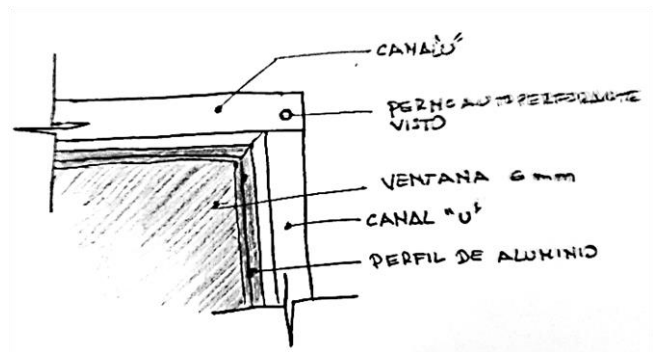


Ilustración 58: Ventanas en sistema de paneles tipo sándwich
Fuente: Propia

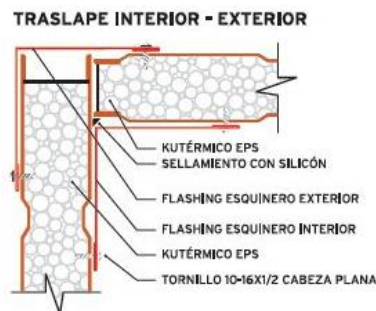


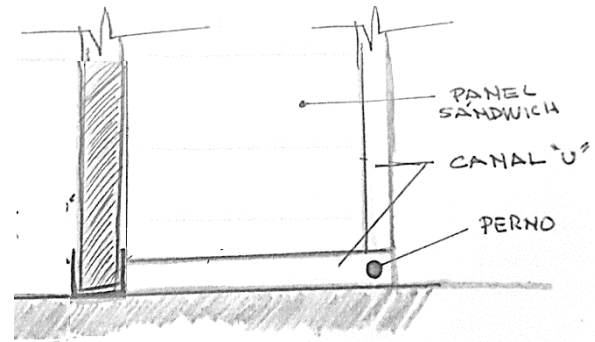
Ilustración 59: Flashing tipo L, para esquina interior y exterior
Fuente: Kubiec-Conduit

Las oficinas no poseen una estructura rígida (columnas), pero uno de los lados está arrimado a la estructura principal.



Ilustración 60: Vista externa de las oficinas
Fuente: Propia

Interiormente, las oficinas están divididas por paneles tipo sándwich, bajo el mismo sistema. Como se puede observar, las divisiones a media altura son resueltas con canales U.



Interior de oficinas / Detalle divisiones de panel tipo sándwich
Fuente: Propia

La tubería de las instalaciones tanto eléctricas como sanitarias va sobre los paneles.



Ilustración 62: Tuberías expuestas
Fuente: Propia

2.2.5.2 Oficina móvil de la escuela de fútbol Life Futbol Sport



Ilustración 63: Oficina Life Futbol Sport
Fuente: Propia

Es una oficina formada con paneles tipo sándwich de 80 mm de espesor. A diferencia del anterior referente, estas oficinas poseen estructura fija, como columnas y vigas, las cuales están elaboradas con tubo cuadrado de 100 x 100 mm y un espesor de 3 mm. Adherido a la estructura (mediante cordones de suelda), hay un canal de acero negro de 80 x 50 mm y 2 mm de espesor. Todos los canales están cortados en un ángulo de 45° y pintados de blanco en conjunto con la estructura. Al tener la característica de oficina móvil, todas las paredes se asientan en tubos de 100 x 100 mm, que hacen la función de correas. El piso está conformado en su primera capa por un tablero contrachapado marino y, en la segunda capa, se instala el vinil como acabado final.



Ilustración 64: Colocación de estructura
Fuente: Life Futbol Sport

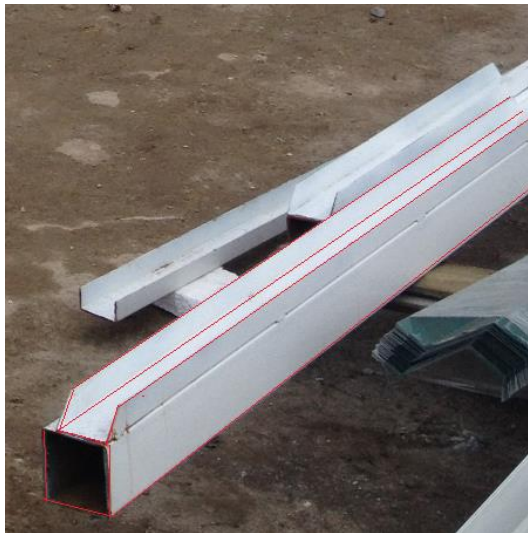


Ilustración 65: Canales soldados a estructura base
Fuente: Life Futbol Sport

Los paneles son colocados verticalmente. Las ventanas son del ancho del panel: 1.100 mm. Los bordes de las ventanas son solucionados a través de canales U (del mismo tipo que está soldado a la estructura principal), los cuales, una vez colocados, son soldados.

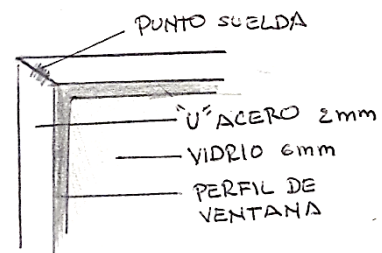


Ilustración 66: Ventanas cortadas y soldadas a 45°
Fuente: Life Futbol Sport / Propia

Las divisiones interiores están sobre canales U de 2 mm, tanto en el piso como en el techo. Las mismas se colocan una vez que ya ha sido colocado el vinil.

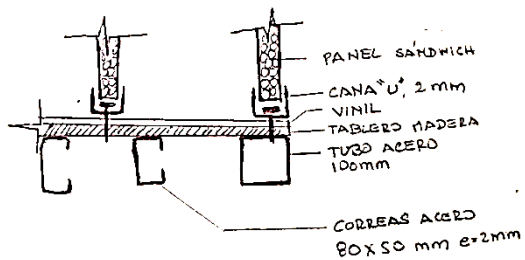


Ilustración 67: Acabado interior
Fuente: Life Futbol Sport / Propia

Las instalaciones eléctricas están en canaletas blancas colocadas sobre el panel.



Ilustración 68: Instalaciones eléctricas en canaletas sobre el panel
Fuente: Propia

Para finalizar se procedió a izar y trasladar las oficinas a su ubicación final.



Ilustración 69: Izado y traslado de las oficinas
Fuente: Life Futbol Sport

2.2.5.3 Conclusiones

- En Ecuador, los sistemas constructivos mediante paneles tipo sándwich recurren a canales tipo U y flashings tipo L, tanto para interiores como para exteriores.
- En el diseño arquitectónico se intenta que las ventanas posean el ancho del panel para no tener que recurrir a cortes o desbastes en los paneles.
- Una construcción mediante el sistema de paneles tipo sándwich necesita por lo general de tres a cuatro personas para su izado y montaje.
- Los paneles pueden ser utilizados vertical u horizontalmente.
- Es un sistema constructivo utilizado generalmente en la gama industrial, bodegas y campamentos, por lo que se constató que su uso en edificaciones residenciales u oficinas aún es escasa en Ecuador.
- El sistema de paneles tipo sándwich en Ecuador evita traslapes verticales, por lo que su longitud o desarrollo es determinada por los encuentros con puertas, ventanas y/o esquinas.
- Las instalaciones eléctricas y sanitarias quedan expuestas a la vista.
- Al ser un sistema liviano, es ideal para edificaciones móviles. Es un sistema en el cual, de existir detalles particulares en el diseño arquitectónico, estos deben ser resueltos por el arquitecto diseñador o constructor.

CAPÍTULO III

3.1 PROPIEDADES TÉRMICAS DE ALGUNOS MATERIALES

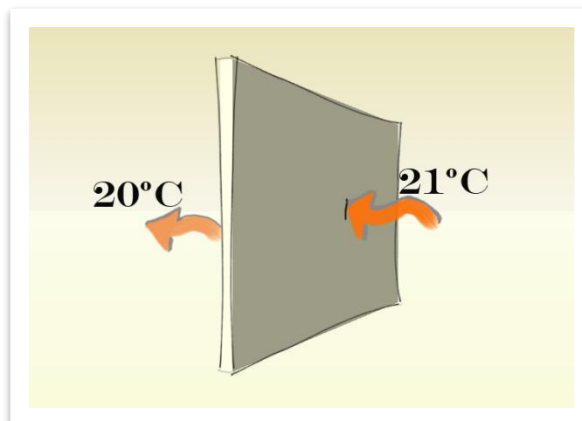


Ilustración 70: Esquema de actuación de los materiales con propiedades térmicas
Fuente: Autor

Los aislantes térmicos son materiales, utilizados en la construcción, que se caracterizan por su resistencia a una temperatura determinada. Establecen una barrera al paso del calor entre dos medios, lo que impide que el calor traspase.

La característica más importante de todo aislamiento térmico es su coeficiente de conductividad, parámetro que indica el calor cedido en una pared.

La conductividad térmica es la capacidad de un material para transferir calor, fenómeno por el cual este se transporta de regiones de alta temperatura a regiones de baja temperatura dentro de un mismo material o entre diferentes cuerpos.

Para determinar el valor del coeficiente de conductividad de los materiales se realizan varios cálculos que se pueden consultar en bibliografía especializada en aislamientos térmicos; pero es importante saber que esto depende de varios factores, tales como la temperatura, la densidad, la humedad y el deterioro o envejecimiento del material.

Se considera que son aislantes térmicos específicos aquellos que tienen una conductividad térmica (λ), $\lambda < 0,08 \text{ W/m}\cdot\text{°C}$.

3.1.1 CUADRO DE MATERIALES DE USO FRECUENTE Y AISLANTES TÉRMICOS

A continuación se exponen algunos de los materiales más utilizados como aislantes térmicos. Están organizados de mayor a menor coeficiente de conductividad térmica, considerando que el último será el que mejor propiedades térmicas presenta.

Material	Densidad kg/m ³	Coeficiente de conductividad térmica W/(m-k)
Acero	7.850	47-58
Bloque masivo de hormigón	1.800	2,36
Ladrillo	1.800	0,8
Adobe	1.500 -1.700	0,54
Cerámica porosa		0,18
Bloques ligeros de hormigón	1.400	0,14
Madera	840	0,13
Espuma celulósica	70	0,056-0,065
Espuma de polietileno	15-140	0,036-0,046
Poliestireno expandido	12-30	0,034-0,045
Lana de roca	30-160	0,034-0,041
Espuma elastomérica	60-80	0,035
Lana de vidrio	35	0,032
Espuma poliuretano	10-50	0,023

Tabla 5: Cuadro de materiales de uso frecuente y aislantes térmicos
Elaboración propia

Fuente: http://www.fisicanet.com.ar/fisica/termodinamica/tb03_conductividad.php y
http://es.wikipedia.org/wiki/Coeficiente_de_conductividad_térmica

Los aislantes con mejor coeficiente de conductividad térmica son los derivados del petróleo, excepto por la lana de roca. La espuma de poliuretano posee el menor coeficiente de conductividad térmica con 0,023 W/(m-k).

Como podemos observar, el acero posee el mayor coeficiente de conductividad térmica, en relación con los demás materiales más usados en la construcción. También encontramos el ladrillo con un coeficiente de conductividad térmica de 0,8, es decir, 34 veces mayor que la espuma de poliuretano.

De igual manera, otro de los materiales más utilizados en la construcción es el bloque ligero de hormigón, el cual es seis veces mayor en cuanto a espesor que la espuma de poliuretano.

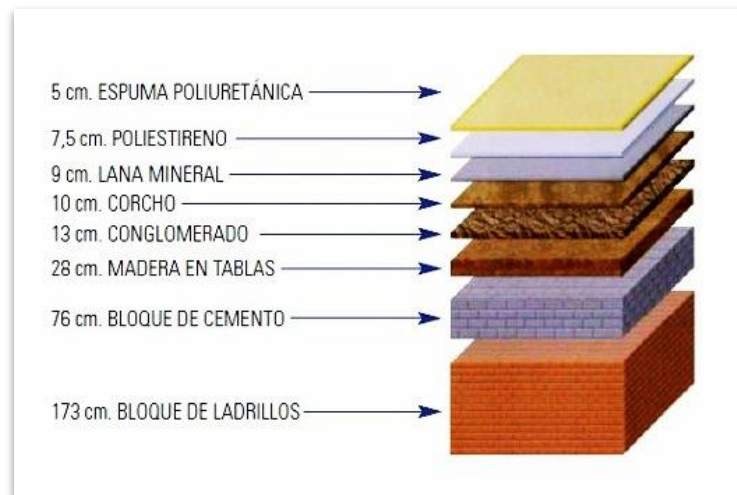


Ilustración 2: Propiedades de aislamiento térmico de los materiales de construcción. Influencia de la conductividad térmica sobre el espesor de capas de distintos materiales de construcción / elementos constructivos.

Fuente: www.aislamintos.com

3.1.2 CUADRO DE AISLANTES TÉRMICOS ECOLÓGICOS

A partir de los objetivos de esta tesis se han buscado materiales aislantes alternativos a los derivados del petróleo. Al igual que en el cuadro anterior, los materiales están dispuestos de mayor a menor coeficiente de conductividad térmica, lo que significa que el de menor número tendría mejores propiedades térmicas.

Material	Densidad kg/m ³	Coefficiente de conductividad térmica W/(m-k)
Paja	80-600	0,045-0,13
Lana de madera	350-600	0,09-0,1
Arlita	300-800	0,080
Cáñamo de raspaduras	150	0,04-0,08
Cañas en raspaduras	190-220	0,045-0,065
Cáscaras de trigo/escanda	90	0,060
Fibra de madera soplada	30-60	0,04-0,06
Pellas de cereales	105-115	0,050
Cocos	70-110	0,045-0,05
Fibra de Nilo	25-30	0,047
Virutas de madera	70	0,045
Algas	70-80	0,045
Algodón	25-40	0,040
Hierba	25-65	0,040
Manta de lana de oveja	13,5	0,040
Celulosa/papel molido	30-60	0,039
Corcho	110	0,039
Plumas de ave	-	0,038
Cascarilla de arroz	650	0,036

Tabla 6: Cuadro de aislantes térmicos ecológicos

Elaboración propia

Fuente:

http://www.fisicanet.com.ar/fisica/termodinamica/tb03_conductividad.php
http://es.wikipedia.org/wiki/Coefficiente_de_conductividad_térmica

La cascarilla de arroz es el material que posee un menor coeficiente de conductividad térmica con 0,036 W/(m-K), coeficiente que no iguala al del poliuretano. Las plumas de ave y el corcho tienen buenas propiedades térmicas, es decir que en 1927 Walter Gropius acertó con el uso de corcho prensado, probado en la Weissenhof.

En lo que respecta a la densidad del material, entre las más altas tenemos a las de la cascarilla de arroz (650 kg/m³) y la paja (600 kg/m³), superadas únicamente por la arlita (300-800 kg/m³).

Entre los de menor densidad encontramos el algodón, la manta de lana de oveja y la fibra de hilo, que, si bien ayudaría en la propuesta del panel por su peso, se cree que su coeficiente de conductividad no alcanzaría para competir con el poliuretano.

3.2 PROPIEDADES ACÚSTICAS DE LOS MATERIALES

Los materiales constructivos poseen propiedades absorbentes variables. A los que poseen una elevada absorción sonora se los conoce como acústicos. A continuación se muestran los valores de algunos materiales típicos de construcción, objetos y personas. Estos se proporcionan para varias frecuencias con el fin de observar su diferenciación.

Material	Coeficiente de absorción α a la frecuencia					
	125	250	500	1.000	2.000	4.000
Hormigón sin pintar	0,01	0,01	0,02	0,02	0,02	0,04
Hormigón pintado	0,01	0,01	0,01	0,02	0,02	0,02
Ladrillo visto sin pintar	0,02	0,02	0,03	0,04	0,05	0,05
Ladrillo visto pintado	0,01	0,01	0,02	0,02	0,02	0,02
Revoque de cal y arena	0,04	0,05	0,06	0,08	0,04	0,06
Placa de yeso (Durlack) 12 mm a 10 cm	0,29	0,10	0,05	0,04	0,07	0,09
Yeso sobre metal desplegado	0,04	0,04	0,04	0,06	0,06	0,03
Mármol o azulejo	0,01	0,01	0,01	0,01	0,02	0,02
Madera en paneles (a 5 cm de la pared)	0,30	0,25	0,20	0,17	0,15	0,10
Madera aglomerada en panel	0,47	0,52	0,50	0,55	0,58	0,63
Parquet	0,04	0,04	0,07	0,06	0,06	0,07
Parquet sobre asfalto	0,05	0,03	0,06	0,09	0,10	0,22
Parquet sobre listones	0,20	0,15	0,12	0,10	0,10	0,07
Alfombra de goma 0,5 cm	0,04	0,04	0,08	0,12	0,03	0,10
Alfombra de lana 1,2 kg/m ²	0,10	0,16	0,11	0,30	0,50	0,47
Alfombra de lana 2,3 kg/m ²	0,17	0,18	0,21	0,50	0,63	0,83
Cortina 338 g/m ²	0,03	0,04	0,11	0,17	0,24	0,35
Cortina 475 g/m ² fruncida al 50%	0,07	0,31	0,49	0,75	0,70	0,60
Espuma de poliuretano (Fonac) 35 mm	0,11	0,14	0,36	0,82	0,90	0,97
Espuma de poliuretano (Fonac) 50 mm	0,15	0,25	0,50	0,94	0,92	0,99
Espuma de poliuretano (Fonac) 75 mm	0,17	0,44	0,99	1,03	1,00	1,03
Espuma de poliuretano (Sonex) 35 mm	0,06	0,20	0,45	0,71	0,95	0,89
Espuma de poliuretano (Sonex) 50 mm	0,07	0,32	0,72	0,88	0,97	1,01
Espuma de poliuretano (Sonex) 75 mm	0,13	0,53	0,90	1,07	1,07	1,00
Lana de vidrio (fieltro 14 kg/m ³) 25 mm	0,15	0,25	0,40	0,50	0,65	0,70
Lana de vidrio (fieltro 14 kg/m ³) 50 mm	0,25	0,45	0,70	0,80	0,85	0,85
Lana de vidrio (panel 35 kg/m ³) 25 mm	0,20	0,40	0,80	0,90	1,00	1,00
Lana de vidrio (panel 35 kg/m ³) 50 mm	0,30	0,75	1,00	1,00	1,00	1,00
Ventana abierta	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00
Vidrio	0,03	0,02	0,02	0,01	0,07	0,04
Panel cielorraso Spanacustic (Manville) 19 mm	–	0,80	0,71	0,86	0,68	–
Panel cielorraso Acustidom (Manville) 4 mm	–	0,72	0,61	0,68	0,79	–
Panel cielorraso Prismatic (Manville) 4 mm	–	0,70	0,61	0,70	0,78	–
Panel cielorraso Profil (Manville) 4 mm	–	0,72	0,62	0,69	0,78	–
Panel cielorraso fisurado Auratone (USG) 5/8"	0,34	0,36	0,71	0,85	0,68	0,64
Panel cielorraso fisurado Cortega (AWI) 5/8"	0,31	0,32	0,51	0,72	0,74	0,77
Asiento de madera (0,8 m ² /asiento)	0,01	0,02	0,03	0,04	0,06	0,08
Asiento tapizado grueso (0,8 m ² /asiento)	0,44	0,44	0,44	0,44	0,44	0,44
Personas en asiento de madera (0,8 m ² /persona)	0,34	0,39	0,44	0,54	0,56	0,56
Personas en asiento tapizado (0,8 m ² /persona)	0,53	0,51	0,51	0,56	0,56	0,59
Personas de pie (0,8 m ² /persona)	0,25	0,44	0,59	0,56	0,62	0,50

Ilustración 72: Cuadro de coeficiente de absorción

Fuente: <http://proaudio.com.es/pro-audio-acustica/acustica-documentacion-tecnica-apuntes/acustica-capitulo-4-acustica-arquitectonica>

En el cuadro se puede observar que el vidrio y el mármol o azulejo son los que más bajo coeficiente de absorción poseen. También se puede distinguir que los materiales comúnmente usados en la construcción, como hormigón sin pintar, hormigón pintado y el

ladrillo visto, poseen un coeficiente de absorción bajo en comparación con la lana de vidrio y la lana de roca.

Es importante señalar que los materiales fibrosos, como lana de roca, fibra de vidrio, etc., son adecuados como absorbentes acústicos. Por el contrario, los aislantes de espuma de célula cerrada, como el poliestireno o poliuretano, son muy pobres, contrariamente a lo que mucha gente supone. Por lo tanto, no deberían utilizarse en aplicaciones en las que la absorción o el aislamiento acústico sean críticos.

“La aislación sonora se logra interponiendo una pared o tabique entre la fuente sonora y el receptor. La aislación es tanto mayor cuanto mayor sea la densidad superficial (kg/m^2) del tabique y cuanto mayor sea la frecuencia del sonido. Esta es la razón por la cual las paredes gruesas (y por lo tanto pesadas) ofrecen mayor aislación que las delgadas.

Un análisis indica que es posible obtener una mayor aislación acústica por medio de tabiques dobles o múltiples. En otras palabras, dada una cantidad de material (por ejemplo, 20 cm de espesor de hormigón) podemos sacarle mayor provecho si lo dividimos en dos partes (en este caso dos paredes de 10 cm cada una) y lo separamos con un espacio de aire. Si el espacio de aire se rellena con algún material absorbente (típicamente, lana de vidrio), el resultado es una aislación todavía mayor”¹.

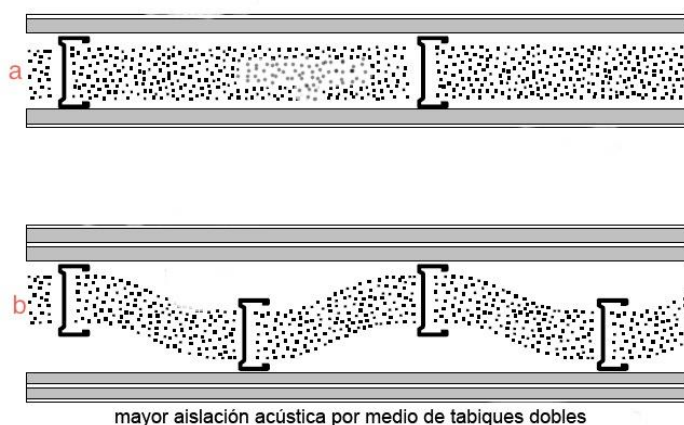


Ilustración 73: Ejemplo de mayor aislamiento acústico por medio de tabiques dobles
Fuente: <http://acústica.net/libros-acustica/acustica-arquitectonica/>

3.3 CONCLUSIONES

- El mejor aislante térmico es la espuma de poliuretano, que posee el menor coeficiente de conductividad térmica con $0,023 \text{ W}/(\text{m}\cdot\text{k})$.
- Entre los materiales orgánicos tenemos que el mejor es la cascarilla de arroz, que posee un coeficiente de conductividad térmica de $0,036 \text{ W}/(\text{m}\cdot\text{K})$.
- Ningún material orgánico estudiado podrá superar a la espuma de poliuretano, pero la cascarilla de arroz presenta una importante capacidad aislante que podría competir con los materiales aislantes derivados del petróleo.

¹ <http://acustica.net/libros-acustica/acustica-arquitectura/>

- En lo que respecta al aislamiento acústico, podemos observar que la lana de vidrio y la lana de roca tienen buenas propiedades acústicas y que la introducción de aire puede lograr buenos coeficientes de absorción.
- Todo material con propiedades acústicas debe ser poroso. Esto quiere decir que debe permitir el paso de aire para que pueda disipar las ondas sonoras en sus choques contra las paredes de las cavidades. Los materiales con celdas interiores de superficie cerrada no pueden ser buenos absorbentes en ningún caso.

CAPÍTULO IV

4.1 ELECCIÓN DE LA CHAPA Y LA CONTRACHAPA

Una vez revisados los diferentes paneles tipo sándwich, se ha llegado a la conclusión de que se pueden conseguir en el mercado y en Ecuador se ha decidido realizarlos de chapa y contrachapa de acero, por los motivos expuestos a continuación:

- Los paneles de acero galvanizado y prepintado son los más económicos y los de mayor comercialización. Al poseer menor peso permiten un montaje más sencillo y un transporte más económico.
- Los paneles tipo sándwich son los de mayor longitud y ancho útil.
- Los paneles elegidos para el estudio no requieren la incorporación de un recubrimiento impermeable-estético final, a diferencia de los de cartón yeso, madera, fibrocemento y PVC.
- Existe en la actualidad industria ecuatoriana que fabrica paneles tipo sándwich. Únicamente los realizan en acero, por lo que, de tener resultados favorables, tendrían mayor posibilidad de producción.
- Los paneles tipo sándwich de acero poseen más accesorios (soluciones constructivas) que otro tipo de paneles.
- El acero permite conseguir mejores traslapes en lo que a paneles tipo sándwich se refiere, puesto que es un material plegable. Esto ayudará a proteger el aislante orgánico de mejor manera.

Para finalizar, es importante señalar que, además de los puntos expuestos, se han escogido los paneles de acero con el objetivo de ser comparables con los paneles de origen petrolero (poliuretano, poliestireno, etc.) comercializados en Ecuador. Además cabe indicar que, una vez determinado el núcleo (habilitador de las propiedades térmicas y acústicas), las chapas y las contrachapas pueden ser modificadas, como se lo realiza en los paneles tipo sándwich mixtos.

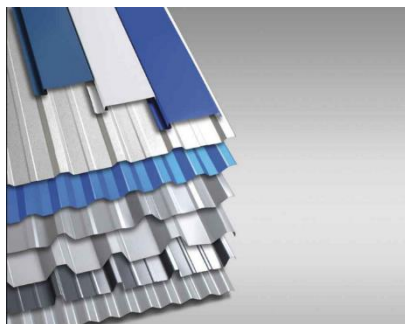


Ilustración 74: Paneles de acero prepintados y galvanizados
Fuente: Cintac

4.2 ELECCIÓN DEL NÚCLEO DE MATERIAL ORGÁNICO

Para el presente trabajo, el material a utilizar como núcleo del panel será derivado de cascarilla de arroz por las siguientes razones:

- La cascarilla de arroz posee un buen coeficiente de conductividad térmica, según lo investigado en este documento.

- La cascarilla de arroz es un subproducto agrícola que no se utiliza.
- La producción de arroz en el país continúa aumentando.
- Es un material fácil y económico de conseguir.
- Es un material orgánico que permitirá disminuir el impacto ambiental.
- Presenta una capacidad aislante competitiva frente a los materiales derivados del petróleo.
- Según una investigación realizada por Marta Parejo Gamboa en 2013, en la Universidad de Sevilla, para la obtención del Máster en Ingeniería Ambiental, titulada: *Desarrollo de materiales absorbentes acústicos a partir de residuos agrícolas*, se comprueba que, comparando las propiedades acústicas de un material conformado por 74% cascarilla de arroz y 26% de resina epoxi, la absorción acústica es mayor en esta ya que el coeficiente de absorción de la probeta presenta mayor número de picos que la de los materiales comerciales, como la espuma de poliuretano. Se detalla que, a mayor porosidad, el coeficiente de absorción de la acústica también se incrementa.



Ilustración 75: Cascarilla de arroz
Fuente: www.grupocasarilla.com

4.3. PRODUCCIÓN DE PANELES TIPO SÁNDWICH DE ACERO

4.3.1 CHAPA DE ACERO LAMINADO

Para la fabricación de acero laminado es necesario explicar cómo se transforma la materia prima en lingotes de acero (Fase I), para que, una vez conformados, estos sean laminados (Fase II) y sometidos a un tratamiento superficial de galvanización (Fase III). Para finalizar pasan por un proceso de pintado (Fase IV).

4.3.1.1 Fase I: Materia prima y fabricación del acero

Para la transformación de la materia prima en lingotes de acero existen dos procesos:

- El primero es en el que el mineral de hierro es expuesto en un horno a altas temperaturas. Así se obtiene hierro, que posteriormente es llevado al convertidor, que es un horno de menor temperatura, del cual se obtiene la acería primaria.
- El segundo consiste en que el mineral de hierro es expuesto a un proceso de reducción directa para la obtención de hierro. Después pasa por un horno eléctrico, del cual se obtiene la acería primaria.

Una vez obtenido el acero primario por cualquiera de los dos procesos, pasa a un sumario de afino en cuchara, en el cual el objetivo es mantener el acero a una temperatura

constante, añadiendo a la vez aditivos para obtener la calidad de acero deseada. Posteriormente se pasa a un estado de colada continua, donde la finalidad es transformar el acero líquido en lingotes o palanquillas de acero. Como resultado salen lingotes preformados, los cuales se van enfriando y se cortan a la medida establecida. Inmediatamente las palanquillas o lingotes son llevados mediante rodillos a una mesa de enfriamiento y evacuación.

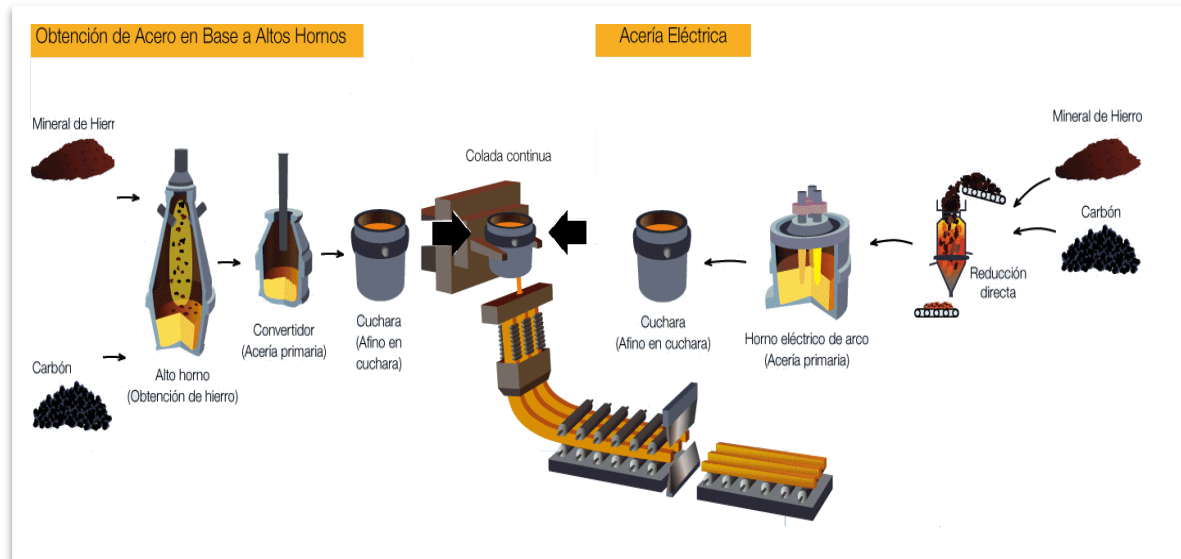


Ilustración 76: Fase I: Fabricación de acero

Fuente: <http://www.alacero.org/PublishingImages/IMAGEN-1g.gif>

4.3.1.2 Fase II: Transformación y laminación

- Los lingotes de acero son fundidos en un horno de foso a una temperatura que permita su deformación, mediante un proceso de estiramiento y desbaste que se produce en una cadena de cilindros a presión llamada tren de laminación. De aquí se obtienen los planchones.
- Los planchones pasan a un horno para su deformación. Así se logran rollos de menor espesor en el Steckel, una máquina para laminar los planchones.
- Al rollo que se obtiene como resultado de este proceso se le conoce como bobina. Existen diversas medidas de ancho de bobinas, al igual que espesores, pero generalmente, para la elaboración de paneles tipo sándwich, son de 900 mm a 1.200 mm de ancho, y de 0,30 a 0,50 mm de espesor.

4.3.1.3 Fase III: Tratamiento superficial

- Las bobinas, para ser utilizadas en la industria de los paneles tipo sándwich, entran a un proceso de galvanización que consiste en depositar una capa de zinc en ambas caras. La función del galvanizado es proteger la superficie del metal sobre el cual se realiza el proceso de la oxidación. Este material ya puede ser utilizado en la elaboración de paneles tipo sándwich y vendido.

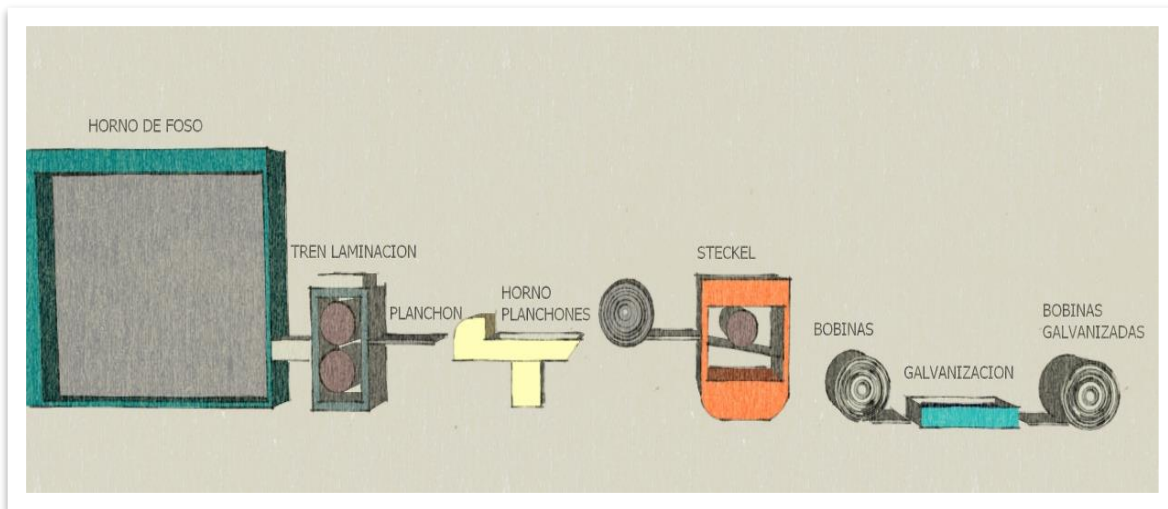


Ilustración 77: Fases II y III: Transformación y laminación

Fuente: Autor

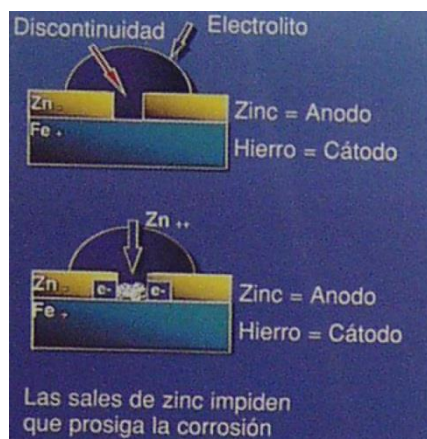


Ilustración 78: Aleación zinc-hierro, para la galvanización

Fuente: Revista Tectónica 09 Acero

4.3.1.4 Fase IV: Pintado y venta

- Las bobinas entran a un proceso de pintado, el cual deja la lámina estructurada con cinco capas por las partes superior e inferior. La pintura de la bobina en la parte superior suele ser con un acabado de poliéster de aproximadamente 20 micras, mientras que la de la cara inferior suele ser pintura adquirida de 8 micras.
- Una vez prepintadas, las bobinas son enrolladas con un fonil de plástico en toda la superficie superior. Este cumple la función de proteger el pintado de la lámina de rayones y manchas. Esta lámina es retirada por el usuario final, después de pasar por un proceso de geometrización y comercialización.

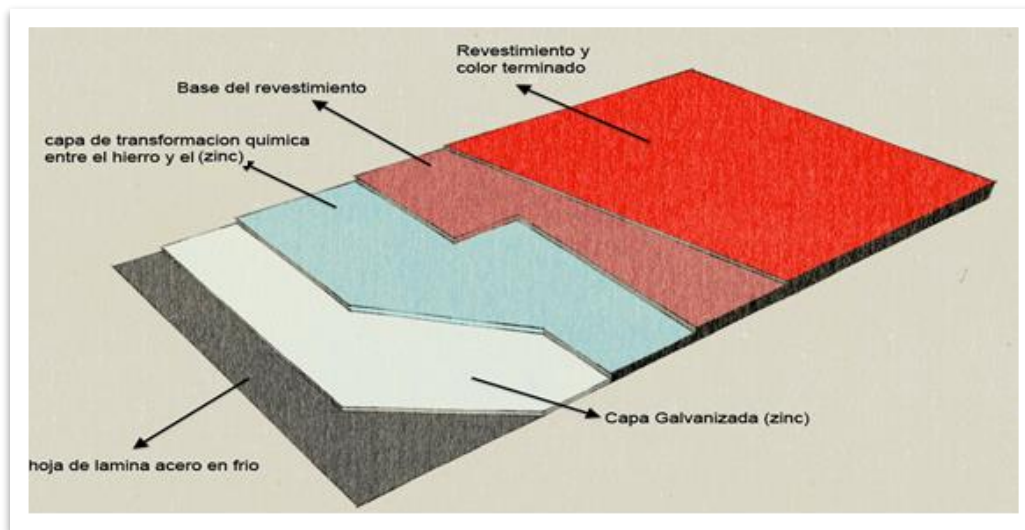


Ilustración 79: Pintado y venta

Fuente: Autor

4.3.2 CARACTERÍSTICAS DEL ACERO LAMINADO

Las caras de acero deben tener un límite elástico máximo de 220 N/mm y cumplir los requisitos de la norma correspondiente, según se indica en la Ilustración 80, tomada de la Norma UNE-EN 14509.

Recubrimiento metálico	Norma Europea
Zinc, 5% Al-Zn, 55% Al-Zn y Aluminio-silicio	EN 10326 o EN 10327
Las masas nominales de revestimiento metálico mínimas deben ser tal como se indican en la Norma Europea EN 508-1.	
Si la cara metálica está adherida en toda su superficie a un núcleo de espuma rígida con una estructura de celda cerrada, la masa de revestimiento metálico de la cara posterior debe ser como mínimo de 50 g/m ² .	

Ilustración 80: Normas de recubrimiento metálico

Fuente: Norma UNE-EN 14509

4.3.3 DESCRIPCIÓN DE CHAPAS METÁLICAS DEL PANEL TIPO SÁNDWICH

4.3.3.1 Funciones

La chapa y la contrachapa son impermeables y protegen el núcleo aislante. Se recomienda que la chapa sea perfilada para darle mayor estabilidad mecánica; en caso de un acabado liso, se sugiere un espesor de 0,60 mm.

4.3.3.2 Espesores

Los espesores del panel van desde 0,40 mm hasta 0,60 mm pero pueden variar según el pedido del cliente. Las tolerancias deben estar de acuerdo a la tabla de la Ilustración 81.

Dimensión	Tolerancia (máxima permisible)
Espeor del panel ^a	D ≤ 100 mm ± 2 mm D > 100 mm ± 2 %
Desviación de planicidad (según la longitud de la medida L)	Para L = 200 mm – Desviación de planicidad 0,6 mm Para L = 400 mm – Desviación de planicidad 1,0 mm Para L > 700 mm – Desviación de planicidad 1,5 mm
Profundidad de los nervios (mm)	5 < h ≤ 50 mm ± 1 mm 50 < h ≤ 100 mm ± 2,5 mm
Profundidad de los rigidizadores y del perfilado ligero	d _s ≤ 1 mm ± 30% de d _s 1 mm < d _s ≤ 3 mm ± 0,3 mm 3 mm < d _s ≤ 5 mm ± 10% de d _s
Longitud del panel	L ≤ 3 m ± 5 mm L > 3 m ± 10 mm
Anchura útil del panel	w ± 2 mm
Falta de escuadrado	0,006 × w (anchura de cubierta nominal)
Desviación de la rectitud	1 mm por metro, máximo 5 mm
Combado	2 mm por metro de longitud, máximo 10 mm 8,5 mm por metro de anchura para perfiles planos – h ≤ 10 mm 10 mm por metro de anchura para perfiles – h > 10 mm
Paso del perfil (p)	Si h ≤ 50 mm p: ± 2 mm Si h > 50 mm p: ± 3 mm
Anchura de los nervios (b ₁) y anchura de los valles (b ₂)	Para b ₁ ± 1 mm Para b ₂ ± 2 mm

Ilustración 81: Tolerancias dimensionales para paneles

Fuente: Norma UNE-EN 14509

4.3.3.3 Tratamiento superficial

Entre los tratamientos finales de la chapa y la contrachapa en los paneles tipo sándwich podemos encontrar:

- Acero galvanizado
- Acero galvanizado y pintado

4.3.3.4 Geometrías

Las chapas metálicas tienen características geométricas diferentes para darle mayor rigidez a la lámina de acero. Esta es la razón principal por la que los paneles de cubierta tienen una superficie exterior fuertemente perfilada, a diferencia de los de fachada.

- Geometrías utilizadas en el exterior en fachada (chapa)

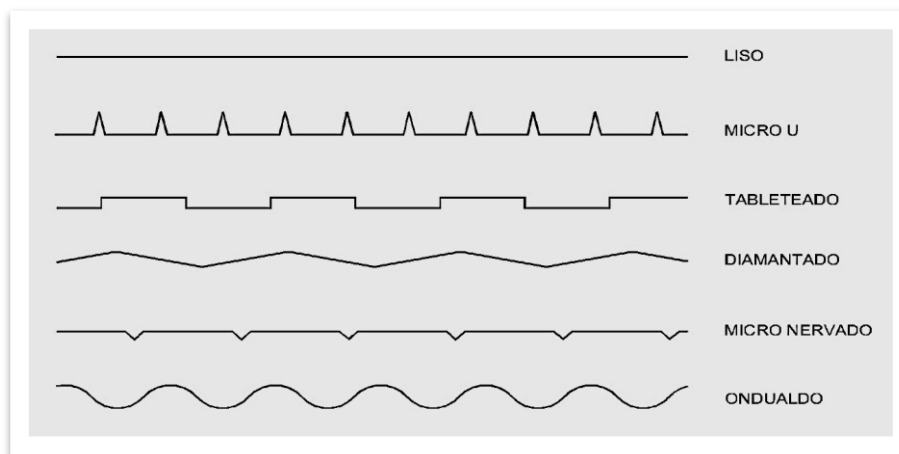


Ilustración 82: Algunas formas de chapa metálica
Fuente: Autor

- Geometrías utilizadas en el interior de fachada (contrachapa)

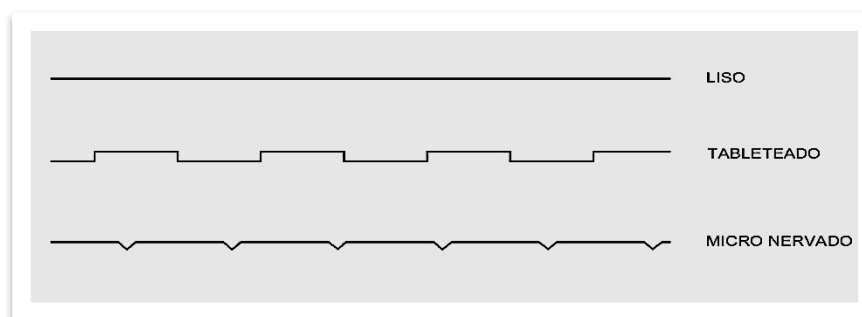


Ilustración 83: Algunas formas de contrachapa metálica
Fuente: Autor

4.3.4 DESCRIPCIÓN DEL TRASLAPE DE LOS PANELES DE ACERO

El traslape y/o junta es un perfilado de una o ambas caras del panel a lo largo del borde longitudinal, que encaja o solapa el panel tipo sándwich adyacente para formar una unión. La unión es una conexión entre paneles, donde los bordes se han diseñado para permitir que estos se unan en un mismo plano.

La junta o traslape solo consta entre paneles instalados en el mismo plano, mas no se refiere a la uniones entre paneles que se hayan cortado, o a la junta de los extremos longitudinales del panel.

Las juntas deben estar diseñadas para que la instalación sea sencilla y rápida. La junta puede o no incorporar anclajes que mejoren las propiedades mecánicas del panel, así como el rendimiento térmico, acústico y contra el fuego. Además restringen el movimiento del aire.

El sistema pernos/tornillos ocultos permite acabados limpios y de alto nivel estético, ya que, una vez terminada la pared, todas las fijaciones quedan ocultas.

4.3.4.1 Tipos de juntas

De acuerdo a la norma UNE-14509 sobre paneles tipo sándwich, existen cinco tipos de juntas:

4.3.4.1.1 Junta Tipo I

También conocida como junta macho-hembra, es la de mayor fabricación por su sencilla resolución para unir los paneles. Este tipo de unión utiliza un elastómero para garantizar el sellado. En caso de recurrir a anclajes con pernos o tornillos, estos quedarían vistos.

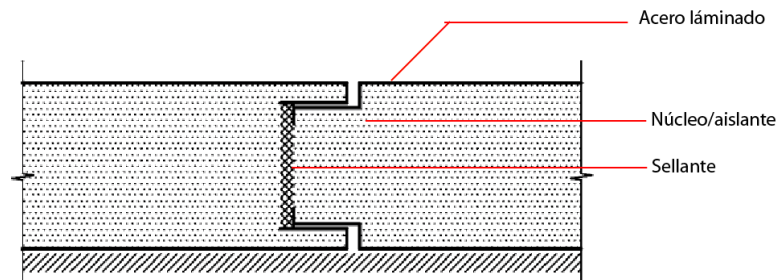


Ilustración 84: Junta Tipo I
Fuente: Norma UNE-14509

4.3.4.1.2 Junta Tipo II

Esta junta es más compleja y puede llevar o no un clip entre paneles. No es tan comercializada por su "compleja" fabricación, pero su forma es la de mayor efectividad en lo que a transmitancia térmica se refiere. Al igual que el Tipo I, utiliza elastómero para el sellado. En junta con clip, el perno va escondido mientras que en la sin clip los pernos van vistos.

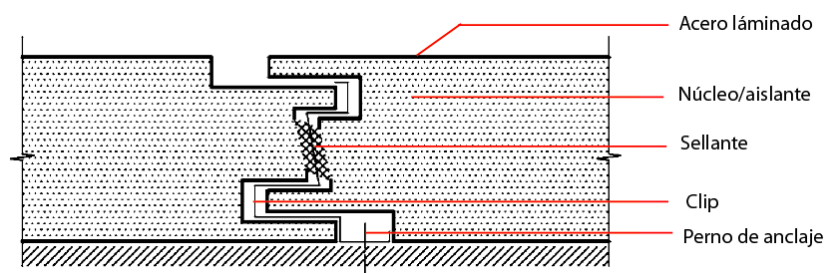


Ilustración 85: Junta Tipo II, con clip
Fuente: Norma UNE-14509

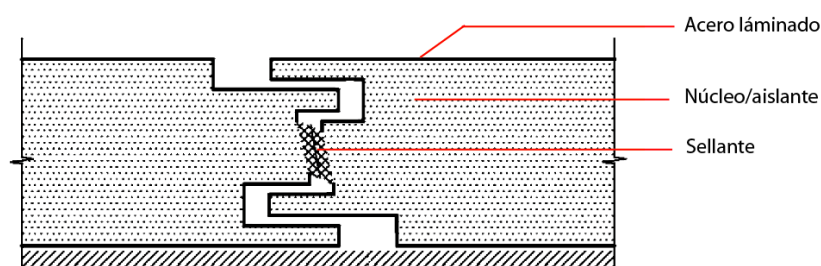


Ilustración 86: Junta Tipo II, sin clip
Fuente: Norma UNE-14509

4.3.4.1.3 Junta Tipo III

Esta junta es utilizada para paneles de fachada. Tiene la particularidad de esconder el perno de anclaje, no posee clip y, al igual que los otros dos tipos de juntas, recurre al sellante para garantizar la impermeabilidad entre paneles.

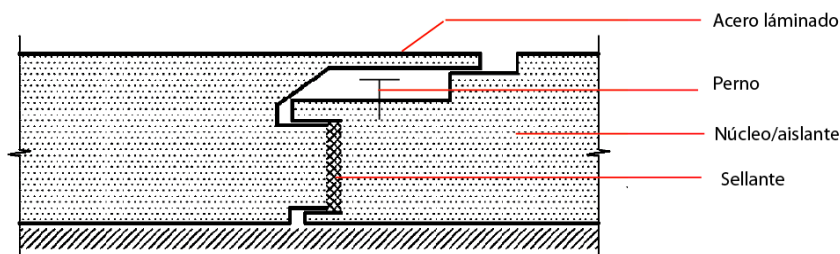


Ilustración 87: Junta Tipo III
Fuente: Norma UNE-14509

4.3.4.1.4 Junta Tipo IV

Esta junta es para paneles tipo sándwich en cubiertas. Es una junta en la cual la lámina de acero se monta sobre la cresta del otro. Recurre a gran cantidad de sellante y su perno va visto.

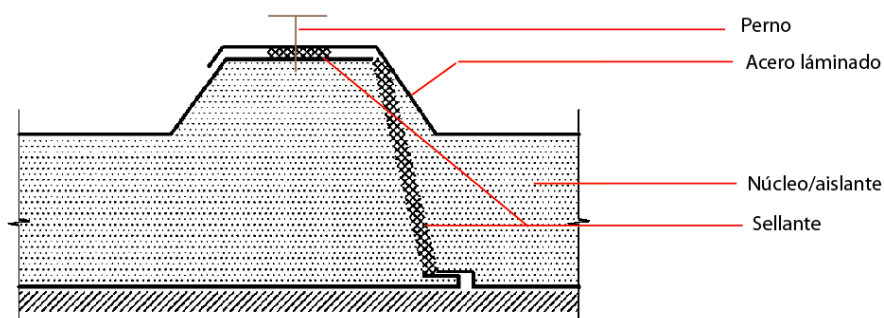


Ilustración 88: Junta Tipo IV
Fuente: Norma UNE-14509

4.3.4.1.5 Junta Tipo V

Este tipo de junta es muy similar a la Tipo I (macho-hembra), con la particularidad de que la unión del núcleo es cortada a medida y no posee sellante elastomérico.

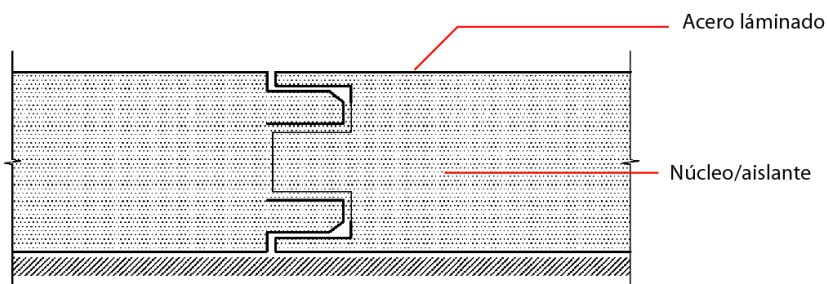


Ilustración 89: Junta Tipo V
Fuente: Norma UNE-14509

4.3.4.2 Efectividad de la transmitancia térmica

Una vez realizada una revisión de los diferentes tipos de juntas para paneles tipo sándwich es importante determinar la efectividad de las mismas en lo que a transmitancia térmica respecta.

La transmitancia térmica (U) es la medida del calor que fluye por unidad de tiempo y superficie, transferido a través de un sistema constructivo, en este caso en particular, las capas que conforman el panel tipo sándwich. Cuanto menor sea el valor de la transmitancia menor será el paso de energía entre ambas caras y, por tanto, mejor las capacidades aislantes del elemento constructivo.

Para determinar el efecto de la transmitancia en las juntas es importante señalar que la misma se realiza a través de la “transmitancia térmica lineal”. Para la obtención de la transmitancia térmica lineal de las juntas en paneles tipo sándwich (chapas metálicas) se aplica la siguiente ecuación:

$$U = \frac{1}{R_{si} + \frac{t_{ni}}{\lambda_{fi}} + \frac{d_c + \Delta e}{\lambda_{diseño}} + \frac{t_{ne}}{\lambda_{fe}} + R_{se}} \left(1 + f_{junta} \frac{1,0}{B}\right)$$

No consideramos parte transcendental del estudio la ecuación y el cálculo para la obtención de la misma (pero la podemos encontrar en los adjuntos de esta tesis, para su estudio y profundización de ser necesarios). No obstante, la tabla mediante la cual se obtiene el factor de contribución a la transmitancia térmica de la juntas, calculado para la distancia de 1 m, nos dará una clara idea de cuál de las juntas estudiadas poseerá una menor transmitancia.

Factor de contribución a la transmitancia térmica lineal (f_{junta}) para caras de acero

Espesor (mm)	f_{junta}					
	Tipo I	Tipo II		Tipo III	Tipo IV	Tipo V
		sin clip $f_{junta,nc}$	con clip $f_{junta,c}$			
60	0,04	0,14	1,156	0,16	0,04	0,02
80	0,04	0,08	1,389	0,10	0,04	0,02
120	0,03	0,06	1,719	0,06	0,04	0,01
160	0,03	0,05	1,948	0,05	0,04	0,01
200	0,03	0,04	2,106	0,04	0,03	0,01

Tabla 7: Factor de contribución a la transmitancia térmica lineal para caras de acero
Fuente: Norma UNE-14509

Como se puede observar, la junta de mayor contribución al aislamiento es la Tipo V, puesto que será de menor transmitancia. También cabe destacar que la efectividad entre las tipo I y IV es bastante similar. Para finalizar debemos destacar que, de las juntas que poseen el perno no visible, la III y la II con clip, la de menor transmitancia es la III.

4.4 ESTUDIO DEL NÚCLEO

4.4.1 CASCARILLA DE ARROZ

Ante la necesidad de desarrollar una alternativa tecnológica que contribuya a la disminución del impacto ambiental, se plantea aprovechar productos vegetales de desecho que permitan innovar en el área de la construcción. La cascarilla de arroz se perfila como un aislante térmico de alta efectividad y de fácil obtención, pues es un subproducto agrícola.

"La cascarilla es una fibra corta que recubre naturalmente el grano para protegerlo del ambiente. Su longitud varía entre 5 y 11 mm según la especie considerada, es de estructura ondulada y apariencia superficial irregular. Tiene propiedades altamente abrasivas, 6 en la escala Mohs en estado natural. Su estructura presenta un volumen poroso del 54%, cavidades que permanecerán cerradas en tanto no se someta a un proceso de combustión.

Esta fibra presenta un comportamiento ignífugo, es decir que no inicia fácilmente la combustión y no produce llama mientras se quema. Es probable que este aspecto, así como su alta estabilidad bioquímica, se deba a que es la fibra vegetal con mayor contenido de minerales, así como también a su alta concentración de silicio (90% al 97% SiO). La transformación de las propiedades físico-químicas de la cáscara comienza por encima de los 750 °C, lo cual le garantiza un amplio rango de estabilidad térmica" (Giovanna Cadena y Bula Silvera, 2002, pp. 2-3).

La cascarilla de arroz es difícil de manejar, ya que se dispersa fácilmente dados su tamaño y su densidad de 650 Kg/m³. Por esto es importante la elección del aglutinante para que pueda ser utilizada como núcleo del panel. La producción de arroz es constante en Ecuador, lo que garantizaría que, si la investigación tiene resultados positivos, la accesibilidad del subproducto para la construcción de paneles tipo sándwich sea fácil.

A pesar de que la producción de arroz varía anualmente debido básicamente a factores climáticos, la tecnología utilizada, las plagas, las mayores superficies sembradas y la infraestructura, la cantidad producida sigue siendo importante, lo que avala la utilización de este material para la presente investigación.

4.4.1.1 Producción de arroz en cáscara por año

Año	Producción de arroz en cáscara, seco y limpio (Tm)
2000	971.806
2001	1.018.696
2002	1.063.620
2003	908.113
2004	950.357
2005	1.109.508
2006	1.254.269
2007	1.134.633
2008	1.054.787
2009	1.098.516
2010	1.132.267
2011	657.500
2012	728.290

Tabla 8: Producción de arroz en cáscara por año
Fuente: MAGAP (Ministerio de Agricultura, Ganadería y Pesca)

4.4.1.2 Características químicas de la cascarilla de arroz

Esta tabla muestra las propiedades y características físicas de la cascarilla de arroz:

Propiedades y características físicas	
Estado físico	Sólido granulado
Color	<i>Beige</i>
Olor	Olor característico
Longitud (mm)	4-14
Ancho (mm)	2-4
Espesor promedio (μm)	50
Peso específico (mg)	2.944-3.564
Solubilidad en el agua	Insoluble
Densidad verdadera (gr/cm^3)	1,42
Densidad aparente (gr/cm^3)	0,65
Densidad a granel (gr/cm^3)	0,1
Porosidad del combustible (%))	54
Fracción de espacios libres (%)	85
Fase gaseosa teórica (%)	93

Tabla 9: Propiedades y características físicas de la cascarilla de arroz
Fuente: Echeverría y López, 2010

4.4.2 AGLUTINANTES

Los aglutinantes son aquellos que tienen la capacidad de mezclarse para formar una masa compactada. Se los podría clasificar en naturales y sintéticos.

4.4.2.1 Aglutinantes orgánicos naturales

4.4.2.1.1 Colas animales

Las colas se extraen de los residuos de animales como pieles, cartílagos o huesos de mamíferos, y de la piel y espinas de algunos peces. Las colas animales han sido utilizadas por tener una óptima característica de penetración y adhesividad.

Son materiales principalmente conformados por la proteína animal conocida como colágeno. Las colas animales poseen elevadas cantidades de glicina, prolina e hidroxiprolina.

La aglutinación de las colas depende de su proceso y su origen durante las fases de preparación y purificación. A las menos puras se las conoce como colas fuertes, y a las más fuertes se las conoce como gelatinas y están compuestas casi en su totalidad de colágeno.

4.4.2.1.2 Gomas vegetales

"Son materiales segregados por determinadas plantas o extraídos de ellas. Las más comunes son la goma arábica, tragacanto y de cerezo. Las gomas vegetales están

constituidas de las secuencias de monómeros o azúcares sencillos y en algunos casos de ácido urónico.

Estas sustancias son exclusivamente solubles en agua, característica opuesta a las resinas naturales, las cuales son solubles en disolventes orgánicos, incluido el alcohol.

El envejecimiento de estos materiales se produce por el ataque de microorganismos y hongos, los cuales son sensibles al agua y a la contaminación ácida, que pueden llegar a producir la hidrólisis de estos materiales, y la consiguiente la despolimerización de sus molécula" (Salviati, 2012).



Ilustración 90: Gomas vegetales
Fuente: *A focus on gums. Food Technology* (Dziezak, 1991)

4.4.2.1.3 Almidones

“Son polisacáridos de la glucosa, de alto peso molecular y estructura compleja. Se encuentran en semillas de los cereales, los tubérculos y en las otras partes de las plantas, constituyendo su principal reserva energética.

La complejidad de la estructura del almidón lo vuelve insoluble en agua fría, aunque en agua hirviendo llega casi a disolverse, dando lugar a una masa gelatinosa de gran viscosidad. Debido a esta alta viscosidad, el almidón puede utilizarse como aglutinante, empleándose más bien como adhesivo aunque también ha sido utilizado como aditivo para otros aglutinantes más comunes” (Salviati, 2012).



Ilustración 91: Almidones

Fuente: <http://es.slideshare.net/BLEUMANGRU/manuf-ind-i>

4.4.2.1.4 Glicéridos

La mayoría son grasas animales y vegetales. Son materiales que se utilizan generalmente para óleos y también para óleos en resinas de pinturas.

4.4.2.1.5 Ceras

Son compuestos muy inertes que forman sólidos blandos a temperatura ambiente. Están formados por la mezcla de numerosas sustancias, entre las que prevalecen los ésteres de ácidos saturados y alcoholes de cadena larga, alcoholes saturados libres y algunos hidrocarburos de cadena larga. Las ceras no poseen sustancias polimerizables. No presentan buenas condiciones filmógenas, lo que limita su utilización como aglutinante.

4.4.2.1.6 Ceras animales

Entre las principales están la cera de abeja, la cera del insecto *Coccus cerifus*, el blanco de ballena y la lanolina.

- La cera de las abejas es producida por el insecto *Apis mellifera* y era utilizada en el campo artístico.
- La cera del *Coccus* es muy común en China e India.
- La cera blanca de ballena se extrae de la cavidad craneal del cachalote *Physeter*.
- La lanolina se extrae de la grasa contenida en la lana de oveja.



Ilustración 92: Ceras de abeja

Fuente: <http://nuestrosmateriales.arq.upv.es/Materiales/Ver%20Cera.htm>

4.4.2.1.7 Ceras vegetales

La cera de candelilla es extraída de las raíces de la *Euphorbia cerífera* y la *Euphorbia antisiphilitica*, que crecen principalmente en México. La cera de carnauba es un exudado de las hojas de un tipo de palmera brasileña (*Copemicia ceriferus*).



Ilustración 93: Ceras de candelilla

Fuente: <http://www.cosmos.com.mx/blog/1917/la-cera-de-candelilla-sustancia-vegetal-de-gran-valor>

4.4.2.1.8 Ceras minerales

La parafina es una cera de origen mineral extraída por destilación del petróleo. En el mercado se encuentra en diferentes formas y calidades y con distintos puntos de fusión (40–70 °C).



Ilustración 94: Parafina microcristalina

Fuente: <http://www.petrowax.com.mx/productos.html>

4.4.2.1.9 Resinas naturales

Proviene de exudados de ciertas plantas. Las resinas se pueden dividir en tres grupos: primero, las resinas diterpénicas, producidas en la naturaleza por árboles de coníferas y leguminosas; segundo, las resinas triterpénicas, extraídas de los árboles de angiospermas; y tercero, las de una composición más compleja donde hay materiales como la benzoina, el bálsamo de Perú, la goma de laca, etc.

Las resinas vegetales son utilizadas fundamentalmente en la formulación de barnices, ya que forman capas transparentes, resistentes e impermeables. El bálsamo se utiliza como plastificante de adhesivos tradicionales.

La composición de las resinas es compleja y variada y en ocasiones no se llega a conocer a detalle. Cambian considerablemente con el paso del tiempo debido a procesos de oxidación y polimerización.



Ilustración 95: Goma laca

Fuente: <http://www.arqhys.com/articulos/gomas-laca.html>

4.4.2.2 Aglutinantes sintéticos

4.4.2.2.1 Resinas vinílicas

- Policloruro de vinilo: Es un material conocido habitualmente como PVC. Es un polímero obtenido de dos materias primas naturales: el cloruro de sodio o sal común, y el petróleo o gas natural.
- Poliacetato de vinilo: Es un material termoplástico incoloro también conocido como cola blanca. El poliacetato de vinilo se utiliza principalmente para la fabricación de láminas, planchas y recubrimiento de suelos. También para la resina base de pintura, barniz, laca, adhesivos y aprestos.



Ilustración 96: Madera aglomerada con cola blanca

Fuente: <http://frapermun.blogspot.com>

4.4.2.2.2 Resinas de poliestireno

"Familia obtenida por la polimerización del estireno. Los compuestos de poliestireno en estado sólido son resinas termoplásticas sin olor ni color"².

4.4.2.2.3 Poliestireno expandido

Es un material plástico espumado, derivado del poliestireno (es un polímero termoplástico que se obtiene de la polimerización del estireno). Parte de compuestos de poliestireno en forma de perlititas, las cuales contienen un agente expansor llamado pentano. Este material tiene hasta un 98% de su volumen ocupado por aire. Un metro cúbico contiene de tres a seis mil millones de celdillas cerradas llenas de aire y perfectamente estancas.

² <http://www.textoscientificos.com/polimeros/plasticos/sinteticos/resinas-polirster-poliestireno>.



Ilustración 97: Poliestireno expandido

Fuente:<http://www.materialesde.com/materiales-de-aislamiento-termico/>

4.4.2.2.4 Poliestireno extrusionado

Se obtiene por la extrusión de poliestireno en gránulos, con la adición, en el proceso, de un gas expansivo.



Ilustración 98: Poliestireno extruido

Fuente:<http://www.materialesde.com/materiales-de-aislamiento-termico/>

4.4.2.2.5 Resinas de policarbonato

El policarbonato (PC) es un grupo de termoplásticos fácil de trabajar, moldear y termoformar. Es utilizado ampliamente en la manufactura moderna. El nombre "policarbonato" se debe a que se trata de polímeros que presentan grupos funcionales unidos por carbonatos en una larga cadena molecular.

Características:

- Resistencia extremadamente elevada al impacto
- Gran transparencia
- Resistencia y rigidez elevadas
- Elevada resistencia a la deformación térmica
- Elevada estabilidad dimensional, es decir, elevada resistencia a la fluencia
- Buenas propiedades de aislamiento eléctrico
- Elevada resistencia a la intemperie, con protección contra rayos ultravioleta

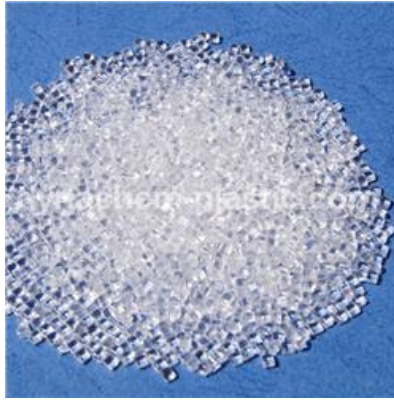


Ilustración 99: Resina de policarbonato transparente

Fuente: <http://es.dynachemplastic.com/pid15637717/Resina+de+policarbonato+transparente.htm>

4.4.2.2.6 Resinas a base de cian o acrilato

Generalmente utilizadas para adhesivos, son las más famosas y extendidas de toda la amplia familia de adhesivos existentes hoy en día. Su éxito está basado en la rapidez de secado junto a la facilidad de adhesión sobre un amplio abanico de materiales y la extraordinaria resistencia mecánica que se consigue con solo unas pequeñas gotas. Todo ello hace a los cian o acrilatos la familia de adhesivos más utilizada en uniones secundarias.

4.4.2.2.7 Resinas de poliuretano

"Es una resina que puede ser utilizada en formas variadas incluyendo formas duras, brillantes, coberturas resistentes a los solventes o a la abrasión y gomas resistentes a los solventes, como también fibras y espumas flexibles o rígidas. Es un material que posee una buena resistencia a la abrasión y tracción. Las resinas de poliuretano pueden unir estructuras, formando uniones adhesivas resistentes a los impactos, que solidifican rápidamente y se pueden adherir a distintas superficies"³.



Ilustración 100: Pavimento de resinas de poliuretano autonivelante

Fuente: <http://pavimentossoinco.com/>

4.4.2.2.8 Resinas epóxicas y siliconas

"Las resinas epóxicas son excelentes adhesivos, sin necesidad de tiempos de exposición largos ni de grandes presiones.

Todas estas características se han aprovechado en la construcción introduciendo las resinas epóxicas como un material con múltiples aplicaciones: adhesivos de gran resistencia, aditivos en el fraguado del cemento, recubrimientos, sellados y refuerzos.

³ http://www.ehowenespanol.com/resina-poliuretano-info_315153/

La silicona es un polímero inodoro e incoloro hecho principalmente de silicio. La silicona es inerte y estable a altas temperaturas, lo que la hace útil en gran variedad de aplicaciones industriales, como lubricantes, adhesivos, impermeabilizantes, y en aplicaciones médicas, como prótesis valvulares cardíacas e implantes de mamas" (Santalla y Blanco, 2012).



Ilustración 101: Resina epoxi o poliepóxido

Fuente: <http://teoriadeconstruccion.net/blog/resinas-epoxy-solucion-de-anclajes/>

La silicona se divide en dos:

- Silicona en resina: Entre sus propiedades se destacan la resistencia térmica, que es un buen aislante y es repelente al agua.
- Silicona líquida: Es incolora, inodora, de baja volatilidad, no tóxica, de buena estabilidad térmica, de moderada resistencia química y resistente al agua. No es muy buena como adhesivo y tampoco posee una buena tensión superficial.



Ilustración 102: Silicona como sellador

Fuente: <http://tecnologiadelosplasticos.blogspot.com/2011/12/siliconas.html>

4.4.3 MATRIZ DE SELECCIÓN

Una vez revisados algunos tipos de aglutinantes para ser utilizados con la cascarilla de arroz, se decidió realizar una matriz de selección analizando varios parámetros:

- Facilidad de obtención en el medio: Se describe la facilidad de obtener el material tomando en cuenta que la investigación fue realizada en la ciudad de Quito (Ecuador).
- Durabilidad: En este caso se refiere específicamente al tiempo que el material puede mantenerse sin perder sus propiedades.
- Propiedades térmicas: Evaluar el comportamiento de los materiales como aislantes térmicos.
- Usos similares al propuesto con la cascarilla de arroz: Con la información existente, se identifica si existen aglutinantes que se mezclen con la cascarilla de arroz.
- Procesos para su obtención: Expresa la facilidad del aglutinante para ser utilizado en su estado final.
- Impermeabilidad: Característica que tienen las superficies de rechazar el agua sin dejarse atravesar por ella.

- Sensibilidad a agentes externos: Se trata de la capacidad del aglutinante para resistir al posible ataque de agentes externos.
- Información del material: Cantidad y calidad de información encontrada sobre el aglutinante.

4.4.3.1 Cuadro matriz de selección

MATRIZ DE SELECCIÓN DEL AGLUTINANTE		Facilidad de obtención en el medio	Durabilidad	Propiedades Térmicas	Usos similares al propuesto con la cascavilla de arroz	Procesos para su obtención	Impermeabilidad (Resistencia a la Humedad)	Sensibilidad a agentes externos	Información del material	Total
Aglutinantes Orgánicos Naturales	Colas Animales	3	2	1	2	2	1	1	3	15
	Gomas Vegetales	3	2	1	1	2	2	2	3	16
	Almidones	3	2	1	3	3	1	2	2	17
	Glicéridos	2	3	1	1	3	1	2	3	16
	Ceras	2	1	1	2	2	1	2	3	14
	Ceras Animales	2	1	2	2	2	1	2	3	15
	Ceras Minerales	2	3	1	1	2	1	4	2	16
Aglutinantes Sintéticos	Resinas Naturales	4	1	1	1	3	1	2	3	16
	Resinas Vinílicas	2	4	2	1	2	4	4	3	22
	Resinas de Poliestireno	4	4	3	1	2	4	4	4	26
	Resinas de Policarbonato	3	4	1	1	2	4	4	4	23
	Resinas a base de cianoacrilato	2	3	1	1	2	2	4	3	18
	Resinas de Poliuretano	4	4	4	1	2	3	4	4	26
	Resinas Epóxicas	3	4	2	1	2	4	4	2	22
Siliconas	3	4	2	1	2	4	4	4	24	



 1 Sin Información
 2 Mala
 3 Regular
 4 Buena

Ilustración 103: Matriz de selección

Fuente: Autor

En la matriz podemos observar que entre los aglutinantes naturales unos de los que más se destacan son los almidones, por su facilidad de obtención en el medio, por tener un proceso sencillo para su obtención y porque existe información sobre los mismos.

En los aglutinantes sintéticos observamos que todos poseen mejores características que los naturales, pero los que sobresalen son poliuretano y poliestireno, por sus características térmicas, sensibilidad a agentes externos e impermeabilidad.

En el presente trabajo se ha decidido escoger un aglutinante natural puesto que se pretende aprovechar materiales que permitan innovar en la construcción y contribuyan para reemplazar o competir con productos derivados del petróleo.

4.4.4 ALMIDÓN DE YUCA

La yuca es originaria del noreste de Brasil, pero se la encuentra en Latinoamérica y es parte de la cultura gastronómica ecuatoriana. Al ser Ecuador un país productor de yuca se aprovecha esta materia prima de relativo bajo costo.

Una de las fortalezas para el desarrollo de la industria de derivados de la yuca es la calidad del producto debido a las buenas condiciones climáticas y a la fertilidad de los terrenos. La demanda de almidón de yuca es alta en la industria de balanceados, panaderías, cervecera y talcos. Existen limitantes, como la falta de infraestructura para producir almidones con características específicas para cada requerimiento.

El almidón de yuca es un polvo blanco fino, insoluble en agua fría y solventes orgánicos. Por la acción del agua fría aumenta de volumen y, con el agua caliente a 75 °C, da una suspensión que por enfriamiento y en concentraciones adecuadas produce engrudo. El tamaño de cada glóbulo es de 0,007 a 0,03 mm.

4.4.4.1 Especificaciones del almidón de yuca

El almidón objeto de estos estudios es de un solo grado de calidad y deberá estar exento de microorganismos, así como de grumos y materias extrañas. Cumplirá las siguientes especificaciones:

Humedad	máximo 15 %
Cenizas	máximo 0.20 %
Solubles	máximo 0.50 %
Proteínas	máximo 0.80 %
Acidez en g de HC1	máximo 0.0657

Tabla 10: Especificaciones del almidón de yuca
Fuente: González, Zurima y Pérez Sira, 2003

4.4.5 MODELAMIENTO Y ESTUDIO DE PANEL TIPO SÁNDWICH DE CASCARILLA DE ARROZ Y ALMIDÓN DE YUCA

4.4.5.1 Coeficiente de conductividad térmica de la cascarilla de arroz más el almidón de yuca

Para la obtención del coeficiente de conductividad térmica de la cascarilla de arroz con el aglutinante de almidón de yuca se realizaron varias pruebas de laboratorio y modelamiento, cuyo estudio y procesos fueron elaborados por los ingenieros mecánicos Luis Vásconez Peñaherrera y Felipe Calero Quezada en el trabajo titulado: *Desarrollo experimental de aislante térmico utilizando cascarilla de arroz y aglutinantes naturales, en planchas rígidas*. Las pruebas realizadas no son parte de esta investigación pero, por la importancia del coeficiente obtenido, procederemos a describir brevemente su obtención.

4.4.5.2 Estudio del tamaño de partícula de cascarilla de arroz

La cascarilla que se utilizará será molida y cernida para obtener un material homogeneizado. Para la elección del tamaño, la presente investigación se basa en el estudio realizado para planchas rígidas de cascarilla de arroz. La cascarilla fue cernida en tamices mediante una máquina separadora por vibración.

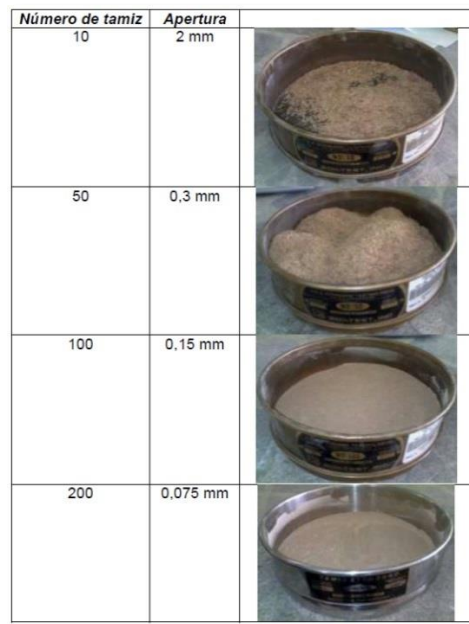


Ilustración 104: Tamizado
Fuente: Calero y Vásconez, 2012, p. 42.

Durante el proceso fue necesario abrir cada uno de los tamices superiores para verificar que la cascarilla molida que no se hubiese compactado por la vibración. Se la revolvía hasta que nuevamente estuviera holgada. Se repitió el proceso varias veces. Una vez terminado, se revisó que el material en cada uno de los tamices estuviese homogéneo y, como paso final del ensayo, se pesó con exactitud la cascarilla molida en cada tamiz. Realizado todo el proceso, se obtuvieron los siguientes resultados:

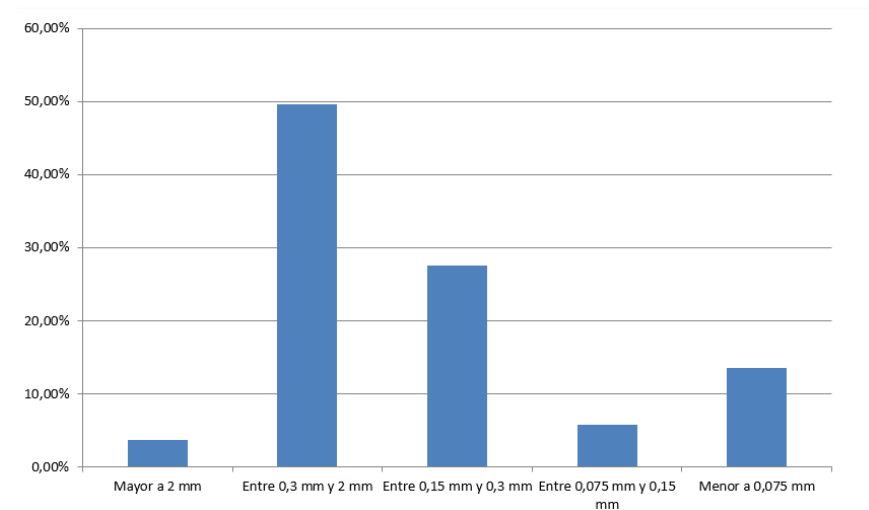


Ilustración 105: Resultados del tamizado
Fuente: Calero y Vásconez, 2012, p. 49.

Como se puede observar, casi el 50% de la cascarilla tiene un tamaño de entre 0,3 mm y 2 mm. Según la investigación realizada, la cascarilla de 0,075 mm se vuelve altamente volátil al manipularla.

4.4.5.3 Prueba de compactación de la cascarilla de arroz

Durante el proceso de fabricación del nuevo aislante térmico, es importante conocer el comportamiento de la mezcla de cascarilla molida frente a la presión que se le aplica durante el prensado. Esto dará la claridad de qué fuerza se le debe aplicar para obtener el espesor de tablero deseado con determinada cantidad de cascarilla de arroz molida.

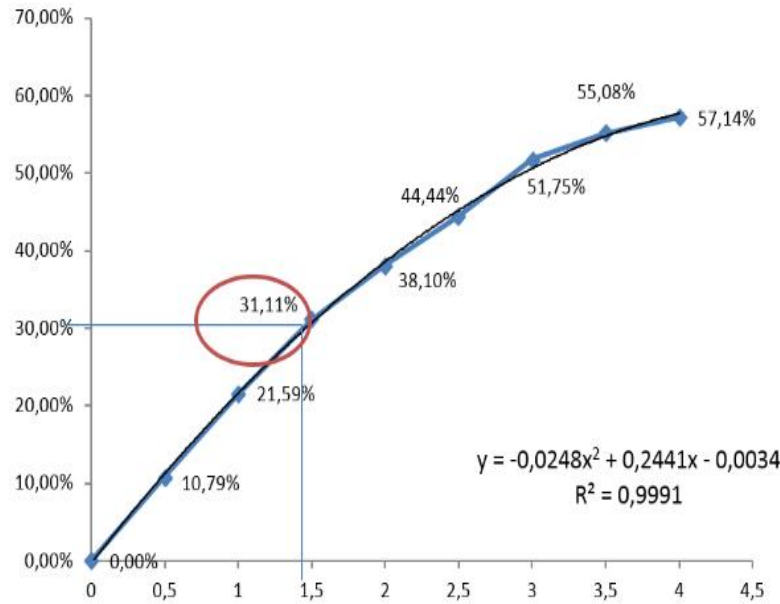


Ilustración 106: Resultados de la prueba de compactación
Fuente: Calero y Vásconez, 2012, p. 51.

4.4.5.4 Pruebas de conductividad térmica

La caja para el ensayo de conductividad térmica en estado estable consta de una envoltura de tol negro de $e=1$ mm, recubierta externamente con lana de vidrio de 1" de espesor para eliminar las pérdidas por convección en las paredes de la caja. Interiormente está recubierta con ladrillo refractario de 230 mm x 114 mm x 65 mm, a manera de la cámara de un incinerador. En el interior se colocó un ladrillo refractario poroso trabajado en forma circular, a manera de tubo, al que adicionalmente se le realizó un canal en forma de espiral que lo recorre en toda su longitud para alojar y dar soporte a la resistencia eléctrica que sirvió de fuente de calor durante los ensayos.

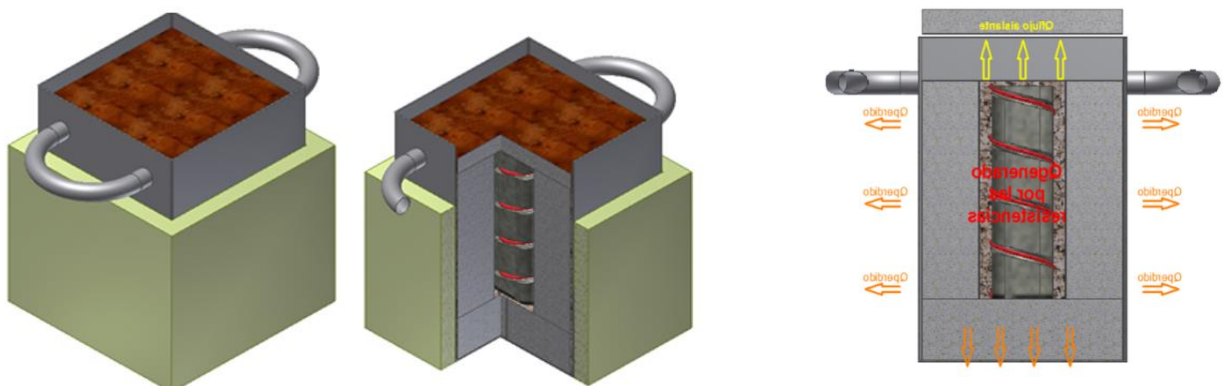




Ilustración 107: Caja de ensayos, probeta y foto de pruebas realizadas
Fuente: Calero y Vásconez, 2012, p. 68.

Con las pruebas realizadas, incluidos los cálculos de propagación por errores, se logró obtener el coeficiente térmico:

$$k = 0,1362 \pm 5,028\% \frac{W}{mK}$$

Con el coeficiente está comprobado que el aislante térmico de cascarilla de arroz molida, aglutinado con almidón de yuca, sí funciona pero, al hacer pruebas de humedad, estas fueron negativas puesto que el almidón de yuca, cuando se moja, permite el crecimiento de hongos.

También se concluye que la calidad del aislante en cuanto a la facilidad de manejo, mezclando de manera homogénea un 12,5% en peso de aglutinante (por cada 1 mg del mismo se usaron 5-7 ml de agua) y el resto de cascarilla de arroz molida, dio buenos resultados.

4.5 PROPUESTAS DE NÚCLEO DEL PANEL

Una vez seleccionadas la chapa y la contrachapa de acero, se realizará el estudio térmico del núcleo (cascarilla de arroz más almidón de yuca) por medio de un *software* de análisis térmico. También se van a realizar las mismas pruebas con el poliestireno expandido y el poliuretano, de manera que podamos comparar los resultados.

4.5.1 PROPUESTA I

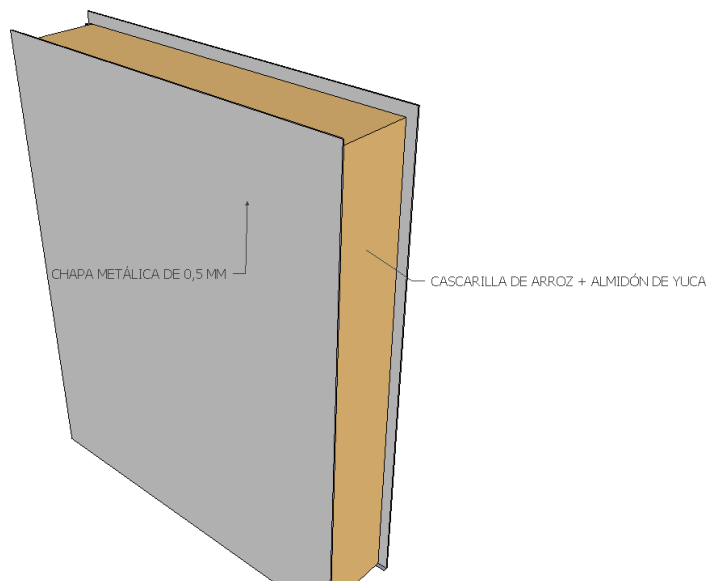


Ilustración 108: Propuesta de panel tipo sándwich
Fuente: Autor

4.5.1.1 Resumen de la conductividad térmica de los materiales que conformarían los paneles tipo sándwich a ser comparados

Descripción del material	Conductividad térmica	Unidad	Fuente
Cascarilla de arroz más almidón de yuca	0,1362	W/m°K	Calero y Vásconez, 2012.
Poliestireno expandido	0,040	W/m°K	Apéndice A2 del libro <i>Transferencia de calor</i> de Incropera & De Witt
Poliuretano	0,024	W/m°K	Norma IRAM 11601. (Argentina)
Acero prepintado galvanizado A792	45	W/m°K	Apéndice A1 del libro <i>Transferencia de calor</i> de Incropera & De Witt

Tabla 11: Resumen de la conductividad térmica de los materiales que conformarían los paneles tipo sándwich a ser comparados
Fuente: Autor

4.5.1.2 Geometría

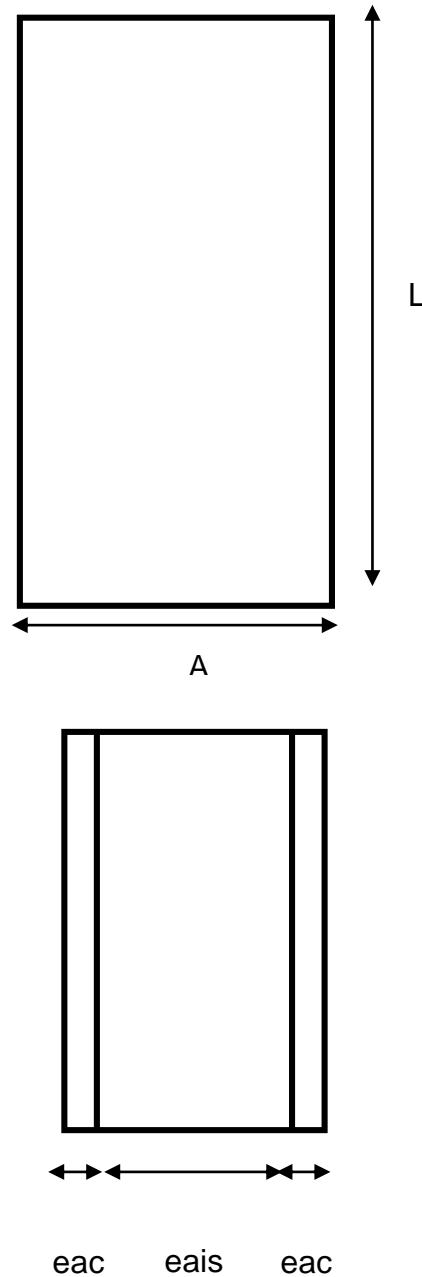


Ilustración 109: Medidas del panel tipo sándwich
Fuente: Autor

Descripción	Simbología	Valor	Unidades
Largo	L	2	M
Ancho	A	1	M
Espesor del acero	Eac	0,5	mm
Espesor del aislante	eaisl	50	mm

4.5.1.3 Condiciones térmicas

Para definir las condiciones térmicas a las que va a estar sometido el panel tipo sándwich, vamos a suponer que el funcionamiento se realiza en estado estable, donde el fluido

caliente (aire) se encuentra a temperatura ambiente de 20 °C, y a una velocidad de aire de 3,35 m/s, y que el fluido frío se encuentra a -30 °C, considerando que es una cámara frigorífica para la conservación de carne que tiene una velocidad interior de 6 m/s. A partir de estos datos vamos a determinar si el panel tipo sándwich elaborado con fibras naturales posee un mejor aislamiento térmico que los paneles que actualmente se comercializan en el mercado.

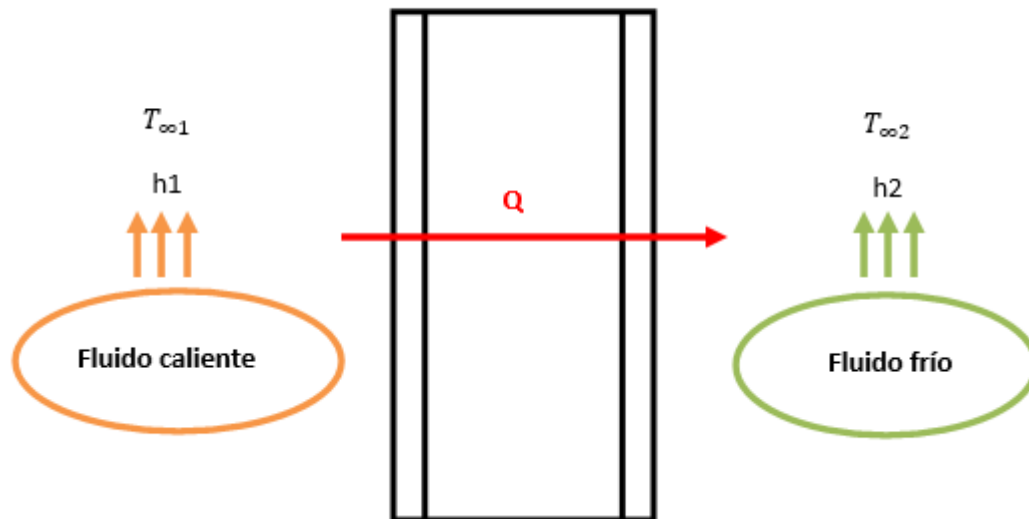


Ilustración 110: Parámetros para el estudio del panel
Fuente: Autor

4.5.1.4 Circuito térmico del panel tipo sándwich

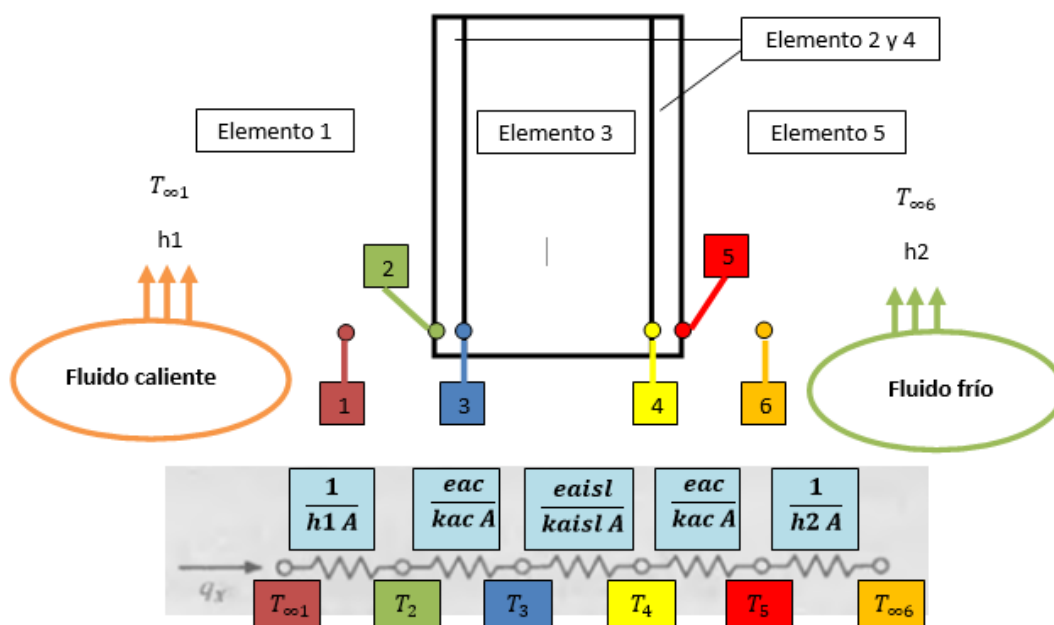


Ilustración 111: Circuito térmico equivalente del panel tipo sándwich propuesto
Fuente: Autor

- Elemento 1: Fluido caliente
- Elementos 2 y 4: Acero prepintado de galvalume A792

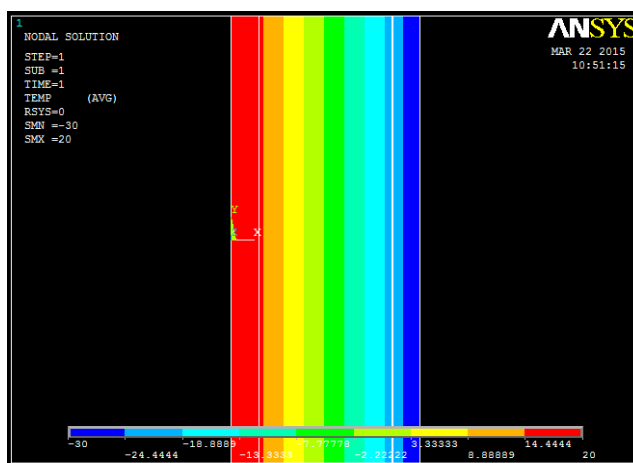
- Elemento 3: Aislamiento térmico (cascarilla de arroz más almidón de yuca, poliestireno expandido, poliuretano)
- Elemento 5: Fluido frío

- 1.- Nodo 1
- 2.- Nodo 2
- 3.- Nodo 3
- 4.- Nodo 4
- 5.- Nodo 5
- 6.- Nodo 6

4.5.1.5 Simulación térmica de los paneles tipo sándwich

A continuación se analizarán los valores obtenidos de la simulación térmica de los paneles existentes y los paneles propuestos:

4.5.1.5.1 Panel de cascarilla de arroz más almidón de yuca



```

PRINT TEMP NODAL SOLUTION PER NODE

**** POST1 NODAL DEGREE OF FREEDOM LISTING ****

LOAD STEP= 1 SUBSTEP= 1
TIME= 1.0000 LOAD CASE= 0

NODE    TEMP
1       20.000
2       15.598
3       15.597
4      -21.104
5      -21.106
6      -30.000

MAXIMUM ABSOLUTE VALUES
NODE    6
VALUE  -30.000
    
```

Distribución de temperaturas del panel de cascarilla de arroz más almidón de yuca

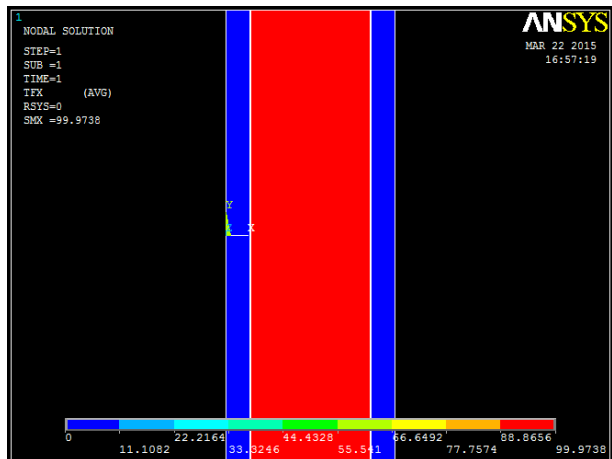
Temperaturas por cada nodo en el panel de cascarilla de arroz más almidón de yuca

Ilustración 112: Gráficos de estudios realizados en Programa ANSYS

Fuente: Autor

Como se puede observar en la escala de colores, la distribución de temperaturas a lo largo del panel tipo sándwich con aislamiento térmico de cascarilla de arroz más almidón de yuca es de 20 °C en el nodo 1 y de -30 °C en el nodo 6 debido a la convección de aire. Además se pueden analizar las temperaturas superficiales en cada uno de sus nodos, como se indica en el gráfico anterior.

Flujo de calor de la cascarilla de arroz más almidón de yuca



Flujo de calor por unidad de área en la dirección x en el panel de cascarilla de arroz más almidón de yuca

```
PRINT HEAT REACTION SOLUTIONS PER NODE
**** POST1 TOTAL REACTION SOLUTION LISTING ****
LOAD STEP= 1 SUBSTEP= 1
TIME= 1.0000 LOAD CASE= 0
NODE HEAT
1 199.95
6 -199.95
```

Flujo de calor por unidad de tiempo en el panel de cascarilla de arroz más almidón de yuca

Ilustración 113: Gráficos de estudios realizados en Programa ANSYS
Fuente: Autor

El flujo de calor es la velocidad con la que se transfiere el calor en la dirección x por área unitaria perpendicular a la dirección de transferencia. Por lo tanto, considerando la ilustración, el flujo de calor por unidad de área es igual a $99,9738 \text{ W/m}^2$ y, sobre la base del flujo de calor por unidad de tiempo, equivale a $199,95 \text{ W}$. Es importante señalar que el signo negativo se debe a que el calor se traslada desde la dirección de menor a la de mayor temperatura.

```
PRINT ELEMENT TABLE ITEMS PER ELEMENT
**** POST1 ELEMENT TABLE LISTING ****
```

STAT	CURRENT	CURRENT
ELEM	TEMP	SMIS1
1	17.799	199.95
2	15.597	199.95
3	-2.7539	199.95
4	-21.105	199.95
5	-25.553	199.95

MINIMUM VALUES	
ELEM	5
VALUE	-25.553

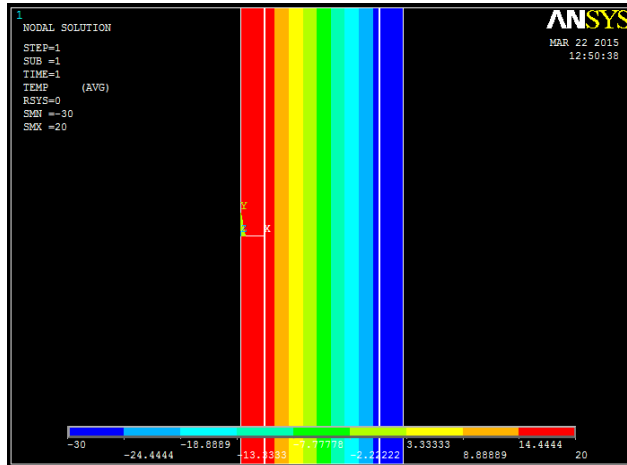
MAXIMUM VALUES	
ELEM	1
VALUE	17.799

Ilustración 114: Promedio de temperaturas de cada elemento y flujo de calor de todos los elementos en el panel de cascarilla de arroz más almidón de yuca

Se puede observar la temperatura en la columna izquierda y el flujo de calor en la derecha de cada elemento que conforma el panel tipo sándwich de cascarilla de arroz más almidón de yuca.

El máximo valor de temperatura se encuentra en el elemento 1, que corresponde al fluido caliente con un valor de $17,799 \text{ }^\circ\text{C}$. El mínimo valor lo tiene el elemento 5 con $-25,553 \text{ }^\circ\text{C}$. El flujo de calor por unidad de tiempo se mantiene constante a lo largo de todo el panel.

4.5.1.5.2 Panel de poliestireno expandido



```
PRINT TEMP MODAL SOLUTION PER NODE
**** POST1 MODAL DEGREE OF FREEDOM LISTING ****
LOAD STEP= 1 SUBSTEP= 1
TIME= 1.0000 LOAD CASE= 0
NODE TEMP
1 20.000
2 18.408
3 18.408
4 -26.783
5 -26.784
6 -30.000
MAXIMUM ABSOLUTE VALUES
NODE 6
VALUE -30.000
```

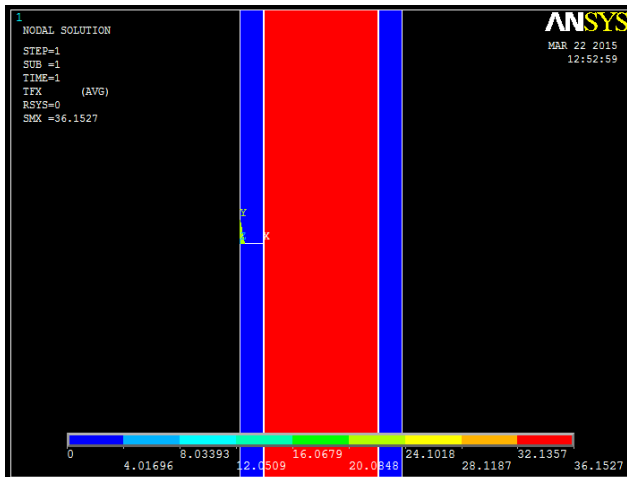
Temperaturas por cada nodo en el panel de poliestireno expandido

Distribución de temperaturas en el panel de poliestireno expandido

Ilustración 115: Gráficos de estudios realizados en Programa ANSYS
Fuente: Autor

Se puede observar la distribución de temperaturas en la escala de colores a lo largo del panel tipo sándwich con aislamiento térmico de poliestireno expandido, siendo de 20 °C en el nodo 1 y de -30 °C en el nodo 6, debido a la convección de aire. Además se pueden analizar las temperaturas superficiales en cada uno sus nodos, como se indica en el gráfico anterior.

Flujo de calor del poliestireno expandido



```
PRINT HEAT REACTION SOLUTIONS PER NODE
**** POST1 TOTAL REACTION SOLUTION LISTING ****
LOAD STEP= 1 SUBSTEP= 1
TIME= 1.0000 LOAD CASE= 0
NODE HEAT
1 72.305
6 -72.305
```

Flujo de calor por unidad de área en la dirección x en el panel de poliestireno expandido

Flujo de calor por unidad de tiempo en el panel de poliestireno expandido

Ilustración 116: Gráficos de estudios realizados en Programa ANSYS
Fuente: Autor

Considerando la gráfica, el flujo de calor por unidad de área es igual a $36,1527 \text{ W/m}^2$ y el flujo de calor por unidad de tiempo equivale a $72,305 \text{ W}$. El signo negativo se debe a que el calor se traslada en dirección de la temperatura decreciente.

```

PRINT ELEMENT TABLE ITEMS PER ELEMENT
***** POST1 ELEMENT TABLE LISTING *****

  STAT   CURRENT   CURRENT
  ELEM   TEMP      SMIS1
  1      19.204     72.305
  2      18.408     72.305
  3      -4.1877    72.305
  4      -26.783    72.305
  5      -28.392    72.305

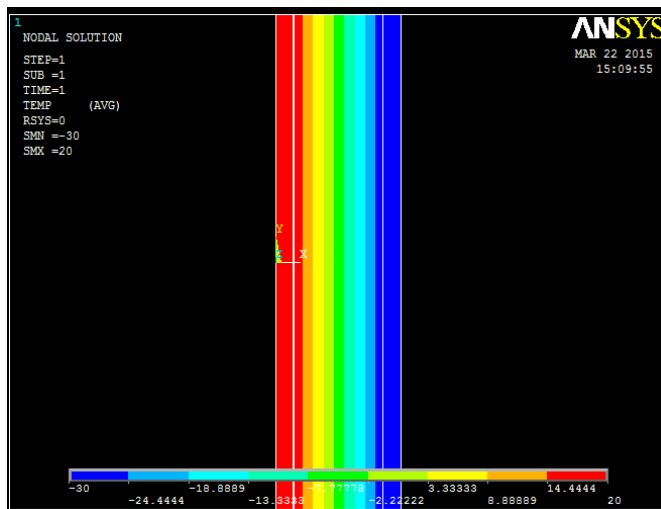
MINIMUM VALUES
ELEM      5          4
VALUE    -28.392    72.305

MAXIMUM VALUES
ELEM      1          1
VALUE     19.204    72.305
    
```

Ilustración 117: Promedio de temperaturas de cada elemento y flujo de calor de todos los elementos en el panel de poliestireno expandido
Fuente: Autor

En la ilustración se puede observar la temperatura en la columna izquierda y el flujo de calor en la derecha de cada elemento del panel tipo sándwich de poliestireno expandido. El máximo valor de temperatura se encuentra en el elemento 1, que corresponde al fluido caliente, con un valor de $19,204 \text{ }^\circ\text{C}$, y el mínimo valor lo tiene el elemento 5, con $-28,392 \text{ }^\circ\text{C}$. El flujo de calor por unidad de tiempo se mantiene constante a lo largo de todo el panel.

4.5.1.5.3 Panel de poliuretano



Distribución de temperaturas en el panel de poliuretano

```

PRINT TEMP NODAL SOLUTION PER NODE
***** POST1 NODAL DEGREE OF FREEDOM LISTING *****

LOAD STEP= 1  SUBSTEP= 1
TIME= 1.000  LOAD CASE= 0

  NODE   TEMP
  1      20.000
  2      19.007
  3      19.006
  4      -27.993
  5      -27.993
  6      -30.000

MAXIMUM ABSOLUTE VALUES
NODE      6
VALUE    -30.000
    
```

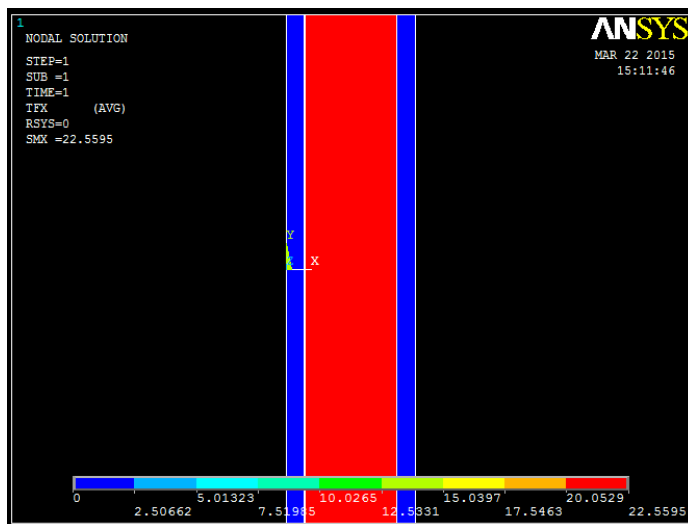
Temperaturas por cada nodo en el panel de poliuretano

Ilustración 118: Gráficos de estudios realizados en Programa ANSYS
Fuente: Autor

En la ilustración se puede observar la distribución de temperaturas en la escala de colores a lo largo del panel tipo sándwich con aislamiento térmico de poliuretano, siendo de $20 \text{ }^\circ\text{C}$

en el nodo 1 y de $-30\text{ }^{\circ}\text{C}$ en el nodo 6, debido a la convección de aire. Además se pueden analizar las temperaturas superficiales en cada uno sus nodos.

Flujo de calor del poliuretano



```
PRINT HEAT REACTION SOLUTIONS PER NODE
**** POST1 TOTAL REACTION SOLUTION LISTING ****
LOAD $STEP= 1 SUBSTEP= 1
TIME= 1.0000 LOAD CASE= 0
NODE HEAT
1 45.119
6 -45.119
```

Flujo de calor por unidad de área en la dirección x en el panel de poliuretano

Flujo de calor por unidad de tiempo en el panel de poliuretano

Ilustración 119: Gráficos de estudios realizados en Programa ANSYS

Fuente: Autor

Considerando el gráfico, el flujo de calor por unidad de área es igual a $22,5595\text{ W/m}^2$ y el flujo de calor por unidad de tiempo equivale a $45,119\text{ W}$. El signo negativo se debe a que el calor se traslada en dirección de la temperatura decreciente.

```
PRINT ELEMENT TABLE ITEMS PER ELEMENT
**** POST1 ELEMENT TABLE LISTING ****
STAT CURRENT CURRENT
ELEM TEMP SMIS1
1 19.503 45.119
2 19.006 45.119
3 -4.4931 45.119
4 -27.993 45.119
5 -28.996 45.119
MINIMUM VALUES
ELEM 5 4
VALUE -28.996 45.119
MAXIMUM VALUES
ELEM 1 2
VALUE 19.503 45.119
```

Ilustración 120: Promedio de temperaturas de cada elemento y flujo de calor de todos los elementos en el panel de poliuretano

Fuente: Autor

En la ilustración se puede observar la temperatura en la columna izquierda y el flujo de calor en la derecha de cada elemento del panel tipo sándwich de poliestireno expandido.

El máximo valor de temperatura se encuentra en el elemento 1, que corresponde al fluido caliente, con un valor de $19,503\text{ }^{\circ}\text{C}$, y el mínimo valor lo tiene el elemento 5 con $-28,996\text{ }^{\circ}\text{C}$. El flujo de calor por unidad de tiempo se mantiene constante a lo largo de todo el panel.

4.5.1.6 Resumen de resultados

Panel metálico e= 0.50mm , y con aislamiento térmico e= 50mm				
VARIABLES	UNIDADES	PANEL CON AISLAMIENTO		
		CASCARILLA DE ARROZ MÁS ALMIDÓN DE YUCA	POLIESTIRENO EXPANDIDO	POLIURETANO
TEMPERATURA FLUIDO CALIENTE	°C	20	20	20
TEMPERATURA FLUIDO FRIO	°C	-30	-30	-30
FLUJO DE CALOR POR UNIDAD AÉREA	w/m ²	99,9738	36,1527	22,5595
FLUJO DE CALOR POR UNIDAD AÉREA	W	199,95	72,305	22,5595
GRADIENTE DE TEMPERATURA	°C/m	734,022	903,817	939,981

Tabla 12: Resumen de resultados

Fuente: Autor

4.5.1.7 Proyecciones de los espesores de los paneles

Espesor (mm)	Cascarilla de arroz + almidón de yuca (W/m ²)	Poliestireno expandido (W/m ²)	Poliuretano (W/m ²)
50	99,97	35,15	22,55
70	77,28	26,55	16,39
80	69,4	23,44	14,42
100	57,65	18,99	11,62
150	40,5	12,87	7,83
200	31,22	9,74	5,9
280	22,84	7,01	4,23
300	21,4	6,55	3,95

Tabla 13: Proyecciones de los espesores de los paneles

Fuente: Autor

4.5.1.8 Conclusiones de la propuesta

Al comparar los resultados obtenidos del análisis térmico de los paneles tipo sándwich, los cuales fueron realizados con las mismas dimensiones geométricas e igual material como chapas metálicas, se determinó que el mejor aislante térmico es el poliuretano, seguido por el poliestireno expandido y, por último, la cascarilla de arroz con almidón de yuca.

Para las condiciones térmicas propuestas en este análisis se determinó que se necesita un espesor de aislamiento térmico de arroz aglutinado con almidón de yuca de 280 mm y 80 mm de poliestireno expandido para tener propiedades térmicas parecidas a las del poliuretano de 50 mm.

Es necesario realizar otra propuesta puesto que un panel de 280 mm es excesivamente ancho, lo que lo vuelve un material caro y de poca efectividad constructiva.

4.5.2 CONTRAPROPUESTA

Al no obtener los resultados esperados, se realiza una contrapropuesta, en la cual se aprovechan las propiedades térmicas y acústicas de la cascarilla sin ser mezclada con aglutinantes ni tampoco sometida a compresión. Por esta razón se hace una fusión de la propuesta anterior, donde la cascarilla molida y mezclada con el almidón de yuca servirá

de esqueleto para darle estabilidad mecánica y la cascarilla de arroz “pura” ocupará la mayor parte del panel mejorando sus propiedades térmico–acústicas.

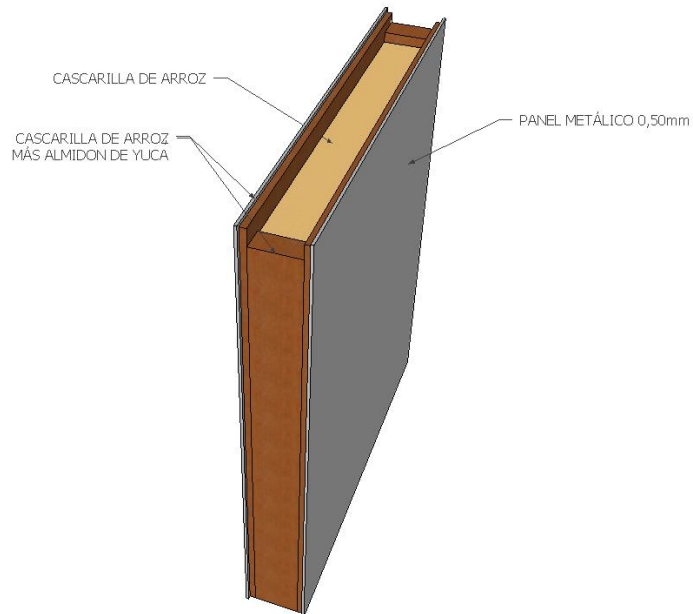


Ilustración 121: Descripción gráfica de la contrapropuesta
Fuente: Autor

4.5.2.1 Geometría

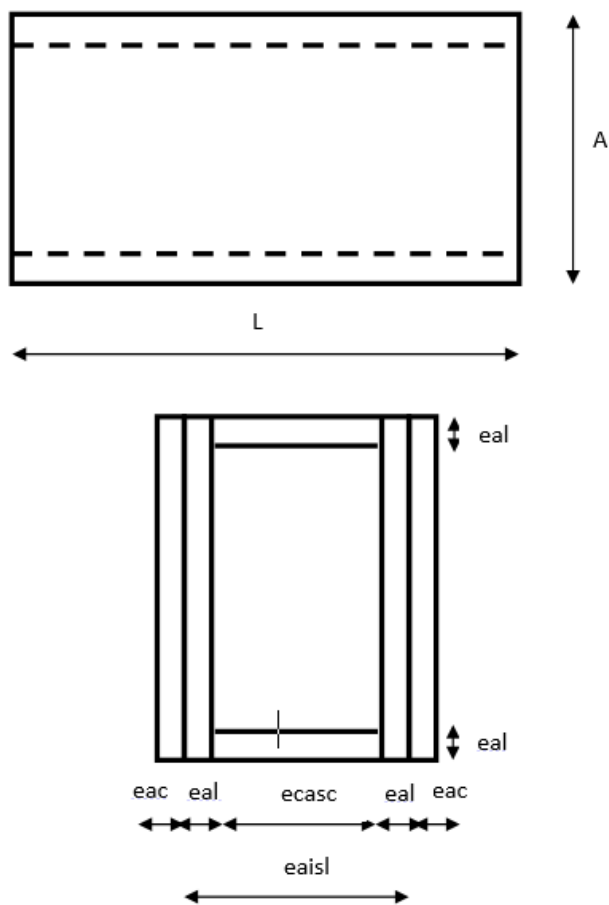


Ilustración 122: Medidas del panel tipo sándwich
Fuente: Autor

Descripción	Simbología	Valor	Unidades
Largo	L	2	m
Ancho	A	1	m
Espesor del acero	eac	0,5	mm
Espesor de la cascarilla de arroz	ecasc	40	mm
Espesor de la cascarilla de arroz más almidón de yuca	eal	5	mm

Nota: El espesor del aislante es igual a la suma de los espesores de la cascarilla de arroz más el almidón de yuca (eal) y de la cascarilla de arroz (ecasc).

4.5.2.2 Esquema del panel propuesto

Descripción	Simbología	Conductividad térmica	Unidad	Fuente
Cascarilla de arroz más almidón de yuca	kal	0,1362	W/m°K	Calero y Vásquez, 2012.
Cascarilla de arroz	Kcasc	0,036	W/m°K	Giovanna Cadena y Bula Silvera, 2002, pp. 5-8.
Acero prepintado galvanizado A792	Kac	45	W/m°K	Apéndice A1 del libro <i>Transferencia de calor</i> de Incropera & De Witt

Tabla 14: Esquema del panel propuesto

4.5.2.3 Condiciones térmicas

El panel propuesto se va a estudiar y considerar sobre la base de las condiciones térmicas expuestas para los paneles anteriormente analizados.

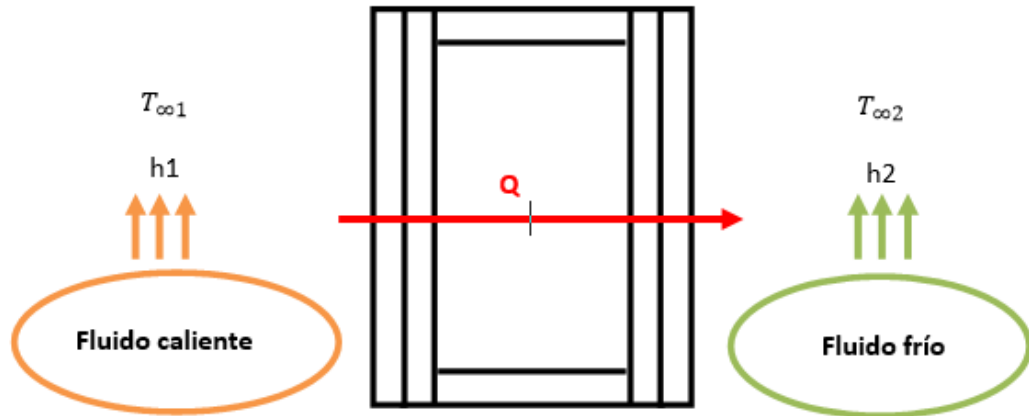


Ilustración 123: Transferencia de calor en el panel propuesto y sus parámetros térmicos
Fuente: Autor

Descripción	Simbología	Valor	Unidad
FLUIDO CALIENTE (Temperatura ambiente)			
Temperatura del fluido caliente (ambiente)	$T_{\infty 1}$	20	°C
Coeficiente de convección del fluido caliente	h1	22,71	$\left[\frac{W}{m^2 * ^\circ K} \right]$
Velocidad del viento del fluido caliente	v1	3,35	m/s
Fuente: ASHARE. Fund 75 (p. 357)			
FLUIDO FRÍO			
Temperatura del fluido frío (aire)	$T_{\infty 2}$	-30	°C
Viscosidad cinemática del aire a -30 °C	ν	1,09E-5	m^2/s
Prandelt del aire a -30 °C	Pr	0,72238	Adimensional
Conductividad térmica del aire a -30 °C	k_{air}	2,17E-2	W/m°K
Fuente: Propiedades térmicas del aire (Transferencia de Calor de Incropera)			
Velocidad del viento	v2	6	m/s
Reynolds	Re	5,50E+5	Adimensional
Nusselt	Un	517,6667404	Adimensional
Coeficiente de convección del fluido caliente	h2	11,24	$\left[\frac{W}{m^2 * ^\circ K} \right]$

4.5.2.4 Circuito térmico del panel propuesto

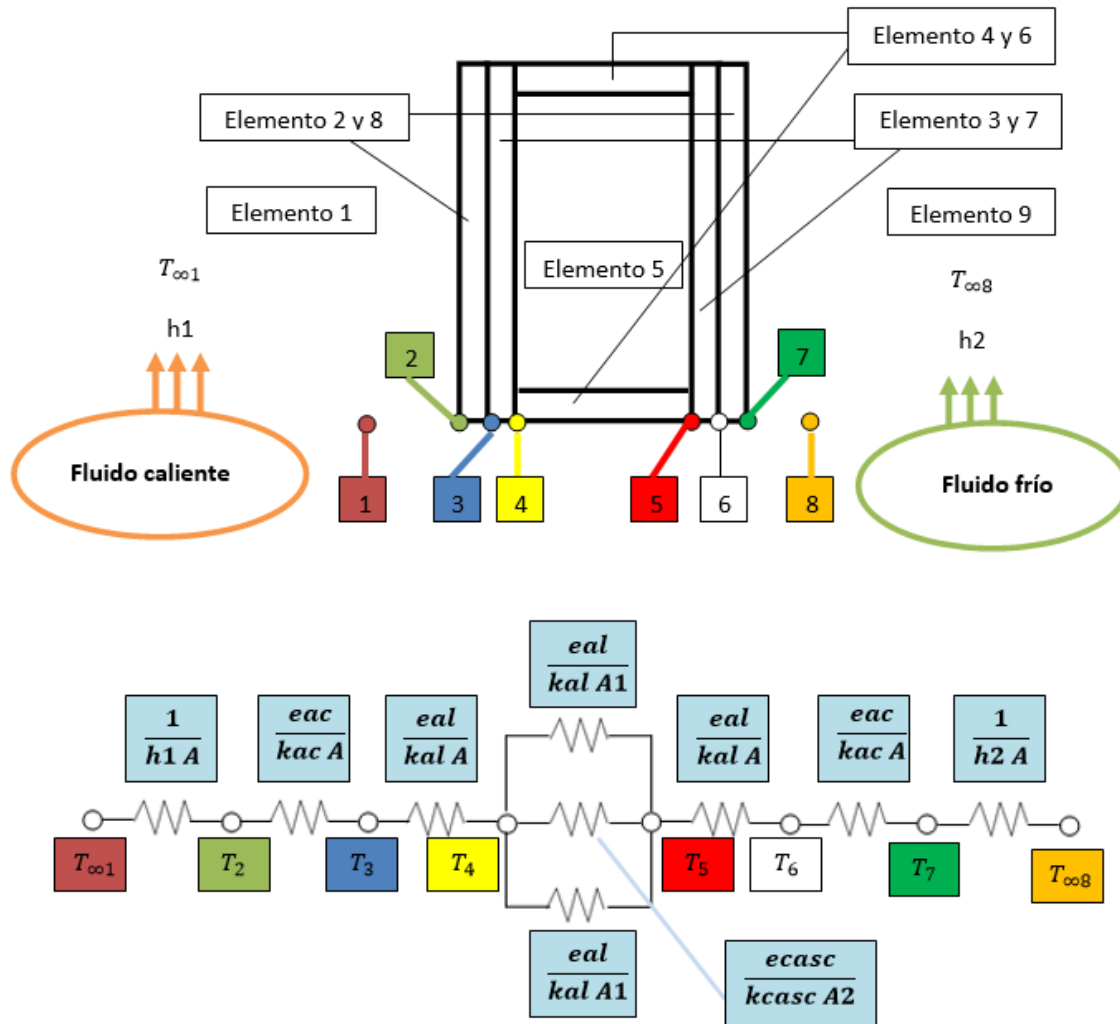


Ilustración 124: Circuito térmico equivalente del panel propuesto
Fuente: Autor

Es importante señalar que el área se calcula de la siguiente manera:

$$A = L * A$$

$$A1 = L * eal$$

$$A2 = L * (A - 2eal)$$

Elemento 1: Fluido caliente

Elementos 2 y 8: Acero prepintado de galvalume A792

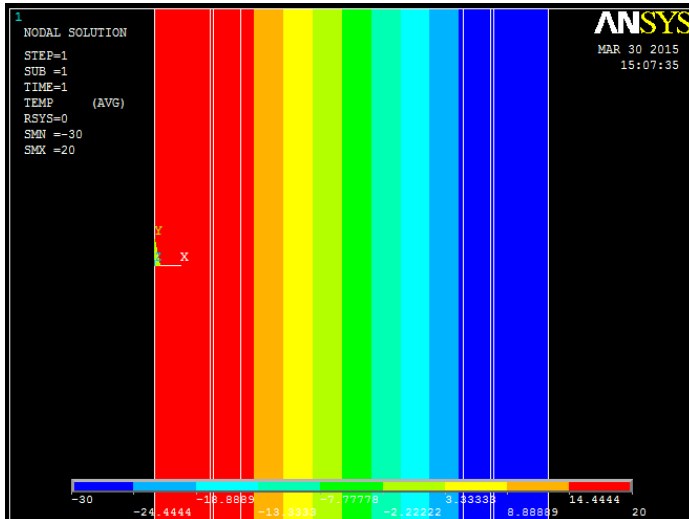
Elementos 3 y 7: Cascarilla de arroz más almidón de yuca a lo largo del panel

Elemento 5: Cascarilla de arroz

Elementos 4 y 6: Cascarilla de arroz más almidón de yuca en las bases del panel

Elemento 9: Fluido frío

4.5.2.4.1 Panel de cascarilla de arroz más almidón de yuca más cascarilla de arroz



Distribución de temperaturas del panel propuesto

```
PRINT TEMP NODAL SOLUTION PER NODE
**** POST1 NODAL DEGREE OF FREEDOM LISTING ****
LOAD STEP= 1 SUBSTEP= 1
TIME= 1.0000 LOAD CASE= 0

NODE    TEMP
1      20.000
2      18.309
3      18.309
4      16.900
5     -25.174
6     -26.584
7     -26.584
8     -30.000

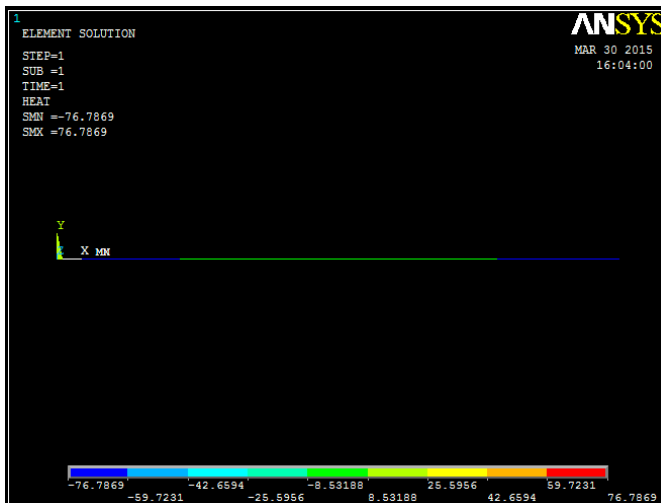
MAXIMUM ABSOLUTE VALUES
NODE      8
VALUE   -30.000
```

Temperaturas por cada nodo en el panel propuesto

Ilustración 125: Gráficos de estudios realizados en programa ANSYS
Fuente: Autor

En la ilustración se puede observar, en la escala de colores, la distribución de temperaturas a lo largo del panel propuesto, siendo de 20 °C en el nodo 1 y de -30 °C en el nodo 8, debido a la convección de aire. Además se pueden analizar las temperaturas superficiales en cada uno sus nodos.

Flujo de calor



Vector del flujo de calor por unidad de tiempo en la dirección x en el panel propuesto

```
PRINT HEAT REACTION SOLUTIONS PER NODE
**** POST1 TOTAL REACTION SOLUTION LISTING ****
LOAD STEP= 1 SUBSTEP= 1
TIME= 1.0000 LOAD CASE= 0

NODE    HEAT
1      76.787
8     -76.787
```

Flujo de calor por unidad de tiempo en el panel propuesto

Ilustración 126: Gráficos de estudios realizados en Programa ANSYS
Fuente: Autor

El flujo de calor es la velocidad con la que se transfiere el calor en la dirección x por área unitaria perpendicular a la dirección de transferencia. Por lo tanto, considerando la

ilustración, el flujo de calor por unidad de tiempo equivale a 76,787 W. Es importante señalar que el signo negativo se debe a que el calor se traslada desde la dirección de menor a la de mayor temperatura.

```

PRINT ELEMENT TABLE ITEMS PER ELEMENT
***** POST1 ELEMENT TABLE LISTING *****
  STAT   CURRENT   CURRENT
  ELEM   TEMP      SH181
  1      19.155     76.787
  2      18.309     76.787
  3      17.604     76.787
  4      -4.1374    0.71631
  5      -4.1374    75.354
  6      -4.1374    0.71631
  7      -25.879    76.787
  8      -26.584    76.787
  9      -28.292    76.787

MINIMUM VALUES
ELEM      9          4
VALUE    -28.292    0.71631

MAXIMUM VALUES
ELEM      1          1
VALUE     19.155    76.787
  
```

Ilustración 127: Promedio de temperaturas de cada elemento y flujo de calor de todos los elementos en el panel propuesto

Fuente: Autor

En la ilustración anterior se puede observar la temperatura en la columna izquierda y el flujo de calor en la derecha de cada elemento del panel propuesto. El máximo valor de temperatura se encuentra en el elemento 1, que corresponde al fluido caliente, con un valor de 19,155 °C, y el mínimo valor lo tiene el elemento 9, con -28,292 °C. El flujo de calor por unidad de tiempo se mantiene constante a lo largo de todo el panel, excepto en los elementos 4, 5 y 6, ya que en este sector el circuito térmico es en paralelo y el flujo de calor se distribuye para los tres elementos. Es importante señalar que, si consideramos los elementos 4, 5 y 6 como uno solo, el flujo de calor es constante a lo largo del panel.

4.5.2.5 Resumen de resultados

En la tabla expuesta a continuación se puede observar una comparación de los aislamientos evaluados. Se realiza una comparación del flujo de calor por unidad de tiempo, respecto a una temperatura de fluido desde 20 °C a -30 °C.

Variables	Unidades	Panel con aislamiento			
		Cascarilla de arroz más almidón de yuca	Poliestireno expandido	Poliuretano	Panel propuesto
Temperatura del fluido caliente	°C	20	20	20	20
Temperatura del fluido frío	°C	-30	-30	-30	-30
Flujo de calor por unidad de tiempo	W	199,95	72,305	45,119	76,787

Tabla 15: Resumen de resultados

4.5.2.6 Proyecciones en el espesor del panel

A manera de estudio se realiza una proyección donde el aislante posee varios espesores (desde 60 mm hasta 200 mm), con el objetivo de evaluar cuáles son los espesores necesarios para alcanzar el aislamiento térmico del poliuretano.

Espesor De Aislamiento (M) $E_{aisl} = E_{casc} + E_{al}$	Cascarilla De Arroz Mas Almidón De Yuca	Poliestireno Expandido	Poliuretano	Panel Propuesto Con Espesor De Cascarilla De Arroz Mas Almidón De Yuca De 5mm	Panel Propuesto Con Espesor De Cascarilla De Arroz Mas Almidón De Yuca De 10mm
	W	W	W	W	W
50	199.9460896	72.30513604	45.11900464	76.7866658	91.68949515
60	174.3508152	61.23595153	37.97909272	63.44072523	73.48115504
70	154.564835	53.10596568	32.79017196	54.04705314	61.30648518
80	138.811939	46.88171836	28.84869794	47.07644155	52.5927028
90	125.9730523	41.96342471	25.75310038	41.69846468	46.04772114
100	115.3080676	37.97909272	23.25746749	37.42325994	40.95145312
110	106.3079472	34.68575861	21.20278771	33.94317884	36.87082538
120	98.61107429	31.91800783	19.48167971	31.05527256	33.52973809
130	91.9534882	29.55932121	18.01901058	28.62024475	30.74385266
140	86.13800368	27.52525181	16.76063531	26.53931113	28.38539525
150	1.01435134	25.75310038	15.66654666	24.74046992	26.36300632
160	76.46600772	24.19533796	14.70654353	23.17000138	24.60963119
170	72.40122599	22.81527947	13.85739997	21.78701163	23.0749417
180	68.74678299	21.58415798	13.10096138	20.55982046	21.72042686
190	65.44352889	20.47909777	12.42283203	19.46350484	20.51611678
200	62.44316118	19.48167971	11.81145011	18.47818852	19.43833926

Tabla 16: Proyecciones de espesores de los aislantes
Fuente: Autor

4.5.2.7 Conclusiones

- El mejor aislante térmico es el poliuretano ya que tiene una baja conductividad térmica y en el flujo de calor por unidad de tiempo tiende a cero, con la finalidad de que no exista intercambio de calor y conservar los sistemas en las condiciones térmicas deseadas.
- Al comparar los resultados obtenidos del análisis térmico de los paneles tipo sándwich, los cuales fueron realizados con las mismas dimensiones geométricas e igual material como chapa metálica, y diferenciando el material aislante, se determinó que el mejor aislante es el poliuretano, seguido del poliestireno expandido, luego el panel propuesto y, por último, la cascarilla de arroz con almidón de yuca, ya que el flujo de calor por unidad de tiempo arrojó valores de 45,119W, 72,305W, 76,78W y 199,95W, respectivamente, para las condiciones térmicas propuestas.
- Para las condiciones térmicas propuestas en este análisis se determinó que, para igualar o acercarse al flujo de calor obtenido con un panel de poliuretano con espesor de aislamiento de 50 mm, se necesita un espesor de 80 mm. Además se concluye que el panel propuesto practicante alcanza el aislamiento térmico del poliestireno expandido en los 80 mm, como se indica en la tabla siguiente:

	Panel	Espesor de aislamiento (mm)	Flujo de calor (W)
Existente	Poliuretano	50	45,11900464
Existente	Poliestireno expandido	80	46,88171836
Propuesta	Cascarilla de arroz más almidón de yuca	280	45,68655193
Contrapropuesta Opción 1	Panel de cascarilla de arroz más almidón de yuca con espesor de 5 mm	80	47,07644155
Contrapropuesta Opción 2	Panel de cascarilla de arroz más almidón de yuca con espesor de 10 mm	90	46,04772114

- Como ayuda visual se realiza una representación gráfica de los espesores de los paneles que poseen similares características térmicas:

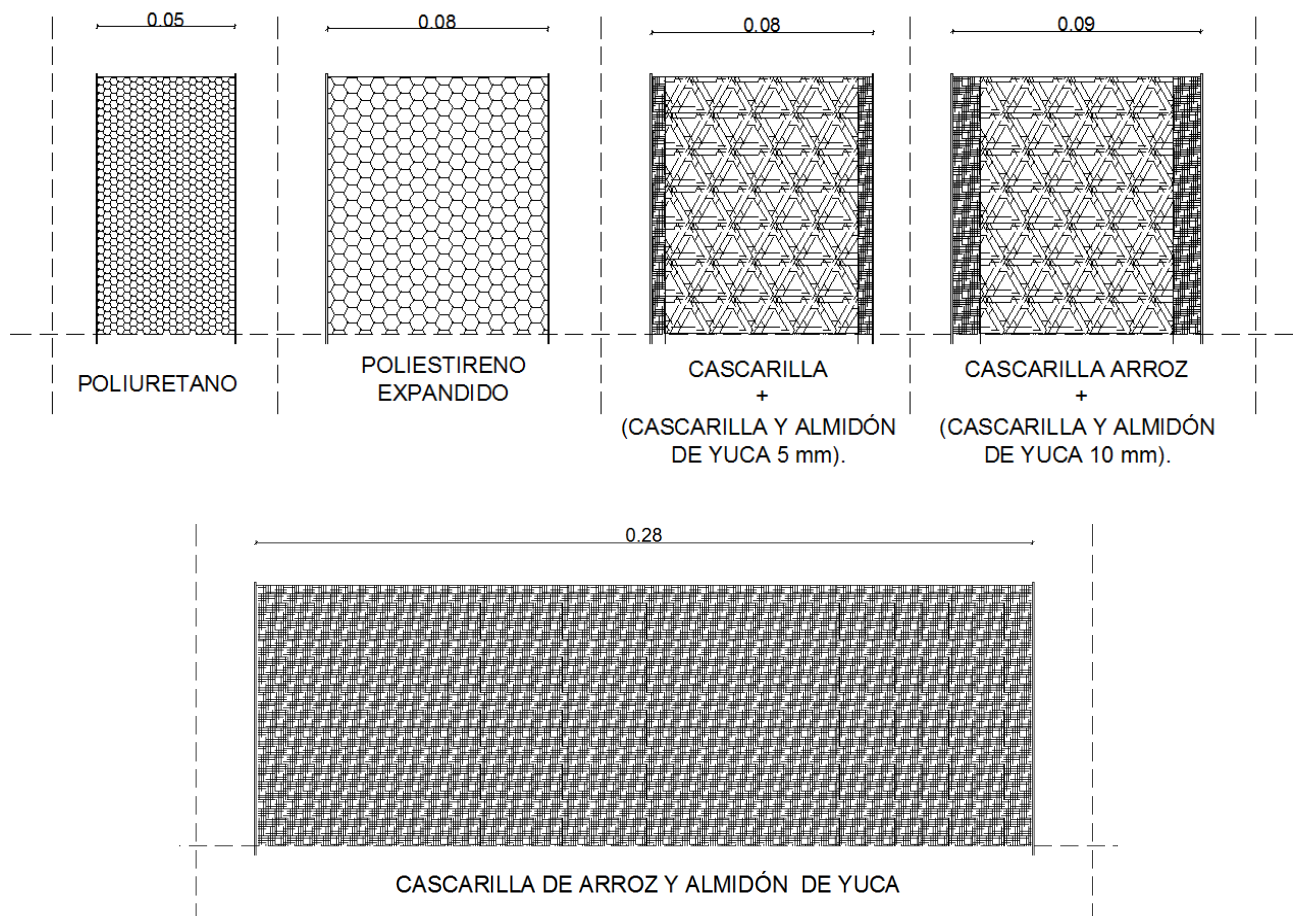


Ilustración 128: Espesores de paneles tipo sándwich de estudio
Fuente: Propia

CAPÍTULO V

5.1 CHAPA Y CONTRACHAPA

Las chapas del panel estarán conformadas por bobinas de acero de un límite elástico mínimo de 220 N/mm², cumpliendo con los requisitos de la norma europea UNE-EN 14509. Las bobinas con las que se fabricarán la chapa y la contrachapa tendrán un tratamiento de galvanizado por inmersión en caliente: aluminio 55%, zinc 43% y silicio 2%. El espesor del acero será de 0,50 mm. Como acabado final tendrá una primera capa de resina epóxica: 5 micras y, para la capa final, tendrá poliéster: 20 micras, cumpliendo con la UNE-EN 14509.

Una vez que la bobina de acero haya sido galvanizada y esté prepintada, pasará por rodillos que darán la forma al panel, ya sean micro U, tableado, diamantado, micronervado, etc. En este caso de estudio, la chapa tendrá forma tableada y la contrachapa, de micro U, puesto que el acabado final es sobrio y, al ser de líneas rectas, facilitará su montaje.



Ilustración 129: Acabado formal de la lámina de acero

Fuente: Autor

5.2 TRASLAPE / JUNTA

Una vez revisados los cinco tipos de juntas en paneles tipo sándwich, se ha decidido para, el presente estudio, utilizar el Tipo III, utilizado para paneles de fachada, ya que tiene la particularidad de esconder el perno de anclaje.

Este tipo de traslape es de fácil plegado, lo que hace que la fabricación sea económica y pueda competir con los paneles comercializados en Ecuador, cuyo traslape es el más sencillo pero deja visto el perno de anclaje. Además, como se pudo observar, el traslape escogido es el de menor transmitancia (de los paneles con perno escondido), lo que le dará mejores características en lo que a aislamiento se refiere.

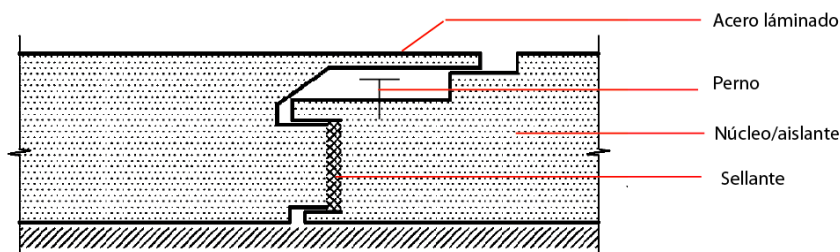


Ilustración 130: Traslape Tipo III

Fuente: Autor

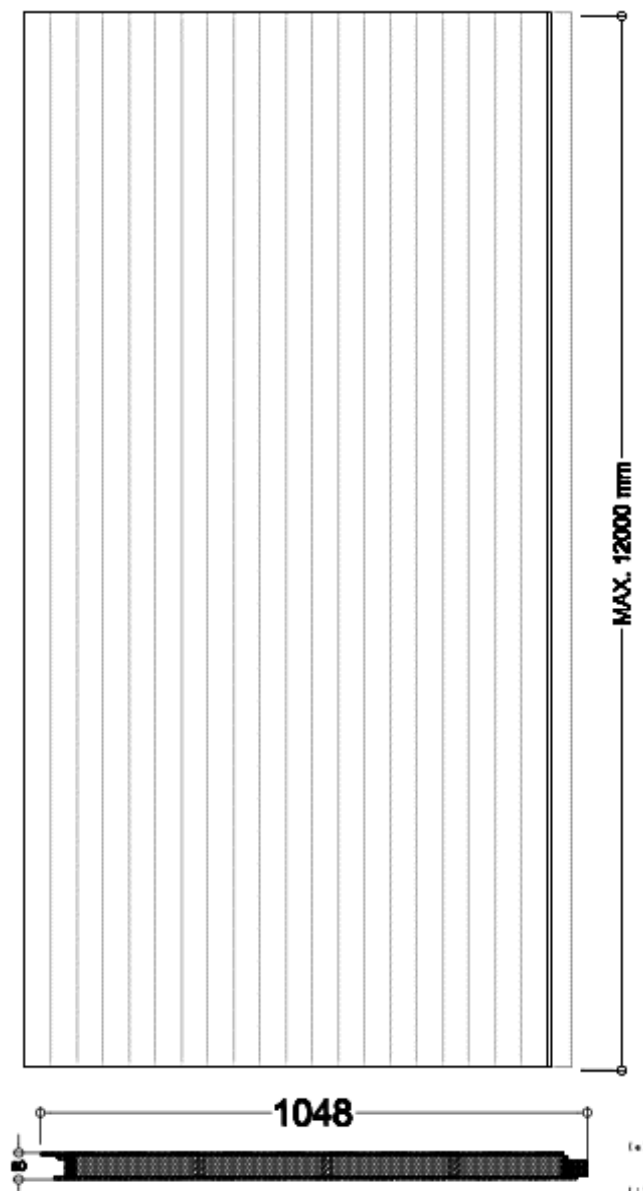
5.3 DISEÑO DEL PANEL

Una vez realizado el estudio del aislamiento térmico, vemos que el panel, si bien no alcanza los niveles de aislamiento de los materiales derivados del petróleo, puede competir con los mismos puesto que los resultados demuestran que se encuentra prácticamente a un centímetro del poliestireno expandido y a tres centímetros del poliuretano.

Para el diseño del panel se tomará el ancho regular de las bobinas en desarrollo 1.060 mm, y útil de 1.003 mm. El largo podrá ser de hasta 12 metros pero, a manera de ejemplo y realización de detalles, se lo realizará de 2 metros.

5.3.1 DIMENSIONAMIENTO (Ver planos anexos)

El panel tendrá un desarrollo 1048 mm, incluyendo los traslapes, pero como ancho útil será de 1003 mm.



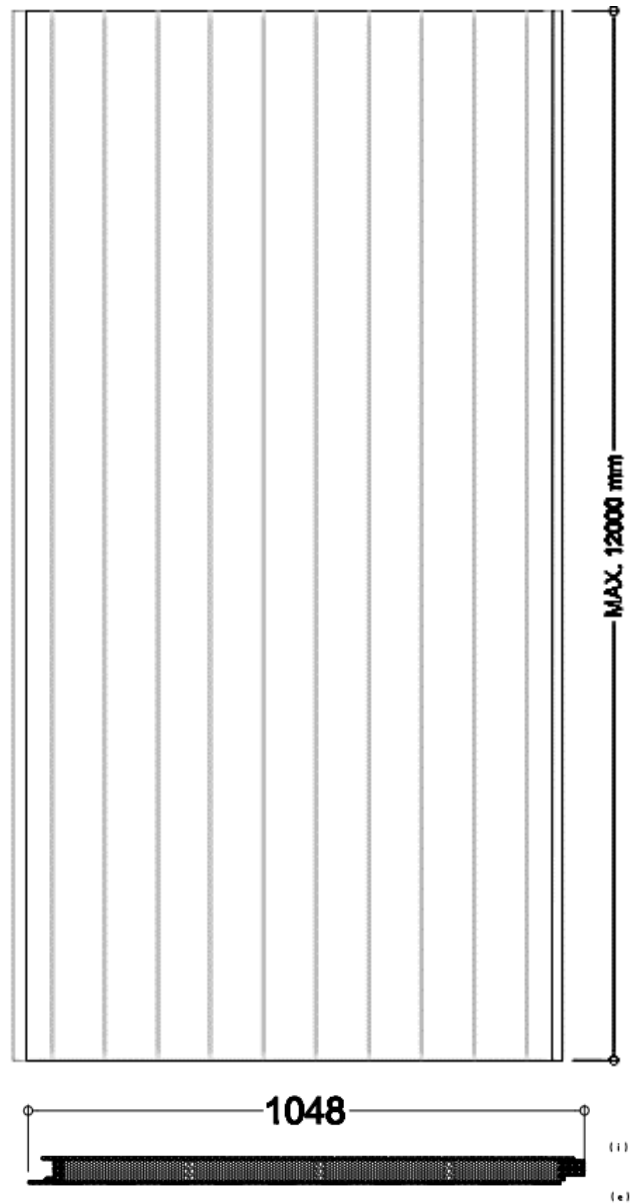
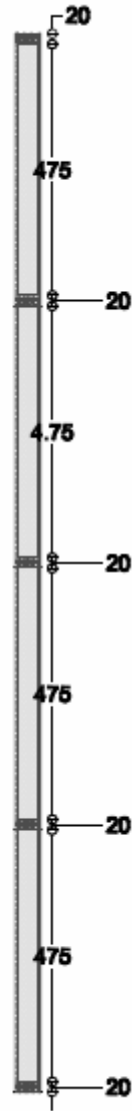
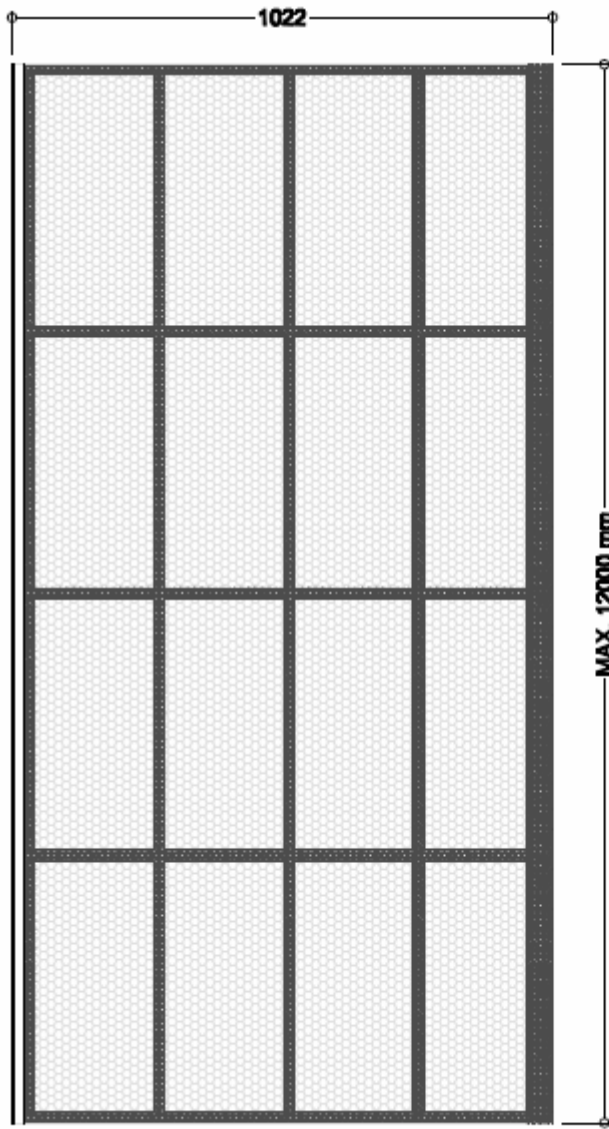


Ilustración 131: Dimensionamiento del panel
Fuente: Autor

Interiormente el panel consta de “divisiones” elaboradas de la mezcla cascarilla de arroz más almidón de yuca, con el objetivo de darle estabilidad mecánica y rigidez del mismo, las mismas están localizadas tanto en el largo como en el ancho.

En el ancho del panel se encuentra, las divisiones están a una distancia equidistante de 245 mm, de centro a centro. El ancho de cada “división” es de 20 mm, a excepción de uno al extremo de las juntas, que es de 50mm.

En lo que respecta al largo, las divisiones del panel están a una distancia equidistante de 495 mm. Las mismas se realizaran conforme el largo del panel hasta 12 metros, pero el de los extremos estarán a la distancia requerida por el panel.



CORTE A - A'



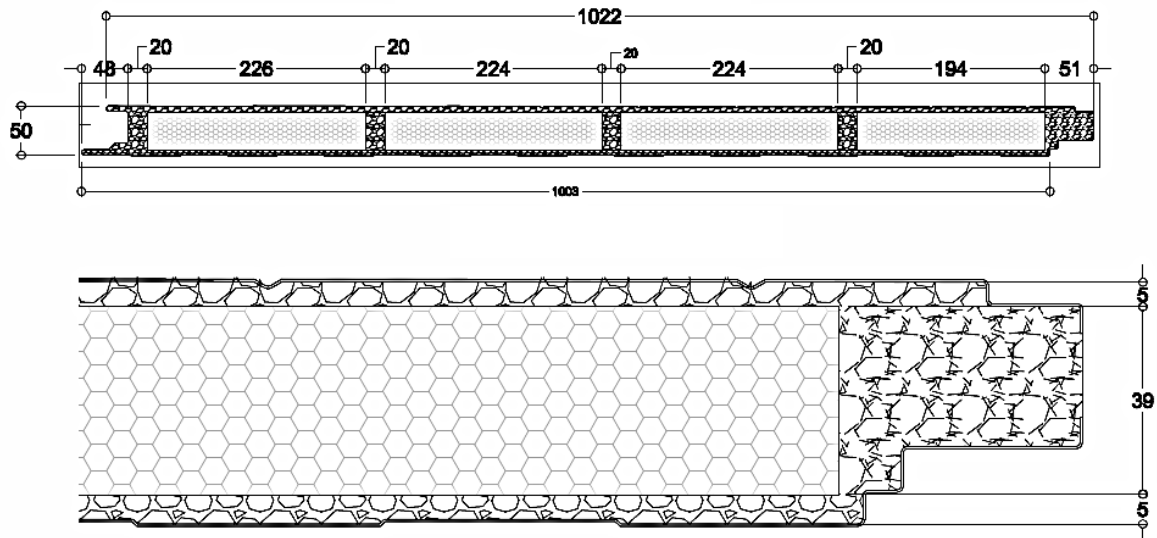


Ilustración 132
Fuente: Autor

5.3.2 DIMENSIONES DE LOS ACABADOS DE LOS PLIEGUES DE LA CHAPA Y LA CONTRACHAPA

Los pliegues de la chapa y contrachapa son los que le darán estabilidad mecánica a la lámina de acero, así como también el acabado final. El mismo ha sido diseñado conforme norma técnica española de paneles sándwich.

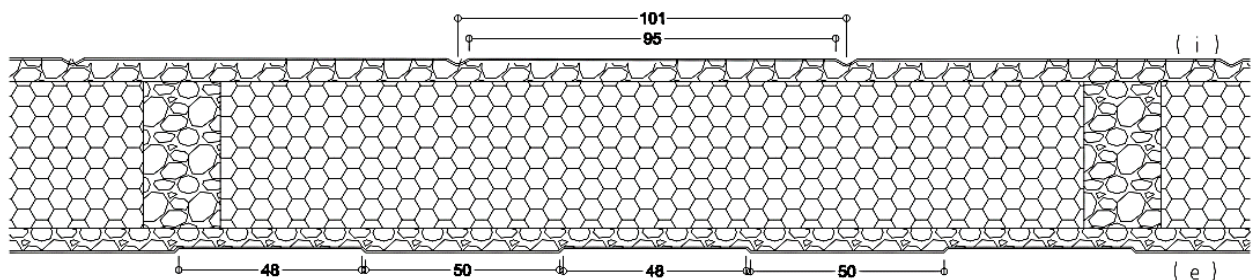


Ilustración 133
Fuente: Autor

5.3.2.1 CONTRACHAPA

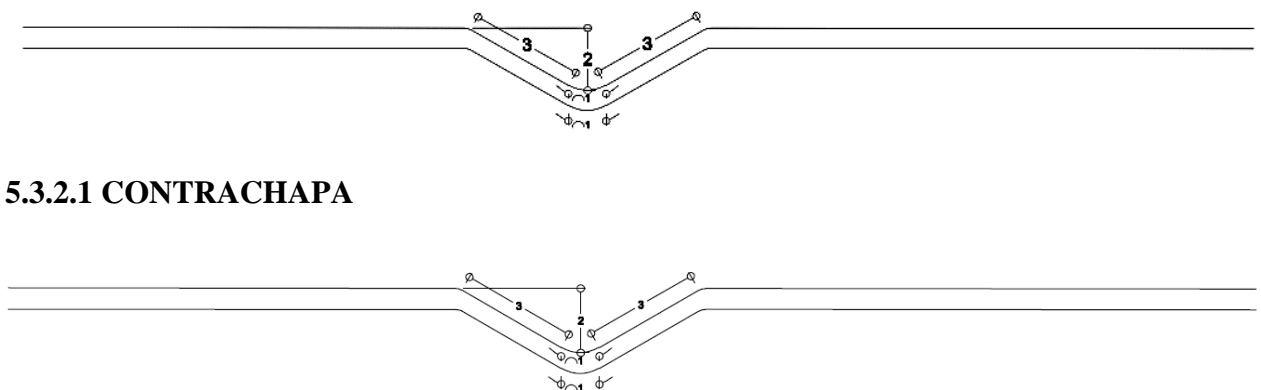


Ilustración 134
Fuente: Autor

5.3.2.2 CHAPA

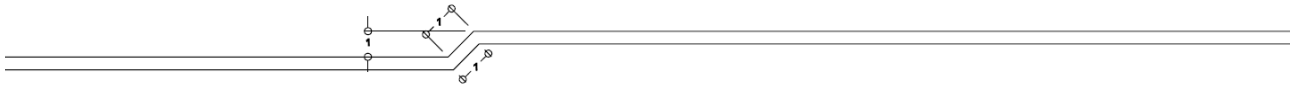


Ilustración 135
Fuente: Autor

5.3.3 TRASLAPE (Ver planos anexos)

La junta es diseñada conforme el Tipo III. Tomando en cuenta el desarrollo del panel, se establecieron sus pliegues con el objetivo de que el ancho útil del panel útil sea de 1 metro (+/- 0,003).

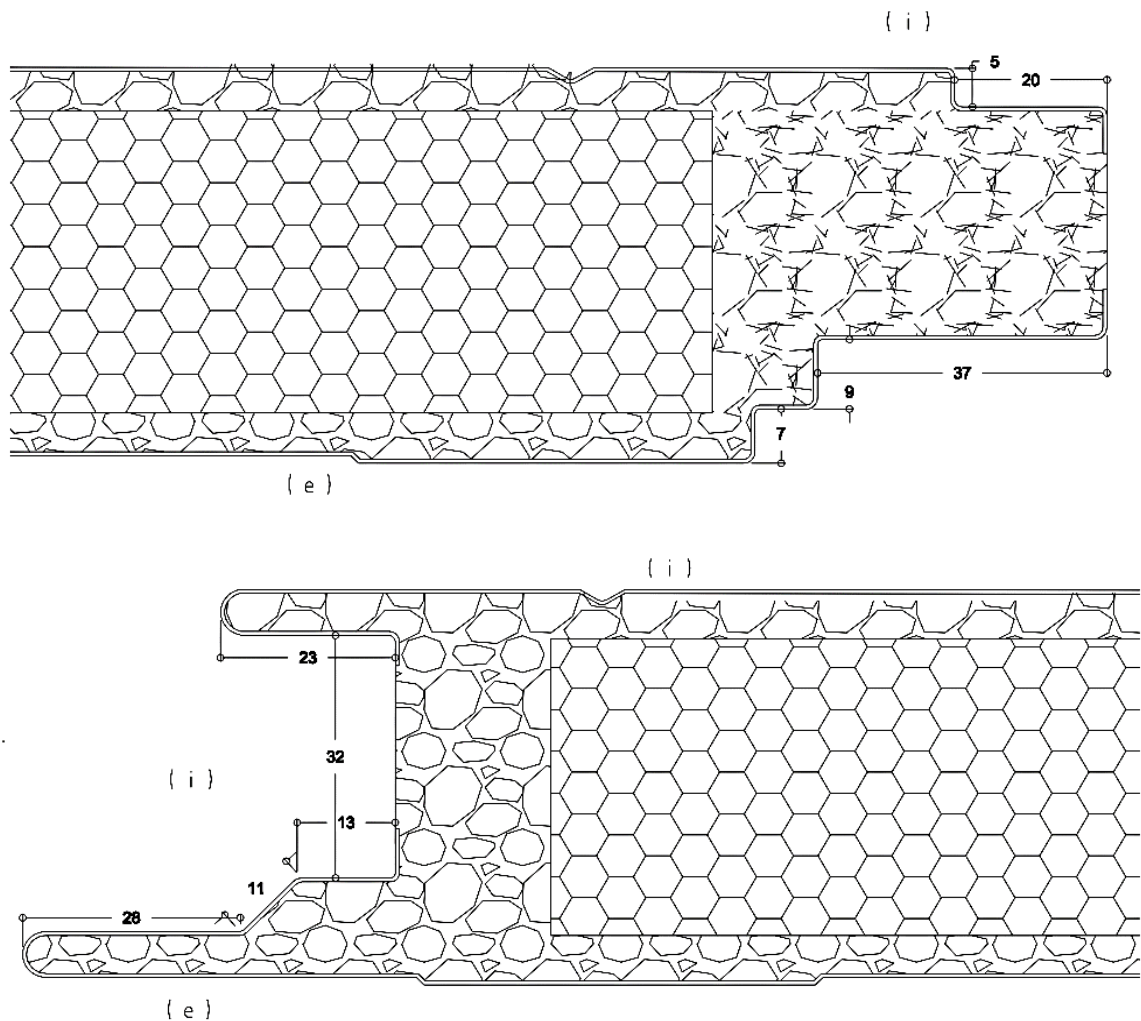


Ilustración 136: Dimensiones del traslape del panel
Fuente: Autor

Como se mencionó anteriormente, este tipo de junta es de pernos ocultos por lo que a continuación se detalla el lugar dónde se colocará el perno autoperforante. Para lograr una junta correcta es importante recordar que se debe sellar con pegante elastomérico.

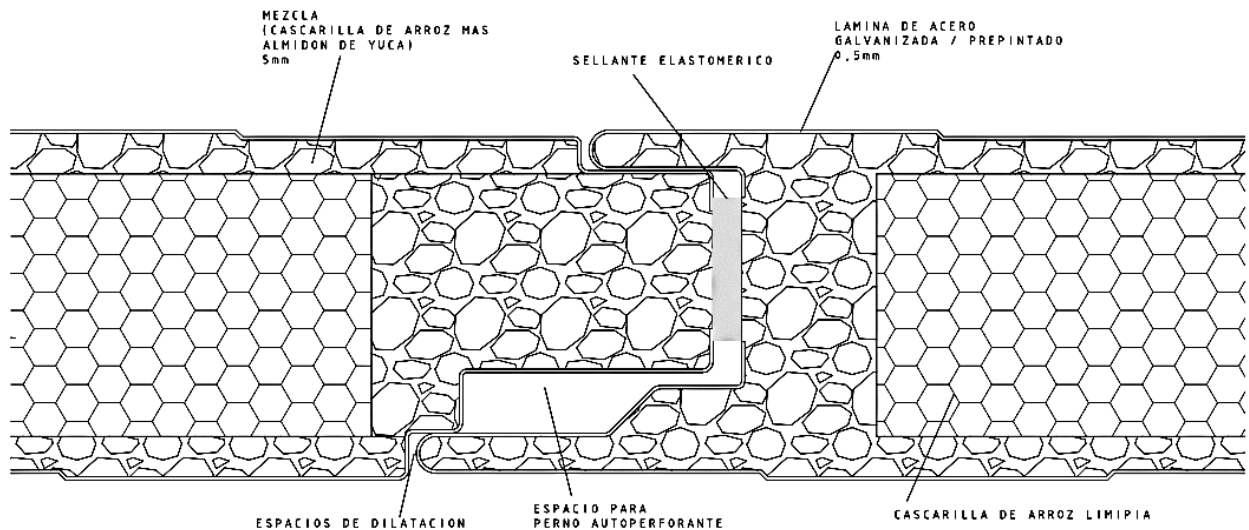


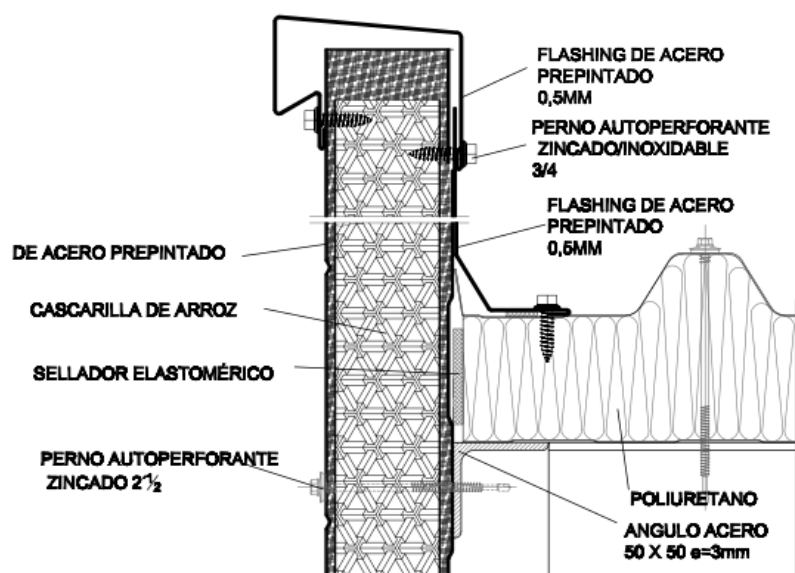
Ilustración 137: Traslape del panel
Fuente: Autor

5.4 DETALLES CONSTRUCTIVOS Y MONTAJE

A continuación se resuelve mediante detalles constructivos los más comunes inconvenientes que sistema de paneles sándwich posee.

Es este punto cabe destacar que pueden existir variantes de los mismos, y que el sistema propuesto es inclusivo al de los paneles existente en el mercado.

5.4.1 DETALLES DE CUBIERTA CON ANTEPECHO Y SIN (Ver planos anexos)



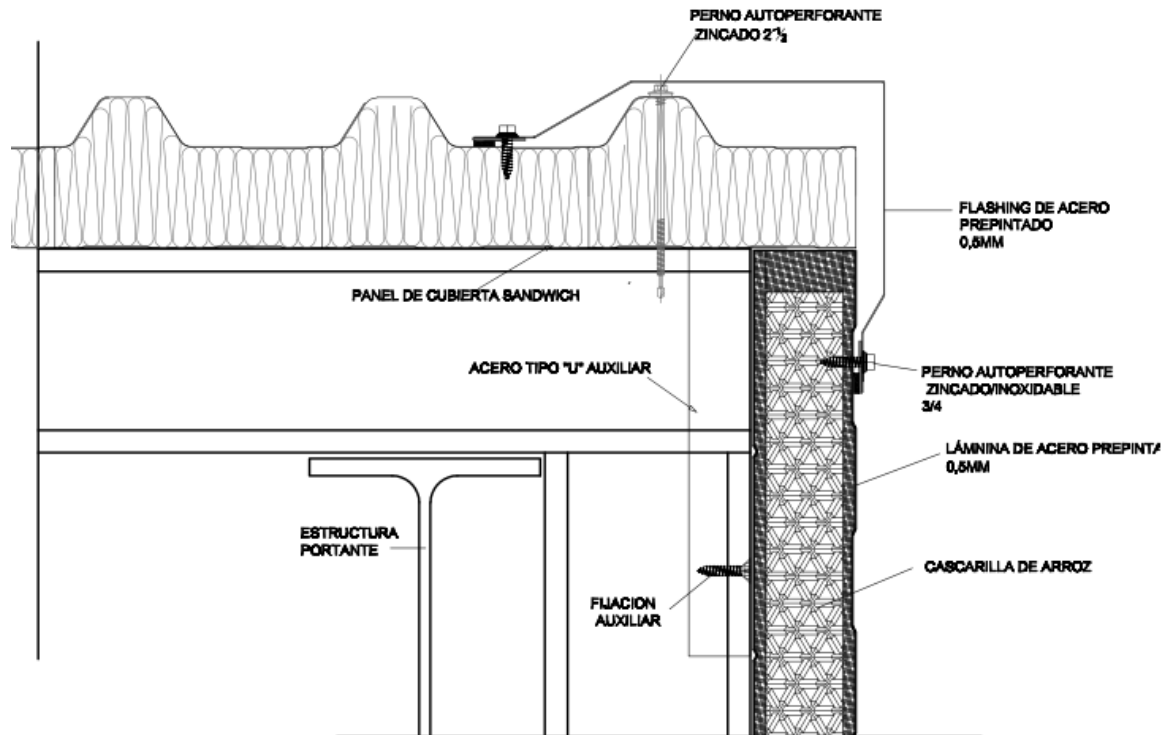
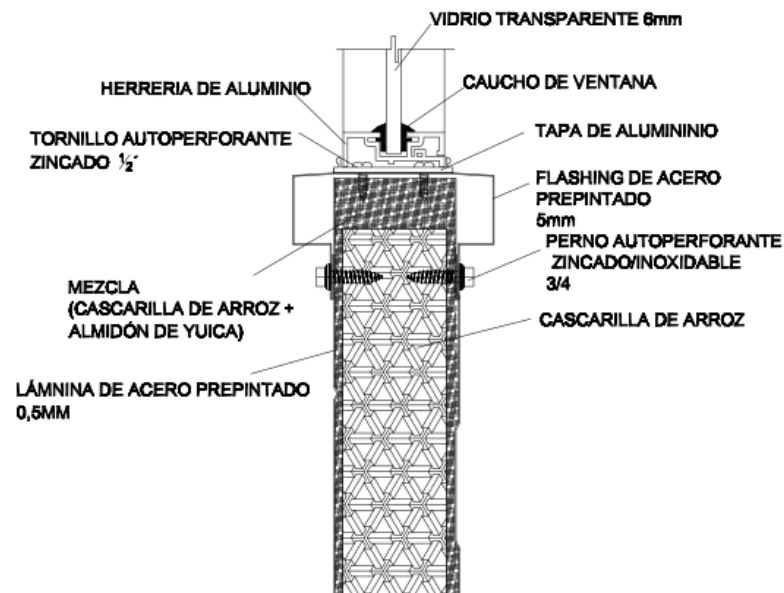


Ilustración 138: Detalle de la cubierta
Fuente: Autor

5.4.2 VENTANAS (Ver planos anexos)



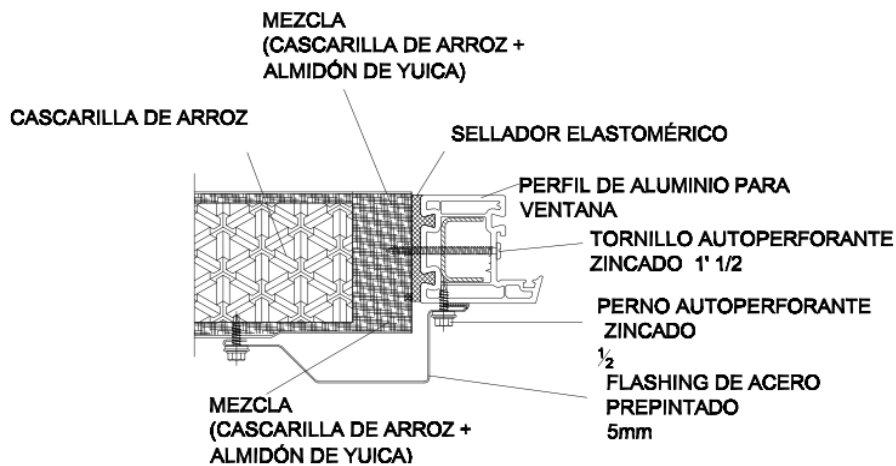


Ilustración 139: Detalle de ventanas, vertical y horizontal
Fuente: Autor

5.4.3 ANCLAJE AL PISO (Ver planos anexos)

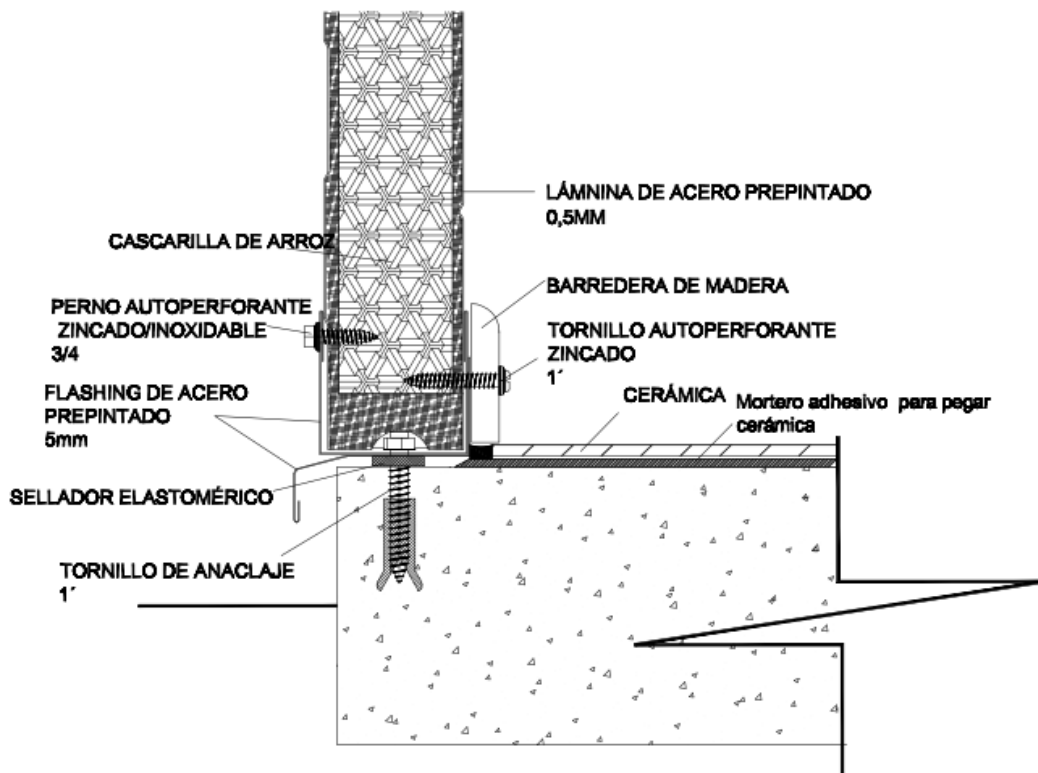


Ilustración 140: Detalle del anclaje al piso
Fuente: Autor

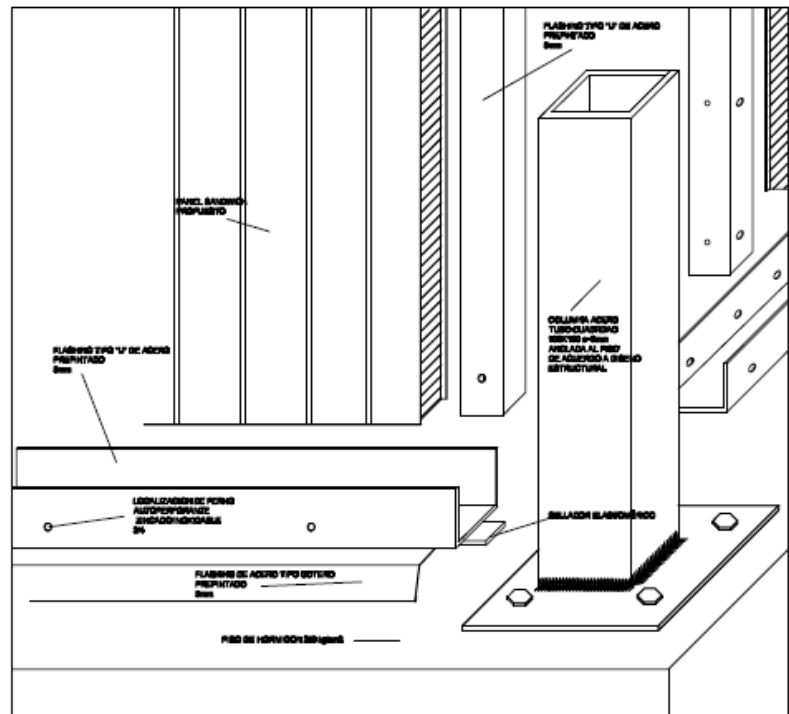
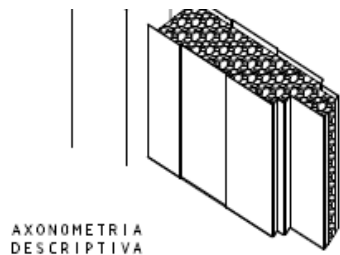


Ilustración 141: Axonometría descriptiva de anclaje al piso
Fuente: Autor

5.4.4 ANCLAJES PISO Y TECHO (Ver planos anexos)

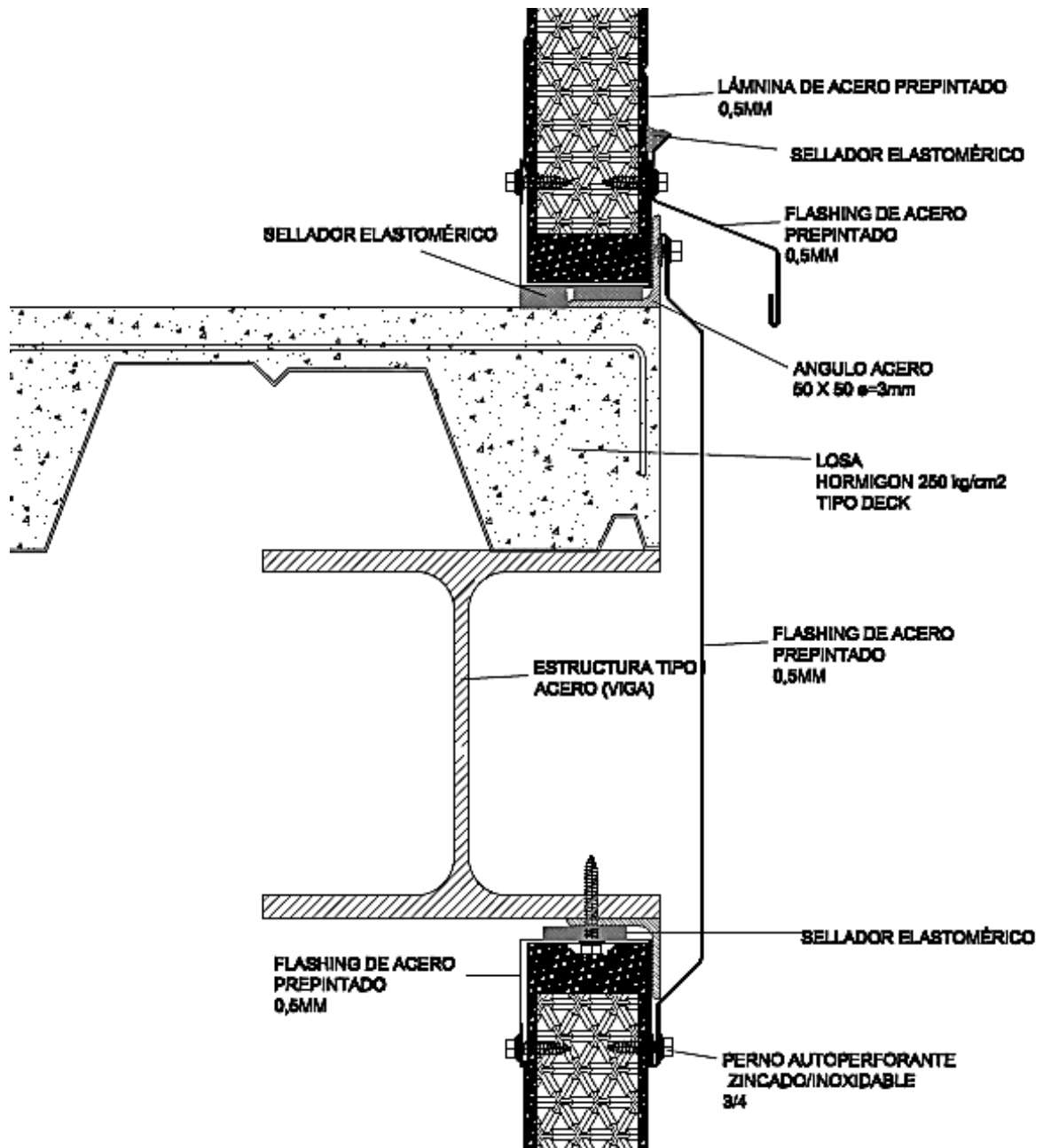


Ilustración 142: Anclaje superior e inferior de entre pisos
Fuente: Autor

5.4.5 SOLUCIONES JUNTA VERTICAL (Ver planos anexos)

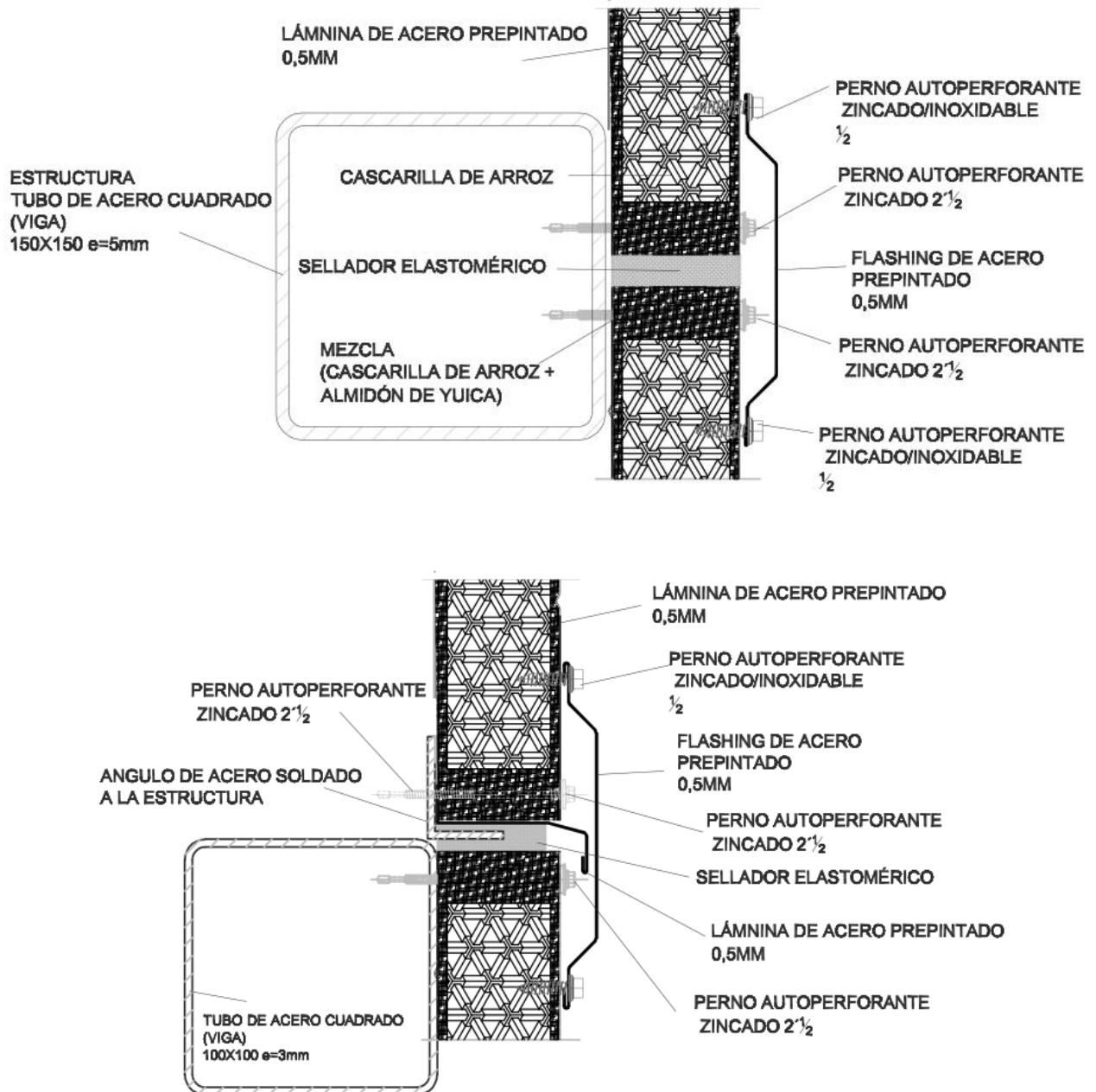


Ilustración 143: Detalle junta vertical
Fuente: Autor

5.4.6 SOLUCION ESQUINA EXTERIOR E INTERIOR (Ver planos anexos)

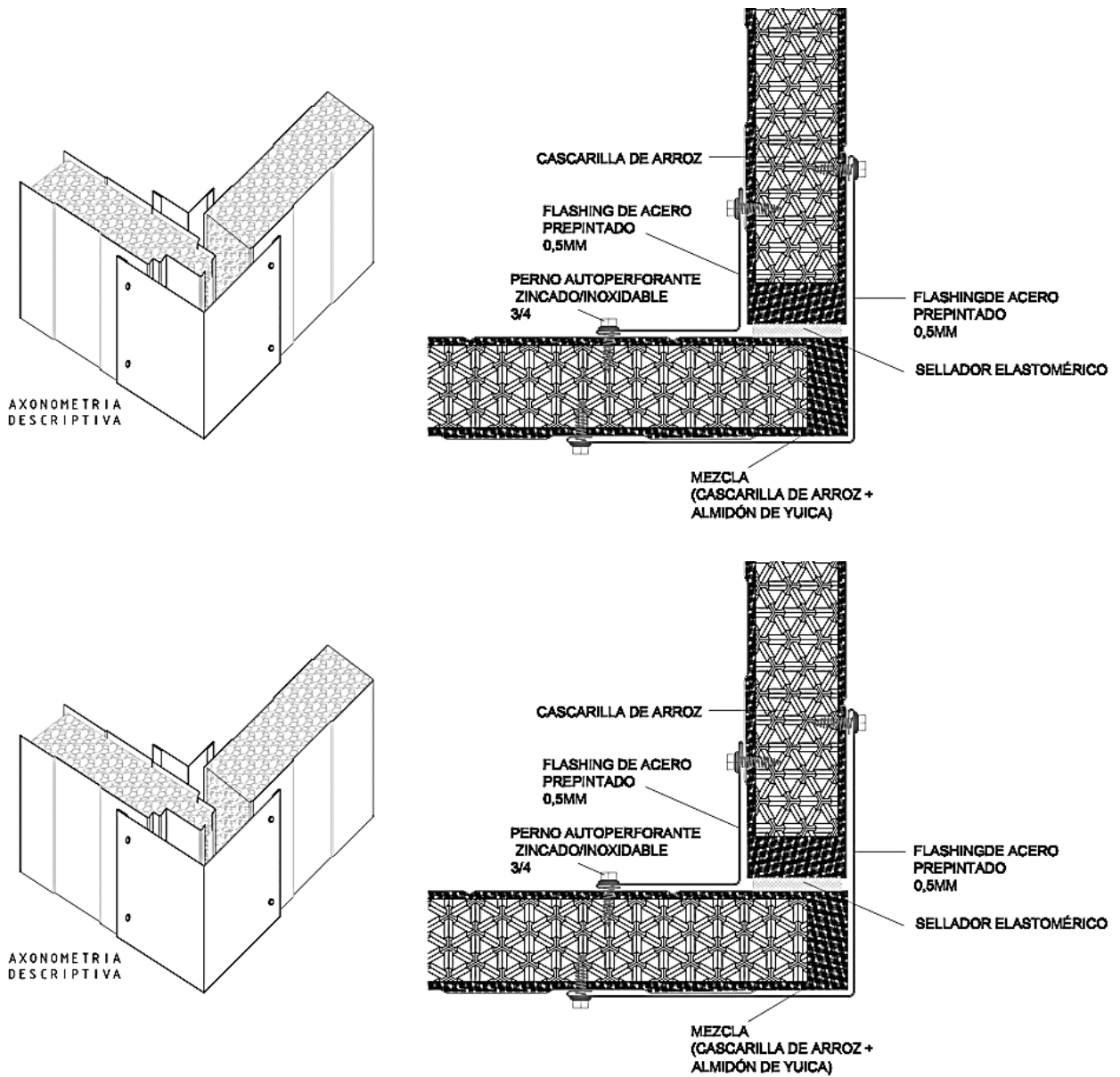


Ilustración 144: Detalles de solución de esquinas

Fuente: Autor

5.4.7 AXONOMETRIAS (Ver planos anexos)

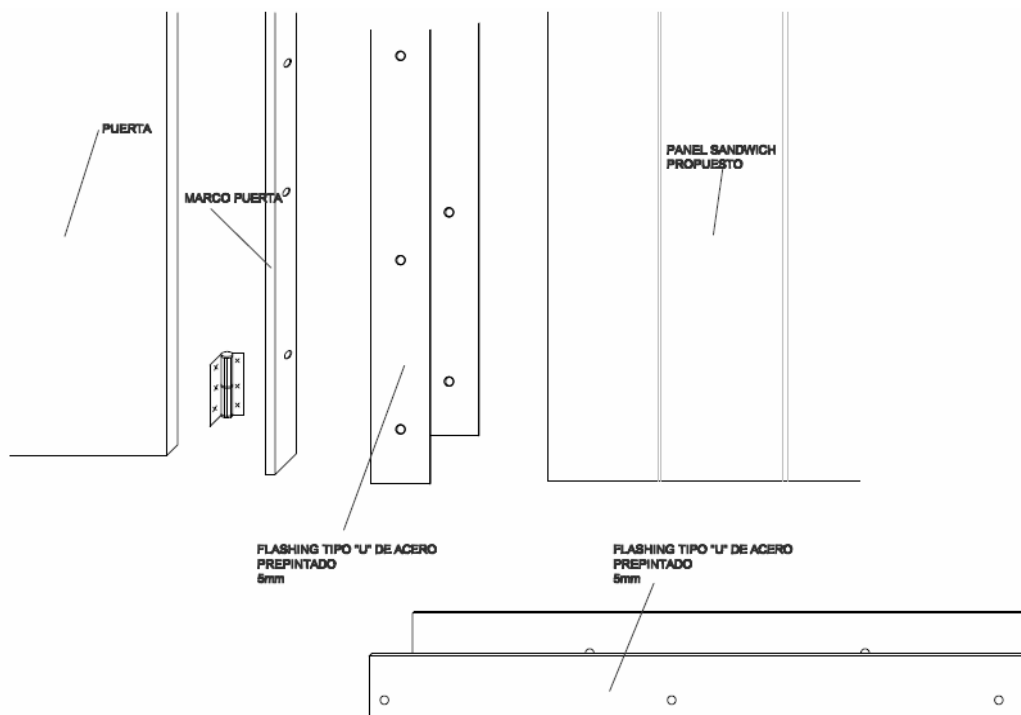
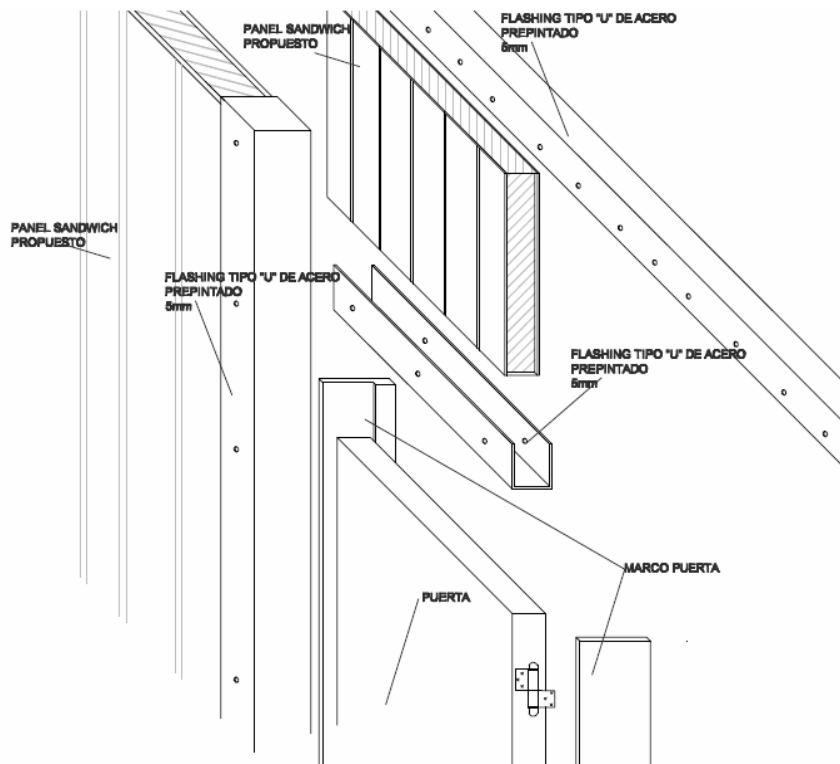


Ilustración 145: Axonometrías descriptivas, solución en vano puertas
Fuente: Autor

5.4.8 ILUSTRACION DEL IZADO (Ver planos anexos)

El izado del panel se lo realizará de manera manual puesto que el peso del mismo frente al de poliuretano es de aproximadamente dos a uno.

Este valor se obtuvo pesando el prototipo realizado (explicado en siguiente capítulo), con uno de poliuretano de similares características, obteniendo los valores a continuación presentados:

- Panel poliuretano: 0,453 kg
- Panel Propuesto: 0,907 kg

Al ser el panel sándwich de poliuretano ultra ligero, abaliza que un panel del doble de su peso sea montado manualmente.

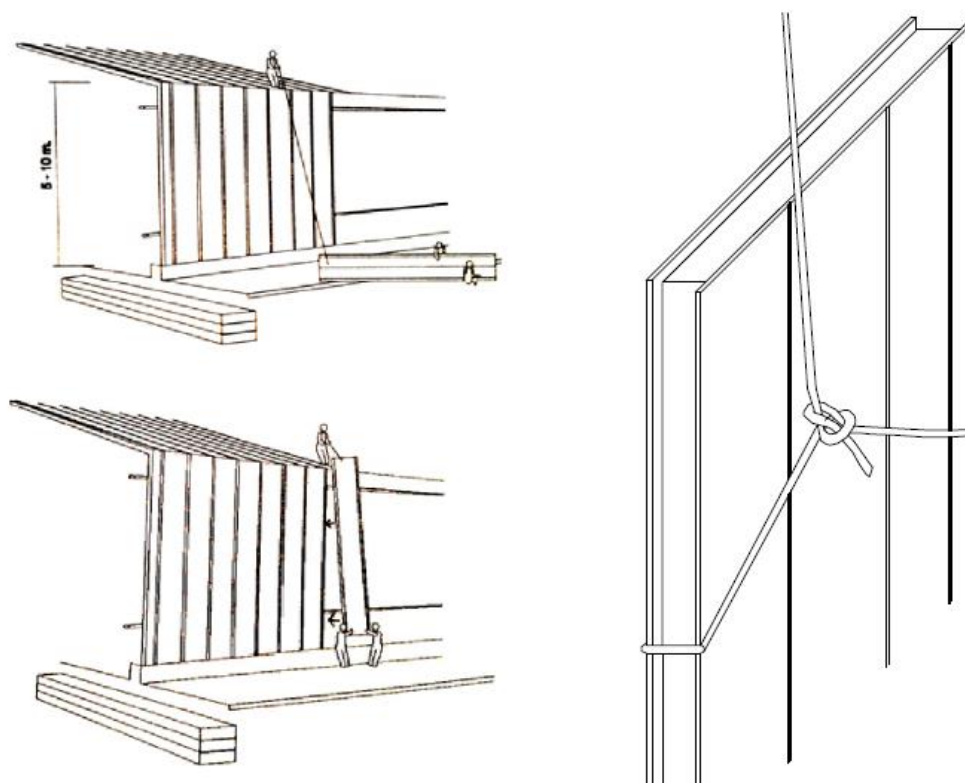


Ilustración 146: Axonometrías descriptivas del izado
Fuente: Autor

5.4 DESCRIPCIÓN DEL ARMADO

A continuación se realiza una breve descripción del proceso constructivo con un sistema de paneles sándwich:

Se funde un contrapiso de hormigón, al cual va ancladas las columnas.

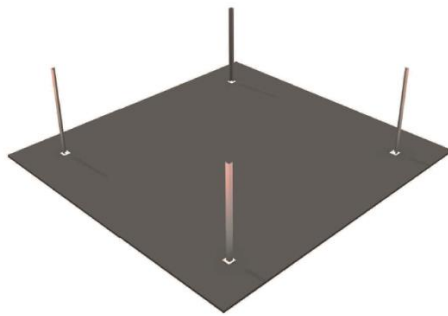


Ilustración 147: Descripción de Armado
Fuente: Propia

2.- Se colocan los flashings en "U" y se anclan al piso, mediante tornillos de anclaje para hormigón

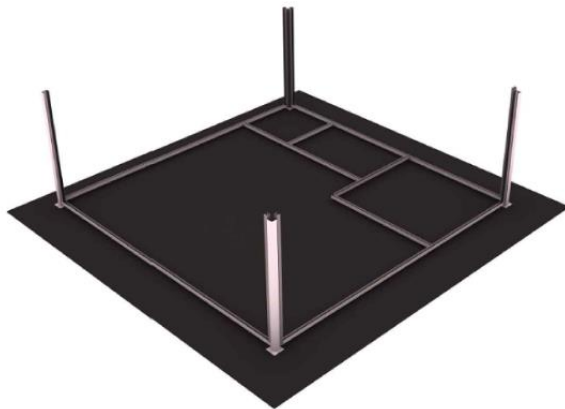


Ilustración 148: Descripción de Armado
Fuente: Propia

3.- Se inicia el montaje de los paneles sándwich.

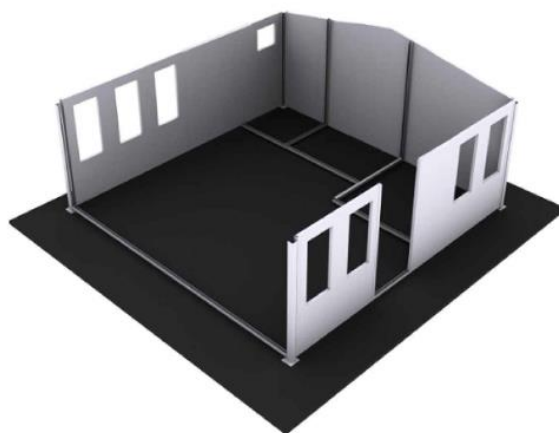


Ilustración 149: Descripción de Armado
Fuente: Propia

4.- Se colocan flashing verticales para vanos de de puertas, y divisiones. Así también se colocan flashing superiores en “U”.

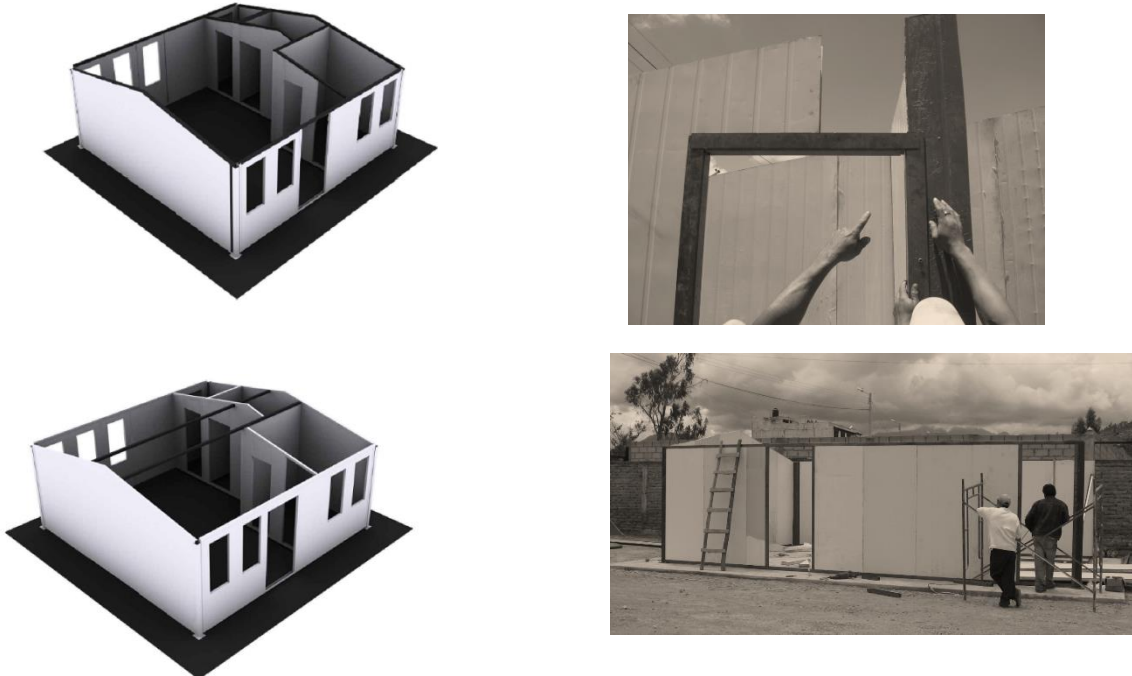


Ilustración 150: Descripción de Armado
Fuente: Propia

5.- Conformada todas las paredes se coloca la cubierta.

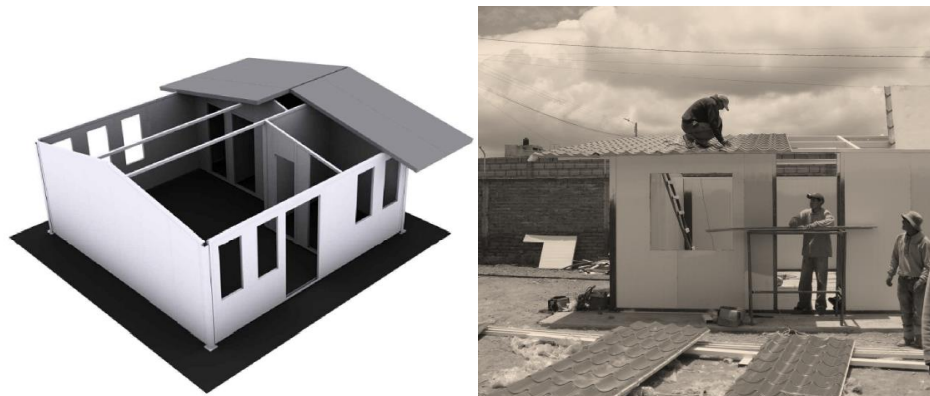


Ilustración 151: Descripción de Armado
Fuente: Propia

6.- Consecutivo se colocan las instalaciones, tanto eléctricas como de agua. Vale destacar que en el sistema de paneles sándwich las instalaciones quedan vistas, y para finalizar se colocan la ventanearía, puertas, muebles, y acabados finales.

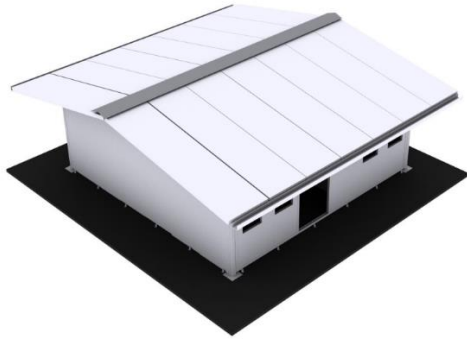


Ilustración 152: Descripción de Armado
Fuente: Propia

CAPÍTULO VI

6.1 DESARROLLO DE PROTOTIPO

6.1.1 CASCARILLA

Se separa la porción de cascarilla que va a ser molida, homogeneizada y mezclada con el aglutinante para formar el “esqueleto” del panel propuesto.



Ilustración 153: Cascarilla de arroz separada para ser molida
Fuente: Propia

6.1.2 CASCARILLA MOLIDA Y HOMOGENEIZADA

La cascarilla es molida hasta conseguir que el tamaño de la partícula sea de entre 0,3 mm y 2 mm; después se la pasa por un tamiz.



Ilustración 154: Comparación entre cascarilla y cascarilla homogeneizada
Fuente: Propia

6.1.3 PREPARACIÓN DEL AGLUTINANTE

Luego del proceso de molienda, se realiza la mezcla, calentando el agua. Luego se vierte el aglutinante y se combina hasta tener una pasta homogénea y muy viscosa.



Ilustración 155: Preparación del aglutinante
Fuente: Propia

6.1.4 MEZCLA

Se pone la mezcla en la cascarilla molida y se revuelve hasta tener una mixtura homogénea sin grumos de aglutinante.



Ilustración 156: Mezcla de aglutinante con cascarilla molida
Fuente: Propia

6.1.5 CONFORMACIÓN DEL PANEL

Se coloca la mezcla en la lámina de acero prepintado de 0,5 mm, la misma que posee un acabado formal tipo tableado y la forma de junta diseñada. Se hace presión sobre la misma para que la mezcla de cascarilla de arroz más aglutinante se adhiera al panel.



Ilustración 157: Panel metálico preformado
Fuente: Propia



Ilustración 158: Conformación del panel
Fuente: Propia



Ilustración 159: Conformación del panel
Fuente: Propia

6.1.6 SECADO

Se seca completamente la probeta en el horno, proceso que toma alrededor de tres horas y media hasta eliminar la humedad suministrada durante la fabricación.



Ilustración 160: Panel secado en horno
Fuente: Propia

6.1.7 ENFRIAMIENTO Y FINALIZACIÓN

Una vez terminado el secado, se saca del horno y se deja enfriar por 30 minutos, para no romper la probeta aún caliente.



Ilustración 161: Panel terminado
Fuente: Propia



Ilustración 162: Panel terminado
Fuente: Propia



Ilustración 163: Panel terminado
Fuente: Propia

6.2 DESARMADO Y RECICLAJE DEL PANEL

6.2.1 PLAN DE RECICLAJE DEL ACERO

Al estar el panel conformado por láminas de acero, las mismas deben ser separadas del núcleo. Las láminas separadas se recogen y son enviadas a las recicladoras de metal. Las empresas recicladoras serán las encargadas comprimir, triturar y separar el acero del aluminio, así como de fundirlo para que el acero sea nuevamente utilizado.





Ilustración 164: Láminas de acero separadas del núcleo
Fuente: Propia

6.2.2 PLAN DE RECICLAJE DE CASCARILLA DE ARROZ

Los ensayos de desintegrar la cascarilla de arroz por medios biológicos se dificultan dado el alto contenido de silicio, elemento que la convierte en un material de muy baja degradabilidad.



Ilustración 165: Cascarilla fuera del panel
Fuente: Propia

En trabajos prácticos se ha demostrado que muy pocos organismos vivos se nutren de la cascarilla de arroz. Por lo que en este trabajo se propone que la cascarilla sea mezclada con tierra negra. La tierra negra combinada con la cascarilla de arroz se usa para evitar que se compacte el suelo y ayudar así al crecimiento de las raíces.



Ilustración 166: Cascarilla como abono para la agricultura
Fuente: garciaatenciolyc.blogspot.com

“La cascarilla de arroz también puede ser incinerada. Los gases de combustión de la cascarilla de arroz, entre ellos el dióxido de carbono (CO_2), pueden ser capturados con soluciones alcalinas de hidróxido de potasio (KOH) e hidróxido de sodio (NaOH).

El producto básico de la captura de los gases de combustión con soluciones alcalinas y su posterior transformación en carbonato de calcio, que puede ser aprovechado con fines agrícolas.

La composición química de las cenizas obtenidas durante el proceso de combustión indica que estas pueden ser de gran utilidad en actividades agrícolas; en especial si se emplean como fuente de elementos de fósforo, manganeso y azufre” (Cortes y Prada, 2010, p. 169).

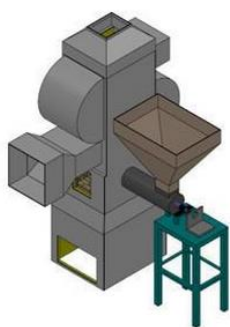


Ilustración 167: Combustión y máquina para obtención de gases de la cascarilla
Fuente: Tipanluisa Sarchi, 2012.

6.2.3 PLAN DE RECICLAJE DE CASCARILLA DE ARROZ MÁS ALMIDÓN DE YUCA

El “esqueleto” del panel conformado por cascarilla de arroz y almidón de yuca será colocado en agua durante un día para ayudar a la separación y la segregación del material, el mismo que será desechado para su autodegradación.



Ilustración 168: Cascarilla mojada para ser desechada
Fuente: Propia

6.3 TECNIFICACIÓN DEL PANEL PROPUESTO

La industrialización del panel requiere de varios equipos y mano de obra calificada. Para esto, y como estudio académico, se hace una breve descripción del equipo mecánico y la mano de obra que se consideran necesarios para la producción en serie del panel propuesto.

6.3.1 PREPARACIÓN DE LA CASCARILLA

La tecnificación del proceso de molienda se puede aplicar en un proceso en cadena, donde la producción sea más eficiente y rápida. Para esto se necesitan equipos como mezcladores automáticos, separadores de partículas, una banda que pase a través de hornos de secado continuo. De ahí se pasaría directamente a molinos industriales.



Ilustración 169: Proceso de preparación de cascarilla
Fuente: Calero y Vásquez, 2012.

6.3.2 PREPARACIÓN DE CASCARILLA MÁS ALMIDÓN DE YUCA

Una vez que la cascarilla sea tratada, se procederá a realizar la mezcla, para lo cual es importante que el almidón de yuca ya se encuentre disuelto en agua y tenga una textura homogénea y viscosa. La preparación del aglutinante se realizará al fuego. Una vez listos tanto la cascarilla como el aglutinante se los colocará en la mezcladora con el objetivo de que los dos materiales se combinen correctamente.



Ilustración 170: Mezcla de cascarilla con almidón de yuca
Fuente: spanish.alibaba.com

6.3.3 LAMINACIÓN DE LAS PLANCHAS

Por otro lado, se conformarán las láminas, las mismas que serán realizadas con bobinas ya galvanizadas y prepintadas, por lo que solo pasarán por una maquina formadora que constituirá el panel tableado y la junta Tipo III. La máquina también realizará los cortes del acero a la medida programada.



Ilustración 171: Máquina de rodillos para paneles metálicos
Fuente: www.spanish.alibaba.com

6.3.4 PROCESO DE CONFORMACIÓN DEL NÚCLEO AISLANTE

Solo una vez conformados los paneles (img. 1) y la mezcla (almidón de yuca más cascarilla de arroz) se procederá a colocar sobre el panel la mezcla. Se realizará una compactación de la misma para su correcta adherencia al panel. Esta máquina de compactación también formará los perfiles que le darán rigidez mecánica al panel (img. 2).

Un vez modelados los perfiles (img. 3) de almidón de yuca más cascarilla de arroz se procederá a limitar el largo final del panel (img. 4) y colocar la mezcla en los bordes.

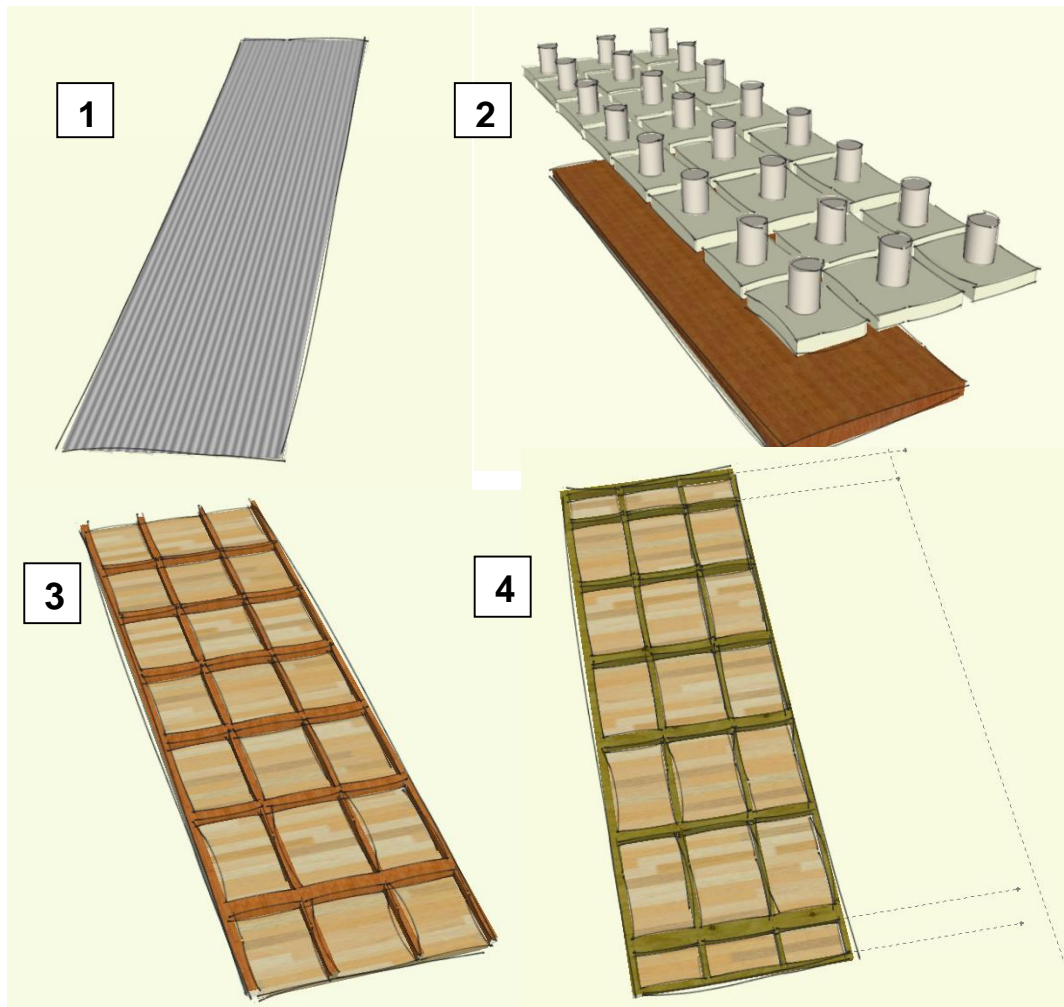


Ilustración 172: Proceso de tecnificación del aislante
Fuente: Propia

Para continuar el proceso, se colocará la cascarilla de arroz suelta (limpia), y el núcleo del aislante quedará listo (img. 5). Después, se colocara el acero laminado final (img. 6).

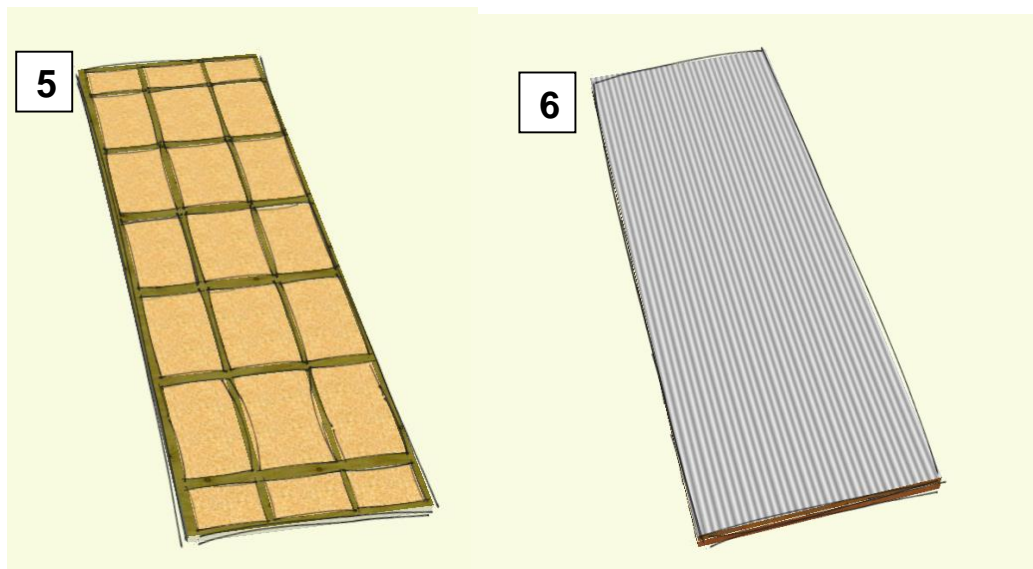


Ilustración 173: Proceso de tecnificación del aislante
Fuente: Propia

Para garantizar el ancho de los paneles, estos serán sometidos a un sistema de rodillos que les darán el espesor determinado en todo su largo (img. 7). Luego pasarán al horno tipo banda donde serán secados completamente los paneles (img. 8).

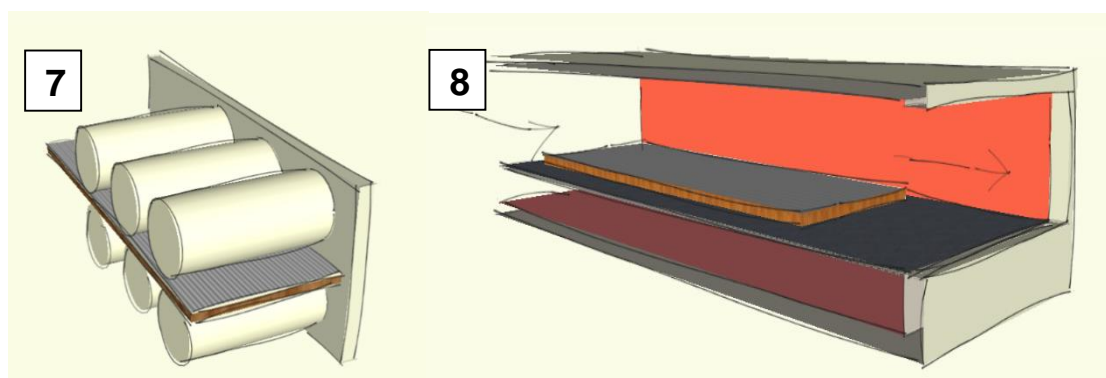


Ilustración 174: Proceso de tecnificación
Fuente: Propia

Para concluir la fabricación se podrá a enfriar el panel por unos minutos y estará listo para la carga y el traslado a la obra.

6.4 COSTO DE PRODUCCIÓN

Para obtener el costo de producción por metro cuadrado del aislante térmico, se calcularon todos los costos que intervinieron en el mismo. Cabe recalcar que el valor obtenido es de una producción industrial de un panel, y que del mismo se obtendrá el valor del metro cuadrado. Los costos directos que intervienen de acuerdo a lo consultado en el mercado serían:

COSTOS DIRECTOS		
MATERIALES	UNIDAD	COSTO
Cascarilla de arroz	qq	2,5
Almidón de yuca	qq	45
Lámina del panel de acero prepintado e=0,50 mm	m ²	13,5

Una vez determinados los costos, se calculó la cantidad del material utilizado para un panel de 200 x 101 e=50, y se multiplicó por el costo.

Costo materiales de un panel de 200 x 101 e=50mm				
RUBRO	Unidad	Cantidad	Costo	Total
Panel de acero prepintado e=0,50mm	m ²	4	13,5	54
Cascarilla de arroz	qq	1	2,5	2,5
Almidón de yuca	qq	0,012	45	0,54
Agua	m ³	0,2	0,25	0,05
Luz	kW	3	0,04	0,12
TOTAL				57,21

Los salarios de la mano de obra se los tomó de la Contraloría General del Estado, de acuerdo a lo establecido por las normas *Salario mínimo por ley*, de junio de 2015.

COSTO MANO DE OBRA						
Mano de obra directa	Horas de trabajo		% interacción	Número de trabajadores	costo hora	TOTAL
Profesional Supervisión	0,25	15(min)	30%	2	5,2	0,78
Obrero encargado de armar el panel	0,166	10 (min)	100%	7	3,22	3,74
Maquinista	0,03	2 (min)	100%	4	3,22	0,39
TOTAL						4,91

Para conocer el costo hora de la maquinaria se estableció un costo y la expectativa en horas de máquina de funcionamiento en su vida útil.

MAQUINARIA	COSTO	EXPECTATIVA EN HORAS	
Molino	2.000	43.800	5 años
Mezcladora	3.000	26.280	3 años
Calentador de agua	2.000	26.280	3 años
Laminadora	20.000	87.600	10 años
Compactadora	60.000	87.601	10 años
Rodillo de espesor	15.000	87.602	10 años
Horno banda	40.000	35.040	4 años

Para establecer los costos, se tomó como referente el costo hora y el tiempo en la fabricación del panel.

COSTO HERRAMIENTAS			
Maquinaria	Costo hora maquinaria	Horas de uso	TOTAL
Molino de piedras	0,04	0,0833333	0,00333
Mezcladora	0,011	0,166667	0,00183
Laminadora de rodillos	0,22	0,05	0,01100
Máquina compactadora	0,68	0,0166667	0,01133
Rodillo de espesor	0,17	0,0166667	0,00283
Horno de banda para secado	1,14	0,0833333	0,09500
Calentador agua	0,07	0,0833333	0,00583
TOTAL			0,13

Para finalizar se sumaron los valores obtenidos en el costo de un panel de 200 x 101 e=50 y se los transformó a m². Al valor final se le sumó un 5% de costos indirectos.

COSTO TOTAL PANEL 200 x 101 e=50mm	
Materiales	57,21
Herramientas	0,13
Mano de obra	4,91
TOTAL	62,25

COSTO TOTAL PANEL POR METRO CUADRADO	
COSTO DIRECTO PANEL POR M ²	31,1
INDIRECTOS 5%	1,56
COSTO FINAL	32,7

CONCLUSIONES

El panel tipo sándwich diseñado en esta investigación no superó al poliuretano ni al poliestireno, mas sí demostró ser un producto que puede competir en el mercado, ya que su aislamiento se encuentra prácticamente a un centímetro del poliestireno expandido y a tres centímetros del poliuretano, materiales reconocidos por sus excelentes propiedades térmicas.

El tiempo de montaje del panel propuesto, sería el mismo que los sistemas de paneles sándwich comercializados, los cuales reducen en un 75% el tiempo respecto al sistema convencional.

El panel tipo sándwich propuesto no proviene de productos derivados del petróleo y es reciclable en su totalidad, lo cual hace que sea amigable con el medio ambiente.

En lo que respecta al precio del panel tipo sándwich propuesto y los comercializados en Ecuador, el primero demuestra ser competitivo ya que el costo de los paneles comercializados va de \$38,12 a \$30 por metro cuadrado, mientras que el propuesto alcanza el valor de \$36,60 por metro cuadrado.

En lo que respecta al aislamiento acústico, pudimos observar que la introducción de aire puede lograr buenos coeficientes de absorción. Al encontrarse la cascarilla de arroz en su estado natural (sin ser comprimida, con espacios de aire y alta porosidad) se cumpliría con el parámetro, añadiendo el factor que el poliuretano y el poliestireno no poseen buenas características acústicas, como se creía.

El panel propuesto en esta investigación tiene mejores propiedades de aislamiento térmico que los sistemas constructivos convencionales utilizados en Ecuador, como el bloque y el ladrillo, ya que la conductividad térmica de la cascarilla es de $0,036 \text{ W/m}^\circ\text{K}$, mientras que la del bloque es de $0,14 \text{ W/m}^\circ\text{K}$ y la del ladrillo, de $0,8 \text{ W/m}^\circ\text{K}$.

RECOMENDACIONES

Se recomienda realizar pruebas de laboratorio en lo que se refiere a resistencia al fuego, absorción acústica, permeabilidad al agua, esfuerzo cortante, resistencia a la compresión, entre otros.

El proceso de fabricación del panel tiene varios procesos que deben ser tecnificados para reducir el costo de producción y el tiempo.

Realizar estudios sin que la cascarilla sea molida ni comprimida con el almidón de yuca, con el objetivo de eliminar el “esqueleto”, lo que optimizaría su producción, costo y sistema constructivo.

BIBLIOGRAFÍA

- AENOR. (2007). *Norma española UNE-EN 14509, Paneles sándwich aislantes autoportantes de doble cara metálica.*
- Calero, F. y Vásconez, L. (2012). *Desarrollo experimental de un aislante térmico utilizando cascarilla de arroz y aglutinantes naturales, en planchas rígidas* (Tesis de Ingeniería). Universidad de las Fuerzas Armadas (ESPE), Quito.
- Carbonari, G. y Aguado, A. (2013). *Estudio experimental y analítico sobre el comportamiento a compresión de paneles sándwich con eps.* Universidad de Cataluña.
- Cortes, A. y Prada, C. (2010). *La descomposición térmica de la cascarilla de arroz: una alternativa de aprovechamiento integral.* Recuperado de <http://www.redalyc.org/articulo.oa?id=89622691013>
- Echeverría M. y López O. *Caracterización energética de la cascarilla de arroz para su aplicación en la generación de energía termoeléctrica* (Tesis de grado). Escuela Politécnica Nacional, Quito.
- Giovanna Cadena, C. y Bula Silvera, J. (2002). *Estudio de la variación en la conductividad térmica de la cascarilla de arroz aglomerada con fibras vegetales.* Universidad del Norte.
- González P., Zurima M., y Pérez Sira, E. (2003). *Evaluación físico-química y funcional de almidones de yuca.* Universidad Central de Venezuela.
- Instituto para la diversificación y ahorro de energía. (2008). *Guía técnica para rehabilitación de envolventes térmicos de los edificios 1-6.* Madrid.
- Manteca, C., Yedra, A. y Gorrochategui . (2009). *Estudio y análisis de fallo mecánico de paneles sándwich fabricados por pultrusión.* Recuperado de <http://www.gef.es/congresos/26/pdf/102.pdf>.
- Olaya Adán, M., Borja Frutos Vázquez, y Pacios Álvarez, A. (2007). *Ensayo de aislamiento acústico a ruido aéreo de los cerramientos exteriores y particiones realizados con paneles de madera.* Recuperado de <http://informesdelaconstruccion.revistas.csic.es/index.php/informesdelaconstruccion/article/view/508>.
- Pages, E. (2010). *Los paneles sándwich, de producto no tradicional al mercado CE.* Recuperado de <http://www.andimat.es/wp-content/uploads/articulo-los-paneles-sandwich-de-producto-no-tradicional-al-marcado-ce.pdf>
- Salas, M., Luco, R. y Ojeda, R. *Análisis estructural de un catamarán de materiales compuestos.* Recuperado de <http://www.gef.es/congresos/20/pdf/GEF081.pdf>.
- Salvati, D. (2012). *Materiales aglutinantes orgánicos naturales.* Recuperado de <http://es.slideshare.net/danielsalvati/materiales-aglutinantes-orgnicos-naturales>.
- Santalla Blanco, L. (2012). *Resinas epoxy: solución de anclajes.*
- Tectónica (1995), *Fachadas Ligeras 1, Envolventes I, Revista Tectónica, Monografías de Arquitectura, tecnología y construcción.*
- Tipanluisa Sarchi, L. (2012). *Caracterización de los productos de combustión de la cascarilla de arroz utilizando un sistema térmico con capacidad de 60000 Kcal/h.* *Maestría en Energías Renovables.* Universidad de las Fuerzas Armadas (ESPE), Quito.
- Valverde, A., Sarria, B. y Montegudo, J. (2007). *Análisis comparativo de las características físico-químicas de la cascarilla de arroz.* Scientia et technica.

ANEXOS