



aitex[®]
textile research institute

HONEYTEX

**ESTUDIO Y DISEÑO DE UN EQUIPO
SEMI-INDUSTRIAL PARA EL
DESARROLLO DE HONEYCOMBS**

Contenido

1. FICHA TECNICA DEL PROYECTO.....	4
2. ANTECEDENTES Y MOTIVACIONES.....	6
3. OBJETIVOS DEL PROYECTO.....	8
4. PLAN DE TRABAJO.....	10
5. RESULTADOS OBTENIDOS.....	13
6. IMPACTO EMPRESARIAL.....	40

1. FICHA TECNICA DEL PROYECTO

Nº EXPEDIENTE	IMAMCI/2020/1
TÍTULO COMPLETO	HONEYTEX – ESTUDIO Y DISEÑO DE UN EQUIPO SEMI-INDUSTRIAL PARA EL DESARROLLO DE HONEYCOMBS
PROGRAMA	Plan de Actividades de Carácter no Económico 2020
ANUALIDAD	2020
PARTICIPANTES	(SI PROCEDE)
COORDINADOR	(SI PROCEDE)
ENTIDADES FINANCIADORAS	IVACE – INSTITUT VALENCIÀ DE COMPETITIVITAT EMPRESARIAL www.ivace.es
ENTIDAD SOLICITANTE	AITEX
C.I.F.	G03182870

Este proyecto cuenta con el apoyo de la Conselleria d'Economia Sostenible, Sectors Productius i Treball, a través de IVACE (Institut Valencià de Competitivitat Empresarial)



2. ANTECEDENTES Y MOTIVACIONES

El presente proyecto se ha enfocado en la obtención de estructuras honeycomb que combinen ligereza y alta resistencia, destinados a sectores donde se requiera elevada resistencia y poco peso, como el sector automoción, transporte, composites, energías, mueble, construcción y aeronáutica.

Actualmente los honeycomb que se pueden encontrar de altas prestaciones mecánicas presentan un coste bastante elevado y los de menor precio se quedan cortos de dichas prestaciones mecánicas. Además, la mayoría de los honeycombs que se pueden encontrar a día de hoy presentan una gran dificultad de reciclado. La mejora de esta clase de limitaciones de los honeycombs comerciales, se ha presentado como la principal motivación para la investigación y desarrollo de una nueva generación de honeycombs con una relación calidad/precio más competitivo y completamente reciclables.

3. OBJETIVOS DEL PROYECTO

El objetivo principal del proyecto HONEYTEX ha sido el estudio y diseño de un equipo semi-industrial para el desarrollo de honeycombs en continuo. El equipo de honeycombs se ha podido desarrollar con la máxima versatilidad posible para poder utilizar la mayor cantidad de materiales diferentes y poder obtener varios tipos de tamaños de núcleo.

En la correcta ejecución del proyecto se han tenido en cuenta los siguientes objetivos específicos:

- Desarrollo de una nueva generación de honeycombs de altas prestaciones con la combinación de materiales diversos que se pueden encontrar en el mercado. Actualmente se pueden encontrar honeycombs con un coste elevado (sobre todo los de altas prestaciones como los de Nomex, vidrio y aluminio) o con un precio asequible, pero con prestaciones limitadas (como los de PP o cartón). Por tanto, existe una posibilidad de mercado en el desarrollo de honeycombs con buenas prestaciones a un precio asequible. Es por ello por lo que la tecnología de termocompresión en continuo para la fabricación de honeycombs puede presentar la posibilidad de obtención de un honeycomb de altas prestaciones a un precio menor.
- Una de las partes importantes para ayudar a la reducción de los costes, es la posibilidad de utilización de no tejidos de carda para la fabricación de los honeycombs, que ninguna tecnología actual puede utilizar. Estos no tejidos pueden estar compuestos de diferentes tipos de fibras e incluso de residuos textiles, que combinados con fibras termoplásticas se pueden lograr elevadas resistencias.
- En el presente proyecto también se contempla el desarrollo de moldes con forma de medio hexágono con las medidas que tendrá el equipo a diseñar para la realización de pruebas preliminares y poder fabricar honeycombs antes de tener el equipo construido. Este molde será utilizado en procesos de termocompresión para la generación de la forma de medio hexágono. La fabricación de estos prototipos puede ayudar en la transferencia a empresas y la captación de clientes al tener un demostrador físico de honeycomb. Con estos prototipos también se pueden realizar ensayos de caracterización para evaluar en mayor detalle las capacidades mecánicas de dichos honeycombs.

4. PLAN DE TRABAJO

A continuación, se enumeran los diferentes paquetes de trabajo considerados en el proyecto para su correcta ejecución técnica.

PT 0 GESTIÓN Y COORDINACIÓN TÉCNICA

A.0.1 Gestión y seguimiento del proyecto.

PT 1 PLANTEAMIENTO Y PLANIFICACIÓN TÉCNICA

A.1.1 Estudio del estado del arte y viabilidad técnica.

A.1.2 Estudio económico y mercado (impactos).

A.1.3 Preparación de la propuesta técnico-económica.

A.1.4 Definición de los recursos y plan de comunicación.

PT 2 EJECUCIÓN TÉCNICA.

A.2.1 Experimental.

A.2.2 Caracterización.

A.2.3 Análisis y reingeniería.

A.2.4 Coordinación técnica y validación.

PT 3 TRANSFERENCIA DE CONOCIMIENTO Y DIFUSIÓN.

A.3.1 Visitas a empresas (transferencia)

A.3.2 Desarrollo del plan de comunicación (difusión).

A.3.3 Indicadores de seguimiento de A.3.2 y A.3.2 (impactos).

El cronograma de actuaciones del proyecto HONEYTEX se ha contemplado de la siguiente manera:

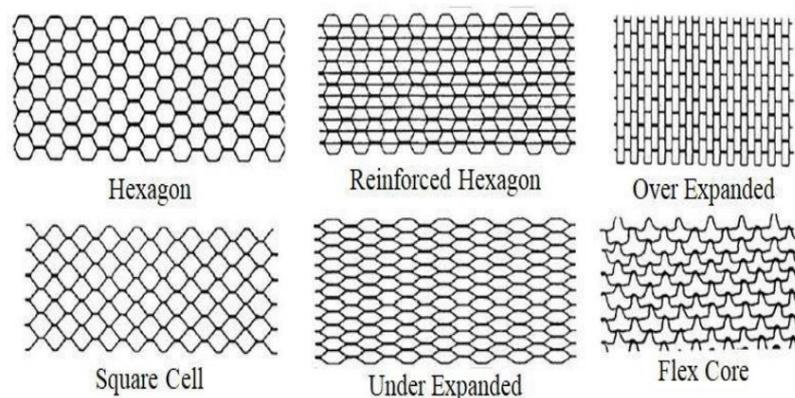
ACTIVIDAD		CRONOGRAMA DE ACTUACIONES											
		2020											
		1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12
PT0	GESTIÓN Y SEGUIMIENTO DEL PROYECTO												
A.0.1	GESTIÓN Y SEGUIMIENTO DEL PROYECTO												
PT1	PLANTEAMIENTO Y PLANIFICACIÓN TÉCNICA												
A.1.1.	ESTADO DEL ARTE Y VIABILIDAD TÉCNICA												
A.1.2.	ESTUDIO ECONÓMICO Y MERCADO (IMPACTOS)												
A.1.3.	PREPARACIÓN DE LA PROPUESTA TÉCNICO-ECONÓMICA												
A.1.4.	DEFINICIÓN DE LOS RECURSOS Y PLAN DE COMUNICACIÓN												
PT2	EJECUCIÓN TÉCNICA												
A.2.1.	EXPERIMENTAL												
A.2.2.	CHARACTERIZACIÓN												
A.2.3.	ANÁLISIS Y REINGENIERÍA												
A.2.4.	COORDINACIÓN TÉCNICA Y VALIDACIÓN												
PT3	TRANSFERENCIA DE CONOCIMIENTO Y DIFUSIÓN												
A.3.1.	VISITAS A EMPRESAS (TRANSFERENCIA)												
A.3.2.	DESARROLLO DEL PLAN DE COMUNICACIÓN (DIFUSIÓN)												
A.3.3.	INDICADORES DE SEGUIMIENTO DE A.3.1 Y A.3.2. (IMPACTOS)												

5. RESULTADOS OBTENIDOS

El proyecto HONEYTEX ha consistido en el desarrollo de una nueva generación de honeycombs con prestaciones mecánicas optimizadas con una relación calidad/precio muy competitivo. Estos nuevos honeycombs se distinguen de los comerciales en el material base utilizado para su desarrollo. La utilización de no tejidos de carda como base para la formación de los honeycombs es un concepto nuevo en este sector ya que ninguna de las tecnologías actuales de fabricación de honeycombs admite este tipo de formato no tejido. La posibilidad de utilización de no tejidos para la formación de núcleos posibilita el abaratamiento del producto final, así como también proporciona la posibilidad de utilización de muy distintos materiales. Esto da lugar a la posibilidad de una optimización de coste/rendimiento superior a los honeycombs comerciales. Para tener una idea más amplia de lo desarrollado a continuación se expone un resumen de lo realizado en el proyecto, así como una primera introducción del estado del arte para una mejor comprensión.

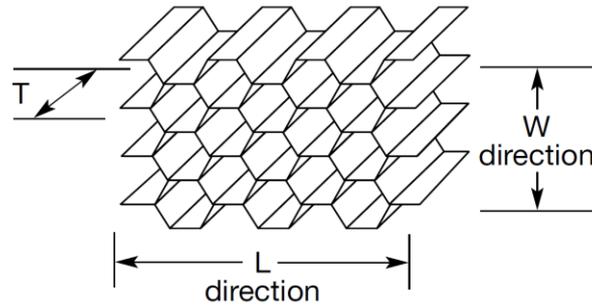
ESTUDIO DEL ESTADO DEL ARTE. TIPOS DE HONEYCOMBS Y MATERIALES UTILIZADOS PARA SU PRODUCCIÓN

Los materiales conocidos como honeycombs consisten en una serie de celdas abiertas, formadas por láminas de material muy delgadas unidas entre sí. Las configuraciones de estas celdas pueden ser de diferentes tipos o formas geométricas: se pueden encontrar materiales honeycombs conformados por celdas hexagonales, que son las más comunes, pero estos materiales también pueden ser encontrados con celdas cuadradas, celdas hexagonales reforzadas, celdas sobre-expandidas (rectangulares), celdas sub-expandidas (hexágonos aplanados) y celdas tipo flex-core. Se trata, generalmente, de materiales resistentes y ligeros, debido a su estructura y disposición, lo que los hace muy interesante para una gran cantidad de aplicaciones.



Diferentes tipos de celdas para los materiales honeycomb.

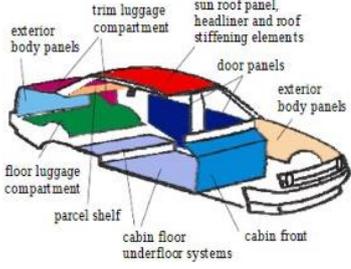
Los materiales honeycomb poseen una nomenclatura específica, como se muestra en la imagen a continuación. La dirección W, que es la dirección transversal al bloque o lámina de material honeycomb; la dirección L, que es la dirección longitudinal al bloque o lámina de material honeycomb y la dirección T, que es la profundidad o espesor del bloque o lámina del material honeycomb.

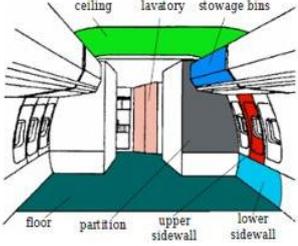


Nomenclatura de las distintas direcciones del material honeycomb.

No solo existen diferentes tipos de composiciones celulares para los materiales honeycomb, sino también materiales honeycomb desarrollados con materiales muy diversos. El primer tipo de material honeycomb empleado y conocido fue desarrollado a base de papel hace aproximadamente 2000 años en China, y era empleado para labores ornamentales. Sin embargo, hoy en día estos materiales son principalmente empleados como materiales estructurales para distintos campos: sector automoción, sector aeronáutico, sector mueble y construcción, sector transporte y en el sector de composites y energía.

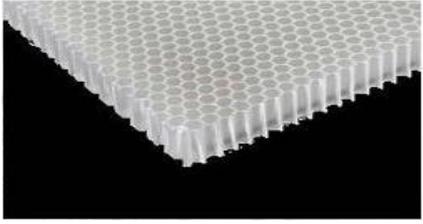
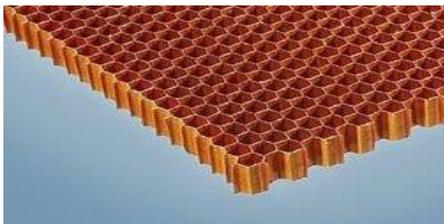
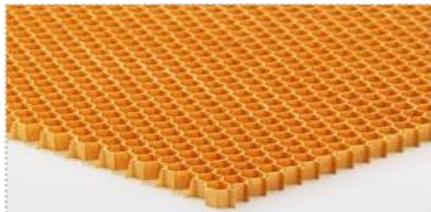
En la tabla siguiente se muestra un resumen de los tipos de aplicaciones que poseen estos materiales honeycombs dependiendo del sector al que se enfoquen.

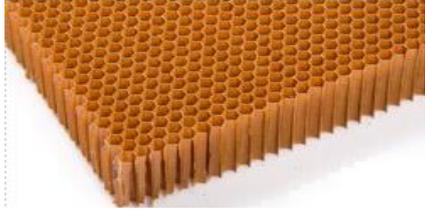
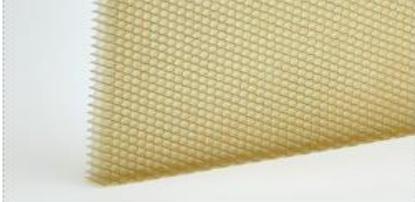
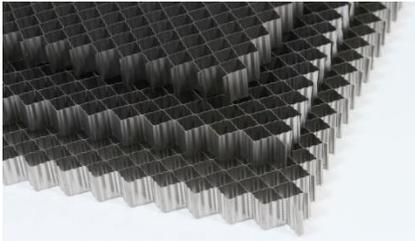
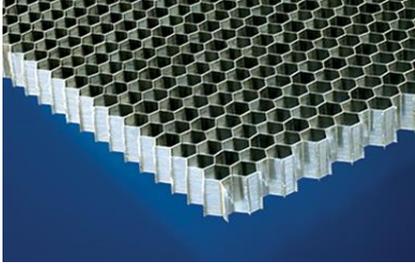
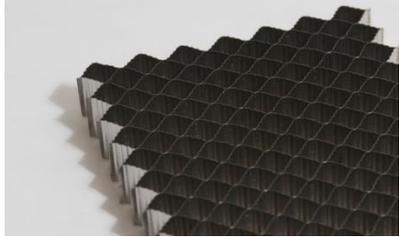
Sector de aplicación	Tipo de aplicación
<p>Sector automoción</p> 	<ul style="list-style-type: none"> • Suelo de compartimento del equipaje • Paneles de puertas o inserciones en las puertas • Refuerzos del respaldo del asiento • Divisiones de compartimentos • Techos y suelos • No-neumáticos (NPTs – <i>Non-Pneumatic Tire</i> o <i>airless tire</i>)
<p>Sector aeronáutico</p> 	<ul style="list-style-type: none"> • Suelos, techos y paredes en interior de aviones • Compartimentos internos de las aeronaves • Partes internas de las alas • Carcasa exterior de los motores

<p>Sector mueble y construcción</p>  <p>Membrana superior: 8.0 mm, 0.2 mm, 3.0 mm. Estructura alveolar. Canal superior. 2.0 mm.</p> <p>Foto: Corbridge Spain</p>	<ul style="list-style-type: none"> • Paredes de la estructura de armarios • Respaldo y asiento de sillas y sillones • Somieres de cama • Parte interna de paredes prefabricadas en casas de madera
<p>Sector transporte</p>  <p>ceiling lavatory stowage bins floor partition upper sidewall lower sidewall</p>	<ul style="list-style-type: none"> • Paredes en remolques de camiones, furgonetas, etc. • Suelos y techos en trenes • Divisores de estancias en trenes • Armarios y puertas
<p>Sector composites y energía</p> 	<ul style="list-style-type: none"> • Paredes estructurales de palas eólicas • Estructura interna de paneles fotovoltaicos y colectores solares • Estructuras de alta resistencia y bajo peso

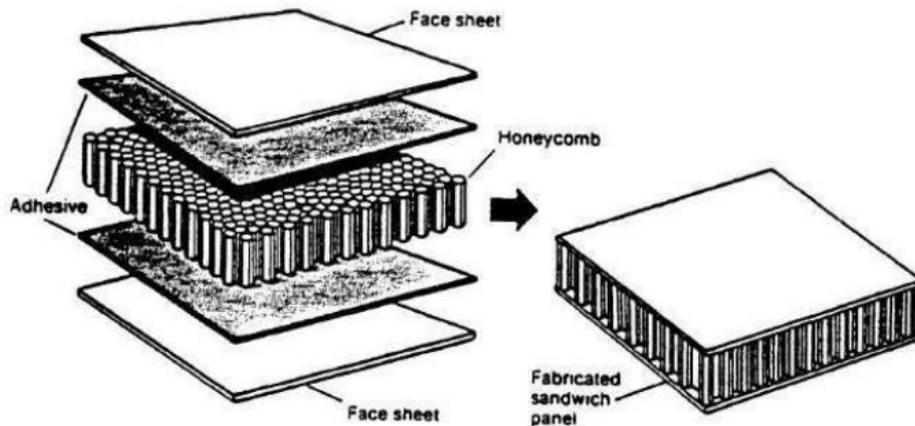
Además, como se ha comentado con anterioridad, existen diversos materiales con los que se desarrollan estos materiales honeycomb. Durante el presente estudio, se ha podido comprobar la existencia de diversos tipos de honeycomb a nivel comercial, siendo los mismos de diversos tipos de materiales. Sin embargo, entre estos tipos comerciales de materiales honeycomb no se encuentran referencias sobre materiales textiles, como pueden ser los textiles tejidos o los textiles no tejidos, las fibras técnicas y termoplásticas.

En la siguiente tabla, a modo de resumen, se pueden ver las referencias más comunes para los Honeycombs comerciales y los materiales empleados en su producción. A continuación, se describirá cada uno de ellos, junto con sus características, campos de aplicación y ventajas y desventajas que poseen.

Material utilizado	Imagen de referencia
Polipropileno (PP)	
Cartón	
Aluminio	
Nomex	
Vidrio	

<p>Kevlar</p>	
<p>Polieterimida (PEI)</p>	
<p>Titanio</p>	
<p>Acero</p>	
<p>Inconel (aleación níquel-cromo)</p>	

Es muy general, además, el hecho de encontrar estos materiales honeycomb en estructuras de composites tipo sándwich.



Composición tipo sándwich en un composite empleando un material honeycomb como núcleo.

Así mismo, para la lista de materiales típicos anteriormente mencionados para la producción de materiales honeycomb, se comentarán de cada uno de ellos las características o propiedades físicas y mecánicas más destacables.

En cuanto a los materiales honeycomb producidos a base de polipropileno (PP), se ha encontrado que poseen una elevada ligereza, poseyendo un bajo peso generalmente. Además, resultan extremadamente fuertes, con alta resistencia a la tracción, a la flexión y a la presión. También resultan extremadamente versátiles, poseyendo una cantidad muy elevada de posibilidades de aplicación. Así mismo, presentan una elevada resistencia tanto a la corrosión como a la humedad. Entre sus aplicaciones, destacan aquellas en las que el material honeycomb de PP actúa como reductor del ruido y las vibraciones, gracias a sus características de aislamiento. La empresa Corex Honeycomb, situada en el Reino Unido, es un ejemplo de industria dedicada a la producción y comercialización de este tipo de materiales honeycomb.

En cambio, en el caso de los materiales honeycomb desarrollados a partir de cartón, sus propiedades, en comparación con el resto de los materiales mencionados, resultan muy distintas. Generalmente son empleados para aquellos tipos de aplicaciones que no exigen una alta resistencia estructural, como pueden ser las aplicaciones para el empaquetado de productos o almacenamiento.

En cuanto a los materiales honeycomb de aluminio, también se ha podido observar cómo los mismos poseen una elevada relación resistencia-peso. Se trata de un material generalmente ligero, y que presenta una adecuada rigidez y resistencia al fuego, a la compresión, cizallamiento y compresión. Es un material que puede ser utilizado para la amortiguación de energía cinética y como deflector para la ventilación de flujo. La empresa Cel Components es un ejemplo de industria dedicada a la producción y comercialización de este tipo de material honeycomb de aluminio, en Italia, al igual que American Elements, en Estados Unidos.

Para los materiales honeycomb de Nomex se ha podido encontrar que poseen buenos módulos de Young (elasticidad) en comparación con otros materiales. Además, este módulo de Young depende también del

tamaño del propio material. También se ha encontrado que estos materiales honeycomb de Nomex poseen una alta relación resistencia-peso y excelentes propiedades ignífugas y autoextinguibles, además de resistencia al agua, aceite y combustibles. Poseen buenas capacidades de resistencia a la temperatura y buenas propiedades dieléctricas. Finalmente, resulta generalmente fácil de moldear. Una empresa dedicada a la producción y comercialización de este tipo de materiales honeycomb es Toray, del Reino Unido.

Los materiales honeycomb de fibra de vidrio, por su parte, poseen excelentes propiedades mecánicas y dieléctricas, además de resultar, generalmente, un material destacado por su uniformidad. Euro-Composites es, como ejemplo, una empresa dedicada a la producción y comercialización de este tipo de productos.

En el caso de los materiales honeycomb de Kevlar, se ha encontrado que poseen una elevada relación resistencia-peso. Además, resulta más ligero que los mismos materiales honeycomb desarrollados a partir de Nomex. Poseen, así mismo, excelente estabilidad térmica y a la humedad, así como alta resistencia y módulo de corte (pudiendo llegar a ser hasta cuatro veces más rígido que los materiales honeycomb desarrollados a partir de Nomex). Finalmente, poseen una elevada tenacidad y son capaces de cumplir adecuadamente con las normativas sobre humo, toxicidad e inflamabilidad. Alguna empresa dedicada a la producción y comercialización de este tipo de materiales honeycomb de Kevlar es, por ejemplo, Core Composites, de los Estados Unidos.

Para continuar con el resto de los materiales empleados en la fabricación de estos materiales, y en el caso de los materiales honeycomb desarrollados en base a polieterimida, resultan un tipo de producto con una excelente resistencia a las altas temperaturas y unas características mecánicas muy elevadas. Generalmente, puede ser empleado en paneles de radar transparentes para aplicaciones militares, paneles de altas capacidades y núcleo de equipamiento deportivo. La empresa Cel Components también se encarga de su producción y comercialización.

Los materiales honeycomb de titanio, en su caso, poseen un elevado punto de fusión y una gran relación resistencia/peso, poseyendo también una densidad relativamente baja a pesar del material con el que es fabricado. Además, son materiales conductores que poseen una elevada fuerza de tensión, módulo de Young y dureza. Resultan materiales de alta rendimiento, empleados como materiales estructurales en sectores que precisan de un alto grado de capacidades, como son el sector aeronáutico o el sector aeroespacial.

Por otro lado, los materiales honeycomb de acero resultan unos materiales con una excelente resistencia a la humedad y la corrosión, así como al ataque de hongos. Son, además, unos materiales que presentan una elevada resistencia a la llama. Normalmente, estos materiales, sobre todo los materiales honeycomb de acero inoxidable, son usados en el sector aeroespacial o el sector de la ingeniería civil, y para aplicaciones de blindaje. Por lo que respecta al proceso de formación de este material, difiere ligeramente respecto al resto de materiales mencionados con anterioridad, ya que sus láminas, en lugar de ser unidas mediante resina, pueden ser soldadas en forma hexagonal.

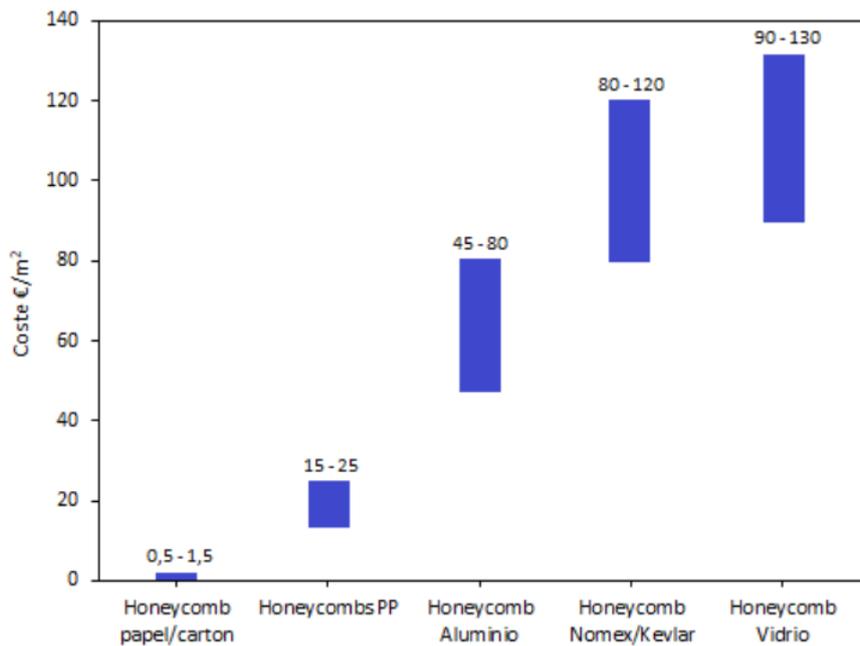
Finalmente, los materiales honeycomb de Inconel son materiales producidos a partir de la aleación de níquel y cromo que fue desarrollada por la *Special Metals Corporation*, y que es normalmente empleada para aplicaciones a elevadas temperaturas. De este modo, es un material que ha sido a lo largo del tiempo empleado en aplicaciones tales como el desarrollo de motores de automóviles inteligentes, el desarrollo de maquinaria para cohetes y en los vehículos de alta velocidad empleados en la Fórmula 1.

En la siguiente tabla se han podido recoger una serie de datos sobre las propiedades mecánicas de los principales tipos de materiales honeycomb comerciales en la actualidad:

Tipo de Honeycomb	Alargamiento a la rotura (MPa)	Módulo de ruptura a la flexión (MPa)	Módulo de elasticidad (MPa)	Resistencia a la flexión por impacto (IBS) (KJ/mm ²)	Fuerza de compresión (Mpa)	Módulo de cizalladura (Mpa)	Tensión de rotura (Mpa)	Dureza Vickers (Mpa)
Cartón	N/D	0'9 - 15'3	505 - 2741	1'2 - 4'8	0'4 - 0'6 (Módulo: 10 - 12)	N/D	N/D	N/D
Polipropileno	0'8 - 0'9	N/D	N/D	N/D	N/D	0'4 - 0'5 (Módulo: 10 - 12)	N/D	N/D
Aluminio	N/D	N/D	N/D	N/D	0'4 - 6'8	N/D	N/D	N/D
Nomex	N/D	N/D	N/D	N/D	0'9 - 4'5 (Módulo: 60 - 190)	0'3 - 2'3 (Módulo: 15 - 60)	N/D	N/D
Fibra de vidrio	N/D	N/D	N/D	N/D	3 - 6'6 (Módulo: 0'25 - 0'41)	1 - 3 (Módulo: 68 - 176)	N/D	N/D
Kevlar	N/D	N/D	N/D	N/D	1'3 - 4'1	0'8 - 2'8 (Módulo: 55 - 207)	N/D	N/D
Polieterimida	N/D	N/D	N/D	N/D	0'8 - 10'7	0'6 - 3'3 (Módulo: 12'2 - 40)	N/D	N/D
Titanio	N/D	N/D	116000	N/D	N/D	N/D	140	830 - 3420
Acero	N/D	5690	N/D	N/D	2'4	0'8	N/D	N/D
Inconel	N/D	N/D	N/D	N/D	38 (Módulo: 1500)	N/D	690 - 1100	N/D

Tabla sobre propiedades mecánicas de los principales materiales honeycomb comerciales

Sin embargo, los materiales honeycomb actuales poseen una serie de desventajas: Actualmente se pueden encontrar honeycombs con un coste elevado (sobre todo los de altas prestaciones como los de nomex, vidrio, titanio y aluminio) o con un precio asequible, pero con prestaciones limitadas (como los de PP o cartón). Por tanto, existe una posibilidad de mercado en el desarrollo de honeycombs con buenas prestaciones a un precio asequible. En la siguiente imagen se puede ver una comparativa del coste de los materiales honeycomb actualmente comercializados.



Comparativa en coste económico de diferentes materiales honeycomb actualmente comercializados.

DESARROLLO DE LA NUEVA GENERACIÓN DE HONEYCOMBS.

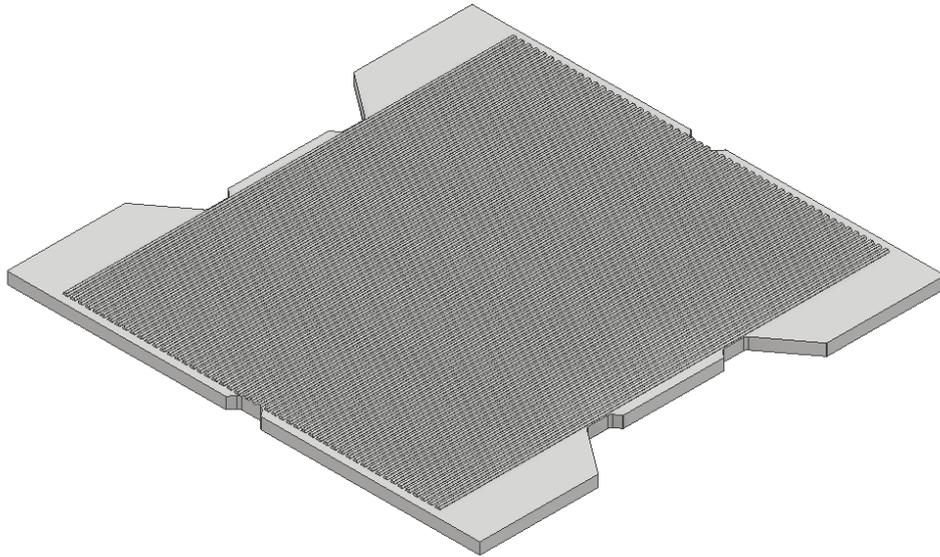
En el desarrollo de la nueva generación de honeycombs se han realizado diferentes investigaciones previas para la optimización del proceso de fabricación de los núcleos. A continuación, se describe con mayor detalle los pasos seguidos.

DISEÑO DE MILDRES PARA EL DESARROLLO DE HONEYCOMBS.

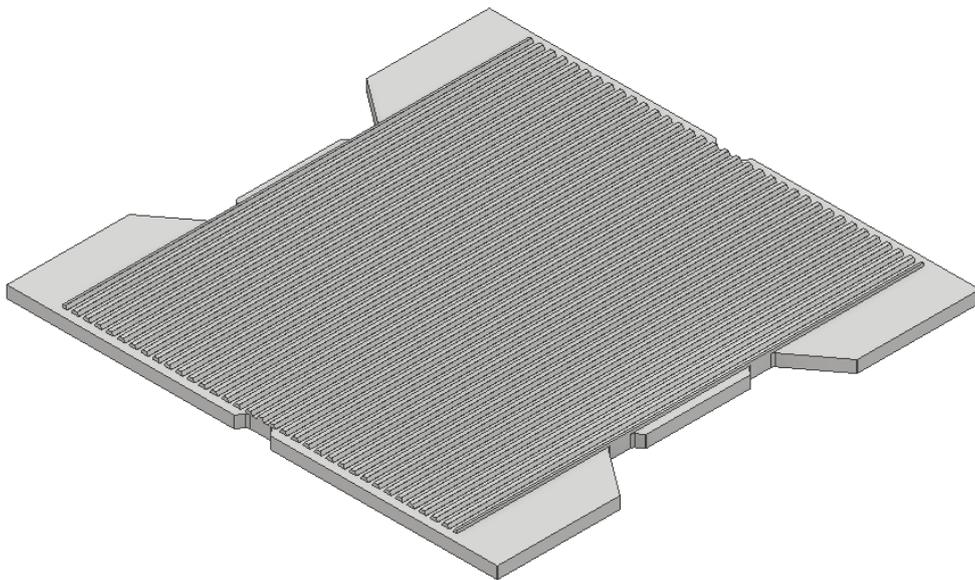
En base a la bibliografía consultada y recogida en el informe E.1. Planteamiento y planificación técnica, se ha podido determinar que existen 3 medidas más usuales de utilización de honeycombs. Estas 3 medidas se rigen por las dimensiones de celda de la forma de hexágono del honeycomb.

- Tamaño de celda de 3,2 mm.
- Tamaño de celda de 4,8 mm.
- Tamaño de celda de 6,4 mm.

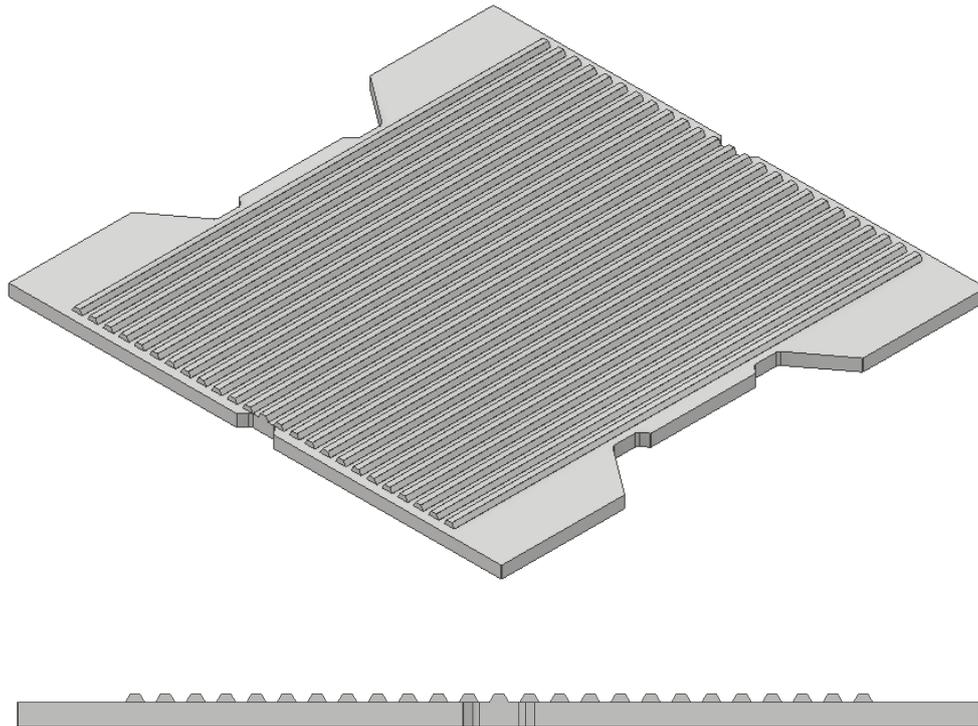
En base a estas tres medidas se desarrollaron moldes con esas medidas para el desarrollo de honeycombs con esos tamaños de apertura de celda. Para la fabricación de los moldes primeramente se procedió a su diseño mediante programas CAD 3D. Posteriormente se mecanizaron dichos moldes con material de aluminio. A continuación, se muestran unas imágenes de los diseños de los 3 moldes diferentes considerados para el desarrollo de los honeycombs a partir de los no tejidos de carda.



Molde con dimensiones de celda de honeycomb de 3,2 mm.



Molde con dimensiones de celda de honeycomb de 4,8 mm.



Molde con dimensiones de celda de honeycomb de 6,4 mm.

DESARROLLO DE NO TEJIDOS DE CARDA COMO BASE EN LA FABRICACIÓN DE LOS HOENYCOMBS.

Los no tejidos de carda han servido como base para el desarrollo de los honeycomb mediante procesos de termocompresión. Se han seleccionado las fibras que mejores características físico-mecánicas presentaban, en un principio, para el desarrollo de los honeycombs.

Los no tejidos de carda se han desarrollado con porcentajes de fibras termoplásticas de polipropileno (PP) y de Ácido poliláctico (PLA) de hasta un 60% de la composición total del velo, con un gramaje establecido de 200 g/m². Estos desarrollos han sido realizados por el servicio externo ALBERO I SEMPERE S.L. Las fibras seleccionadas corresponden tanto a fibras vírgenes como recicladas, así como de naturaleza de fibras técnicas, sintéticas y naturales. A continuación, se enumeran las diferentes fibras de refuerzo consideradas en la formación de los no tejidos de carda.

Fibras naturales:

- Fibras de lino
- Fibras de algodón.
- Fibras de bambú.

Fibras recicladas:

- Residuo fibras textiles varias.
- Residuo fibras acrílicas.

- Residuo fibras de aramida.
- Residuo fibras de carbono.

Fibras técnicas:

- Fibras de carbono.
- Fibras de pyrotex.

A continuación, se muestra con más detalle la composición de los no tejidos, así como la tipología que presentan:

Material	Fibra termoplástica y porcentaje	Imagen de referencia
Pyrotex 40%	PP 60%	
Fibras de aramida 40%	PP 60%	
Fibras acrílicas 40%	PP 60%	

<p>Fibra de carbono (tipo textil) 40%</p>	<p>PP 60%</p>	
<p>Fibras de reciclados textiles 40%</p>	<p>PP 60%</p>	
<p>Fibras de bambú 40%</p>	<p>PLA 60%</p>	
<p>Fibras de algodón 40%</p>	<p>PLA 60%</p>	
<p>Fibras de lino 40%</p>	<p>PLA 60%</p>	

También se consideró la utilización de no tejidos de fibra de carbono reciclada comercial de la empresa ELG Carbon Fibre, que presenta unas características muy similares a los no tejidos desarrollados por el servicio externo ALBERO I SEMPERE.

Material	Fibra termoplástica y porcentaje	Imagen de referencia
Fibra de carbono (tipo roving) 40%	PP* 60%	

*Este PP se trata de un material termoplástico de alta calidad, con prestaciones superiores al de Albero i Sempere para tareas de termocompresión.

DESARROLLO DE LA NUEVA GENERACIÓN DE HONEYCOMBS.

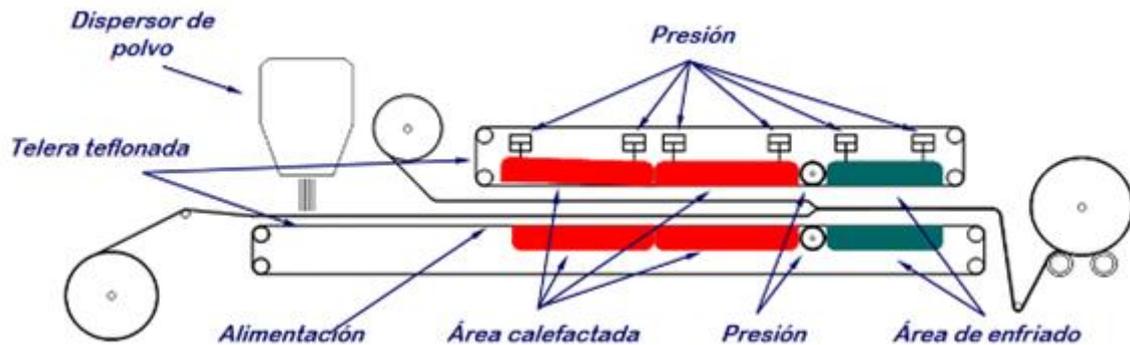
En el desarrollo de la nueva generación de honeycombs se ha necesitado de la optimización conjunta de procesos de laminado en continuo mediante el equipo RELIANT y procesos de termocompresión con la utilización de los moldes de medio hexágono descritos anteriormente.

Pruebas de termocompresión en continuo mediante laminadora.

La realización de pruebas de termocompresión en continuo mediante el equipo de laminado es un factor bastante importante a la hora de poder determinar el correcto diseño del equipo de fabricación de honeycombs en continuo. La determinación de la viabilidad de procesado mediante la laminadora, simulando la termocompresión en continuo, podrá demostrar con garantías la posibilidad de termocompresión en continuo con la forma de medio hexágono. Estos datos han servido para poder realizar correctamente el diseño del equipo de fabricación de honeycombs. Es decir, la optimización del proceso de termocompresión en continuo en el equipo de laminado, en base al comportamiento de los no tejidos de carda, ayudó al diseño del equipo de fabricación de honeycombs. Los parámetros más importantes que se pueden optimizar en el equipo de laminado son:

- Presión de aplicación.
- Velocidad de procesado.
- Temperatura de procesado.

A continuación, se muestra un esquema del equipo de laminado en continuo donde se puede observar claramente la zona de aplicación de calor y de frío distribuido en el interior del equipo.



Esquema de sistema RELIANT de laminado en continuo.

Mediante estas pruebas se pudo optimizar los parámetros enumerados anteriormente de presión, velocidad y temperatura. Estos datos son esenciales y han determinado la viabilidad de procesado a velocidades aceptables de fabricación industrial, lo que permite una buena competitividad económica de fabricación.

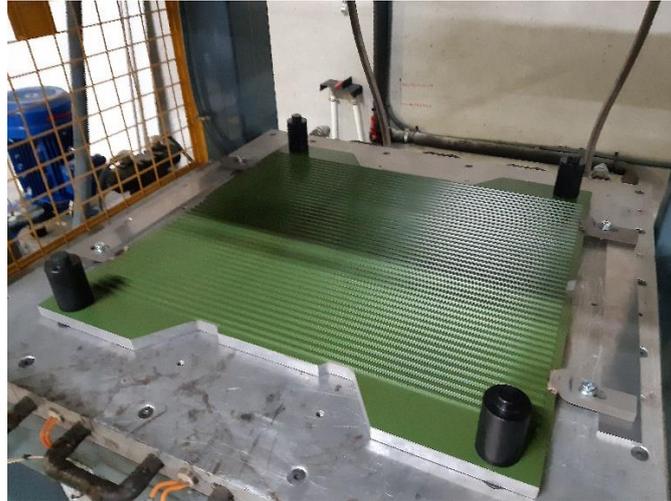
Pruebas de desarrollo de honeycombs mediante termocompresión.

Otro de los parámetros más significativos para la optimización del proceso que han ayudado en el diseño CAD 3D del equipo de fabricación de honeycombs ha sido la termocompresión de los no tejidos con los moldes desarrollados y descritos anteriormente. Hay que recordar que se desarrollaron moldes con tres medidas de apertura de celda.

- Tamaño de celda de 3,2 mm.
- Tamaño de celda de 4,8 mm.
- Tamaño de celda de 6,4 mm.

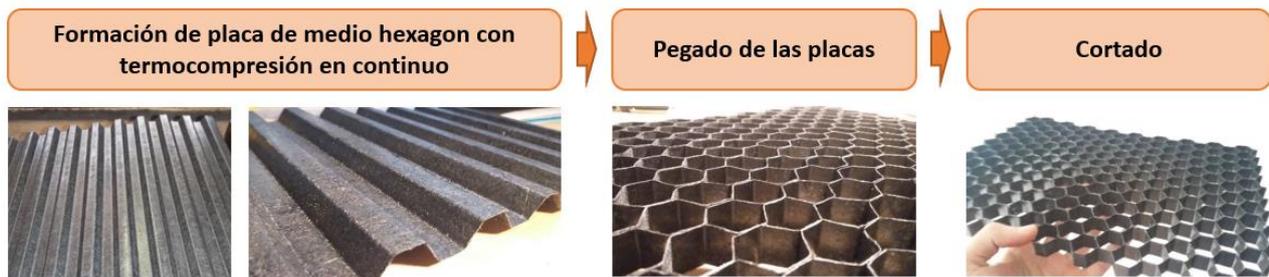
En este caso se ha centrado la investigación, esencialmente, en el molde con apertura de celda de 4,8 mm, cuyos honeycombs han sido posteriormente caracterizados para la determinación de sus propiedades mecánicas. Los otros dos moldes de apertura de celda de 3,2 y 6,4 mm se han utilizado para la obtención de muestrario y análisis de capacidad de adaptación de los no tejidos a diferentes dimensiones de apertura de celda y demostrar la viabilidad de fabricación.

El proceso de desarrollo de honeycombs mediante procesos de termocompresión ha seguido de la siguiente manera. Primeramente, se ha procedido a la instalación del molde en la prensa de termocompresión y tras el cortado del no tejido a las medidas adecuadas se ha procedido a la termocompresión con un tiempo y una temperatura determinada por la fibra termoplástica que compone el no tejido.



Introducción del molde con forma de medio hexágono en la termocompresora.

Tras el proceso de termocompresión se procedió al cortado de las placas obtenidas para proceder a su posterior pegado con un adhesivo de base poliolefina de alta compatibilidad con el PP. El esquema siguiente se muestra con mayor detalle el proceso seguido para la formación de la nueva generación de honeycombs.



Esquema del proceso seguido para la obtención de la nueva generación de honeycombs desarrollados en el proyecto.

A continuación, se muestra cada uno de los desarrollos de honeycombs considerados en el proyecto, pudiendo observar el proceso de transformación desde el no tejido hasta la construcción del núcleo.

HONEYCOMB DE LINO

Composició

Fibra de lino → 40%

Fibra de PLA → 60%



HONEYCOMB DE ALGODÓN

Composició

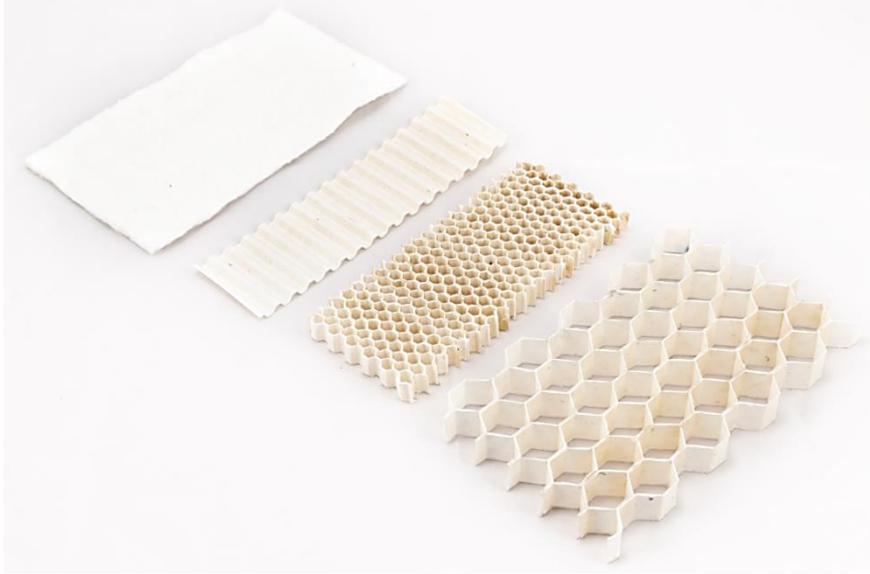
Fibra de algodón → 40%

Fibra de PLA → 60%



HONEYCOMB DE BAMBÚ

Composició	Fibra de bambú → 40%
	Fibra de PLA → 60%



HONEYCOMB DE RESIDUO TEXTIL

Composició	Residuo fibra textil → 40%
	Fibra de PP → 60%



HONEYCOMB DE RESIDUO ACRÍLICO

Composició	Residuo fibra acrílica → 40%
	Fibra de PP → 60%



HONEYCOMB DE RESIDUO ARAMIDA

Composició	Residuo fibra aramida → 40%
	Fibra de PP → 60%



HONEYCOMB DE RESIDUO CARBONO

Composició	Residuo fibra de carbono (tipo roving) → 40%
	Fibra de PP → 60%
	

HONEYCOMB DE CARBONO

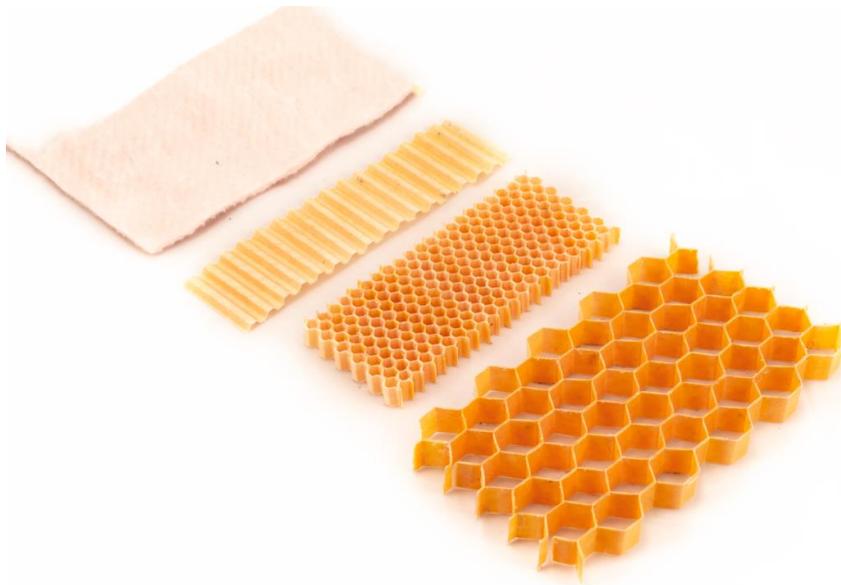
Composició	Fibra de carbono (tipo textil) → 40%
	Fibra de PP → 60%
	

HONEYCOMB DE PYROTEX

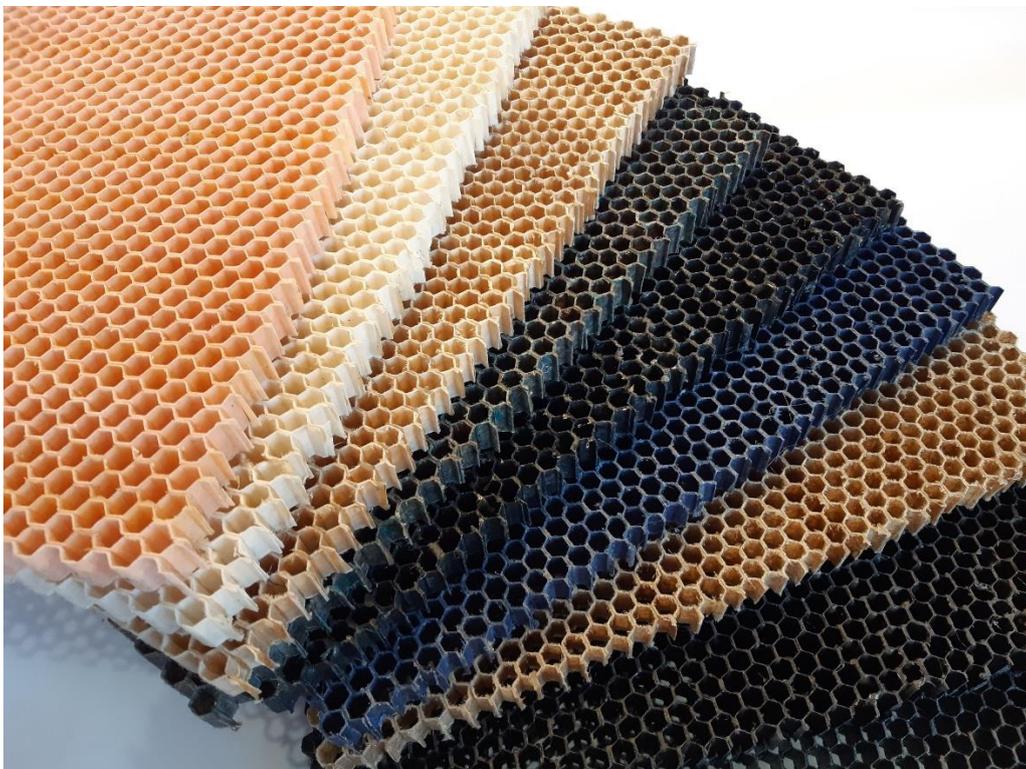
Composició

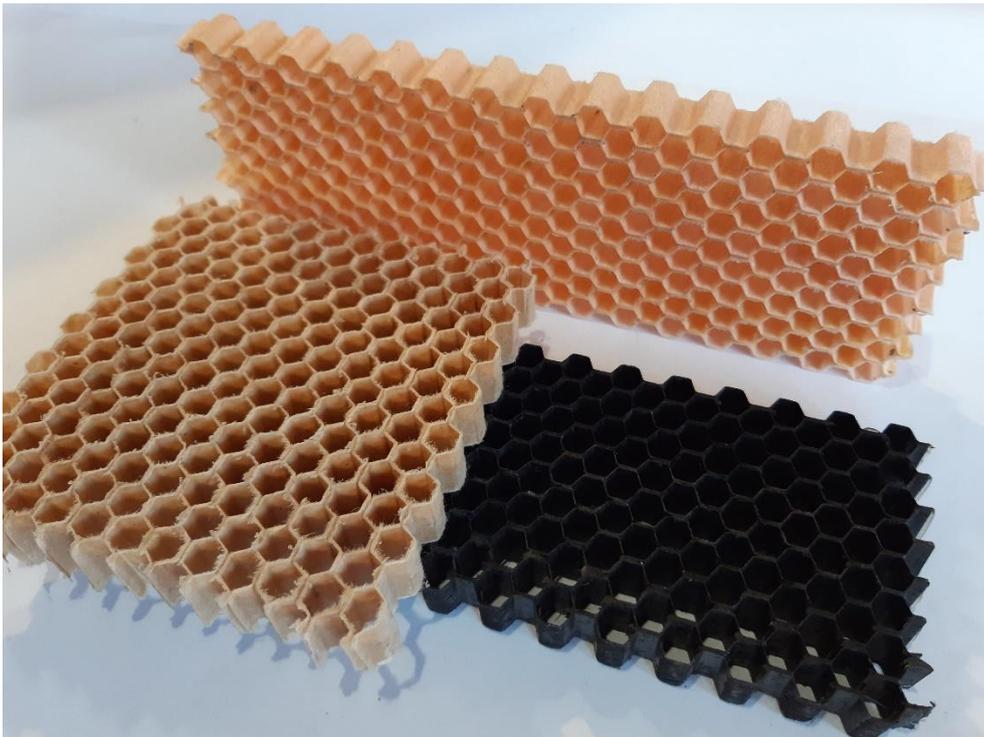
Fibra de pyrotex → 40%

Fibra de PP → 60%



A continuación, se muestran unas imágenes de todos los honeycombs en conjunto para una mejor comparativa de las diferentes tipologías desarrolladas.





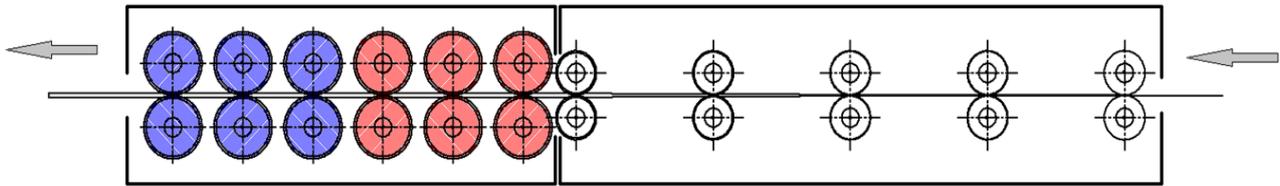
Nueva generación de hoenycombs desarrollados en el proyecto.

DISEÑO CAD 3D DE EQUIPO DE FABRICACIÓN DE HONEYCOMB EN CONTINUO.

Tras el desarrollo de los honeycombs mediante termocompresión junto con las pruebas realizadas de laminado en continuo se pudo obtener la información necesaria para el diseño del equipo de termocompresión en continuo.

Teniendo en cuenta los parámetros de velocidad de fabricación, así como de temperatura y presión se procedió al diseño de la máquina de fabricación de honeycomb en continuo. Hay que destacar que la formación de honeycomb a partir de termocompresión en continuo utilizando como material base los no tejidos representa un factor bastante importante en el abaratamiento de producción de los núcleos, además de la posibilidad de utilización de muy diversas materias primas, siempre y cuando se presenten en formato fibra.

La realización del diseño se ha contado con la colaboración del servicio externo DUPRA, el cual esta especializado en el diseño y construcción de máquinas de muy diversas características. A continuación, se muestran esquemas e imágenes donde se puede ver con mayor detalle el equipo diseñado de fabricación de honeycombs.

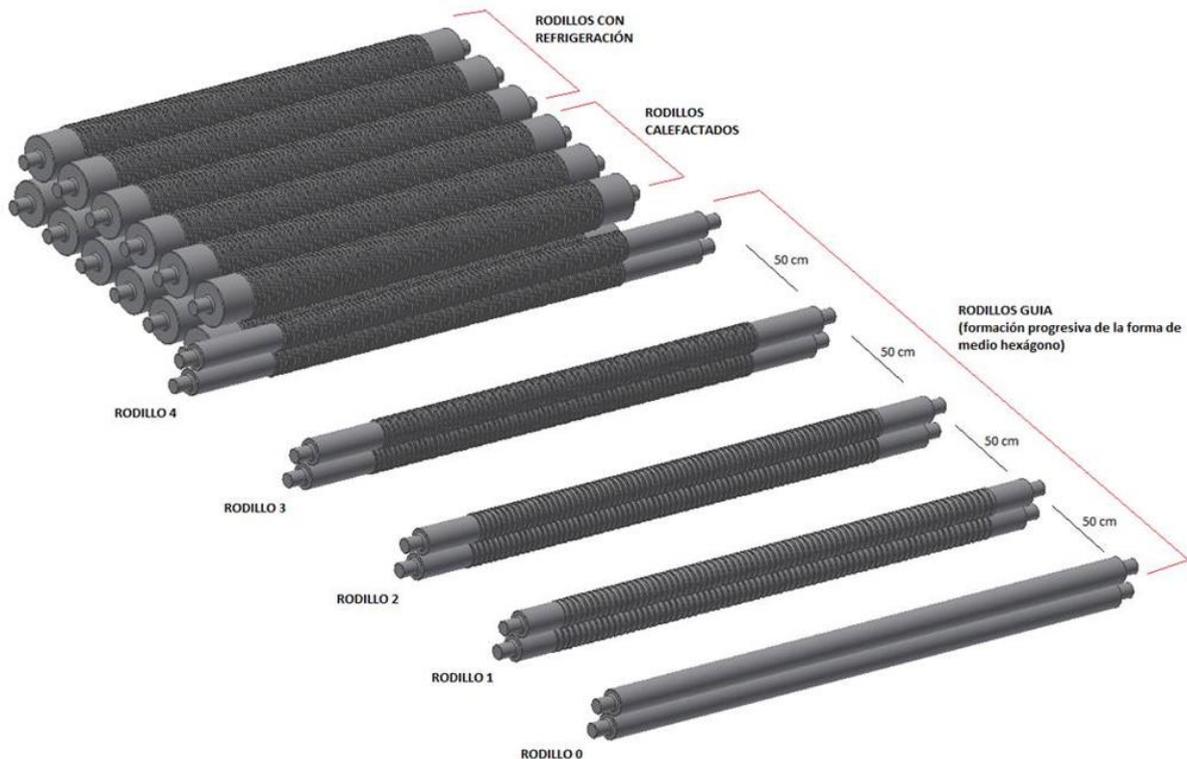


Esquema del equipo de fabricación de la nueva generación de honeycombs.

Primeramente, se partió del diseño mostrado en la imagen anterior, cuya base se centra en el análisis del comportamiento del no tejido base en los procesos de termocompresión y laminado en continuo descritos anteriormente. A partir de este diseño se procedió al cálculo de los elementos mecánicos y relaciones de distribución de transmisión de la fuerza a los diferentes rodillos.

Después de la realización de estos cálculos DUPRA aconsejó la reducción del tamaño de equipo y proceder al diseño y fabricación de un equipo pequeño de fabricación de honeycombs. Es decir, se consideró una mejor opción el diseño de un equipo más pequeño para ser fabricado en la presente anualidad, de esta manera se podrían hacer pruebas más próximas a la realidad, siendo un paso intermedio entre escala de laboratorio y escala semi-industrial. En la próxima anualidad se realizarán las pruebas con este sistema más pequeño para optimizar en mayor medida el equipo final semi-industrial de mayor tamaño y capacidades.

Se decidió calentar los rodillos con resistencias, ya que presenta un menor mantenimiento que los sistemas de calentamiento por aceite o vapor. Por tanto, cada rodillo debe de incorporar en su interior resistencias para conseguir la temperatura a adecuada de procesado de los no tejidos y formación de los honeycombs. A continuación, se muestran unas imágenes de los diseños CAD 3D.



Diseño básico del equipo de fabricación de la nueva generación de honeycombs.

No se incluyen más imágenes del diseño del equipo de fabricación de honeycombs debido a que se está en proceso de protección mediante patente, ya que es un proceso novedoso de fabricación de honeycombs. Por tanto, una vez se tenga la protección completa del mismo se podrán incorporar imágenes con mayor detalle del equipo.

Por último, hay que destacar que posteriormente a este diseño se procedió a las piezas esenciales de funcionamiento para el montaje del equipo pequeño de optimización. En la próxima anualidad se realizará el montaje, así como las pruebas de termocompresión en continuo para la formación del honeycomb.

CARACTERIZACIÓN FÍSICO-MECÁNICA DE LA NUEVA GENERACIÓN DE HONEYCOMBS.

En la determinación de la viabilidad de desarrollo de la nueva generación de honeycombs se requiere de la caracterización físico-mecánica de dichos núcleos. Así como también de los no tejidos bases utilizados en la formación.

CARACTERIZACIÓN FÍSICO-MECÁNICA DE LOS NO TEJIDOS BASE.

Los ensayos considerados para la determinación de las capacidades físico-mecánicas de los no tejidos base se han realizado los siguientes ensayos:

- Determinación del espesor. UNE EN ISO 9073-2:1997 A
- Determinación de la masa laminar. UNE EN 29073-1:1993
- Resistencia a la tracción y alargamiento a la rotura. UNE EN 29073-3:1993

Los resultados de Resistencia a la tracción y alargamiento a la rotura han sido bastante buenos, sobre todo con los no tejidos formados con fibras técnicas.

CARACTERIZACIÓN FÍSICO-MECÁNICA DE LA NUEVA GENERACIÓN DE HOENYCOMBS.

Los ensayos considerados para la determinación de las capacidades físico-mecánicas de los honeycombs se han realizado los siguientes ensayos:

- Ensayos de cizalla según ASTM C273.
- Ensayos de compresión según ASTM C365
- Ensayos de tracción con nodo según la norma ASTM C363

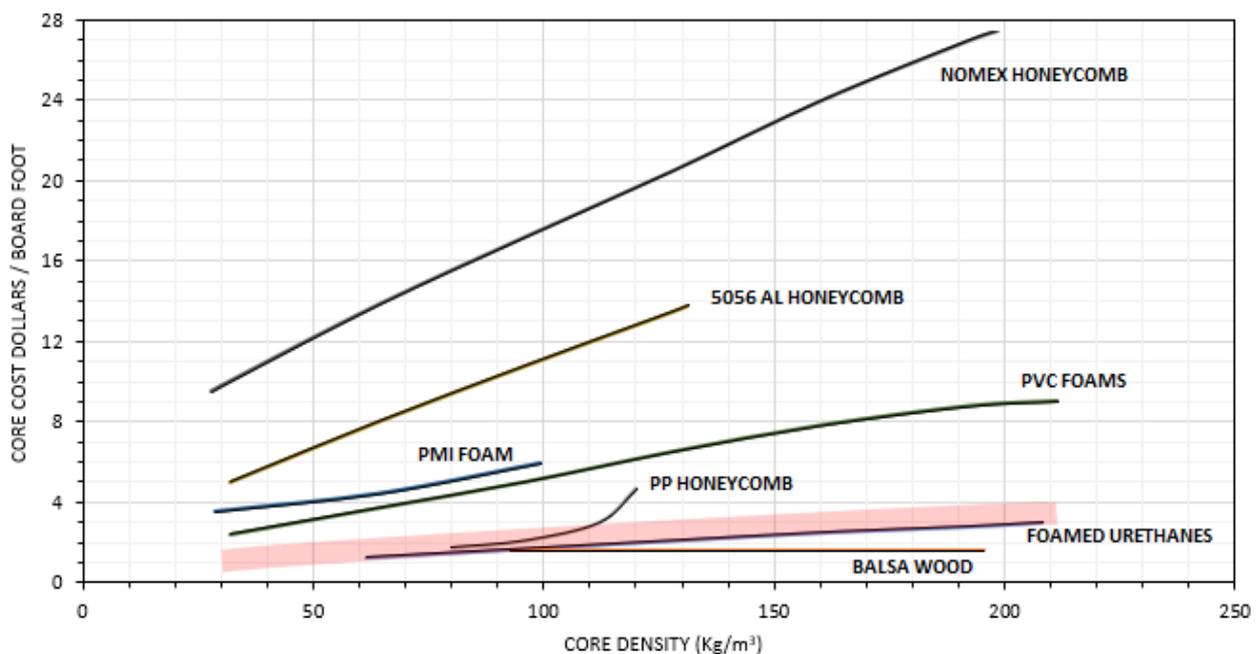
Los resultados obtenidos global de resistencia son bastante satisfactorios, teniendo alguno d ellos honeycombs propiedades resistentes mayores que los honeycombs comerciales de PP.

No se muestran más datos de los resultados obtenidos ni de las características físicas de los no tejidos debido a que se está protegiendo bajo patente este proceso de fabricación de la nueva generación de honeycombs. Cuando se tenga completamente protegido el proceso de fabricación se mostrarán más datos.

ESTUDIO ECONÓMICO DE FABRICACIÓN DE LA NUEVA GENERACIÓN DE HONEYCOMBS.

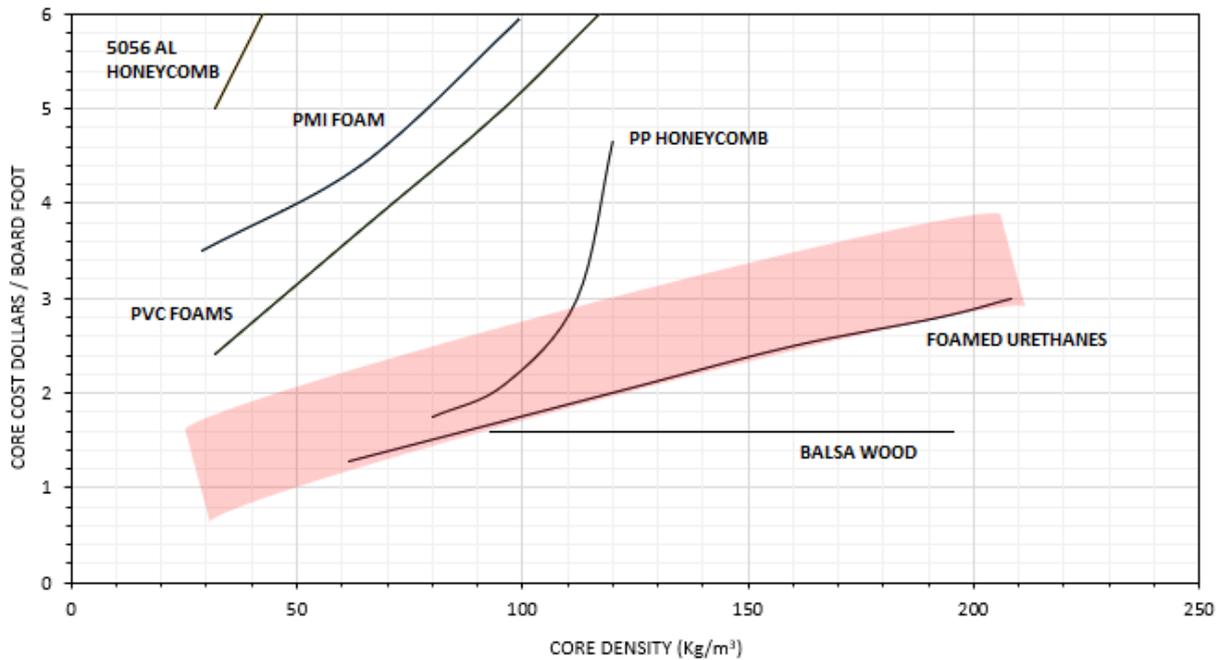
En esta parte se ha realizado un exhaustivo análisis del coste que se tendría de fabricación de la nueva generación de honeycombs con respecto a los que se pueden encontrar comercialmente. Este calculo se ha realizado teniendo en cuenta el coste de la materia prima y el consumo energético de los equipos implicados para la fabricación de la nueva generación de honeycombs. En este caso no se ha contabilizado el personal necesario ni el coste de amortización de los equipos.

Tras obtener el coste estimado de fabricación se realizó una comparativa con los precios actuales de los honeycombs más utilizados en la industria. En la gráfica que se muestra a continuación se puede ver con más detalle la comparativa de precios.



Gráfica comparativa de precio de diferentes honeycombs.

La sección resaltada en rojo sería el rango de precios que se han calculado de la nueva generación de honeycombs desarrollado en el proyecto HONEYTEX. Como se puede comprobar los precios son muy competitivos, igualándose a los honeycomb de PP e incluso en algunos casos reduciéndose el precio.



Zoom de gráfica comparativa de precio de diferentes honeycombs.

Tabla comparativa de precios de honeycombs comerciales y desarrollados en el proyecto.

HONEYCOMB (Celda=9,6 mm / Espesor=10 mm)						
DESCRIPCIÓN PRODUCTO	HONEYCOMB NOMEX	HONEYCOMB 5056 AL	HONEYCOMB PP	HONEYCOMB PAPEL	NG HONEYCOMB RESIDUO TEXTIL	NG HONEYCOMB CARBONO
Dimensiones del honeycomb (mm)	1000x1000	1000x1000	1000x1000	1000x1000	1000x1000	1000x1000
Apertura de celda (mm)	9,6	9	8	8	9,6	9,6
Espesor del honeycomb (mm)	10	10	10	10	10	10
Densidad (Kg/m³)	48	54	60	58	55,56	55,56
PRECIO (€/m²)	48,20	33,9	9,56	4	3,23	5,51

Como se puede ver en la tabla anterior, el coste de alguno de los honeycomb desarrollados en el proyecto (destacados en azul), se han podido obtener precios muy competitivos comparados con los honeycombs similares comerciales.

6. IMPACTO EMPRESARIAL

Primero que nada, hay que destacar de que el desarrollo contemplado en el proyecto HONEYTEX de desarrollo de una nueva generación de honeycombs empezó sin ningún tipo de estudio, por lo que el progreso obtenido durante la anualidad ha podido dotar al proyecto de la base para una optimización más exhaustiva. Por lo que no se tenía previamente la demostración empírica de la viabilidad de este nuevo concepto. Tras lo ejecutado, además de haber procedido a la correspondiente protección bajo patente del proceso desarrollado en el proyecto, se ha realizado una incursión en diferentes empresas para poder determinar el interés de las empresas.

Ingeniería de Materiales Compuestos S.L. (INCOM)

La empresa Incom esta especializada en la fabricación de materiales compuestos de altas prestaciones para diferentes sectores, destacando el sector de las energías renovables con la fabricación de palas eólicas. Esta empresa esta ubicada en Elda teniendo varias empresas distribuidas por Europa.

La reunión tratada con INCOM se expuso esta nueva tecnología de fabricación de honeycombs, así como los honeycombs obtenidos, los cálculos del coste económico obtenido y las características mecánicas analizadas. La empresa se mostro muy interesada en la utilización de estos tipos de honeycombs para la fabricación de algunos de sus componentes, como en tableros sándwich y partes internas de palas eólicas. Esta transferencia colaborativa se profundizará más en la próxima anualidad.

Por el momento no se han realizado ningún contacto más con empresas de la zona, no obstante, esto se realizará en mayor medida en la próxima anualidad al tener una mayor cantidad de datos y progresos para demostrar con fundamentos la viabilidad técnica y económica de fabricación de esta nueva generación de honeycombs.