



UNIÓN EUROPEA

Fondo Europeo de Desarrollo Regional

“Una manera de hacer Europa”



**Proyecto: FAMA –Fabricación aditiva en el sector del mueble.**

## RESUMEN DE RESULTADOS

**Programa:**

**Nº EXPEDIENTE: IMAMCC/2015/1**

**PROGRAMA: PROMECE**



UNIÓN EUROPEA

Fondo Europeo de Desarrollo Regional

“Una manera de hacer Europa”



INSTITUTO VALENCIANO DE  
COMPETITIVIDAD EMPRESARIAL

## INDICE

1- ESTADO DEL ARTE. CONCLUSIONES	3
2- TECNOLOGÍAS A CONSIDERAR.	8
3- MATERIALES A UTILIZAR	13
4- RESUMEN Y CONCLUSIONES	26



## 1- Estado del arte. Conclusiones

Las tecnologías de impresión 3D han conocido en los últimos tiempos un aumento en su desarrollo, uso en el mercado y explotabilidad considerando las diferentes aplicaciones en los varios sectores industriales, también apoyada por una continua inversión de fuertes grupos privados y por una continua investigación y desarrollo sobretodo sobre los materiales.

Sus ventajas son la Versatilidad ya que supone una revolución en la conceptualización del producto y en su fabricación. Es flexible y de prototipado rápido ya que el límite está en la creatividad humana y se pueden generar prototipos (también complejos) muy fácilmente. Reduce los costes ya que produciendo el producto en situ se evitan costes logísticos y de producción (residuos, acabados, etc.). Personalización ya que cualquiera puede fabricar sus propios productos que serán únicos. Nuevo concepto de negocio ya que revoluciona la forma de diseñar y producir un producto; por ejemplo, hay empresas que se dedican a imprimir un producto diseñado por cualquier usuario capaz de utilizar software libre (open source).

A continuación se realiza una breve introducción de las tecnologías 3D disponibles en el mercado con sus principales características:

- **FDM:** Fused Deposition Modelling que es la más popular y que trabaja principalmente con materiales como el PLA o el ABS. Esta tecnología usa el método de depositar capas finas de material termosensible que luego se solidifica enfriándose y sirviendo como base para la capa sucesiva.
- Otras tecnologías usan laser para como actuador. Existen en el mercado las tecnologías Estereolitografía (**SLA**) y Selective Laser Sintering (**SLS**), que alcanza más precisión y un ahorro en tiempo de impresión respecto a la primera.
- La tecnología **SLA** es la primera tecnología desarrollada en el campo de la AM, y tiene también un proceso de formulación capa por capa que se desarrolla en un baño de resina fotocurable. Por cada capa la pieza sube y permite a la siguiente ser curada y así sucesivamente. Esta tecnología permite alcanzar altos niveles de detalle pero desperdicia cierta cantidad de material que algunas veces puede ser reciclado o mezclado con nuevo material puro.
- La tecnología **SLS** por otro lado usa material en polvo (granulometría también micrométrica) como el poliestireno, materiales cerámicos, cristal y materiales metálicos. El proceso hace que el láser funda en un punto el material en polvo que se solidifica para dar paso a la siguiente capa. En este caso todo el material en polvo sigue en el mismo lugar para soportar la fabricación de la pieza y luego se recicla en posteriores fabricaciones. En línea con la tecnología SLS tenemos también una variante que es la Selective Laser Melting (**SLM**), la diferencia es que mientras en el SLS el polvo de material se funde a más bajas temperaturas, en la SLM se derrite. Esto aumenta la calidad del producto final, cuyos usos finales se destinan a industria de alto valor añadido, al incrementarse el coste de fabricación. Este procedimiento es equivalente a otra versión de esta tecnología llamado Electron Beam Melting (**EBM**) que usa un haz de electrones en lugar del láser para derretir el polvo del material usado.
- Otro tipo de impresoras 3D es la **Polyjet Photopolimer**, se llama así porque el



principio es el mismo de una impresora normal que usa tinta, pero en este caso en lugar de tinta utiliza un fotopolímero, que inmediatamente es solidificado por capas mediante una luz UV. La ventaja de esta tecnología es poder trabajar con distintos materiales a la vez y distintos colores.

- Otra tecnología es la **Syringe Extrusion**, cuya diferencia fundamental es trabajar con un sistema de alimentación con material viscoso. El extrusor es un husillo apto para trabajar con esta tipología de material. Los parámetros tecnológicos pueden variarse y el mismo sistema puede trabajar con materiales muy diversos como chocolate o silicona. El procedimiento es el mismo, el producto se desarrolla capa por capa.
- Finalmente cabe destacar la Laminated Object Manufacturing (**LOM**) donde realmente distintas capas de materiales como el papel adhesivo, plástico o láminas de metal se ubican una encima de la otra y luego se juntan (con pegamento o resina) y se cortan para alcanzar la forma final con el uso de un láser.

## Principales aplicaciones

### Industria de la Defensa

Las componentes usadas en la industria de la defensa tienen que ser resistentes, durables y sobretodo seguros ya que fallos pueden poner vidas en peligro. Estos componentes de alta precisión tienen que soportar increíbles esfuerzos mecánicos, vibraciones y condiciones ambientales límites. Las experiencias han demostrado que en un futuro estas componentes se podrán imprimir directamente en campo sin tener que depender de provisiones, también porque los costes de fabricación se han reducido de más de 100.000 \$ a menos de 40.000 \$ por unidad (fuente: "Tough Enough for Armored Tanks," Strataysys case study, 2002. <http://www.strataysys.com/Resources/Case-Studies/Military-FDM-Technology-Case-Studies/Case-Study.aspx>).

Actualmente la combinación de la tecnología 3D y la convencional en este campo industrial ha permitido ahorrar 3.8 M\$ al Gobierno Americano entre el 2004 -2009 en productos como aviones, sistemas de armas, médicos y telecomunicaciones. Otras aplicaciones en la industria militar es la creación de modelos topográficos en 3D, que se regeneran con respecto a la evolución de la situación. Los modelos que pueden ser creados en 2 horas muestran cambios en el nivel de aguas en las inundaciones, infraestructuras, edificios y otras informaciones. Estas aplicaciones de mapeo en relieve pueden ser usadas también en otros sectores como la minería y la arqueología.

### Industria Aeroespacial

La industria aeroespacial es la que más está contribuyendo a la introducción de la tecnología 3D en el mercado ya que con ella ha conseguido mejorar los rendimientos de las componentes fabricadas reduciendo el mantenimiento y ahorrando combustible disminuyendo el peso de los mismos. La empresa Boeing ha ya impreso 22.000 componentes ya en uso en diferentes aviones (fuente: "3-D printing could remake U.S. manufacturing," USA Today, 10 July 2012.

<http://www.usatoday.com/money/industries/manufacturing/story/2012-07-10/digital-manufacturing/56135298/1>).



Por ejemplo el "conducto de control ambiental" del nuevo Boeing 787 es una componente compleja formada por más de 20 partes. Con la tecnología de impresión 3D es una única pieza, lo que reduce el inventario, no requiere ensamblar las piezas y mejora tiempos de inspección y mantenimiento (fuente: Additive Manufacturing Technology Roadmap for Australia, Commonwealth Scientific and Industrial Research Organisation, March 2011, p. 22.

<http://www.enterpriseconnect.gov.au/media/Documents/Publications/Additive%20Manufacturing%20Tech%20Roadmap.pdf>).

Según un estudio del American Airlines por cada libra (0,453 kg) extraída del avión, la compañía ahorra mas de 11.000 galones (41.639 litros) de combustible anualmente (fuente: "Fuel Smart Celebrates its 5th Anniversary," American Airlines, <http://www.aa.com/i18n/aboutUs/environmental/article2.jsp>). También en el caso de la industria Aeronáutica los hay beneficios logísticos. De hecho componentes fabricadas en un área del mundo necesitan semanas para ser desplazados a otras. La tecnología 3D usada in situ elimina estos tiempos y el impacto logístico (económico y medioambiental), reduce los inventarios y la carga de trabajo sobre toda la cadena de fabricación.

Un ejemplo extremo de tiempos largos de entrega es la actividad de la exploración espacial. La NASA y otras empresas están trabajando en la investigación relacionada a la fabricación de herramientas, procesos y sistemas para directamente fabricar en el espacio y evitar todos los costes relacionados con el transporte de los mismos desde la Tierra (Fuente: "Made-in-Space Parts Could Become Space Travel's New Norm," Space.com, 19 July 2012,

<http://www.space.com/16656-space-manufacturing-3d-printing.html>; and "3D printing's stellar, amazing year," Make Parts Fast, 25 December 2011, <http://www.makepartsfast.com/2011/12/3007/3d-printings-stellar-amazing-year/>)

### Industria del Automóvil

En este sector la tecnología de impresión 3D se ha usado para fabricar prototipos a escala. No obstante se está empezando a experimentar con piezas y productos para el mercado. Por ejemplo hay el prototipo híbrido "Urbee" cuya carrocería ha sido totalmente impresa en 3D (fuente: Jim Kor, "URBEE: Designing with Digital Manufacturing in Mind," 2012, p. 8.) y el primer coche de competición creado casi completamente con impresión 3D para la Formula Student 2010 (fuente: "The Areion by Formula Group T: The World's First 3D-printed Race Car," Materialise.

<http://www.materialise.com/cases/the-areion-by-formula-group-t-the-world-s-first-3d-printed-race-car>).

Otras aplicaciones en este sector es la creación de parte de los ingenieros de la BMW de herramientas de ensamblaje más ligeras y ergonómicas para mejorar la productividad de los trabajadores. Las herramientas han llegado a pesar 1,3 kg menos con un balance y maniobrabilidad mejorado (fuente: "Manufacturing Jigs and Fixtures with FDM," Stratasy's case study, 2009. <http://www.stratasy.com/Resources/Case-Studies/Automotive-FDM-Technology-Case-Studies/BMW-Manufacturing-Tools.aspx>).

### Industria Médica

El uso más inspirador de esta tecnología ha sido en el sector de la medicina, ya que con ella se pueden salvar vidas o mejorarlas. Actualmente usando las células del paciente el Instituto Wake Forest para la medicina regenerativa ha desarrollado una



técnica de impresión 3D para generar tejidos y órganos. Científicos están trabajando sobre proyecto regenerando oídos y músculos. La idea de base es poder imprimir estructura en 3D de tejidos usando células vivas, para luego implantarlo en el cuerpo humano donde seguiría desarrollándose.

Además, hay un número creciente de aplicaciones 3D en cirugía, por ejemplo placas craneales o mandíbulas en titanio que mejoran la fijación, reduce el tiempo de cirugía y las posibles infecciones.

Ya que en este caso hay que fabricar piezas que perfectamente encajan con el cuerpo de cada paciente, la técnica 3D se presta muy favorablemente a la personalización de estos productos y también de las prótesis que llegan a ser más ligeras y personalizables.

### Otros usuarios

La tecnología 3D ha creado una nueva generación de usuarios fabricante y productores de componentes únicas o personalizables. Son individuos que compran una máquina 3D y la ponen a disposición de otros. Normalmente se usan servicios on line, se envía el fichero en 3D y en poco tiempo se recibe el producto en tu propia casa. Son productos con alto nivel de personalización y esto hace, con un precio accesible, que este mercado se esté expandiendo y globalizando.

El mercado está evolucionando muy rápidamente gracias a los programas y los sistemas Open Source, que permiten poder compartir diseños e ideas de forma global y accesible, con el apoyo de tecnología de sobremesa.

Para tener una idea del alcance de este mercado se puede mirar la página web *Thingiverse.com* creada por las industrias MakerBox donde hay registrada una comunidad de diseñadores compartiendo más de 25.000 modelos y productos.

### **Coste de los materiales**

El coste de fabricación no está solo en la tecnología. La fabricación de los materiales, su mezcla con aditivos, su nivel de pureza, calidad, granulometría, etc. hace que su coste sea muy elevado y esto es todavía un obstáculo para su mayor difusión a nivel territorial y a nivel de otros sectores industriales menos exigentes. Por ejemplo el coste del plástico usado para la tecnología de impresión 3D está entre 60-425 US\$/kg mientras la cantidad equivalente usada en la inyección tradicional es de solo 2,4-3,3 US\$/kg (Fuente: Wohlers Report 2011: Additive Manufacturing and 3D Printing State of the Industry, p. 242. <http://www.wohlersassociates.com/2011contents.htm>). Aunque el alto coste no es un problema para el prototipado o pequeños volúmenes, para las grandes producciones sí.

La tecnología de impresión 3D, empezó a trabajar con materiales plásticos para luego abrir el espectro incluyendo materiales cerámicos, metales, alimentos (chocolate, queso, etc.), vidrio y hasta tejidos humanos (células, hueso, etc).



## Conclusiones

Tras analizar el estado del arte y revisar las aplicaciones que podrían aproximarse al Sector madera-mueble, se pueden extraer las siguientes conclusiones:

- Existen materiales compuestos por polvo de madera (40%) y polímeros (por ejemplo: Laywood D3, Easy Wood, Wood Fill Line y otros) en forma de filamentos para ser utilizados en impresoras 3D. Se usan para elaborar pequeños objetos o prototipos de reducido tamaño, y aunque utilizan madera, su aspecto es más bien plástico. La gran ventaja de este tipo de material utilizando las impresoras 3D, es que permite que los usuarios diseñen sus propias piezas, subcontratando la fabricación a talleres especializados que disponen de esta tecnología, fácil de usar y económica, generando un modelo de negocio diferente.
- De forma incipiente se están utilizando biomateriales para ser dosificados mediante inyección, compuestos por lignina o celulosa extraída de residuos vegetales. Por el momento es un proceso caro, y aunque es un compuesto derivado de los vegetales, incluyendo la madera, no tiene ninguna característica reconocible y asociada a la misma. Este tipo de compuestos son interesantes desde el punto de vista medioambiental porque proceden de fuentes renovables y son totalmente biodegradables.
- Se ha propuesto el uso de mezclas de cola con polvo de madera y papel o cartón triturados, para ser inyectados, pero se ha quedado en un ejercicio teórico sin resultados prácticos. La referencia indicada en el documento corresponde a un trabajo de fin de grado y estaba más enfocado al diseño mecánico de la cabeza inyectora, por lo que esta propuesta no se considera significativa.
- Se ha detectado una start up norteamericana (4AXYZ – <http://4axyz.com> ) que pretende recoger fondos para desarrollar un sistema de fabricación aditiva que podría estar basado en la tecnología LOM, aunque las explicaciones, comentarios e indicios que aportan resultan extremadamente confusas, mezclando conceptos de LOM y otros conceptos tales como formación de cada capa de material con madera auténtica, sin que existan desperdicios. El sistema lo denominan *Stratified Additive Manufacturing (S.A.M.) With Wood*.



## 2- Tecnologías a considerar

La tecnología a utilizar para aplicar la FA con productos derivados de la madera vendrá condicionada por el material que se utilice. Actualmente no existe un material derivado de la madera que pueda ser utilizado para la fabricación aditiva, más allá de algunos materiales del tipo WPC (polvo de madera mezclado con PVC o PET como plastificantes) en formato hilo.

Las opciones que ofrece la madera para obtener materiales susceptibles de ser empleados en fabricación aditiva son dos:

- madera triturada cuyas partículas pueden tener diferentes tamaños (desde polvo hasta virutas), mezclada con algún elemento que aporte consistencia plástica;
- chapas de madera finas de diferentes espesores, incluyendo la denominada chapa reconstituida

A partir de estas opciones de material, las tres alternativas de tecnología a desarrollar serían:

1. Generar polvo de madera que se repartiría en capas y con una posterior impresión de aglutinante de naturaleza polimérica sobre el polvo se fabricaría cada capa de la pieza. Ejemplo de concepto ya utilizado en polímeros: <https://www.youtube.com/watch?v=15AmrylYu4k>



Figura 1 – Máquina de FA que utiliza polvo de diferentes polímeros

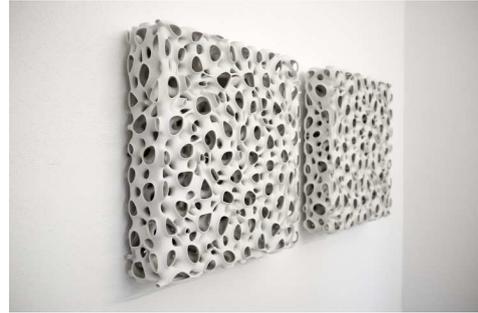


Figura 2- Piezas fabricadas a partir de polvo de polímeros

Esta tecnología debería emplear polvo de madera que sería aglutinado mediante algún tipo de adhesivo de curado rápido o mediante reactivación. Debido al estado de la técnica, es difícil desarrollar una tecnología que sea realmente diferenciadora y se pueda patentar, siendo éste uno de los objetivos del desarrollo que se haga.

2. Mezclar madera en polvo con un aglutinante y depositarlo como ya se hace con tecnologías de fabricación aditiva que procesan hormigón. Ejemplo de concepto: <https://www.youtube.com/watch?v=BXS92ZHLIsg>

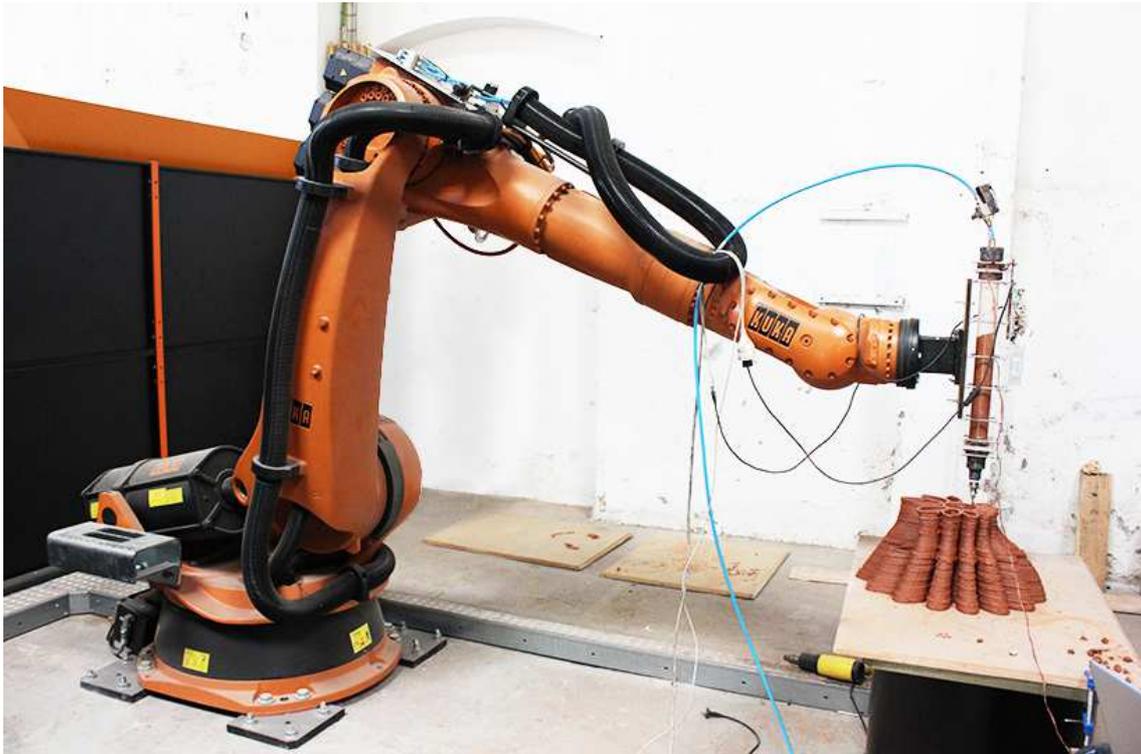


Figura 3- Elemento fabricado mediante tecnología de inyección

Con las opciones anteriores se podría reproducir algunas de las características físico-mecánicas de la madera mediante la mezcla de madera triturada (con diferentes texturas), y algún tipo de resina o plastificante. De esta forma se conservarían parcialmente las ventajas ecológicas, aislantes y resistentes de la madera, pero se perderían absolutamente las características estéticas.

El sistema de aplicación y cinemático serían similares a los que se utilizan para elementos de construcción, por lo que tampoco generarían una tecnología susceptible de ser patentada. No obstante el material que se emplease sí que podría generar un producto no existente, y ser susceptible de registro.

3. Partir de láminas de madera de formato sencillo como materia prima y que la máquina se dedicara a recortar cada lamina con la sección deseada. Para convertir las láminas en piezas se intercalaría algún tipo de adhesivo. Este concepto se conoce como tecnología LOM, ya existe para fabricar piezas en papel o en plástico partiendo de una bobina.

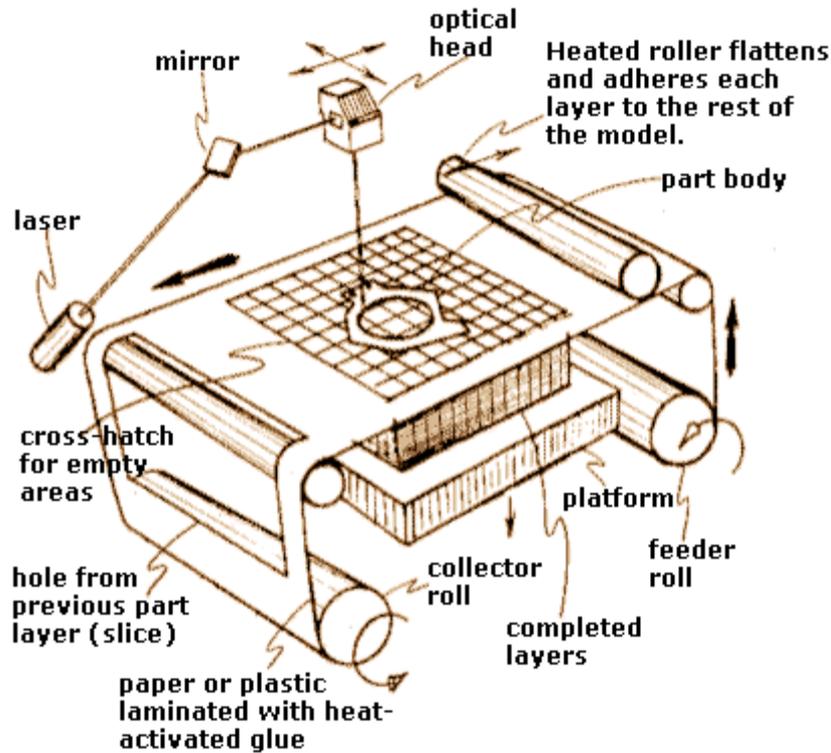


Figura 4- Esquema de funcionamiento de la tecnología LOM

En el caso del uso de la tecnología LOM sería más fácil conseguir productos con una estética muy parecida a la madera siempre que se utilizarán chapas de madera para confeccionar las diferentes capas para fabricar las piezas. El uso de chapas de madera de diferentes especies, permitiría conseguir una calidez en los productos fabricados.

La tecnología LOM en su estado actual presenta limitaciones respecto al tipo de geometrías que se podrían fabricar, siendo válida para piezas compactas debido a la dificultad de eliminación del material en los huecos interiores, o piezas con huecos rectilíneos y pasantes o de fácil extracción por una cara. Sin embargo no se podrían fabricar piezas que tuviesen huecos internos, o huecos no rectilíneos. En la figura 7 se muestra un ejemplo de la geometría de piezas factibles.



## LOM Samples



Figura 5- Ejemplo de piezas que se podría fabricar con la tecnología LOM actual



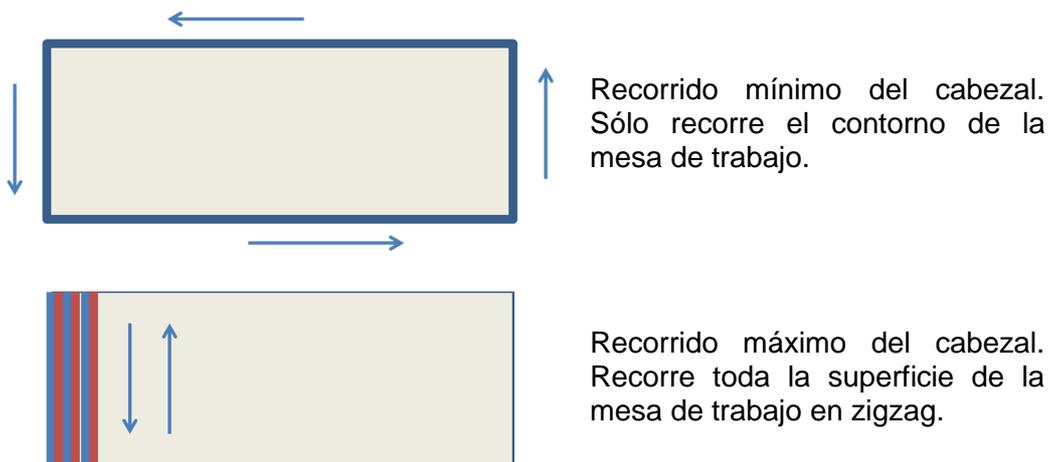
### 3- Materiales a utilizar

#### 3.1- Posibles materiales aglomerantes y de refuerzo

Tal y como se ha indicado en el Entregable 1, considerando las características de trabajo y de funcionamiento de la tecnología de inyección, el material que se utilice debe de tener unos requerimientos técnicos específicos.

Dado que en esta fase se trata de desarrollar posibles formulaciones alternativas a nivel conceptual, en primer lugar se define el orden de magnitud de las características básicas del material considerando el sistema de aplicación. Estas características son:

- Viscosidad. La viscosidad de la mezcla debería estar en un orden de magnitud de los 20 MPa\*s, ya que es la comercialmente usada en la tecnología de manejo de materiales viscosos en la actualidad. Como referencia, la viscosidad del vidrio fundido a 500°C es de  $10^3$  MPa\*s, la del betún para pavimentos es de 100 MPa\*s, y la de los polímeros fundidos de 1 MPa\*s.
- Tiempo de curado. Se debe conseguir un tiempo de curado tal que no haya derrames después de su aplicación, pero de forma que el material no esté completamente curado en la segunda pasada de la boquilla de aplicación, ya que de lo contrario la adherencia entre las capas no sería buena. En una máquina de estas características se puede regular la velocidad de trabajo según el tamaño de la pieza, de forma que el tiempo entre pasadas sea más o menos estable. Para obtener una aproximación del tiempo que se debe considerar al realizar las pruebas con las diferentes formulaciones de los materiales, se ha realizado una simulación considerando diferentes tamaños de la mesa de trabajo (o superficie de trabajo), diferentes diámetros de boquilla (lo cual permite obtener piezas más o menos pequeñas, y más o menos finas) y diferentes recorridos. Se consideran dos tipos de recorrido:



Se ha supuesto una velocidad de la boquilla de inyección de unos 20 cm/seg, aunque como se ha indicado esta velocidad es fácilmente variable.

El resultado de la simulación se muestra en la tabla siguiente:



Velocidad de avance del cabezal (cm/seg):		20			
Dimensiones de la plataforma de trabajo (cm)	Diámetro de la boquilla (mm)		Recorrido mínimo (cm) por pasada	Recorrido máximo (cm) por pasada, boquilla pequeña	Recorrido máximo (cm) por pasada, boquilla grande
50 x 50	10	20	200	2500	1250
200 x 100	25	50	600	8000	4000
300 x 200	50	100	1000	12000	6000

Tiempo mínimo (min)	Tiempo máximo (min) boquilla peq	Tiempo máximo (min) boquilla grande
0,2	2,1	1,0
0,5	6,7	3,3
0,8	10,0	5,0

Aunque es un ejercicio puramente teórico, da una aproximación sobre los órdenes de magnitud del tiempo de curado de la mezcla, oscilando entre 12 segundos y 10 minutos. Hay que considerar lo dicho anteriormente sobre la necesidad de que la curación no sea completa para que exista una buena adherencia entre capas.

- Adherencia entre capas. La calidad de la adherencia entre capas se asegurará evitando al máximo el efecto "laminado" que ocurre cuando se notan las aplicaciones de cada paso de la boquilla y la estratificación del material. No hay especificaciones/análisis sobre valores correspondientes a este parámetro ya que es un control de calidad visual y depende de la configuración de los parámetros explicados anteriormente. Obviamente, hay un criterio objetivo en cuanto a la calidad de la adherencia relacionado con la resistencia a la tracción en sentido perpendicular a las aplicaciones, que podrá ser evaluado en laboratorio mediante las probetas adecuadas.

El material debe estar compuesto esencialmente por una mezcla de termoplástico o polímeros termoestables, y polvo o partículas de madera de tamaño variable en función de la textura que se quiera conseguir. Además deberá incorporar aditivos con diferentes finalidades: acelerar el curado, eliminar el aire de la mezcla, antiaglomerantes, etc.

Por otro lado, desde el punto de vista del uso final de la pieza, el material debe tener otras propiedades físico-mecánicas que garanticen el uso previsto y los requerimientos de calidad de la pieza como la flexibilidad, resistencia, colores, tacto, acabado superficial, etc. Estas características, aunque importantes, se consideran secundarias y deberán ser evaluadas una vez se fabriquen probetas de diferente composición, lo cual se realizará en 2016.

Como se ha descrito en el Entregable 1, existe una gran variedad de compuestos y polímeros termoplásticos y termoestables en el mercado, cada uno de ellos con sus características y propiedades.

Los materiales aglomerantes que se considera más viables para formular el material viscoso en la tecnología de inyección son:



- Resina de Urea Formaldehído (UF)
- Resina de Poliester
- Poliuretano (PU)
- Resinas Epoxi

Se excluye directamente un aglomerante con base plástica porque la mezcla de termoplásticos con polvo de madera ya se realiza actualmente para obtener el denominado Wood Plastic Composite (WPC). Los termoplásticos más utilizados son el LDPE (polietileno de baja densidad), PP (polipropileno) y PVC (policloruro de vinilo). Para que la mezcla tenga una consistencia adecuada para su extrusión debe contener al menos una proporción del 30% de plástico. El procedimiento de fabricación del WPC requiere una extrusora y no es factible utilizar un sistema de inyección.

A continuación se describe las características de estos materiales que durante el segundo año del proyecto se validarían mediante ensayo.

**Urea formaldehído (UF).** Es un material viscoso que se usa habitualmente como adhesivo en la fabricación de tableros. La temperatura de curado está alrededor de 200°C y los tiempos de curado son bajos a esas temperaturas (del orden de magnitud de decenas de segundos). Se suele añadir sales de amonio como acelerante. En la fabricación de tableros aglomerados la proporción de resina varía en función de la densidad objetivo del producto acabado, aunque habitualmente es del 8% al 15%, con un porcentaje de catalizador del 3% al 5%. Obviamente la mezcla que se obtiene es más bien pulverulenta y no apta para ser inyectada. Existe una tecnología para obtener piezas con este tipo de mezcla y en esas proporciones mediante extrusión, aunque requiere la utilización de moldes para confinar el producto y alcanzar la densidad objetivo. Dado que se plantea inyectar el material al aire y que mantenga, aproximadamente, la forma de la boquilla hasta su curado, la extrusión en esas condiciones podría no ser viable (figura 1).

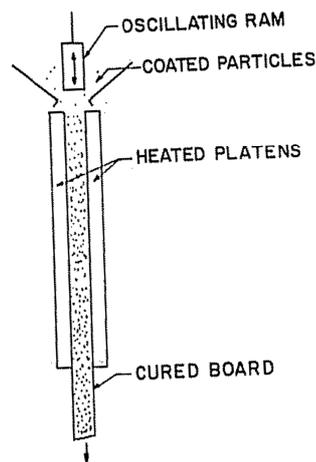


Figura 6- Procedimiento de obtención de tablero aglomerado extruido

(Fuente: Modern Particleboard and dry process fiberboard. Thomas M. Maloney. Miller Freeman Pub.)

No existen referencias sobre la proporción de resina UF que permitiría a la mezcla alcanzar un estado plástico o viscoso, aunque la máxima proporción utilizada para fabricar tableros de muy baja densidad es del 25%. En cualquier caso, incluso con



esta proporción de resina se requiere una compactación de la masa mediante prensado y el posterior calentamiento para curar la mezcla.

La elaboración de la mezcla debe ser tal que las partículas o polvo de madera se tienen que homogeneizar dentro de la resina, por lo que se deben diseñar convenientemente las palas de la batidora. Esta circunstancia es común a cualquier mezcla que se realice.

La aplicación de la mezcla debería realizarse de forma que exista una compresión previa para alcanzar la densidad deseada. Igualmente, dado que el curado de la resina se realiza a alta temperatura, cabe suponer que la salida de la mezcla debe realizarse por algún conducto calefactado de modo que cuando se deposita el material el fraguado esté avanzado pero no completo, ya que en este caso no existiría cohesión con la capa precedente.

**Resina de poliéster.** Los polímeros a base de resinas de poliéster son termoestables, y no pueden ser fundidos ni disueltos en un disolvente sin sufrir una modificación química fundamental. Las resinas de poliéster insaturado, que se utilizan en la fabricación de platos de ducha, por ejemplo, van acompañadas de un disolvente reactivo, normalmente el estireno; tienen por sí mismas la capacidad de reaccionar y reticularse, si bien esta capacidad está inhibida a temperatura ambiente siendo necesaria la concurrencia de un sistema catalítico (iniciador más acelerante) que en muy pequeña cantidad desinhibe el proceso reactivo produciéndose de esta manera la reticulación que endurece al material.

El proceso de descomposición del iniciador puede provocarse térmicamente de manera que la reticulación de la resina depende tanto de la concentración del iniciador como de la temperatura. El porcentaje del iniciador en relación al peso es bajo y suele estar comprendido entre el 0,5 y el 4 %. Junto al iniciador actúa otra sustancia en pequeña cantidad llamada acelerante, que produce la descomposición del iniciador a bajas temperaturas. Los más utilizados son sales orgánicas metálicas derivadas del cobalto.

Una composición típica de la mezcla utilizada para fabricar platos de ducha es la siguiente:

- Resina de poliéster, que actúa como aglomerante, en una proporción de entre el 20% y el 30%
- Cargas minerales compuestas por áridos con un tamaño de partícula de 0,1 mm y carbonato cálcico con un tamaño de partícula de 0,01 mm. Este producto se utiliza para rellenar los huecos dejados por los áridos. La proporción aproximada de cargas oscila entre el 70% y el 80%.
- Cobalto, en pequeña cantidad, para favorecer la polimerización de la resina.
- Un compuesto, también en pequeñas cantidades, que favorece la eliminación de las burbujas de aire producidas durante el batido de la mezcla.

Otros factores que influyen en el resultado final son el orden de incorporación de productos en la cuba mezcladora, la velocidad de batido, el tiempo de batido tras cada adición y la forma de las aspas de la batidora, ya que es importante no favorecer la entrada de aire en la mezcla. Las burbujas de aire generan imperfecciones superficiales o defectos ocultos en el producto.



Este material se utiliza para la fabricación de piezas por colada, por lo que su viscosidad aun siendo elevada no es suficiente para que la mezcla mantenga la forma tras su inyección. Habría que añadir algún componente que incremente la viscosidad de la mezcla, o bien aumentarla mediante precalentamiento de la mezcla.

No existen referencias sobre la sustitución de cargas minerales por polvo o partículas de madera, por lo que se debería comprobar experimentalmente los resultados. Un problema a resolver sería acelerar el proceso de curado mediante el incremento de concentración del iniciador combinado con un incremento de temperatura que podría localizarse en la aplicación.

**Poliuretano (PU).** La resina de poliuretano se formula a partir de dos componentes, uno de ellos es un polioliol y el otro un poliisocianato, de forma que, cuando se mezclan, los grupos funcionales  $-OH$  del primero y  $-NCO$  del segundo, reaccionan, formando una familia de resinas que puede presentar propiedades muy versátiles, en función de los porcentajes de un componente y otro y de sus reactividades, así como del peso molecular de partida y de su grado de reticulación.

Necesariamente el poliuretano no tiene que presentarse en forma de dos componentes, de manera que se deban mezclar justo en el momento de ser usado, si no que puede ser un producto monocomponente, con las proporciones adecuadas de cada uno de sus reactantes, con el fin de que se ponga en marcha la reacción correspondiente cuando se den las circunstancias adecuadas.

Por otro lado, en cuanto al grado de afinidad de esta resina por la madera, hay que señalar que es muy alta. Químicamente son compatibles, pudiendo llegar a reaccionar entre ellos, consolidando así su unión, la mayoría de las ocasiones con la participación de la humedad que permite un enlace por puente de hidrógeno. De hecho, la resina de poliuretano se utiliza como ligante de tableros derivados de la madera cuando el precio lo permite (lo que se da en pocas ocasiones, ya que se trata de una resina mucho más cara que las habituales amínicas o, incluso, fenólicas). Cuando se emplea este tipo de ligante, la resistencia a la humedad del producto está asegurada, por lo que este tipo de resina se deja cuando se precisa muy altos comportamientos frente a la humedad, elevadas prestaciones mecánicas o baja emisión de formaldehído (el monómero de isocianato es tóxico, pero la mayoría se emite en el momento de la producción, por lo que se trata de un problema principalmente industrial, con condiciones de aspiración determinadas, y no tanto del usuario final, aunque también puede conllevar algún problema).

A modo orientativo, se puede indicar que para formar un tablero de partículas, una mezcla que puede ser adecuada (depende de la especie de madera, tamaño de partícula y espesor del tablero) es del 6 % de adhesivo respecto a partículas secas.

Por otro lado, el poliuretano es susceptible de ser inyectado, como así lo pone de manifiesto las espumas y piezas fabricadas en molde que existen en el mercado para diferentes sectores.

**Resina Epoxi.** Las resinas ligantes de epoxi provienen, en su mayoría, de reacción de una sustancia que contenga ya un grupo epoxi, tal como la epiclorhidrina, con una sustancia que tenga átomos de hidrógeno reemplazables, siendo las resinas epoxi más habituales las derivadas del bisfenol A y la epiclorhidrina, que normalmente curan por reacción con endurecedores que contienen grupos amina primarios o secundarios, pidiéndose presenta en una paquete o en dos al público, según su reactividad



En general, estos ligante se caracterizan por su buena adherencia y cohesión, por su baja contracción, baja fluencia y alta resistencia a la humedad y a disolventes.

No es una resina utilizada, habitualmente, con madera, pues la humedad del soporte es crítica para formar juntas rígidas, siendo que la madera siempre presenta cierta humedad. Ensayos realizados por AIDIMA ponen de manifiesto que las resinas epoxídicas, presentando per se buenas propiedades, exhiben un bajo comportamiento mecánico en la unión con madera debido a su rigidez. Mejor acogida tiene las uniones madera / metal, aunque el metal debe estar perfectamente limpio, sin rastro de óxido, siendo la unión más exitosa la formada por madera y aluminio.

El material que se utilizará como material de refuerzo es la **madera en forma de partículas o polvo**.

La geometría y tamaño de las partículas son esenciales para establecer las características del producto final, y de una forma menos significativa también influye la especie de madera de la que se obtienen. Ambos factores influyen de forma significativa en el producto resultante en varios aspectos:

- Propiedades mecánicas del producto final, tales como la resistencia a tracción y compresión, resistencia a flexión, etc.
- Características superficiales, principalmente la rugosidad de la superficie.
- Respuesta a los cambios de humedad debido a la mayor o menor capacidad de absorción de agua del producto.
- Comportamiento frente a posteriores operaciones de mecanizado, lijado o acabado que fuesen necesarias para configurar el producto acabado.

En la fabricación de tablero aglomerado las partículas más adecuadas tienen una longitud alrededor de 15-20mm aproximadamente, con un grosor entre 1 y 3 mm. También se obtienen buenos resultados con fibras de madera de unos 25 mm de longitud y 0,2 mm de espesor.

Si se utiliza polvo de madera, la referencia más cercana la dan los compuestos de WPC. En este tipo de material, a menor tamaño de las partículas de polvo se obtienen peores resultados en cuanto a resistencia mecánica (tabla 1).

Tamaño (mm)	Resistencia a la flexión (MPa)	Resistencia al impacto (kJ/m <sup>2</sup> )
0.54	44.64	11.76
0.28	39.18	12.58
0.18	33.26	10.28
0.15	29.33	9.32
0.12	27.9	7.79

Tabla 1- Efecto del tamaño del polvo de madera en las propiedades del material

(Fuente: Materiales compuestos lignocelulósicos obtenidos mediante extrusión. Villamar D. y otros. Revista Politécnica. Julio 2013. EPN Quito)



### 3.2- Formulaciones

Teniendo en cuenta las consideraciones anteriores, se propone el siguiente esquema de formulación:

AGLOMERANTE	%	ADITIVOS	%	MADERA	%	CONSIDERACIONES DE MEZCLA O APLICACIÓN
RESINA UF	25 a 40	Sales de amonio	3 a 6	Polvo de madera (0,28 mm)	50 a 75	Calefactado previo para acelerar el curado. La mezcla debe ser comprimida previamente a su salida por la boquilla inyectora para alcanzar la densidad necesaria de forma que mantenga la forma durante la aplicación. Requiere un sistema de calentamiento de la masa una vez depositada para completar el curado.
				Partículas (2x15 mm)	50 a 75	
RESINA DE POLIESTER	30 a 40	Peróxido de benzoilo	0,5 a 6	Polvo de madera (0,28 mm)	50 a 60	Debe alcanzar una viscosidad elevada, muy superior a la que se utiliza en la fabricación de piezas por colada. La mezcla debe calefactarse previamente a su salida para acelerar el curado. Requiere un sistema de calentamiento de la masa una vez depositada para completar el curado.
		DMPT (dimetil paratoluidina)	0,5 a 1			
		Silice anhídrica (espesante tixotrópico)	0,5 a 2			
		Aditivo siliconado desaireante	0,2 a 0,5			
RESINA DE POLIESTER	30 a 40	Peróxido de benzoilo	0,5 a 6	Partículas (2x15 mm)	50 a 60	Debe alcanzar una viscosidad elevada, muy superior a la que se utiliza en la fabricación de piezas por colada. La mezcla debe calefactarse previamente a su salida para acelerar el curado. Requiere un sistema de calentamiento de la masa una vez depositada para completar el curado.
		DMPT (dimetil paratoluidina)	0,5 a 1			
		Silice anhídrica (espesante tixotrópico)	0,5 a 2			
		Aditivo siliconado desaireante	0,2 a 0,5			
POLIURETANO	30±5			Polvo de madera (0,28 mm)	70±5	Calefactado previo para acelerar el curado. La mezcla debe ser comprimida previamente a su salida por la boquilla inyectora para alcanzar la densidad necesaria de forma que mantenga la forma durante la aplicación. Requiere un sistema de calentamiento de la masa una vez depositada para completar el curado.
A- Poliál base poliéter	0,66 * (30±5)					
B- Poliisocianato	0,33 * (30±5)					
POLIURETANO	30±5			Partículas (2x15 mm)	70±5	Calefactado previo para acelerar el curado. La mezcla debe ser comprimida previamente a su salida por la boquilla inyectora para alcanzar la densidad necesaria de forma que mantenga la forma durante la aplicación. Requiere un sistema de calentamiento de la masa una vez depositada para completar el curado.
A- Poliál base poliéter	0,66 * (30±5)					
B- Poliisocianato	0,33 * (30±5)					
RESINA EPOXI	30±5			Polvo de madera (0,28 mm)	70±5	Las astillas o polvo deben estar libres de humedad (menor del 2%). La mezcla debe ser comprimida previamente a su salida por la boquilla inyectora para alcanzar la densidad necesaria de forma que mantenga la forma durante la aplicación.
RESINA EPOXI	30±5			Partículas (2x15 mm)	70±5	

Tabla 2- Posibles formulaciones para obtener material viscoso derivado de la madera



### 3.3- Materiales para la tecnología LOM

En el caso de la tecnología LOM no se trata de formular un material con unas características dadas, ya que se utilizan diversos materiales en formato de lámina que pueden combinarse de cualquier forma para conseguir composiciones de producto cualesquiera.

En este caso se ha optado por estudiar posibles configuraciones de tres tipos de producto:

- productos decorativos o con reducidas prestaciones mecánicas,
- productos con elevadas prestaciones a compresión,
- productos con elevadas prestaciones a esfuerzos combinados tales como flexión, tracción y compresión

Se realiza esta consideración con un doble objetivo:

1. Aproximar soluciones constructivas y sistemas factibles de unión entre láminas, sean del mismo material o de materiales combinados, adecuados a la función del producto desde el punto de vista estructural. Los sistemas de unión (o sistemas de refuerzo) pueden incorporarse durante el proceso de fabricación aditiva, o en procesos posteriores.
2. Establecer las necesidades de caracterización de materiales y caracterización de uniones y elementos de unión, de forma que los productos cuya funcionalidad sea principalmente estructural puedan evaluarse previamente en un software de análisis de estructuras por elementos finitos.

Durante 2016 se caracterizarán efectivamente tanto los materiales como las uniones entre materiales, realizando las búsquedas bibliográficas, pruebas y ensayos necesarios, especialmente en productos derivados de la madera.

Se van a considerar láminas de los siguientes materiales (definidos en el Entregable 1):

- Tablero MDF de 1'8 a 6 mm de espesor
- Chapa de madera natural de 0'7 a 1'5 mm de espesor
- Chapa precompuesta de 0,7 a 5 mm de espesor
- Tableros contrachapados de 3 a 5 mm de espesor
- Láminas de aluminio y acero de 0'6 mm de espesor
- Mallas de acero (expandidas)
- Mallas de acero (tejidas)
- Láminas plásticas de Metacrilato
- Láminas ligeras de poliuretano



### 3.3.1- Productos con bajas prestaciones mecánicas

Este tipo de producto tiene una funcionalidad decorativa principalmente, por lo que apenas estará sometido a esfuerzos de cualquier tipo, más allá de su propio peso o pequeñas cargas que se le puedan incorporar. Por ejemplo, sería el caso de esculturas, lámparas y elementos de iluminación, objetos decorativos, etc.

En este caso la unión entre láminas debe garantizar que el producto es consistente, que se puede manipular sin peligro de rotura y que presenta suficiente resistencia para ser post-procesado (mecanizado) sin riesgo.

Los medios de unión que se podrían emplear son esencialmente adhesivos, cuyo curado puede forzarse en el ciclo de fabricación del proceso LOM mediante algún agente externo (luz o calor), o bien mediante grapado o clavado de las piezas con puntas (si fuese posible) para mantenerlas unidas hasta que el adhesivo cure.

Los adhesivos más empleados son los siguientes:

- Colas de acetato de polivinilo (ACPV). Son muy utilizadas para el encolado de madera y productos derivados, con muy buenos resultados. La temperatura mínima de aplicación es de 5°C y se pueden extender sobre una de las caras a unir o sobre las dos. Las juntas más adecuadas son las sometidas a esfuerzos de compresión y cizalla, más que las sometidas a tracción o pelado. El tiempo abierto oscila entre 5 y 30 minutos. La resistencia máxima de la junta encolada se alcanza a los siete días, aunque a efectos prácticos tras 24 horas ya se considera curado. El tiempo mínimo para manipular las piezas es de unos 5 minutos. Son muy sensibles a la humedad del sustrato y se debe aplicar presión tras el encolado (entre 3 y 8 bares). A presión mayor corresponde una velocidad de curado mayor.
- Adhesivos termoendurecibles (TE). Son aquellos que bajo la acción del calor y de un endurecedor adquieren una alta viscosidad hasta transformarse en un sólido de forma irreversible. Se utilizan cargas para regular su viscosidad y, por tanto, su penetración en las superficies porosas. Se utilizan sobre todo para la fabricación de tableros y existen diversas formulaciones en función de los requisitos que se desea cumplir. Necesitan calor (entre 80°C y 130°C) y presión (alrededor de 20 kg/cm<sup>2</sup>) para el encolado de chapas (tableros contrachapados), y son sensibles a la humedad de la madera. Su tiempo de curado es del orden de minutos. Soportan bien esfuerzos de tracción, compresión y cizalla.
- Adhesivos de poliuretano/isocianato (PU). Esta clase de adhesivos pueden ser de dos componentes o de un componente. Los de dos componentes permiten el pegado de casi cualquier material (madera y tableros, metales desengrasados, espumas de todo tipo, plástico) y son de curado rápido. Los de un componente tienen las mismas cualidades aunque el curado es bastante más lento. Presentan una excelente resistencia mecánica.
- Adhesivos termofusibles (PUR). A temperatura ambiente son sólidos, y requieren ser calentados entre 120°C-240°C para su aplicación. Una vez aplicado solidifica bajo presión a temperatura ambiente, curando en pocos minutos. Si el adhesivo es termoplástico, las resistencias mecánicas son débiles, aunque el PUR tiene buena resistencia



mecánica. Pueden encolar materiales diversos, incluso materiales lisos e impermeables.

- **Adhesivos epoxi (EP).** Este tipo de adhesivo pega metales, madera, algunos plásticos y otras superficies rígidas. No dan buenos resultados con materiales flexibles. Con el adhesivo de bisfenol las uniones de madera con metal (acero, aluminio) y plástico (espumas, PVC lijado, Polimetacrilato lijado, etc) presentan buenas propiedades. Son bi-componente por lo que el tiempo de vida una vez hecha la mezcla es muy limitado. La mezcla debe realizarse con precisión y en recipientes desechables, desaconsejándose los recipientes metálicos. Se pueden aplicar a temperatura ambiente y curan entre 1h y 48h, aunque aumentando la temperatura se puede acelerar el curado.

Seguidamente se proponen posibles combinaciones y el método de unión que podría utilizarse:

	Tablero MDF	Chapa de madera	Chapa precompuesta	Tableros contrachapados	Láminas metálicas	Mallas de acero	Láminas plásticas	Láminas ligeras
Tablero MDF	ACPV, PU, PUR, EP							
Chapa de madera	ACPV, PU, PUR, EP	ACPV, PU, PUR, EP						
Chapa precompuesta	ACPV, PU, PUR, EP	ACPV, PU, PUR, EP	ACPV, PU, PUR, EP					
Tableros contrachapados	ACPV, PU, PUR, EP	ACPV, PU, PUR, EP	ACPV, PU, PUR, EP	ACPV, PU, PUR, EP				
Láminas metálicas	PU, PUR, EP	PU, PUR, EP	PU, PUR, EP	PU, PUR, EP	PU, PUR, EP			
Mallas de acero	UNIÓN MECÁNICA	UNIÓN MECÁNICA	UNIÓN MECÁNICA	UNIÓN MECÁNICA	UNIÓN MECÁNICA	UNIÓN MECÁNICA		
Láminas plásticas	PU, PUR, EP	PU, PUR, EP	PU, PUR, EP	PU, PUR, EP	PU, PUR, EP	UNIÓN MECÁNICA	PU, PUR, EP	
Láminas ligeras	PU, EP	PU, EP	PU, EP	PU, EP	PU, EP	UNIÓN MECÁNICA	PU, EP	PU, EP

### 3.3.2- Productos con elevadas prestaciones a compresión

Se considera que es posible que existan elementos sobre los que la carga principal sea de compresión, aunque puedan existir pequeños componentes de carga en otra dirección.

Este caso se asimila al del apartado anterior a efectos de unión entre láminas, aunque no a efectos de carga sobre cada lámina, que en el caso anterior se consideraba muy bajo, esencialmente el peso propio del producto. El factor crítico en este caso no es el método de unión entre láminas, sino la resistencia del propio material.

Para determinar la viabilidad de colocar determinados materiales en el producto, se debe simular la carga sobre la combinación propuesta por lo que sería necesario conocer la resistencia a compresión de cada elemento.



Inicialmente se trabajará con el Método de Elementos Finitos (MEF), para establecer la resistencia máxima a compresión que será capaz de aguantar cada una de las combinaciones de los materiales definidos.

Las tareas necesarias para realizar un cálculo mediante un programa MEF se dividen en pre-proceso, cálculo y post-proceso.

El pre-proceso consiste en la definición de geometría, generación de la malla, las condiciones de contorno y asignación de propiedades a los materiales y otras propiedades.

En este caso concreto se definirá una geometría simple formada por placas de 100 x 100 mm y de espesor variable en función de la combinación de materiales.

Inicialmente se establecerá la resistencia a compresión y la deflexión de elementos formados por un número determinado de placas de cada uno de los materiales, sin combinación con el resto. Posteriormente se establecerán una serie de combinaciones entre materiales para determinar si dichas combinaciones proporcionan mayor o menor resistencia a la compresión, y si la deflexión se ve aumentada con respecto a las probetas de un solo material.

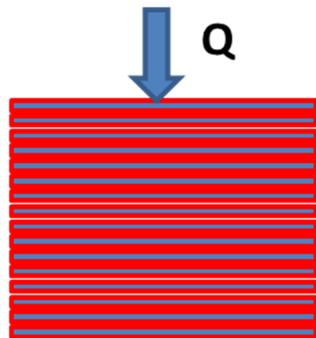


Figura 7- Probeta maciza de un solo material

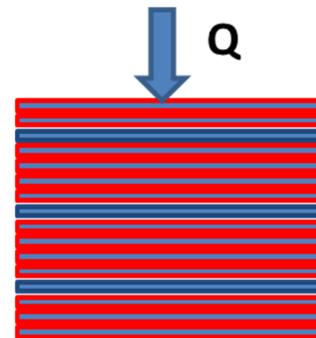


Figura 3- Probeta maciza combinando varios materiales

Cabe aproximar que la resistencia a compresión del conjunto será equivalente a la resistencia del material que peor trabaje a compresión. De forma aproximada, los valores de resistencia a la compresión de los materiales propuestos para construir piezas con la tecnología LOM son los siguientes:

- Madera: 500 kg/cm<sup>2</sup>
- Plástico (PMMA): 1.100 kg/cm<sup>2</sup>
- Aluminio: 2.100 kg/cm<sup>2</sup>
- Acero: 3.400 a 7.000 kg/cm<sup>2</sup>
- Láminas ligeras de poliuretano: 0,25 a 80 kg/cm<sup>2</sup>

Dependiendo de las cargas máximas que debe soportar la pieza, se podrá emplear o no alguno de los materiales anteriores. Aunque de forma intuitiva no parece recomendable utilizar láminas ligeras en piezas a compresión, todo dependerá de los esfuerzos a soportar.

Tras este primer análisis, se pueden definir otro tipo de geometrías huecas, como por ejemplo una pieza rectangular o cilíndrica hueca. En este tipo de geometrías, el cálculo de la resistencia máxima a la compresión será menor que en el caso de probetas macizas, y nos permitirá conocer los límites de



resistencia en posibles aplicaciones de productos aligerados.

Una vez se tengan los resultados de las distintas combinaciones y tipologías geométricas, se establecerán las combinaciones con mejores resultados y se fabricarán una serie de probetas realizadas con los materiales y las dimensiones establecidas en los modelos virtuales.

Posteriormente se llevarán cabo una serie de ensayos de compresión dinámica, en el laboratorio de simulación de transporte de AIDIMA, para establecer la resistencia a la compresión de las probetas, así como su deflexión. Los resultados de los ensayos de compresión dinámica reales, nos permitirá establecer la desviación con respecto a los resultados obtenidos mediante MEF.

Hay que tener en cuenta que el MEF calcula soluciones numéricas concretas y adaptadas a unos datos particulares de entrada, y por lo tanto no puede hacerse un análisis de sensibilidad sencillo que permita conocer como variará la solución si alguno de los parámetros se altera ligeramente. Es decir, proporciona sólo respuestas numéricas cuantitativas concretas no relaciones cualitativas generales.

El MEF proporciona una solución aproximada cuyo margen de error en general es desconocido. Si bien algunos tipos de problemas permiten acotar el error de la solución, debido a los diversos tipos de aproximaciones que usa el método, los problemas no lineales o dependientes del tiempo en general no permiten conocer el error.

En el MEF la mayoría de aplicaciones prácticas requiere mucho tiempo para ajustar detalles de la geometría, existiendo frecuentemente problemas de mal condicionamiento de las mallas, desigual grado de convergencia de la solución aproximada hacia la solución exacta en diferentes puntos, etc. En general una simulación requiere el uso de numerosas pruebas y ensayos con geometrías simplificadas o casos menos generales que el que finalmente pretende simularse, antes de empezar a lograr resultados satisfactorios.

### **3.3.3- Productos con elevadas prestaciones a esfuerzos combinados**

Por último se estudiarán productos, que durante su uso puedan estar sometidos a esfuerzos combinados, principalmente a flexión, tracción y compresión.

En este caso los análisis mediante MEF, serán más complejos, y el post-proceso deberá incluir comprobaciones adicionales. Dependiendo de que tipología de productos se quiera representar, se tendrá que comprobar si cumple los requisitos de las normas pertinentes, calculando si se sobrepasan tensiones admisibles, o por ejemplo, si existe la posibilidad de pandeo en una estructura.

En este tipo de productos si que son fundamentales las características de la unión entre materiales, ya que la resistencia del producto final dependerá en gran medida de su capacidad para soportar los esfuerzos de tracción y cizalla.

Pero además del análisis exhaustivo de los diferentes adhesivos y métodos de unión, se propone añadir a las piezas una serie de refuerzos estructurales,



externos a los propios materiales, para aumentar la resistencia a la flexión y tracción. En todos los casos, los refuerzos estructurales se implementarán en los productos en un proceso posterior a la fabricación de los mismos mediante la tecnología LOM. Los refuerzos serán de dos tipos principalmente:

- Refuerzos metálicos rígidos o flexibles
- Refuerzos inyectados flexibles

Los refuerzos metálicos consistirán en la introducción en el producto de algún elemento, por ejemplo una o varias varillas metálicas, cables flexibles de acero, cuerdas de piano, o elementos similares, que aumenten su resistencia a los esfuerzos de tracción y cizalla.

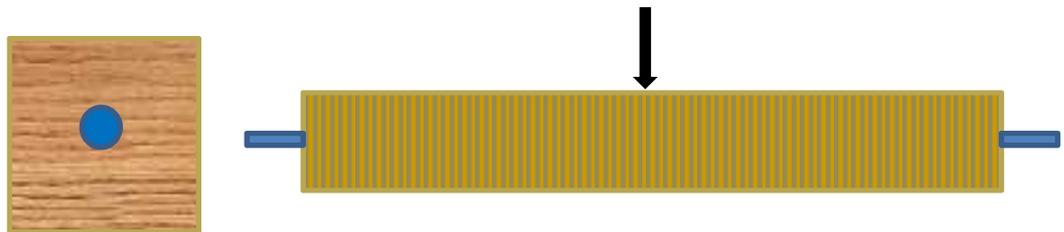


Figura 8- Pieza obtenida mediante LOM con una varilla metálica de refuerzo

Los refuerzos flexibles consistirán en el uso de materiales inicialmente fluidos introducidos en huecos creados expresamente en los productos, y que solidifiquen mediante la acción de factores externos (calor) o internos (catalizadores), de forma que al solidificar confieran a las piezas una mayor resistencia.



Figura 9- Inserción de fluidos inyectados en canales de las piezas

La complejidad de estas estructuras y la variedad de refuerzos que se pueden insertar hacen imprescindible el uso de software MEF para establecer las configuraciones óptimas.

En cualquier caso, la inserción de elementos externos requiere un trabajo previo de diseño de la pieza, de forma que cada lámina disponga del orificio adecuado en el lugar apropiado para que el refuerzo pueda actuar en los segmentos de la pieza que mayor resistencia deben tener.

Durante 2016 se calcularán, construirán y ensayarán diferentes combinaciones de material en láminas, en las que se introducirán refuerzos metálicos o inyectados.



## 4- Resumen y conclusiones

La utilización de tecnologías de fabricación aditiva presenta ventajas e inconvenientes que se deben considerar cuando se trata de extender las aplicaciones a campos donde no se utiliza de forma generalizada, o ni tan siquiera de forma incipiente. En el caso del Sector Madera-Mueble el uso de esta tecnología es prácticamente testimonial, tal y como se evidenció al realizar el estudio del estado del arte. Más allá de algunas aplicaciones de impresión 3D que utilizan filamentos compuestos por plástico y un porcentaje de polvo de madera (un 40% generalmente), y que esencialmente tiene un uso decorativo o para prototipos, no existen usos reales y funcionales.

Tras la revisión de la tecnología actual, se procede a evaluar qué tipo de producto podría ser fabricado mediante Fabricación Aditiva. Inicialmente el foco de búsqueda es muy amplio, considerándose los factores limitantes y las ventajas de esta tecnología:

- Productos personalizados, que pueden incorporar características geométricas adaptadas a cada usuario, o productos únicos diseñados por/para cada usuario.
- Productos de geometría compleja con características muy especiales y con una fabricación imposible, muy cara o muy difícil utilizando otro tipo de tecnología.
- Productos de alto valor añadido cuyo precio justifique sobradamente el uso de una tecnología cara para series unitarias o muy cortas.

Y por otra parte se debe considerar qué puede aportar la madera o sus derivados como material a utilizar en FA, que se puede resumir en tres características:

- Aspectos estéticos y emocionales
- Uso de un material sostenible
- Características aislantes térmicas y acústicas

Combinando ambas perspectivas, se procede a evaluar tipos o familias de productos que podrían fabricarse mediante FA. Por una parte se detecta que la fabricación de prototipos y moldes podría ser un objetivo de este tipo de proceso, aunque esencialmente se trataría de aplicar las técnicas existentes a esas categorías de producto, con lo cual no habría una gran innovación en la tecnología. Por otra parte se encuentran determinadas categorías de producto dentro de nicho especializados en los que sí que serían necesarias las particularidades de la tecnología buscada, especialmente en cuanto a mantener las características estéticas de la madera. Hay un nicho en particular, el de la construcción en madera, que presenta especial interés, sobre todo pensando en elementos estructurales de este material o un derivado de la madera. Otra vía que tiene buenas perspectivas dado el alto valor añadido de los productos es la de los artículos deportivos fabricados con materiales derivados de la madera siempre que conserven sus propiedades básicas (elasticidad, resistencia, aspecto, etc).

Según una muestra de fabricantes relacionados con el Sector, el desconocimiento de la tecnología de FA les lleva a pensar en que su aplicación es muy limitada o nula, y que supondría más un coste que un beneficio. Sin embargo se abre la posibilidad a que sean los diseñadores profesionales los que generen nuevos productos utilizando la FA, en el estado actual o incluso considerando nuevos materiales derivados de la madera como base.



Para obtener una visión menos técnica se acude a diseñadores profesionales. Una primera conclusión es que la búsqueda de productos no debería realizarse en una fase tan temprana, cuando aún no están definidas claramente las posibilidades del nuevo proceso. Desde un punto de vista creativo, se considera que es mejor poner la tecnología a disposición de diseñadores profesionales ya que es más probable que exploten sus posibilidades desarrollando nuevos conceptos de producto que con la tecnología actual no se pueden conseguir, o es muy complejo.

Además, haciendo una rápida exploración con un grupo de diseñadores profesionales, surgen ideas que podrían ser de gran interés tanto para este proyecto como para futuros desarrollos, entre los que destacan:

- Productos que combinen láminas de diversos materiales
- Productos y elementos de construcción fabricados con residuos o subproductos vegetales propios de una zona, mediante una máquina para fabricarlos sobre el terreno.
- Fabricación de elementos efímeros con materiales de fácil reutilización.

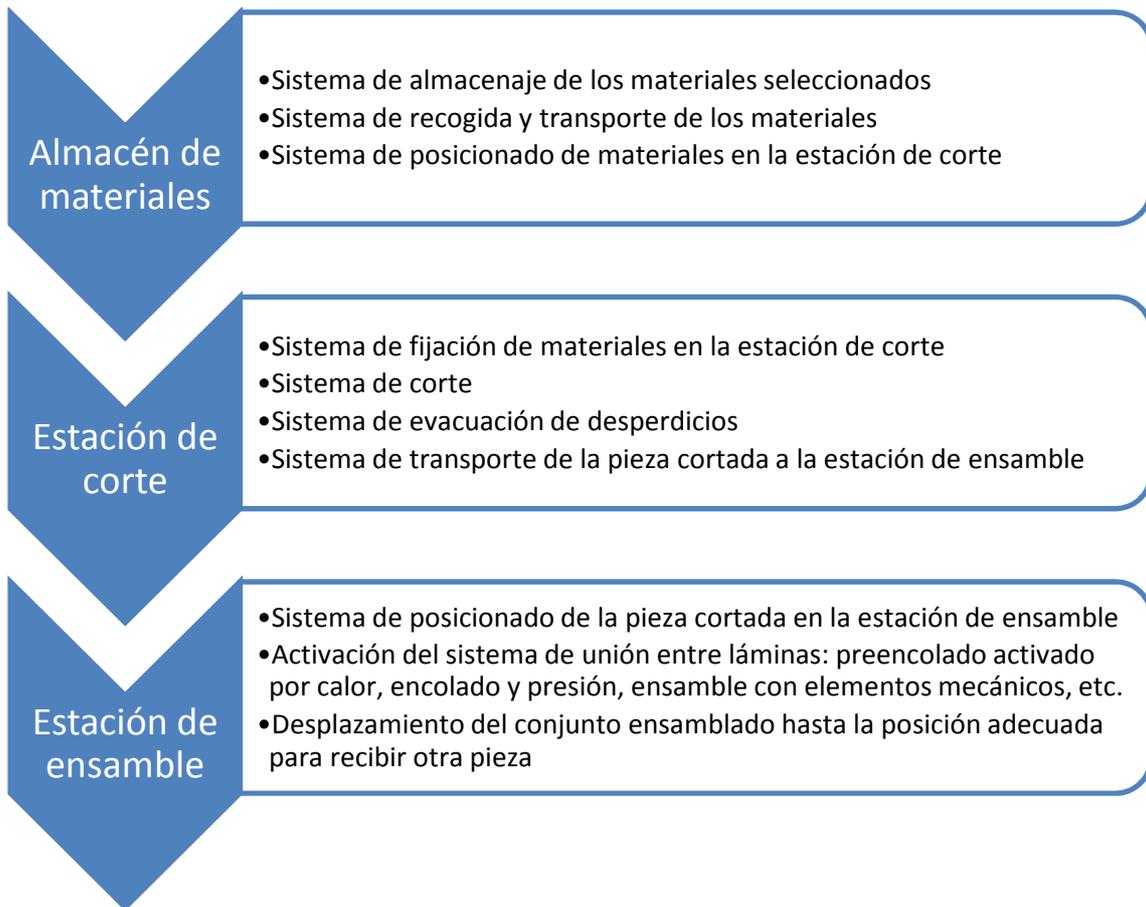
Una vez analizada la situación actual en cuanto a tecnología, se establece una premisa básica para determinar cuál se debería desarrollar: la tecnología tiene que ser patentable, ya que la intención de ambas entidades es explotar el desarrollo que se haga. Partiendo del conocimiento que tiene AIMME y de la búsqueda de patentes que ha realizado, se concluye que la tecnología basada en la inyección de un aglutinante sobre polvo de madera difícilmente generaría algún resultado patentable. A la misma conclusión se llega respecto a una máquina que inyectase un fluido viscoso basado en polvo de madera, aunque existe una ventana de oportunidad en esta tecnología: el desarrollo de un material basado en madera y que aportase propiedades y cualidades similares a o basadas en la madera natural. Sin embargo, al analizar la tecnología LOM y plantear opciones que actualmente ésta no cubre en cuanto a la fabricación de elementos huecos de geometría compleja, sí que se consideró que el resultado del desarrollo que se haga podría ser patentable, y por ello se seleccionó esta opción para el desarrollo de la máquina.

Por ello se plantea una doble vía de trabajo en cuanto al desarrollo de materiales, que será ampliada a nivel conceptual en el Entregable 2.1:

- Una gama de materiales derivados de la madera en forma de fluido viscoso para ser aplicado mediante la tecnología de inyección.
- Un conjunto de materiales en formato de lámina, que puedan ser combinados en el mismo producto para aportar características diferenciadas, y empleando elementos de unión adecuados tanto al material como a los esfuerzos que debe soportar el conjunto.

Dado que no se va a desarrollar tecnología de inyección para el material viscoso ya que el problema en ese aspecto está resuelto, esta parte del trabajo se ha limitado a definir características a considerar en la selección de sistemas de inyección, aunque sin concretar especificaciones dado que dependerán absolutamente de la formulación que se haga del material.

Para cerrar este conjunto de tareas, se centra el trabajo en el desarrollo conceptual de la tecnología LOM. Para que una máquina basada en esta tecnología sea funcional se requiere definir y concretar cada etapa del proceso:



Tras definir las diferentes opciones tecnológicas en cada paso del proceso, se establece un criterio de selección que prima cuatro factores: versatilidad, coste, mantenimiento y fiabilidad. Obviamente, la valoración de las opciones tecnológicas se realiza desde una perspectiva parcial en cada paso del proceso, sin considerar el conjunto ni las posibles interacciones entre un paso y otro. Se trata en esta primera selección de elegir las tecnologías más adecuadas considerando esos factores.

De esta forma, se obtiene una primera aproximación de cómo podría configurarse una máquina LOM que cumpla los objetivos previstos (multimaterial y capaz de hacer piezas con huecos irregulares).

Según esta valoración, la máquina podría estar configurada como sigue:



### Almacén de materiales

- Almacén en disposición horizontal, de posición fija.
- Alimentador cartesiano para la recogida, transporte y posicionado de láminas en la estación de corte

### Estación de corte

- Fijación de las láminas mediante ventosas autoposicionables
- Corte mediante fresa
- Transporte a la siguiente estación mediante cinta transportadora
- Evacuación de desperdicios mediante soplado

### Estación de ensamble

- Activación de cola por calor (láminas pre-encoladas), y prensado mediante un rodillo.
- Movimiento del producto acabado en una mesa móvil con la primera pieza atornillada.