

# FEMETA

FEDERACIÓN DE EMPRESARIOS DEL  
METAL Y AFINES DEL  
PRINCIPADO DE ASTURIAS



FUNDACIÓN  
**PRODINTEC**

Centro Tecnológico para el Diseño y  
la Producción Industrial de Asturias

## Nuevas Tecnologías para la fabricación de series cortas

Proyecto INNOEMPRESA: *“INCORPORACIÓN AL PROCESO DE DISEÑO DE NUEVAS TECNOLOGÍAS PARA LA FABRICACIÓN DE SERIES PEQUEÑAS ECONÓMICAMENTE VIABLES”*

**INNOEMPRESA**  
DGPYME

Gijón, 19 de julio de 2011



## CONTENIDO

1	INTRODUCCIÓN.....	4
2	MOTIVACIÓN DEL PROYECTO.....	6
3	LA FABRICACIÓN DE SERIES CORTAS.....	7
	Del prototipado rápido a la fabricación directa.....	7
	Mass customization o fabricación personalizada en masa .....	8
	Reducción del tamaño del lote .....	10
	Cálculo viabilidad económica: Fabricación Aditiva vs. Procesos convencionales .....	10
4	TECNOLOGÍAS DE FABRICACIÓN DE SERIES CORTAS .....	15
5	TECNOLOGÍAS ADITIVAS- <i>ADDITIVE MANUFACTURING</i> (AM) .....	16
	Las tecnologías de AM fabrican capa a capa. ....	19
	Estereolitografía (SLA) .....	22
	Sinterizado láser plástico .....	23
	Sinterizado láser metal SLS .....	26
	Fabricación rápida de moldes Rapid Tooling .....	30
	Polyjet (Objet) .....	31
	Impresoras 3D Z Corp .....	35
	Fused deposition modeling (FDM).....	40
6	TECNOLOGÍAS SUSTRATIVAS.....	42
	Mecanizado de alta velocidad-High Speed Milling (HSM).....	42
	Mecanizado con robot .....	46
	Micromecanizado. ....	49
7	TECNOLOGÍAS DE MOLDEO.....	52
	Colada al vacío VCS o MCP.....	52
	Moldeo rápido para inyección.....	55
	Reaction Injection Molding RIM .....	57
	Microfusión .....	59
8	TECNOLOGÍAS DE CONFORMADO.....	61
	Deformación incremental de chapa-Dieless Forming .....	61
9	CADENA DE VALOR EN LA FABRICACIÓN DE SERIES CORTAS.....	64
	Proceso de diseño .....	64
	Post procesado.....	65
	Control de calidad / Metrología dimensional.....	68
10	TECNOLOGÍA DE APOYO A LA FABRICACIÓN DE SERIES CORTAS.....	70
	Software. Sistemas paramétricos CAD 3D.....	70
	Software CAD /CAM .....	72
	Ingeniería inversa.....	73
11	CASOS PRÁCTICOS.....	79

	Caso práctico 1: DropSens, S.L. ....	79
	Caso práctico 2: CYMES. SL .....	83
	Caso práctico 3: Adele Robots, S.L. ....	85
	Caso práctico 4: Equipos Médico-Estéticos del Norte, S.L.L. (Norlitec) .....	87
	Caso práctico 5: MICRUX-FLUIDIC.....	89
	Caso práctico 6: ADITAS S.L. ....	91
12	CONCLUSIONES .....	94
13	ENLACES DE INTERÉS .....	95
14	GLOSARIO DE TÉRMINOS.....	96

## 1 INTRODUCCIÓN.

En los últimos años el mundo de las tecnologías para el diseño y fabricación de pequeñas series, piezas únicas y para la personalización de los diseños y fabricaciones, ha estado en constante evolución. Muchas de estas innovaciones continuas se han venido produciendo en el mundo de las tecnologías de fabricación capa a capa, que se mostrarán en esta guía, pero en paralelo a ello el digitalizado tridimensional y el software asociado para la creación de modelos CAD 3D mediante ingeniería inversa, o el entorno de las tecnologías avanzadas de arranque de viruta (mecanizado), no se han quedado atrás. A pesar de esta constante evolución se ha constatado que el sector industrial asturiano, especialmente aquel relacionado con las PYMES, no está haciendo uso de todas las posibilidades tecnológicas que se le presentan en el ámbito de la fabricación y diseño de piezas únicas y pequeñas series a la hora de competir en igualdad con otras empresas.

La aplicación de las Nuevas Tecnologías anteriormente descritas proporcionan a las empresas una serie de ventajas competitivas fácilmente valorables, en base a:

- Reducción del número de componentes del producto o servicio.
- Reducción del tiempo y coste de fabricación de componentes.
- Reducción de costes por cambio de diseño.
- Diseño robusto en calidad.
- Reducir los costes de fabricación.
- Conocimiento de Diseño para fabricación mediante nuevas tecnologías.
- Reducir en general el tiempo de desarrollo (*time to market*)
- Mejorar en general:
  - El coste global del producto
  - Eficiencia en el montaje y la fabricación
  - Satisfacción de los clientes
  - Calidad del producto
  - Ciclos de lanzamientos *“time to market”*
  - Números de cambios de post-lanzamiento

Una de las tendencias actuales es sin lugar a dudas la personalización del producto y un enfoque muy dirigido a sectores concretos de la población, ya que el proceso de desarrollo de un nuevo producto es cada vez menor, al igual que el tiempo de madurez de este en el

mercado, producido por la gran variedad de productos similares, que pueden ofrecer empresas competidoras, factores que junto con la actual coyuntura económica, y la globalización, hace que cada vez sean menos rentables las tiradas de millones de productos.

Son muchas las empresas que buscan soluciones eficaces de fabricación, tanto técnica como económicamente viable y la problemática común que encuentran en lo métodos tradicionales de fabricación suele ser la misma, la no rentabilidad en la fabricación de series cortas. Esta guía incorpora una visión general de las tecnologías que puedan ayudar a las empresas industriales a encontrar solución a dicha cuestión.

## 2 MOTIVACIÓN DEL PROYECTO

La presente guía se engloba dentro del proyecto *“INCORPORACIÓN AL PROCESO DE DISEÑO DE NUEVAS TECNOLOGÍAS PARA LA FABRICACIÓN DE SERIES PEQUEÑAS ECONÓMICAMENTE VIABLES”* liderado por FEMETAL y con la colaboración de la Fundación PRODINTEC, financiado por el IDEPA dentro de la convocatoria INNOEMPRESA 2011.

El proyecto está enfocado a que se produzca un acercamiento entre las PYMES manufactureras asturianas y las nuevas tecnologías que podrían ayudarlas a diseñar y fabricar piezas únicas y series cortas de piezas, a un coste asequible.

Aquellas empresas que por su producto o mercado tienen que fabricar piezas únicas o series cortas, se encuentran ante la problemática de que los medios tradicionales de producción parten del supuesto de un elevado número de tirada, haciendo que los precios de estos medios no sean competitivos.

La novedad que presenta el proyecto se cifra precisamente en introducir este tipo de innovación en el sector industrial asturiano. A este respecto hay que destacar además que para muchos casos de tecnologías, ésta puede ser también la oportunidad de demostrar que son económicamente viables frente a procedimientos tradicionales, incluso para las más pequeñas empresas, ya que muchas veces, la justificación de estas tecnologías se hace en base a casos de aplicación para grandes empresas.

Con este proyecto se busca promover actividades de innovación en las pequeñas y medianas empresas para usar y posteriormente implementar tanto en sus procesos de Diseño/desarrollo de producto como en los procesos productivos, nuevas tecnologías que las ayuden a fabricar de manera económicamente viables pequeñas series e incluso piezas únicas.

El objetivo principal del proyecto es por tanto que al finalizar el mismo las PYMES participantes sean capaces de seleccionar la mejor técnica disponible para diseñar y llegar a fabricar sus productos en el menor plazo posible, optimizados funcionalmente y a un precio competitivo dependiendo del tamaño de la serie a fabricar.

Para conseguir este objetivo último se plantean una serie de actividades que se han planificado de acuerdo a una serie de objetivos específicos del proyecto:

- Facilitar a las PYMES el conocimiento de nuevas tecnologías para el diseño y la fabricación de pequeñas series y piezas únicas.
- Hacer reflexionar a las PYMES acerca de sus necesidades concretas en relación a optimizar los costes de diseño y fabricación de productos con series de pocas unidades.
- Acercar, mediante experiencias reales de aplicación, a las PYMES al uso de estas tecnologías.
- Generar una guía que sirva de referencia a futuras necesidades en este ámbito, tanto de las PYMES participantes, como en general de todo el sector industrial.

### 3 LA FABRICACIÓN DE SERIES CORTAS

#### Del prototipado rápido a la fabricación directa

Es necesario hacer referencia a las tecnologías de prototipado rápido o Rapid Prototyping, por ser el punto de partida y la evolución natural en muchos casos de los desarrollos que han permitido evolucionar de poder fabricar prototipos a piezas funcionales, principal diferencia entre ambos conceptos.

Además, las tecnologías de prototipado rápido están pensadas para apoyar en la fase de diseño de producto el desarrollo de los mismos, permitiendo disponer en poco tiempo de un modelo físico que permita realizar distintas funciones de validación, marketing, fabricabilidad,... pero sin olvidar que con gran probabilidad el proceso de fabricación futuro de dicho diseño sea un proceso convencional, por lo que el diseño estará pensado para ello y no se podrá explotar todas las ventajas que los procesos de fabricación aditiva permiten en cuanto a la libertad en el diseño.

Mediante las técnicas de prototipado rápido, los objetos son creados directamente a partir de un modelo CAD 3D de un modo similar a una impresora convencional pero en 3 dimensiones. Esto se consigue mediante secciones bidimensionales discretas tomadas del fichero CAD 3D (se utilizan software específicamente creados para esta aplicación) y mediante la deposición de un material, el sinterizado o la unión de polvos o cambiando el estado de una resina fotosensible a la luz ultravioleta (UV) se consigue ir formando la pieza capa por capa hasta obtener el objeto final deseado.

El espesor de las capas varía dependiendo del proceso a utilizar y puede ir desde las 16 micras hasta las 200 micras. Este parámetro es muy importante ya que por una parte influye en la velocidad de fabricación de la pieza y por otra parte define el mejor o peor acabado superficial y tolerancia de las piezas.

El prototipado rápido se utiliza como validador de los productos en fase de diseño de manera que distintos componentes del equipo de lanzamiento de un nuevo producto pudieran optimizar el tiempo y la fiabilidad del proceso de creación de un nuevo producto.

El prototipado rápido ayuda de gran manera a estudiar la manera óptima de fabricar el producto en el futuro, pudiendo reorientar su diseño a optimizaciones que en el futuro eviten problemas durante la vida del producto.

Desde el diseñador, que puede disponer de un modelo físico previo al lanzamiento de cualquier utillaje de serie para comprobar distintos aspectos críticos del producto que no son posibles de comprobar en el modelo 3D, hasta los integrantes del equipo de industrialización final del producto, donde el disponer de unos primeros modelos físicos en fases tempranas de desarrollo del producto es de gran ayuda.

Todo ello pasando por el equipo de ensayos, donde se acelera la posibilidad de realizar ensayos en la fase inicial del producto y rediseñar en función de los resultados.

Durante estos últimos años se han desarrollado este tipo de tecnologías que han apoyado en gran medida el lanzamiento de estos productos en aquellas empresas que han visto desde un principio en estas tecnologías una gran ventaja competitiva para la reducción del lanzamiento de productos al mercado o time to market.

No solamente en este ámbito industrial, sino también en otros campos, el prototipado rápido se ha ido introduciendo de manera paulatina y ganando adeptos allá donde se iba introduciendo.

Su utilización se extiende en muchos ámbitos, desde la fabricación de un prototipo funcional, hasta la visualización de un nuevo producto como modelo de marketing. Sectores como la medicina, posibilitando a los médicos, cirujanos, dentistas,...la posibilidad de disponer de modelos físicos para la preparación de operaciones, diseño de implantes, joyería, arquitectura,... han ido en cada caso y según sus necesidades adaptando su forma de trabajar a la posibilidad de utilizar estas nuevas tecnologías.

Pero siempre hablando de prototipos (piezas no finales y por lo tanto no funcionales). Como comentábamos anteriormente la evolución de la tecnología se está dirigiendo hacia un nuevo y apasionante mundo de la fabricación directa, es decir, de la posibilidad de fabricar las piezas finales (y por lo tanto funcionales) directamente del fichero CAD 3D sin necesidad de realizar, como es habitual en la mayoría de los productos fabricados en serie, por ningún tipo de molde, matriz, utillaje,...

Las técnicas de prototipado rápido, desarrolladas durante los últimos 20 años han jugado y están jugando un papel muy importante en el proceso de desarrollo de nuevos productos, desde la concepción inicial del diseño hasta su participación en estudios de fabricabilidad.

Por lo tanto, la mayoría de las tecnologías de prototipado rápido utilizan procesos aditivos por capas, pero se trata simplemente de un prototipo, ya que el proceso en serie para la fabricación de ese producto será un método convencional (inyección, mecanizado, conformado,...), mientras que la fabricación directa orienta el diseño y fabricación definitiva del producto en tecnologías aditivas. Ahí es donde radica la principal diferencia y hace que se deban de considerar estas tecnologías de fabricación muy en serio de cara al futuro por las grandes ventajas que suponen y que se verán más adelante.

### **Mass customization o fabricación personalizada en masa**

Se puede definir la customización o personalización como el proceso donde se parte de un concepto de diseño general y se particulariza a las necesidades de un consumidor específico.

En los últimos años queda patente que la personalización de los productos y la información es la tendencia del marketing a seguir en los próximos años. La fabricación directa ofrece a los fabricantes las herramientas tecnológicas que permiten la producción viable y económica de este tipo de productos y que responde a esa tendencia generalizada.

Existen distintos niveles de personalización. Por una parte se puede hablar de productos únicos, como por ejemplo puede ser una joya que se diseña y se fabrica de manera única para

una persona en concreto. En el otro extremo se puede hablar de la posibilidad de cambiar algún parámetro de un producto, color, tamaño,... de entre un elevado número de ellos. En el medio de ambos extremos se sitúa por ejemplo las posibilidades de personalización que existe actualmente a la hora de definir el acabado de un coche, donde se puede elegir en el concesionario a la hora de comprar el vehículo entre una serie de características que pueden ser elegidas. En la misma línea de producción se fabrican entonces coches con características distintas de uno a otro. Existe por lo tanto un determinado grado de personalización.

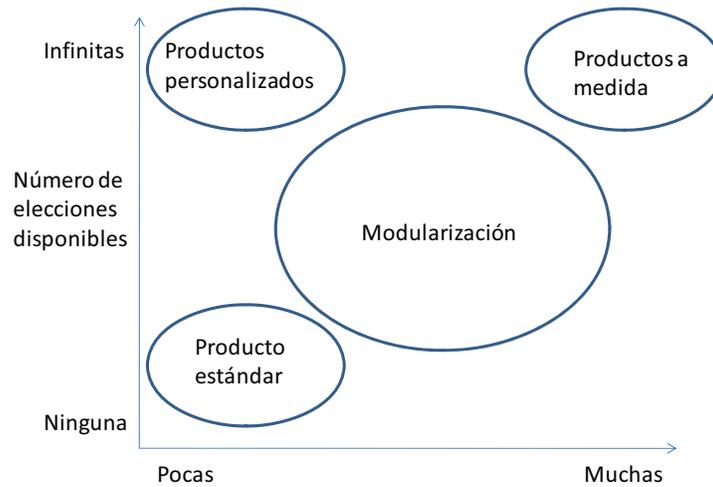


Ilustración 1: Número de características personalizables

En este aspecto la fabricación de productos mediante fabricación de series cortas o individuales abre la posibilidad de fabricar productos con un número infinito de elecciones para una o varias características del producto. Se trata realmente de la fabricación por lote unitario.



Ilustración 2: Esquema de la tendencia en los sistemas de producción y comercialización de productos

### **Reducción del tamaño del lote**

Es aquí donde la posibilidad de fabricar lotes pequeños, incluso personalizados, supone una gran ventaja de fabricación por métodos de fabricación directa, frente a otros. Este concepto de lote unitario está detrás por ejemplo de la filosofía del Lean Manufacturing, desarrollada por Toyota en los años 60. Se indica como forma de trabajo óptima, en contra de la fabricación por grandes lotes que se hace en la mayoría de los procesos por causa principalmente de los tiempos de cambio de máquina. La reducción del tamaño de lote es una tendencia y requerimiento de la filosofía de Lean, y se ha ido introduciendo en muchas empresas con éxitos notables (reducción de inventarios, reducción de tiempos de entrega, mayor flexibilidad frente a cambios de demanda,...). La fabricación por lote unitario para los procesos tradicionales no deja de ser una idea utópica. Como filosofía de mejora es clara la idea de reducir cada vez más el tamaño de lote, pero sin poder llegar a esa fabricación unitaria.

### **Cálculo viabilidad económica: Fabricación Aditiva vs. Procesos convencionales**

A pesar de que de manera general se hace referencia directa al coste cuando se habla de competitividad, es necesario cambiar este pensamiento y orientar la mejora y aseguramiento de la competitividad con la generación de productos de mayor valor añadido.

Es por lo tanto necesario cambiar el enfoque tradicional que orienta la competitividad con la reducción de costes frente a aumentar el valor añadido de los productos.

Esta recomendación queda perfectamente plasmada en la Agenda Estratégica de Desarrollo (SRA-Strategic Research Agenda) publicada por la plataforma europea de la fabricación, Manufacture. Se hace especial mención a la necesidad de orientar a las empresas y organismos europeos hacia la generación de valor en los productos y procesos en contraste con la tendencia tradicional del abaratamiento de los costes.

Las grandes ventajas que tiene la fabricación de series cortas hace que más tarde o más temprano la industria vayan asimilando e introduciendo estos procesos en la cadena de valor de los productos. Este interés ha de quedar reflejado en el empuje (económico al fin y al cabo en recursos materiales, humanos, inversiones,...) que la industria debe de dar para que la tecnología siga evolucionando hasta poder hacerse un hueco definitivo.

Un aspecto muy importante para que se dé este empuje, es que vaya siendo una realidad el poder fabricar determinados productos por estas tecnologías. Se ha de conseguir por lo tanto una viabilidad técnica (calidad de las piezas, homologaciones,...) y económica (coste frente a procesos tradicionales) de los productos para que sean una realidad. Y no estamos hablando de prototipos, sino de piezas finales.

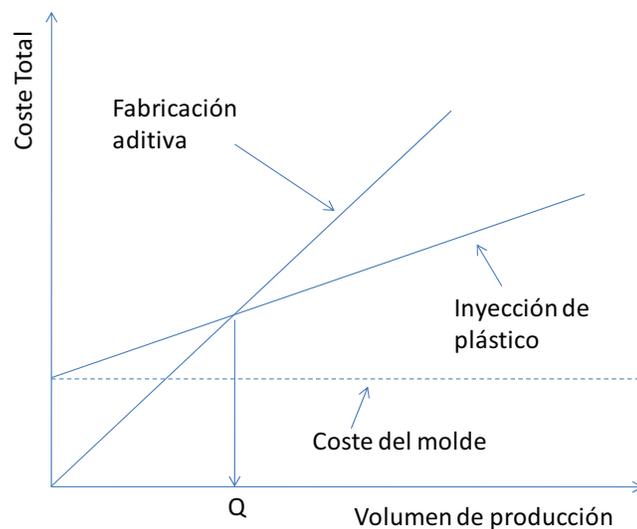
En algunos sectores, donde las ventajas de la tecnología aditiva son claramente superiores a sus desventajas actuales (sector dental, series cortas personalizadas, implantes,...) la fabricación de productos por las mismas es una realidad.

Pero aún existen muchos sectores e industrias donde el desconocimiento de este tipo de tecnologías y sus ventajas hace que el coste de su utilización sea una barrera infranqueable.

Es por ello que hay que distinguir claramente entre el coste de un producto y el valor que el producto genera o puede generar.

En este sentido se vienen realizando muchas comparativas entre el coste de fabricar productos mediante estas tecnologías, como la fabricación aditiva frente a la inyección de plásticos tradicional. En el caso de la inyección mediante un molde, el coste de éste tiene una influencia muy importante en el coste para volúmenes bajos. Según se aumenta la cantidad de piezas inyectadas, el coste se va reduciendo de manera exponencial hasta un coste donde prima el coste del material en sí y de operaciones y el coste del molde queda repartido entre un gran número de unidades. En el caso de la fabricación aditiva, el coste es prácticamente igual para una sola pieza que para un gran número de ellas al no estar asociado a ningún utillaje inicial como es el caso de la inyección.

Si se representan ambas curvas de costes frente a la cantidad fabricada se obtiene un punto de corte, que representa la cantidad a partir de la cual es más rentable inyectar la pieza frente a fabricarla directamente.

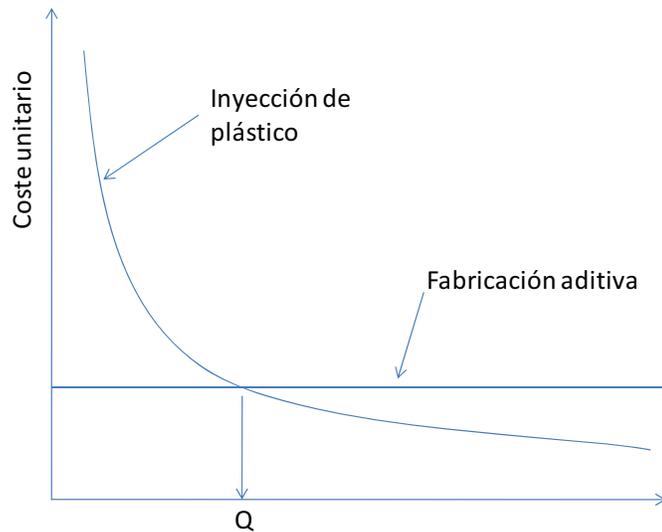


*Ilustración 3: comparativa coste-cantidad*

El coste del producto es un factor fundamental a la hora de decidirse por un proceso de fabricación determinado y es un aspecto clave a considerar cuando se pretende sustituir o introducir un componente fabricado directamente. El número de piezas a ser fabricadas o tamaño del lote es un parámetro decisivo, pudiéndose decir de manera general que para grandes volúmenes el proceso de inyección tradicional de plástico es más rentable que la fabricación capa a capa de cada uno de ellos.

Este tipo de comparativa es muy común a la hora de estudiar la viabilidad de fabricar una pieza por un proceso o por otro. Por otro lado se realizan muchos estudios en este sentido, que

sirven por otra parte para mostrar que la tecnología es viable para un determinado número de piezas, ya que aún se asocian este tipo de tecnologías con el prototipado rápido y existe la creencia aún muy extendida de que no son rentables para grandes volúmenes.



*Ilustración 4: comparativa coste unitario*

A nivel orientativo indicar que por ejemplo en el caso de fabricación de sistemas auditivos, producto que ha visto una gran ventaja competitiva en la fabricación directa por la utilización de una de las principales ventajas de la fabricación directa, la personalización de los productos, donde se fabrican de manera directa cientos de miles de piezas por tecnología de SLS y estereolitografía.

Aunque ya se ha comentado anteriormente, cabe aquí destacar que la comparativa no solo se debe de quedar a nivel de comparativa de costes puramente. La libertad que puede suponer no depender de un costoso molde tiene un valor añadido muy importante que no siempre se tiene en cuenta. Los posibles cambios de diseño durante la vida del producto (bastante comunes), suponen costas modificaciones en el molde, tanto de procesamiento del molde, como de paros de producción, costes logísticos,...La fabricación aditiva supone realizar dichos cambios sobre el fichero CAD para luego introducir dichos cambios en la siguiente fabricación, casi de manera instantánea.

Otra ventaja clara es la fabricación ajustada. Es decir fabricar aquella cantidad de piezas que se requiera, sin tener que fabricar grandes lotes de fabricación para justificar los costes de producción al intentar minimizar los tiempos de cambio de la máquina para poner en producción un nuevo molde.

En algunas ocasiones, existe una incertidumbre en el lanzamiento de un nuevo producto de la cantidad que finalmente se va a vender. Una vez construido el molde, si no se llega a la

cantidad prevista, se incurren en costes no esperados que penalizan la viabilidad del producto. En el caso de haberlo fabricado de manera directa, se está del lado de la seguridad al fabricar únicamente aquello que se va vendiendo y no estar ligado a ningún costoso utillaje.

Un error muy común es presupuestar una pieza que se ha diseñado para procesos tradicionales para ser fabricada de manera directa. En muy contadas ocasiones será viable su fabricación por estas tecnologías. Es necesario reiniciar la rueda del diseño del producto para obtener el máximo beneficio (valor) al producto.

En aquellos casos en que se pueda llegar a considerar fabricar una pieza por fabricación directa se hace necesario realizar un estudio de viabilidad económica donde se pueda llegar a definir el tamaño del lote a partir del cual se hace más rentable un tipo de fabricación u otro, teniendo en cuenta por supuesto todas las ventajas e inconvenientes que cada una de las tecnologías ofrece.

El desconocimiento de las ventajas que puede ofrecer esta tecnología, no planteadas muchas veces hasta la fecha por la imposibilidad de fabricar este tipo de geometrías, hace que en muchas ocasiones siquiera se afronte esta comparativa, desperdiándose probablemente una buena oportunidad de aumentar la competitividad del producto.

El cambio, la adaptación de un producto diseñado para ser fabricado por métodos tradicionales para ser fabricado por capas no es trivial. Muchas veces el querer fabricar un diseño pensado para métodos tradicionales directamente por capas lleva a no ser viable y a desestimar por parte de la empresa que se acerca a esta tecnología este tipo de fabricación. Es necesario un proceso de acercamiento a la tecnología por parte de la empresa, a ser posible de manos de alguna entidad o empresa que conozca en detalle las posibilidades que ofrece la tecnología. Este acercamiento se basa en dar a conocer por parte de la empresa la funcionalidad final del producto o pieza a fabricar, ya que en muchos casos este paso no es trivial y el diseño final está más condicionado por los métodos de fabricación necesarios teniendo en cuenta las características, volumen, coste,...que por la función última del producto.

Bajo este punto de partida del conocimiento básico de la función del producto es posible comenzar con un rediseño básico del producto conjuntamente con la empresa donde se vaya sacando todo el provecho a las ventajas que ofrece este tipo de fabricación. Según se va rediseñando sobre un producto concreto, la empresa va descubriendo el mundo de oportunidades que se van abriendo para conseguir un producto de mayor valor añadido, con más funcionalidades, con nuevas ventajas para el consumidor final, posibilidad de personalización, menor peso, mejores características,...El producto final resultante de este rediseño suele diferir del diseño inicial planteado, optimizado para su fabricación por este tipo de procesos. Esto unido a las nuevas funcionalidades, valores que añade el producto hace que la comparativa de costes frente al diseño inicial no sea prácticamente comparable y en dado el caso se decida incluso el cambio a su fabricación por este método. Existen muchos de estos casos en la industria hoy en día, y este paso de acercamiento de la empresa a este tipo de proceso sea necesario, ya que la revolución que suponen las nuevas ventajas que aporta la

fabricación por capas no siempre son entendibles en un primer acercamiento y es en el rediseño del propio producto donde se hacen patentes dichas nuevas opciones.

Al sumar las distintas posibilidades, ventajas, que ofrece la fabricación aditiva se consigue ya hoy en día contrarrestar las desventajas que a priori podrían no hacer viable la fabricación por este método. Si se suma a la fabricación personalizada, la posibilidad de que la complejidad añadida al producto no supone un coste adicional, sino que puede incluso suponer un ahorro, la posibilidad de reducción de peso, porosidad gradual,...hace que para determinados productos la fabricación de estos por técnicas aditivas sea hoy en día una realidad y haya empresas que utilizan industrialmente esta tecnología para fabricar sus productos.

#### 4 TECNOLOGÍAS DE FABRICACIÓN DE SERIES CORTAS

Esta guía presenta una lista de las nuevas tecnologías disponibles en el mercado y se describen brevemente sus características, ventajas y desventajas con el ánimo de poder ayudar a los responsables de los proyectos a ampliar su conocimiento sobre las mismas. Esta lista se puede englobarla en cuatro grandes grupos:

- Tecnologías de fabricación aditivas. (AM)
  - Estero litografía
  - Sinterizado laser plástico
  - Sinterizado laser metal
  - Fabricación rápida de molde Rapid Tooling
  - Polyjet (Objet)
  - Impresoras 3D ZCorp
  - Fused deposition molding (FDM)
- Tecnologías de fabricación sustractivas.
  - Mecanizado avanzado de alta velocidad
  - Mecanizado con robot
- Técnicas de moldeo
  - Colada al vacío
  - Moldeado rápido para inyección.
  - Reaction Inyecton Molding (RIM)
  - Micrufusión
- Tecnologías de conformado
  - Deformación incremental de chapa.
- Tecnologías de apoyo
  - Digitalizado
  - Ingeniería inversa

El conocer las oportunidades que nos brindan estas nuevas tecnologías nos acercan al éxito de nuestros proyectos, como en el caso que se ilustra a continuación en donde la convivencia de varias de estas tecnologías ha sido necesaria para lograr de la manera más eficaz el objetivo marcado.

## 5 TECNOLOGÍAS ADITIVAS-ADDITIVE MANUFACTURING (AM)

En los últimos años hemos venido viviendo en distintos ámbitos de nuestra vida, tanto personal como profesional, una clara transición hacia el ámbito digital. Existen multitud de ejemplos que hablan por sí solos de este silencioso cambio que se está llevando a cabo. Hemos pasado de la información técnica en papel de planos a su formato digital, primero en 2D y luego en 3D, el envío de correo tal y como lo conocíamos ha quedado obsoleto ante la aparición del correo electrónico, y muchos más ejemplos que seguro nos vienen a la mente en estos momentos. La tendencia es clara, e imparable, y cada ámbito de nuestro trabajo o de nuestra vida personal se va adaptando según se van produciendo avances en cada tecnología.

¿Y qué ocurre con la fabricación de productos? Por supuesto se han producido también avances en este sentido, desde la mejora de los sistemas de asistencia al desarrollo y fabricación de productos, como los sistemas CAD/CAM/CAE, hasta las mejoras de la productividad originadas por la automatización y robotización, pasando por los modernos sistemas de visión artificial y control de la producción en tiempo de ciclo, simulación de procesos, etc....Todo ello ha supuesto una mejora considerable tanto en los procesos de fabricación como de desarrollo de nuevos productos.

En este punto deberíamos hacer una reflexión sobre la forma en la que se han basado la gran mayoría de los procesos de fabricación y de concepción de diseño de los productos que normalmente nos rodean.

Desde sus inicios, hace muchos miles de años, el ser humano ha utilizado el material que le ha aportado la naturaleza y se ha basado en herramientas de corte para ir conformando sus productos. De forma muy genérica podemos decir que el ser humano ha utilizado tecnologías sustractivas, partiendo de una materia prima en bruto, que de manera muy costosa (en tiempo y energía) había puesto a disposición de él la naturaleza, y que mediante la eliminación del material sobrante era capaz de obtener el producto final deseado.

Este símil es muy claro en procesos de mecanizado mediante arranque de viruta (fresado, torneado, taladrado, rectificando,...). En otros casos hemos utilizado procesos de conformado (doblado, cizallado,...) para obtener mediante útiles o matrices la forma final deseada, o nos hemos valido de moldes para obtener las geometrías finales.



*Ilustración 5: Concepto de fabricación sustractiva comparado con AM*

Esta “forma” final de fabricar, y por lo tanto al final de diseñar los productos, se mantiene hasta nuestros días. Los procesos han avanzado, pero el principio sigue siendo el mismo.

Por otra parte, el ser humano siempre ha intentado aprender de la naturaleza, y lo ha conseguido en muchas ocasiones imitando comportamientos o cualidades de determinados animales y ha conseguido replicar dicha tecnología en su provecho.

Pero si en este momento nos preguntáramos ¿cómo fabrica y diseña la naturaleza?, conseguiríamos enlazar los conceptos anteriores.

Podemos decir, que en los millones de años de evolución, la naturaleza diseña y fabrica sus productos de manera optimizada, desde el punto de vista del consumo de materiales como de energía. En cuanto al diseño, la naturaleza utiliza dos únicos elementos, el círculo y sus derivados y los fractales. En cuanto a la fabricación, la naturaleza optimiza su producción situando material únicamente allí donde es necesario. Y aquí es donde conviene destacar la capacidad de la naturaleza de fabricar mediante deposición de capas: capas cilíndricas en el tronco de un árbol o esféricas para la obtención de una perla. Existe una especialidad de la ingeniería cuyo objetivo es el estudio de las propiedades de la naturaleza para su aplicación a nuestros productos y procesos (biomímesis).

Llegados a este punto podemos resumir que el ser humano siempre ha diseñado y producido de manera sustractiva (poco eficiente), frente a la forma optimizada de fabricar y diseñar de manera aditiva por la naturaleza.

Por primera vez en la historia se abre la oportunidad de que se puedan diseñar y fabricar productos de manera optimizada, tanto en material como en energía y tal y como lo hace la naturaleza.

Las tecnologías que permiten esto, se denominan genéricamente tecnologías aditivas de fabricación. Existen unas ventajas (impensables hasta ahora en el diseño y fabricación de productos) que están perfectamente identificadas y que hacen que el potencial futuro de este tipo de tecnologías sea inmenso (personalización de productos, libertad en el diseño, posibilidad de geometrías muy complejas, sin necesidad de disponer de moldes o matrices para su fabricación, posibilidad de hacer estructuras internas, gradientes de porosidad,...)

Pero no olvidemos que existen una serie de limitaciones actuales de la tecnología, que hacen que hoy en día no se pueda aplicar en cualquier sector o para cualquier producto. El gran potencial que ofrece este tipo de tecnologías, hará que poco a poco las grandes ventajas que ofrece esta forma de fabricar y diseñar compensen las desventajas y que éstas a su vez, con los avances de la tecnología, sean dentro de unos años historia.

La fabricación directa de una pieza directamente desde el modelo CAD 3D sin necesidad de utilizar ningún molde o matriz para su fabricación, además de por su velocidad, abre una interesante característica de este tipo de tecnologías que está revolucionando la concepción más básica del diseño de los productos que se pueden fabricar por estas tecnologías.

Esta característica se basa en que el método de fabricación por capas utilizado para este tipo de fabricación abre una serie de posibilidades en el diseño de los productos que no es posible

por ningún otro método de fabricación o si lo es, complica en gran medida su realización. Al fabricar por capas el producto, de manera aditiva, frente a los métodos de fabricación tradicionales que lo realizan de manera sustractiva o limitados por los propios procesos de fabricación (moldes de inyección,...) existe una libertad de formas posibles en el diseño que no existían hasta el momento.

La fabricación aditiva abre una serie de oportunidades para investigadores, desarrolladores de producto y usuarios de la tecnología que eran hasta ahora imposibles de imaginar. Este método de fabricación supone una forma totalmente distinta de pensar a la hora de diseñar un producto y las aplicaciones futuras están creciendo de manera muy considerable.

Otra característica revolucionaria de esta tecnología es que los productos personalizados son ahora factibles, ya que el coste de producir un único diseño no es extremadamente costoso como ocurre con otros métodos de fabricación donde la dicha fabricación se encuentra asociada a un utillaje o molde.

La posibilidad de situar los medios productivos cercanos al cliente final, donde los diseños se puedan enviar vía herramientas especializadas en internet supone una opción de futuro muy interesante.

Muchos diseños nunca llegan a ser una realidad debido a que suponen un alto riesgo al estar asociados su producción a costosos utillajes. Si estos altos costes de utillaje no son necesarios, se hace más viable el poder comprobar la viabilidad de nuevos productos en el mercado, mediante el lanzamiento de bajas cantidades.

La pérdida de carga productiva en países con costes salariales altos frente a la deslocalización de la producción en grandes series a países de bajo coste puede ser en parte frenada mediante la introducción de este tipo de procesos manufactureros. La fabricación de piezas localmente y justo a tiempo será más atractivo que fabricar grandes cantidades en zonas muy alejadas del consumidor final por el tiempo y coste de transporte.

Asimismo y según se indica en la Agenda Estratégica de Desarrollo Strategic Research Agenda (SRA) desarrollada dentro de la Plataforma Europea de la Fabricación Manufacture, los países con un coste salarial elevado, como son los países europeos, deben de centrar sus estrategias productivas a futuro en tecnologías y productos que contengan un elevado valor añadido. Se debe de cambiar la idea de competir en costes por la idea de competir mediante productos de alto valor añadido. Las tecnologías de fabricación aditiva son una de esas tecnologías que dicha plataforma ha identificado como claves para el futuro de la fabricación en Europa.

Se hace difícil pensar en una disciplina tecnológica que tenga un potencial más extenso de aplicación futura que la fabricación aditiva. Esta tecnología está suponiendo una revolución y una excitante nueva forma de pensar para profesionales de muy distintos ámbitos: ingenieros, diseñadores, cirujanos artistas,...

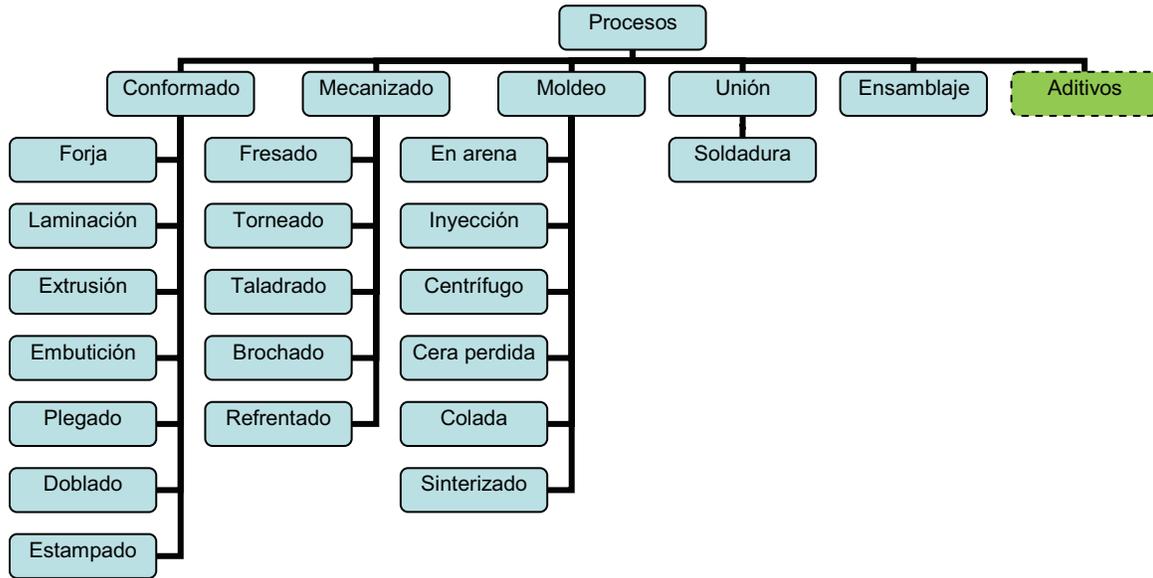


Ilustración 6: Clasificación de los procesos de fabricación, incluyendo los procesos aditivos.

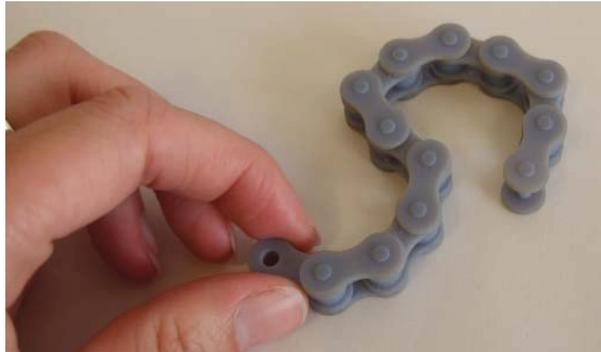
### Las tecnologías de AM fabrican capa a capa.

La Fabricación Aditiva o como se conoce internacionalmente a la tecnología Additive Manufacturing, (AM), consiste, básicamente, en manipular material a escala micrométrica y depositarlo de forma muy precisa para construir un sólido.

El hecho de que estas tecnologías no necesiten de utillajes, y nos permitan fabricar complejas geometrías, hace que sean en la actualidad de las tecnologías más demandadas, a pesar de que aún son muy recientes y de que existe mucho campo aún por investigar.

Los avances en el ámbito digital nos han permitido imaginar y dibujar geometrías mucho más complejas que hace unos años, encontrándonos ahora con las limitaciones en el proceso de fabricación, estas tecnologías que nacen en el último cuarto del siglo XX superar esas antiguas limitaciones, pudiendo resumir con el lema “si puedes dibujarlo, podemos fabricarlo”.

Gracias a la metodología de trabajo de estas máquinas en donde la construcción de la pieza se realiza por deposición controlada de material capa a capa, de manera que construyen las piezas por aporte de material desde la base hasta la cima, en lugar de partir de bloque macizo y arrancar el material sobrante a través de procesos tradicionales como mecanizado, troquelado, etc.) o empleando un utillaje como en el caso de moldeo por inyección, estampación... se abren nuevas oportunidades para reproducción de complejas geometrías o piezas que nacen directamente ensambladas.



*Ilustración 7: Prototipo realizado por fabricación aditiva, los componentes se fabrican directamente ensamblados. Cortesía de la Fundación PRODINTEC.*

El AM permite obtener piezas directamente de un archivo CAD 3D, “imprimiéndolas” de forma totalmente controlada sobre una superficie. Por ello se le denomina también con otros términos como e-manufacturing (fabricación electrónica), fabricación digital o Direct Manufacturing (fabricación directa) o incluso denominado Fabricación Aditiva por Capas (ALM Additive Layer Manufacturing) que es comúnmente usado a nivel internacional.

Con sus diferentes denominaciones, tipos y técnicas, las tecnologías AM hoy en día aún no se han implantado de una forma extensa en la industria, en parte porque aún deben de solucionar algunas limitaciones relativas al proceso y a elementos periféricos al mismo, pero también porque aún son bastante desconocidas por los potenciales usuarios que no son conscientes de las enormes ventajas que pueden aportar frente a procesos tradicionales, en muchos nichos de mercado, de las cuales destacan las dos siguientes:

La complejidad geométrica sin aumento de coste. Así como en los procesos tradicionales de fabricación, un aumento de complejidad geométrica conlleva en la mayoría de los casos un aumento del coste de la pieza, utillaje,...en la fabricación aditiva, paradójicamente, el aumento de complejidad se suele traducir en una reducción de coste, al utilizarse menos material y reducir el tiempo de trabajo en máquina. Es lo que ocurre en el caso de la siguiente imagen donde es mucho más barato acometer el diseño con la compleja escalera helicoidal interior y el detalle de sillería en la superficie de la torre, que ejecutar una forma simplificada, maciza interiormente y lisa en el exterior.

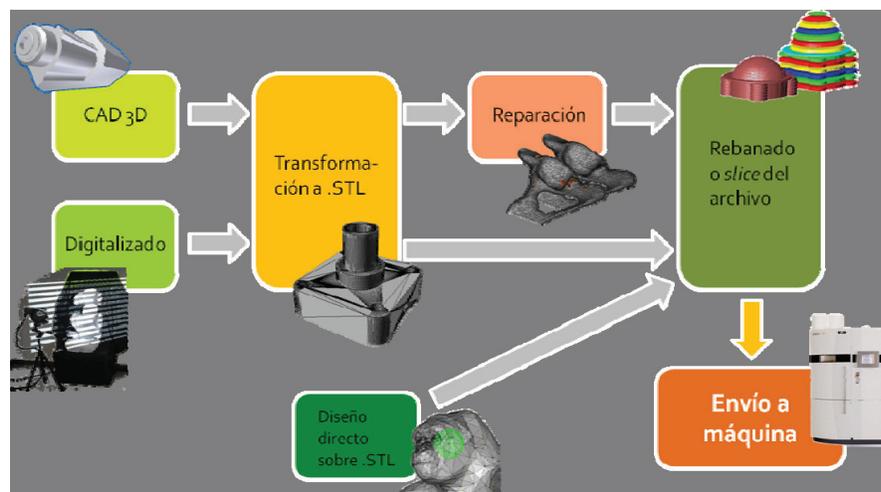


*Ilustración 8: Geometría interna compleja Cortesía de Fundación PRODINTEC.*

La personalización en masa: la fabricación aditiva ha permitido por primera vez poder fabricar piezas únicas, personalizadas a costes razonables y económicamente viables, al no estar ligada su fabricación a un útil que fabrique en serie todas las piezas iguales.

A pesar de los evidentes avances que pueden aportar las tecnologías de AM a la industria por sus indiscutibles ventajas también existen limitaciones que hacen que la implantación de estas nuevas herramientas aún no se haya hecho de manera generalizada.

- Disponibilidad y coste de materiales.
- Acabado superficial de la pieza y velocidad de fabricación.
- Tamaño limitado de pieza.
- Desconocimiento de la dinámica del proceso.



*Ilustración 9: Esquema de la secuencia de proceso de fabricación por AM*

### Estereolitografía (SLA)

El término “estereolitografía” fue acuñado en 1986 por Charles (Chuck) W. Hull, para la compañía 3D Systems, que se definió como un método y aparato para la fabricación de objetos sólidos a través de un haz de luz ultravioleta.

Es la técnica de prototipado rápido más antigua por lo que se la considera la precursora del retos de tecnologías de prototipado rápido, pero no por ello menos efectiva, ya que en determinadas circunstancias resulta insustituible por otros procesos

Los sistemas de estereolitografía o SLA™ emplean datos digitales CAD para convertir materiales y composites plásticos líquidos fotosensibles, en secciones transversales sólidas, capa a capa, con el fin de construir piezas tridimensionales precisas.

El funcionamiento se basa en el paso de una resina líquida a estado sólido, el cambio de fase se produce por la acción de un laser con la misma longitud de onda que la luz ultravioleta, que cura y endurece la resina. Funciona al igual que el resto de las tecnologías de fabricación aditiva con el concepto “capa a capa”, en este caso el espesor habitual de la capa en de 100 micras.

Estas máquinas disponen de dos cubetas, cubeta de alimentación y cubeta de construcción.

La cubeta de alimentación deposita una fina capa de resina líquida en la cubeta de construcción, el ordenador secciona digitalmente el modelo CAD en finas capas y envía la información de la sección al cabezal laser, que actúa en la superficie de la capa de la resina líquida siguiendo dicha sección, haciendo que se produzca la polimerización, el resto de la resina no expuesta al haz de luz se mantiene en estado líquido, la cubeta de construcción baja el equivalente a una capa y esta se llena de nuevo con una capa de resina líquida, su alta viscosidad hace necesaria la acción de un recoater para retirar el exceso de resina líquida, repitiendo el proceso de construcción hasta la finalización de la pieza.

Este sistema destaca por su alta definición. Durante la fabricación de las piezas es un sistema desatendido, una vez que la fabricación termina es necesario vaciar la cubeta de resina líquida, quitar las piezas de la bandeja de construcción y eliminar los soportes. Ya que para poder cauterizar una sección cuya sección anterior no está curada, (como es el caso de elementos voladizos,) es necesario fabricar unas estructuras de soporte que se generan automáticamente. Estas estructuras se eliminan fácilmente con una espátula plástica o similar y se acaban por eliminar los pequeños restos de estas con un lijado a mano. Una vez se hayan eliminado todos los restos de soporte y de resina líquida que pueda haber en las superficies de la pieza es necesario someter las piezas a un post-proceso térmico de curación para obtener la resistencia final. La necesidad de realizar el post-proceso de eliminación de soportes de manera manual hace que en determinadas ocasiones no se factible utilizar esta tecnología debido a este hándicap como puede ser el caso de piezas con cavidades internas a las que la mano no tenga acceso. El hecho de que todas las piezas tengan que apoyarse con la ayuda de soportes en la bandeja de construcción hace que no sea posible anidar piezas dentro de una misma cuba, reduciendo drásticamente su capacidad de trabajo.

Pueden obtenerse piezas de geometrías muy complejas, con una precisión de 0,1 %, ofrece buen acabado superficial lo que hace habitual el uso de esta tecnología para la fabricación de master para la posterior fabricación de moldes de silicona para colada al vacío, puede reproducir espesores finos que pueden llegar a ser de 0,6 mm y existe una amplia variedad de resinas epoxi, que nos ofrecen diferentes características, como transparencia, flexibilidad, materiales biocompatibles, etc. Permiten procesos de acabado superficial como pulido por chorreo de arena o pintado.

Las últimas novedades de esta tecnología son materiales cuyo comportamiento se asemeja más al de los termoplásticos, ofreciendo una alta resistencia al impacto, a las altas temperaturas y a la humedad convirtiéndose estas nuevas resinas en los materiales con mejores prestaciones dentro de las tecnologías de fabricación aditiva, lo que supondrá una importante revolución en este campo.

Uno de las principales desventajas de esta tecnología son las medidas de prevención que es necesario adoptar para la seguridad de los trabajadores debido a la toxicidad de las resinas, y que al realizarse con materiales fotosensibles, la pieza tiene muy mala vejez, ya que la exposición de la luz solar hace que se produzca un curado continuo, la manipulación de las piezas antes del proceso térmico es sumamente delicada ya que la pieza aún no ha adquirido su dureza final.

En la actualidad solo existe como proveedor de esta tecnología a 3DSystems con máquinas con una cubeta de trabajo de 1200 X 600 X 450 mm, sin embargo la compañía Belga, Materiales, ha desarrollado su propia tecnología similar a esta en cuanto a funcionamiento y características que ha llamado Mammoth y cuya bandeja de trabajo es de 2100 X 680 X 800 mm, este es un proceso más rápido ya que no es necesario la acción de un recoater reduciendo así el tiempo entre capa y capa, lo que hace que esta tecnología resulte muy atractiva principalmente para el mundo de la automoción.

La estereolitografía es la solución ideal para producir piezas de “exhibición” con gran calidad superficial y gran detalle.

### **Sinterizado láser plástico**

Esta tecnología fue inventada y patentada por Ross Householder en 1979, pero fue comercializada por la Universidad de Texas a final de los años 80, lo que dio lugar a la empresa DTM Corporation quien lanzó la primera máquina en el año 1992. En 1994, la empresa alemana EOS GmbH lanzó al mercado la primera máquina EOSINT-P, que cubre una parte muy importante del mercado actual de este tipo de sistemas.

Esta tecnología dispone de una bandeja de construcción en donde un recoater aplica una capa homogénea de polvo de poliamida sobre la anterior. Es entonces cuando el laser recibe la información de la sección de la pieza correspondiente a dicha capa y sinteriza el material que debe de ser sólido en esa capa a través de su acción, haciendo que las partículas de polvo se

unan a la capa anterior, el recoater aplica una nueva capa de material y así sucesivamente hasta que se termina de construir la pieza completa.

El laser en este caso es un laser CO<sub>2</sub> y los espesores típicos de las capas de fabricación son unas 100 micras. (Aunque en la actualidad comienzan a comercializarse sistemas con capas de 60 micrómetros). Para facilitar la tarea al laser, el material se calienta en la cuba hasta la temperatura de transición, de modo que el laser solo tiene que aplicar la energía necesaria para producir la polimerización. Este proceso de calentar todo el material (el que se sinteriza y el que no), hace que el material se vaya degradando por lo que es fundamental el control y mezcla de polvo virgen o reutilizado para la obtención de ciertas características mecánicas y geométricas.



*Ilustración 10: EOSINT-P100, en las instalaciones de la Fundación PRODINTEC, cuya cuba de trabajo 245 x 240 x 330 mm*

En la actualidad existen nuevos modelos con una bandeja cuba de trabajo mayor.

La gran ventaja de esta tecnología es que no es necesario generar estructuras de soportes lo que permite fabricar mecanismos, ejes bisagras, elementos flexibles, muelles, etc., lo que unido a las excelentes características de los materiales termoplásticos resistentes, capaces de soportar las pruebas de funcionamiento más agresivas, convierten a este sistema a una tecnología de gran éxito comercial, en especial para aplicaciones prácticas de fabricación en serie. Es probablemente el sistema que más fielmente representa y refleja todas las virtudes y ventajas de las tecnologías de AM.

Las piezas obtenidas son piezas plásticas finales a las cuales hay que añadirle todas las ventajas de la fabricación aditiva, personalización, rapidez, realización de complejas geometrías y la

posibilidad de realizar post procesos como el lijado o el pintado aumentando así sus propiedades estéticas.



*Ilustración 11: Modelos quirúrgicos. Cortesía Socinser*

Una de las desventajas de este proceso es que el enfriamiento de toda la cuba (material sin solidificar envolviendo a las piezas) una vez terminada su fabricación debe ser lento para que no se produzcan deformaciones en la piezas de modo similar a la inyección de plástico. Este proceso puede requerir un tiempo igual al de producción, lo que va en detrimento de la productividad del sistema. El hecho de que sea necesario elevar la temperatura de la cuba hace que el polvo se degrade y que sea necesario añadir nuevo polvo virgen de refresco en una cantidad no inferior al 50 %, lo que hace que se pierda gran cantidad de polvo sin haber sido consumida. Otra desventaja que puede ser crítica según el resultado esperado, es que estos materiales presentan un aspecto muy poroso y el acabado solo puede ser monocromo.

El material habitual es la poliamida 12 o poliamidas cargadas con fibra de vidrio, aluminio, fibra de carbono, u otros aditivos para mejorar las características mecánicas del producto final. En el año 2009 EOS GmbH presentó el primer sistema del mundo para fabricar piezas en PEEK (Polietil éter ketona), plástico técnico de muy altas prestaciones, este plástico no puede reutilizarse y se plantea utilizarse en operaciones quirúrgicas o implantes.

Al ser una tecnología válida para la realización de series cortas o primeras series plásticas sin la necesidad de la costosa inversión que ha de hacerse para la fabricación de un molde para inyección de plástico, los sectores de la automoción o la aeronáutica, consumidores habituales de piezas plásticas, encuentran en esta tecnología un gran aliado, convirtiéndose en los principales clientes de la misma; otro sector que demanda habitualmente los servicios de esta tecnología, es el sector médico para el cual se fabrican de manera habitual implantes auditivos, guías quirúrgicas para el corte, etc., todos ellos son productos de alto valor añadido.



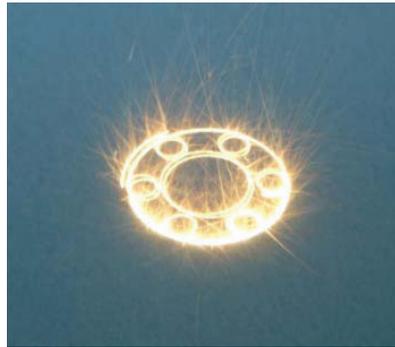
*Ilustración 12: Prótesis a medida. Cortesía de Fraunhofer IPA y EOS GmbH*

Si comparamos esta tecnología con el proceso tradicional de inyección de plástico, en este caso la inversión es menor (ya que no es necesaria la realización de un molde), coste inicial = 0 €, aunque el coste pieza sea mayor, es rentable la utilización de esta tecnología frente al proceso tradicional de moldes de inyección siempre que las unidades sean inferiores a un par de millares, reduciendo drásticamente frente a la inyección tradicional el “time to market”, junto con la reducción de stocks en el almacén, aumentando por tanto la cuenta de resultados del producto.

### **Sinterizado láser metal SLS**

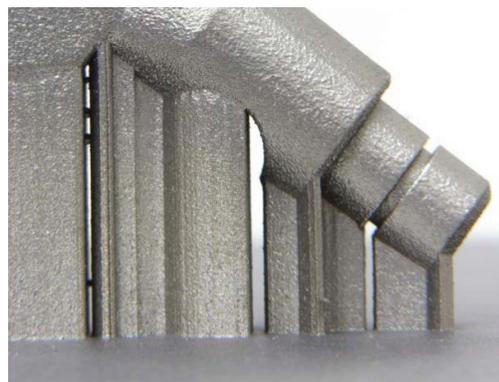
A partir de las primeras impresoras 3D, surge el concepto de la impresión por capas, partiendo de este, se buscan nuevas soluciones para poder fabricar en otros materiales como pueden ser los metálicos.

La tecnología de SLS fue desarrollada y patentado por el Dr. Carl Deckard en la Universidad de Texas en Austin a mediados de la década de 1980, bajo el patrocinio de la DARPA. Un proceso similar fue patentado sin ser comercializados por Housholder RF en 1979. En la actualidad Eos, fundada en 1989 es el principal fabricante de maquinaria de esta tecnología, desarrollando nuevos materiales y mejorando los procesos de producción.



*Ilustración 13: Proceso de sinterizado metálico láser*

El funcionamiento de esta tecnología es muy similar al caso del sinterizado laser plástico, existe una cubeta con polvo metálico el cual se sinteriza a través de la acción de un laser, se añade otra capa de polvo, se vuelve a sinterizar y así sucesivamente hasta llegar a finalizar la pieza. El material sobrante en cada fabricación puede reutilizarse sin ningún tipo de tapujos ya que este no se degrada por haber hecho de soporte para la fabricación de la pieza anterior. Otra característica particular de esta tecnología es que necesita de una plataforma de construcción metálica para poder comenzar con la fabricación y unir las partículas sinterizadas de la primera capa a dicha plataforma, lo que plantea la necesidad de un proceso posterior que consiste en cortar la unión entre pieza y plataforma, por lo que en esta tecnología es difícil conseguir una pieza en donde las 6 caras puedan estar complejamente trabajadas.



*Ilustración 14: Ejemplo de placa metálica unida a la placa de fabricación por medio de soportes.*

En casos complejos como el que se ilustra, la pericia del diseñador y del tecnólogo es un elemento clave para el éxito de la pieza. Según la orientación de las piezas dentro de la máquina, se obtendrán distintos resultados en las propiedades de los materiales, que vendrán dadas por la geometría y los parámetros del proceso utilizado. Las superficies orientadas hacia arriba se producen más planas y tienen un acabado superficial mejor.



*Ilustración 15: Máquina de Sinterizado laser metálico EOS-M270, en las instalaciones de la Fundación PRODINTEC*

Son muchas las ventajas asociadas a esta tecnología frente a las limitaciones de las tecnologías tradicionales de conformado metálico.

- Reproducción de geometrías complejas.
- Reproducción de piezas únicas.
- Obtención de productos aligerados. La complejidad geométrica tiene una aplicación especialmente destacable en la reducción del peso de un objeto, por medio de estructuras internas huecas o jugando con la densidad de los materiales. Técnicas tradicionales como la fabricación por moldeo permiten obtener productos huecos, pero siempre con las limitaciones que impone el desmoldeo (extraer la pieza del molde, una vez solidificada), que en ocasiones impide obtener la pieza deseada o exige sofisticar el utillaje de forma que lo hace inviable técnica o económicamente, mientras que en esta tecnología desaparecen estas limitaciones.

La materia prima para alimentar la cuba de deposición de esta máquina debe de ser un polvo metálico virgen y muy refinado, (y el desarrollo de los parámetros de un nuevo material es una labor muy costosa) para obtener esta materia prima el metal a de someterse a costosos procesos. Esta es la lista de los materiales más habituales para esta tecnología.

- Acero inoxidable: 15 5 y 17 4. Utilizado principalmente en piezas del sector ingenieril.
- Superlación del cromo cobalto, es una aleación con altas propiedades térmicas y altas prestaciones mecánicas por lo que es habitual en la fabricación de piezas para automoción o aeronáutica.

- Aleación de bronce. Se utiliza principalmente para la fabricación de molde prototipo o molde rápido para inyección, pudiendo ser sustituto del molde de aluminio en el proceso de inyección rápida de piezas plásticas.
- Acero herramienta 1 2709. Utilizado para moldes de troqueles y otras aplicaciones manufactureras.

Algunos de estos materiales son biocompatibles, aunque el sector médico aún no los ha acreditado como tal, debido a la juventud de la tecnología.

Frente a las ventajas, podemos nombrar los siguientes hándicaps que se espera que en un futuro se vayan reduciendo.

- Poca variedad de materiales.
- Elevados costes frente a los materiales tradicionales (polvo refinado, muy caro)
- Acabado superficial de las piezas y velocidad de fabricación.
- Calidad de producto.
- Tamaño limitado de piezas
- Coste de la maquinaria.
- Pos procesos a realizar.
- Desconocimiento de la dinámica del proceso.

Dado que con esta tecnología se obtiene de una manera rápida, personalizada y económica, piezas únicas que son compatibles con el organismo del ser humano, el sector médico encuentra en esta tecnología un gran aliado para resolver prótesis quirúrgicas, e instrumental de la misma índole, tanto que este sector se ha convertido en uno de los principales clientes del AM ocupando el 23% de la producción de fabricación aditiva. Pero no es único sector con una gran porción de la tarta, ya que el sector de la automoción y el sector de la aeronáutica ocupan un volumen de un 15 % cada uno, de manera que solo en estos tres sectores el AM encuentra más del 50 % de sus servicios prestados.



*Ilustración 16: Implantes a medida. Cortesía Socinser.*

### **Fabricación rápida de moldes Rapid Tooling**

Una de las mayores aplicaciones del sinterizado laser metálico es sin duda alguna la fabricación total o parcial de moldes. El *Rapid Tooling* es una aplicación muy interesante del AM, ya que la pieza final obtenida corresponde a un proceso ya establecido (inyección de plásticos por ejemplo), y es el molde el que se ha construido de manera rápida, utilizando las ventajas que ofrece el AM, reduciendo los tiempos de lanzamiento y costes de fabricación. En ocasiones no se utiliza la tecnología para fabricar el molde completamente, sino que se optimiza su utilización a zonas (insertos) que de otra manera sería muy complicado de fabricar o el plazo no sería competitivo.

En este campo cabe destacar las oportunidades que ofrece la fabricación directa de poder fabricar moldes o partes de un molde con canales de refrigeración (canales conformales) con geometrías libres, capaces de adaptarse a la geometría y optimizando de esta manera la refrigeración de la pieza ahí donde se necesite. De esta manera se optimiza el ciclo de inyección y los requerimientos dimensionales del producto final.

Asimismo se reduce el tiempo de fabricación del molde, ahorrarse procesos y se reduce en gran medida la cantidad de material y energía necesaria para la su fabricación.

En el siguiente esquema se presenta una comparativa de los pasos a seguir en la fabricación de un molde para inyección de plástico con métodos tradicionales frente a la fabricación con tecnología AM, reduciéndose drásticamente el número de procesos, lo que implica un importante ahorro de tiempo y costes. Una vez más se comprueba que no es una tecnología que necesariamente deba de trabajar sola, sino que su incorporación a la cadena de valor, coexistiendo con otros procesos de fabricación, optimiza el proceso total.

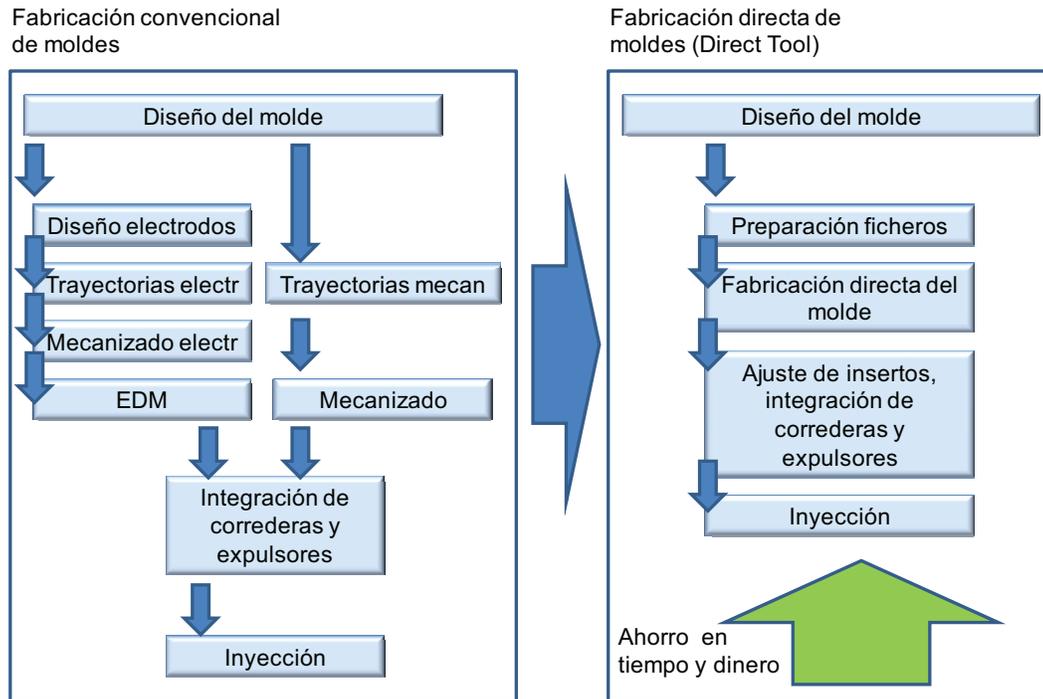


Ilustración 17: Ahorro en la cadena de producción de moldes.

La aplicación principal del AM en este sector actualmente se da en la construcción de moldes, pero su utilización es posible en cualquier proceso de fabricación de utillaje, por ejemplo, en matricería.

La ampliación de las bandejas de construcción, la ampliación de gama de materiales, la eliminación o reducción de los post procesos, son algunas de las mejoras que se producirán en un corto plazo.

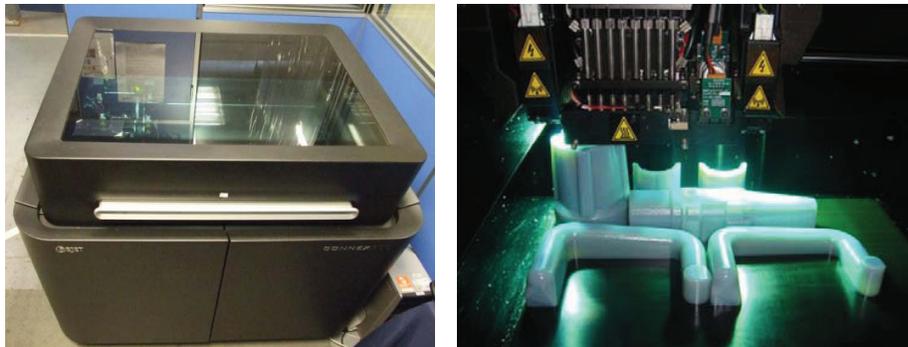
### **Polyjet (Objet)**

Tecnología desarrollada por la empresa Objet Geometries Ltd., (Rehovot, Israel) quién comercializó la primera máquina en abril del año 2000. Además el lanzamiento en 2008 de la primera máquina de fabricación multimaterial ha significado una gran innovación en el sector y confirma una de las principales tendencias en AM. Esta máquina puede trabajar con dos materiales diferentes de modo que ciertas partes de la pieza pueden ser de un material u otro, o de mezclas de ambos en distintas proporciones, lo que nos permite un mayor control sobre la pieza final pudiendo ofertar material rígidos y gomosos y con diferentes colores en un mismo proceso de fabricación, lo que puede llegar a facilitar el proceso de comunicación entre cliente y diseñador.

Esta tecnología utiliza resinas líquidas, de formulación propia, es un material sensible a la radiación ultravioleta. Permite imprimir el material mediante cuatro inyectores, con 96 orificios

de actuación independiente en cada uno; los inyectores están ubicados en un cabezal móvil que se mueve a través del eje X e Y. La deposición se realiza en capas de 16 micrómetros de manera similar a como lo hace una impresora convencional de chorro de tinta, con movimiento del cabezal de izquierda a derecha y sucesivos barridos hasta completar la superficie de trabajo, pero sobre una bandeja de construcción en lugar de sobre un papel. En ambos lados del cabezal móvil van instaladas dos lámparas ultravioleta, de modo que al moverse el cabezal de izquierda a derecha depositando el material se produce el curado del mismo, instantes después de su deposición. El posterior descenso continuado de la bandeja de construcción y repetición del proceso permite obtener finalmente la pieza fabricada en 3D.

En esta tecnología es necesario el uso de soportes; para ello el cabezal dispone de otros cuatro inyectores idénticos que en cada capa depositan donde procede un material específico para esta función, de forma simultánea al material de aporte. El soporte curado es blando y se retira fácilmente con la mano o mediante chorro de agua, tras la finalización del proceso de fabricación, sin dejar marcas superficiales en las piezas.



*Ilustración 18: Connex 500, Máquina disponible en las instalaciones de la Fundación PROINTEC, con una capacidad de trabajo de 500 x 400 x 200 mm. Máquina trabajando en las instalaciones de la Fundación PROINTEC.*

Esta tecnología consigue uno de los mejores acabados superficiales de las tecnologías disponibles hoy en el mercado y se usa en muchas ocasiones para fabricar piezas master con las que luego realizar copias por otras tecnologías como es el caso de moldes de silicona por colada al vacío, microfusión, etc.

Estas son algunas de sus características técnicas.

- Modelos 3D con capas ultra finas de 16 micras
- Paredes finas: hasta 0,6 mm (0,02 pulgadas)
- Alta precisión: 0,1 mm (0,004 pulgadas)
- Alta resolución

- Superficies lisas
- Gran nivel de detalles
- Entorno de oficina
- Amplia gama de materiales

Esta tecnología pierde la batalla frente a otras tecnologías de AM por la falta de altas propiedades mecánicas como la falta de dureza y rigidez de los materiales y la baja resistencia térmica (temperaturas inferiores a 45º C) son tareas pendientes para esta tecnología, al igual que la durabilidad de las piezas, ya que al ser fabricadas con materiales fotosensibles no tienen una buena longevidad y tienden a amarillearse y a sufrir una degradación del material cuando estas se exponen por largos periodos a la radiación directa de rayos de luz ultravioleta.

Los materiales fotopolímeros Objet FullCure ofrecen una variada selección de colores y propiedades mecánicas, e incluyen materiales de soporte para geometrías complejas. Esto le brinda la máxima flexibilidad a la hora de crear modelos de alta resolución que cumplan con una amplia gama de requisitos de ajuste, forma, función y aspecto.

Los materiales FullCure se basan en la tecnología PolyJet™ de Objet, la cual produce modelos completamente curados que pueden manipularse al instante una vez construidos. Ésta es una ventaja única sobre otras tecnologías y materiales de prototipado rápido, que requieren un largo post procesado.

- La selección de materiales permite una amplia variedad de aplicaciones, como lijado, pintado cromados, taladros, pegados...
- Es fácil alternar entre diferentes materiales.

El material de soporte, usado en combinación con cualquier material de modelo FullCure, permite obtener modelos con un rango ilimitado de geometrías complejas, incluyendo salientes y hendiduras. A continuación veremos la lista de materiales disponibles.

- FullCure 720 (material semitransparente, rígido)
- Familia Vero (familia de material rígidos opacos)
  - VeroWhite
  - VeroBlue
  - VeroBlack
  - Vero Gray, este nuevo material mejora la estabilidad funcional y magnífica la visualización de los detalles.
  - Vero Clear, nuevo material transparente.

- Familia Tango. Tecnología de resina exclusiva que proporciona materiales flexibles parecidos al caucho, con diversos niveles de elasticidad.
  - TangoBlack (Shore 61)
  - TangoBlackPlus (Shore 27)
  - TangoPlus (material semitransparente) (Shore 27)
  - TangoGrey (Shore 75)
- Familia Durus.
  - Durus White; Material parecido al polipropileno, para una amplia gama de aplicaciones que requieren una apariencia, flexibilidad, resistencia y dureza similares a las del polipropileno, ideal para piezas clipadas.



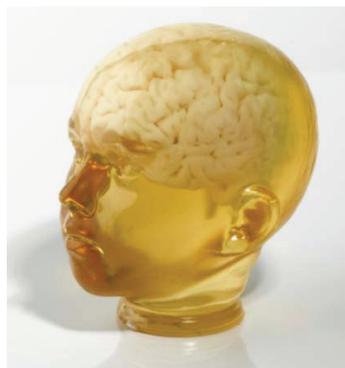
*Ilustración 19: Nuevo material rígido transparente Vero Clear. Cortesía de Objet*

También existen nuevos materiales mejorados como el Vero White plus, que ofrece mayor estabilidad dimensional y una mayor resistencia térmica (hasta 65º) y el material similar al ABS. Además de estos materiales originales la reciente tecnología Connex permite realizar mezclas de materiales digitalmente ampliando la gama de materiales, que nos permiten obtener diferentes grados de dureza en la mezcla de materiales flexible y rígidos y diferentes tonalidades en la mezcla de materiales Vero, y materiales similares al ABS, con mejores propiedades térmicas y mecánicas...



*Ilustración 20: Gama de 12 nuevos materiales digitales a partir de los materiales primitivos, Vero White plus y Tango Black plus, cortesía de Fundación PRODINTEC.*

Las soluciones de Objet permiten a los fabricantes y diseñadores industriales reducir el coste de desarrollo de productos y acortar drásticamente el tiempo de salida al mercado de nuevos productos. Las empresas líderes mundiales utilizan los sistemas Objet en muchos sectores tales como educación, medicina / dispositivos médicos y odontológicos, electrónica de consumo, automoción, juguetería, bienes de consumo y calzado, para validar o fabricar sus productos.



*Ilustración 21: Ejemplo de capacidad de reproducción en bimaterial para el sector médico. Cortesía de la Fundación PRODINTEC.*

Con la llegada al mercado del nuevo material Vero Clear podemos ofrecer a nuestros cliente piezas prototipo (fabricadas con esta tecnología) o piezas finales, realizadas a través de la colada al vacío (que utilizará la pieza fabricada en polijet como pieza master, copiando por tanto las propiedades ópticas del master) piezas realmente transparentes, compitiendo con tecnologías como el mecanizado en alta velocidad en piezas de policarbonato.

Claramente el futuro de esta tecnología pasa por la obtención de materiales con mejores propiedades mecánicas, permitiendo que pueda competir en los diseños más exigentes con otras tecnologías como la Sinterizado Laser de Poliamida.

### **Impresoras 3D Z Corp**

Las impresoras 3D son máquinas que permiten la obtención de un modelo físico a partir de un CAD 3D.

Z Corporation (comúnmente abreviado Z Corp) nace en el Instituto de Tecnología de Masachusets (MIT), en Burlington, en Estados Unidos, en el año 1994 para aplicaciones avanzadas; un año más tarde el MIT consigue una licencia exclusiva para la nueva tecnología de impresora 3D. El nombre de la empresa se relaciona con el Z, que añade profundidad a los otros dos ejes X e Y, otorgando por tanto la 3ª dimensión a los objetos tal y como lo hace la impresión 3D. En el año 1997 se convierte en líder de esta tecnología con el lanzamiento de la

impresora 3D más rápida del momento, contando entre sus clientes con empresas como Kodak, Toyota, Whirpool... En el año 2000 la empresa expande su mercado con delegaciones en Asia y Europa. En la actualidad tiene distribución y servicio en más de 61 países y año a año se introducen mejoras tanto en los materiales como en los procesos posteriores.

Existe cierta ambigüedad en el uso del término Impresora 3D, ya que han sido varios los fabricantes que han posicionado sus máquinas en este sector, y por tanto distintas las tecnologías involucradas, sin utilizar con mucho rigor este concepto para definirse. La mención a **“Impresoras 3D”** pretender hacer llegar al mercado la imagen de que se trata de algo tan sencillo, limpio, económico y fácil como una impresora de papel, pero en tres dimensiones.

Se trata de un concepto muy genérico en el que podrán venir englobadas todas las tecnologías de fabricación aditiva, pero en cambio éstas se suelen referir a aquellas orientadas a la oficina técnica, donde prima lo rápido y lo económico. Aquellas donde el mantenimiento es muy bajo y la calidad aceptable. Tienen la gran ventaja de permitir dotar de color a nuestros prototipos lo que abre en gran medida sus aplicaciones.

El grueso de estas impresoras lo forman aquellas que trabajan en polvo de escayola. El cabezal en este caso, de un modo similar al de una impresora convencional, expulsa un aglomerante y tinta las zonas que requieran color. Por iteración con este proceso logramos obtener el modelo impreso deseado.

Destinada a la fabricación de piezas para el testeo visual, en las que podamos valorar información aportada por el color o las texturas, también se utilizan los modelos obtenidos con esta tecnología para detectar posibles mejoras en los diseños antes de pasar a una producción mayor.

Las impresoras 3D de ZCorp utilizan inyectores estándar de impresoras de chorro de tinta para depositar selectivamente micro gotas de un adhesivo diluido sobre un lecho de polvo. Los materiales tienen base de yesos o celulosas adecuadamente formulados y en aquellos puntos en los que se deposita adhesivo se aglutina y reacciona para formar un cuerpo sólido. La plataforma de construcción baja el espesor de una capa y un recoater de rodillo aplica una nueva capa sobre la anterior. La humedad remanente permite fijar parcialmente el polvo de la nueva capa sobre ella. Un nuevo avance del brazo con el cabezal recorriéndolo sucesivamente genera una nueva capa, y así sucesivamente, como lo haría una impresora de chorro de tinta convencional.

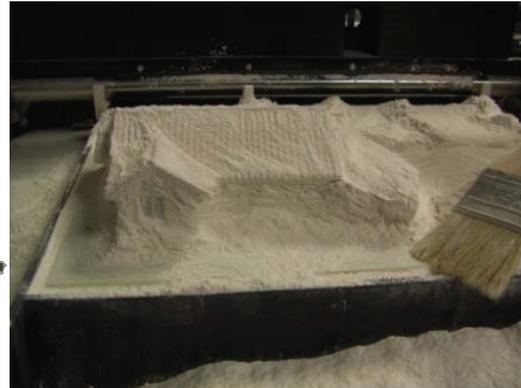
La característica diferencial de estas máquinas es que existen modelos con 4 depósitos de líquido, uno para el adhesivo y otros para tintas de colores, y el cabezal dispone a su vez de tantos inyectores como depósitos. Esto permite imprimir piezas directamente en color exactamente igual a cualquier impresora de chorro de tinta sobre papel. El modelo más reciente de Z Corp dispone de sistema de cuatricomía (YCMB) lo que mejora el rendimiento de color y contraste.



*Ilustración 22: Máquina ZCorp 510 disponible en las Instalaciones de la Fundación PRODINTEC.*

La gran ventaja que aporta esta tecnología es sin duda la aplicación del color y la lectura de mapas de bits, ventajas que no tiene ninguna otra tecnología de fabricación aditiva. Al contrario que otras tecnologías como EOS poliamida que el material de la cubeta no sinterizado se va degradando en Zcorp es reciclable al 100% obteniendo por tanto costes más competitivos que otras tecnologías.

La desventaja de estos sistemas es que la resolución vertical no es muy buena (90 micrómetros por capa) y que las piezas salidas de máquina son frágiles, tienen un aspecto arenoso y colores apagados. Es necesario un post proceso cuidadoso de limpieza y soplado, (para eliminar los restos de polvo adheridos a la pieza) según la complejidad de esta, dicha tarea puede llegar a ser imposible (ya que la pieza es tremendamente frágil, incluso al manipularla con pinceles finos). A continuación se deben infiltrar con cianocrilatos (piezas en color), agua (piezas incoloras con baja resistencia) o incluso epoxi para mayor resistencia sacrificando la intensidad del color.



*Ilustración 23: Proceso de fabricación de pieza. 1.- Modelo CAD 3D. 2.- Fabricación Aditiva 3.-Limpieza e infiltrado de la pieza 4.- Pieza final. Cortesía de la Fundación PRODINTEC*

Por lo general los materiales utilizados son polvos cerámicos adecuadamente formulados, pero también podemos cargar la cuba con polvo de celulosa ZP-15, este material, nos permite aún la impresión en color pero con un post proceso de infiltrado y térmico adecuado podemos obtener una pieza flexible ampliando por tanto las oportunidades de negocio de estas tecnología.

Para la fabricación de piezas en Z Corp, no es necesario usar soportes rígidos, pero puede llegar a ser necesario si hay grandes voladizos con paredes muy finas, en estos casos, la pericia del tecnólogo juega un papel importante.

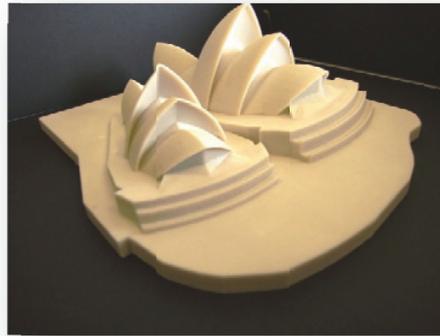


*Ilustración 24: Ejemplos de piezas en diferentes materiales en ZCorp. Cortesía de Zcorp*

Disponen también de materiales alternativos, como el Z-cast, que permite imprimir moldes o machos para colada de fundición de aleaciones de materiales no férricos. El material más reciente ZP-150 (2010) se cura con agua aditivada con sales y mantiene el color vivo y aporta mayor resistencia a la pieza incluso antes de su infiltrado.

Dadas sus características, esta tecnología, es perfectamente adecuada para el mundo de la arquitectura donde obtener una maqueta del edificio proyecto es mucho más rápido y económico que con las técnicas tradicionales, gracias a la información del color, y la aplicación de los mapas de bits. Otros sectores clientes habituales para Z Corp son ingenierías que pretenden realizar un prototipo de un modelo de elementos finitos, para un mejor estudio del diseño desarrollado, terrenos topográficos o personalización de personajes.

Un sector que podría aprovecharse de las ventajas que ofrece esta tecnología es el sector relacionado con la construcción, desde maquetas de edificios, de terrenos, de stands de arquitectura efímera, y todas las maquetas en las que el milímetro no sea de vital importancia; principalmente los arquitectos podrían mostrar sus diseños a sus cliente, en una maqueta aportando mucha más información, y siendo mucho más sencilla la comprensión del proyecto y la volumetría del edificio –en especial para personas que no tengan una cualificación técnica– que los habituales planos en 2D. El problema que nos encontramos concretamente en este sector, es la conversión de datos de 2D al 3D (ya que el mundo de la arquitectura en la actualidad, trabaja fundamentalmente en formato 2D) lo cual implica tener que realizar ese paso previo (conversión de datos 2D a 3D) por lo que al coste de la fabricación del prototipo, hay que sumarle el coste de la obtención del archivo. Todo apunta a que un futuro cercano todos los estudios de arquitectura se conviertan y trabajen directamente en formato 3D como con software como Allplan, CINEMA 4D, Arquitectura 3D, etc., pudiendo entonces hacer uso de esta tecnología de manera mucho más inmediata.



*Ilustración 25: Ejemplo de maqueta conceptual realizadas  
con ZCorp. Cortesía de la Fundación PRODINTEC.*

La llegada al mercado del nuevo material ZP-150 con mejores propiedades mecánicas y mayor dureza antes de su infiltración hará que muchos modelos sin mayores exigencias dimensionales pasen a realizarse por esta tecnología de manera más económica que sus actuales competidores.

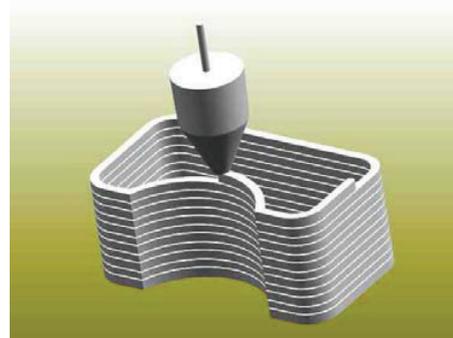
### **Fused deposition modeling (FDM)**

Este proceso nace en 1991 de la mano de Stratasys, se basa en el principio de los tres ejes de una máquina de CNC, (control numérico por computadora) donde una boquilla alimentada por un filamento plástico se mueve en los ejes X e Y y deposita el material allí donde lo necesite. El filamento de material llega frío a la una boquilla que está caliente de manera que el plástico al pasar a través de ella se funde. A medida que la boquilla se desplaza a través de la bandeja de construcción, deposita el hilo de material de acuerdo con la geometría a fabricar y el plástico se adhiere a la capa anterior lo que hace que por contraste de temperaturas este se endurezca inmediatamente. La bandeja de construcción se desplaza a lo largo del eje Z según va completando la sección.

La bandeja de fabricación se encuentra en una cámara que se conserva a una temperatura justo por debajo del punto de fusión del plástico. La mayor cubeta de construcción que podemos encontrarnos en esta tecnología es de 600 X 500 X 600 mm.

Para la realización de elementos voladizos, es necesaria la utilización de un material de soporte que se deposita de igual manera con otra boquilla que se alimenta en ocasiones del mismo material que la propia pieza, (por lo que su eliminación es un proceso complejo que suele dejar marcas visibles) o de un material más blando de manera que este puede ser eliminado en gran parte de manera manual, finalmente se introduce la pieza en una cubeta de limpieza en donde

los restos de soporte pueden eliminarse por la propia acción del agua o a través de un proceso de electrolisis.



**Ilustración 26: Proceso de trabajo tradicional en arcilla similar al proceso de trabajo de FDM y simulación virtual de boquilla depositando el filamento de material capa a capa.**

La huella del soporte hace que esta tecnología no sea la más adecuada para piezas cara vista, ya que el acabado superficial de estas es bastante pobre y poroso, por lo que se utiliza de manera más habitual en la fabricación de piezas interiores. Los materiales utilizados para la fabricación por FDM nos permiten una amplia gama de post procesos, como el lijado y el pulido (llegando incluso a poder ofrecer un acabado muy cercano a un pulido espejo), también admiten procesos de pintura incluso es posible cromar las piezas sometiéndolas a un recubrimiento electrolítico, tras un exhaustivo proceso de pulido.

Estas máquinas ofrecen diferentes secciones de boquillas lo que nos permite seleccionar el espesor de capa más adecuado según la pieza a fabricar, ya que un espesor de capa muy fino hace que la fabricación de la pieza sea más lenta que con un espesor de capa mayor y por lo tanto más costosa su fabricación. Es importante tener en cuenta este diámetro de la sección ya que espesores o detalles inferiores a ella no serán reproducidos por la máquina. Debido al trabajo por capas existe un espesor mínimo en el eje "Z" lo que hará que en las piezas que tengan curvaturas en dicho eje aparezca el denominado "efecto escalera", no pudiendo rematar con definición los vértices y las esquinas de las piezas.

En general esta tecnología fabrica piezas monocromo en un material ABS (que ofrece peores requerimientos técnicos que un ABS para inyección, como un 20% menos de rigidez) pero en la actualidad hay máquinas con capacidad de carga de varios carretes de hilo, y varia boquillas lo que nos permite obtener piezas de varios colores, pero sin ser posible que estos se mezclen entre sí.

Esta tecnología utiliza materiales termoplásticos, principalmente ABS, aunque las últimas máquinas pueden utilizar PC-ABS, ABS reforzado, policarbonato, mejorando las características técnicas especialmente en cuanto a resistencia y rango de temperaturas, también es posible la fabricación de modelos en cera.

Podemos resumir indicando que es una tecnología que nos permite obtener una pieza final económica con una baja calidad superficial de los modelos.

## 6 TECNOLOGÍAS SUSTRACTIVAS

Se le conoce con el nombre de tecnologías sustractivas a todas aquellas que parten de un bloque de material y construyen las piezas a partir del arranque de viruta a través de máquinas y herramientas.

Los principales hándicaps de estas tecnologías son sin duda la necesidad de partir de un gran bloque de material prima lo que en muchas ocasiones se convierte en una ardua tarea, no solo por lo costoso que puede llegar a ser la materia prima, si no porque en muchas ocasiones es necesario pegar varias planchas de material para poder comenzar con el prisma adecuado, ya que hay muchos materiales que los proveedores no los ofertan en planchas de un espesor mayor a 15 mm.

### Mecanizado de alta velocidad-High Speed Milling (HSM)

Tecnología de mecanizado por control numérico de 5 ejes en alta velocidad.

Una fresadora o un centro de mecanizado, es una máquina herramienta utilizada para realizar piezas por arranque de viruta mediante el movimiento de una herramienta rotativa de varios filos de corte, denominada fresa, que arranca el material hasta tallar la pieza, como si de un escultor se tratase.

Inventadas a principios del siglo XIX, las fresadoras se han convertido en máquinas básicas en el sector del mecanizado, gracias a su versatilidad y precisión.

En la década de 1970 se incorporaron los primeros controles numéricos, que nos permiten programar la máquina de una manera más rápida y podemos hacer series cortas con mucha mayor precisión y rapidez.

Los centros de mecanizado son las máquinas herramientas más polivalentes, ya que pueden hacer una gran variedad de mecanizados (planeados, cilindrados, fresados de ranuras y cajeras, copiados 3D, taladrados, roscados,...) Dada esta versatilidad de operaciones que se pueden realizar, así como el gran número de centros de mecanizado diferentes que existen, se necesita personal cualificado que sea capaz de manejar esta gran cantidad de información tecnológica de la manera más adecuada y rentable.

Los centros de mecanizado modernos mantienen una base general, pero tienen grandes diferencias en cuanto a su configuración en función del sector industrial al que estén enfocadas. De esta manera se pueden obtener mejores resultados en aplicaciones específicas. Las herramientas modernas también han sufrido un cambio espectacular, ya que se han mejorado mucho los materiales base con los que están hechas, así como los recubrimientos y las geometrías de los filos. Todas estas mejoras redundan en unos mejores datos de corte que reducen los plazos de finalización de las piezas.

La capacidad de fabricar piezas mecanizadas en el menor tiempo posible es un asunto de constante importancia, por lo que estas tecnologías siguen avanzando e incorporando mejoras año tras año.

El mecanizado es un proceso productivo por arranque de viruta donde se elimina el material mediante la aplicación de esfuerzos de corte y cizalla de una herramienta sobre el material en bruto para obtener piezas de muy alta precisión y geometrías complejas.

Esta tecnología además del movimiento relativo entre pieza y herramienta en tres ejes (mecanizado convencional con fresadora) puede controlar otros dos ejes de giro más.

Con estos dos ejes más, se aumenta la posibilidad de realizar piezas de mayor complejidad, teniendo estas un mayor valor añadido, frete a las fabricadas en una fresadora tradicional.

La tecnología de alta velocidad consiste en aprovechar todos los avances existentes en el campo del mecanizado para de esta manera obtener la mejor rentabilidad de la máquina y el proceso, buscando mejorar los plazos de entrega, la calidad de la pieza así como la precisión de la misma.

Para realizar el mecanizado de una pieza se debe partir de un fichero CAD de la pieza a realizar. A partir de ese CAD un software informático (CAM) ayuda a programar las trayectorias de la máquina de mecanizado, tanto para los primeros desbastes como para los acabados finales.



*Ilustración 27: Máquina mecanizado en alta velocidad  
en las instalaciones de la Fundación PRODINTEC*

#### Ventajas:

- Gran abanico de materiales.
- Desde aceros de dureza HRC 65, aceros inoxidables, materiales cerámicos (en verde, pre-sinterizadas y sinterizadas), vidrio, materiales plásticos, maderas, resinas, cobre (fabricación de electrodos), grafito,...

- Geometrías complejas, mecanizado en 5 ejes.
- Proceso repetitivo mediante programación CNC.
- Tolerancias de fabricación de  $\pm 10 \mu\text{m}$  e incluso inferiores.
- Control de la precisión antes, durante y después del mecanizado mediante sistema de medición por palpado y control de herramientas por láser sin contacto.
- Volumen de trabajo máximo 800 x 600 x 450 mm (XxYxZ).
- Peso máximo de pieza 1000 Kg.
- Precisión de posicionamiento:  $7 \mu\text{m}$  según VDI/DGQ 3441.
- Tolerancia de fabricación  $\pm 10 \mu\text{m}$ .
- Acabado superficial de pieza Ra inferior a  $0,1 \mu\text{m}$ .
- Refrigeración del mecanizado por taladrina, niebla de aceite y refrigeración por el interior de la herramienta.
- Control numérico Heidenhain iTNC 530 con reglas absolutas.
- Sistemas de referencia punto cero EROWA.

Sin duda uno de los hándicaps que presenta esta tecnología, es el elevado coste de la adquisición de la misma, que junto con las necesidades de personal técnico cualificado para su manejo, personal técnico cualificado para la realización de las trayectorias y la adquisición del software para la realización de dicha tarea, no son muchas las empresas que tengan la capacidad económica para poner tantos componentes en funcionamiento. La adquisición de la pericia por parte de los técnicos, tanto como para el uso de la máquina, como para la realización correcta de las trayectorias CAM solo es posible desarrollarla con la experiencia, lo cual es otro factor que hace que la implantación a nivel masivo, de esta tecnología esté aun algo lejano.

Otra cuestión importante que hay que tener en cuenta a la hora de seleccionar esta tecnología como proceso de fabricación, es la necesidad constante de poder agarrar el material a la plataforma base de la máquina, lo que dificulta en muchas ocasiones el no poder fabricar una determinada geometría.



*Ilustración 28: Prototipo de titanio mecanizado en 5 ejes. Cortesía de la Fundación PRODINTEC.*

Podemos destacar sectores como la aeronáutica, la matricera y la automoción como los sectores más adeptos a esta tecnología, también se realizan, equipos de laboratorios, instrumental quirúrgico, implantes dentales... ya que gracias a las ventajas de esta tecnología podemos fabricar un producto muy personalizado o pequeñas series sin un elevado coste. Los sectores con mayor nivel tecnológico y que buscan un mayor valor añadido encontrarán en esta tecnología un gran apoyo para dar respuesta a sus tecnologías.



*Ilustración 29: Proceso de desbaste inicial. Cortesía de la Fundación PRODINTEC.*

Esta tecnología ha llegado a un nivel de desarrollo bastante elevado y con un campo de actuación muy amplio, por lo que podemos augurar que pronto sustituirá a los centros de fresado convencionales, ya que permiten una mayor complejidad de piezas a un menor coste.

### **Mecanizado con robot**

El mecanizado con robot es una evolución del mecanizado CNC convencional (mecanizado por control numérico computerizado) en el que se emplea un cabezal de fresado estándar pero variando completamente la arquitectura de la máquina. En concreto se pasa de una estructura tipo pórtico o puente con entre 3 y 5 ejes independientes (3 lineales y hasta 2 rotatorios) a una configuración con 6 ejes rotatorios concatenados.

Aunque este cambio hace que el proceso presente unas características muy diferentes del mecanizado convencional nos permite mantener un flujo de trabajo muy similar. Así, la operatoria es básicamente la misma: partiendo del CAD de la pieza se generan las trayectorias de la herramienta empleando un software CAM y se pasan a lenguaje nativo del robot mediante un post procesador específico para aplicaciones robóticas. Una vez hecho esto sólo queda tomar la referencia del bruto de partida y comenzar a mecanizar.

Es importante tener claro que no se trata de un proceso enfocado a quitar mercado al mecanizado tradicional, puesto que no es capaz de fabricar con las tolerancias y capacidades de éste, sino que busca dar solución a otras aplicaciones que por sus bajos requerimientos resultan económicamente inviables para su producción con máquinas CNC convencionales.



*Ilustración 30: Robot Kuka mecanizando la maqueta de un automóvil en el taller de PRODINTEC.*

El origen de esta técnica puede situarse en la necesidad de fabricar piezas de gran tamaño sin requerimientos de resistencia elevados, tales como modelos para fundición, moldes para composites, arquitectura efímera, decoración, etc.

Hasta el empleo de robots, la única alternativa automatizada para esta tarea era el uso de máquinas CNC convencionales, con una precisión muy buena (del orden de las centésimas o incluso micras) que resultaba excesiva para el tipo de materiales que se suelen emplear para ese tipo de aplicaciones (maderas, resinas, etc. En general materiales blandos).

Igualmente, el coste de adquisición y operación de dichas máquinas resultaba excesivo para el valor de las piezas fabricadas, máxime teniendo en cuenta que muchas veces debían de fabricarse por secciones al no disponer de un volumen de trabajo suficiente.

Sin embargo, empleando un sistema robotizado se obtiene por un coste reducido una aplicación con un volumen de trabajo muy importante y con una gran flexibilidad. Por el contrario, la precisión se reduce, no pudiéndose garantizar tolerancias de menos de 2 mm, lo que no constituye ningún problema en vista de las aplicaciones a las que está enfocado.

Las grandes ventajas de esta técnica frente a un centro de mecanizado tradicional son tanto de carácter económico como operativo. En el primer grupo, debe de destacarse lo reducido de la inversión (del orden de los 60.000 €) en comparación con una máquina convencional. En cuanto a las ventajas operativas, se permite la fabricación de grandes piezas en una única sección reduciendo por tanto los tiempos muertos y las operaciones que no aportan valor, lo que nos permite obtener series únicas o pequeñas series, de grandes piezas a un coste muchísimo más bajo frente a por ejemplo el tradicional proceso de inyección de plástico, ya que un molde para inyección de grandes dimensiones tiene un coste muy elevado.

La más importante limitación de esta tecnología es la restricción de su uso a materiales blandos. Esto está relacionado también con las bastas tolerancias alcanzadas (en torno a los 2 mm). Esto aunque parezca una clara limitación frente al mecanizado convencional realmente no lo es, puesto que, como ya se comentó, se trata de dos procesos similares pero cuyas aplicaciones son totalmente diferentes. Debido a la limitada rigidez que aporta el robot, (debido a su gran brazo mecanizado) hace que nos sea posible alcanzar precisiones elevadas ni aplicar importantes esfuerzos de corte. Por ello el uso de esta técnica está limitado a materiales “blandos” tales como madera, resinas o porexpan. El mecanizado de metales “blandos” como el aluminio es posible pero no recomendable.



*Ilustración 31: Estatua de Venus de Nilo mecanizada  
con robot, por la Fundación PRODINTEC*

La aplicación del mecanizado con robot es empleada habitualmente en aquellos sectores que no requieren una precisión dimensional elevada por ser aplicaciones artísticas (arquitectura efímera, publicidad, atrezzo y decorados, etc.), por ser de muy difícil comprobación (moldes piezas fabricadas en composites) o que sirven para preformas que serán terminadas en procesos posteriores (p. ej. modelos para fundición).

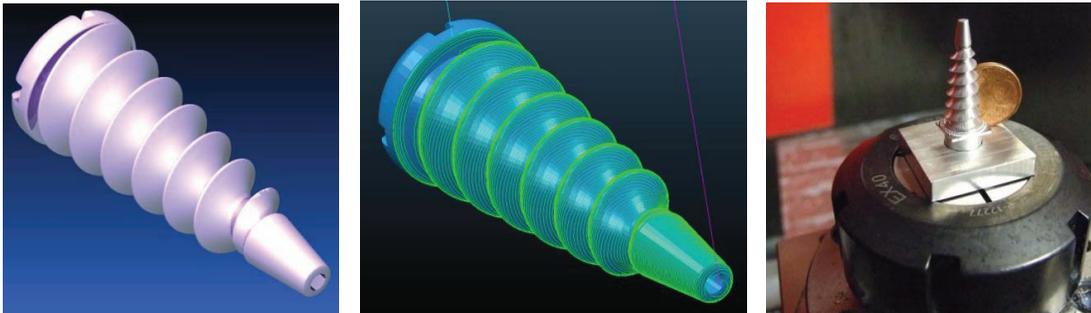
Actualmente está siendo empleado principalmente en aplicaciones artísticas, sobretodo en escultura. Partiendo de un modelo en barro a escala reducida es posible sacar un modelo 3D por ingeniería inversa y fabricarlo a un tamaño “real” para su empleo bien directamente (p. ej. “ninots” para fallas y hogueras) o como “máster” para fundiciones (p. ej. esculturas de bronce) a partir de los cuales se podrán realizar moldes de arena, para luego colar el material metálico. Como aplicación similar, también puede destacarse la fabricación de elementos de arquitectura efímera (decorados para TV/cine, publicidad, etc.). Para ello se fabrica un núcleo en porexpan con la forma deseada. Posteriormente se le aplican capas de resinas y/o lacas que aportan dureza a la superficie y permiten obtener diferentes acabados superficiales, como cromados, pintados...

Esta técnica puede en un futuro sustituir operaciones que actualmente se realizan por artesanos. En concreto se piensa en la fabricación de modelos para piezas fabricadas en composites. Un ejemplo podría ser su empleo para la fabricación de modelos para cascos de

embarcaciones de recreo que actualmente son fabricados por carpinteros de ribera en un proceso eminentemente manual, lento, laborioso y costoso.

### Micromecanizado.

Este proceso productivo por arranque de viruta elimina el material mediante la aplicación de esfuerzos de corte y cizalla de una herramienta sobre el material en bruto para obtener piezas de muy alta precisión y geometrías complejas. El mecanizado por arranque de viruta a escala macro y meso es ampliamente conocido por su versatilidad y disponibilidad. El micromecanizado es un proceso a una escala inferior que consigue altas precisiones en geometrías del entorno de la micra. Las herramientas utilizadas son relativamente pequeñas y para poder obtener tasas de arranque de material altos, es necesario elevar las revoluciones por minuto del mecanizado, es decir, el micromecanizado es también mecanizado de alta velocidad. Al igual que en la mayoría de las tecnologías ya descritas en esta guía, para realizar el micromecanizado de una pieza se debe de partir de un fichero CAD de la pieza a realizar, esta figura se introduce en un software CAM y se generan las trayectorias de desbaste, semi-desbaste y acabado para lograr la geometría requerida en la tolerancias indicada por el cliente.



*Ilustración 32: CAD de la geometría a fabricar. Pieza en un software CAM para el cálculo de las trayectorias de la herramienta. Pieza final (tornillo para implante de rodilla) mecanizado por Micromecanizado, en las instalaciones de la Fundación PRODINTEC.*

Esta tecnología permite trabajar un gran abanico de materiales, desde aceros de dureza HRC 65, aceros inoxidables, cerámicas (en verde, pre-sinterizadas y sinterizadas), vidrio, materiales plásticos, maderas, resinas, cobre (utilizado para la fabricación de electrodos, ) grafito, etc.

En la actualidad las máquinas de mecanizado están tan avanzadas como los mas punteros centros de mecanizado, pudiendo ofrecernos también la posibilidad de mecanizar en 5 ejes, lo cual nos posibilita la fabricación de complejas geometrías. El proceso de fabricación es automático mediante la programación CNC, y también incorporan un sistema que nos permite controlar la precisión durante el mecanizado (cuyas tolerancias de fabricación son de  $\pm 2 \mu\text{m}$ ) mediante un sistema de control de herramientas gracias a un laser sin contacto que incorpora esta tecnología.

Dadas las capacidades de trabajo de esta tecnología es necesario que dicha herramienta se encuentre en una sala climatizada con control de temperatura de  $\pm 0,5$  °C para poder obtener la precisión y tolerancias máximas del equipo. Pueden llegar incluso hasta 50.000 rpm. También nos permiten a través de un palpador por contacto y con la ayuda de tecnología de infrarrojos realizar verificaciones dimensionales de las piezas, como si de una Máquina tridimensional de medir por coordenadas se tratase.

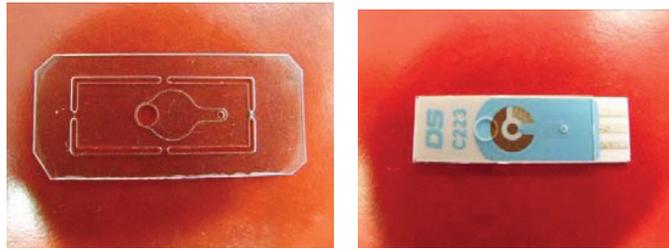


*Ilustración 33: Centro de micromecanizado, KERN modelo Evo en las instalaciones de la Fundación PRODINTEC*

Las capacidades técnicas de este equipo son:

- Volumen de trabajo máximo 250x250x200 mm (XxYxZ).
- Peso máximo de pieza 50 Kg.
- Herramientas desde diámetro 8 mm hasta 30  $\mu$ m.
- Posibilidad de mecanizar cualquier tipo de material.
- Precisión de posicionamiento: 0,5  $\mu$ m según VDI/DGQ 3441.
- Tolerancia de fabricación  $\pm 2$   $\mu$ m.
- Acabado superficial de pieza Ra inferior a 0,1  $\mu$ m.
- Refrigeración del mecanizado por taladrina y spray de aceite.
- Control numérico Heidenhain iTNC 530 con reglas incrementales.
- Base de máquina en hormigón polimérico para atenuación de vibraciones.
- Sistemas de referencia punto cero EROWA y 3R

Los sectores de la biotecnología, microfluidica y dispositivos médicos encuentran en esta tecnología una gran aliada ya que es capaz de realizar taladros de hasta  $\varnothing 200$   $\mu$ m



*Ilustración 34: Micromecanizado de láminas de Lexán para fabricación de cubiertas de capilaridad*

También sectores más tecnológicos como Mems y microarrays, y Lab-on-a-chip son grandes aliados de esta tecnología.



*Ilustración 35: Microchip de electroforesis capilar de canal simple sobre sustrato de TOPAS.*

## 7 TECNOLOGÍAS DE MOLDEO

### Colada al vacío VCS o MCP

El duplicado al vacío permite obtener réplicas fieles de piezas gracias a un molde de silicona. Las piezas se reproducen con poliuretanos *biocompuestos similares al material definitivo mediante el colado por gravedad en cámaras al vacío*.

Cabe decir sin ninguna duda que el nacimiento de esta tecnología se debe a la búsqueda de una respuesta para la realización un lote de serie corta de piezas plásticas sin tener que fabricar el costoso molde de acero que exige la inyección tradicional de plásticos. Este proceso destinado a realizar pequeñas series (de unas 200 unidades) plantea la sustitución del molde de acero, e inicia una investigación en diversos materiales para la fabricación del molde buscando la exactitud dimensional referente a la pieza origen, y la copia de las propiedades estética de la misma, pero sin necesidad de unos ajustes demasiado técnicos, y finalmente se opta por la silicona como material para el molde.

Este proceso consiste en encerrar una pieza master en un encofrado, que se rellena con silicona líquida mezclada en la adecuada proporción con un catalizador, y tras someter el molde a un proceso de vacío y a un proceso térmico de curación, de unas 24 h, la silicona endurece obteniéndose un molde blando. Una vez que la silicona ha curado es necesario abrir el molde para extraer del interior la pieza master y de esta manera obtener el negativo de la pieza deseada en el molde de silicona, a partir de este proceso, el molde se rellena con una mezcla de resinas plásticas (poliuretanos bicompuestos) en estado líquido (formados por un componente A que es un Polioliol con aditivos catalíticos y un componente B que se trata de un Isocianato modificado) aplicando vacío para extraer el aire y para evitar la aparición de burbujas en la pieza, tras un proceso térmico de curación, la resina se endurece y obtenemos la primera réplica de nuestra pieza, repitiendo el proceso tantas veces como piezas se requieran. Dado los diferentes procesos térmicos a los que se somete el molde, este se va degradando de manera que el número de unidades que se pueden obtener de este, es de aproximadamente una veintena, (en la aceleración o no, de la degradación del molde, influye el tipo de resina, el trato que se le dé al y la complejidad de la pieza).

Con el uso de la técnica de Colado bajo Vacío MCP, partiendo de cualquier tipo de modelo, se pueden producir prototipos funcionales entre dos y tres días, este sistema en la actualidad se ha convertido ahora en un estado de tecnología avanzado, con el que se logran obtener piezas, para realizar múltiples ensayos mecánicos, térmicos o con agentes químicos, pruebas funcionales y de diseño, controles de moldes, presentación del producto y fabricación de series cortas a un bajo coste comparado con los elevados costes de fabricación por inyección de plásticos.



*Ilustración 36: Máquina de colada al Vacío MCP 5/04, en  
las instalaciones de la FUNDACIÓN PRODINTEC*

Como promedio, los usuarios pueden lograr un ahorro de hasta el 97% en tiempo y costes, en comparación con los métodos de fabricación convencionales lo que convierte a esta tecnología sin ninguna duda en una de las más adecuadas de cara a la realización de pre series o series cortas, con un acabado y propiedades técnicas muy similares a la pieza final. Podemos hacer desde 1 pieza final a 200 y podemos introducir variaciones no geométricas, de color, de tipo de resina y de diferente shore en el caso de piezas gomosas (similares al caucho) sin que dichos cambios supongan un incremento en el precio, pudiendo por tanto customizar el objeto con él ánimo de adaptarlo a las necesidades del producto y otorgándole por tanto un mayor valor añadido.

Las piezas obtenidas admiten muchos de los post procesos que habitualmente encontramos en el mercado, pintados, metalizados, tampografiado... Ofreciendo por tanto, una amplia gama de opciones a nuestros clientes.

Otra de las grandes ventajas de esta tecnología es que permite la realización de piezas que simulen la bi-inyección.

Una gran diferencia con la inyección de plásticos tradicionales es que para la utilización de esta tecnología es necesario partir de una pieza master, por lo que primero es necesario en un preproceso, construir o fabricar esta pieza a partir de un modelo CAD 3D con alguna de las tecnologías existentes, como Poliyet. También puede utilizarse como master una pieza entregada por el cliente, ahorrándonos por tanto los costes de la fabricación del mismo.

Todas las piezas deben de contemplar ángulos de desmoldeo y las limitaciones técnicas, son similares a las que nos encontramos en el proceso de inyección de plástico, en el caso concreto de la de la máquina de vacío de la ilustración 32 uno de los limitantes, es el tamaño máximo del

molde de silicona que puede llegar a tener las siguientes dimensiones: 750 mm x 900 mm x 750 mm. (Alto x largo x fondo), el peso máximo de la pieza a colar es de 3 Kg y el espesor mínimo de las paredes es de  $e \geq 0.5$  mm.

También existen limitaciones geométricas, (las mismas que en el caso de la inyección tradicional) el caso más claro es el ejemplo de una botella, de la cuál no es posible sacar la silicona del interior debido de la misma, debido a la contrasalida del cuello, ya que las botellas de plástico que habitualemente consumimos, no se hacen por inyección si no por extrusión soplado.

Esta tecnología utiliza resinas de poliuretanos bicomponentes, que pueden ser rígidas, semirrígidas, o gomosas (en este caso ofreciendo una gama desde un shore 30 hasta 90) cuyas características físicas y mecánicas son similares a las del producto final, imitando las de los plásticos más utilizados en el industria como el ABS, Polipropileno, Policarbonato...

Disponemos de más de 30 tipos de resinas plásticas y una amplísima gama de colores. Esta tecnología también nos permite realizar coladas, en silicona, en cera, cargar las resinas plásticas con fibra de vidrio, con carga de aluminio, colar materiales cerámicos, Nylon-PA 6, e incluso metales de bajo punto de fusión.



*Ilustración 37: Piezas plásticas coladas al vacío en diversas resinas plásticas*

Los casos de éxito desarrollados con esta tecnología, pertenecen a sectores, y ámbitos bien diferentes, hemos fabricado series de una sola pieza para realizar los adecuados ensayos de esfuerzos de tensiones a los que ha de someterse la pieza final, pudiendo validar tanto visual como técnicamente el diseño de la pieza antes de realizar la costosa inversión en el molde de acero, en otras ocasiones el cliente tiene un mercado pequeño y realizan la pieza final en esta

tecnología ya que no existe otro proceso para obtener piezas plásticas a un bajo coste cuando el número de unidades a producir no supera las 2.500 y en otras ocasiones las piezas que reproducimos tienen la función de ir a ferias y a reuniones con inversiones para tantear el mercado y conocer cuáles son las expectativas de venta del producto y a partir de ahí realizar un plan de viabilidad económico para la comercialización del mismo.

Esta tecnología ofrece grandes oportunidades de éxito para cualquiera de sus cliente ya que por un bajo coste puede obtener una pequeña serie prototipo con las mismas características técnicas, químicas (resinas retardadores de calor, con baja o alta conductibilidad eléctrica...) y estéticas que el producto final.

Como ya hemos comentado no existe aún en el mercado una tecnología económicamente válida, para series medias, ya que el proceso manual de esta tecnología es adecuada para un número digamos no superior a un par de centenas y la fabricación de un molde de inyección suelen comenzar a ser rentable a partir de 2.500 unidades por lo que hay un vacío en cuanto a series medias, si se lograra reducir los tiempos de ciclo, y aumentar la vida útil del molde de silicona, esta tecnología ganaría muchos adeptos.

### **Moldeo rápido para inyección.**

Una alternativa a la inyección tradicional de moldes de piezas plásticas que más se utiliza en la actualidad para series medias, es el moldeo rápido para inyección, que se diferencia por usar moldes de aluminio (que se degradan antes que los tradicionales moldes de acero), por lo que el número de tiradas que se pueden obtener, lógicamente es menor.

En el proceso de fabricación de molde rápido de aluminio, se emplean las tecnologías más avanzadas, como el mecanizado de alta velocidad y micromecanizado, el molde se realiza en Aluminio, lo cual permite acelerar el proceso de mecanizado, (debido a que es un material más blando que el acero y permite velocidades de corte más altas), optimizando el tiempo de producción del molde. Además con estos procesos obtenemos un acabado superficial del mismo de mayor calidad, reduciendo a su vez los procesos de pulido y ajuste.

Una importante innovación en este ámbito es la investigación de realizar la fabricación de los moldes, o una parte de estos, a través de Sinterizado laser metálico en acero (tecnología de AM) con las ventajas que esto aporta, flexibilizando aún más el proceso de fabricación de estos moldes, como puede ser la realización de canales de refrigeración conformales adaptados a la geometría de la pieza a inyectar y canales de vacío para la correcta evacuación del aire atrapado en el interior del molde sin que esto suponga un mayor coste y reduciendo el tiempo de fabricación del mismo.

El proceso de fabricación de los moldes comienza con el estudio de la geometría correspondiente a la pieza y se aplica si no estuviesen definidos, aquellos parámetros que permitirán su inyección: ángulos de des-moldeo, negativos, punto de inyección, posición de los expulsores, etc. (Es impórtate recalcar que este proceso es igual de tedioso que en la fabricación de moldes de acero)

Se realiza el diseño del molde adaptado a la pieza a inyectar, teniendo en cuenta los parámetros de la tecnología en la que posteriormente realizaremos la fabricación del mismo. Ya que al ser tecnologías tan diversas y novedosas es necesario tener un amplio conocimiento de las mismas para poder realizar dicha tarea con profesionalidad.

Se fabrican en aluminio –en el caso de fabricar los moldes por mecanizado de alta velocidad– las diferentes partes (huella, contrahuella, placa en T, placa distanciadora, placa de espulsores, placa de cierre...) que conforman el molde, (no siendo necesarios post procesos como el pulido) y se procede al montaje y ajuste de todo el conjunto.

A continuación se monta dicho conjunto en el equipo de inyección y se procede a realizar las primeras inyecciones en el material plástico deseado, que serán las que nos permitan realizar todos los ajustes del proceso de inyección.

Finalmente se lanza el proceso de fabricación en continuo obteniendo el número de unidades requerido.

A la par del descubrimiento y la síntesis de los materiales plásticos a finales del siglo XIX, la creatividad del hombre ha ideado formas para moldearlos con el objeto de satisfacer sus necesidades. El crecimiento en el sector de la fabricación de piezas de plástico y por tanto de máquinas para su transformación ha sido sorprendente, sobre todo durante los años sesenta.

La gran demanda actual por obtener objetos plásticos cuya forma o función nos ayuden a satisfacer algunas de nuestras necesidades, hacen que sean muchos los estudios e investigaciones dedicados a mejorar los procesos ya existen o introducir innovaciones en este sector.

La necesidad de reducción del número de lote en el caso de la inyección de plásticos viene dada por factores de mercado, ya que en la actualidad las grandes tiradas de miles de productos para poder obtener la rentabilización del costoso molde de acero, no está al alcance de muchas de las empresa de nuestro entorno, también es importante destacar que dada la masificación de productos similares, que podemos encontrar en el mercado y que la sociedad cambia a un ritmo vertiginoso, el tiempo de vida útil de un producto se ha reducido drásticamente ya que vivimos en una sociedad de consumo y que aunque un objeto cumpla a la perfección la función para la que fue diseñado, el usuario pronto se cansa de él y desea sustituirlo por uno más novedoso.

Gracias a los importantes avances técnicos en el mecanizado y la incorporación de la automatización de los procesos de este sistema, podemos reducir de manera considerable los gastos de producción del molde en aluminio, lo que da cabida a la tecnología de moldeo rápido por inyección.

Este proceso de transformación de los plásticos tiene todas las ventajas de la inyección de plásticos tradicionales pero hay que añadirle dos grandes ventajas:

- La obtención del molde en aluminio supone un menor coste y un menor plazo, convirtiéndose en un sistema más competitivo para la reproducción de series cortas o medias.

- Otra ventaja a destacar es que gracias a su menor coste podemos aumentar la personalización del producto a un coste competitivo.

Pero también existen inconvenientes, ya que esta tecnología es factible, siempre que la complejidad geométrica de la pieza a reproducir no sea demasiado elevada, ya que si el molde requiere de costosos sistemas como correderas, desplazables, roscadoras, insertos... termina por elevar el coste de la fabricación de una manera muy significativa, haciendo que se asemeje a los costes de fabricación del molde en acero.

También cabe desatacar la mayor degradación del molde al realizarse este en aluminio, un material más blando que el acero soportando por tanto un número menor de unidades a reproducir, lo cual hace que sea un sistema más adecuado para la fabricación de series cortas.

En cuanto a materiales, nos permite reproducir piezas plásticas con los mismos materiales que los utilizados en tecnologías convencionales. Permite trabajar con materiales rígidos o elastómeros, en diferentes colores ó con acabado totalmente transparente si ello fuese necesario, por lo que las posibilidades de adaptación al proyecto de nuestro cliente son muy altas.

Los sectores más interesados por esta tecnología, podríamos decir que son los mismos que inyectan piezas plásticas en sistemas tradicionales ya que a nivel de practicidad la única diferencia es el número de tiradas del lote.

Dados los menores costes de fabricación del molde a través de estos sistemas, esta tecnología ofrece a la Pymes una importante oportunidad de acometer el desarrollo de un producto sin que la inversión a realizar sea muy elevada o suponga un riesgo inalcanzable para ellas. También puede ser una oportunidad para empresas (ya sean grandes o pequeñas) cuyo producto tenga un corto ciclo de vida y necesiten de cambios constantes para adaptarse a las necesidades cambiantes de la sociedad.

A pesar de que es un proceso más económico que la producción de un molde de acero, sigue siendo necesaria la fabricaciones de miles de piezas para comenzar a rentabilizar el coste de este molde, para cambiar esta premisa se debería de innovar o en los procesos productivos del molde –aún mas- o en la búsqueda de un nuevo material más económico para tratar de abaratar el coste del molde y de esta manera poder realizar sin que ello suponga un incremento en el coste de pieza muy significativo, series de cintos de piezas en lugar de miles por inyección.

### **Reaction Injection Molding RIM**

Modelo por inyección a Reacción. Esta sofisticada tecnología nos permite pasar de la fabricación de costosos moldes de acero para inyección de plásticos a la producción de piezas plásticas a partir de moldes maestros más económicos, fáciles y rápidos de producir.

Nace en la década de 1960 de la mano de Bayer AG, dada su experiencia y su conocimiento sobre el poliuretano, inicialmente solo fabricaban piezas pequeñas de simples diseños pero en la actualidad esta tecnología de poliuretano de alta densidad moldeado por inyección de

reacción estructural, nos permite realizar piezas de una manera rápida, extremadamente realistas, hasta 3 m. de longitud. Este es un método especialmente rentable para la producción de componentes de bajo volumen de producción, que por lo general no superan las 5.000 unidades.

Esta tecnología funciona con plásticos termoestables, con poliuretanos bicomponentes al igual que la técnica de colado al vacío. Los componentes se denominan “componente A” (que es un Polioliol) y un “componente B” (que se trata de un Isocianato,) que se encuentran en estado líquido de manera independiente en dos cubetas controladas térmicamente, que por la acción de un pistón, se inyectan ambos en el circuito de manera continua hasta que llegan a una cámara próxima a la entrada del molde, en donde se produce la mezcla de ambos componentes y a continuación se deposita en el interior del molde por presión atmosférica en donde se produce una reacción química exotérmica, que gracias a las líneas de enfriamiento en el molde, se disipa el calor evitando que este se quemara.

En general, el componente "B" contiene aditivos tales como estabilizantes, modificadores de flujo, catalizadores, modificadores de la combustión, pigmentos y muchos otros agentes que modifican las características físicas del producto final.

Ambos componentes entran en una cámara de mezclado a presiones entre 1.500 y 3.000 PIS (pounds per square inch -libra por pulgada cuadrada-) y se mezclan intensamente debido a la gran velocidad a la que circulan, después la mezcla pasa al molde en donde se forma el polímero.

Dentro de los grupos de los poliuretanos se pueden dividir en 3 tipos de materiales.

- Espuma de poliuretano. Flexible y rígida. Forma un sándwich de manera que presenta una piel dura y rugosa y un núcleo de menor densidad celular.
- Poliuretano sólido. Para aplicaciones que requieran una resistencia superior al impacto, pueden formar un plástico rígido o flexible, pero homogéneo, pudiendo reproducir con exactitud paredes de diferente grosor y paredes muy delgadas.
- Poliuretanos compuestos. Pueden ser de espuma o sólidos, rígidos o flexibles, pero son plásticos reforzados o bien con fibra de vidrio o otros minarles para una mayor resistencia al impacto y mayor rigidez (RRIM) o mediante el uso de preformas encapsuladas en el molde (RIM estructural-SRIM)

Ofreciendo por tanto una amplia gama de materiales, ABS PE, Nylon, etc. Junto con una gran variedad de acabados y colores.

Las grandes ventajas de esta tecnología son la posibilidad de fabricar piezas plásticas finales en un corto plazo y a un bajo coste frente al tradicional proceso de inyección de plástico. El material más habitual para la realización del molde es el aluminio mecanizado a través de una máquina de CNC, pero según el número de unidades a producir y de las propiedades que deban de cumplir las piezas, pueden usarse materiales como resinas, maderas, piezas fabricadas directamente por tecnologías de AM, etc, como moldes para la tecnología RIM.

Al inyectar materiales termoestables, estos tienen contracciones menores que los termoplásticos y una mejor resistencia térmica y química, pudiendo ofrecer tolerancias en piezas de grandes dimensiones de +/-2%.

En cambio la desventaja que ofrece este sistema es, que una vez que la pieza está solidificada en el molde, el proceso habitual es parar la máquina (es decir para el flujo de material desde las cubetas) abrir el molde, desmoldear la pieza y empezar el proceso de nuevo. Esta parte del proceso se hace de manera manual por lo que ralentiza el proceso si lo comparamos con una inyectora de plásticos tradicional en donde todas estas operaciones están automatizadas. (Ya que esta tecnología no está pensada para una producción en serie muy alta no es rentable la automatización de estos procesos)

Otra de las desventajas importantes para poner en funcionamiento esta tecnología es que ofrece tantas posibilidades en cuanto al material inyectado, al material del molde, el control de la temperatura y del tiempo de mezcla de los componentes, -ya que en general la mezcla de los dos componentes del poliuretano tiene un Pot life muy corto-, que es necesario tener un gran conocimiento sobre la misma, al igual que es necesario tener otras tecnologías de apoyo (como grandes centros de mecanizado para fabricar el molde) para poder obtener una rentabilidad del sistema.

En la actualidad son muy pocas las empresas que disponen de esta tecnología al servicio de las empresas privadas ya que hasta el momento son las grandes empresa (o sus subcontratas) las que disponen de ellas, para un uso propio como en el mundo de la automoción, o la aeronáutica; marcas de automóviles de consumo masivo utilizan esta tecnología a nivel de prototipo para piezas de grandes dimensiones como por ejemplo el salpicadero o la defensa de un coche, en cambio firmas de coches más exclusivas, en el que les es difícil rentabilizar un molde de inyección por su baja tirada, fabrican con esta tecnología muchas de estas piezas a modo definitivo.

Podemos resumir que esta tecnología es una de las más adecuadas para la realización de grandes piezas plásticas en pequeñas y medianas series.

### **Microfusión**

Es un método escultórico de tradición muy antigua utilizado para la obtención de replicas de piezas en metal (generalmente bronce), que se elabora, tradicionalmente a partir de un modelado de cera.

Se hacen una o el número de piezas master necesario en cera, a mano o a través de una máquina de fabricación por capas específica para dicho material. Esta máquina tiene una cubeta de cera líquida y a través de la acción de un laser se va endureciendo la cera capa a capa hasta obtener el total de la geometría. (Según el modelo CAD indicado).

Una vez que tenemos las piezas de cera es necesario montarlas en racimos, hasta obtener el árbol de fusión a continuación, se coloca el árbol sobre una base cilíndrica de goma, y se cubre

con un cilindro de metal llamado cubilete. Ya tenemos listo el master con el encofrado para llenarlo con el investimento (yeso refractario mezclado con agua).

Se introduce el conjunto en un horno para someterlo a un proceso térmico de “cocido” a altas temperaturas. Con esta acción se consigue que la cera se derrita y se caiga a la base de goma, dejando la cavidad hueca en el investimento ya solidificado.

A continuación el conjunto aún caliente, se introduce en la máquina de vacío de metal. Es necesario darle la vuelta para que la entrada del material quede hacia arriba. En una cavidad superior de esta máquina se echan los gramos de metal necesarios para llenar todo el interior del molde, el material se calienta hasta su punto de fusión y este crisol se introduce en el molde cerámico por gravedad, llenando toda la cavidad. A continuación se accionan las bombas que extraen el aire de la cámara haciendo un proceso de vacío que consigue succionar el metal hacia el interior del molde y evita la aparición de burbujas.

Se deja enfriar el molde y a continuación se elimina el investimento con una máquina de agua a presión, descubriendo el árbol fundido en metal. Ahora comienza un laborioso proceso de acabado de las piezas, que incluye la separación de las mismas del árbol, (en donde ese material puede volver a reutilizarse) y el acabado de pulido, granallado, etc. que sea más adecuado para las piezas. Para volver a obtener más piezas de la misma geometría es necesaria la repetición de todo el proceso completo.

Pero aunque en principio parezca una tecnología tediosa y cara por todos los procedimientos y todas las intervenciones de mano de obra necesarias, en muchas ocasiones es la tecnología más adecuada para la obtención de piezas metálicas, especialmente cuando se trata de una única pieza de gran tamaño (como por ejemplo el prototipo de un motor de un automóvil, que realizarla por métodos tradicionales como el mecanizado saldría más costoso por el elevado coste del cubo de materia prima del que hay que partir para empezar a devastar material y de las horas de programación de trayectorias que para una única pieza no se amortizan o en el caso de múltiples piezas pequeñas cuya geometría sea muy compleja para fabricarlas por tecnologías tradicionales, como ocurre en el sector de la joyería.

Los materiales más habituales para este proceso son metales de bajo punto de fusión (por debajo de los 1200 o 1400 °C) como pueden ser el aluminio, el zamack, el bronce, el latón, etc. Además de aplicaciones industriales, este proceso es muy habitual en sectores como el de la joyería, o para objetos decorativos, metálicos, como trofeos, figuras en bronce, etc.

## 8 TECNOLOGÍAS DE CONFORMADO

### Deformación incremental de chapa-Dieless Forming

Es un proceso automatizado basado en conformar el metal aplicando deformaciones localizadas mediante una herramienta esférica de giro libre.

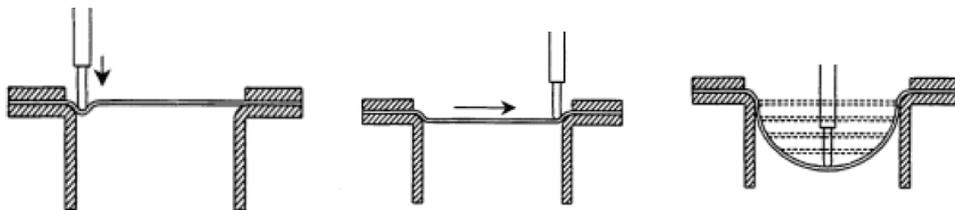
Resulta una alternativa muy atractiva como sustitución de los procesos de embutición y estampación cuando el volumen de fabricación es reducido.

El principio básico de funcionamiento consiste en mantener la plancha metálica fija sobre un marco de sujeción mientras una herramienta esférica presiona sobre ella al mismo tiempo que se desplaza generando una deformación en la chapa.

Sin embargo, para la mayoría de piezas es necesario disponer de una matriz fabricada en un material plástico contra la que se deforma el material. Además, para facilitar la fabricación, se incorpora el movimiento vertical del marco de sujeción. Con ello se logran dos objetivos muy importantes:

- La fabricación de geometrías complejas.
- Mejora de las tolerancias obtenidas.

Esta tecnología permite un flujo de trabajo continuo, partiendo del CAD 3D se obtiene la pieza física. Y es a su vez, un proceso iterativo, como en la estampación, el afine de las tolerancias, requiere de las correcciones en la matricería.



*Ilustración 38: Esquema del proceso de trabajo deformación incremental de chapa*



*Ilustración 39: Brazo robotizado accionando presión sobre la plancha metálica en las instalaciones de la Fundación PRODINTEC.*

#### Ventajas:

- Permite el prototipado rápido de piezas de chapa.
- Se pueden validar diseños y productos previamente al lanzamiento de los procesos definitivos (embutición, estampación, etc.).
- Fabricación económica de series cortas de piezas de chapa al reducirse el coste en utillajes.
- Reducción de los costes de diseño y desarrollo al no necesitar modificaciones de utillaje (los cambios se realizan directamente sobre el CAD 3D).
- Reducción del “time-to-market”.
- Limitaciones:
  - No permite la fabricación de piezas con ciertas geometrías: paredes verticales, curvaturas enfrentadas, etc.
  - Los espesores no son constantes, dependiendo de la inclinación de la superficie.

- No recomendable para aleaciones muy elásticas.
- Capacidades:
- Posibilidad de fabricación con y sin matriz.
- Fabricación de prototipos o pequeñas series.
- Dimensiones de pieza hasta 1000 x 1000 x 300 mm y espesores hasta 3 mm.
- Desarrollo integral del proceso: desde el fichero CAD a la pieza física.

En principio, esta técnica es apta para cualquier material empleado en los procesos habituales de conformado de chapa siendo recomendables aquellos que poseen un bajo límite elástico tales como aleaciones de aluminio o aceros para estampación.

Esta técnica está indicada para la sustitución de la estampación en la fabricación de series cortas (hasta 100 unidades) y piezas únicas debido a la reducida inversión requerida en utillajes.

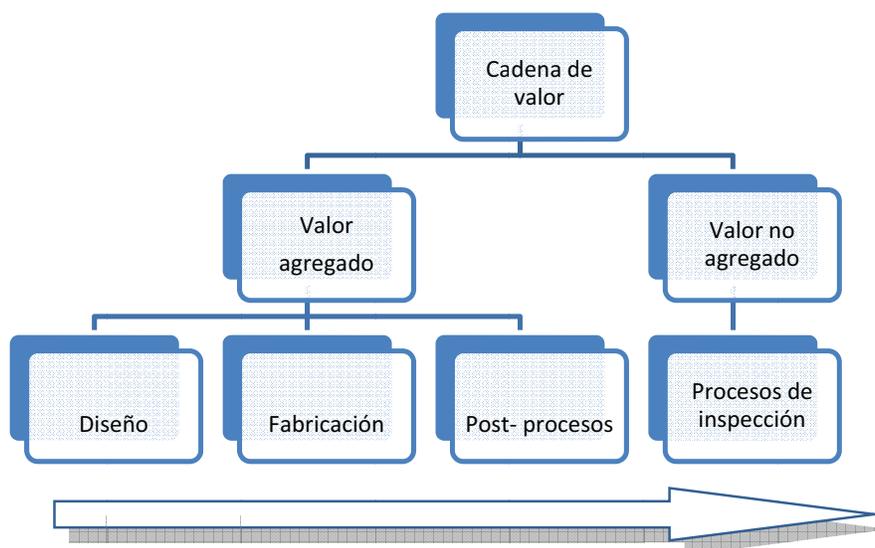
Además, permite la validación de un diseño previamente a su industrialización.

Al tratarse de un proceso de fabricación no enfocado a ningún sector en particular, puede encontrar aplicación en todas las ramas de la industria donde se empleó actualmente la estampación. Así, hasta el momento se han identificados aplicaciones en sectores que van desde la aeronáutica y la automoción hasta la fabricación de electrodomésticos y de equipos de iluminación.

Debido al enfoque con el que nació esta técnica, en el futuro más inmediato se espera que sea la opción preferencial para la fabricación de piezas de chapa fina en lotes de pocas unidades (hasta 100 unidades), bien en sustitución de labores manuales (p. ej. carrocerías prototipo de automóviles) o reduciendo los costes respecto a otros procesos (p. ej. embutición y estampación).

## 9 CADENA DE VALOR EN LA FABRICACIÓN DE SERIES CORTAS.

Al igual que cualquier producto del cual se fabriquen millones de unidades, los productos fabricados en pequeñas series también tienen su propia cadena de valor, y es importante que realicemos bien todos los procesos de valor agregado, es decir todas aquellas operaciones que intervienen en la transformación del producto como son el diseño, la fabricación y los post-procesos. También según el tipo de producto que estemos fabricando, existen operaciones de valor no agregados, como la inspección de la calidad del producto fabricado que es imprescindible según en qué sectores.



*Ilustración 40: Proceso de tareas de la cadena de valor en la fabricación de series cortas.*

A continuación hablaremos de los elementos claves en la cadena de valor que aún no hemos tratado en esta guía que se centra principalmente en los procesos de fabricación.

### **Proceso de diseño**

El ciclo de vida de los productos industriales se ha ido acortando por las propias dinámicas del mercado, lo cual maximiza la necesidad de una buena gestión de todas las fases del proceso completo de diseño que se define en seis pasos.



Ilustración 41: Fases en el proceso de diseño, según la metodología Predica.

Son muchos los factores que intervienen en el éxito de un producto, y muchas las herramientas de apoyo necesarias para poder concluir la fabricación del mismo. Empezando por la correcta concepción técnica de este, en la fase de ingeniería de producto, en donde nos ayudaremos de Softwares y herramientas 3D, y del amplio Know How de los técnicos en donde podrán aplicar herramientas como el DFMA, o conocimientos de Lean Manufacturing, para una mejor producción.

### **Post procesado.**

Otra de las fases importantes en la cadena de valor de un producto manufacturado es sin duda la fase de post procesado, ya que muchas de las tecnologías descritas en esta guía necesitan de procesos posteriores a la fabricación de las piezas para obtener el resultado requerido. Aunque muchos de estos procesos han sido nombrados de manera individual en los apartados donde se describían las tecnologías para la fabricación de series cortas, en este capítulo hablaremos más detenidamente de muchos de estos post procesos.

### **Chorroado. Limpieza con abrasivos.**

La limpieza abrasiva utiliza pequeñas partículas propulsadas por una corriente de aire o un chorro de agua para incidir en la superficie, eliminando contaminantes a través de la fuerza de su impacto. Existe una amplia variedad de medios abrasivos de diferentes tamaños para cubrir necesidades específicas. La limpieza abrasiva suele ser elegida para eliminar calaminas resistentes y pinturas, especialmente en superficies amplias pero de difícil acceso con otros métodos

La limpieza abrasiva es también con frecuencia el único método de limpieza posible para aceros sensibles al debilitamiento por hidrógeno. Este método de limpieza se utiliza asimismo en la preparación de metales como el acero inoxidable y el titanio, para que la pintura produzca una

adherencia mecánica en sustitución de recubrimientos de conversión que no puedan ser aplicados fácilmente sobre esos metales.

Tanto el chorreo por presión como los sistemas de succión con boquilla requieren una potencia importante para generar el aire comprimido o vapor a presión que se utiliza para acelerar y propulsar el abrasivo. La mayoría de los sistemas disponen de toberas intercambiables ya que estas pueden tener diferentes formas y tamaños y estar construidas por aleaciones o boquillas con partes cerámicas resistentes al desgaste. Generalmente las cabinas de chorreo por succión pueden ser utilizadas de manera manual o disponer de toberas fijas u oscilantes.

En el caso de las tecnologías descritas en esta guía, este proceso es habitual realizarlo tras la fabricación por AM para eliminar restos de polvo no sinterizado en especial en el caso del sinterizado laser plástico que se chorrea con bolitas de vidrio o sinterizado laser metálico, en ocasiones las piezas se someten a diferentes procesos de chorreo, desde un chorreo de viruta metálica en una primera instancia a un chorreado cerámico para un mejor acabado superficial. Cuando aplicamos en una pieza metálica un chorreado de metal, se produce un efecto de forja (deformación en frío en metal) que consigue mejorar la dureza de la pieza, pero en general la función más habitual de este pos proceso es la mejora del acabado superficial.

### **Mecanizado.**

En capítulos anteriores ya hemos hablado de cómo la tecnología de mecanizado 5 ejes de alta velocidad podría ayudarnos a la elaboración de piezas de baja tirada económicamente viables, pero en esta ocasión hablaremos de como esta tecnología es usada para post procesos de acabado de piezas fabricadas por otras tecnologías.

Muchas piezas metálicas fabricadas por tecnologías de AM, por deformación incremental de chapa, por embutición o por otros métodos tradicionales de fabricación acuden posteriormente a un centro de mecanizado para un mejor acabado, realizando un planeado en alguna de sus caras, o incluso para rectificar dimensionalmente las piezas para un mejor ajuste dentro del conjunto o hacer que las piezas entren en la tolerancia requerida por el cliente. Anqué la rectificación de piezas a través de esta tecnología es más habitual en piezas metálicas, también podemos trabajar con piezas de composición plástica.

Cuando se prevé el ajuste dimensional de las piezas a través de esta tecnología es necesario diseñarla con un sobrespesor.

### **Lijado y pulido.**

En la mayoría de las tecnologías de fabricación es habitual la aparición de marcas de construcción, en el caso de las tecnologías de AM la huella de las capas es visible, en las piezas inyectadas en plástico, aparecen rebabas, marcas de la línea de partición y de la entrada del material, etc. en muchos de estos casos es habitual proceder a un post proceso de corte, lijado y pulido para tratar de disimular dichas marcas.

Si lo que deseamos es una pieza con un excelente acabado superficial, será necesario la realización de un proceso de lijado arduo (lo cual puede encarecer el coste de la pieza), ya se ha de comenzar por un alto grado de lija e ir bajando gradualmente hasta llegar a la lija de agua. En el caso de las piezas fabricadas en material Vero Clear de Objet, solo se consigue llegar a una apariencia similar al cristal a través de la aplicación de 11 grados de lija diferente, empezando por una lija de grano 200 hasta llegar a una de grano 4000.

El proceso de pulido es un proceso de lijado ultra fino, en varios pasos que combina el uso de abrasivos convencionales de grano muy fino (para el lijado y eliminación de los defectos) con el uso de abrasivos en pasta. De igual manera que en el proceso de lijado en seco la repetición de pasos con granos progresivamente menores permiten disminuir el tamaño del arañazo, en el proceso de pulido se elimina el defecto y se elimina cualquier posible arañazo en la superficie por el empleo de abrasivos progresivamente más finos.

Los pasos a seguir, como regla general en el proceso de pulido son los siguientes:

- Desbastado
- Pulido
- Abrillantado

Desbastado. Eliminación de los mayores defectos de la superficie, para lo cual se pueden utilizar diferentes tipos de abrasivos, el proceso puede ser a mano o a máquina, en seco o en húmedo, todo dependerá del material, y la superficie que ha de ser tratada.

Si el defecto es pequeño se puede realizar de forma manual usando lijas muy pequeñas. Si el defecto es algo mayor se pueden usar lijas al agua. Si se opta por el lijado en seco a máquina, se habitual el uso de una máquina rotoorbital con abrasivos P1200 ó P1500 en función de la gravedad del defecto.

Pulido. Se emplea un abrasivo grueso soportado en forma de gel combinado con una boina de espuma dura, o con una boina de lana. Se aplica con una máquina pulidora no siendo recomendable una potencia superior a 1700 rpm.

Abrillantado. Se suele utilizar un abrasivo más fino que en el caso anterior combinado con una boina específica de abrillantado (Esta bobina debe de estar perfectamente limpia para evitar contaminar la pieza con otros abrasivos). Se aplica con una pulidora en la mayor parte de los casos, aunque si se quieren evitar problemas de hologramas o de velados se puede aplicar con máquina rotoexcéntrica.

Con estos post procesos se mejora de manera destacable el acabado superficial de las piezas fabricadas, pudiendo entonces presentar piezas fabricadas a través de tecnologías pensadas para la fabricación de series cortas o pre series con un acabado estético igual a la pieza final.

### **Pintado.**

El post proceso de pintado es uno de los procesos más visibles y que mas cambia el aspecto de la pieza, entre los sectores industriales que mas acuden a este proceso para la terminación de piezas podemos destacar al mundo de la automoción y la aeronáutica. Pero antes de proceder a pintar es muy habitual que apliquemos alguno de los tratamientos de fondo de las superficies.

Tratamientos de fondos de superficie de base disolvente.

- Imprimación. Es un recubrimiento pigmentado y cubriente, que puede servir para evitar la absorción de la capa de acabado o para evitar o disimular la formación de óxido.
- Selladora. Se utiliza para cerrar el poro y disminuir el grado de absorción del soporte.
- Tapaporos. Son selladores normalmente transparentes que sirven para cerrar el poro de la madera, suelen ser de naturaleza nitrocelulosica.
- Aparejo. Producto pigmentado que se usa para obtener una superficie uniformemente lisa. Se utiliza sobre capas de imprimación y debe de tener la facilidad de lijado.
- Masilla. Se presenta en forma de pasta, para rellenar huecos, defectos etc... debe de lijarse tras su secado.
- Wash Primer. Es una imprimación formulada a base de Butiral Polivinilo que crea adherencia.

Tratamientos de fondos de superficie de base acuosa.

- Latex. Se aplica como capa de fondo antes de aplicar pinturas plásticas.
- Fijadores acrílicos. Proporciona una excelente adherencia de la pintura que aplicaremos a posterior.

Las pinturas básicamente están formadas por resinas, pigmentos, solventes y aditivos, según el resultado deseado estas pueden alterarse con tratamientos protectores, como hidrófugos, que facilitan el mantenimiento, de larga duración, barnices con filtro solar etc. Y un sinfín de aplicaciones que habrá que definir en cada caso concreto de manera que sea la mejor solución para nuestro producto.

### **Control de calidad / Metrología dimensional.**

Otra parte importante en la cadena de valor de un producto manufacturado es la verificación dimensional de las piezas y el ajuste de estas a las tolerancias requeridas por el cliente.

La Metrología tiene dos características muy importantes el resultado de la medición y la incertidumbre de medida. Para dar soporte a esta ciencia, el tecnólogo puede utilizar gran variedad de instrumentos, para llevar a cabo sus mediciones, desde sencillas reglas o pies de rey, hasta potentes máquinas de medición por contacto.

La metrología permite asegurar la comparabilidad internacional de las mediciones y por tanto la intercambiabilidad de los productos a escala internacional.

Esta especialidad es de gran importancia en la industria en general, pero muy especialmente en la industria manufacturera, pues las dimensiones y la geometría de los componentes de un producto son características esenciales del mismo, ya que, entre otras razones, la producción de los diversos componentes debe ser dimensionalmente homogénea, de tal manera que estos sean intercambiables aun cuando sean fabricados en distintas máquinas, en distintas plantas, en distintas empresas o, incluso, en distintos países.

En los inicios de esta ciencia, la medición se reducía a la distancia lineal, para posteriormente pasar a coordenadas bidimensionales, y finalmente a las medidas tridimensionales, ó 3D. Paralelamente, aunque no de forma simultánea al desarrollo y construcción de nuevos aparatos e instrumentos de medida, se desarrollaron los métodos de calibración y caracterización, que permitieron medir (en concepto “incertidumbre”), demostrar y garantizar la calidad de las medidas obtenidas con los nuevos medios. Este progreso técnico, acompañado del desarrollo normativo, ha tenido siempre como objetivo medir cada vez mejor (mejor incertidumbre), pero también con mayor confianza, comodidad, rapidez. Actualmente los mejores resultados a nivel industrial se alcanzan con las llamadas “*máquinas tridimensionales de medida por coordenadas*”, (en adelante MMC).

## 10 TECNOLOGÍA DE APOYO A LA FABRICACIÓN DE SERIES CORTAS

### Software. Sistemas paramétricos CAD 3D.

En la mayoría de las nuevas tecnologías descritas anteriormente para la fabricación viable de series cortas es necesario empezar con el proceso de fabricación a partir de un fichero 3D tratado adecuadamente

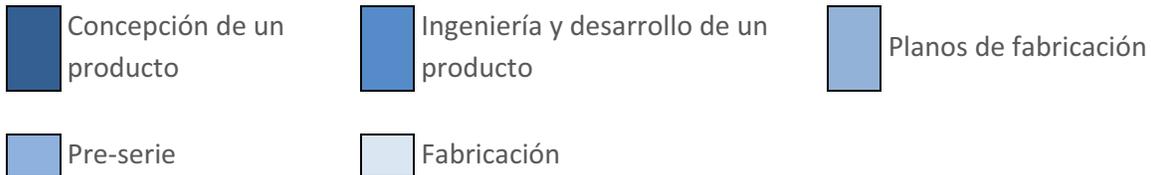
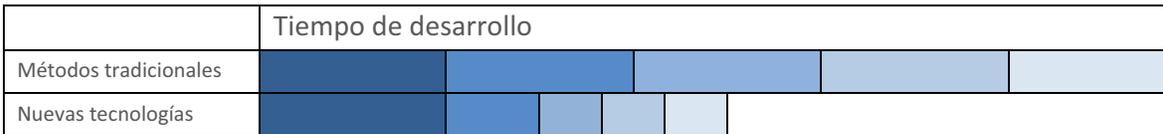
Son muchas las opciones que nos encontramos en el mercado para la generación de este, pero sin duda alguna, la realización del archivo 3D a partir de un software paramétrico es la opción más recomendable en la mayoría de los casos. Ya que un software paramétrico nos permite la modificación de alguno de los elementos de manera sencilla rápida y eficaz sin que sea necesario tener que modificar el resto de elementos.

Los anteriores modelos CAD utilizaban una geometría basada en coordenadas gráficas, la edición de estos gráficos era engorrosa y la probabilidad de cometer errores era muy elevada. La documentación se creaba mediante la extracción de coordenadas del modelo y la generación de dibujos 2D independientes. En cambio los motores de modelado paramétrico actuales, utilizan parámetros (números o características) para determinar el comportamiento de una entidad gráfica y definir las relaciones entre el resto de los componentes que forman el modelo.

Los softwares paramétricos se utilizan para producir y perfeccionar productos nuevos, mientras que en programas no paramétricos como Autocad se manejan solo las dimensiones. Un modelador paramétrico permite modelar la geometría, dimensión y material de manera que si se alteran las dimensiones, la geometría se actualiza automáticamente basándose en las nuevas dimensiones. Esto permite que el diseñador almacene sus conocimientos de cálculo dentro del modelo, a diferencia del modelado no paramétrico, que está más relacionado con un “tablero de bocetos digitales”.

Podemos decir que son softwares que nos ofrecen posibilidades similares a la hora de modelar una pieza sólida y que un análisis en profundidad de las virtudes y desventajas de cada uno podría dar para mucho y no es objetivo de esta guía

Estos softwares CAD 3D constituyen una gama completa y flexible de softwares para diseño mecánico 3D, simulación de productos, mecanizado y comunicación de diseños, permitiendo generar un modelo 3D exacto que facilita el diseño, la visualización y la simulación de los productos antes de fabricarlos, logrando una perfecta comunicación con la máquinas de fabricación aditiva, pudiendo reducir drásticamente el Time to Market desde la concepción del producto.

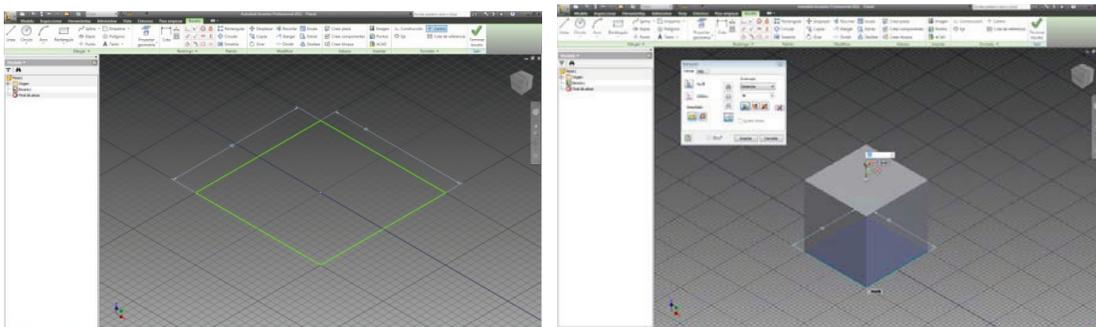


*Ilustración 42: Plannig de desarrollo de un producto empleando softwares y tecnologías de fabricación tradicionales frente a nuevos softwares paramétricos y nuevas tecnologías*

Estos softwares se basan en técnicas de modelado paramétrico. Los usuarios comienzan diseñando piezas que posteriormente pueden combinar en el entorno ensamblajes.

Se dividen en diferentes entornos de trabajo, entorno pieza, entorno ensamblaje, dibujo (2D), plegado de chapa y conjunto soldado.

El bloque principal de trabajo es el entorno piezas, en donde estas se crean definiendo geometrías 3D enlazadas entre sí a partir de bocetos. Como ejemplo podremos decir que el usuario en el entorno boceto dibujará un cuadrado en 2D y acotará sus dimensiones, en el entorno pieza, utilizará la herramienta Extrusión para definir la altura del prisma y obtener así un volumen 3D.



*Ilustración 43: Ejemplo de construcción de pieza en Autodesk Inventor. Boceto y extrusión*

Todas las acciones realizadas quedan registradas en el árbol de operaciones de manera que en cualquier momento se posible modificar cualquiera de ella, desde dimensiones, hasta geometrías, haciendo que esos cambios afecten de manera automática a todas las operaciones realizadas posteriormente.

Como parte final del proceso, las partes se conectan para hacer ensamblajes. Los ensamblajes pueden consistir en piezas u otros ensamblajes. Las piezas son ensambladas agregando restricciones entre las superficies, bordes, planos, puntos y ejes. Por ejemplo, si se coloca un

piñón sobre un eje, podría agregarse una restricción al eje y al piñón haciendo que el centro de ambos sea el mismo, permitiendo el giro entre estos dos componentes.

Nos permiten obtener de una manera sencilla e intuitiva los planos de fabricación de las diferentes piezas generadas previamente en 3D, que componen el conjunto, haciendo que el paso a la producción sea mucho más sencillo que de manera tradicional.

También nos permiten diferentes formatos de exportación como los archivos más comunes de intercambio como .IGS o .STEP o el formato más comúnmente utilizado por los equipos controladores de las máquinas de AM de manera que la transición entre el modelo virtual CAD 3D y las diferentes tecnologías para la fabricación de series cortas es prácticamente automática.

### **Software CAD /CAM**

CAD/CAM, proceso utilizado por los ordenadores o computadoras para mejorar la fabricación, desarrollo y diseño de los productos. Los sistemas de diseño asistido por ordenador CAD (Computer Aided Design) pueden utilizarse para generar modelos con muchas, de las características de un determinado producto y simular el funcionamiento de este.

Una vez que estos datos dimensionales han sido introducidos y almacenados en el sistema informático, el diseñador puede modificarlos con mayor facilidad para avanzar en el desarrollo del producto.

Cuando los sistemas CAD se conectan a equipos de fabricación también controlados por ordenador conforman un sistema integrado CAD/CAM (Computer Aided Manufacturing). La fabricación asistida por ordenador ofrece significativas ventajas con respecto a los métodos más tradicionales de control de equipos de fabricación. Por lo general, los equipos CAM conllevan la eliminación de los errores del operador y la reducción de los costes de mano de obra, la precisión constante y el uso óptimo previsto del equipo representan ventajas aún mayores como por ejemplo la mayor durabilidad de las cuchillas y herramientas de corte, lo que supone un menor coste de fabricación.

Los equipos CAM se basan en una serie de códigos numéricos, almacenados en archivos informáticos, para controlar las tareas de fabricación. Este Control Numérico por Computadora (CNC) se obtiene describiendo las operaciones de la máquina, en términos de códigos especiales y de la geometría de formas de los componentes, creando archivos informáticos especializados o programas de piezas. La creación de estos programas de piezas es una tarea que, en gran medida, se realiza hoy día por software informático especial que crea el vínculo entre los sistemas CAD y CAM.

Las características de los sistemas CAD/CAM son aprovechadas por los diseñadores, ingenieros y fabricantes para adaptarlas a las necesidades específicas de sus situaciones. Por ejemplo, un diseñador puede utilizar el sistema para crear rápidamente un primer prototipo y analizar la viabilidad de un producto, mientras que un fabricante quizá emplee el sistema porque es el único modo de poder fabricar con precisión un componente complejo. La gama de prestaciones

que se ofrecen a los usuarios de CAD/CAM está en constante expansión, sistemas por tanto que ayudan en las diferentes etapas de desarrollo de un producto haciendo más factible la fabricación de pequeñas series al reducir los costes de producción.

### Ingeniería inversa

Es el proceso de duplicar informáticamente una pieza, componente o entorno, sin la ayuda de planos, documentación o modelos CAD. Se parte siempre de un modelo físico y se usan métodos de medida, análisis y diseño para finalmente obtener una réplica virtual idéntica de dicha realidad física. Es decir, a partir de un modelo físico obtendríamos el CAD de la pieza.

Podría pensarse que la única aplicación de la Ingeniería Inversa es el copiado de piezas, sin embargo va mucho más allá que la simple duplicación de objetos físicos. Podremos querer una pieza muy parecida al modelo físico que tenemos pero con alguna modificación, pongamos el caso del casco de un barco al que queremos modificar la curvatura sólo en algunas partes. También podemos necesitar el croquizado de una pieza mecanizada y luego poder parametrizarla, es decir relacionar las dimensiones de los distintos elementos que la componen entre sí. Todos estos casos entrarían en la definición de ingeniería inversa.

En ocasiones no se dispone del modelo CAD de un objeto que ha de ser integrado en un proyecto, o el punto de partida es un pieza natural no reproducida de manera industrial, como puede ser el caso de un prótesis (pieza industrial) que debe de ser adaptada a una cadera (un modelo particular que no es idéntico a ninguna otra, modelo natural), es aquí donde la reconstrucción digital supone una necesidad industrial. Puede ser el caso de una pieza descatalogada, una pieza que se haya modelado a mano y que a título posteriori se vaya a reproducir a una mayor escala, son muchos los objetos cotidianos cuyo proceso de diseño realiza anteriormente un modelo 3D (real, como maquetas, o prototipos) y se apoya en esta tecnología para obtener el archivo CAD 3D virtual y a partir de ahí poder remodelar, generar planos y el resto de documentación técnica necesaria para la reproducción del objeto en serie. El proceso consiste en la obtención de puntos clave, en el que las coordenadas de estos sean correctas, para que con la ayuda del software, el técnico pueda ir interpretando la geometría de la pieza hasta obtener la geometría completa correspondiente a la pieza en cuestión.

A continuación numeraremos las aplicaciones industriales más habituales que requieren del proceso de Ingeniería inversa, y como este puede apoyar a la creación de series cortas de una manera eficaz.

- Utilización de prototipos físicos en el desarrollo de un producto. Es el caso por ejemplo de las piezas donde la ergonomía y el factor estético toman una mayor importancia. Hay multitud de objetos cuyas superficies no se pueden describir mediante formulaciones matemáticas sencillas, por tanto es necesaria realizar un modelo físico a mano.

Hoy en día una gran variedad de productos de consumos están realizados a partir del modelo físico realizado por un estilista, este es el caso de la industria automovilística,

que también es habitual que los modelistas pasen de dibujos 2D en donde su imaginación tiene la capacidad de volar, y luego transforman ese sueño en los modelos a escala 1:1 que realizan con Clay (un tipo de arcilla artificial, que permite añadir o quitar material de una forma sencilla hasta obtener la geometría deseada), de esta manera se puede evaluar la forma y a partir de ella realizar la ingeniería inversa, para obtener el fichero 3D.

- Obtención de modelos CAD para el cálculo y simulación de modelos. Modelos “tal como construido”. Sería el caso de productos construidos anteriormente a los sistemas CAD o modificados sin actualización de la documentación.
- Control dimensional. Muchas veces la inspección de las piezas es necesaria para poder despejar la incertidumbre entre la pieza fabricada (pieza real) con el CAD de la pieza (pieza teórica). Esta tecnología puede ayudarnos en dicha comprobación.
- Documentar moldes y troqueles definitivos.
- Verificación y reparación rápida de utillajes.
- Aplicaciones médicas: Prótesis y modelos digitales del cuerpo humano.
- Aplicaciones artísticas: Como la arqueología, reconstrucción de monumentos, esculturas que con esta tecnología pueden llegar a obtenerse modelos virtuales con muy poca centésimas de incertidumbre.

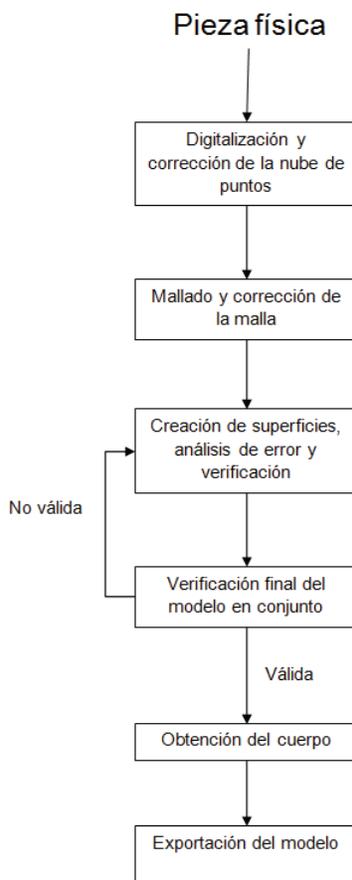
Según nuestras necesidades podremos utilizar esta tecnología con él ánimo de conseguir alguno de los siguientes objetivos:

- Una réplica exacta de la pieza o un escalado, es decir, simplemente copiar la pieza. Se puede utilizar con cualquier tipo de pieza.
- Una pieza a la que podamos realizar variaciones, es decir modificar algunos parámetros de algunas geometrías. Se utilizaría en piezas únicas de formas libres (superficies complejas de piezas de estilo, piezas técnicas que entrañen complejidad de formas) a las que nos interese modificar su curvatura.
- Parametrizar una pieza, es establecer relaciones entre sus elementos, de tal manera que la modificación de alguno de ellos afecte a los demás. Se utilizaría para piezas industriales en la que nos interese automatizar al máximo su modificación. Lógicamente la geometría de estas piezas tendrá que ser simple (planos, cilindros, esferas,...) para que pueda ser parametrizable.

Es fácilmente imaginable que en un futuro cercano, existan sistemas que sean capaces de realizar verdaderas fotocopias en 3D con elevada precisión y de manera muy simple. El aspecto a resolver es ¿cómo procesar millones de puntos digitales para utilizarlos adecuadamente?

A pesar de sus numerosas aplicaciones, son muy pocos los especialistas que encontramos en esta materia, ya que además de un técnico es necesario contar con los equipos adecuados, los softwares necesarios, para poder dar respuesta a las necesidades del cliente.

A continuación podemos ver un esquema que describe las fases necesarias para la realización de una ingeniería inversa.



*Ilustración 44: Proceso de ingeniería inversa*

Fase 1: Digitalizado. Como vemos en el esquema anterior el digitalizado es la primera fase en el proceso de la Ingeniería Inversa. En esta fase lo que se pretende es recuperar las coordenadas de miles o millones de puntos de la superficies de un objeto.

A través de los sistemas de palpado mecánico podemos obtener los ficheros CAD 3D de piezas geoméricamente no complejas con una gran precisión. La toma de puntos es de forma manual y está especialmente diseñado para metrología y control de calidad. Además permiten el reconocimiento de superficies simples (esferas, conos, cilindros, planos) de forma muy rápida, que es la debilidad de los sistemas ópticos. La desventaja de estos sistemas, es que requiere el contacto con el objeto para obtener la información. Este hecho es muy significativo cuándo se

escanean objetos delicados o valiosos tales como objetos históricos. La otra desventaja es que son sistemas relativamente lentos, comparado con los sistemas ópticos.



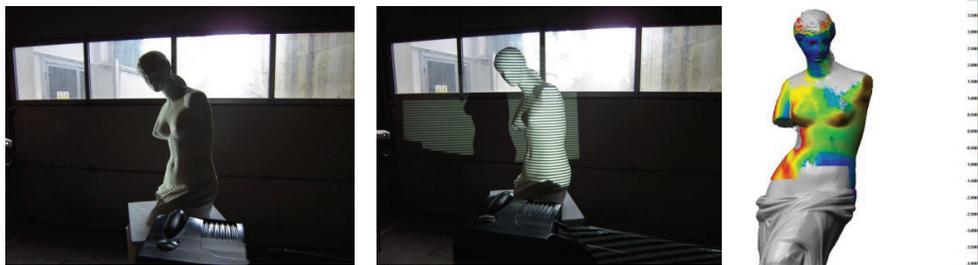
*Ilustración 45: MMC marca Zeiss modelo Contura G2, en las Instalaciones de la Fundación PRODINTEC.*

Los sistemas sin contacto (visión óptica, fotogrametría, sistemas láser y luz blanca estructurada) funcionan con la emisión de alguna clase de radiación y discernen su reflejo para tentar un objeto o el ambiente. Los tipos posibles de radiación usada son laser, luz, ultrasonido o radiografía. En general todos los sistemas ópticos se basan en el principio de la triangularización para obtener las mediciones.

Una vez tengamos hecha la digitalización de la pieza obtendremos una nube de puntos. Dependiendo de qué sistema óptico hallamos utilizado deberemos tratarla, es decir, filtrar la información: eliminar el “ruido”, las distorsiones que se hayan podido producir por el movimiento de la pieza, alinear las diferentes tomas en el caso de la luz blanca, etc. Actualmente en el mercado existen diferentes programas de edición de puntos que permiten manipular los puntos generados por los sistemas de digitalización.



*Ilustración 46: Equipo digitalizador de área triple, disponible en la Fundación PRODINTEC*



*Ilustración 47: Proceso de escaneado por luz blanca estructurada. Cortesía de la Fundación PRODINTEC*

### Fase 2: Mallado y corrección de la malla

La generación de mallas poliédricas a partir de una nube de puntos recibe el nombre de teselación. Básicamente consiste en unir los puntos formando triángulos, siendo estos puntos los vértices de los triángulos. Dependiendo del sistema utilizado para digitalizar, el software se encargará de unir estos puntos de una u otra forma (si hemos usado un palpador por ejemplo, el programa intentará buscar las trayectorias de escaneado).

Ahora bien, casi nunca podremos hacer un digitalizado perfecto, siempre habrá partes que no han podido ser bien digitalizadas, habrá huecos o defectos en la malla que tendremos que tapar o reconstruir intentado en todo momento que se aproxime de la mejor forma posible a la superficie real. Existen distintos programas que nos permiten realizar esto, pero influye mucho la pericia y experiencia del técnico, puesto que no es un proceso automático, existen muchos parámetros que quedan a criterio de la persona que está utilizando el programa.

### Fase 3: Creación de superficies, análisis de error y verificación

De lo que se trata en esta fase es de crear superficies que se ajusten matemáticamente lo mejor posible a la malla que previamente hemos obtenido. Existen tres métodos para la creación de superficies:

- Método por mallas de curvas
- Método por barrido
- Métodos basados en superficies

La elección de uno u otro dependerá de la geometría de la pieza, del uso que vaya a tener y de la tolerancia que se necesite. La experiencia y manejo del software por parte del técnico juega un papel fundamental en esta fase.

#### Fase 4: Verificación final del modelo en conjunto

En esta fase verificaremos principalmente dos puntos clave para que la pieza esté bien resuelta.

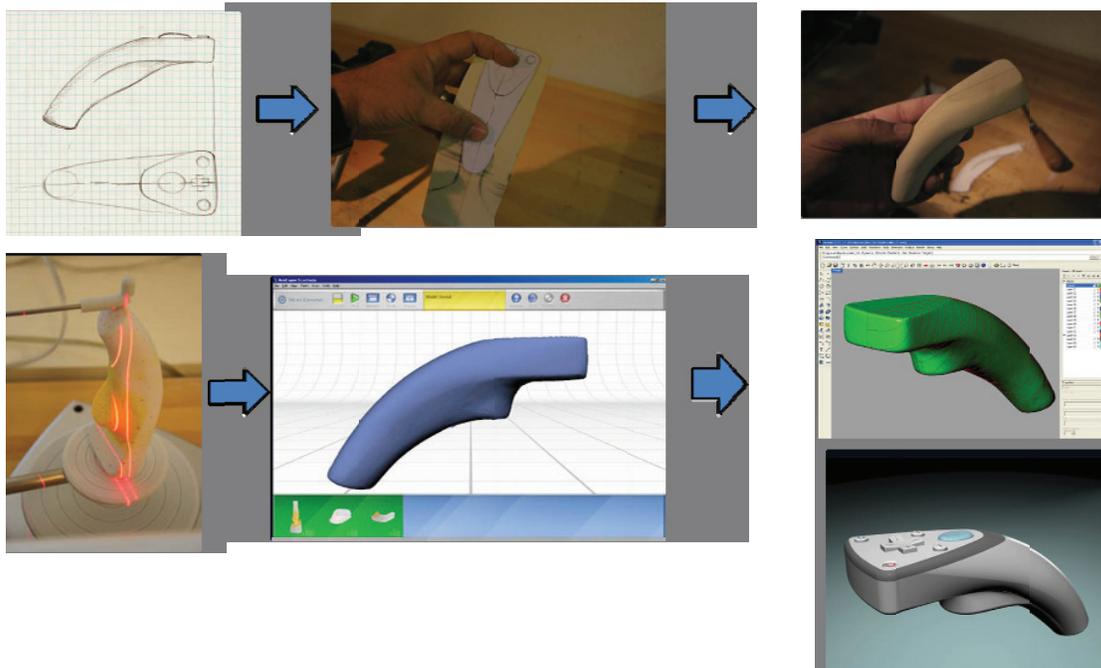
- Que todas las superficies del modelo estén dentro de la tolerancia
- Que la transición entre las distintas superficies sea suave, procurando mantener siempre la tangencia.

#### Fase 5: Obtención de un sólido

En el caso de que el cliente haya pedido un modelo sólido, es necesario que las superficies encierren un modelo estanco, es decir, tendremos que coser las distintas superficies creadas, por lo que es recomendable utilizar programas que permitan trabajar con sólidos y superficies simultáneamente para evitar problemas de conversión al formato final.

#### Fase 6: Exportación del modelo

Una vez que tenemos el sólido convenientemente cerrado lo exportaríamos en formato .IGS o .STEP (formatos universales de exportación) para ser leído por otros programas.



*Ilustración 48: Ejemplo de utilización de prototipos físicos en el desarrollo del producto, a través de la ingeniería inversa.*

## 11 CASOS PRÁCTICOS

### Caso práctico 1: DropSens, S.L.



[www.dropsens.com](http://www.dropsens.com)

#### **Producto:**

Carcasa para potenciostato portátil.

#### **Descripción del producto:**

El potenciostato es un equipo utilizado en laboratorios de investigación electroquímica, y en este caso particular tiene la peculiaridad de, por su pequeño tamaño, ser un quipo portátil, que nos permite realizar análisis electroquímicos in situ.

El equipo se cubre con una envolvente plástica compuesta por dos partes, tapa (en blanco) y base (en azul), La pieza inferior dispone de unas pinzas en las que va acoplada la tarjeta electrónica que forma el equipo. La pieza superior se acopla a la inferior y mediante la acción de 4 tornillos.

#### **Objetivo del servicio:**

Realizar 25 conjuntos de carcasa superior y carcasa inferior en un material plástico similar la ABS con buen acabado estético, para uso final como envolvente del potenciostato portátil.

#### **Trabajo ejecutado:**

Para poder cumplir este objetivo fue necesario el estudio de la geometría y de las necesidades del cliente, que en este caso fabrica su producto casi bajo pedido de manera que la producción de una serie media o alta no era viable.

Se propone entonces la realización de las carcasas a través de la tecnología de colada al vacío en moldes de silicona.

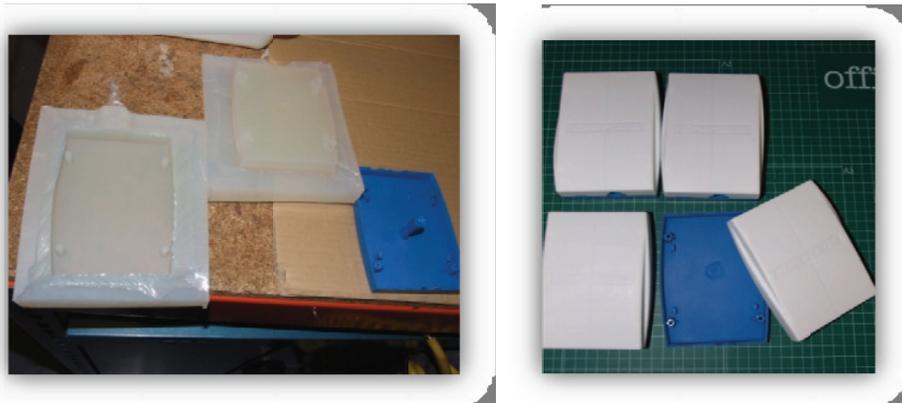
Para llevar a cabo la ejecución del trabajo, se parte de un fichero en formato .STL, este se envía a fabricación aditiva, en donde la tecnología de Polyjet (Objet) fabrica el master de ambas piezas capa a capa.



*Ilustración 49: Imagen virtual de la carcasa superior. Masters fabricados a través de Objet, cubiertos por una capa de imprimación.*

La siguiente fase consiste en la limpieza y preparación del master para hacer el negativo en silicona, estos masters se lijan y se les da una capa de imprimación con la intención de disimular huellas del proceso de fabricación. Se cubre con silicona líquida que tras un proceso térmico se endurece permitiéndonos obtener el molde (el negativo de la pieza). Una vez que el molde enfría, se abre y se saca el master, dejando en la silicona el hueco de la pieza.

Se introduce la resina junto con el pigmento o tinte seleccionados en estado líquido, (estas resinas están formadas por dos materiales que reaccionan al mezclarse solidificando) Una vez que la resina ha ocupado el hueco que había dejado el master, se deja reposar hasta que se solidifique por completo (en ocasiones, esta fase se acelera con la ayuda de un proceso térmico) y de esta manera se obtiene la primera colada de la pieza. El proceso se repite hasta agotar la vida útil del molde, (habitualmente entre 15 y 25 unidades) y se rematan de manera manual, rababas y entrada del material.



*Ilustración 50: Molde de la carcasa base, y carcasas plásticas rematadas.*

### Ventajas tecnológicas:

En este caso la realización de estas piezas a través de la tecnología de colado al vacío ha permitido al cliente obtener una pequeña serie de carcasas plásticas personalizadas a un bajo coste. Ya que este es un producto novedoso, la empresa deseaba ponerlo en el mercado sin la necesidad de realizar una elevada inversión y poder testear el funcionamiento del producto en el mercado.

La opción de inyección tradicional de piezas plásticas rápidamente quedó descartada ya que la fabricación de moldes metálicos es un proceso muy costoso que para repercutirlo en el coste unitario, al ser una tirada tan baja, sería un precio desorbitado.

Otra acción planteada era acudir a carcasas comerciales estándar, para recubrir la electrónica del producto, en donde por un módico precio, el cliente podría adquirir una carcasa de geometría más sencilla y sin personalizar, tras la adquisición de estas, tendría que mecanizarlas para poder hacer las salidas al exterior según la conveniencia del equipo, con lo cual el coste por unidad ya no era tan bajo.

Finalmente la decisión de hacer las carcasas en esta tecnología le ofrece las siguientes ventajas:

- Fabricación de 25 conjuntos finales a un coste asequible. Gracias a que el coste de esta serie no es una elevada inversión el cliente puede testear a los posibles compradores con la incorporación del potenciómetro al mercado, ya que se trata de un producto novedoso en cuanto a la movilidad del mismo.
- Posibilidad de rectificar. Al tratarse de un producto novedoso es fácil que este siga desarrollándose y que en un futuro no muy lejano sea necesaria la modificación de la carcasa, para alojar un nuevo tipo de conexión o para una mejor adaptación a la nueva electrónica, dada la corta vida útil del molde, podemos introducir estas modificaciones según nazcan las necesidades, sin que ello suponga una gran inversión, una gran pérdida de estocaje o un gran gasto logístico.
- Personalización de las carcasas. El hecho de que la carcasa sea un diseño propio, adecuado al contenido de la electrónica y con el nombre de la empresa en relieve hace que el usuario final del producto perciba este como un producto de un alto valor añadido, y a Dropsens como una empresa que cuida hasta el más mínimo detalle.

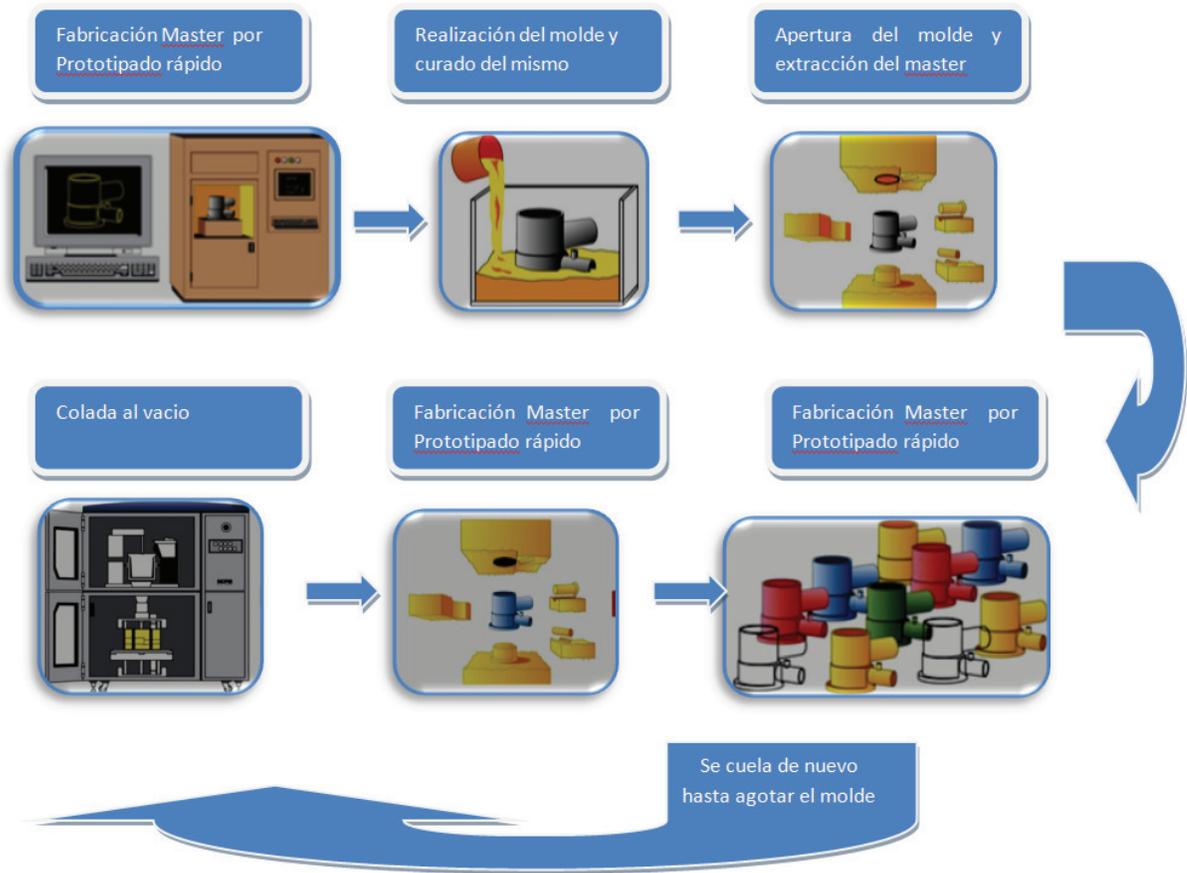
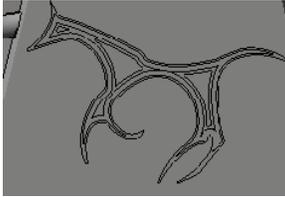


Ilustración 51: Esquema del proceso de colada al vacío



Ilustración 52: Carcasa producto final

## Caso práctico 2: CYMES. SL



### Producto:

Calzas de caballo.

### Descripción del producto:

Las calzas de caballo sustituyen a las tradicionales herraduras con el ánimo de proteger los cascos del animal, en especial a aquellos que compiten en carreras de larga distancia, ya que el tradicional proceso de herrar el caballo, lastima y fatiga los cascos del mismo.

### Objetivo del servicio:

Realización de los modelos CAD 3D de las calzas del caballo para pies y manos en diferentes tallas, y fabricación de prototipos de dichos modelos.

### Trabajo ejecutado:

Una vez que el cliente nos plantea la idea de este novedoso producto definimos las fases de actuación para el desarrollo del mismo.

Como punto de partida es necesario conocer la geometría de los pies y manos de los caballos para poder desarrollar un producto que se adecue a las mismas.

Gracias al equipo de escaneado en 3D y a la tecnología de ingeniería inversa, es posible la obtención del modelo virtual de manos y pies de un caballo.



*Ilustración 53: Modelo virtual del pie de un caballo.*

A partir de la obtención de estos datos de partida, se desarrolla junto con el cliente el primer modelo de calza, del cual se realiza un prototipo en Objet que se usa como master, para la fabricación de un molde y la posterior reproducción de piezas en un material gomoso.

Tras la fabricación de este primer prototipo se ve la necesidad de introducir cambios en el diseño para conseguir un mejor ajuste, tras varias modificaciones y prototipos fabricados con la tecnología de Objet en un material gomoso, se obtiene el modelo virtual definitivo.

Se fabrican entonces en material rígido, las calzas que servirán como máster para la fabricación de moldes para la posterior colada en un resina gomosa con altas prestaciones técnicas.

### Ventajas tecnológicas:

El desarrollo de este producto tan novedoso sin la aplicación de las tecnologías y softwares adecuados como Rapid Form (para el proceso de ingeniería inversa) o Solid Works (para el desarrollo del producto) el tiempo y coste del desarrollo de estas calzas hubiera sido muchísimo mayor.



*Ilustración 54: Logotipos de softwares empleados para el diseño y desarrollo de este producto*

La utilización de tecnologías como el escaneado 3D nos han permitiendo diseñar un producto a medida y no basado en aproximaciones, con lo cual la adaptabilidad del mismo al animal es mucho mayor.

La utilización de softwares paramétricos nos permiten modificar el diseño de una manera sencilla y eficaz a través de los árboles de operaciones haciendo que un mismo desarrollo pueda aptarse rápidamente a nuevas tallas, no siendo necesario modelar de nuevo el modelo para cambiar de talla. A medida que el proyecto se desarrolla se van fabricando prototipos a través de tecnologías de AM con el fin de realizar comprobaciones, y proponer nuevas mejoras, sin la posibilidad de la fabricación de estas muestras, el cliente hubiera corrido el riesgo de fabricar las piezas definitivas, sin un testeo anterior, teniendo que repetir el proceso de fabricación o rectificar las piezas una vez fabricadas lo que supondría un mayor coste.

### Caso práctico 3: Adele Robots, S.L.

**Adele**  
FEELING ROBOTS

[www.adelrobots.com](http://www.adelrobots.com)

#### Producto:

Robot inteligente y emotivo TICO.

#### Descripción del producto:

Robot inteligente y emotivo cuya razón para existir es hacer la vida más fácil a las personas. Se trata de un robot destinado inicialmente a informar, por ejemplo en un aeropuerto para indicar donde se encuentra la puerta de embarque, en un supermercado para indicar cuáles son los productos que están de oferta, o en que pasillo podemos encontrar la mermelada, son algunas de la aplicaciones iniciales de este robot, dada su capacidad de aprendizaje y adaptación puede trabajar en sectores tan diversos como la educación, el marketing, etc.



*Ilustración 55: Robot TICO (Modelo real). Pieza fabricada por tecnología AM*

#### Objetivo del servicio:

Fabricar 10 Replicas del Robot TICO a escala 1:10, en las cuales exista movilidad en el cuello, al igual que el verdadero robot, para fines comerciales.

#### Trabajo ejecutado:

El cliente plantea la fabricación de una serie corta de 10 piezas prototipo, a escala 1:10 para uso comercial. La intención es poder tener una réplica para poder mostrar la geometría y la movilidad del mismo a los posibles clientes, de manera que su transporte sea sencillo y económico y puedan transportarlo, los propios comerciales de la empresa.

Por lo tanto se valoran los requisitos deseados por el cliente, para estudiar en cuál de las tecnologías disponibles es más adecuada la fabricación de los mismos, de manera que al desear un prototipo funcional (dada la movilidad del cuello del robot) y tratarse de una geometría compleja, rápidamente se llega a la conclusión de que las tecnologías aditivas (AM) son en este caso la mejor solución.



*Ilustración 56: Proceso de limpieza y granallado de la pieza*

Entre la gama de las tecnologías de AM, el sinterizado laser plástico, es la tecnología seleccionada para la realización de las piezas dada su buena resistencia mecánica, el color blanco neutro para la pieza y la posibilidad de realizar piezas móviles.

**Ventajas tecnológicas:**

La principal ventaja que en esta ocasión han aportado las nuevas tecnologías es sin duda la rapidez de respuesta y el bajo coste que supone fabricar estas 10 unidades frente a otros proceso tradicionales, de manera que en el plazo de una semana el cliente puede disponer de las maquetas para comenzar con las labores comerciales.

## Caso práctico 4: Equipos Médico-Estéticos del Norte, S.L.L. (Norlitec)



[www.norlitec.com](http://www.norlitec.com)

### **Producto:**

Equipo laser de diodo para utilización médico – estética, aplicado a depilación, hirsutismo, foliunculitis y telangiectasias.

### **Descripción del producto:**

El equipo aunque se puede aplicar en múltiples aplicaciones relacionadas con los tratamientos de la piel, dermis y epidermis, cumple su papel principal en la depilación láser permanente. Las principales ventajas sobre la competencia son las de poder trabajar en todas las épocas del año, gracias a su software de múltiples modos de aplicación (pieles bronceadas inclusive), indoloro (gracias a su diseño de puntera de aplicación enfriadora-adormecedora) y manipulo ergonómico y ligero (pistola y puntera diseñadas para evitar pesos y fatigas sobre la muñeca de la persona aplacadora).

Un equipo láser de esta potencia, requiere una refrigeración importante y eficaz tanto para preservar la cuña láser de un envejecimiento o avería prematura, como en la puntera de enfriamiento cutáneo que permite que el paciente no sienta dolor en los disparos de este. Para ello y en ciertas partes del equipo, se han diseñado y fabricado en mecanización CNC, unas placas de cobre con unos canales internos que permitan transferir el líquido refrigerante con la mínima pérdida de carga y el mayor aporte de frio posible; se habían realizado anteriormente en material de aluminio, pero el acabado superficial y la peor transferencia térmica, abocaron a la construcción en cobre.

### **Objetivo del servicio:**

Fabricación por mecanizado de 10 conjuntos formados por 10 piezas de cobre.

Las piezas de este conjunto llevan un procedimiento de lapeado en las caras de la transferencia.

### **Trabajo realizado:**

Debido a la alta temperatura alcanzada por la puntera laser, es necesaria la existencia de un circuito de refrigeración, que circule próximo a esta, y para poder eliminar el calor del circuito de agua se fabrican estas piezas que actúan de disipadores del calor. Para llegar a los requisitos

de temperatura exigidos a esta pieza, fue necesaria la mecanización de diferentes serpentines, en diferentes materiales y con diferentes acabados superficiales, hasta obtener la combinación adecuada.

Para realizar las piezas por mecanizado, lo primera etapa consiste en estudiar la geometría 3D de la pieza, y preparar la trayectoria que posteriormente han de seguir las herramientas del centro de mecanizado de cinco ejes de alta velocidad, obtener el prisma de material más adecuado para comenzar con su desbaste y mecanizar las piezas. Para obtener el óptimo resultado es importante realizar un mecanizado que otorgue un acabado pulido espejo, y este no es fácil de conseguir con otra que no sea esta tecnología.

### **Ventajas tecnológicas:**

Debido al mercado tan específico al que se dirige y el alto valor añadido del producto, este es un producto que el cliente fabrica prácticamente bajo pedido, por lo que poder contar con las ventajas de un centro de mecanizado de ejes en alta velocidad le permite desarrollar y fabricar el producto en un menor tiempo, con menores costes, y mejor acabado superficial, frente a tecnologías tradicionales de fabricación en metal.

Debido al diseño de los canales interiores y al pequeño tamaño de los mismos, se hacía necesaria una mecanización CNC, ya que un fresado convencional era imposible su ejecución. El mayor acabado superficial de los canales, obtenido con esta máquina, minimiza el rozamiento del fluido con el fin de eliminar la mayor pérdida de calor posible, consiguiendo una mejor refrigeración en la punta de la pistola, que otorga una sensación placentera, enfriadora adormilad ora al paciente.



*Ilustración 57: Equipo laser de diodo para utilización médico – estética. Placas mecanizadas en las instalaciones del Fundación PRODINTEC, a través de centro de mecanizado por control numérico 5 ejes en alta velocidad.*

## Caso práctico 5: MICRUX-FLUIDIC



[www.micruxfluidic.com](http://www.micruxfluidic.com)

### **Producto:**

Dispositivos miniaturizados de análisis, totalmente portátiles:  
HVStat (combina unas fuentes de alto voltaje y un bipotenciostato)  
 $\mu$ HV (minifuentes de alto voltaje).

### **Descripción del producto:**

La actividad de MicruX está orientada principalmente al desarrollo de sistemas miniaturizados de análisis, totalmente portátiles. En estos dispositivos se trata de integrar todas las etapas que habitualmente se realizan en un laboratorio (pretratamiento de muestra, mezcla, reacción, separación y detección) obteniéndose un verdadero Lab-on-a-Chip (LOC). Así, estos dispositivos permiten la separación, detección, identificación y cuantificación de muestras reales de interés analítico. Estos dispositivos pueden ser estándar o personalizados según los requerimientos del usuario final, también tienen aplicación como herramienta docente.

### **Objetivo del servicio:**

Fabricación de una serie corta de dos envoltentes personalizadas, para la instrumentación, de manera que se facilite el montaje de ambos conjuntos.

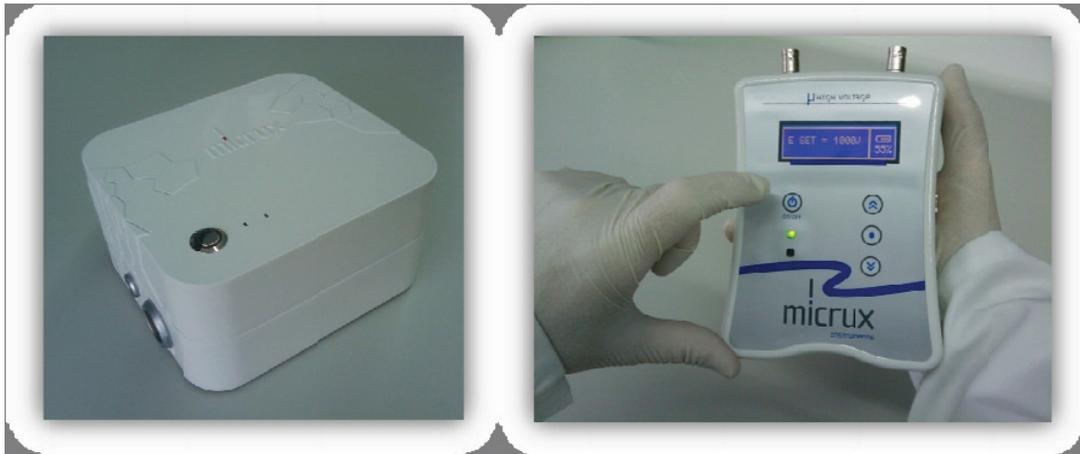
### **Trabajo ejecutado:**

En este servicio se abordó la utilización de tecnologías aditivas, para la fabricación de una envoltente personalizada en poliamida y su posterior pintado para dotar a las mismas de un adecuado aspecto final. Se abordaron la fabricación de dos productos el HVStat (combina unas fuentes de alto voltaje y un bipotenciostato) y  $\mu$ HV (minifuentes de alto voltaje).

Tal y como se había planteado en los objetivos del servicio en el primero de los casos se plantearon una serie de mejoras para optimizar el montaje y su consiguiente ahorro de costes. En el segundo se trata de un producto nuevo.

El primer lugar se realizó un prototipo de cada envoltente para testear la funcionalidad de las mismas. Tras estos prototipos se identificaron una serie de problemas intrínsecos a la utilización de esta tecnología y otros al propio material utilizado. En concreto en el primero de los casos el proceso productivo de la pieza por capas implicaba cierta curvatura de la misma por lo que fue necesario la rectificación en tolerancias, En el segundo de los casos la flexibilidad

de la poliamida aconsejó la inclusión de una serie de nervios de refuerzo en la envolvente que mejorasen su rigidez. Tras estas modificaciones se realizó la producción de 10 envoltentes de cada producto cuyo resultado puede verse en las siguientes imágenes.



*Ilustración 58: HVStat; combina unas fuentes de alto voltaje y un bipotenciostato.  
 $\mu$ HV; minifuentes de alto voltaje.*

### **Ventajas tecnológicas:**

La actividad de diseño de dispositivos, fabricación de prototipos y la posibilidad de comprobar la funcionalidad de los mismos, optimizando el tiempo de salida al mercado y el coste de los mismos son aspectos claves para la actividad de Micrux y que están directamente relacionados con un aumento de su competitividad.

Por otro lado la naturaleza innovadora de este tipo de empresas (empresas pequeñas, jóvenes y con una importante actividad de I+D) conlleva de forma intrínseca la constante innovación en producto. Este hecho no permite la fabricación de series largas o medias ya que el tiempo de vida medio en el mercado de los productos no es suficientemente prolongado. De este modo la producción de un número muy pequeño de unidades en un corto periodo de tiempo resulta crucial para el desarrollo de producto. Del mismo modo la ausencia de moldes que permitan cambios constantes y un dinamismo en el desarrollo de nuevos productos se adapta de forma perfecta a la necesidad innovadora de Micrux.

### **Caso práctico 6: ADITAS S.L.**

Asturiana de Dispositivos Intraorales para el Tratamiento de la Apnea del Sueño y el Ronquido.  
(Empresa Innovadora de Base Tecnológica)



[www.aditas.es](http://www.aditas.es)

### **Producto:**

Dispositivo de Avance Mandibular (DAM<sup>®</sup>) para el tratamiento del ronquido y/o síndrome de la apnea del sueño.

### **Descripción del producto:**

Los DAM<sup>®</sup> son considerados como dispositivos que se introducen en la boca y modifican la posición de la mandíbula y otras estructuras de soporte de la Vía Aérea Superior (VAS) para el tratamiento del Ronquido y/o el Síndrome de la Apnea del Sueño (SAHS).

Además son una alternativa razonable como coadyuvante al tratamiento con CPAP en determinadas situaciones, (viajes frecuentes, claustrofobia, lesiones mucocutáneas por falta de ajuste de la mascarilla de la CPAP).



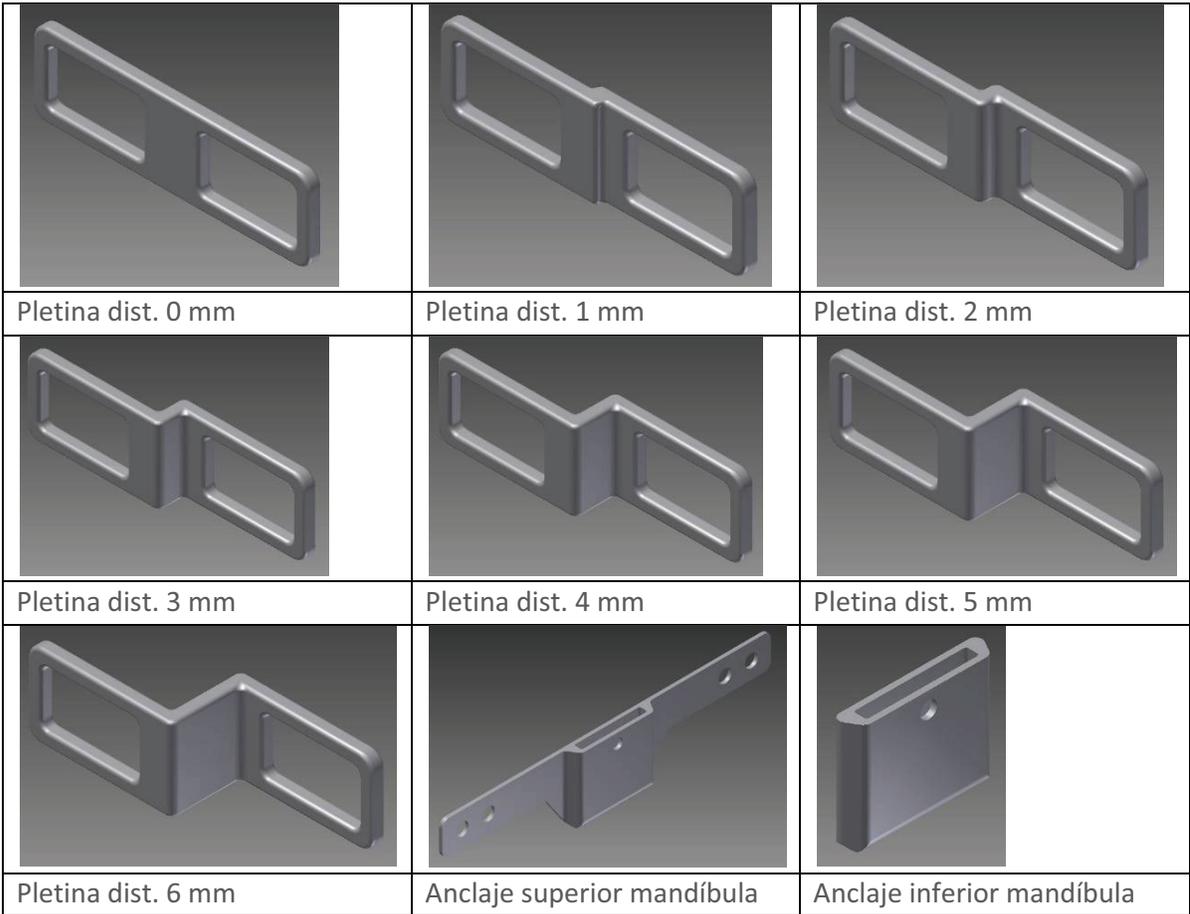
*Ilustración 59: Ejemplo de DAM.*

### **Objetivo del servicio.**

Fabricar 32 conjuntos de los componentes metálicos del dispositivo en acero inoxidable 316L con un buen acabado superficial y las tolerancias geométricas necesarias.

### **Trabajo ejecutado:**

El conjunto mecánico se compone de 7 pletinas distanciadoras para que el paciente escoja la que mejor se ajusta a su patología y de 2 piezas alojadas en los moldes de la mordida del paciente que hacen el cierre mecánico del conjunto. En las siguientes imágenes se muestran los diseños CAD de las piezas que componen el conjunto.



*Ilustración 60: Ejemplo de DAM.*

Para la fabricación de estas piezas inicialmente se pensó en un sistema de estampación mediante troqueles pero este proceso presenta ciertas desventajas frente a otros sistemas de fabricación, por una parte el coste de los troqueles es excesivo para el lote de fabricación necesario para el cliente y el acabado de las piezas es bastante malo y esto conlleva tediosos procesos de acabado manual que encaren el coste del conjunto y reducen la precisión del sistema.

Para acometer el proceso de fabricación de un lote tan pequeño se consideró el proceso de micromecanizado, este proceso es un método de fabricación por arranque de viruta de alta precisión y que permite obtener piezas con un buen acabado superficial. Además el proceso es lo suficientemente flexible para que el lote requerido por el cliente tenga una relación coste-precisión-acabado optimizado.

Debido a la variedad de geometrías del conjunto mecánico se elaboró un método de fabricación para 2 grupos de geometrías, por una parte se realizó el micromecanizado de las pletinas en 1 único amarre en la centro de micromecanizado utilizando para ello el cabezal 4-5 eje del equipo y partiendo de barra redonda de  $\varnothing 10$  mm, esto permitía mecanizar las

geometrías esbeltas dando un buen acabado superficial y minimizando los tiempos de cambio de herramientas y utillaje; por otra parte se realizó el proceso de fabricación de los anclajes partiendo de pletina de 20x6, se realizó, el proceso de electroerosión de la entalla profunda de alojamiento de las pletinas y posterior mecanizado de la geometría realizando el proceso en 2 amarres mediante el uso de un utillaje para asegurar las precisiones de la pieza. En las siguientes imágenes se muestra una secuencia de fabricación de ambas geometrías.



#### Ventajas tecnológicas:

El proceso de micromecanizado presenta ciertas ventajas frente a otros procesos productivos con capacidades para fabricar este tipo de piezas:

- Mecanizado de precisión y con buen acabado superficial, lo cual produce piezas sin apenas postprocesado posterior reduciendo el coste de procesos manuales de pulido, lijado, etc...
- Proceso versátil, con ligeras modificaciones del mecanizado es posible mecanizar piezas que pertenezcan a una familia de geometrías como es el caso de las pletinas distanciadoras.
- Geometrías complejas y/o esbeltas, la posibilidad de mecanizar con 5 ejes posibilita el mecanizado de geometrías complejas que con otras técnicas pueden llegar a ser imposible de ejecutar, además el proceso tiene una gran estabilidad lo cual permite mecanizar piezas esbeltas evitando vibraciones indeseadas que merman el acabado superficial de la pieza final.
- Proceso eficaz para series cortas o medias, debido a la versatilidad del proceso, este es idóneo para series medias o cortas de piezas teniendo una relación calidad-precio óptima. Además abarca multitud de materiales desde aceros, aceros de alta dureza, aceros inoxidables, plásticos, resinas, maderas, etc...

## 12 CONCLUSIONES

Nos encontramos ante el inicio de una revolución en la forma de fabricar hasta ahora desconocida. Este tipo de tecnología, aunque es ya una realidad en determinados sectores y para determinados productos, normalmente de alto valor añadido, aún se encuentra en sus inicios y se espera un desarrollo tecnológico muy importante que permita la mejora en la maquinaria en cuanto a rapidez, tamaño de pieza, acabados superficiales, materiales, etc....lo que supondrá una continua aplicación de este proceso en cada vez más productos y se vaya incorporando a la cadena de valor industrial.

Entre dichas características destacan la posibilidad de fabricar productos personalizados, unitarios y con geometrías impensables hasta ahora por los métodos de fabricación tradicionales.

Las limitaciones actuales de dicha tecnología que no permite el acceso actualmente a determinados productos, por motivos técnicos o económicos, se irán eliminando y poco a poco se irán imponiendo las ventajas que ofrecen dichas tecnologías.

Es por lo tanto cuestión de tiempo, que por una parte las mejoras tecnológicas que están llevando a cabo los fabricantes de maquinaria, software y materiales, junto con los Centros Tecnológicos y Universidades en todo el mundo, y por otro lado la continua introducción en la cadena de valor de las empresas industriales de este tipo de tecnología, supongan que en un período corto de tiempo, se esté hablando de las tecnologías de fabricación de series cortas de una forma tan normal como se hace con el resto de procesos convencionales de fabricación.

El cambio en la mentalidad y la forma de concebir los productos de los diseñadores es también un factor clave en dicho desarrollo. Se debe de trabajar asimismo en la educación de ingenieros y diseñadores en las posibilidades que estas tecnologías ofrecen.

Surgen asimismo interesantes nuevos modelos de negocio, al conjugar la posibilidad de fabricar productos personalizados de manera deslocalizada, llegando incluso a situar al consumidor final en el papel de diseñador del producto. El concepto tradicional que se tiene de la fábrica llega incluso a cambiar y se desconoce actualmente el potencial que la unión de este tipo de tecnologías con las redes sociales, web 2.0 en internet puede tener.

Quedan estas y otras cuestiones limitadas únicamente a la imaginación del lector.

### 13 ENLACES DE INTERÉS

- Terry Wohlers; *“Wohlers Report 2011. Additive Manufacturing and 3D Printing. State of the Industry”*. Annual Worldwide Progress Report, ISBN 0-9754429-7-X
- Hopkinson N., Hague R.J.M., Dickens. P.M.2006. *“Rapid Manufacturing - An Industrial revolution for the digital age”*. ISBN-13978-0-470-01613-8, Publisher-John Wiley and Sons Ltd UK
- Bourell D., Leu M., Rosen D. *“Roadmap for Additive Manufacturing: Identifying the Future of Freeform Processing”* University of Texas USA. 2009 <http://wohlersassociates.com/roadmap2009.pdf>
- Revista TCT Magazine; <http://www.tctmagazine.com/>
- Revista *“Rapid Prototyping Journal”* (GARPA), editada por EMERALD
- Terry Wohlers. Wohlers Associates, Inc; <http://wohlersassociates.com>
- Fab@Home; <http://www.fabathome.org>
- ASTM; <http://www.astm.org/COMMIT/COMMITTEE/F42.htm>
- Freedom of Creation; <http://www.freedomofcreation.com>
- La feria Euromold (<http://www.euromold.com>) que se celebra cada final de año en Frankfurt, es considerado el evento demostrativo de referencia en tecnologías de fabricación de series cortas, fabricación aditiva, prototipado rápido,...a nivel mundial.
- A nivel europeo destaca la Plataforma Tecnológica Europea del Rapid Manufacturing ([www.rm-platform.com](http://www.rm-platform.com)), estrechamente vinculada con otra plataforma tecnológica más transversal como es MANUFUTURE, y desplegada en plataformas nacionales “espejo” en varios estados miembro (España, Francia, Alemania,...). En concreto en España se ha constituido la Asociación Española del Rapid Manufacturing (ASERM - [www.aserm.net](http://www.aserm.net)) que ha puesto en marcha una agrupación empresarial innovadora denominada AEI-DIRECTMAN (<http://www.aserm.net/aei-directman/>)

## 14 GLOSARIO DE TÉRMINOS

AM (Additive Manufacturing): Fabricación Aditiva

CAD (Computer-aided design): Diseño asistido por computadora

CAM (Computer Aided Manufacturing). Fabricación asistida por computadora

CNC (computer numerical control) Control Numérico computerizado.

DFMA (Design for Manufacturing and Assembly): Diseño para la fabricación y el montaje.

DM (Direct Manufacturing o Digital Manufacturing): Fabricación Directa o digital

*DMLS (Direct Metal Laser Sintering):* Sinterizado directo láser de metales

DLP (Digital Light Processing): Proyección por máscara

*Dieless Forming:* Conformado incremental de chapa

*e-M (e-Manufacturing):* Fabricación electrónica o digital

*EBM (Electron Beam Melting):* Fusión por haz de electrones

FDM (Fused Deposition Modeling): Deposición de material fundido

*HSM (High Speed Machining):* Mecanizado de alta velocidad

RIM (Reaction Injection Molding) Reacción de moldeo por inyección

RM (Rapid Manufacturing): Fabricación rápida

RP (Rapid Prototyping): Prototipado rápido

*RT (Rapid Tooling):* Fabricación rápida de utillaje/molde.

MMC (Máquina tridimensional de medir por coordenada).

SLA (Stereolithography): Estereolitografía

SLS (Selective Laser Sintering): Sinterizado láser selectivo