

Impacto de las Tecnologías de Fabricación Aditiva en el Desarrollo y Fabricación de Productos en la Argentina

Área Temática: Innovación y Gestión de Productos

Nicolini, Jorge*, Ramírez, Oscar, Fernández, Marcelo, Braidot, Néstor, Abrevaya, Claudio

Instituto de Industria, Universidad Nacional de General Sarmiento
Juan María Gutiérrez 115 - C.P. 1613 - Los Polvorines - Pcia de Bs. As. – Argentina
jnicolin@ungs.edu.ar, oramirez@ungs.edu.ar, mfernand@ungs.edu.ar, nbraidot@ungs.edu.ar,
cabrevay@ungs.edu.ar

RESUMEN

A nivel mundial las tecnologías de fabricación aditiva no sólo se están utilizando para la realización de prototipos y maquetas, sino también en la fabricación de pequeños lotes de partes y componentes de productos, reemplazando en estos casos a las tecnologías de fabricación tradicionales, como las sustractivas y las conformativas.

El uso de esta nueva tecnología acompaña las necesidades actuales de las empresas de disminuir el tiempo de ciclo del desarrollo y fabricación de productos. Estos cambios responden también a los requerimientos de los usuarios, teniendo en cuenta los conceptos conocidos como "producción personalizada" y/o "personalización", que por otra parte implica ciclos de vida cada vez más cortos para dichos productos.

Este trabajo presenta los primeros resultados obtenidos a partir de una serie de casos de estudio realizados en el marco de una investigación iniciada en el año 2014 cuyo objetivo es estudiar y analizar la incorporación de las tecnologías de fabricación aditiva en las distintas etapas del desarrollo y fabricación de productos en empresas industriales en Argentina.

La investigación utiliza entre otras fuentes primarias de investigación, los proyectos "Desarrollo de Productos, un análisis en PyMEs" y "Mejora Continua en Procesos de Desarrollo de Productos" ambos realizados por equipos de investigadores docentes del Instituto de Industria de la Universidad Nacional de General Sarmiento, en los que se estudiaron las metodologías y prácticas habituales de las PyMEs en cuanto al proceso de desarrollo de nuevos productos y como se inserta la mejora continua en dicho proceso.

Los resultados del proyecto permitirán determinar un marco de referencia para la aplicación de las tecnologías de impresión 3D y su adaptación a la gestión industrial en distintas empresas de nuestro país.

Palabras Clave: Fabricación Aditiva, Impresión 3D, Desarrollo de Productos, Fabricación de Prototipos, Fabricación Personalizada.

1. INTRODUCCIÓN.

En general los procesos de fabricación se pueden dividir en tres categorías: sustractivas, conformativas y aditivas [1].

En los procesos sustractivos, sobre un bloque se elimina material hasta llegar a la forma deseada, por ejemplo: procesos de mecanizado por arranque de viruta, corte por láser, electroerosión, entre otros. En los procesos conformativos, a través de moldes se fuerza el material semisólido o líquido hasta obtener la forma deseada, podemos citar: fundición, plegado, inyección, etc. En los procesos aditivos la elaboración se realiza a través de un archivo CAD y el dispositivo utilizado va agregando capas de material sucesivamente hasta terminar el objeto deseado.

Las distintas tecnologías de prototipado rápido son procesos de fabricación aditiva realizados a partir de archivos digitales diseñados en tres dimensiones. La denominación prototipado rápido es confusa pues no necesariamente se realizan exclusivamente prototipos con esta tecnología, otras denominaciones utilizadas son impresión 3D, fabricación de forma libre, entre otras.

Por este motivo el comité internacional ASTM F42 adoptó la expresión "Fabricación Aditiva" (Additive Manufacturing, AF), los miembros del comité votaron y aprobaron lo siguiente: "La fabricación aditiva (AM) es el proceso de aditivación de materiales para fabricar objetos en base a un modelo 3D, por lo general es capa a capa, a diferencia de las técnicas de fabricación sustractiva".

En una visión a largo plazo, las tecnologías de fabricación aditiva permitirían conseguir según B.Stucker [2] la democratización de la producción de bienes físicos cuando se puedan diseñar, fabricar y reparar una amplia variedad de productos en un esquema donde cualquier persona pueda fabricar cualquier producto que necesite en cualquier lugar con disponibilidad de electricidad, algunos insumos básicos y computadora con impresora 3D.

La tasa de crecimiento anual previsto por Wohlers Associates [3] para el mercado global de la impresión 3D es del 21% entre 2011 y 2015, dicha tasa se ha cuadruplicado en la última década y el ciclo impacta a cuatro sectores involucrados: a los fabricantes de las impresoras, a los desarrolladores de software, a fabricantes y proveedores de los materiales como insumos y a todas aquellas empresas manufactureras, de servicios y/o particulares que en un proceso de selección podrán optar o no por esta tecnología.

El presente trabajo muestra un abordaje descriptivo de los actores antes mencionados seguido de una contextualización de la aplicación de la manufactura aditiva y su impacto en Argentina.

2. FABRICANTES DE IMPRESORAS 3D.

Las impresoras 3D para uso industrial representan un 78% del mercado global siendo Stratasys y 3D Systems las empresas líderes de este sector en productos y servicios [3].

Los usos principales en el ámbito industrial son prototipado rápido y partes o componentes de productos finales con aplicaciones crecientes en todos los ámbitos como electrónica, medicina y la industria aeronáutica.

El mercado de impresoras 3D personales comienza su expansión a partir del año 2007, cuando de 70 unidades vendidas durante ese año supera las 27000 unidades en el año 2011. La mayor parte de las impresoras 3D personales se basan en una tecnología de código abierto conocida por RepRap desarrollada por la Universidad de Bath en Gran Bretaña a partir de patentes vencidas de Stratasys con tecnología FDM (Fused Deposition Modeling) o Modelado por Deposición Fundida.

En el año 2011, RepRap tenía el 60% del mercado en impresoras personales vendidas, seguida por MakerBot con un 22%.aproximadamente.

El precio de venta promedio de una impresora personal era de u\$s 1112, y el de una impresora industrial era de u\$s 73200 al año 2011. Diferentes consultoras como CM. Researchy Wohlers Associates [3] predicen disminuciones importantes de dichos valores para los próximos años de acuerdo a la evolución del mercado. El sector de impresoras personales 3D crece a un ritmo promedio del 300% anual en unidades vendidas mientras que los equipos industriales lo hacen a un valor promedio del 30% anual.

Estados Unidos lidera el mercado de fabricantes de equipos industriales siendo Stratasys y 3D Systems las empresas más importantes. Le siguen diferentes fabricantes europeos con el 16% de unidades vendidas. Los equipos europeos son generalmente más costosos por las tecnologías utilizadas como fusión por haz de electrones (SLM) y sinterizado metálico láser directo (DMLS).

La empresa Objet (origen israelí, recientemente adquirida por Stratasys) ocupa el tercer lugar en unidades vendidas con el 14.3% [3].

3. DESARROLLADORES DE SOFTWARE.

El crecimiento de la impresión 3D beneficia directamente a tres desarrolladores específicos de software:

- . Software para escaneado en 3 D.
- . Software CAD (Diseño asistido por computadora)
- . Software PLM (Gestión de vida del producto)

El objeto creado en 3D se hace a partir de un modelo 3D. El diseño del modelo se puede realizar en una computadora utilizando un programa de diseño CAD o un escáner 3D, que mediante una cámara y un sensor de rayos infrarrojos permite capturar el modelo para ser introducido al programa CAD e imprimirlo.

Los programas Autocad y Solid Works fueron diseñados especialmente para usos en ingeniería y tienen una curva de experiencia larga que impacta en el nivel de conocimientos requeridos para su adecuada interpretación y aplicación.

Los programas PLM se refieren a la gestión del ciclo de vida de un producto desde su concepción hasta su mantenimiento y eventual reciclado o retiro. Estos programas se pueden integrar con otros paquetes informáticos relacionados con los clientes, proveedores y los recursos de la organización (ERP). El proceso de diseño, con la documentación del nuevo producto, archivos CAD y modelos 3D generados se integran con los procesos subsiguientes del producto en la empresa, como así también su uso y retiro por el cliente. Entre los desarrolladores más conocidos están Autodesk, Dassault Systems, y Siemens.

Las unidades profesionales de impresión 3D tienen software propietario (código cerrado), mientras que las impresoras personales particularmente las de bajo costo utilizan software libre y de código abierto con menor cantidad de prestaciones pero personalizables y en continua evolución. Algunos programas de software libre para modelado en 3D son: SketchUp, FreeCAD y Blender. Existen en la web otras opciones como diferentes repositorios de modelos en 3D (Thingiverse, GrabCAD y 3D Warehouse entre otros) donde se almacenan modelos compartidos por otros usuarios.

4. MATERIALES.

Los materiales utilizados para la impresión pueden ser polímeros, metales, cerámicos o compuestos (composites como una mezcla de resinas con concentraciones específicas de acuerdo a las propiedades buscadas). Su estado físico puede ser líquido (polímeros), polvo (polímeros, metales y cerámicos) o sólido (polímeros, metales, cerámicos y compuestos) [4].

La gama de materiales disponibles para el uso en tecnologías aditivas sigue siendo muy limitada en comparación con los sistemas de producción tradicionales. Dependiendo de la tecnología, el precio por kilogramo de los insumos para impresión 3D puede ser entre 10 y 100 veces más caro que el de los plásticos sencillos usados en moldes de inyección [5].

Generalmente una impresora 3D admite una cantidad muy limitada de diferentes insumos aunque el desarrollo del hardware para posicionarse a la demanda de diferentes industrias permite el desarrollo de nuevas impresoras con capacidad de hasta 120 materiales con la posibilidad de imprimir hasta 14 materiales diferentes en un solo producto final (Impresora Objet1000) [3].

5. LA TECNOLOGÍA EN LOS USUARIOS.

Se identifican tres contextos en las que las tecnologías de fabricación aditiva se difunden habitualmente, el primero a partir de los usuarios finales, que adquieren equipos de impresión 3D generalmente impresoras personales para la propia fabricación de sus objetos.

Kietzmann, Pitt y otros [6] identifican cuatro tipos de usuarios de acuerdo con los productos y la funcionalidad requeridos como muestra la Figura 1. Los hobbistas o aficionados reemplazando productos o partes existentes con impresión 3D. Los diseñadores desarrollando nuevos productos sin alterar necesariamente las funcionalidades de los productos equivalentes en el mercado. Los usuarios creativos que emplean la impresión 3D para introducir nuevas funcionalidades en productos existentes. Los inventores que desarrollan nuevos productos con funcionalidades originales como en el caso de productos para aplicación en medicina y odontología.

El segundo contexto, funciona como un servicio de impresión a partir de plataformas globales basadas en la web, donde los diseñadores pueden cargar su diseño y luego elegir en un mapa interactivo a la impresora 3D más cercana.

3D Hubs, es una de las plataformas, con sede en Holanda y ofrece 20000 centros de impresión en todo el mundo (6 centros asociados con ubicación en Buenos Aires). En este escenario también se ubican en Argentina los denominados Centros Tecnológicos y de Servicios como entidades de

carácter público, privados o público privados que realizan actividades de transferencia, I+D y servicios técnicos a usuarios y empresas. De la misma forma a distintos Laboratorios de Fabricación Digital abiertos a la comunidad, y Universidades y Centros de Formación Profesional que cuentan con equipamiento 3D para sus proyectos educativos y en algunos casos para la provisión de servicios al medio.

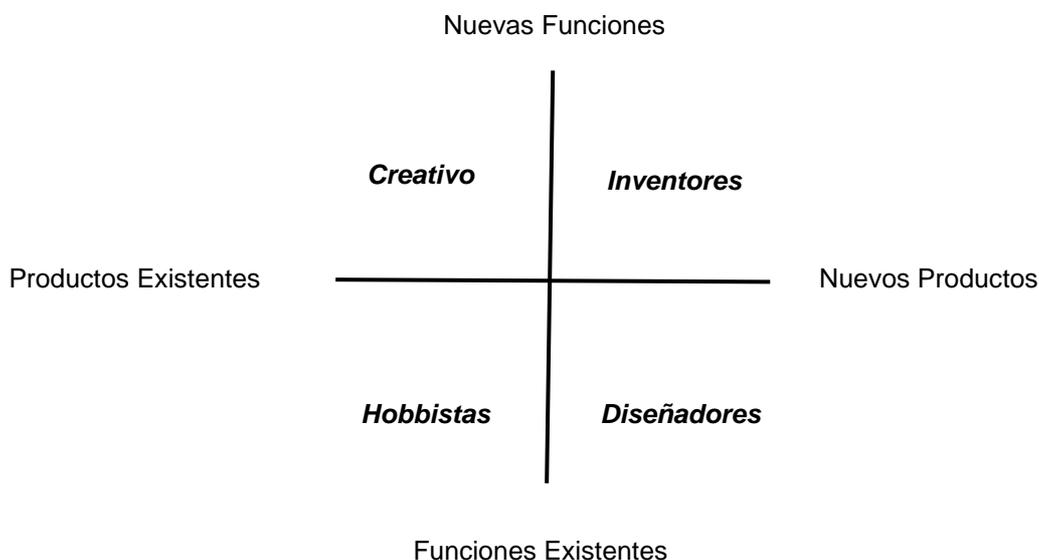


Figura 1 *Usuarios de la impresión 3D.*

El tercer escenario se refiere a la empresa industrial que incorpora esta tecnología ya sea para el desarrollo, diseño y/o fabricación de sus productos y/o componentes.

La fabricación aditiva se desarrolla a fines de 1980, las mejoras en los procesos, materiales y consiguiente reducción en los costos de los equipos posiciona a la impresión 3D a nivel competitivo con las tecnologías tradicionales.

Los primeras aplicaciones de la tecnología se vinculaban con la obtención de prototipos (prototipado rápido) reduciendo el tiempo de ciclo para el proceso de desarrollo de los productos ya sea en las etapas iniciales en la realización de modelos de conceptos y/o de presentación hasta llegar al prototipo final previo al lanzamiento de producción luego de su verificación y testeo.

La aplicación tradicional continúa siendo en la actualidad el prototipado rápido así como su utilización en otros procesos vinculados con la etapa final del desarrollo de los productos como la fabricación de herramientas de utillaje y moldeo, actividades previas al proceso de fabricación del producto.

Las técnicas de fabricación rápida de moldes (Rapid Tooling) permiten la creación de moldes para producir una serie de piezas en tiempos más cortos que los habituales requeridos. La elección de una tecnología aditiva dependerá del material en que se deban construir, cantidad de piezas que se desean obtener y de la precisión dimensional requerida.

La fabricación de productos (Rapid Manufacturing) y partes o componentes de los productos son las aplicaciones más recientes de la impresión 3D, Figura 2. La evolución de la tecnología en hardware y software y particularmente de los materiales utilizados como insumos coloca a esta tecnología a nivel competitivo con los métodos de producción tradicionales.



Figura 2 *Aplicaciones Industriales de la Fabricación Aditiva.*

La evolución histórica de los sistemas de producción: de líneas de fabricación dedicadas (producción en masa), a líneas flexibles (producción personalizada) y líneas reconfigurables (producción individualizada) [7], hace que diferentes investigadores, Koren [8], Berman [9], Weller [10] consideren a la tecnología de fabricación aditiva como una extensión de los sistemas reconfigurables y flexibles pero también identifican características propias que la diferencian de las anteriores y que no solo impactan técnicamente en el sistema de fabricación de la empresa sino

también en toda su organización para convertir su posible implementación en un proceso de decisión estratégico para la firma [11].

Su implementación permite reducir el costo del capital requerido para lograr una economía de escala y su flexibilidad (habilidad para conseguir diferentes configuraciones de un producto) reduce también el capital requerido para conseguir una economía de alcance [12].

Petrick I. [13] y D'Aveni [14] se refieren a la "economía de uno" cuando comparan la tecnología de fabricación aditiva con la economía de escala de un sistema tradicional de producción. Dichos autores prevén la coexistencia de ambos esquemas según las características de cada organización y de los productos ofrecidos. En el caso de la impresión 3D es recomendada para productos con alta personalización, bajos volúmenes de producción y características especiales difíciles de obtener con un esquema tradicional de fabricación.

Dado que se puede producir un producto final con la impresión 3D, es posible llevar la producción cercana a sus consumidores por lo menos para alguno de los productos incluso partes o repuestos. El esquema impacta directamente en la cadena de suministros afectando favorablemente los costos de transporte e inventario. Esta producción descentralizada depende de la disponibilidad y costos de la impresora y del personal para su operación [15].

La introducción de una tecnología de manufactura aditiva puede impactar en la estrategia de toda la organización de acuerdo a los objetivos buscados y relacionados con el funcionamiento y/o innovación en el producto. Cotteleer M. y otros [12] identifican cuatro ejes de aproximación a la impresión 3D:

1. Experimentación con fabricación de prototipos sin cambios en el producto.
2. Evolución de la cadena de suministro sin cambios en el producto
3. Evolución del producto a través de la personalización.
4. Evolución del negocio a través de la innovación y mejora de la performance de la organización.

6. CONTEXTOS DE APLICACIÓN DE LA MANUFACTURA ADITIVA Y SU IMPACTO EN ARGENTINA.

En Argentina y de acuerdo con el relevamiento efectuado, la adopción de la tecnología se encuentra en un estadio inicial influenciado por los costos y la accesibilidad del equipamiento requerido

Se verifica una utilización extendida para la fabricación de prototipos y moldes para producción y una incipiente experimentación por algunas empresas para su utilización como reemplazo de piezas en determinados productos.

Diferentes investigadores tratan de establecer un sistema de referencia que facilite comprender el rango y tipo de productos que pueden ser obtenidos con la impresión 3D de acuerdo a atributos como el volumen de producción, grado de personalización y complejidad del producto.

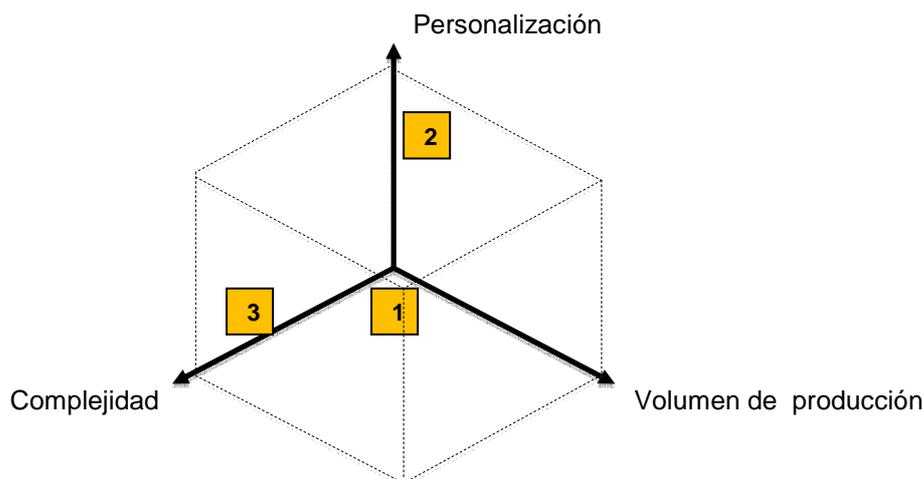


Figura 3 Sistema de referencia para producción con tecnología 3D (basado en Conner B. y otros, [16])

Los atributos mencionados son ventajas para la manufactura 3D cuando se requieran productos complejos y personalizados con bajos volúmenes de producción.

Los tres ejes de referencia determinan los lados de un cubo con ocho regiones donde pueden ubicarse los productos o componentes sin tener en cuenta el sistema de fabricación empleado.

Se interpreta el concepto de la personalización como una manera de lograr la satisfacción del cliente no solamente con el aumento de la variedad sino también a través de la individualización de los productos [17]. La personalización requiere cambios en el diseño de los productos para poder satisfacer las necesidades de los clientes.

La complejidad se refiere a las características de los componentes del producto así como a su geometría y ubicación. En general a mayor complejidad es más difícil su fabricación con los métodos sustractivos tradicionales.

En la Figura 3 se indican las regiones donde la tecnología aditiva presenta las mejores oportunidades y se utilizan en Argentina de acuerdo a los usos y aplicaciones requeridos.

La región 1 comprende productos de bajo volumen de producción y relativa baja complejidad y personalización.

La impresión 3D comienza su desarrollo en esta región con la fabricación de prototipos visuales para las actividades de desarrollo de productos. La primera tecnología 3D empleada es la estereolitografía (SLA) y la posterior mejora de los procesos y materiales permite la obtención de prototipos funcionales y de moldes para la fabricación de piezas.

La posibilidad de obtener prototipos funcionales permite obtener partes o componentes finales de productos. En este caso se tratan de productos de bajo volumen de producción, integrados por partes de baja complejidad y personalización. La parte que se fabrica en 3D se obtiene a menor costo y tiempo de entrega particularmente si la pieza era provista por un proveedor.

La región 2 comprende productos de bajo volumen de producción y relativa baja complejidad pero elevada personalización.

La mayor parte de los productos que se corresponden con esta zona se obtienen en general a partir de impresoras personales 3D siendo los principales usuarios: hobbistas, diseñadores, creativos o inventores según la clasificación de la Figura 1.

Se pueden incluir a prótesis personalizadas, con poca complejidad para aplicaciones en medicina y odontología. En general no se encuentran productos a nivel industrial por los costos y tiempos requeridos para la fabricación de herramental y dispositivos de fijación necesarios.

La región 3 describe a aquellos productos que presentan cierta complejidad cuando se busca enaltecer la funcionalidad o mejorar la apariencia del producto.

La complejidad para productos que se obtienen a partir de los métodos tradicionales de fabricación implica en general mayores costos ya que se requieren operaciones adicionales, mayores tiempos de elaboración y en consecuencia una menor capacidad de producción.

Una posible resolución del problema de la complejidad en productos que se fabrican con las tecnologías sustractivas tradicionales consiste en descomponer el producto en partes o piezas simples para su posterior fijación mediante soldadura. Igualmente se producen costos adicionales con la fabricación e inventario de esas piezas para un posterior ensamble.

A nivel académico, los profesionales y técnicos especializados en el diseño y desarrollo de productos tienen entrenamiento en distintas técnicas y herramientas para reducir la complejidad de los productos en la etapa de diseño y en consecuencia los costos de fabricación.

La técnica DFM&A (Design for Manufacturing and Assembly) cubre tanto la fabricación como el posterior ensamble de las partes del producto. Esta metodología busca reducir la complejidad y aumentar la compatibilidad entre los procesos de transformación y los diferentes recursos y materiales necesarios.

Generalmente se utilizan listas de recomendaciones, guías o manuales de diseño y en muchos casos el DFMA se completa también con la experiencia y conocimiento de los responsables del diseño o de la propia empresa que promueve el desarrollo del producto [18].

Para las tecnologías aditivas la complejidad no es un obstáculo sino una ventaja ya que el producto se elabora capa sobre capa y fabricar una parte compleja es esencialmente lo mismo que hacer una parte simple en lo que respecta a costo y tiempo de elaboración [16].

6.1. Estudio de casos de la industria nacional.

En este apartado describiremos dos casos representativos de la implementación de tecnologías de fabricación aditiva en la industria argentina.

6.1.1 Estudio de caso 1.

Empresa dedicada a la fabricación de avíos y accesorios metálicos utiliza dos variantes en su sistema de impresión 3D, estas surgen a partir de:

Ideas del cliente: El cliente provee un plano, dibujo, foto o producto de la competencia. A partir de esto la empresa brinda el servicio de definir el diseño final, realizando en primera instancia un dibujo 3D en Solidworks y luego generando un modelo 3D realizado a través de una impresora de tecnología FDM de bajo costo (marca Kikai). Originalmente al proceso de diseño constaba sólo de la realización de dibujo y planos, se limitaba el diseño a las dos dimensiones y sólo en algunas ocasiones se realizaban modelos tallados artesanalmente.

Se obtienen a través de este proceso insumos para productos de terceros como apliques para carteras, hebillas p cinturones, entre otros.

Iniciativas propias: A partir de oportunidades detectadas en general en el mercado externo, se realiza un rediseño adaptativo al mercado interno en base a los gustos y costumbres locales. Se confeccionan los modelos en impresión 3D y se evalúan en los distintos sectores del proceso productivo y de diseño hasta la aprobación del proyecto. Luego se lanza la etapa de confección de los herramientas necesarios para comenzar la fabricación.

Se obtienen productos propios como destapadores, adornos, entre otros.

Las ventajas obtenidas fueron la disminución de los tiempos de diseño y un nuevo servicio a los clientes, ya que se realiza el proceso de diseño final, que consta del dibujo 3D en Solidworks del futuro producto y la impresión 3D del modelo final, reduciendo la incertidumbre de cómo va a ser el producto terminado y permitiendo hacer las correcciones necesarias en base a las preferencias del cliente.

6.1.2 Estudio de caso 2.

El caso de una empresa dedicada a la fabricación y comercialización de grifería para baños, cocinas e instalaciones sanitarias utiliza la tecnología aditiva para la fabricación de prototipos y dispositivos para realizar montajes. Fabrican también determinadas piezas finales de algunos de sus productos.

En 2009 incorporan una impresora del tipo FDM (a base de material ABS) marca Stratasys Modelo SST 1200. Esta tecnología permitió mejorar la terminación de los modelos y realizarlos en ABS.

En la etapa de diseño tienen distintas variantes de utilización:

Impresión del prototipo: Al tratarse de las primeras pruebas de aspecto y en caso de tratarse de prototipos que no sea necesario someterlos a presión de fluidos, se realizan directamente en la impresora 3D.

Impresión del modelo: En el caso de tener que realizar pruebas que necesiten someter a presión de fluidos al prototipo, este se imprime y sirve de modelo para generar el molde con el que se funden los primeros prototipos con los materiales finales, permitiendo realizar los ensayos en condiciones reales.

Impresión del molde para realizar prototipos: En un producto específico “diafragma de ducha” cuyo material final es goma y el ABS no representaba sus cualidades, se resolvió realizar el molde impreso (pieza en negativo) y se realizó el prototipo en silicona utilizando ese molde, se probaron distintas siliconas hasta encontrar una variante que otorgaba propiedades similares a la del producto final, pudiéndose realizar las pruebas necesarias para confirmar el diseño.

Impresión del molde para realizar piezas finales: Producto: “junta para ducha”. Para el caso de esta junta de ducha que requerían lotes mínimos, se imprimió el negativo de la pieza para ser utilizado como molde colando la pieza final en silicona. La silicona utilizada le otorgaba las propiedades necesarias requeridas por el diseño para ser utilizada como producto final.

Pieza final fabricada con impresión 3D: Producto: “elemento de sujeción”. Dentro de un conjunto de un sistema de sensor electrónico, se necesitaba realizar un elemento de sujeción que imprimiéndolo en ABS cumplía con los requisitos para el producto final. De esta forma se evitó tener que realizar la matricería, con el ahorro de costos y tiempo asociados.

Otra variante de utilización es la realización de dispositivos para realizar montajes, específicamente: dispositivos para centrado y camas para posicionar y realizar logotipeados.

La principal ventaja obtenida con la implementación de tecnologías de impresión 3D fue la reducción de los tiempos de la etapa de diseño de 9 a 6 meses para un producto estándar.

6.1.3 Estudio de caso 3.

Empresa dedicada al diseño y fabricación de sistemas tecnológicos complejos con más de treinta años de trayectoria en el mercado nacional, desarrolla tecnología de avanzada en diferentes campos de la industria, la ciencia y la investigación aplicada.

Utilizan tecnología de impresión 3D del tipo FDM.

En el diseño de un satélite se realizan prototipos impresos en 3D para realizar comprobaciones dimensionales, por ejemplo para verificar que los cableados puedan realizarse sin sufrir interferencias. Impresión del prototipo de la pieza que sujeta las mantas térmicas, para comprobar que el diseño sea el correcto.

En el caso de una pieza de sujeción se realizó la pieza final en impresión 3D en ABS, pues los requerimientos permitían utilizar ese material como materia prima.

En el diseño de radares primarios, se imprimió básicamente maquetería para realizar comprobaciones dimensionales y posibles interferencias.

En el caso de un avión no tripulado, se realizaron varias piezas finales en ABS, se trata del soporte del tanque de combustible, la carcasa de una cámara para tomar fotos y videos y la cola del avión.

Estos casos estudiados de la industria local se corresponden a los de la región 1 de la Figura 3.

7. CONCLUSIONES.

Las empresas relevadas en la investigación se concentran en la región 1 y representa la entrada natural de la tecnología a partir de la fabricación de prototipos. Las empresas se ubican también en el eje de experimentación con la nueva tecnología.

La adopción de una tecnología de fabricación aditiva no es instantánea y requiere previamente de un estudio y análisis pormenorizado de sus características. Cada una de ellas presenta capacidades, ventajas y limitaciones diferentes según los materiales que emplean, área de impresión del equipo, velocidad de procesamiento, calidad de la pieza obtenida (propiedades mecánicas y dimensionales). En algunos casos puede ser necesario un procesamiento posterior para mejorar las propiedades del material y/o su terminación superficial.

La selección de la tecnología adecuada de acuerdo con lo que se busca obtener es vital ya que no existe una impresora 3D universal, esto facilita en algunas partes del mundo la modalidad de espacios de trabajo compartido con impresoras 3D de diferentes tecnologías.

En Argentina los costos y la accesibilidad a los equipos representa un problema adicional que se espera pueda superarse con la mayor demanda de equipos para diferentes usos.

Existen un conjunto de empresas que fabrican y comercializan equipos en Argentina basados en el sistema de Modelado por Deposición Fundida (FDM), que es la tecnología aditiva más difundida debido al éxito del proyecto RepRap de código abierto y desarrollo libre. El mercado de las impresoras está dirigido a usuarios que requieren impresoras personales 3D e industrias con aplicaciones en general destinadas a la fabricación de prototipos.

La tecnología de fabricación aditiva como cualquier nueva tecnología requiere de conocimientos para su implementación y desarrollo como así también de la infraestructura adecuada como centros de servicio técnico y de firmas proveedoras de los materiales para la operación de los equipos. Una impresora 3D constituye un sistema mecatrónico o sea un dispositivo que realiza un patrón de movimiento continuo durante la impresión a través de motores paso a paso y otros componentes y emplea materiales (insumos) especialmente fabricados para la impresión [5].

En la industria local, las impresoras 3D están ubicadas en sectores específicos para el diseño y desarrollo de productos. Están operadas por diseñadores y programadores para la aplicación típica en la fabricación de prototipos. Se advierte una experimentación en el uso de los equipos para otros usos pero limitada por el tiempo disponible (el día a día) del personal en la organización como así también de las restricciones propias de la tecnología y materiales utilizados.

De acuerdo con las entrevistas realizadas a los especialistas en desarrollo de productos y empresarios de diferentes industrias usuarias de la tecnología se pueden relevar una serie de oportunidades y barreras que se encuentran en la actualidad.

Características Tecnológicas de la Manufactura Aditiva

Oportunidades

- Obtención de objetos físicos (prototipos, partes, productos) en forma directa a partir de un diseño digital en 3D.
- Cambios en el diseño sin costos adicionales en la fabricación.
- Posibilidad de introducir complejidad en el diseño sin costos adicionales en producción.
- Flexibilidad: posibilidad de fabricar objetos en forma aleatoria sin costos adicionales por set up y herramientas especiales.
- Obtención del producto final (prototipo o moldes) en un solo paso.
- Menor cantidad de materias primas requeridas y desperdicios obtenidos.

Barreras

- Área de impresión limitada, dependiendo del tipo de impresora utilizada.
- Baja producción limitada por la velocidad de procesamiento.
- Sin estándares de calidad. Características como terminación superficial y resistencia de los materiales dependientes de las condiciones ambientales y la tecnología específica utilizada.
- Limitaciones para la elección de materiales y colores para la impresión.
- Personal especializado y con experiencia.

Características Económicas de la Manufactura Aditiva

Oportunidades

- Tiempos de ciclo reducidos en desarrollo de productos y/o fabricación con la obtención del objeto en un solo paso.
- “Economía de uno” para la obtención de objetos 3D en comparación con la economía de escala de los sistemas tradicionales.
- Sin costos adicionales para la fabricación de variedad de productos.
- Co-diseño con el usuario para el prototipo o producto favoreciendo la personalización.
- Posibilidad de eliminar ensambles en el objeto directamente obtenido por la impresión.
- Reducción de inventarios para los productos, fabricados cuando se los necesiten.

Barreras

- Elevados costos del equipamiento y baja disponibilidad de las tecnologías aditivas disponibles.
- Elevados costos de los insumos básicos para la impresión.
- Productos finales que dependen de la tecnología y máquina impresora utilizada (área de impresión, velocidad y calidad final).
- Necesidad de capacitación para el personal involucrado con la tecnología.
- Personal especializado y con experiencia.
- Protección de derechos de propiedad intelectual.

Las tecnologías de Fabricación Aditiva son Sistemas Flexibles de Fabricación (FMS) y representan una ventaja competitiva en empresas con entornos caracterizados por la incertidumbre cuando los usuarios buscan variedad y personalización en los productos [10].

La identificación de las posibles aplicaciones de la impresión 3D en una empresa representa una decisión fundamental y la relación costo beneficio se vincula con el valor adicional que pueda obtenerse tanto para el productor como para el usuario del producto.

Las empresas argentinas relevadas en la investigación encuentran ese beneficio en el sector de diseño y desarrollo de sus productos con el prototipado rápido reduciendo los costos de desarrollo al acortar el tiempo en el que el producto llega al mercado.

La utilización de la tecnología en la fabricación de productos finales requiere no solo disponer de la tecnología específica de acuerdo al producto elegido sino también disponer de la información y el conocimiento general necesario para su posible incorporación.

Las organizaciones disponen de capacidades básicas o centrales que según Leonard y Barton [19] las definen como un conjunto de valores basados en habilidades y conocimientos de los sistemas técnicos y gerenciales internos y propios de la empresa y que le dan ventajas o la diferencian de otras organizaciones.

Las organizaciones industriales en general tratan de optimizar su producción a través de los sistemas tradicionales de fabricación ya conocidos. La adopción de una tecnología de manufactura aditiva requiere identificar aquellos productos que puedan beneficiarse con una mayor complejidad y con participación activa de los clientes en el diseño y la fabricación [15].

Las capacidades básicas adquiridas y que otorgan ventajas competitivas pueden convertirse en rigideces básicas que impiden o demoran el cambio [19]. En este sentido y con el objetivo de ampliar los conocimientos, diferentes organismos nacionales como el sector de diseño Industrial del INTI, el Ministerio de Ciencia y Tecnología así como los laboratorios de Universidades Nacionales, promueven la difusión de la tecnología para su posible inserción y aplicación estratégica en el entorno industrial.

8. REFERENCIAS.

- [1] Jacobs, P.F. (1994). *“Rapid Prototyping and manufacturing: Fundamentals of Stereolithography”*, Society of Manufacturing Engineers. Chapter 1, pp. 11-18.
- [2] Stucker, B. (2014) *“Additive Manufacturing Technologies: The Potential Democratization of the Production of Physical Goods”* Dept. of Industrial Engineering Fulbright- University of Louisville. <http://www.uta.fi/yky/en/studies/disciplines/northamericanstudies>
- [3] CM Research (2013) *“3D Printing Who’s Who and Who’s Impacted”*. Issue No. 60. www.cmresearch.co.uk
- [4] Achillas Ch., Aidonis D., Iakovou E. y otros (2014) *“A methodological framework for the inclusion of modern additive manufacturing into the production portfolio of a focused factory”*. Article in press. Journal of Manufacturing Systems (12 pages)
- [5] Vazhnov, A. (2014). *“Impresión 3D: Como va a cambiar el mundo”*. Capítulo 8: Oportunidad 3D. www.institutobaikal.com
- [6] Kietzmann, J., Pitt, L., Berthon, P. (2015) *“Disruptions, decisions and destinations: Enter the age of 3D printing and additive manufacturing”* Business Horizons 58 (pp. 209 – 215).
- [7] Koren, Y, Shpitalni, M. (2010). *“Design of Reconfigurable Manufacturing Systems”*. Journal of Manufacturing Systems, Volume 29, Issue 4, pp. 130-141.
- [8] Koren, Y., Hu, S.J. (2013). *“Open Architecture Products”*. CIRP Annals-Manufacturing . Technology 62, pp.719-729.
- [9] Bergman, B. (2012). *“3-D printing: The new industrial revolution”*. Business Horizons 55, 155-162.
- [10] Weller, C. Kleer R. Piller, F. (2015). *“Economic implications of 3D printing: Market structure models in light of additive manufacturing revisited”*. Int.J.Production Economics 164. pp.43-56.
- [11] Mellor, S., Hao, L. (2014) *“Additive Manufacturing: A framework for implementation”* International Journal of Production Economics. Volume 149. pp. 194-201.
- [12] Cotteler, M., Joyce, J. (2014) *“3D Opportunity: Additive manufacturing paths to performance, and growth”* Deloitte Review, Issue 14 (19 pages).
- [13] Petrick, I.J., Simpson, T. (2013) *“3D printing disrupts manufacturing: How economies of one creates new rules of competition”* Research Technology Management. pp. 12-16.
- [14] D’Aveny, R. (2013) *“3D printing will change the world”* Harvard Business Review. From the march 2013 issue. <https://hbr.org/2013/03/3-d-printing-will-change-the-world>
- [15] Thomas, D. Gilbert, S. (2014). *“Costs and Cost Effectiveness of Additive Manufacturing. A Literature Review and Discussion”*. NIST Special Publication 1176. National Institute of Standards and Technology. U.S. Department of Commerce.
- [16] Conner B.P., Manogharan G.P. y otros (2014) *“Making sense of 3D printing: Creating a map of additive manufacturing products and services”* article in press Additive Manufacturing 9. (13 pages).
- [17] Tseng, M. Jiao, J. Wang, C. (2010). *“Design for Mass Personalization”*. CIRP Annals-Manufacturing Technology 59, pp.175-178.
- [18] Edwards, K.L. (2002) *“Towards more strategic product design for manufacture and assembly: priorities for concurrent engineering”*. Materials & Design (Vol. 23 pp. 651 – 656).
- [19] Leonard – Barton D. (1992) *“Core Capabilities and Core Rigidities: A Paradox in managing New Product Development”*. Strategic Management Journal, Vol13, pp.111-125.