

Tecnologías de fabricación aditiva más utilizadas en Argentina y su impacto en empresas de manufactura

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

*Instituto de Industria, Universidad Nacional de General Sarmiento.
J. M. Gutiérrez 1150, Los Polvorines, Buenos Aires. oramirez@ungs.edu.ar*

RESUMEN.

En los primeros años de la década 2000-2010, comenzaron a introducirse gradualmente en Argentina las tecnologías de impresión 3D.

En los últimos años y en gran medida gracias a la aparición de las impresoras de bajo costo, la utilización de estas tecnologías evidenció un alto crecimiento.

En la primera parte de este trabajo se realiza una descripción de las tecnologías de fabricación aditiva más difundidas en Argentina.

Como cierre de este documento se describen una serie de casos estudiados, que nos permitirá tener un panorama de cómo estas tecnologías se utilizan en las empresas de manufactura del ámbito nacional.

Palabras Claves: Fabricación aditiva, Impresión 3D.

ABSTRACT

In the early years of the 2000-2010 decade, it began to be implemented 3D printing technologies in Argentina.

In recent years, thanks largely to the low-cost printers appearance, the use of these technologies demonstrated high growth.

In the first part of this paper a description of the most widespread in Argentina additive manufacturing technologies is performed.

At the end of this document a number of studied cases are described, that allow us to have an overview about how these technologies are used in manufacturing companies at national level.

Keywords: Additive Manufacturing, 3d Printing.

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 la siguiente definición para dicho proceso de fabricación: "La fabricación aditiva 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".

Las primeras aplicaciones de las tecnologías de fabricación aditiva se vinculan con la obtención de prototipos (prototipado rápido) en las etapas iniciales de realización de modelos conceptuales hasta llegar al prototipo final previo al lanzamiento de producción, también se utiliza esta tecnología de fabricación en otros procesos vinculados con las etapas finales del desarrollo 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 requeridos habitualmente. 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.

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) [2], hizo que diferentes investigadores, Koren [3], Berman [4], Weller [5] 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 [6]. 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 [7].

Petrick I. [8] y D'Aveni [9] 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 [10].

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.

En una primera parte este trabajo detalla las diferentes tecnologías de fabricación aditiva más utilizadas en Argentina y como cierre de este documento se describen una serie de casos estudiados, que nos permitirá tener un panorama de cómo estas tecnologías se utilizan en las empresas de manufactura del ámbito local.

2. DESCRIPCIÓN DE LAS TECNOLOGÍAS DE FABRICACIÓN ADITIVA MÁS UTILIZADAS EN ARGENTINA.

Las tecnologías de fabricación aditiva empiezan a implementarse muy gradualmente en Argentina a partir del año 2000, especialmente para la elaboración de prototipos y maquetas en las etapas de diseño.

Estas aplicaciones comienzan a utilizarse en mayor medida en los últimos años, favorecidas por la aparición de tecnologías de impresión 3D más económicas, en especial las de código abierto, desarrolladas a partir del año 2005, a través del proyecto REPRAP creado por Adrián Bowyer de la Universidad de Bath en Inglaterra. Esta iniciativa cuenta con el apoyo de una comunidad formada por aficionados, profesionales y empresas de distintos países, generando un ambiente colaborativo donde se va enriqueciendo el conocimiento compartido a través de la web.

La tecnología de fabricación aditiva utilizada en estas impresoras de bajo costo es la Fabricación por Filamento Fundido FFF (Fused Filament Fabrication).

A continuación se realiza una breve descripción de las tecnologías de fabricación aditiva más utilizadas en el ámbito nacional.

2.1. Estereolitografía- SLA (Stereo Lithography Apparatus).

La primera tecnología de fabricación aditiva desarrollada es la estereolitografía (stereolithography, SLA), Charles Hull publicó la primera patente en 1986 y fundó la empresa 3D Systems que comercializó su primer modelo en 1987, actualmente es una de las empresas líderes mundiales en el mercado de fabricación aditiva.

Esta técnica consiste en fabricar piezas a partir de resinas líquidas fotosensibles. El proceso de solidificación de la resina se realiza haciendo incidir un haz de luz láser o ultravioleta. Este haz de luz va realizando un barrido sobre el contorno de la pieza, el volumen total se secciona según diversos planos horizontales que determinan las capas que debe seguir el láser en la formación de la pieza final. Una vez producida una capa (superficie plana) el soporte donde se apoya la pieza a realizar desciende y dicha capa es cubierta de resina líquida, este proceso prosigue hasta concluir la fabricación [1].

Las piezas a elaborar en caso de tener partes en voladizo necesitan de soportes que luego son eliminados al terminar el proceso. Esta técnica permite realizar paredes de espesor delgado, geometrías complejas y variadas y dependiendo de las resinas utilizadas se pueden obtener distintas transparencias y rigideces.

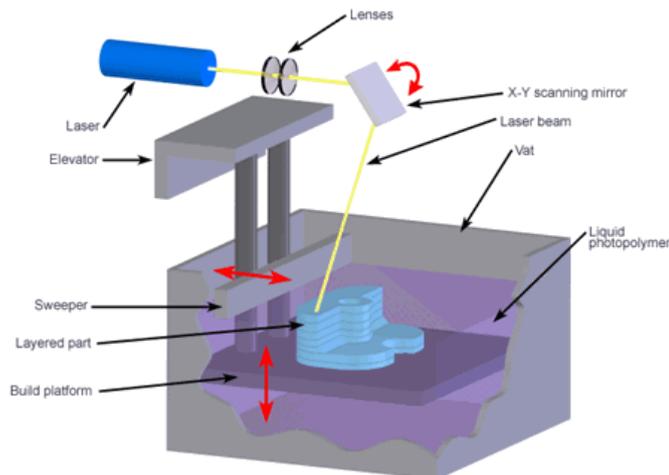


Figura 1 Esquema del Proceso SLA (extraído de custompartnet.com).

2.2. Impresión 3DP- (3 Dimensional Printing).

Este sistema fue desarrollado por el MIT en 1995, es conocido como impresión 3D en lecho de polvo y fue licenciada por las empresas Z Corp y Exone.

Los equipos basados en esta tecnología comercializados por ZCorp utilizan un cabezal estándar de impresora de papel del sistema de chorro de tinta, con el que se rocía según el contorno de la pieza a fabricar un líquido aglutinante sobre un lecho de polvo con base de yeso provocando el endurecimiento del mismo, este proceso se realiza avanzando por capas de abajo hacia arriba hasta completar la pieza a confeccionar.

Algunos modelos presentan varios depósitos de líquido, uno es para el aglutinante y los otros para contener tintas de colores, permitiendo de esta forma imprimir piezas de diversos colores.

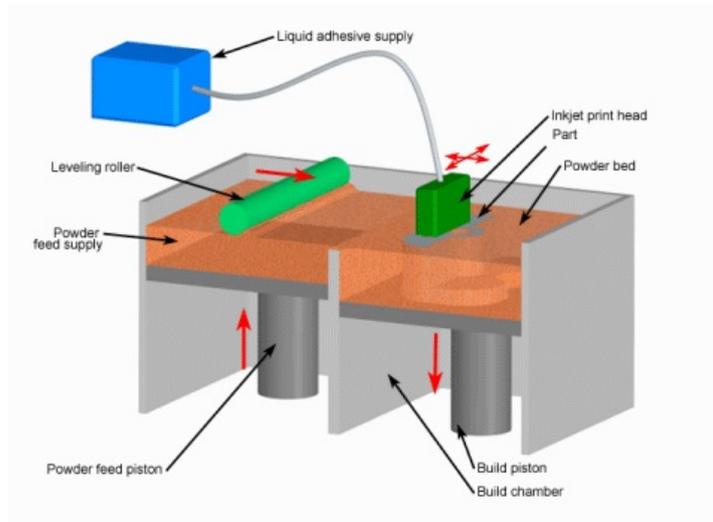


Figura 2. Esquema del Proceso 3DP (extraído de custompartnet.com).

Esta tecnología presenta como aspecto negativo la obtención de piezas frágiles y de terminación superficial no muy buena (90 micrones por capa).

Por otra parte tiene la ventaja de ser un sistema rápido, aproximadamente avanza cuatro capas por minuto.

La empresa Exone fabrica piezas en acero inoxidable infiltradas en oro o bronce.

2.3. Modelado por Deposición Fundida – FDM (Fused Deposition Modeling).

Se trata de una de las tecnologías más difundidas, utiliza materiales como ABS (Acrylonitrile Butadiene Styrene, Acrilonitrilo Butadieno Estireno) pero también pueden utilizarse otros termoplásticos.

La materia prima toma la forma de un hilo arrollado en un carretel, este hilo se hace pasar a través de una boquilla que procede a fundirlo y extruirlo, y lo deposita en una superficie plana según la forma de la pieza a elaborar, de esta forma el volumen va tomando forma en altura por capas sucesivas.

Esta tecnología necesita de soportes para elaborar piezas con partes en voladizo que así lo requieran.

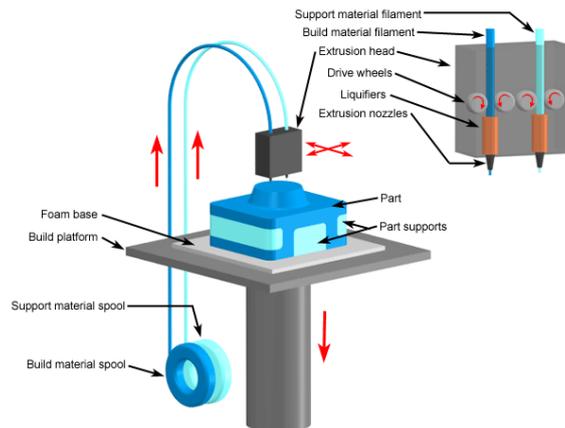


Figura 3. Esquema del Proceso FDM (extraído de custompartnet.com).

El proceso suele ser lento y la terminación superficial en general es baja comparada con otras tecnologías.

2.4. Tecnologías de bajo costo – Proyecto RepRap de Código Abierto.

RepRap es un proyecto colaborativo de código abierto, orientado a crear modelos de impresoras 3D de bajo costo que puedan replicarse a sí mismas.

Este proyecto fue desarrollado a partir del año 2005 por el ingeniero mecánico Adrián Bowyer docente de la Universidad de Bath Inglaterra.

Esta iniciativa cuenta con el apoyo de una comunidad formada por aficionados, profesionales y empresas de distintos países, generando un ambiente colaborativo donde se va enriqueciendo el conocimiento compartido a través de la web.

La tecnología de fabricación aditiva utilizada en estas impresoras de bajo costo es la Fabricación por Filamento Fundido FFF (Fused Filament Fabrication). FFF es equivalente a la tecnología FDM, pero debido a que la terminología Fused Deposition Modeling y la abreviatura FDM es marca registrada por Stratasys Inc., los miembros del proyecto RepRap crearon el término FFF (Fused Filament Fabrication) para evitar problemas legales. Los materiales más utilizados por estos dispositivos son ABS y PLA.

2.5. Tecnologías Polyjet.

Se trata de una tecnología de fabricación aditiva, cuyo principio de funcionamiento es similar al de inyección de tinta de las impresoras de escritorio, la diferencia es que en lugar de inyectar tinta sobre el papel, se inyectan capas de fotorpolímeros en estado líquido para luego ser curadas e ir formando el objeto final a elaborar.

Poseen una resolución entre capas de 16 micrones y una precisión de hasta 0,1 mm, pudiendo realizar formas complejas y espesores de pared finos con una amplia gama de materiales en base a las necesidades del objeto a imprimir.

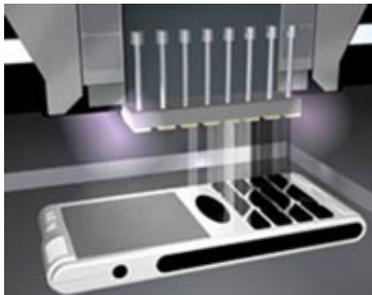


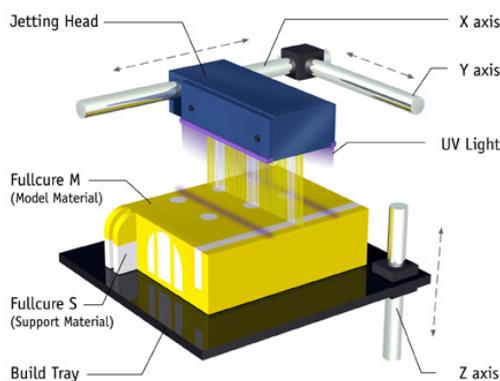
Figura 4. Esquema del Proceso Polyjet (extraído de Stratasys).

Luego de realizado el modelado 3D, un software predetermina en forma automática la ubicación de los fotorpolímeros y del material soporte.

A continuación se procede a imprimir el modelo y el curado de las gotas de fotorpolímero líquido se realiza mediante una luz ultravioleta. Este proceso va acumulando capas en la bandeja de impresión y de esta forma va tomando forma física el objeto 3D modelado previamente con el software.

En caso de existir formas en voladizo en el diseño, la impresora inyecta material de soporte (similar a un gel) generando una estructura auxiliar, que luego se elimina con agua.

Una vez terminado el proceso y retirados los soportes el objeto ya puede ser utilizado sin ningún curado posterior.



The Objet PolyJet Process

Figura 5. Proceso Polyjet (extraído de College of Engineering, University of Saskatchewan).

Podemos mencionar como ventajas de esta tecnología la obtención de superficies muy lisas, alta velocidad de impresión, buena precisión, puede producir formas complejas, se puede imprimir con varios colores y también con distintos tipos de materiales en base a las necesidades pudiéndose mezclar materiales rígidos y blandos. Todo esto permite obtener objetos en caso de realizar prototipos con un alto grado de similitud al producto final.

3. CASOS ESTUDIADOS EN LA INDUSTRIA NACIONAL.

En este apartado describimos los casos estudiados en el ámbito de la industria local en cuanto a la forma en que impacta la implementación de tecnologías de fabricación aditiva.

Para este estudio se seleccionaron empresas dedicadas al desarrollo y fabricación de productos que han implementado tecnologías de fabricación 3D. En este sentido se consideraron a aquellas empresas que disponen de conocimientos técnicos y modos de producción organizada, interacción con el cliente, y cierta estructura organizacional para desarrollar sus actividades.

3.1. Empresa 1.

Empresa dedicada a la fabricación de avíos y accesorios metálicos.

Utiliza dos variantes en la implementación del 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 en Solidworks y luego generando un modelo 3D, realizado con una impresora de tecnología FDM de bajo costo (marca Kikai). Originalmente el proceso de diseño constaba sólo de la realización de dibujos y planos, se limitaba el diseño a las dos dimensiones y sólo en algunas ocasiones se realizaban modelos tallados artesanalmente.

A través de este proceso se obtienen los insumos para definir los productos solicitados por los clientes, siendo estos, apliques para carteras, hebillas para 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 luego de la implementar fabricación aditiva fueron la disminución de los tiempos de desarrollo y brindar 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.

3.2. Empresa 2.

Es el caso de una empresa dedicada a la fabricación y comercialización de grifería en una amplia gama de productos destinados al baño, la cocina y las instalaciones sanitarias.

Esta empresa comienza a utilizar tecnologías de impresión 3D en el año 2008 con la incorporación de una impresora a base de polvo (Zcorp). Con esta tecnología realizaban prototipos para las primeras etapas del diseño, permitiendo visualizar el aspecto del futuro producto y la interacción de las múltiples piezas que lo componen, sin llegar a realizar pruebas funcionales.

Por otra parte utilizaban la técnica de fabricación rápida de moldes (rapid tooling) confeccionando moldes únicos a través de la técnica de "direct tooling", la impresora 3D genera directamente el molde, en este caso este podía utilizarse una sola vez. Con esta técnica se fundían prototipos con materiales finales, lo que permitía realizar pruebas en condiciones reales de uso.

En 2009 incorporan una impresora del tipo FDM marca Stratasys Modelo SST 1200 Fortus. Esta tecnología les permitió mejorar la terminación de las impresiones y realizarlas en ABS.

A partir de la adopción de esta tecnología, la utilización de la fabricación aditiva toma las siguientes variantes que se detallan a continuación.

En el caso de la confección de prototipos, al tratarse de las primeras pruebas de aspecto y si a estos no es necesario someterlos a ensayos o pruebas en su condición de uso final, se realizan directamente en impresión 3D.

Por otra parte, si al prototipo es necesario someterlo a pruebas funcionales en las que se lo debe someter a presión de fluidos, en lugar de utilizar la técnica de "direct tooling" (como se procedía con la tecnología anterior), se pasa a confeccionar el modelo positivo del diseño en impresión 3D, utilizándolo para realizar el molde en arena (técnica de "indirect tooling") con el que se funden los primeros prototipos con los materiales finales, para luego ser sometidos a los ensayos en condiciones reales.

También podemos describir una serie de casos particulares:

Impresión de moldes para realizar prototipos. En un producto específico "diafragma de ducha" cuyo material final es goma y el ABS (material con el que se imprime) no permitía representar sus características mecánicas, debido a esto se resolvió realizar el molde impreso (direct tooling) y a partir de este confeccionar el prototipo en silicona, se probaron distintas siliconas hasta encontrar una variante que otorgaba propiedades mecánicas similares a la del producto final, pudiéndose realizar las pruebas necesarias para confirmar el diseño.

Impresión de moldes para realizar piezas finales. Producto: "junta para ducha". Para el caso de esta junta de ducha, en la que se requerían lotes mínimos, también se utilizó la técnica de "direct tooling", imprimiéndose el molde y colando la pieza final en silicona. La silicona utilizada en este

caso 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.

3.3. Empresa 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 realiza 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 imprime básicamente maquetería para realizar comprobaciones dimensionales y posibles interferencias.

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

3.4. Empresa 4.

Se trata de una compañía global dedicada a investigar, desarrollar, manufacturar y comercializar tecnologías diversificadas, ofreciendo productos y servicios en diversas áreas tales como equipamiento industrial y productos varios. Sus productos tienen posiciones de liderazgo en los diversos mercados donde está presente: artículos de oficina, imagen gráfica, industria electrónica, servicios públicos y comunicaciones, salud, medicina, industria, seguridad personal, seguridad vial y transporte.

A partir del año 2013, el sector de desarrollo de productos incorpora una impresora 3D del tipo FDM, con la que realizan utilizando como materia prima PLA, prototipos en las distintas fases del diseño. Entre otros productos diseñaron un casco y anteojos de seguridad.

En el 2015 se adquieren una impresora 3D de tecnología Polijet, modelo Objet, con la posibilidad de utilizar distintos tipos de materia prima, en base a las necesidades del prototipo a desarrollar. También cuentan con un escáner 3D marca Roland y el software NX para realizar los modelados en 3D. En ocasiones realizan la tercerización de las tareas de modelado fuera de la empresa, dedicándose en esos casos a realizar los detalles finales de diseño.

Este tipo de impresora trabaja con soportes en distinto material al del prototipo, siendo luego removidos simplemente con agua.

En principio esta empresa utiliza solamente la impresión 3D para la realización de prototipos. Últimamente realizaron distintos tipos de desarrollos de nuevos productos en el rubro artículos de limpieza.

Por el momento se dedican a confeccionar en forma excepcional piezas finales sólo si tienen alguna necesidad interna, como reemplazar algún repuesto de un equipo, con la posibilidad de realizar incluso algún rediseño o mejora en dicho elemento.

3.5. Empresa 5.

Empresa dedicada al desarrollo y producción de sistemas para la conducción de agua, desagües, calefacción y gas.

La empresa desde fines de 2013 utiliza una impresora 3D, marca Makerbot del tipo FDM, utiliza como material de aporte ABS y trabaja bajo atmosfera controlada lo que permite una buena calidad de terminación de piezas. Utilizan la tecnología de impresión 3D para diseñar nuevos productos y trabajar sobre rediseños de productos existentes.

También realizan en impresión 3D el diseño de dispositivos para facilitar el montaje en el proceso productivo.

En la etapa de desarrollo se realizan prototipos 3D para facilitar la evolución del diseño, estos prototipos son analizados visualmente y son sometidos a pruebas hasta llegar a una etapa final de evolución donde se realizan ya en los materiales definitivos.

Antes de contar con la impresora 3D los prototipos los realizaban especialistas en maquetería de forma artesanal (no era tarea fácil conseguir disponibilidad de estos especialistas), lo cual

implicaba costos mucho más altos y mayores tiempos hasta contar con el prototipo. Por otra parte una vez que era recibido el prototipo, este ya estaba superado por los cambios ya realizados al diseño. Con el nuevo sistema, hoy cuentan con prototipos actualizados a la última versión del diseño.

Los desarrollos inicialmente son sometidos a simulaciones en PC y en general las pruebas suelen confirmar los cálculos previamente realizados. Igualmente se destaca la posibilidad de corregir tempranamente defectos de diseño a través de la prueba sobre prototipos impresos.

Se plantea como una dificultad la no posibilidad de realizar la impresión en materiales como por ejemplo goma, lo que permitiría realizar pruebas tempranas con los materiales más parecidos a los finales.

Como conclusión se destaca la reducción de tiempo y costos de diseño junto con una mayor calidad del producto final.

4. CONCLUSIONES.

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 estas tecnologías 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 estas impresoras está dirigido a usuarios que requieren impresoras personales 3D e industrias con aplicaciones en general destinadas a la fabricación de prototipos.

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 la elaboración de prototipos, reduciendo los costos de desarrollo al acortar el tiempo en el que el producto llega al mercado.

La elaboración de prototipos no se limita a su impresión directa, sino también se realizan en forma indirecta a través de la impresión de modelos que servirán para realizar los moldes para el posterior fundido del prototipo en el material del producto final (indirect tooling). También se detectó la realización de moldes impresos para realizar en estos la colada de fundición para la obtención de los prototipos deseados (direct tooling).

Se observó la utilización de fabricación aditiva para la realización de dispositivos auxiliares para ayudar al montaje en la línea de producción. También la realización de piezas únicas para reemplazo de roturas eventuales en equipos del sector de producción o adaptaciones según sea necesario.

En cuanto a la obtención de productos finales, se detectó que es muy escasa esa variante, limitándose a componentes de productos de baja complejidad, confeccionados en general en impresoras de buena calidad de terminación.

También se detectó la obtención de productos finales en forma indirecta, a través de la colada de fundición sobre moldes impresos.

Según surge de las entrevistas, uno de los factores determinantes por los que prácticamente no se realizan productos finales impresos, en comparación con la tendencia existente en mercados centrales, es el alto costo de las tecnologías de fabricación aditiva necesarias para imprimir metales, y la imposibilidad de amortizar estos equipos, con la escala de producción local.

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 - Barton [11] 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 [10].

Las capacidades básicas adquiridas y que otorgan ventajas competitivas pueden convertirse en rigideces básicas que impiden o demoran el cambio [11]. 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.

5. REFERENCIAS.

- [1] Jacobs, P. F. (1994). *Rapid Prototyping and manufacturing: Fundamentals of Stereolithography*. Society of Manufacturing Engineers. Capítulo 1, páginas 11-18
- [2] Koren, Y.; Shpitalni, M. (2010). "Design of Reconfigurable Manufacturing Systems" *Journal of Manufacturing Systems*, Volumen 29, número de fascículo 4, páginas 130-141.
- [3] Koren, Y.; Hu, S.J. (2013). "Open Architecture Products". *CIRP Annals-Manufacturing Technology*. Volumen 62, número de fascículo 2, páginas 719-729.
- [4] Bergman, B. (2012). "3-D Printing: The new Industrial Revolution". *Business Horizons*. Volumen 55, número de fascículo 2, páginas 155-162.
- [5] 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. páginas 43-56.
- [6] Mellor, S.; Hao, L. (2014). "Additive Manufacturing: A framework for implementation". *International Journal of Production Economics*. Volumen 149. páginas 194-201.
- [7] Cotteler, M.; Joyce, J. (2014). "3D Opportunity: Additive Manufacturing paths to performance, and growth". *Deloitte Review*. número de fascículo 14.
- [8] Petrick, I.J.; Simpson, T.(2013). "3D printing disrupts manufacturing: How economies of one creates new rules of competition". *Research Technology Management*. Volumen 56. número de fascículo 6. páginas 12-16.
- [9] D'Aveny, R. (2013). "3D printing will change the world". *Harvard Business Review*. fascículo de marzo de 2013. <https://hbr.org/2013/03/3-d-printing-will-change-the-world>
- [10] 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.
- [11] Leonard-Barton, D. (1992). "Core Capabilities and Core Rigidities: A Paradox in managing New Product Development". *Strategic Management Journal*. Volumen 13. páginas 111-125.