

IMPRESIÓN 3D EN UNA CADENA DE VALOR DEL SECTOR POST VENTA
AUTOMOTRIZ

PROYECTO DE GRADO

FELIPE PALACIO BUITRAGO

UNIVERSIDAD ICESI
FACULTAD DE CIENCIAS ECONÓMICAS Y ADMINISTRATIVAS
PROGRAMA DE MERCADEO INTERNACIONAL Y PUBLICIDAD
SANTIAGO DE CALI
2015

IMPRESIÓN 3D EN UNA CADENA DE VALOR DEL SECTOR POST VENTA
AUTOMOTRIZ

PROYECTO DE GRADO

FELIPE PALACIO BUITRAGO
ESTUDIANTE INGENIERÍA INDUSTRIAL
MERCADERO INTERNACIONAL Y PUBLICIDAD

TUTOR
JUAN ANTONIO GUDZIOL
ADMINISTRADOR DE EMPRESAS
PHD DIRECCIÓN ESTRATÉGICA

UNIVERSIDAD ICESI
FACULTAD DE CIENCIAS ECONÓMICAS Y ADMINISTRATIVAS
PROGRAMA DE MERCADERO INTERNACIONAL Y PUBLICIDAD
SANTIAGO DE CALI
2015

TABLA DE CONTENIDOS

- TABLA DE ILUSTRACIONES 4
- TABLA DE TABLAS 5
- RESUMEN 6
- 1. ELECCIÓN Y DELIMITACIÓN DEL TEMA: 6
 - 1.1 CONTEXTUALIZACIÓN, ELEMENTOS Y FORMULACIÓN DEL PROBLEMA 6
 - 1.2 FROMULACIÓN DEL PROBLEMA 11
 - 1.3 JUSTIFICACIÓN E IMPORTANCIA 11
 - 1.4 DELIMITACIÓN Y ALCANCE 13
- 2. OBJETIVOS 14
 - 2.1 OBJETIVOS DEL COMPONENTE TÉCNICO 14
 - 2.1.1 OBJETIVO GENERAL 14
 - 2.1.2 OBJETIVO DEL PROYECTO 14
 - 2.1.3 OBJETIVOS ESPECÍFICOS 14
 - 2.1 OBJETIVOS DEL COMPONENTE MERCADOLÓGICO 15
 - 2.2.1 OBJETIVO GENERAL 15
 - 2.2.2 OBJETIVO DEL PROYECTO 15
 - 2.2.3 OBJETIVOS ESPECÍFICOS 15
- 3. ASPECTOS METODOLÓGICOS: 16
 - 3.1 MATRIZ DE MARCO LÓGICO 16
- 4. MARCO DE REFERENCIA 18
 - 4.1 MARCO TEÓRICO 18
 - 4.2 Aporte crítico 24
- 6. DESARROLLO DEL PROYECTO | COMPONENTE TÉCNICO 26
 - 6.1 RECOLECCIÓN Y PROCESAMIENTO DE DATOS 26
 - 6.2 ANÁLISIS DE LA INFORMACIÓN 32
 - 6.3 MODELACIÓN 34
 - 6.4 PRUEBAS FUNCIONALES Y DE RESISTENCIA 40
 - 6.5 PROPUESTA Y JUSTIFICACIÓN DE SOLUCIONES 48
- 7. CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES COMPONENTE TÉCNICO 51
- 8. DESARROLLO - COMPONENTE MERCADOLÓGICO 53
- 9. ANEXOS 60
- 10. BIBLIOGRAFÍA 61

TABLA DE ILUSTRACIONES

Ilustración 1 Fuente: U.S. DOT Table 1-23: World Motor Vehicle Production, Selected Countries. Fecha: 2013	7
Ilustración 2 Fuente: U.S. DOT Table 1-23: World Motor Vehicle Production, Selected Countries. Fecha: 2013	7
Ilustración 3 Fuente: OPERACIONES LOGÍSTICAS; Disponible en internet en: http://logisticaenchile.blogspot.com/2009/06/cadena-de-abastecimiento-supply-chain.html ; Fecha: 2009	8
Ilustración 4 Fuente: Audi PNG; Disponible en internet en: http://imgkid.com/audi-png.shtml ; Fecha: 01/2015.....	9
Ilustración 5 Fuente: RENAULT CLIO 2015; Disponible en internet en: http://autos.demotores.com.ar/vm-61-renault-clio ; Fecha: 2015.....	10
Ilustración 6 Fuente: The Minitab Blog [En línea]	12
Ilustración 7 Capacidad instalada de manufactureras Fuente: 3ders.org.....	23
Ilustración 8 Algunos clientes de StratasyS Fuente: 3dprintingstocks.com	23
Ilustración 9 Matriz de costos vs tiempo de respuesta Fuente: El autor.	28
Ilustración 10 Matriz de valor en inventarios vs cantidad de SKU's Fuente: El autor.	28
Ilustración 11 Matriz de rotación en inventario vs costo Fuente: El autor.	29
Ilustración 12 Estructura interna del asiento del conductor Fuente: El autor	33
Ilustración 13 Estructura interna del asiento del conductor Fuente: El autor	33
Ilustración 14 Estructura interna del asiento del conductor Fuente: El autor Observaciones: en esta imagen se puede detallar la pieza en cuestión, señalada por la flecha amarilla.	33
Ilustración 15 Plano en SolidWorks de la pieza Fuente: El autor	35
Ilustración 16 Vista Dimétrica de la pieza Fuente: El autor	36
Ilustración 17 Vista Inferior de la pieza Fuente: El autor	36
Ilustración 18 Vista Isométrica de la pieza Fuente: El autor	36
Ilustración 19 Vista Isométrica inferior de la pieza Fuente: El autor.....	36
Ilustración 20 Vista Isométrica posterior superior de la pieza Fuente: El autor	36
Ilustración 21 Vista Lateral de la pieza Fuente: El autor	36
Ilustración 22 Vista Libre 1 de la pieza Fuente: El autor.....	36
Ilustración 23 Vista Libre 2 de la pieza Fuente: El autor.....	36
Ilustración 24 Vista Libre 3 de la pieza Fuente: El autor.....	36
Ilustración 25 Vista Posterior de la pieza Fuente: El autor.....	37
Ilustración 26 Vista Superior de la pieza Fuente: El autor.....	37
Ilustración 27 Vista Trimétrica de la pieza Fuente: El autor	37
Ilustración 28 Vista preliminar de la impresión tridimensional de la pieza Fuente: El autor.....	37
Ilustración 29 Vista del número de capas que requerirá la pieza durante la impresión Fuente: El autor.....	38
Ilustración 30 Pieza con material de soporte, vista superior Fuente: El autor.....	39
Ilustración 31 Pieza con material de soporte, vista lateral Fuente: El autor	39
Ilustración 32 Pieza sin material de soporte vista lateral Fuente: El autor	39
Ilustración 33 Pieza sin material de soporte, vista superior Fuente: El autor	39

Ilustración 34 Pieza impresa (izquierda) junto con la pieza original Fuente: El autor.....	39
Ilustración 35 Análisis de elementos finitos – Pieza sometida a prueba de torsión Fuente: El autor	43
Ilustración 36 Máquina de torsión Universidad Autónoma de Occidente Fuente: El autor	45
Ilustración 37 Montaje de pieza en máquina de torsión Universidad Autónoma de Occidente Fuente: El autor	45
Ilustración 38 Montaje de pieza en máquina de torsión Universidad Autónoma de Occidente Fuente: El autor	45
Ilustración 39 Montaje de pieza en máquina de torsión Universidad Autónoma de Occidente Fuente: El autor	45
Ilustración 40 Montaje de pieza en máquina de torsión Universidad Autónoma de Occidente Fuente: El autor	46
Ilustración 41 Montaje de pieza en máquina de torsión Universidad Autónoma de Occidente Fuente: El autor	46
Ilustración 42 Fractura pieza impresa Fuente: El autor.....	47
Ilustración 43 Bajo costo y bajo tiempo de respuesta Fuente: El autor.....	53
Ilustración 44 Bajo inventario y bajo número de ítems Fuente: El autor.....	53
Ilustración 45 Baja rotación en inventario y bajo costo Fuente: El autor	53
Ilustración 46 Principales marcas (vitrinas) entrevistadas en la ciudad de cali Fuente: El autor	54
Ilustración 47 Sistema tradicional de importación de vehículos Fuente: El autor	56
Ilustración 48 Sistema tradicional de importación de auto partes Fuente: El autor	58
Ilustración 49 Propuesta del nuevo diseño de la cadena de valor fuente: el autor	59

TABLA DE TABLAS

Tabla 1 Matriz de Marco Lógico Fuente: El autor.....	17
Tabla 2 Negocios que ofrecen servicios con manufactura aditiva Fuente: El autor.	21
Tabla 3 Referencias de piezas plásticas seleccionadas Fuente: Concesionario en el norte de Cali.	31
Tabla 4 Informe del modelo Fuente: El autor.....	40
Tabla 5 Unidades Fuente: El autor.....	41
Tabla 6 Propiedades del material Fuente: El autor	41
Tabla 7 Cargas y sujeciones Fuente: El autor	42
Tabla 8 Información de la malla Fuente: El autor.....	42
Tabla 9 Información detallada de la malla Fuente: El autor.....	42
Tabla 10 Resultados del Análisis de elementos finitos – Pieza sometida a prueba de torsión Fuente: El autor	43
Tabla 11 Resultados pruebas de torsión, pieza original vs pieza impresa Fuente: El autor.....	46
Tabla 12 Tabla de costos de la impresión 3D de la pieza Fuente: El autor	48
Tabla 13 Referencias candidatas bajo los parámetros de impresión Fuente: Concesionario norte de Cali y el autor.....	51

RESUMEN

El documento contiene información acerca de la implementación de impresión tridimensional en el área Post Venta del sector automotriz, a través de una prueba piloto en aras a demostrar su alcance e impacto. De igual modo la segunda parte del proyecto, indaga sobre la posible transformación que enfrenta la cadena de valor implementando dicha tecnología en el sector, teniendo en cuenta la voz del cliente y de las demás entidades que participan en su entorno.

Palabras Clave:

Impresión tridimensional, Manufactura Aditiva, Sector Post Venta Automotriz, Repuestos, Autopartes, Tecnologías verdes, entrevistas en profundidad a expertos, cadena de valor, Supply Chain, red de abastecimiento, atención al cliente, Lead Time, Canal de distribución.

1. ELECCIÓN Y DELIMITACIÓN DEL TEMA:

1.1 CONTEXTUALIZACIÓN, ELEMENTOS Y FORMULACIÓN DEL PROBLEMA

Actualmente la industria automotriz sigue siendo gran generadora de empleo ya que además de la mano de obra directa que requiere, genera toda una industria paralela de componentes. Hasta 1950 la mayoría de los vehículos de combustión interna fueron manufacturados en Detroit, manteniendo una cuota de alrededor del 80%. En esa época Detroit era considerado el monopolio de los autos. Reino Unido, Francia, Alemania y Japón luego se unieron a la fiesta con nuevas propuestas y precios que le dieron la vuelta a ese 80% de producción del que gozaban los norteamericanos. Para 1980, esos países habían producido más del 80% de los autos que se vendían en el mundo.

Posteriormente países como Corea del Sur y China en la década de los 90's empezaron a aumentar sus volúmenes de producción, posicionándose para el 2004 entre los primeros 5 productores de autos a nivel mundial, superando a Francia e Italia. China alrededor del 2009 logró aumentar su volumen de producción casi en un 700%.

En el 2006 se manufacturaron más de 69 millones de vehículos de combustión interna. En ese mismo año 16 millones de vehículos nuevos fueron vendidos en los EEUU, 15 millones en Europa, 7 millones en China y 2 millones en India. En el 2013, el volumen de producción de los EEUU, Japón, Alemania, Francia y Reino Unido se redujo a un 34%, mientras que nuevos países manufactureros como China, Corea del Sur, India, Brasil y México, produjeron el 43% de los vehículos. Se pronostica para el año 2018 un volumen de producción del orden de los 100 millones de vehículos.

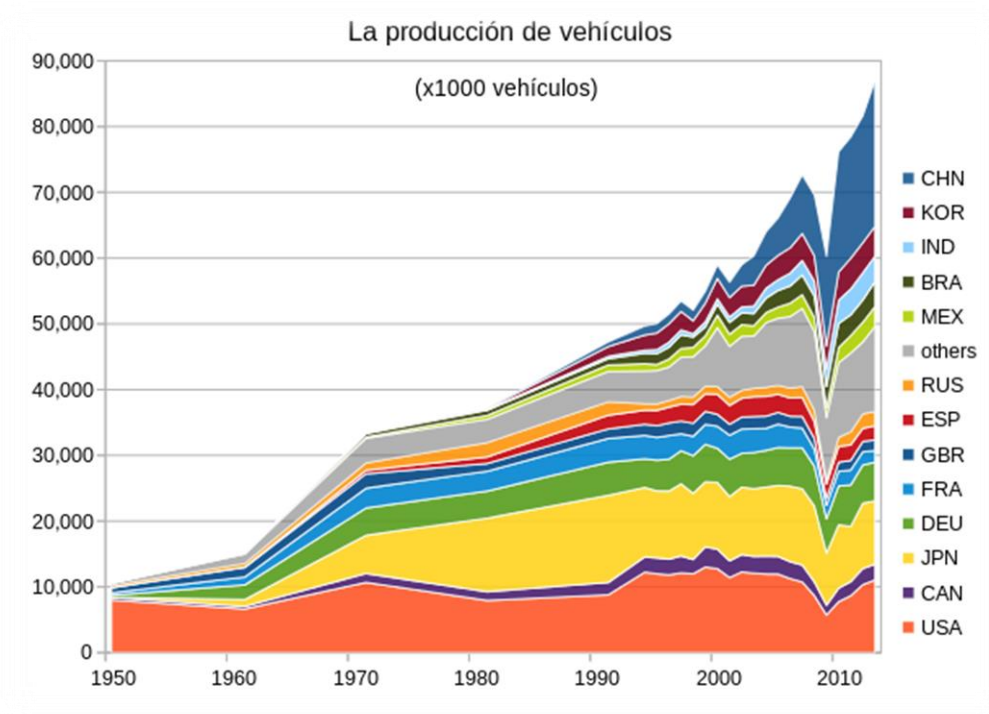


Ilustración 1 | Fuente: U.S. DOT Table 1-23: World Motor Vehicle Production, Selected Countries. Fecha: 2013

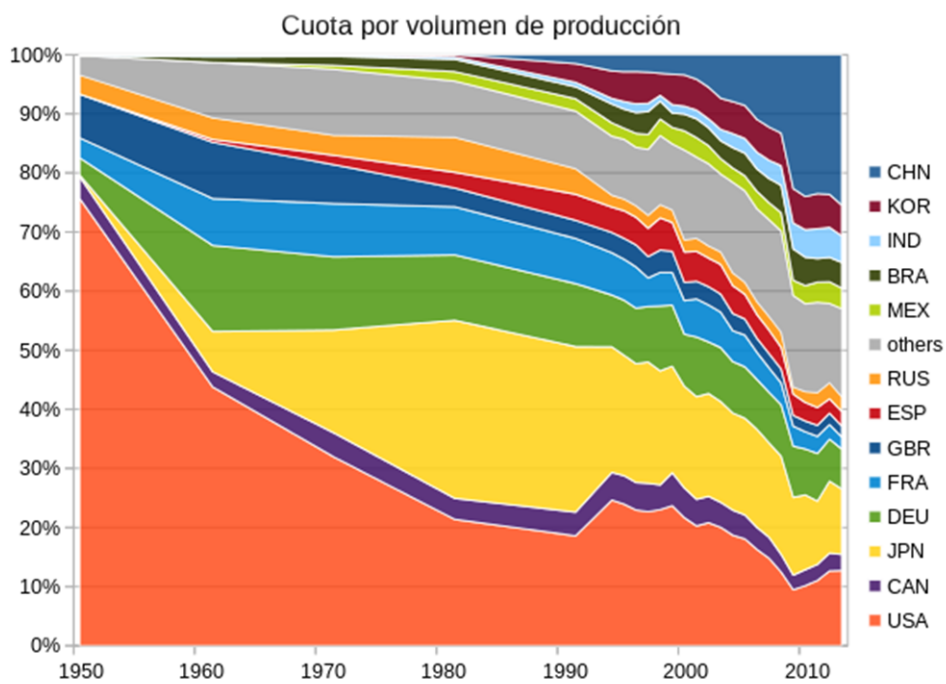


Ilustración 2 | Fuente: U.S. DOT Table 1-23: World Motor Vehicle Production, Selected Countries. Fecha: 2013

Una cadena de suministro está formada por todas aquellas partes involucradas de manera directa o indirecta en la satisfacción de la solicitud de un cliente. La cadena de suministro incluye no solamente al fabricante y al proveedor, sino también a los transportistas, almacenistas, vendedores al detalle (o menudeo) e incluso a los mismos clientes. Dentro de cada organización, como la del fabricante, abarca todas las funciones que participan en la recepción y el cumplimiento de una petición del cliente. Estas funciones incluyen, pero no están limitadas al desarrollo de nuevos productos, la mercadotecnia, las operaciones, la distribución, las finanzas y el servicio al cliente.

Actualmente el concepto ha evolucionado un poco. Ya no se habla de “cadena de abastecimiento”, se habla más bien de “red de abastecimiento”. El proceso ha dejado de ser secuencial para convertirse en un flujo de información entre muchas partes de forma reversible. Ya no se transa un producto en una sola dirección, la retroalimentación y los procesos inversos también tienen que ser tenidos en cuenta.

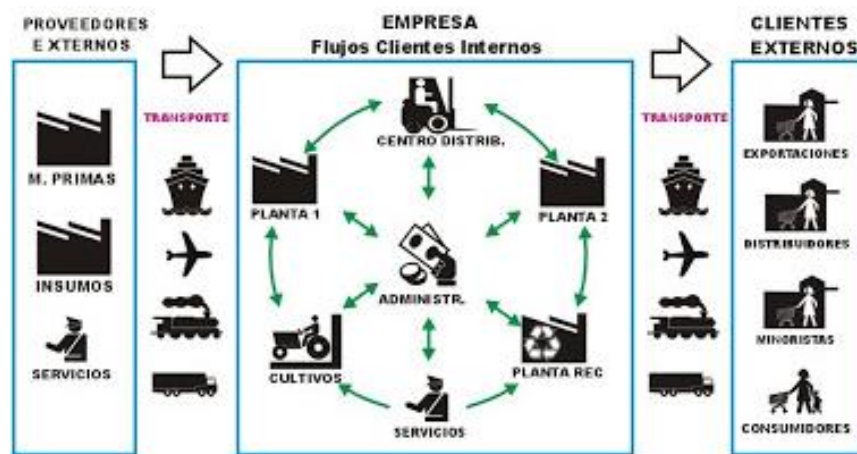


Ilustración 3 | Fuente: OPERACIONES LOGÍSTICAS; Disponible en internet en:

<http://logisticaenchile.blogspot.com/2009/06/cadena-de-abastecimiento-supply-chain.html>; Fecha: 2009

Un maestro del manejo de suministros con múltiples proveedores es Audi. La fábrica de Audi en Neckarsulm - Alemania, elabora la carrocería, el chasis y los interiores del R8. Más de 4500 personas trabajan allí y también fabrican los sedanes A6 y A8. Pero solamente 128 operarios de la fábrica, califican para trabajar en la línea de ensamblaje de la joya maestra alemana: El Audi R8. En un día de trabajo la fábrica ensambla sólo 20 de estos autos. La construcción del R8 empieza a más de 6000 kilómetros de distancia, en la planta de aluminio de Alcoa en Davenport – Iowa. Toda la carrocería de este auto se encuentra hecha de aluminio, el uso de este material reduce el peso de su marco a sólo 210 Kg, menos de la mitad del peso de un marco de acero. Alcoa es el socio principal de Audi en la tecnología de paneles de aluminio y uno de los muchos proveedores de este material para la carrocería de sus autos. A esta planta de aluminio le suministran otras empresas los distintos insumos que conforman la aleación de cada panel. Estas fundidoras, le proporcionan a Alcoa barras de aluminio puras llamadas lingotes y otros insumos como magnesio y silicio que son parte de la aleación. Una vez Alcoa transforma todos estos insumos en enormes rollos de lámina de aluminio de alrededor de 9 toneladas, son enviados a otro proveedor que los troquela. Luego en Neckarsulm – Alemania, los paneles son transformados en diferentes piezas con las que se ensamblará

posteriormente el auto, con increíbles curvas aerodinámicas, todo gracias a un complejo sistema con el que cuenta Audi de hidromoldeado.



Ilustración 4 | Fuente: Audi PNG; Disponible en internet en: <http://imgkid.com/audi-png.shtml>; Fecha: 01/2015

Por otra parte el motor de este auto es fabricado en Hungría y se traslada a en Neckarsulm – Alemania, para unirse a la línea de ensamble. Se requieren más de 5000 piezas diferentes para elaborar la carrocería del Audi R8. Todo lo anterior sin contar con los innumerables insumos secundarios como pintura, anticorrosivos, discos, pistones, válvulas, entre muchos más que provienen de distintos proveedores alrededor del mundo. Hay 14 estaciones de ensamblaje en la línea del R8. Cada etapa de producción tiene una serie de tareas que deben completarse en total de 30 minutos. A pesar del riguroso cronometraje, no hay ni un solo robot a la vista, ya que todo se hace a mano. Cada auto cuenta con un libro personalizado que siempre lo acompaña. Este es único para cada auto y contiene todas las especificaciones del cliente. Lo cual quiere decir que a pesar de tratarse del mismo modelo, este puede llegar a presentar muchas variaciones. En la estación 1, técnicos tienden una autopista de cables por todo el auto. Cables que dependiendo de sus fines (ya sea conducir energía al sistema eléctrico, motor, parlantes, servodirección o tablero de instrumentos), pueden llegar a diferir de proveedor. El juego de faros de luces viene de una planta de Volks Wagen en Alemania. Las líneas de dirección vienen de Rumania, los pedales de freno y embrague de Inglaterra y las líneas de agua de Francia. El tanque de combustible de 90 litros viene de España. Cada estación instala alrededor de 50 piezas en un orden preciso y con un uso de más de 12 herramientas diferentes. El tablero y los instrumentos se unen al auto en estaciones posteriores, sin embargo estos ya vienen previamente ensamblados, contando con cientos de piezas sub-ensambladas en alguna otra planta de Audi en Alemania. Son más de 5000 piezas las que se requieren para la fabricación de un Audi R8 y un total de 536 proveedores.

Si todo lo anterior parece complejo, ni se ha de imaginar lo que ocurre en marcas un poco más populares como Renault, Ford y General Motors. El negocio de toda industria automotriz no es únicamente la fabricación de automóviles. El negocio también consiste en la fabricación de repuestos. Según Econometría 2013, Renault maneja en Colombia alrededor de 147 referencias distintas de vehículos que van desde camiones hasta autos como sus famosos Twingos y Clios. Pensemos por un momento en la cantidad de intermediarios que tuvieron que participar en la fabricación, almacenamiento y distribución de estos autos. A ellos se les debe desde la concepción hasta la distribución a las vitrinas de cada uno de estos vehículos, donde seguramente conocerán por primera vez a su dueño. Ahora bien pensemos también en lo complejo que podría llegar a ser atender alguna reparación que llegase a pedir cualquiera de estos vehículos en un taller, en

cualquiera de las innumerables cedés de atención al cliente alrededor del país. Hablando únicamente del Renault Clio, tenemos que se trata de un vehículo muy comercial en Colombia, con más de 15 versiones diferentes como el Clio AT, Clio Campus CA/ DA, Clio Campus CA/ SDA, Clio Campus SA/ SDA, Clio DYNAMIQUE, Clio EXPRESSION (COOL SA), Clio EXPRESSION PACK (COOL CA), Clio RL, Clio RN, Clio RS 1.6 y el Clio RT. De los cuales circulan alrededor de 45533 vehículos de lo corrido desde el 2000 al 2013. No todos fueron fabricados en el mismo lugar, no todos fueron fabricados con las mismas piezas, y por ende aquí es donde surge el problema. Para los diferentes centros de atención al cliente no es rentable almacenar todos los repuestos de todos los vehículos, para esperar a que un buen día llegue un cliente solicitando uno de estos. Por lo tanto imagine lo complicado que podría llegar a ser que un cliente de un modelo no tan reciente, solicite un repuesto que no se encuentra un taller o inclusive en la casa matriz de repuestos que por lo general se encuentra en Bogotá. El despliegue de operaciones logísticas, el dinero y el tiempo invertidos para encontrar ese repuesto en cualquier otro lugar del mundo son muy altos.



Ilustración 5 | Fuente: RENAULT CLIO 2015; Disponible en internet en: <http://autos.demotores.com.ar/vm-61-renault-clio>; Fecha: 2015.

Sin embargo existe una solución para todos estos problemas, esta tecnología se conoce como impresión tridimensional. Una impresora 3D, es una máquina que te permite literalmente imprimir objetos modelados en tres dimensiones en un computador. Es una tecnología que en primera instancia choca contra lo convencional, contra lo que estamos acostumbrados, pero el tema es tan sencillo como imaginar, que ya es posible, traer a la realidad objetos que alguna vez fueron concebidos en una computadora. Todo lo anterior gracias a una sola máquina. Una vez dispongas de un archivo CAD (por sus siglas en inglés que significan: “Diseño Asistido por Computadora”), que podemos modelar en programas como Rhino, SolidWorks, o inclusive Google Sketchup, es sólo cuestión de oprimir el botón que dice “imprimir” y la impresora 3D con la que se cuente, lo imprimirá en el material y color que le permita su tecnología (ya que existen más de 14 diferentes tecnologías y cientos de materiales diferentes).

¿Entonces porqué esta tecnología podría beneficiar ampliamente al sector post venta automotriz? La razón es muy sencilla. Imagine que cada taller que manejara repuestos tuviese una impresora 3D. Adicionalmente suponga que en vez de contar con una bodega gigante de almacenamiento para guardar repuestos, contara más bien con un buen disco duro en un PC, donde se almacenaran todas las piezas de todos los vehículos que vende y ha vendido ese concesionario, de modo que cuando llegue el cliente a solicitar una pieza, el taller solo tuviese que imprimirla e instalarla en tiempo record, comparado con lo que demandaría una pieza que no se encontrase en el taller, ni en Bogotá en la casa matriz y que se tuviese que buscar en otro lugar del mundo.

1.2 FORMULACIÓN DEL PROBLEMA

En virtud de todo lo anterior, el trabajo se orienta al análisis de una solución para la cadena de valor del sector post venta automotriz, por medio de la implementación de una tecnología llamada manufactura aditiva, más conocida como impresión 3D. Por lo tanto el estudio busca responder los siguientes interrogantes:

- ¿Redefiniría la implementación de esta tecnología, el modelo actual que conocemos de la cadena de suministro para el sector post venta automotriz?
- ¿Se generarían mejoras considerables en cuanto a tiempos de respuesta, almacenamiento, costos y distribución?
- ¿Podría esta tecnología llegar a reemplazar algunos repuestos cruciales (como por ejemplo los de baja rotación)?
- ¿Cómo afectaría esta tecnología a los talleres que manejan stocks de repuestos?
- ¿Cómo percibirían los clientes esta solución?

1.3 JUSTIFICACIÓN E IMPORTANCIA

Tradicionalmente existe un modelo mercantil, en el que la gran mayoría de los consumidores esperan un producto o un servicio, después de que este haya atravesado por flujos de información y ciertas operaciones. Hablando exactamente de un producto como tal, existe un tiempo para su concepción (origen), creación y distribución. Esta línea de tiempo nace desde que se diseña el producto, se obtiene su materia prima, se le realizan sus respectivas pruebas para determinar su conformidad, luego es manufacturado, pasa por ciertas operaciones logísticas, es empacado, almacenado y posteriormente distribuido hasta llegar a donde un intermediario (detallista), quién le permitirá al cliente tener acceso al producto.

Esta línea de tiempo puede hacerse más corta implementando la impresión tridimensional, trayendo junto con ella múltiples beneficios como:

- Acortar distancias (ahora lo que se vaya a imprimir se manda por correo electrónico.)

- Aprovechar espacios (ya no se requieren grandes bodegas de almacenamiento de materia prima o inclusive de distribución)
- Menor impacto ambiental (por la naturaleza de la manufactura aditiva, el hecho de imprimir capa por capa un producto, implica que la impresora únicamente use la cantidad exacta de material que requiere para imprimir el modelo, no hay ni sobrantes ni faltantes.)
- Dependiendo del tipo de impresora, se puede escoger entre una amplia gama de materiales, tales como vidrio, metales, polímeros, resinas, cerámicas, entre otros, que permiten omitir el tener que recurrir a diferentes recursos tanto energéticos como físicos para obtener ni siquiera los mismo resultados, ya que las impresoras 3D se destacan por su calidad y precisión frente a muchos métodos convencionales.
- Es la forma más rápida de desarrollar nuevas ideas y prototipos.
- Permite estudiar de cerca un producto o una idea en vías de desarrollo e inclusive probarlas funcionalmente.
- Permiten realizar ensambles complejos desde una sola pieza (es decir, una sola impresión).

A continuación se presenta un gráfico con algunas de las aplicaciones que brinda la impresión 3D:

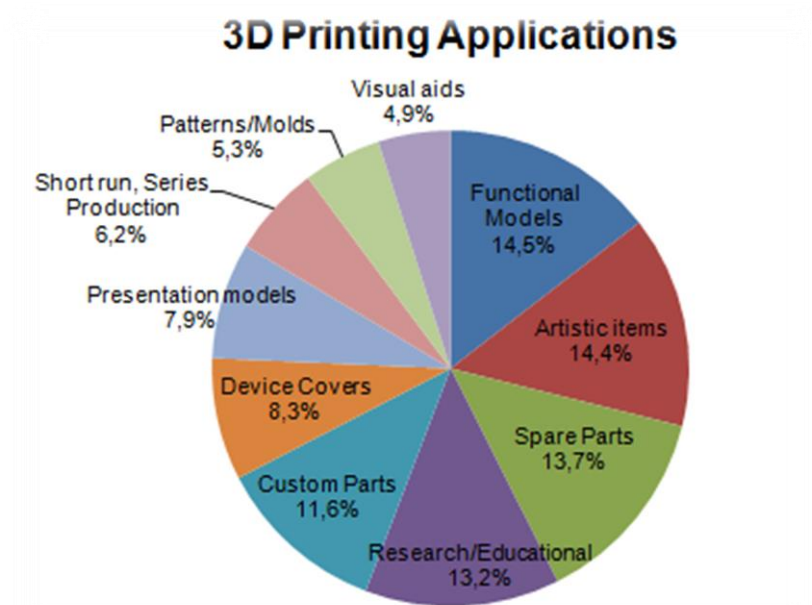


Ilustración 6 | Fuente: The Minitab Blog [En línea]

Por otra parte es muy importante no sólo la voz del cliente, sino también el dialogo con el cliente. Por tanto el proyecto también enfoca su importancia a escuchar a los eslabones de esta cadena de suministro, particularmente a los concesionarios y a los clientes, con el fin

de comprender si se sienten beneficiados con esta tecnología y si estarían dispuestos a hacer uso de esta misma.

1.4 DELIMITACIÓN Y ALCANCE

El proyecto hace parte de una evolución y tendencia industrial que se ha estado desarrollando desde los años 80s, convirtiéndose hoy en lo que se conoce como manufactura aditiva y quizás en un futuro cercano como la segunda revolución industrial. Su desarrollo será llevado a cabo para apoyar o eventualmente complementar procesos del sector post venta automotriz. No se pretende reemplazar la manufactura convencional con la manufactura aditiva, simplemente mostrar una alternativa de producción que beneficie el servicio al cliente. Sus requerimientos serán atendidos mucho más rápido que los métodos convencionales, gracias a que con esta tecnología se pasa a un ambiente de trabajo de producción bajo pedido, contando adicionalmente que se pueden omitir varios eslabones de la cadena de abastecimiento.

Espacial: El proyecto se desarrolla en el Valle del Cauca con el apoyo de una empresa de la industria automotriz.

Temporal: El proyecto se desarrolla en el lapso de tres semestres académicos del 2014 al 2015.

Se estudiará la tecnología, incluyendo factores como materias primas, beneficios, impacto ambiental y aplicaciones. Se utilizarán uno de estos dos tipos de insumos plásticos: acrilonitrilo butadieno estireno (ABS) o ácido poliláctico (PLA) para presentar una solución a una empresa, con la intención de mejorar un componente en particular que les esté generando costos representativos o que pueda eventualmente ser beneficiado por dicha tecnología.

El proyecto cuenta con dos componentes: el componente técnico y el componente mercadológico. El componente técnico busca a grandes rasgos desarrollarse en las siguientes etapas: una etapa de exploración, otra de impresión, pruebas físicomecánicas y conclusiones, mientras que el componente mercadológico se llevará a cabo en sólo dos etapas: el diálogo con las partes directamente implicadas (encuestas) y las conclusiones.

2. OBJETIVOS

2.1 OBJETIVOS DEL COMPONENTE TÉCNICO

2.1.1 OBJETIVO GENERAL

Explorar el alcance de la impresión tridimensional en un sector industrial.

2.1.2 OBJETIVO DEL PROYECTO

A través de la manufactura aditiva, ofrecer una alternativa a una empresa manufacturera, permitiendo mejorar en múltiples indicadores.

2.1.3 OBJETIVOS ESPECÍFICOS

- Investigar las aplicaciones de la manufactura aditiva y los sectores con más campo de acción.
- Proponer un proceso alternativo versus el actual en busca de analizar los pros y los contras bajo la manufactura aditiva.
- Realizar una prueba piloto y comparar los resultados de la aplicación con los métodos convencionales de manufactura.

2.1 OBJETIVOS DEL COMPONENTE MERCADOLÓGICO

2.2.1 OBJETIVO GENERAL

Explorar los efectos de esta tecnología en los eslabones de la cadena más beneficiados

2.2.2 OBJETIVO DEL PROYECTO

A través de un instrumento de investigación, entrevistar a los talleres y consumidores finales de una marca automotriz en Cali, para saber cómo percibirían estos cambios, producto de implementar impresión 3D.

2.2.3 OBJETIVOS ESPECÍFICOS

- Rediseñar una Cadena de Distribución que se adapte al impacto y el alcance de la tecnología en el sector post venta automotriz.
- Escuchar la voz del entorno, entrevistar a diferentes expertos del sector (Jefes de taller, Gerentes de vitrinas, consumidores, entre otros).
- Analizar los resultados desde el punto de vista del marketing.

3. ASPECTOS METODOLÓGICOS:

3.1 MATRIZ DE MARCO LÓGICO

OBJETIVOS	ENUNCIADO	INDICADORES	MEDIO DE VERIFICACIÓN	SUPUESTOS
Del proyecto	A través de la manufactura aditiva, ofrecer una alternativa a una empresa manufacturera, permitiendo mejorar en múltiples indicadores.	Objetivos específicos logrados/ Objetivos específicos totales *100	Carta de agradecimiento por parte de la empresa.	Se escogió la empresa del Valle del Cauca a la que se le ofrecerá la solución.
Específico 1	Investigar las aplicaciones de la manufactura aditiva y los sectores con más campo de acción.		Datos recolectados en las visitas.	
Actividad 1.1	Visitar las empresas en Colombia que utilicen manufactura aditiva.	#Visitas efectuadas / #Visitas planeadas *100 = 100%	Constancia de asistencia. Recolección de datos.	Facilidad de entrar a las instalaciones de las empresas.
Actividad 1.2	Identificar la aplicación específica más pertinente en sectores del Valle del Cauca.	Indicador binario (Sí/No). Resultado = Si	Artículos, libros e información suministrada por las empresas que implementan manufactura aditiva.	Datos relevantes en libros, artículos y bases de datos.
Específico 2	Proponer un proceso alternativo versus al actual en busca de analizar los pro y los contra bajo la manufactura aditiva.		Propuesta materializada en plástico.	
Actividad 2.1	Escoger empresa del sector con mayor aplicación.	Indicador binario (Sí/No). Resultado = Si	Aceptación por parte de una empresa.	Autorización, facilidad y disponibilidad de la empresa.

Actividad 2.2	Análisis detallado de la información suministrada por la empresa.	Información analizada /información suministrada *100 = 100%	La selección de una pieza plástica que genere el mayor beneficio.	Disposición de la empresa para suministrar la información necesaria en la investigación.
Específico 3	Realizar una prueba piloto y comparar los resultados de la aplicación con los métodos convencionales de manufactura.		Propuesta materializada en plástico.	
Actividad 3.1	Modelar la prueba piloto.	Indicador binario (Sí/No) Resultado = Si.	Recolección de datos por parte de la empresa.	Autorización, facilidad y disponibilidad de la empresa.
Actividad 3.2	Utilizar la impresora 3D de la Universidad Icesi para la materialización del componente a presentar	Indicador binario (Sí/No) Resultado = Si.	Apartar horario para el uso de la impresora.	Tener todos los recursos: material suficiente, tecnología, equipos y tiempo disponible.
Actividad 3.3	Realizar pruebas técnicas.	Pruebas superadas/ pruebas totales *100	Comparación de resultados obtenidos vs. métodos convencionales.	Utilizar el programa SolidWorks como prueba suficiente

Tabla 1 | Matriz de Marco Lógico | Fuente: El autor.

4. MARCO DE REFERENCIA

4.1 MARCO TEÓRICO

La primera impresora 3D comercial se basa en una técnica llamada estereolitografía, inventada por Charles Hull en 1984. Las impresoras 3D estereolitográficas utilizan una plataforma perforada justo debajo de la superficie de un recipiente de fotopolímero líquido. Charles Hull observó que al emitir un haz de láser UV, el fotopolímero se endurecía, hecho que aprovecha la impresión para darle volumen a sus creaciones. Es así como la impresora traza la primera sección de un objeto en la superficie de este líquido, causando que una capa muy delgada de fotopolímero se endurezca. Luego, la plataforma perforada se baja muy ligeramente y en una nueva porción se traza una nueva capa (justo arriba de la capa anterior) endureciéndose nuevamente por el láser. Se crea otra sección y luego otra y así sucesivamente hasta que un objeto es creado completamente.

La impresión 3D es una tecnología en la que los objetos se construyen gracias a un gran número de capas muy finas. El nombre de Manufactura aditiva, viene del principio en el que se basa esta tecnología, “adicionar” capa por capa la cantidad de material exacto que se requiere para darle forma y volumen a la pieza que se quiere crear. Las Impresoras estereolitográficas siguen siendo unas de las más precisas del mercado, ya que cada capa de construcción tiene como mínimo un espesor de sólo 0,06 mm (0,0025 de pulgada).

Otra tecnología de impresión 3D basada en la solidificación selectiva de un tanque de líquido o "polimerización de recipiente" es la de proyección DLP. Esta utiliza un proyector para solidificar las capas de objetos de una sección transversal completa a la vez, en lugar de utilizar un láser para trazarlos por completo. Una de las principales manufactureras de este tipo de impresora es EnvisionTEC con su gama Prefactory.

Finalmente, otra tecnología de impresión 3D que crea objetos mediante el uso de una fuente de luz para solidificar un fotopolímero líquido se conoce genéricamente como "material de inyección" o en el comercio como "matriz Polyjet". Esta tecnología fue promovida por una compañía llamada Objet (ahora parte de Stratasys), la cual forma objetos capa por capa mediante la emisión de fotopolímero líquido a partir de un estilo de inyección (con tinta), con un sistema de cabezales de impresión multi-"NOZZLE" (aguja). Después de que cada capa se imprime una poderosa luz UV se utiliza para configurarlo de forma sólida antes de que se imprima la siguiente capa. Lo más interesante es su sistema inteligente de rango connex de impresoras 3D creadas por Can Jet Objet, las cuales pueden operar con varios materiales diferentes en la cabeza de la impresión, permitiendo incluso el uso de hasta 14 tipos de materiales diferentes a la vez. Existen más de 120 posibles materiales que pueden ser utilizados en la impresión tridimensional de este tipo. Esto significa que los objetos se pueden imprimir, por ejemplo, tanto con plástico como caucho.

En lugar de solidificar un fotopolímero, existe otra categoría de tecnologías para impresión tridimensional que se basa en la extrusión sobre un material. Aquí un material semilíquido generalmente un termoplástico caliente, se deposita desde un cabezal de impresión controlado por ordenador. Este proceso fue inventado por Scott Crump en 1988, que creó una compañía llamada Stratasys para comercializar su invento. Crump eligió el nombre de la tecnología como "modelado por deposición fundida" o "FDM" y luego la patentó y la registró como marca en estos términos. Por lo tanto, mientras que muchas personas utilizan la frase "FDM" para referirse a este tipo de impresión en 3D, sólo Stratasys en realidad tiene ese derecho. Otros fabricantes se refieren al mismo proceso como "extrusión termoplástica", "impresión por inyección de plástica (PJP)", el "método de filamentos fusionados (FFM)" o la "fabricación de filamentos fusionados (FFF)."

Una de las principales ventajas de la FDM es que los objetos pueden ser exactamente de los mismos materiales termoplásticos utilizados en el moldeo por inyección tradicional. La mayoría de las impresoras utilizan ABS, así como el bioplástico biodegradable PLA, que se produce a partir de alternativas orgánicas en aceite. En una década la evolución de la biología sintética estará propensa a hacer la producción directa de PLA a partir de una variedad de materiales de biomasa bastante comunes, lo que permitirá a los consumidores de impresión 3D cultivar su propio material en el patio de su casa.

Además de ser utilizado para objetos de plástico, las impresoras de materiales de extrusión han desarrollado también la producción de otros materiales semi-líquidos. Las aplicaciones ya son muy diversas y van desde las impresoras 3D que pueden imprimir queso o el chocolate, hasta las que pueden imprimir en el futuro edificios enteros (o gran parte de los mismos). D-Shape por ejemplo fue el creador de una enorme impresora 3D con la que se pueden construir objetos de gran escala a partir de piedra sintética.

Una tercera categoría de impresoras 3D corresponde a la creación de objetos mediante el aglutinamiento selectivo de capas sucesivas de una acumulación de material en polvo. Lo anterior se puede lograr de dos maneras. Hay impresoras que se basan en dispensar a través de un surtidor aglutinante (a veces también conocidos como 'la impresión de inyección de tinta en polvo'). Aquí el aglutinante se inyecta desde un cabezal de impresión de inyección de tinta que permite que capas de polvo puedan pegarse sucesivamente. El material comúnmente utilizado es el polvo compuesto a base de yeso que necesita tener su superficie recubierta después de la impresión si se requiere un objeto sólido.

Otras impresoras con esta tecnología pueden construir objetos con otros materiales como plástico en polvo, arena o incluso metales. Cuando un aglutinante se pulveriza sobre la arena, el objeto final se utiliza como un molde en "3D sand casting", con metal líquido fundido que se vierte en este. Una vez que el metal se haya enfriado y solidificado, la arena es entonces retirada. Dentro de esta categoría existen diferentes subgrupos que parten de la misma base tecnológica, sólo que con pequeñas variantes: BJM, SLS, DMSL, SLM, SHS, EBM, DED Y LPF.

Existe una amplia gama de impresoras 3D comerciales ahora disponibles en una gama industrial, las dos empresas más grandes son 3D systems (que ofrece la mayoría de las tecnologías y está adquiriendo rápidamente muchos fabricantes más pequeños) y Stratasys (que ofrece tecnologías como matriz FDM y Polyjet hardware, así como impresoras especiales de cera en 3D para el trabajo dental). Ambas empresas tenían un valor de mercado a finales de 2012 de más de \$ 3 mil millones de dólares. Otras grandes manufactureras de impresoras 3D que se cotizan públicamente son Arckam, que produce la fusión por haz de electrones (máquinas OE), Exone, mencionada anteriormente por ser reconocida como pionera en el uso de materiales metálicos y el aglutinante de arena y finalmente Organovo la cual se especializa en bio-impresión.

Los precios de la mayoría de las impresoras 3D comerciales e industriales tienden a comenzar en el tramo de diez a veinte mil dólares y en espiral hacia arriba en los cientos de miles de dólares para máquinas de muy alta gama que pueden construir piezas de metal totalmente densos. Aunque algunos modelos de escritorio están en el mercado, la mayoría de las impresoras 3D comerciales suelen ser bastante voluminosos y con frecuencia de luminarias de pie.

Como no todos pueden comprar una impresora con los precios indicados anteriormente, ya es posible para los diseñadores solitarios y para los particulares obtener impresiones 3D de alta calidad mediante la contratación de servicios en línea. Por ejemplo, Shapeways, iMaterialize y Sculpteo son empresas muy similares a Amazon, sólo que se diferencian por convertir en realidad los modelos CAD de sus clientes. El proceso es muy sencillo, si tienes un modelo CAD que deseas imprimir, basta con diligenciarlo electrónicamente a sus dominios, escoger el material en el que se desea imprimir el CAD y finalmente comprar dicho servicio incluyendo costos de envíos para que de esa forma lo envíen a la residencia del consumidor. En caso tal de no poseer un modelo CAD, las comunidades virtuales de dichas empresas cuentan con más de 40.000 modelos modificables online para que el cliente pueda contar con dicho servicio.

En Colombia hay sólo ocho empresas formales y un laboratorio académico que trabajan con esta tecnología, en donde sólo dos de estas ofrece un servicio completo (modelación, análisis técnico e impresión 3D), mientras las demás se limitan a funciones específicas como modelar e imprimir. En la siguiente tabla se pueden apreciar los nombres de estas empresas, su ubicación y la descripción de sus actividades comerciales.

Negocios que ofrecen servicios con manufactura aditiva			
Nombre	Ubicación	Tipo de Servicio	Intereses
3D Laboratorios de plásticos Ltda	Bogotá	Impresión 3D	Mercantiles
FABLAB Cali UAO	Cali	Impresión 3D	Académicos
Print3D Colombia	Bogotá	Comercialización y distribución	Mercantiles
I3D	Medellín	Servicio completo	Mercantiles
Cedro	Bogotá	Impresión 3D	Mercantiles
La factoría 3D	Medellín	Modelación e impresión	Mercantiles
Solid print 3D	Medellín	Modelación e impresión	Mercantiles
Auros	Bogotá	Comercialización y distribución	Mercantiles
ATE Group	Medellín y Bogotá	Servicio completo	Mercantiles

Tabla 2 | Negocios que ofrecen servicios con manufactura aditiva | Fuente: El autor.

Para todas estas empresas a excepción de I3D y ATE Group, la tecnología es nueva y aún no la dominan por completo, pues siguen en su proceso de aprendizaje, no han pasado de las impresoras caseras (las de FDM o de escritorio) y no todas tienen la capacidad de modelar. Dejando a un lado las dos empresas que se mencionan anteriormente (ya que ambas por lo menos tienen más de 7 años de experiencia), sólo dos prestan el servicio de modelación e impresión, otras dos se limitan a comercializarlas y distribuirlas y el resto únicamente presta el servicio de impresión.

Si se compara Colombia con otros países, por ejemplo Estados Unidos, se podría hablar de un entorno mucho más complejo, compuesto por diferentes agentes como: manufactureros, creadores de software para impresión tridimensional, prestadores de servicios, entre otros. Existen incluso redes sociales como “Thingiverse” donde las personas cargan modelos CAD, para que otros los puedan descargar gratis. Actualmente se encuentran más de 40.000 de estos modelos disponibles en la red social. A continuación un poco de información acerca de este entorno en Norte América.

Manufactureras: Son aquellas empresas dedicadas a la fabricación y comercialización de impresoras 3D.

La más reconocida es **3D Systems**. Fundada en 1984 por el creador de la primera impresora 3D, Charles Hull. Actualmente es líder mundial en el área mercantil que desempeña, reportando en el 2012 un total de \$ 353.6 millones de dólares en ventas y una capitalización de \$3.75 billones de dólares (Enero 2013). Cotiza en la bolsa de Nueva York desde el 2011.

Por otro lado y de la misma talla de 3D Systems se encuentra la firma **Stratasys**. Es junto a la anterior, una de las pioneras en el desarrollo de tecnologías de impresión tridimensional o manufactura aditiva con \$3.52 billones de dólares en capital de acciones (Enero 2013) y

un reporte de ventas al cierre del 2012 de \$359 millones de dólares (con un incremento del 30% respecto al año anterior).

Uno de los gigantes no tan antiguo como las firmas mencionadas anteriormente, sino más bien relativamente nuevo, es **EXONE**. Esta empresa fue fundada en el 2005 y empezó a cotizar en la bolsa de US NASDAQ ofreciendo sus acciones al público en febrero del 2013. Dicho proceso le trajo a la compañía un incremento de \$94.4 millones de dólares. Su especialización es la impresión tridimensional de metales.

Organovo por su parte desafía al mundo con sus sorprendentes propuestas polémicas de bio impresión. Es de las únicas manufactureras en el mundo que se dedica a desarrollar impresoras capaces de imprimir órganos y tejidos humanos. Podría decirse que es una de las pioneras en incursionar en este segmento.

Optomec es otra de las pioneras de Norte América, esta se destacó por desarrollar una tecnología de disposición directa de energía, la cual funciona junto con aglutinantes y polvo metálico para obtener sorprendentes acabados de piezas metálicas.

Por otro lado, **Makerbot Industries**, dedicada a la fabricación de impresoras de bajo costo de impresión termoplástica, representa en su mejor expresión a las compañías emergentes en este negocio, mostrando incrementos de más del 20% en sus acciones a finales de 2012 y más de 13.000 unidades vendidas en el 2013. Bre Pettis, CEO de la compañía, orgulloso en una entrevista afirma que la empresa tiene más demanda de la que puede atender su oferta.

Finalmente existen muchas otras manufactureras, de las cuales cabe destacar a dos más por su reconocimiento y tamaño. Quizás no son de la talla de Makerbot o Stratasys, pero de igual manera es importante destacar su diferenciación. Estas dos empresas son **ASIGA**, reconocida por implementar tecnología UV LED en sus impresiones y **FORMLABS**, reconocida por haber sido un negocio emergente del MIT.

Pioneros de Software para impresión 3D: Son aquellas empresas que se especializan en el desarrollo de softwares que facilitan la realización de operaciones de impresión tridimensional.

El más reconocido y el mejor detrás de este segmento es **Autodesk**. Esta empresa que fue fundada por John Walker en 1982, obtuvo los derechos de modelación de CAD por parte de su inventor Michael Riddle, para luego desarrollar el producto más famoso de su especie: AutoCAD. Esta empresa que comenzó con 14 trabajadores de medio turno, ahora es la casa más grande diseño y animación en el mundo con más de 10 millones de usuarios, incluyendo 17 premios del Academy Award por “Los mejores efectos especiales”. En enero del 2013, reportó una capitalización de \$8,43 billones de dólares.

La otra cara del segmento la representa muy bien **Trimble Navigation**, empresa que propone soluciones de modelación fáciles de usar, a diferencia de AutoCAD y SolidWorks, que son mucho más complejas y requieren de mucho tiempo y dinero para poder usarlas; de hecho esta empresa desarrolló una versión llamada SketchUp, la cual luego fue adquirida por Google Inc. que reportó más de 50.000 descargas de dicho software hasta la fecha.

Servicios de impresión 3D: Son aquellas empresas que utilizan esta tecnología para prestar diferentes servicios.

Shapeways, es llamado el *Amazon* de la impresión tridimensional. Es el líder mundial de las comunidades online, cuyo servicio consiste en recibir modelos en 3D para que estos se impriman y distribuyan a los hogares de los clientes. En el 2012 abrió una instalación de más de 25.000 pies cuadrados, en Nueva York, donde potencialmente puede acomodar entre 30-50 impresoras industriales, de las cuales algunas pueden llegar a fabricar alrededor de 1.000 objetos al día, lo que se traduce como un estimado de capacidad máxima de producción entre los 3-5 millones de objetos año. A finales del 2012 había más de 230.000 miembros registrados en la página web, con más de 8.000 diseñadores cargando modelos junto con un total de 10.000 pedidos por semana.

Otros negocios grandes de la misma naturaleza son **Materialise**, cuyas oficinas centrales se encuentran en Bélgica aunque al igual que **Sculpteo**, de Francia, también hacen parte del mercado Americano con sus sedes en Nueva York y San Francisco respectivamente.

4.2 Aporte crítico

La impresión tridimensional puede ofrecer múltiples oportunidades en muchos sectores diferentes de la industria. Esta tecnología podría eventualmente llegar a convertirse en un proceso de apoyo o en una herramienta muy poderosa para disminuir eslabones en las cadenas de abastecimientos de industrias muy complejas como por ejemplo la industria automotriz. Si algo caracteriza a la industria automotriz es la complejidad con la que opera a lo largo de sus redes de abastecimiento. Cada paso desde la consecución de la materia prima, hasta la entrega del producto a manos del cliente, implica el despliegue de un sin fin de operaciones y la intervención de un gran número de personas.

Tratándose únicamente de la producción de un vehículo por ejemplo, tan sólo viendo su BOM, es fácil darse cuenta que se trata de un mega producto, con miles de piezas, de las cuales no todas son producidas en la misma fábrica y de las cuales su procedencia puede llegar a ser muy lejana. Esto sólo comprende la primera etapa del proceso: la consecución de la materia prima. Ahora bien, hablando de su transformación, es decir, la producción como tal del vehículo, eso implica la coordinación y ejecución de un sin fin de operaciones, en tiempo real, resolviendo problemas y cumpliendo con los más altos estándares de la calidad ya que sin importar la marca, las compañías que fabrican vehículos tienen que seguir normas muy estrictas de seguridad.

Y eso no es todo, almacenar, transportar y vender un vehículo, tampoco es tarea fácil. Todas las etapas anteriormente mencionadas no finiquitan el ciclo de intervención por parte de la fábrica con su producto. En este negocio la postventa es otro momento muy tedioso ya que no es posible estar completamente preparado para atender la demanda. A los usuarios día a día se les dañan piezas distintas que no necesariamente son producidas en la fábrica o que simplemente no le son rentables de producir por separado (tratándose de piezas que se manejan en grandes volúmenes). Es en este punto donde el proyecto se torna muy interesante. Partiendo de la base del marco lógico, el proyecto puede llegar a ofrecer una solución muy interesante en para reducir los eslabones de la cadena de abastecimiento. Principalmente en la postventa, pero esto no cierra las puertas al sector preventa. La idea a grandes rasgos sería entonces encontrar en el sector repuestos, unas piezas que cumplan con unos parámetros, que le permitan a las empresas del sector, pensar en digitalizarlas para luego de ese modo imprimirlas cuando fuese necesario. Lo anterior acortaría distancias, tiempos de respuesta, uso de espacios físicos para almacenamiento y sin duda alguna costos. De ahí la importancia del proyecto. Si esta tecnología se pudiese implementar adecuadamente, sucedería algo muy similar a lo que sucedió con el internet: Hubo una revolución. Las formas tradicionales de trabajar, comunicarnos y relacionarnos cambiaron. Es muy probable que si en un futuro se siguiera explorando estas soluciones, estos caminos quizás conducirían a resultados de otra era. Una era en donde todo lo que necesitamos lo podamos imprimir en nuestros hogar, un momento en la historia, donde la realidad virtual deja de existir únicamente en una pantalla y a través de estas máquinas, se integran a nuestro mundo, nuestra realidad. Retomando el tema con esta industria, estaríamos hablando de un futuro no muy lejano donde no habría necesidad de transportar o almacenar nada, donde al cliente se le puede solucionar su problema de forma inmediata y con una flexibilidad jamás antes vista.

No obstante la impresión tridimensional también deja sus puertas abiertas para otros propósitos en la industria. Esta por ejemplo se podría utilizar para mejorar el diseño de productos. Esto se logra mediante la creación de manifestaciones del producto en el proceso de diseño para poder corregir inmediatamente características de este. A pesar de las sofisticadas y avanzadas técnicas de los computadores (Renders), algunos aspectos funcionales y esenciales para el diseño de un producto no se logran ver con facilidad en la pantalla; no hay nada mejor que un diseño tridimensional que permita corroborar resultados de modelación. Esta tecnología está permitiendo un mejor flujo de información

y de comunicación entre clientes y fabricantes, con el fin de obtener con una mayor facilidad y eficiencia los resultados esperados según los requerimientos del cliente.

Por otro lado más allá del aspecto del diseño, las impresiones tridimensionales son consideradas esenciales para los modelos de verificación y el prototipado rápido. Los prototipos funcionales son vitales en la etapa del diseño del producto, sin embargo además de ser creados en la mayoría de sus casos por las manos de un experto artesano, el costo y el tiempo que se requiere invertir son extremadamente altos. Mientras que en el caso del prototipado rápido a través de esta tecnología, es muy diferente, ya que se pueden obtener los mismos resultados en periodos muy breves de tiempo (horas) y a una fracción muy pequeña del precio que cuesta incurrir en métodos convencionales. La calidad por su parte es incomparable, la impresión tridimensional es mucho más eficaz que las manos de cualquier artista.

La impresión tridimensional sirve para reducir esa brecha que existe entre lo práctico y lo abstracto, actualmente la industria automotriz la utiliza mucho para rediseñar y evaluar características aerodinámicas de sus automóviles, además de verificar la funcionalidad de ciertos componentes y ensambles. Ingenieros en la Ford utilizan impresoras de escritorio para imprimir componentes de plástico de modo que puedan verificar ajustes y funcionalidad en los ensambles.

Es muy probable que con el apoyo de esta tecnología, la fabricación de nuevos moldes, figuras y herramientas que requiere la industria sea mucho más fácil. Finalmente es por esta razón que algunas de estas aplicaciones junto con las posibilidades que puedan surgir aprovechando todo lo mencionado anteriormente, permita el desarrollo de nuevas oportunidades de negocio y del mejoramiento continuo en algunas de las operaciones del sector industrial en Colombia, haciendo indispensable dar a conocer la tecnología de manufactura aditiva y presentarla como alternativa o apoyo de manufactura para la pequeña, mediana y grande industria.

6. DESARROLLO DEL PROYECTO | COMPONENTE TÉCNICO

6.1 RECOLECCIÓN Y PROCESAMIENTO DE DATOS

Se realizó una visita a la empresa i3D en la ciudad de Medellín, empresa que tiene más de 7 años de experiencia en tecnologías 3D, prestando el servicio de modelación, impresión, escaneo e ingeniería inversa asistida por computadora. Esta es de las pocas empresas en Colombia que presta el servicio completo en tecnología 3D y es la mejor en el país al contar con clientes como Colombia Moda, Yamaha, SOFASA, Mabe, Universidad EAFIT, Imusa, Haceb, Corona, entre otros.

Al recopilar la información técnica, de productos de i3D por medio de una entrevista, se analizaron las aplicaciones específicas más pertinentes para la región. Debido a los diversos testimonios y productos elaborados, se encontraron aplicaciones en la industria del hogar, la industria automotriz, el área de salud (prótesis) y la industria de moldes para procesos de inyección, entre otras.

Para llevar a cabo el proyecto y aplicar la tecnología de manufactura aditiva, se inició el proceso de búsqueda de una empresa en Cali que pudiera obtener beneficios significativos con esta. Con la visita a Medellín ya se había logrado filtrar ciertos sectores, luego la búsqueda se centró en el sector automotriz pues era el de mayor interés para esta investigación. Uno de los integrantes del proyecto contactó a un tío suyo, el cual tiene fuertes relaciones con dicho sector en todo el país. Tras varias charlas, logró contactar y vincular un concesionario del norte de Cali con este proyecto. Se trata de la casa de repuestos más grande en Cali para autopartes de vehículos comerciales y de agroindustria.

Gracias entonces a la facilidad de vinculación con un concesionario en la ciudad y siendo uno de los sectores con mayor impacto, se eligió desarrollar este proyecto en el sector automotriz, específicamente en el área de repuestos. Una vez en el concesionario se realizó una reunión con el personal de la empresa, entre ellos el jefe de taller, un director del área mecánica, la gerente de calidad, entre otros en donde se expuso el proyecto, resaltando los beneficios que este podría llegar a tener para ellos. Se encontró una gran intención de apoyo y disponibilidad de información para que el proyecto con manufactura aditiva se llevara a cabo.

La etapa de exploración da inicio con un proceso de selección de la pieza que se decida modelar. Los primeros filtros que se emplearon para dicha labor fueron los del material (se buscaron piezas con un tipo de polímero similar al PLA o el ABS que son los que utilizan la impresora 3D) y los del volumen de la pieza. Este volumen no podía superar los 6758,78 cm³ (28.5 cm de largo x 15.3 cm de ancho x 15.5 cm de alto) ya que de lo contrario la impresora no podría replicarla. Una vez realizados los dos anteriores filtros, lo que se busca son las piezas más costosas, ver además cuántas de esas hay en inventario y por último ver que tan difíciles son de conseguir. Por lo tanto si el análisis arroja que existe una pieza con poca disponibilidad, una rotación muy incierta y además con un precio muy elevado, seguramente será una excelente oportunidad para encontrar ahorros significativos utilizando la impresión tridimensional.

Lo anterior es a fin a cierto tipo de razonamiento en el mundo de los negocios. Cuando se buscan oportunidades que logren potencializar un proceso o un eslabón de la cadena de abastecimiento de cualquier empresa, el razonamiento más adecuado es imaginar que la empresa para la que se trabaja, es nuestro cliente. Esto quiere decir que si yo soy el jefe del almacén de repuestos, quizás adoptar este punto de vista ayude notablemente a operarlo más eficientemente. Y lo anterior obedece a que si se toma esa postura, el encargado del almacén además de sólo seguir órdenes, adicionalmente pensaría en cómo aprovechar

mejor sus espacios y recursos para poder seguir sufriendo la demanda de su cliente interno (la compañía). Ese mismo razonamiento fue el que se hizo para elegir la pieza más indicada. Junto con el jefe del almacén, se observaron las siguientes oportunidades presentadas en las siguientes matrices a continuación:

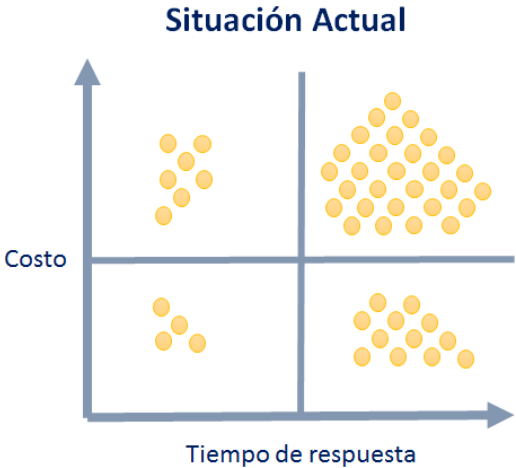


Ilustración 9 | Matriz de costos vs tiempo de respuesta | Fuente: El autor.

De las 12.000 referencias en inventario, se identificó que la gran mayoría de autopartes que cumplían con los requisitos de los que ya se habló anteriormente (particularmente de tamaño y material), tenían un elevado costo y un tiempo de respuesta muy largo. Lo cual en términos de servicio al cliente y rentabilidad es preocupante. Por otro lado también se analizaron otros contextos:

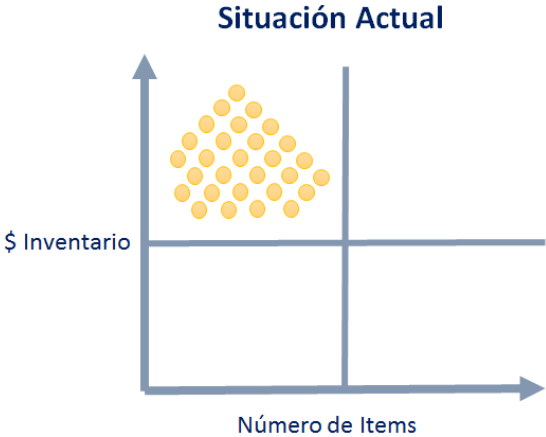


Ilustración 10 | Matriz de valor en inventarios vs cantidad de SKU's | Fuente: El autor.

También se encontró que un número considerable de piezas tenían un valor muy alto en inventario, pero muy pocas existencias, lo cual se traduce en que pocos SKU's valen mucho en inventario.

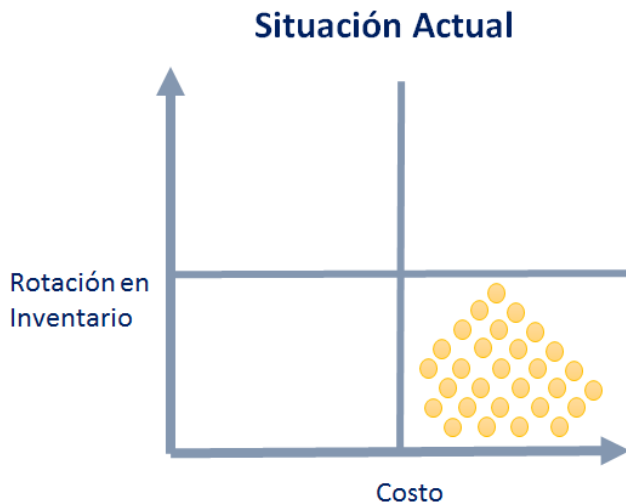


Ilustración 11 | Matriz de rotación en inventario vs costo | Fuente: El autor.

Finalmente también se descubrió que en el almacén de autopartes también habían muchas piezas que se ajustaban a estos criterios de selección y que adicionalmente aparte de no presentar una alta rotación en inventario su costo ya sea por factores como procedencia o ciertas condiciones (especialmente de compra, habían algunas piezas que terminaban siendo muy costosas por las condiciones que ponía el fabricante) era muy alto.

Por lo tanto una vez analizados estos contextos, encontradas muchas piezas candidatas, el mayor reto era encontrar ahora la pieza que se presentara en más de una de las situaciones anteriormente mencionadas. Con la ayuda del jefe del almacén logramos cruzar la información y con ello se llegó a los siguientes ítems:

No.	Referencia	No.	Referencia
1	2S65A62782AA02N	19	F87Z8101AA
2	AE8Z17A385AA	20	D2BZ8311B
3	6L2Z17A385AAA	21	BE8Z8A194A
4	8L8Z17E814D	22	2L1Z6K297AA
5	AE8Z17E857A	23	F77Z6K297BC
6	GJ6A50E11C	24	1L2Z7228AA
7	W711666S300	25	YL8Z7H459AC
8	W705681S300	26	F3TZ7L278A
9	M7N15J17D720AAD	27	E9TZ7C430A
10	F7UZ1523342AAA	28	S05B56643
11	E7TZ1522600A	29	UR5661195C
12	BB5Z7820554AA	30	UR5BB1196C
13	W702438S300	31	UH7161195
14	3L2Z7862418AAG	32	B21H50714
15	9L3Z9922666AA	33	B30D510B7A
16	M8L8BJ17D720AAD	34	8LOG37211
17	8N151000AB153N	35	86HU154403BA
18	8N151000AB53N	36	UH7737190A

Los anteriores repuestos se seleccionaron sin saber de qué tipo de marca o modelo pertenecían. A partir de estas, se pretendía analizar más a fondo indicadores como rotación en inventario, costo, precio de venta, entre otros. Sin embargo, el equipo de investigación quería mostrar una verdadera oportunidad, encontrar alguna pieza que fuera crítica y probara las múltiples ventajas de la manufactura aditiva. Además un inconveniente que se encontró fue la poca disponibilidad de registros de pedido, de esa forma tampoco se logró analizar el control de partes solicitadas a la fábrica.

Por lo tanto, se procedió a realizar consultas con los empleados del concesionario: jefe de bodega, jefe de taller, asistente de gerencia en repuestos, mecánicos e inclusive el director general del concesionario, para lograr encontrar la mejor pieza según las restricciones y los filtros que se habían estipulado. Muchas de estas consultas exponían casos similares, pero uno que se destacó fue el caso de una pieza que forma parte del sistema del funcionamiento para graduar el nivel de las sillas.

Se resalta un fragmento de la entrevista realizada por uno de los integrantes de este proyecto al asistente de gerencia en repuestos, donde se expone detalladamente el caso en común que se encontró tras las demás consultas con los otros empleados:

Entrevistado (asistente de gerencia en repuestos): El señor (cliente) estaba usando el vehículo (nuevo) y como a los dos meses llegó aquí diciendo que no era fijo el espaldar, que se corría para adelante y para atrás. Entonces el señor hizo el reclamo y se le iba a cambiar la pieza por garantía. Nosotros pedimos las piezas a Ford con un pedido de emergencia y por lo tanto nos cobran un costo adicional del 15%. Se pidió allá y ellos lo piden a Brasil. Brasil es el fabricante original de ese vehículo. Ford no la tenía disponible, la pidieron, y se demoró seis meses en llegar.

Entrevistado: Cuando llegó la estructura, no traía la parte que se había dañado. La estructura vale alrededor de 2 millones de pesos y la piecita vale como 20 mil pesos, pero no viene sola, viene con el kit (la estructura). Se demoró, en total, seis meses en llegar y para responderle al señor, para poder brindarle un servicio al cliente tocó coger un carro nuevo, desmontar el asiento y montárselo a él, o sea que canalizamos un vehículo de 60 millones de pesos para solucionar un problema de una pieza que valía 20 mil pesos. Todo el trámite lo hace la fábrica. La pieza les llega a ellos y luego nos la facturan a nosotros. Aquí nosotros se la instalamos.

Entrevistador: ¿Y de esas piezas no hay en inventario?

Entrevistado: No hay en inventario, no las tiene el concesionario y tampoco las tiene la fábrica. Se demoró seis meses en despacharlo porque no la tenían disponible. Como era

pedido de emergencia, lo traen aéreo, entonces los costos se incrementan. Además del tiempo y del costo, está la insatisfacción del cliente por un vehículo nuevo.

6.2 ANÁLISIS DE LA INFORMACIÓN

Tras identificar todos los problemas logísticos, de servicio al cliente y los altos costos en los que se incurría al trabajar con esta pieza en particular, se encontró que es el ejemplo perfecto para exponer las ventajas que tiene la impresión en 3D y la forma en que puede dar respuesta a cada uno de estos problemas. Se trata de una pieza que no se vende por separado, ya que hace parte del sistema de funcionamiento para graduar el nivel del espaldar de las sillas y así mismo del esqueleto del asiento (estructura). Pedir cualquier parte del asiento obliga al cliente a invertir \$2.000.000 COP (precio que comprende la estructura entera, ya que ninguna de esas piezas se vende por separado).



Ilustración 12 | Estructura interna del asiento del conductor | Fuente: El autor



Ilustración 13 | Estructura interna del asiento del conductor | Fuente: El autor



Ilustración 14 | Estructura interna del asiento del conductor | Fuente: El autor | Observaciones: en esta imagen se puede detallar la pieza en cuestión, señalada por la flecha amarilla.

No es rentable para la fábrica en Brasil mandar sólo una pieza, así que por esa razón manda toda la estructura. El hecho de ser un pedido de emergencia no hizo que la estructura llegara más rápido, o por lo menos no lo suficiente para responderle al cliente. El concesionario se vio obligado a desarmar otro vehículo (nuevo) para responderle al cliente con la garantía, dejando un vehículo incompleto y no disponible para la venta. En otras palabras, un problema de 20 mil pesos (precio estimado que puede llegar a costar la pieza), lo solucionaron desarmando un vehículo de más de 60 millones de pesos. Esta pieza además tarda más de 6 meses en llegar y lo peor de todo es que cuando llegó, no llegó la referencia correcta. Entonces por todas estas circunstancias y por otros motivos como su baja rotación, sus altos costos en inventario, sus pocas existencias y muchos otros inconvenientes, la pieza era la candidata perfecta para llevar a cabo el proyecto.

La principal ventaja en este caso para la manufactura aditiva es tener disponibilidad de piezas para el cliente, disponibilidad para responder, en un menor tiempo, con lo que se requiere. Se escogió esta pieza para aprovechar todos los beneficios que puede brindar el utilizar una impresora 3D, así que el primer paso es modelarla.

6.3 MODELACIÓN

La empresa, al ser un concesionario, es sólo un representante de la marca y no tiene acceso a información privilegiada como planos técnicos o estudios que se le hayan realizado a la pieza. Lo ideal hubiese sido contar con un escáner 3D para obtener exactamente las dimensiones de la pieza original y así agilizar el proceso de modelación, pero al carecer de él, se recurrió a otro método. Se procedió a modelar paramétricamente la pieza con ayuda de un pie de rey, registrando cada una de sus dimensiones más relevantes. Se le prestó mucha atención a las dimensiones internas de la pieza, ya que estas comprometían el mecanismo que permitía girar y graduar el espaldar del asiento.

El programa que se utilizó para esta labor fue SolidWorks. No hubo necesidad de recurrir a operaciones complejas como superficies o cualquier otra técnica que comprometiera diseños orgánicos, la pieza resultó ser sencilla de modelar gracias a su naturaleza geométrica, especialmente por su principio concéntrico y sus estructuras cuadrangulares. Las operaciones básicas como extrusión, recubrir y redondeo permitieron obtener el siguiente resultado.

Para lograr una aproximación cercana al modelo original el uso adecuado de cotas y modelación paramétrica fue indispensable. Aprovechando la libertad y la flexibilidad que brinda el software para realizar ajustes y modificaciones, se decidió modificar la estructura interna de la parte que se había fracturado inicialmente en el incidente con el cliente, la cual era de vital importancia ya que era la que mantenía estático el espaldar en la posición que se hubiese regulado, todo esto con el fin de evitar que el pasajero se llegara a lastimar o accidentar.

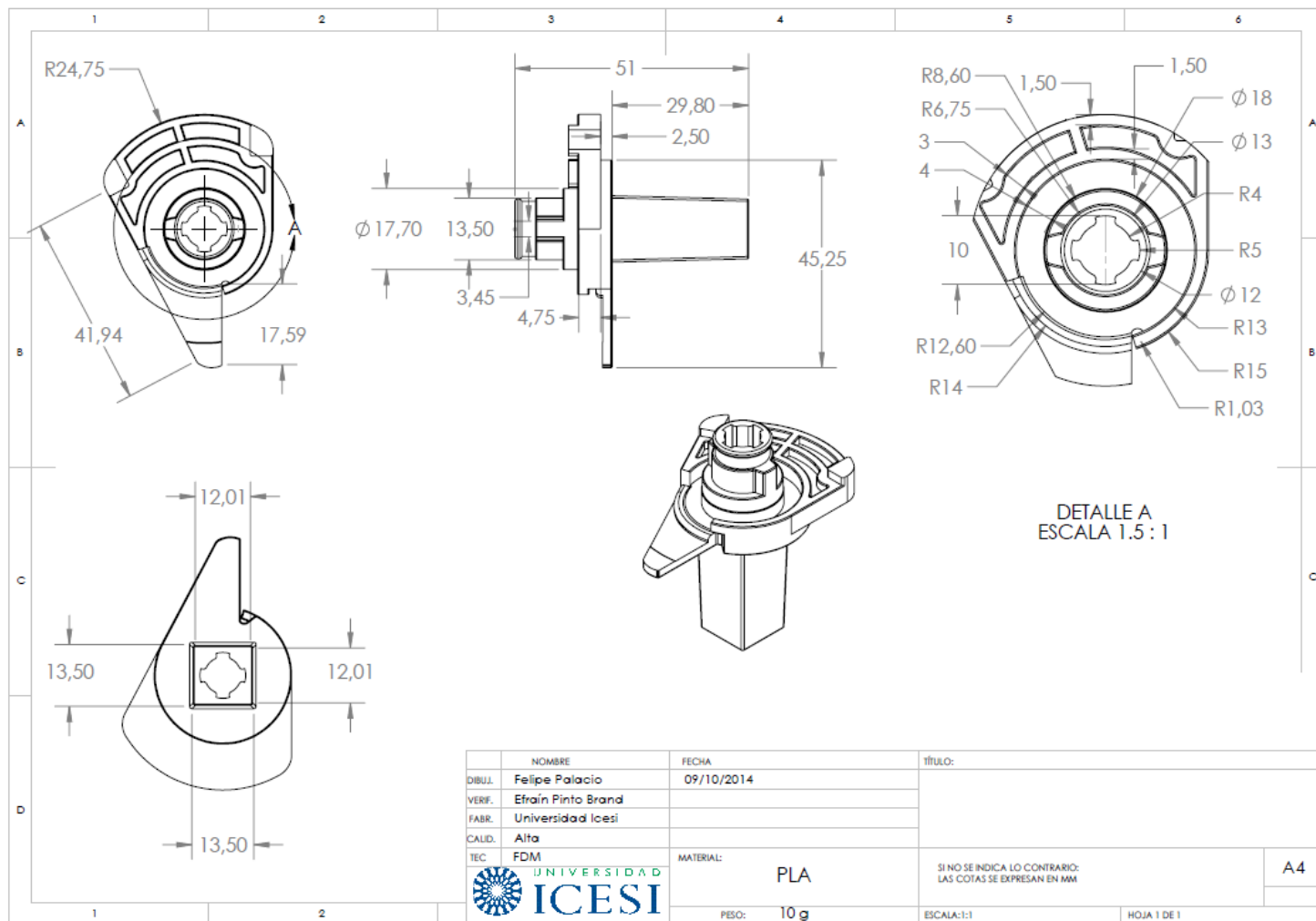


Ilustración 15 | Plano en SolidWorks de la pieza | Fuente: El autor

Al tener todas las medidas acotadas, se procede a aplicar el material de la pieza con el que se realizará la impresión: PLA. A continuación se muestran las vistas del modelado final renderizado.



Ilustración 16 | Vista Dimétrica de la pieza | Fuente: El autor

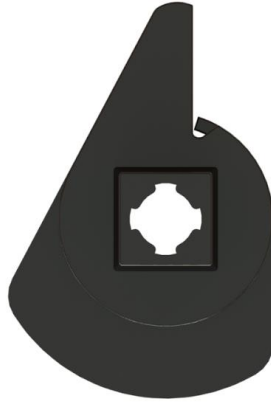


Ilustración 17 | Vista Inferior de la pieza | Fuente: El autor

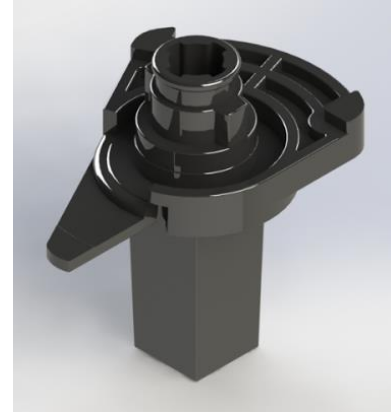


Ilustración 18 | Vista Isométrica de la pieza | Fuente: El autor

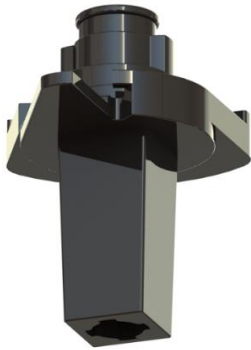


Ilustración 19 | Vista Isométrica inferior de la pieza | Fuente: El autor



Ilustración 20 | Vista Isométrica posterior superior de la pieza | Fuente: El autor

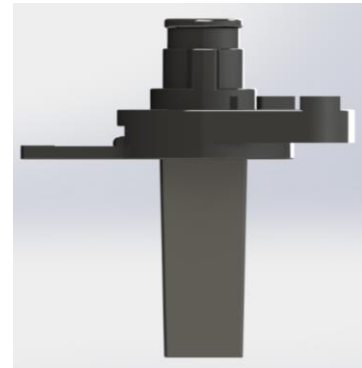


Ilustración 21 | Vista Lateral de la pieza | Fuente: El autor



Ilustración 22 | Vista Libre 1 de la pieza | Fuente: El autor

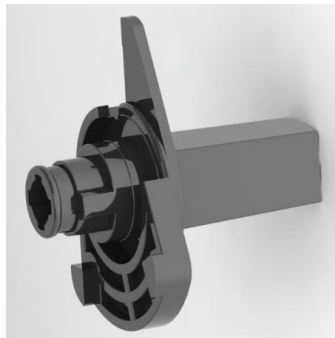


Ilustración 23 | Vista Libre 2 de la pieza | Fuente: El autor

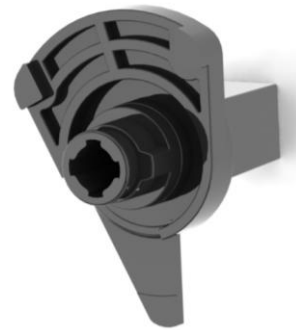


Ilustración 24 | Vista Libre 3 de la pieza | Fuente: El autor

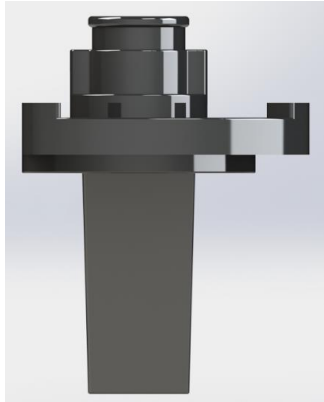


Ilustración 25 | Vista Posterior de la pieza | Fuente: El autor



Ilustración 26 | Vista Superior de la pieza | Fuente: El autor

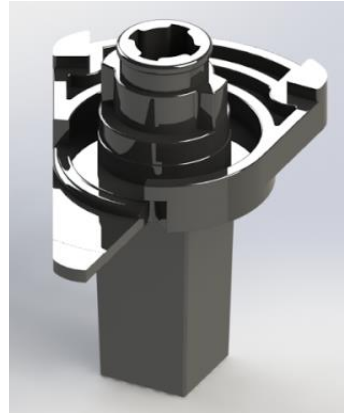


Ilustración 27 | Vista Trimétrica de la pieza | Fuente: El autor

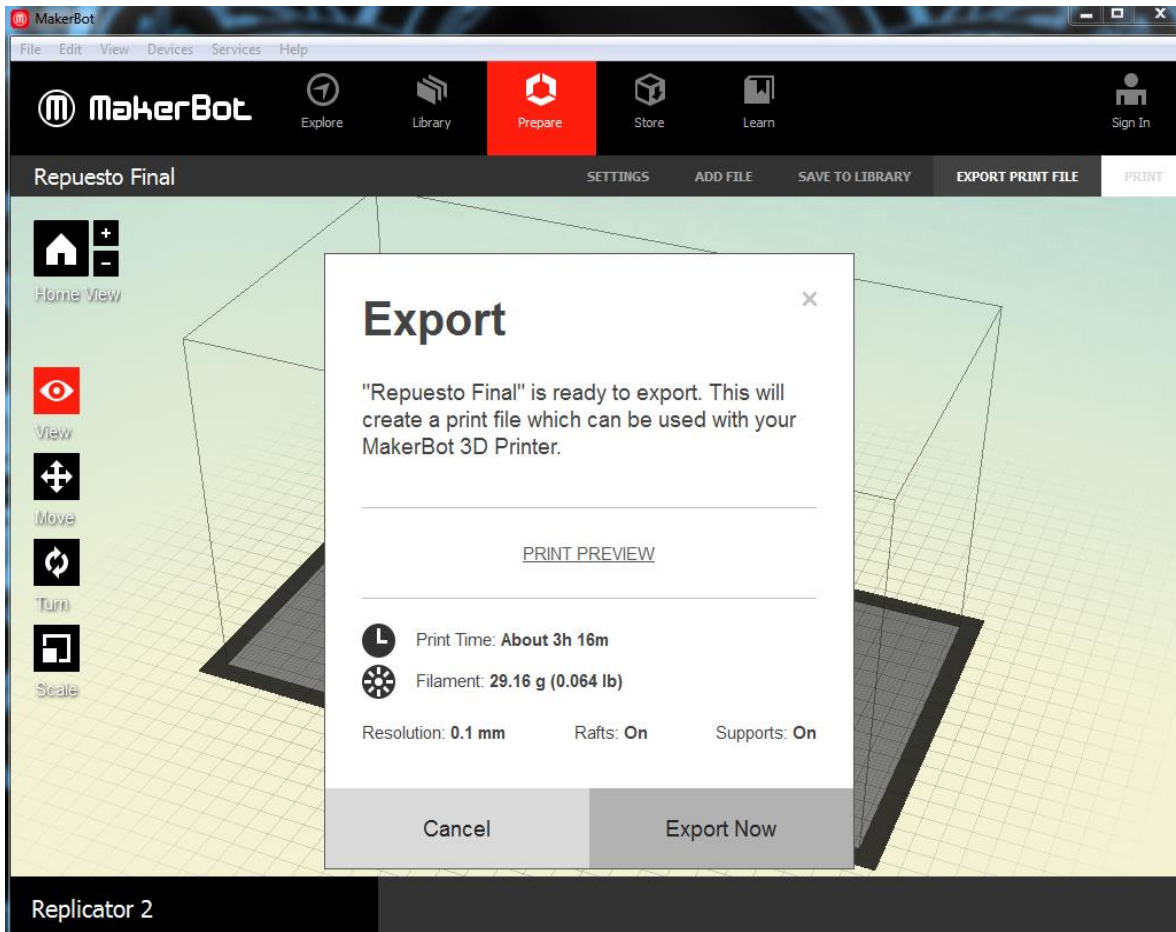


Ilustración 28 | Vista preliminar de la impresión tridimensional de la pieza | Fuente: El autor

Luego una vez modelada la pieza, se procede a configurar el archivo CAD a Standard Tessellation Language (STL) que permite visualizar el objeto en 3D. Aprovechando la posibilidad de manipular algunos factores, como por ejemplo la temperatura, la velocidad de la impresión, la calidad de la impresión, la longitud de separación entre cada capa, entre otros. Se realizaron en total 7 impresiones, 2 en ABS y el las demás en PLA. Tanto la temperatura como la velocidad se dejaron predeterminadas, pero lo que corresponde a longitud de separación entre cada capa, la calidad de la impresión, soportes, rafts (es una base hecha en el mismo material de impresión que permite retirar fácilmente el objeto que se esté imprimiendo de la base) y densidad de la pieza fueron manipuladas en aras de poder obtener los mejores resultados para garantizar un futuro prometedor a la pieza.

Se le dio una ubicación central en la plataforma de la impresora para aprovechar una mayor estabilidad y una baja probabilidad de descalibración en la impresión, a su vez se procedió a manipular el grosor de las capas de la pieza a 0.1 mm de longitud y posteriormente se le añadieron rafts y soportes para garantizar una excelente calidad de impresión. El tiempo estimado de impresión según el software era aproximadamente de 3 horas 16 minutos, con un peso de 29,16 gramos y un total de 517 capas. El tiempo real de impresión fue de 2 horas 51 minutos y el peso final de la pieza sin material de soporte resultó ser de sólo 16 gramos, 10 unidades menos que pesa la pieza original.

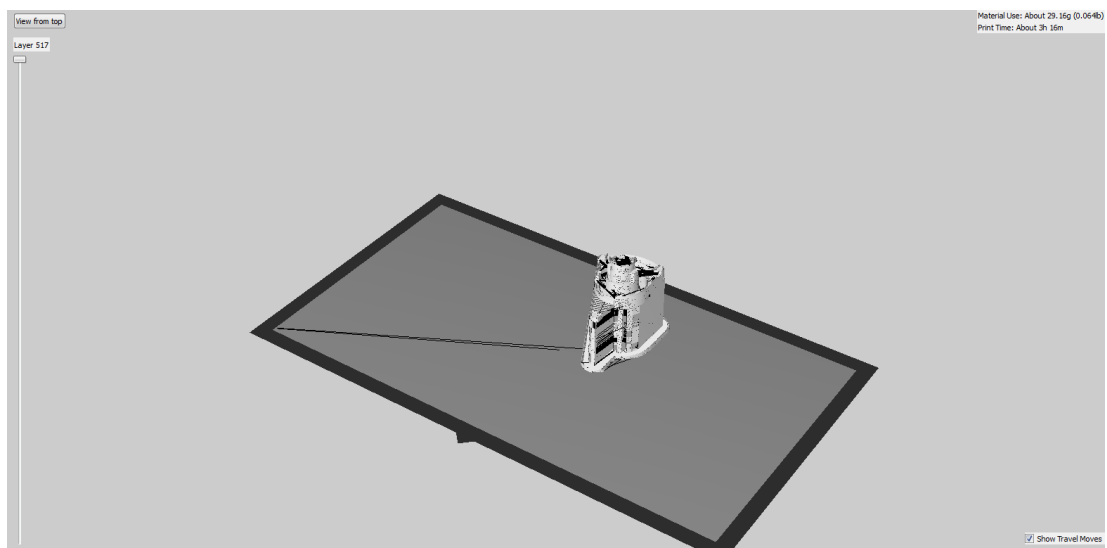


Ilustración 29 | Vista del número de capas que requerirá la pieza durante la impresión | Fuente: El autor.

En la Figura 16 se puede apreciar el paso a paso de la conversión del CAD de la pieza a un lenguaje STL para manufacturación aditiva. A continuación se observa la pieza con el material de soporte recién impresa y posteriormente la pieza sin rafts ni material de soporte.



Ilustración 30 | Pieza con material de soporte, vista superior | Fuente: El autor

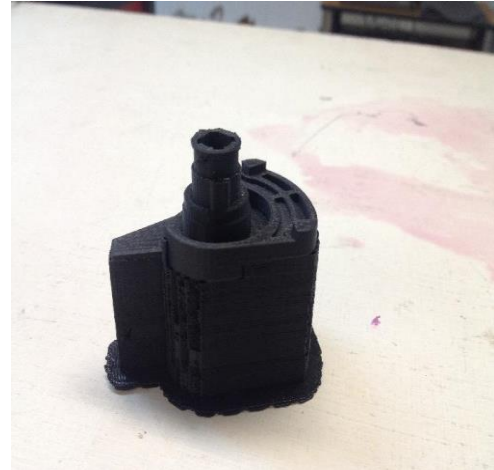


Ilustración 31 | Pieza con material de soporte, vista lateral | Fuente: El autor



Ilustración 32 | Pieza sin material de soporte vista lateral | Fuente: El autor

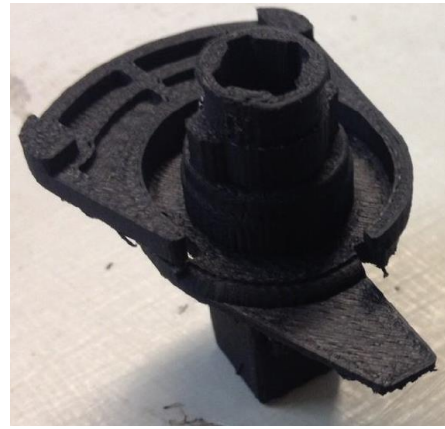


Ilustración 33 | Pieza sin material de soporte, vista superior | Fuente: El autor



Ilustración 34 | Pieza impresa (izquierda) junto con la pieza original | Fuente: El autor

La última imagen muestra a la izquierda la pieza impresa y a la derecha a la pieza original. Con la ayuda de un pie de rey, se confirmó que las medidas coincidían perfectamente. La pieza, a pesar de presentar unos acabados que la delataban como impresa, presentó mejoras significativas al recibir un baño al vapor de 35 cm cúbicos de acetona durante 30 segundos en una olla de arroz a su temperatura más baja.

6.4 PRUEBAS FUNCIONALES Y DE RESISTENCIA

Una vez impresa la pieza, lo primero que se hizo, fue llevarla inmediatamente a las instalaciones de la casa de repuestos donde yacían aún las estructuras metálicas del asiento con las que llegó la pieza original. Fue un momento crítico ya que la pieza no sólo debía ajustarse sin problemas en el mecanismo de la estructura, sino que a su vez debía funcionar sin problemas. Sin duda lo más emocionante de ese momento no fue sólo ver que la pieza encajaba adecuadamente en el mecanismo, sino que además funcionaba sin ningún esfuerzo, temor o presentimiento a que fuera a deformarse enseguida.

El siguiente reto es corroborar que a pesar de los materiales y el método en los que se realizaron las piezas, la promesa de valor y las propiedades físico-mecánicas se mantenían por lo menos muy cercanas al estándar. Lo primero que se realizó fue un análisis de elementos finitos en SolidWorks, en donde el programa arrojó la siguiente información:

6.4.1 INFORME DEL MODELO

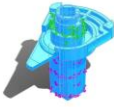
Nombre de documento y referencia	Tratado como	Propiedades volumétricas	Ruta al documento/Fecha de modificación
Redondeo21 	Sólido	Masa:0.0132861 kg Volumen:1.10717e-005 m³ Densidad:1200 kg/m³ Peso:0.130204 N	C:\Users\1112474504\Desktop\Repuesto Final.SLDPRT Oct 15 21:08:01 2014

Tabla 4 | Informe del modelo | Fuente: El autor

6.4.2 UNIDADES

Sistema de unidades:	Métrico (MKS)
Longitud/Desplazamiento	mm
Temperatura	Kelvin
Velocidad angular	Rad/seg
Presión/Tensión	N/m ²

Tabla 5 | Unidades | Fuente: El autor

6.4.3 PROPIEDADES DEL MATERIAL

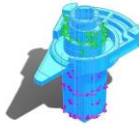
Referencia de modelo	Propiedades
	<p>Nombre: C01</p> <p>Tipo de modelo: Isotrópico elástico lineal</p> <p>Criterio de error predeterminado: Desconocido</p> <p>Límite elástico: 4.761e+007 N/m²</p> <p>Módulo elástico: 2.242e+009 N/m²</p> <p>Coefficiente de Poisson: 0.38</p> <p>Densidad: 1200 kg/m³</p> <p>Módulo cortante: 8.12319e+008 N/m²</p>

Tabla 6 | Propiedades del material | Fuente: El autor

6.4.4 CARGAS Y SUJECIONES

Nombre de carga	Cargar imagen	Detalles de carga	
Torsión-1		Entidades:	8 cara(s)
		Referencia:	Cara< 1 >
		Tipo:	Aplicar momento torsor
		Valor:	10 kgf.cm

Tabla 7 | Cargas y sujeciones | Fuente: El autor

6.4.5 INFORMACIÓN DE MALLA

Tipo de malla	Malla sólida
Mallador utilizado:	Malla estándar
Transición automática:	Desactivar
Incluir bucles automáticos de malla:	Desactivar
Puntos jacobianos	4 Puntos
Tamaño de elementos	1.11483 mm
Tolerancia	0.0557413 mm
Calidad de malla	Elementos cuadráticos de alto orden

Tabla 8 | Información de la malla | Fuente: El autor

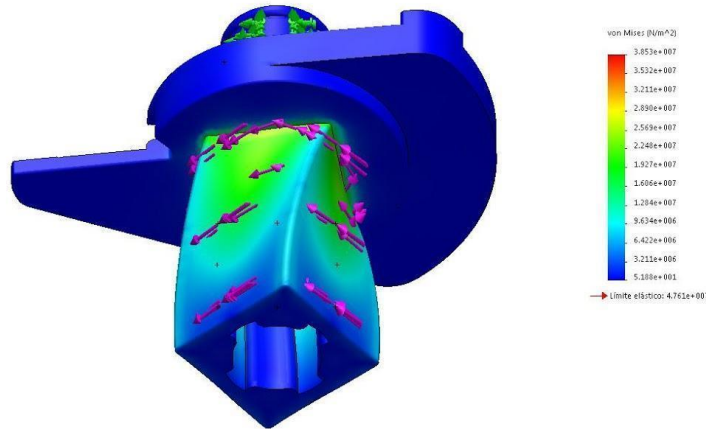
6.4.6 INFORMACIÓN DE MALLA-DETALLES

Número total de nodos	102972
Número total de elementos	65596
Cociente máximo de aspecto	37.613
% de elementos cuyo cociente de aspecto es < 3	95.2
% de elementos cuyo cociente de aspecto es > 10	0.0381
% de elementos distorsionados (Jacobiana)	0
Tiempo para completar la malla (hh:mm:ss):	00:00:06
Nombre de computadora:	SC308C11

Tabla 9 | Información detallada de la malla | Fuente: El autor

6.4.7 PRUEBA DE TORSIÓN – ANÁLISIS DE ELEMENTOS FINITOS

Nombre de modelo: Repuesto Final
 Nombre de estudio: Análisis estático 1-Predefinido1
 Tipo de resultado: Análisis estático tensión nodal Tensiones1
 Escala de deformación: 21.191



Edición para educación. Sólo para uso en la enseñanza

Ilustración 35 | Análisis de elementos finitos – Pieza sometida a prueba de torsión | Fuente: El autor

Nombre	Tipo	Mín.	Máx.
Factor de seguridad1	Automático	1.23552 Nodo: 98773	917757 Nodo: 94239
Repuesto Final-Análisis estático 1-Factor de seguridad-Factor de seguridad1			

Tabla 10 | Resultados del Análisis de elementos finitos – Pieza sometida a prueba de torsión | Fuente: El autor

Las pruebas en el software arrojaron un excelente factor de seguridad para la pieza. En las imágenes y tablas anteriores se especificaba qué partes de la pieza se seleccionaban como estáticas y qué partes de la pieza se destinaban para el esfuerzo de torsión, prueba que después de investigar un poco en el tema de pruebas destructivas, se ajustaba más a diferencia de otras pruebas al destino y uso al que va a ser sometida la pieza. El factor de seguridad que muestra el programa es resultado de haber realizado el análisis de elementos finitos aplicando una fuerza de 10 Kg*cm, fuerza suficiente para regular el espaldar. Aplicando dicha fuerza, el factor de seguridad resultante fue de 1.23552, lo cual significa que la pieza es capaz de resistir 1.23552 veces más dicha fuerza.

Las pruebas son hechas con un simulador, lo cual no siempre es una fuente confiable, ya que el simulador intenta recrear teniendo en cuenta múltiples variables una situación y de esa forma predecir un posible resultado. Por lo tanto, y para obtener unos resultados aproximados a la realidad, se procedió a realizar una prueba de torsión real.

6.4.8 PRUEBAS DE TORSIÓN REALES Y ANÁLISIS DE RESULTADOS

En la Universidad Icesi no se cuenta aún con un laboratorio industrial dotado de recursos para realizar pruebas de resistencia, razón por la cual se inició una exhaustiva búsqueda por la ciudad de Cali en busca de un lugar en donde fuera posible realizar la prueba. La primera parada fue la Universidad del Valle, pero ellos únicamente tienen una máquina universal, es decir sólo hacen pruebas de tracción y únicamente a probetas. Posteriormente se investigó en el SENA, en el laboratorio ASTIN y fue algo similar a lo encontrado en la Universidad del Valle, a pesar que propusieran un montaje, aclarando que no garantizaban la veracidad de los resultados. Finalmente después de tanto buscar, se llegó a la Universidad Autónoma de Occidente, con sus imponentes laboratorios dotados de todas las máquinas que cualquier estudiante universitario de ingeniería pudiese desear. Ellos si contaban con la máquina para realizar las pruebas de torsión, la cual no era moderna, pero tenía lo necesario para conseguir los resultados requeridos de la prueba.

Después de gestionar autorizaciones y permisos tanto en la Universidad Icesi como en la Universidad Autónoma de Occidente para poder llevar a cabo el estudio de la pieza, esta se llevó al laboratorio de materiales. Inicialmente se presentó un inconveniente: los dos mandriles de la máquina no lograban sostener la geometría irregular de los extremos de la pieza, por lo tanto era necesaria una adaptación para que la pieza pudiese estar sostenida por la máquina y a la vez sometida a la prueba sin ser alterada por el mecanismo que logra sujetarla a los mandriles.

Al tener una charla con uno de los encargados del taller de la Universidad Icesi se encontró la solución: buscar un perfil en acero que atravesara la pieza y que a su vez permitiese sujetarla de los mandriles de la máquina. Dicho perfil de acero no fue posible de encontrar en ningún almacén o taller de la ciudad, así que fue necesario manufacturarlo para que se ajustara a la pieza. Las siguientes imágenes ilustran el montaje realizado con todos los componentes.



Ilustración 36 | Máquina de torsión | Universidad Autónoma de Occidente | Fuente: El autor

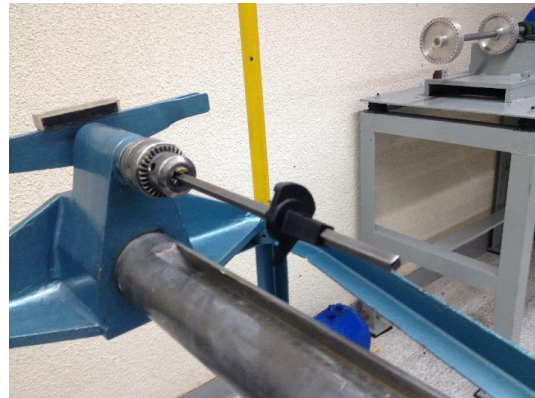


Ilustración 37 | Montaje de pieza en máquina de torsión | Universidad Autónoma de Occidente | Fuente: El autor



Ilustración 38 | Montaje de pieza en máquina de torsión | Universidad Autónoma de Occidente | Fuente: El autor



Ilustración 39 | Montaje de pieza en máquina de torsión | Universidad Autónoma de Occidente | Fuente: El autor

El perfil encajó perfectamente, no sólo en el interior de la pieza, sino también en los mandriles de la máquina. Se procedió entonces a realizar la prueba; al comienzo el perfil de acero estaba recibiendo todo el esfuerzo de torsión, más no la pieza, así que se desmontó para adaptarlo. Entendiendo que la prueba depende de un extremo estático y otro al que se le aplica torsión, se cortó la varilla a la mitad, de modo que una parte sujetara el extremo estático de la pieza a uno de los mandriles y la otra mitad al extremo giratorio.



Ilustración 40 | Montaje de pieza en máquina de torsión | Universidad Autónoma de Occidente | Fuente: El autor

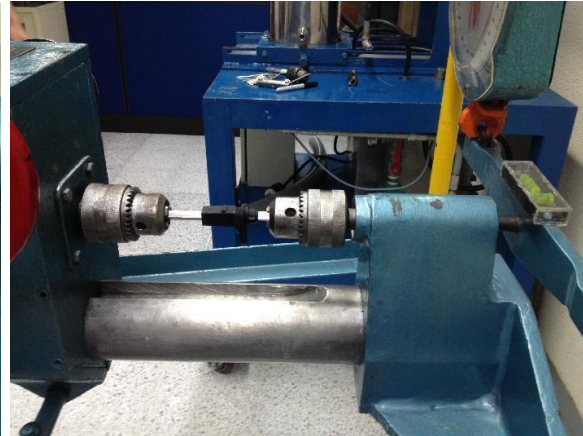


Ilustración 41 | Montaje de pieza en máquina de torsión | Universidad Autónoma de Occidente | Fuente: El autor

Este tipo de pruebas requieren de un número determinado de intentos, con el fin de tener un soporte estadístico confiable y homogeneidad en los datos. También se conoce que dependiendo de la autoparte, su material y empresa, este tipo de pruebas suelen ser reguladas por una norma automotriz. Al no disponer de los fondos suficientes para cumplir con dicho fin, la pieza original fue igualmente sometida a esta prueba con el ánimo de contar con un marco de referencia, logrando así comparar los resultados.

Los resultados obtenidos para ambas piezas se ilustran en la siguiente tabla.

Pieza Original	Pieza Impresa
Peso: 23.21 g	Peso: 13.19 g
Material: ABS	Material: PLA
Resultado: 228 Kg f cm	Resultado: 195 Kg f cm

Tabla 11 | Resultados pruebas de torsión, pieza original vs pieza impresa | Fuente: El autor

Los resultados se consideran muy exitosos debido a que: no es una pieza que compromete la seguridad del pasajero y seguramente no será sometida a semejantes fuerzas en su uso cotidiano, además es casi un 50% más liviana que la original, gracias a su método de manufactura. Adicionalmente se rescata que la pieza impresa no se fracturó en la boquilla que mantiene fijo el espaldar (debido a las modificaciones realizadas con el software) hecho que sí sucedió con la pieza original.

Adicionalmente se puede decir que ocurrió algo muy interesante con la fractura. La fractura que tuvo la pieza impresa, nace desde uno de sus ángulos rectos:



Ilustración 42 | Fractura pieza impresa | Fuente: El autor

Esto quiere decir que tratándose de un corte limpio, sin esquirlas o viruta, el hecho de no tener fatiga, desgaste o cizallamiento, puede dar indicios de una fractura producto de un diseño, es decir sus ángulos rectos, ya que la fuerza de torsión al concentrarse en esta geometría, fracturó la pieza más rápidamente de lo que hubiese podido ser si se tratase de la misma pieza pero con un redondeo más pronunciado en esos vértices, es decir, que si se hubiesen quitado esos ángulos, la piezas muy seguramente hubiese resistido más.

6.4.9 COSTEO DE LA PIEZA IMPRESA

Se analizará a continuación el componente económico, el cual es de gran peso al tener en cuenta todos los costos logísticos en los que incurre la pieza original.

Actividades pre impresión	Cantidad	Und.	Valor (\$)
Tiempo de medición	15	minutos	\$ 2.052,96
Tiempo de modelación	38	minutos	\$ 4947,04
Impresión			
Tiempo de impresión	170	minutos	\$ 158,95
Materia Prima	29,16	gramos	\$ 3.499,20
Mano de Obra	60	minutos	\$ 6.040,00
Post Impresión			
Depreciación máquina	\$ 193.553,07	COP	\$ 537,65
Mano de obra - instalación	60	minutos	\$ 5532,96
Costo Total			\$22.768,757

Tabla 12 |Tabla de costos de la impresión 3D de la pieza |Fuente: El autor

Se tuvo en cuenta el valor de \$374,44 kWh para el valor unitario de consumo de energía en una propiedad estrato 5, multiplicándolo por el tiempo de impresión y los kWh que consume la impresora. La materia prima (rollo de filamento PLA) se calculó teniendo en cuenta la cantidad de gramos utilizados en el momento de imprimir la pieza.

6.5 PROPUESTA Y JUSTIFICACIÓN DE SOLUCIONES

No se pretende reemplazar la manufactura convencional con la manufactura aditiva, simplemente mostrar una alternativa de producción que beneficie el servicio al cliente. La manufactura aditiva puede llegar a ser un apoyo muy importante para prestar un buen servicio al cliente dentro de la industria automotriz, entre otras ventajas.

A partir de los resultados obtenidos en las pruebas, se puede asegurar que las piezas fabricadas a partir de la manufactura aditiva pueden utilizarse como opción de repuesto, resistiendo lo requerido sin arriesgar la seguridad del cliente. Este concesionario del norte de Cali tiene la oportunidad de adquirir una impresora tridimensional por su cuenta y

digitalizar los repuestos con la ayuda de un escáner 3D. De igual manera puede tercerizar el servicio de modelado y de impresión según las piezas más críticas y los requerimientos del cliente. Esta propuesta de implementación de impresoras tridimensionales no son nuevas a nivel mundial: empresas como Bentley, Lamborghini, Jaguar Land Rover, entre otras utilizan la manufactura aditiva hace bastantes años para realizar simulaciones, pruebas de resistencia y escenarios aterrizados a la realidad a partir de un prototipado impreso en 3D, acelerando procesos de lanzamiento, de mercadeo y de evaluación de producto.

El caso aplicado de esa investigación demuestra que una pieza que representa un problema de \$ 2'000.000 COP es solucionado con tan sólo \$ 22.768.757 COP. Los tiempos de respuesta son claramente diferentes: el repuesto original tarda 6 meses en llegar, mientras que la pieza fabricada a partir de la manufactura aditiva tardó tan sólo 3 horas en imprimirse. Dicha pieza fue rediseñada para que no se fracturara en la parte más crítica de su estructura (la parte estática que fija el espaldar) y presentó un 50% menos de peso, lo cual se podría traducir en ahorro de combustible al considerar las múltiples partes plásticas que pueden reemplazarse a partir de la impresión tridimensional y así lograr un vehículo más liviano. Además, esta es una pieza hecha a base de ácido láctico, haciéndola amigable con el medio ambiente y finalmente es capaz de resistir un valor no muy lejano al repuesto original, cuando se le aplica una torsión de 195 Kgf*cm.

A continuación se listan otros beneficios a partir del caso y sus propuestas:

- Evitar hacer pronósticos de ventas en el sector repuestos para garantizar el control de inventarios y su disponibilidad de existencias, ya que los repuestos están disponibles en todo momento de forma digital.
- Permite una especie de ambiente “make to order”, en donde se pueden dar el lujo de esperar los pedidos de los clientes, teniendo la plena seguridad de contar con la pieza solicitada sin necesidad de complejas operaciones logísticas para importar, transportar, asegurar, almacenar e instalar.
- Envío inmediato de la información, al contar con una digitalización absoluta de las piezas de modo que si en una de las sucursales no se tiene, se puede enviar vía correo electrónico, se imprime y responde adecuadamente al cliente.
- Ahorro de posiciones en bodega.
- Recuperar mercados de vehículos discontinuados.
- Disminuir la probabilidad de pedidos equivocados (piezas que llegan y no son las deseadas).
- Personalizar la pieza, modificarla, mejorarla o inclusive ajustarla para otros vehículos de la marca.

Para el caso de este concesionario del norte de Cali, las piezas no sólo son funcionales, sino que también proponen un interesante ahorro para la compañía a causa de su origen, costo de fabricación y tiempo de entrega.

La siguiente tabla ilustra 20 de las piezas seleccionadas en bodega inicialmente.

No	Referencia	Costo (\$)	Precio de venta (\$)	Origen	Ventas/año (cantidad)	Rotación en inventario	Tiempo de tránsito	Cantidad en inventario	Peso estimado (g)	Costo de impresión (MP)
1	2S65A62782 AA02N	8.834	14.724	USA	0	0	3 días	1	20,96	\$ 2.515,53
2	AE8Z17A385 AA	31.253	52.088	USA	1	1	3 días	1	74,16	\$ 8.899,20
3	6L2Z17A385 AAA	47.543	79.239	USA	1	1	3 días	1	112,82	\$13.537,88
4	8L8Z17E814 D	24.084	40.140	USA	1	1	3 días	1	57,15	\$ 6.857,96
5	AE8Z17E857 A	11.935	19.892	USA	2	2	3 días	1	28,32	\$ 3.398,48
6	GJ6A50E11C	9.724	#N/A	JAPON	0	0	15 días	1	23,07	\$ 2.768,90
7	W711666S3 00	1.809	3.015	USA	3	3	3 días	1	4,29	\$ 515,17
8	W705681S3 00	610	1.016	USA	3	3	3 días	1	2,89	\$ 346,80
9	BB5Z782055 4AA	33.971	56.619	USA	1	1	3 días	1	80,61	\$ 9.673,23
10	3L2Z786241 8AAG	10.651	17.751	USA	0	0	3 días	1	25,27	\$ 3.032,81
11	8N151000A B153N	38.283	#N/A	BRASIL	1	1	20 días	1	90,84	\$ 10.901,04
12	8N151000A B53N	39.049	65.081	BRASIL	1	1	20 días	1	92,66	\$ 11.119,06

13	2L1Z26K297A A	28.755	47.925	USA	3	2	3 días	1	68,23	\$ 8.187,90
14	F77Z26K297B C	10.576	17.627	USA	3	2	3 días	1	25,10	\$ 3.011,61
15	1L2Z27228AA	9.533	15.888	USA	1	1	3 días	1	22,62	\$ 2.714,49
16	YL8Z7H459A C	8.875	14.792	USA	0	0	3 días	1	21,06	\$ 2.527,15
17	E9T27C430A	1.299	2.166	USA	4	3	3 días	2	3,08	\$ 370,03
18	S05B56643	1.625	#N/A	JAPON	1	1	15 días	1	3,86	\$ 462,72
19	B21H50715 C	2.953	#N/A	JAPON	1	1	15 días	1	7,01	\$ 840,86
20	B30D510B7 A	5.154	#N/A	JAPON	1	1	3 días	1	12,23	\$ 1.467,60

Tabla 13 | Referencias candidatas bajo los parámetros de impresión | Fuente: Concesionario norte de Cali y el autor

La tabla muestra una diferencia considerable entre el costo de la pieza original y el costo probable al imprimirse. El costo de la pieza proporcionado por la fábrica discrimina los costos logísticos, de envío, almacenamiento, los seguros y nacionalización si es necesaria, ya que solo tiene en cuenta el costo de producción. De igual manera el costo de impresión no tiene en cuenta el tiempo de modelado (ya que se propone se haga mediante un escáner 3D), ni los costos fijos como la depreciación de la máquina y la energía que consume, solo se tiene en cuenta el costo por gramo de la materia prima. A pesar de esto, la diferencia entre costos es muy grande, si se tiene en cuenta que hay muchas más partes plásticas dentro de un vehículo que puede reemplazarse con la manufactura aditiva.

7. CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES COMPONENTE TÉCNICO

La impresión tridimensional, además del área de repuestos, abre sus puertas a muchas otras aplicaciones, como por ejemplo las pruebas de aerodinamismo, las pruebas de ajustes de ensamble, los servicios de apoyo en productos defectuosos o reprocesos, el prototipado rápido, entre otros. Este modelo no trae únicamente como resultado ahorros significativos, a su vez es un excelente potencializador del servicio al cliente y una excelente oportunidad para estar un paso adelante e innovar en el país.

En esta investigación se logró demostrar la cantidad de beneficios que puede tener un taller de repuestos si incluye y se apoya en la manufactura aditiva, tales como almacenamiento, distribución, servicio al cliente. A partir de las pruebas de torsión se pudo observar lo satisfactorio que es su resistencia en relación al original y que puede reforzarse sus puntos débiles en SolidWorks para aumentar su punto de ruptura.

Adicionalmente hay un impacto muy grande del que quizás no se ha hablado con mucha profundidad. Este es el impacto que puede llegar a tener esta tecnología en los eslabones de una cadena de abastecimiento, ya que si se tienen en cuenta las diferentes operaciones que se realizan en la industria automotriz, podríamos llegar a hablar de evadir costos de transporte, de almacenamiento, robos, fletes, importación, planeación, seguros, nacionalización, entre muchos más. Si en un futuro empresas como esta pudiesen digitalizar sus 12.000 referencias, imprimirlas cuando el cliente las solicite, y conquistar otros mercados en el exterior por las facilidades que presta el internet para compartir información (en este caso archivos CAD, que pueden convertirse en realidad), Los resultados sin duda alguna serían muy favorables. Recomendamos a la empresa continuar por el camino que hemos iniciado explorando, buscando la posibilidad de hacer realidad esta oportunidad disfrutando de los beneficios que cambiarían por completo los escenarios de los que se hablaron en las últimas 3 figuras. Es decir pasar de productos de baja rotación y altos costos a productos con baja rotación pero bajos costos. Por otro lado también se podría estar hablando de pasar de productos de alto costo y altos tiempos de respuesta a todo lo contrario e inclusive de productos con pocas existencias y por lo tanto altos costos a ninguna existencia (porque todo estaría digitalizado y se imprimiría cuando se solicite) y bajos costos. A continuación se presentan dichas situaciones como “situación deseada” para la respectivas figuras 11, 12 y 13:

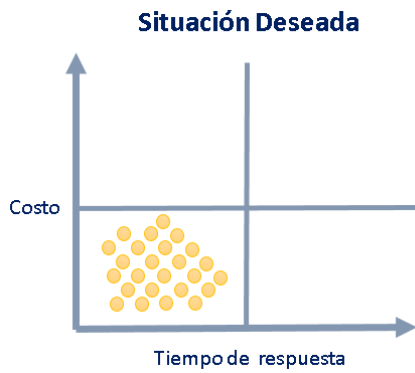


Ilustración 43 | Bajo costo y bajo tiempo de respuesta | Fuente: El autor

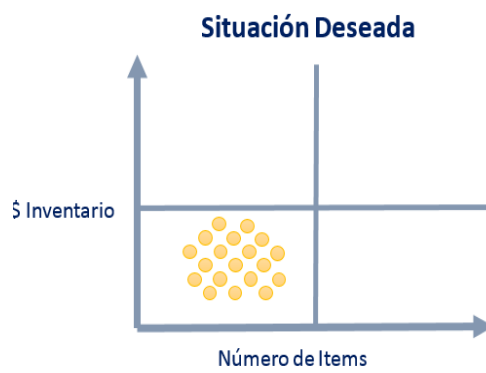


Ilustración 44 | Bajo inventario y bajo número de ítems | Fuente: El autor

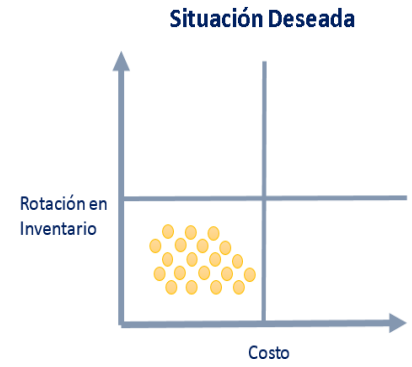


Ilustración 45 | Baja rotación en inventario y bajo costo | Fuente: El autor

8. DESARROLLO - COMPONENTE MERCADOLÓGICO

A partir de toda la información recolectada por el componente técnico, se procedió a desarrollar las siguientes actividades: El rediseño del canal de distribución y el replanteamiento de una nueva cadena de valor producto de las posibles transformaciones a partir de la implementación de dicha tecnología, teniendo en cuenta la voz del entorno (fabricantes, distribuidores, vitrinas, talleres y clientes) y las entrevistas en profundidad a expertos que representaran cada uno de los intermediarios de esta cadena.

Las entrevistas a expertos consistieron en una serie de preguntas que buscaban como fin dialogar con todas las partes involucradas de la cadena de valor. Se entrevistaron a más de 20 directores de vitrinas, de las principales marcas en la ciudad, cada una de estas personas con más de 5 años de experiencia en el mercado, con amplio conocimiento sobre sus clientes y proveedores, además en cada una de las vitrinas, se entrevistaron oportunamente alrededor de 15 clientes que mostraban lealtad a la marca, aquel tipo de cliente que conoce muy bien el vehículo que conduce y que representa con su opinión a muchos como él, permitiendo así identificar ciertas tendencias en el segmento. De igual modo se tuvo en cuenta la opinión de distribuidores entre ellos la del director de la casa de repuestos automotrices más grande del valle y de reconocidos fabricantes entre ellos, el gerente general de SOFASA.

Algunas de las preguntas más comunes en el diálogo con las partes fueron las que se presentarán a continuación:

¿Conoce usted sobre la impresión 3D?

¿Percibe usted algún tipo de ventaja para su negocio usando esta tecnología?

¿Estaría usted dispuesto a utilizar un repuesto impreso en 3D?

¿Qué tantos beneficios percibe usted como consumidor con esta tecnología?

Estas son las preguntas más relevantes de la investigación porque de cierta forma permiten medir el impacto y el nivel de aceptación por parte de cada uno de los integrantes de la cadena de valor, logrando así captar aquellos insights que permiten posteriormente identificar oportunidades reales para la tecnología y con ello, direccionarla en el sentido más apropiado para su exitosa culminación.

Algunas de las compañías más relevantes para la investigación fueron las que se pueden apreciar en la siguiente gráfica (ilustración 46):



ILUSTRACIÓN 46 | PRINCIPALES MARCAS (VITRINAS) ENTREVISTADAS EN LA CIUDAD DE CALI | Fuente: El autor

De cada una de ellas se pudo recopilar una serie importante de verbatims que enriquecen la investigación y que de alguna u otra forma delimitan los parámetros y las implicaciones a seguir si se llegara a implementar un modelo de impresión tridimensional en la cadena de valor del sector post venta automotriz.

Audi:

"Puede ser un arma de doble filo, ya que así como los clientes pueden decir que es una maravilla, también podrían decir que no son originales, por el simple hecho de salir de la vitrina y no de la fábrica en Alemania"

Toyota

"¡Servicio al cliente! ¡Eso es servicio al cliente! Poderle responder con la pieza que él desea, en el momento que la desea y en el lugar que la desea..." "Se disminuyen de forma asombrosa los inventarios, el tiempo de entrega y los costos de distribución".

Porsche:

"Sería la mejor solución para las complejas operaciones logísticas, se disminuye el riesgo de imprevistos, una vez un cliente solicitó un parabrisas, se demoró 4 meses en llegar y cuando llego, en el trayecto a la vitrina se fracturó, lo cual implicó pérdidas no sólo de tiempo sino también de dinero para la vitrina y un bajo nivel de servicio al cliente, tratándose de una de las mejores marcas premium.

Renault:

"Es una muestra de ingenio e innovación, sin duda alguna no sólo podrían encontrarse grandes oportunidades en los mercados para vehículos nuevos, se podrían incluso llegar a recuperar mercados de los vehículos antiguos"

Honda:

"Es una solución muy viable y de alto impacto en la cadena de abastecimiento y tiempos de respuesta, le permite a la industria automotriz y a la industria en general operar con mayor efectividad y flexibilidad".

Ssang Yong:

"Es como tener una mini fábrica, es una máquina que reúne muchas cualidades en una sola, prácticamente un 12 en 1. Cualquier requerimiento del cliente por muy exigente que sea, podría ser atendido sin problema".

Chevrolet:

"Puede ser una solución muy útil que se puede ofrecer desde la dimensión de concesionario a cliente".

Ford:

"La cantidad de costos en los que se dejan de incurrir es muy significativa, sin duda alguna es una herramienta con mucho potencial para el sector automotriz".

De lo anterior es muy importante destacar que si hay un alto grado de interés por parte de las entidades que conforman la cadena por implementar la tecnología, los distribuidores lo ven como una nueva oportunidad de negocio, los fabricantes como una solución a las piezas de baja rotación, las vitrinas como un mejor servicio al cliente, los talleres como una herramienta de desvare y los clientes como una buena alternativa para no esperar largos tiempos de espera mientras llega el repuesto a Cali. Sin embargo es muy importante resaltar que si bien esto puede funcionar, aún hay clientes que no están del todo preparados para un cambio tan radical como este, según lo menciona Audi, el origen termina siendo una variable que le genera confianza al consumidor, en el caso de Audi, si sus consumidores no tienen garantía que la pieza fue fabricada bajo las instalaciones de la fábrica en Alemania, entonces la pieza que se les ofrezca les da desconfianza. Mientras que con Toyota ocurre todo lo contrario, el cliente tiene tanta confianza hacia la marca, por su legado en cuanto a respaldo, que mientras la vitrina aprueba una determinada solución, el cliente siempre estará dispuesto a tomarla. Por ende es muy claro que el consumidor final jugará un papel muy importante para el adecuado desarrollo de una estrategia e implementación de esta tecnología, en caso tal que una de las marcas terminara adoptando el modelo (el de incluir impresión tridimensional en sus operaciones).

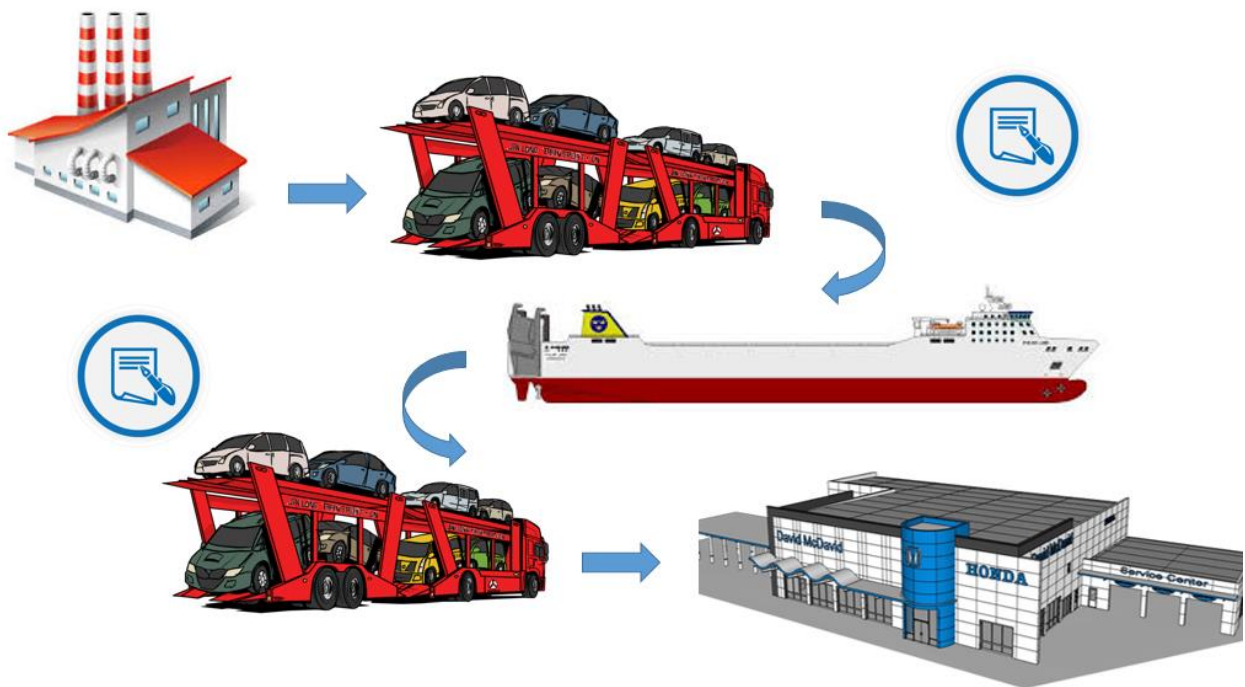


ILUSTRACIÓN 47 | SISTEMA TRADICIONAL DE IMPORTACIÓN DE VEHÍCULOS | Fuente: El autor

Como ya se mencionó anteriormente un maestro del manejo de suministros con múltiples proveedores es Audi. La fábrica de Audi en Neckarsulm - Alemania, elabora la carrocería, el chasis

y los interiores del R8. Más de 4500 personas trabajan allí y también fabrican los sedanes A6 y A8. Pero solamente 128 operarios de la fábrica, califican para trabajar en la línea de ensamble de la joya maestra alemana: El Audi R8. En un día de trabajo la fábrica ensambla sólo 20 de estos autos. La construcción del R8 empieza a más de 6000 kilómetros de distancia, en la planta de aluminio de Alcoa en Davenport – Iowa. Toda la carrocería de este auto se encuentra hecha de aluminio, el uso de este material reduce el peso de su marco a sólo 210 Kg, menos de la mitad del peso de un marco de acero. Alcoa es el socio principal de Audi en la tecnología de paneles de aluminio y uno de los muchos proveedores de este material para la carrocería de sus autos. A esta planta de aluminio le suministran otras empresas los distintos insumos que conforman la aleación de cada panel. Estas fundidoras, le proporcionan a Alcoa barras de aluminio puras llamadas lingotes y otros insumos como magnesio y silicio que son parte de la aleación. Una vez Alcoa transforma todos estos insumos en enormes rollos de lámina de aluminio de alrededor de 9 toneladas, son enviados a otro proveedor que los troquea. Luego en Neckarsulm – Alemania, los paneles son transformados en diferentes piezas con las que se ensamblará.

Por otra parte el motor de este auto es fabricado en Hungría y se traslada a en Neckarsulm – Alemania, para unirse a la línea de ensamble. Se requieren más de 5000 piezas diferentes para elaborar la carrocería del Audi R8. Todo lo anterior sin contar con los innumerables insumos secundarios como pintura, anticorrosivos, discos, pistones, válvulas, entre muchos más que provienen de distintos proveedores alrededor del mundo. Hay 14 estaciones de ensamblaje en la línea del R8. Cada etapa de producción tiene una serie de tareas que deben completarse en total de 30 minutos. A pesar del riguroso cronometraje, no hay ni un solo robot a la vista, ya que todo se hace a mano. Cada auto cuenta con un libro personalizado que siempre lo acompaña. Este es único para cada auto y contiene todas las especificaciones del cliente. Lo cual quiere decir que a pesar de tratarse del mismo modelo, este puede llegar a presentar muchas variaciones. En la estación 1, técnicos tienden una autopista de cables por todo el auto. Cables que dependiendo de sus fines (ya sea conducir energía al sistema eléctrico, motor, parlantes, servodirección o tablero de instrumentos), pueden llegar a diferir de proveedor. El juego de faros de luces viene de una planta de Volks Wagen en Alemania. Las líneas de dirección vienen de Rumania, los pedales de freno y embrague de Inglaterra y las líneas de agua de Francia. El tanque de combustible de 90 litros viene de España. Cada estación instala alrededor de 50 piezas en un orden preciso y con un uso de más de 12 herramientas diferentes. El tablero y los instrumentos se unen al auto en estaciones posteriores, sin embargo estos ya vienen previamente ensamblados, contando con cientos de piezas sub-ensambladas en alguna otra planta de Audi en Alemania. Son más de 5000 piezas las que se requieren para la fabricación de un Audi R8 y un total de 536 proveedores.

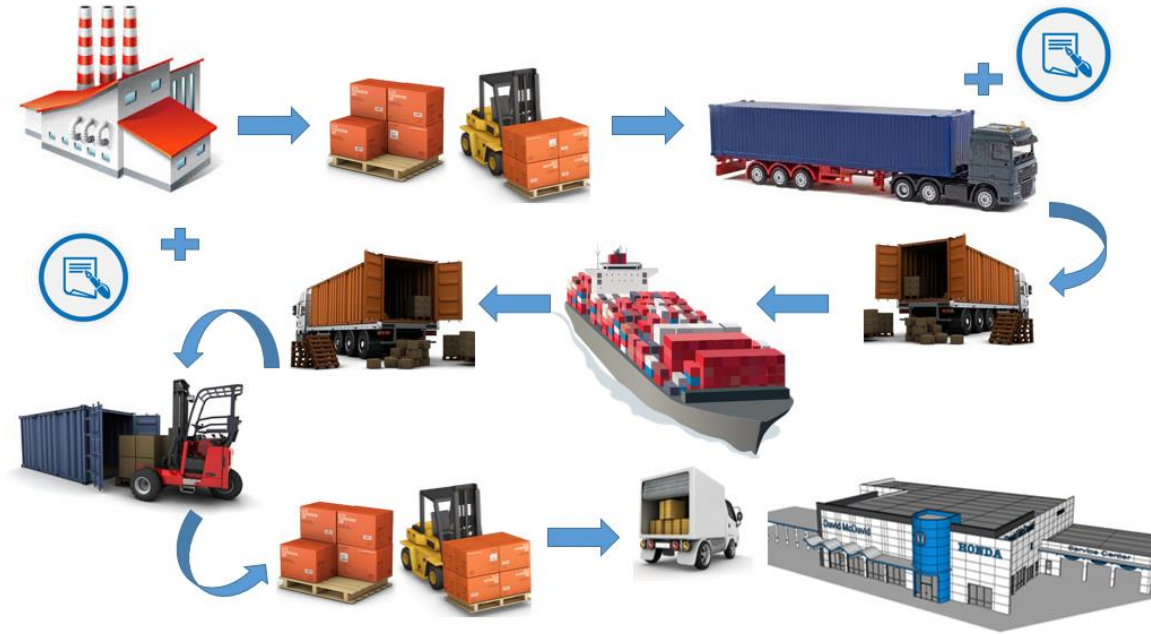


ILUSTRACIÓN 48 | SISTEMA TRADICIONAL DE IMPORTACIÓN DE AUTO PARTES | Fuente: El autor

Si todo lo anterior parece complejo, ni se ha de imaginar lo que ocurre en marcas un poco más populares como Renault, Ford y General Motors. El negocio de toda industria automotriz no es únicamente la fabricación de automóviles. El negocio también consiste en la fabricación de repuestos. Según Econometría 2013, Renault maneja en Colombia alrededor de 147 referencias distintas de vehículos que van desde camiones hasta autos como sus famosos Twingos y Clios. Pensemos por un momento en la cantidad de intermediarios que tuvieron que participar en la fabricación, almacenamiento y distribución de estos autos. A ellos se les debe desde la concepción hasta la distribución a las vitrinas de cada uno de estos vehículos, donde seguramente conocerán por primera vez a su dueño. Ahora bien pensemos también en lo complejo que podría llegar a ser atender alguna reparación que llegase a pedir cualquiera de estos vehículos en un taller, en cualquiera de las innumerables cedes de atención al cliente alrededor del país. Hablando únicamente del Renault Clio, tenemos que se trata de un vehículo muy comercial en Colombia, con más de 15 versiones diferentes como el Clio AT, Clio Campus CA/ DA, Clio Campus CA/ SDA, Clio Campus SA/ SDA, Clio DYNAMIQUE, Clio EXPRESSION (COOL SA), Clio EXPRESSION PACK (COOL CA), Clio RL, Clio RN, Clio RS 1.6 y el Clio RT. De los cuales circulan alrededor de 45533 vehículos de lo corrido desde el 2000 al 2013. No todos fueron fabricados en el mismo lugar, no todos fueron fabricados con las mismas piezas, y por ende aquí es donde surge el problema. Para los diferentes centros de atención al cliente no es rentable almacenar todos los repuestos de todos los vehículos, para esperar a que un buen día llegue un cliente solicitando uno de estos. Por lo tanto imagine lo complicado que podría llegar a ser que un cliente de un modelo no tan reciente, solicite un repuesto que no se encuentra un taller o inclusive en la casa matriz de repuestos que por lo general se encuentra en Bogotá. El despliegue de operaciones logísticas, el dinero y el tiempo invertidos para encontrar ese repuesto en cualquier otro lugar del mundo son muy altos.

Sin embargo existe una solución para todos estos problemas, esta tecnología se conoce como impresión tridimensional. Una impresora 3D, es una máquina que te permite literalmente imprimir objetos modelados en tres dimensiones en un computador. Es una tecnología que en primera instancia choca contra lo convencional, contra lo que estamos acostumbrados, pero el tema es tan sencillo como imaginar, que ya es posible, traer a la realidad objetos que alguna vez fueron concebidos en una computadora. Todo lo anterior gracias a una sola máquina. Una vez dispongas de un archivo CAD (por sus siglas en inglés que significan: “Diseño Asistido por Computadora”), que podemos modelar en programas como Rhino, SolidWorks, o inclusive Google Sketchup, es sólo cuestión de oprimir el botón que dice “imprimir” y la impresora 3D con la que se cuente, lo imprimirá en el material y color que le permita su tecnología (ya que existen más de 14 diferentes tecnologías y cientos de materiales diferentes).

¿Entonces por qué esta tecnología podría beneficiar ampliamente al sector post venta automotriz? La razón es muy sencilla. Imagine que cada taller que manejara repuestos tuviese una impresora 3D. Adicionalmente suponga que en vez de contar con una bodega gigante de almacenamiento para guardar repuestos, contara más bien con un buen disco duro en un PC, donde se almacenaran todas las piezas de todos los vehículos que vende y ha vendido ese concesionario, de modo que cuando llegue el cliente a solicitar una pieza, el taller solo tuviese que imprimirla e instalarla en tiempo record, comparado con lo que demandaría una pieza que no se encontrase en el taller, ni en Bogotá en la casa matriz y que se tuviese que buscar en otro lugar del mundo.



ILUSTRACIÓN 49 | PROPUESTA DEL NUEVO DISEÑO DE LA CADENA DE VALOR | Fuente: El autor

9. ANEXOS

Entrevista a un empleado del concesionario del norte de Cali

Entrevistado (asistente de gerencia en repuestos): El señor (cliente) estaba usando el vehículo (nuevo) y como a los dos meses llegó aquí diciendo que no era fijo el espaldar, que se corría para adelante y para atrás. Entonces el señor hizo el reclamo y se le iba a cambiar la pieza por garantía. Nosotros pedimos las piezas a Ford con un pedido de emergencia y por lo tanto nos cobran un costo adicional del 15%. Se pidió allá y ellos lo piden a Brasil. Brasil es el fabricante original de ese vehículo. Ford no la tenía disponible, la pidieron, y se demoró seis meses en llegar. Cuando llegó la estructura, no traía la parte que se había dañado. La estructura vale alrededor de 2 millones de pesos y la piecita vale como 20 mil pesos, pero no viene sola, viene con el kit (la estructura). Se demoró, en total, seis meses en llegar y para responderle al señor, para poder brindarle un servicio al cliente tocó coger un carro nuevo, desmontar el asiento y montárselo a él, o sea que canalizamos un vehículo de 60 millones de pesos para solucionar un problema de una pieza que valía 20 mil pesos. El carro duró seis meses allí parado esperando la pieza.

Entrevistador: El tema de fletes, el envío y todo ¿también va por cuenta de la fábrica?

Entrevistado: Todo el tema, todo el trámite lo hace la fábrica. La pieza originalmente es de Brasil, les llega a ellos y luego nos la facturan a nosotros. Aquí nosotros se la instalamos.

Entrevistador: ¿Y de esas piezas no hay en inventario?

Entrevistado: No hay en inventario, no las tiene el concesionario y tampoco las tiene la fábrica. Se demoró seis meses en despacharlo porque no la tenían disponible.

Entrevistador: ¿Se despachó por cual medio?

Entrevistado: Eso lo despachan, como era pedido de emergencia, lo traen aéreo, entonces los costos se incrementan. Además del tiempo y del costo, está la insatisfacción del cliente por un vehículo nuevo.

Nota:

En el CD adjunto se encuentran los audios más relevantes de las entrevistas a expertos de las vitrinas.

10. BIBLIOGRAFÍA

- Barnatt, C. (2014). *3D Printing. The next industrial Revolution*.
- BID. Indicadores macro económicos. [En línea]. 2003 - 2011. [Citado 05-May-2014]
Disponible en internet: <http://www.iadb.org/research/LatinMacroWatch/CountryTable.cfm?country=Colombia&lang=en>
- Cadena de abastecimiento - Supply chain [En línea]. Operaciones logísticas. [Citado 05-May-2014]
Disponible en internet: <http://logisticaenchile.blogspot.com/2009/06/cadena-de-abastecimiento-supply-chain.html>
- Estudios de caso de impresión 3D. [En línea]. Stratasys Ltd. 2014. [Citado 30-Oct-2014]
Disponible en internet: <http://www.stratasys.com/es/resources/case-studies?industries=Automobile>
- 3ders.Open source 3D printers challenge giants Stratasys and 3D Systems. [En línea]. 2013. [Citado 07-May-2014]
Disponible en internet: <http://www.3ders.org/articles/20131106-open-source-3d-printers-challenge-giants-stratasys-and-3d-systems.html>
- Serensits, T. 3D Printers and the Additive Manufacturing Process. [En línea]. Oct. 2012. The Minitab Blog. [Citado 05-May-2014]
Disponible en internet: <http://blog.minitab.com/blog/the-statistics-of-science/3d-printers-and-the-additive-manufacturing-process>