



UNIVERSIDAD CATÓLICA ANDRÉS BELLO

FACULTAD DE INGENIERÍA

ESCUELA DE INGENIERÍA INDUSTRIAL

“Evaluación de la factibilidad técnica y económica de la selección de materiales
alternativos de bajo costo para ser usados en tecnologías de “Prototipado
Rápido””

TOMO I

TRABAJO ESPECIAL DE GRADO

Presentado ante la

UNIVERSIDAD CATÓLICA ANDRÉS BELLO

Como parte de los requisitos para optar al título de

INGENIERO INDUSTRIAL

REALIZADO POR

Br. Luis Antonio Manzanares

PROFESOR GUÍA

Ph.D. Henry Gasparin

FECHA

FEBRERO, 2012

DEDICATORIA

A todo aquel que valore este trabajo, a mi abuela, quien a lo largo de esta travesía siempre confió en mí y me dio fuerzas y aliento para seguir adelante. De igual manera quiero dedicar el presente trabajo de grado a Billy Spence, por haberme dado todo el apoyo necesario a lo largo de la carrera de Ing. Industrial, y por haberme ayudado a crecer de manera personal y profesional.

Universidad Católica Andrés Bello

Facultad de Ing. Industrial

Escuela de Ing. Industrial

“Evaluación de la factibilidad técnica y económica de la selección de materiales alternativos de bajo costo para ser usados en tecnologías de “Prototipado Rápido””

Autor: Luis Antonio Manzanares

Tutor: Henry Gasparín

Fecha: Febrero 2012

SINOPSIS

El presente Trabajo Especial de Grado tuvo como objetivo principal, Evaluar la factibilidad técnica y económica de la selección de materiales alternativos de bajo costo para ser usados en tecnologías de Prototipado Rápido. La investigación realizada se enmarca dentro de un tipo de investigación Evaluativa, contemplando las fases propias de este tipo de investigación (Observación, Exploración, Descripción, Análisis de alternativas, Explicación, Predicción y Evaluación).

En la primera etapa denominada “Sintagma Gnoseológico”, se conceptualizó el evento a explicar para la selección del material alternativo de bajo costo para luego definir los métodos necesarios para llevar a cabo dicho evento.

En la segunda etapa denominada “Resultados del Diagnóstico” se expusieron todos los resultados obtenidos luego de diferentes pruebas que permitieron la caracterización de los materiales alternativos y el material actual. Esta etapa fue importante al momento de llevar a cabo el análisis de las alternativas y establecer el criterio de selección.

La tercera etapa compete a la descripción del plan de acción, en donde se dieron a conocer los costos asociados al estudio, los recursos necesarios, como también las personas que estuvieron presentes para el desarrollo de dicho estudio.

Al integrar y analizar los resultados obtenidos en las diferentes etapas, que evalúan la factibilidad técnica y económica en la selección de los materiales alternativos de bajo costo, se concluye que el material seleccionado cumple con todos los requisitos necesarios para ser usado en la tecnologías de Prototipado rápido. Finalmente se dan una serie de recomendaciones, que le permitirán a los que deseen realizar un estudio de factibilidad en la fabricación del material alternativo seleccionado, el éxito en la producción del mismo.

TABLA DE CONTENIDO

TABLA DE CONTENIDO.....	I
ÍNDICE DE FIGURAS.....	IV
ÍNDICE DE GRÁFICAS.....	VI
INDICE DE TABLAS.....	VII
INTRODUCCIÓN	1
1 CAPITULO I.....	3
Criterios para la investigación.....	3
1.1 Planteamiento del problema	5
1.2 Justificación de la Investigación.....	6
1.3 Objetivos	7
1.4 Limitaciones	8
2 CAPITULO II.....	9
2.1 Aspectos generales de la Investigación Evaluativa	9
2.2 Conceptos Básicos de Prototipado Rápido.....	10
2.3 Conceptos Básicos de materiales usados para el Prototipado rápido .	16
2.4 Almidones termoplásticos (TPS).....	21
2.5 Moldeo de termoplástico por inyección.....	24
2.6 Equipo RapMan	25
2.7 Reciclado del ABS	25
2.8 Consideraciones generales para la construcción y validación de instrumentos.....	28
2.9 Unidades de estudio	29

3	CAPITULO III.....	31
3.1	La definición de Investigación	31
3.2	Tipo de Investigación	31
3.3	Estructura metodológica general para llevar a cabo una investigación evaluativa	32
3.4	Diseño de la investigación	34
3.5	Procesos Generadores y eventos a modificar	34
3.6	Descripción y selección de las unidades de estudio	37
3.7	Instrumentos para la recolección de datos.....	38
3.8	Técnicas de análisis.....	39
4	CAPITULO IV	40
4.1	Resultados del estadio descriptivo y de las condiciones actuales	40
4.2	Resultados del estadio comparativo	42
4.3	Resultados del estadio predictivo	49
5	CAPITULO V	51
5.1	Justificación del estudio	51
5.2	Objetivos del estudio.....	51
5.3	Contenidos del estudio.....	52
5.4	Métodos y procedimientos de la aplicación del estudio	53
5.5	Tiempos, etapas y programación de actividades	53
5.6	Personal requerido y participantes.....	54
5.7	Recursos utilizados para la aplicación del estudio.....	55
5.8	Costos del estudio	58
5.9	Criterios para evaluación de efectividad	59

6	CAPITULO VI	61
6.1	Evaluación del estudio en sus diferentes aspectos.....	61
7	CONCLUSIONES.....	64
8	Recomendaciones.....	66
9	BIBLIOGRAFÍA.....	68

ÍNDICE DE FIGURAS

Figura 2.1 Piezas fabricadas por SLA.....	12
Figura 2.2 Piezas fabricadas por SGC.....	13
Figura 2.3 Piezas fabricadas por deposición de hilo fundido.....	14
Figura 2.4 Piezas fabricadas por SLS.....	15
Figura 2.6 Proceso de Corte y Laminado.....	15
Figura 2.7 Almidón de tomate.....	22
Figura 2.8 Proceso para Inyección de termoplástico en molde frío.....	25
Figura 2.9 Nivel de reciclaje del ABS.....	28
Figura 3.1 Estructura metodológica para llevar a cabo una Investigación evaluativa.....	36
Figura 4.1 Equipo RapMan seleccionado para realizar las pruebas.....	41
Figura 4.2 Resultados del estadio comparativo.....	42
Figura 4.3 Termoplástico de Almidón luego de ser procesado por el equipo de moldeo por Inyección.....	44
Figura 4.4 Estudio de tracción del ABS.....	47
Figura 4.5 Estudio de tracción de termoplástico de almidón.....	48
Figura 5.1 Etapas y actividades desarrolladas vs el tiempo estipulado.....	54
Figura 5.2 Recursos utilizados para la elaboración de termoplásticos de almidón.....	55
Figura 5.3 Recursos utilizados para la elaboración de termoplásticos de almidón 2.....	56

Figura 5.4 Muestras de termoplástico de almidón dentro del horno para
extracción de humedad.....57

Figura 5.5 Estructura de costos del estudio.....58

ÍNDICE DE GRÁFICOS

Gráfico 4.1 Equipos de Prototipado rápido según marca, modelo y costo del consumible.....	41
Gráfico 4.2 Comparación de los puntos de Fusión de los materiales propuestos.....	43
Gráfico 4.3 Comparación costo (\$/Kg) de los consumibles propuestos.....	44
Gráfico 4.4 Costo de materia prima para elaboración de termoplásticos de almidón vs costo de ABS para 1.5Kgs de cada material.....	46
Gráfico 4.5 Estudio de dureza realizado del termoplástico de almidón y el ABS.....	49

ÍNDICE DE TABLAS

Tabla 4.1 Listado de equipos de Prototipado rápido según marca, modelo, consumible, costo del equipo y costo del consumible.....	40
Tabla 4.2 Listado de materiales caracterizados por punto de fusión, porcentaje de humedad y densidad.....	43
Tabla 4.3 Costos de materia prima para la elaboración de Termoplástico de almidón	45
Tabla 4.4 Costos de materia prima para elaboración de Termoplástico de almidón vs costo del ABS para 1.5 kg. De cada material.....	45
Tabla 4.5 Listado de elementos a considerar en la selección de material alternativo propuesto.....	47
Tabla 4.6 Estudio de dureza del Termoplástico de almidón y el ABS.....	49
Tabla 5.1 Costos de materia prima para el estudio.....	58
Tabla 5.2 Suma de los costos del estudios.....	59

INTRODUCCIÓN

Desde el principio de los tiempos, el hombre siempre ha estado innovando en métodos y productos que le ayuden a facilitar las actividades que realiza en el día a día, teniendo ideas que con el trabajo y dedicación, las convierte en una realidad. Con el pasar del tiempo, esos métodos que permiten transformar ideas en objetos palpables han ido evolucionando, y con esa evolución nace el Prototipado Rápido.

La Universidad del Estado de Carolina del Norte, en la búsqueda de la optimización de sus procesos y reducción de costos, se vio en la necesidad de evaluar la factibilidad técnica y económica de la selección de materiales alternativos de bajo costo para ser usados en los equipos de Prototipado Rápido presentes en sus laboratorios, debido a que los altos costos de los consumibles de estos equipos y la contaminación que generan estos al medio ambiente al no ser biodegradables, han generado una problemática cuyas consecuencias han sido la disminución en un importante porcentaje de fabricación de prototipos.

Por lo antes descrito, la Universidad del Estado de Carolina del Norte, propuso el desarrollo de una línea de investigación que identifique las alternativas para ampliar la accesibilidad de esta tecnología a través del uso de nuevos materiales de bajo costo.

Este estudio permitirá realizar una evaluación de los equipos que actualmente se tienen en la Universidad del Estado de Carolina del Norte para con ello identificar el tipo de consumible que se viene utilizando actualmente, sus propiedades físicas y costos, permitiéndolo con esto la búsqueda y caracterización de los posibles materiales alternativos que pudieran ser utilizados en esta tecnología.

El material alternativo seleccionado, deberá ser capaz de ofrecer los mismos o mejores resultados que el consumible actual, en una relación costo-beneficio, que permitirá establecer el criterio de selección y posterior evaluación en los equipos de Prototipado rápido.

CAPITULO I

Criterios para la investigación

La mente humana no es capaz de retener toda la información que se precisa para la ejecución de un proyecto. Por tanto, es imprescindible utilizar técnicas de representación que almacenen dicha información. El modo habitual y más conocido de representación es el dibujo (planos). Sin embargo, los lenguajes gráficos son incapaces de contener toda la información necesaria para la realización de los distintos ensayos sobre el producto. Por todo ello surge la necesidad de realizar maquetas o prototipos, que reduzcan el riesgo que entraña un proyecto completo.

Los Sistemas de Prototipado Rápido surgen inicialmente en 1987 con el proceso de estereolitografía (StereoLithography - SL) de la empresa norteamericana 3D Systems, proceso que solidifica capas (layers) de resina fotosensible por medio de láser. El sistema SLA-1, es el primer sistema de prototipaje disponible comercialmente, fue un precursor de la máquina SLA-1, bastante popular en la actualidad. Después de que la empresa 3D Systems comenzase la comercialización de máquinas SL en EE.UU., las empresas japonesas NTT y Sony/D-MEC comenzaron a comercializar sus versiones de máquinas de estereolitografía en 1988 y 1989, respectivamente. Enseguida, en 1990, la empresa Eletro Optical Systems - EOS en Alemania, comenzó a comercializar el sistema conocido como Stereos.

A continuación vendrían las tecnologías conocidas como Fused Deposition Modeling (FDM) de la empresa americana Stratasys, Solid Ground Curing (SGC) de la israelí Cubital e Laminated Object Manufacturing (LOM), todas en 1991. La tecnología FDM hace una extrusión de filamentos de materiales

termoplásticos capa por capa, semejante a la estereolitografía, solo que utilizando un cabezal de fusión del material en vez de un cabezal láser. SGC también trabaja con resina foto sensible a rayos UV, solo que solidifica cada capa en una única operación a partir de la utilización de máscaras creadas con tinta electrostática en una placa de vidrio. LOM solidifica y corta hojas de papel (actualmente hojas de termoplásticos reforzados con fibras) usando un láser controlado por ordenador.

Los sistemas de sinterización (Selective Laser Sintering - SLS) de la empresa americana DTM y el sistema Soliform de estereolitografía de la japonesa Teijin Seiki, se hicieron posibles en 1992. Usando calor generado por el láser, SLS funde polvos metálicos y puede ser utilizado para la obtención directa de matrices de inyección.

En 1993, la americana Soligen comercializó el producto conocido por Direct Shell Production Casting (DSPC), que utiliza un mecanismo de inyección de tinta para depositar líquido emulsionante en polvos cerámicos para producir cascas que a su vez pueden ser utilizadas en la producción de moldes y piezas inyectadas en Al, proceso desarrollado y patentado por el MIT (Massachusetts Institute of Technology).

En 1994 muchas otras tecnologías y sistemas surgirían:

- ✓ ModelMaker de la empresa americana Sanders Prototype, usando sistema de inyección de cera (ink-jet wax);
- ✓ Solid Center de la empresa japonesa Kira Corp., utilizando un sistema láser guiado y un plotter XY para la producción de moldes y prototipos por laminación de papel.
- ✓ Sistema de estereolitografía de la empresa Fockele & Schwarze (Alemania);

- ✓ Sistema EOSINT, de la empresa alemana EOS, basado en sinterización.
- ✓ Sistema de estereolitografía de la empresa japonesa Ushio.

El sistema Personal Modeler 2100 de la empresa BPM Technology (EUA) empezará a ser vendido comercialmente a partir de 1996 (BPM significa Ballistic Particle Manufacturing). La máquina produce piezas a partir de un cabezal de inyección de cera. En el mismo año la empresa comenzó a comercializar el sistema SOMOS en estereolitografía de la multinacional DuPont, y la empresa Stratasys (EUA) lanzó su producto Genisys, basado en extrusión, similar al proceso de FDM, utilizando el sistema de prototipaje desarrollado en el Centro de Desarrollo IBM (IBM's Watson Research Center). En el mismo año, después de 8 años comercializando productos en estereolitografía la empresa 3D Systems comercializó por primera vez su sistema Actua 2100, sistema basado en impresión de chorro de tinta 3D. El sistema deposita materiales en cera capa por capa a través de 96 inyectores. En el mismo año Z Corp. (EE.UU.) lanzó el sistema Z402 3D para Prototipado basado en la deposición de polvos metálicos en 3D.

Otras tecnologías y empresas aparecerán y desaparecerán durante los años. Compañías como Light Sculpting (EE.UU.), Sparx AB (Suecia) y Láser 3D (Francia) desarrollaran e implementaran sistemas de prototipado, pero no tuvieron impacto industrial.

1.1 Planteamiento del problema

El Prototipado Rápido es una Herramienta de Evaluación que identifica y/o corrige errores en productos. Diseñada con el objetivo de reducir los costos asociados y el tiempo de investigación y desarrollo de los productos.

La tecnología de Prototipado Rápido, tiene un amplio rango de opciones, capacidades y precios. Hoy en día existen más de 50 diferentes tipos de sistemas, con equipos con un rango de precio que van desde los \$ 5,000 hasta más de \$ 800,000, y los materiales usados para este tipo de tecnología suelen ser costosos. Adicionalmente, los costos se incrementan con los desechos, niveles de inventarios y el proceso por el que requieren pasar los materiales.

Actualmente, La Universidad de North Carolina State posee nueve equipos comerciales de Prototipado Rápido, los cuales son usados principalmente para fines académicos y como soporte de entidades externas (Otras universidades e instituciones, NASA, etc.).

Globalmente, la tecnología Prototipado Rápido está ganando terreno no solo en el diseño, sino también en la producción y comercialización. Debido a esto se necesita desarrollar una línea de investigación que identifique las alternativas para ampliar la accesibilidad de esta tecnología a través del uso de nuevos materiales de bajo costo.

1.2 Justificación de la Investigación

En un futuro, cuando la tecnología de Prototipado Rápido de bajo costo sea aplicada cada vez más como herramienta de apoyo para diseñadores y fabricantes, el estudio para la identificación de la materia prima alternativa, que puede ser usada para propósitos comerciales, institucionales o personales, tendrá un especial interés y relevancia.

Esta investigación permitirá un intercambio de conocimientos que enriquecerá el trabajo que ha venido realizando la Universidad Católica Andrés Bello con la Universidad de North Carolina, proporcionando la oportunidad de elaborar una publicación del trabajo realizado.

Este importante proyecto de investigación es el resultado de una propuesta realizada por el Departamento de Ingeniería Industrial y Sistemas de la Universidad de North Carolina, para el desarrollo de materiales alternativos, que sean factibles para el remplazo de las entradas sugeridas por los desarrolladores de estas tecnologías.

1.3Objetivos

1.3.1 OBJETIVO GENERAL

- ✓ Evaluar la factibilidad técnica y económica de la selección de materiales alternativos de bajo costo para ser usados en tecnologías de “Prototipado Rápido”

1.3.2 OBJETIVOS ESPECÍFICOS

- ✓ Caracterizar la tecnología existente de Prototipado Rápido, con fines comerciales y de investigación, que tengan un costo menor de \$ 5,000.
- ✓ Caracterizar los materiales de bajo costo que cumplan con los requisitos de la tecnología de Prototipado Rápido, tomando como base los materiales sugeridos por los desarrolladores de esta tecnología.
- ✓ Definir los criterios para seleccionar aquellos materiales alternativos de bajo costo.
- ✓ Valorar los materiales seleccionados que pueden ser usados por la tecnología de Prototipado Rápido.
- ✓ Validar que los materiales alternativos seleccionados de bajo costo, reúnen los requisitos de diseño de la tecnología de Prototipado Rápido.
- ✓ Valorar la alternativa propuesta, en términos económicos.

1.4 Limitaciones

- ✓ La tecnología de Prototipado Rápido a investigar, son aquellas que están por debajo de los \$ 5,000.
- ✓ Los materiales a ser analizados, serán utilizados en los equipos disponibles en los laboratorios del Departamento de Ingeniería Industrial y Sistemas de la Universidad de North Carolina.
- ✓ Esta investigación no ofrece un análisis de comercialización para los materiales analizados.

CAPITULO II

Sintagma Gnoseológico

2.1 Aspectos generales de la Investigación Evaluativa

2.1.1 Definición de Investigación Evaluativa

La evaluación se asocia a valoración, a confrontación y a juicio. La evaluación se entiende como la actividad realizada para apreciar la mayor o menor efectividad de un proceso, en cuanto al cumplimiento de los objetivos, en correspondencia con el contexto en el ocurre el evento. Según Briones (1991), el término evaluación se refiere al “acto de juzgar o apreciar la importancia de cierto objeto, situación o proceso en relación con las funciones que deberían cumplirse, o con ciertos criterios de valoración, explícitos o no”.

Según Ruthman (1996) la investigación evaluativa es el proceso de aplicar procedimientos científicos para acumular evidencia válida y confiable acerca de la manera y la magnitud en que un conjunto de actividades específicas produce resultados concretos. Otra definición proporcionada también por Briones (1991), señala que la investigación evaluativa es aquella que estudia la conformación, el funcionamiento y los resultados de un programa con el fin de proporcionar información de la cual se puedan derivar criterios útiles para la toma de decisiones con respecto a la administración y desarrollo del programa evaluado. En otras palabras, la investigación evaluativa permite estimar la efectividad de uno o varios programas, propuestas, planes de acción o diseños, los cuales puede que hayan sido aplicados anteriormente con la intención de resolver o modificar una situación determinada.

2.1.2 Definición de evaluación

La evaluación, es el estudio o análisis de las alternativas, llevado a cabo con la finalidad de determinar si el estudio será exitoso, por lo que la evaluación se presenta en función a una necesidad de seleccionar una decisión dentro de un conjunto de posibilidades.

2.1.3 Estudio de la conformación del programa

Comprende el análisis de la configuración interna de la propuesta, su diseño, la relación entre sus componentes y formulación.

2.1.4 Evaluación del desarrollo

Corresponde al estadio interactivo y tiene que ver con el seguimiento durante la aplicación de la propuesta. Incluye la valoración de las actividades realizadas y su correspondencia con lo planificado. Así como la detección de resultados parciales, sobre la marcha.

2.2 Conceptos Básicos de Prototipado Rápido

2.2.1 Prototipado

Como su nombre lo indica, el principal uso de la tecnología de Prototipado Rápido, es crear rápidamente prototipos para fines de comunicación y ensayo. Los prototipos mejoran drásticamente el proceso de diseño, por lo que estas mejoras reducen costos y tiempos.

2.2.2 Modelos

Conjunto de acciones realizadas por la empresa para hacer llegar un producto a los consumidores. Por lo tanto, se establecerán los objetivos e instrumentos necesarios para alcanzar este objetivo. Para esto, se requiere las funciones físicas y auxiliares.

2.2.3 Modelos volumétrico-dimensionales

No son más que una aproximación volumétrica, una caracterización formal que facilita la percepción sensorial (aspecto, peso, textura) del objeto pero que no tiene que ser una réplica perfecta y/o a escala del producto final.

2.2.4 Modelos funcionales

Permiten la compresión de objetos compuestos por múltiples piezas, elementos modulares, etc.

2.2.5 Modelos Experimentales

Permiten realizar sobre ellos ensayos y pruebas para verificar si las especificaciones que se le suponían realmente se cumplen. También se puede utilizar para la obtención de moldes

2.2.6 Modelos orientados a la fabricabilidad

Se utilizan para simular el proceso de fabricación y evidenciar posibles cuellos de botella o problemas que pudieran surgir durante el mismo.

2.2.7 Modelos Ergonómicos

Son aquellos que permiten conocer la interacción del objeto con el usuario. Es muy recomendable realizarlos a escala 1:1.

2.2.8 SLA (Estereolitografía)

Es un proceso muy común para obtener prototipos rápidos, que en realidad apareció antes del modelado por deposición de fundido. Este proceso se basa en el principio de curar (Endurecer) un fotopolímero líquido moldeado en una forma específica. Un depósito que contiene un mecanismo para bajar o subir una plataforma, se llena con un polímero

líquido de acrilato fotocurable. El líquido es una mezcla de monómeros y oligómeros (polímeros intermedios) de acrílico con un fotoiniciador.

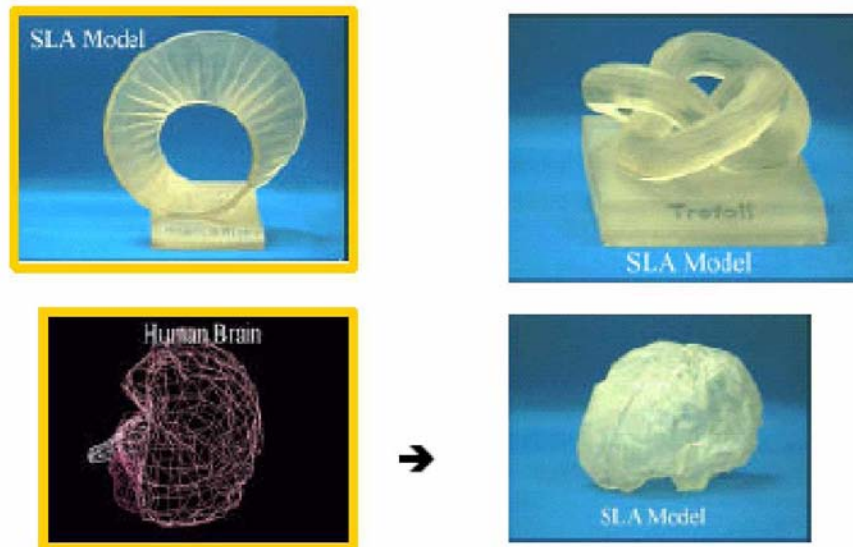


Fig 2.1.- Piezas Fabricadas por SLA
Fuente: <http://www.robtec.com>

Cuando la plataforma está en su posición más alta, la profundidad de la capa de líquido sobre ella es poca. Un láser, en forma de un rayo ultravioleta, se enfoca en cierta superficie seleccionada del fotopolímero y se mueve a continuación en las direcciones x-y. El haz cura esa parte del fotopolímero (digamos que sea una región anular) y con ello produce un cuerpo sólido. A continuación la plataforma baja lo suficiente para cubrir el polímero curado con otra capa de polímero líquido, y la secuencia se repite.

2.2.9 SGC. Fotopolimerización por luz UV

Al igual que en la estereolitografía, esta tecnología se basa en la solidificación de un fotopolímero o resina fotosensible. En la fotopolimerización, sin embargo, se irradia con una lámpara de UV de gran potencia todos los puntos de la sección simultáneamente.



Fig. 2.2 Pieza fabricada por SGC

Fuente: <http://www.robtec.com>

2.2.10 *Deposición de hilo fundido*

Una boquilla que se mueve en el plano XY horizontal deposita un hilo de material a 1°C por debajo de su punto de fusión. Este hilo solidifica inmediatamente sobre la capa precedente.



Figura 2.3 Pieza fabricada por deposición de hilo fundido

Fuente: <http://www.robtec.com>

2.2.11 *Sinterización selectiva láser*

El *sinterizado selectivo con láser (SLS)* es un proceso basado en sinterizar polvos no metálicos (o metálicos, con menos frecuencia) en forma selectiva para formar un objetivo.



Figura 2.4 Pieza fabricada por SLS

Fuente: <http://www.robtec.com>

Para llevar a cabo este proceso se debe depositar la capa de polvo, de unas décimas de mm., en un embace que se ha calentado a una temperatura ligeramente inferior al punto de fusión del polvo. Seguidamente un láser CO₂ sintetiza el polvo en los puntos seleccionados.

2.2.12 *Fabricación por corte y laminado*

Una hoja de papel encolado se posiciona automáticamente sobre una plataforma y se prensa con un rodillo caliente que la adhiere a la hoja precedente.

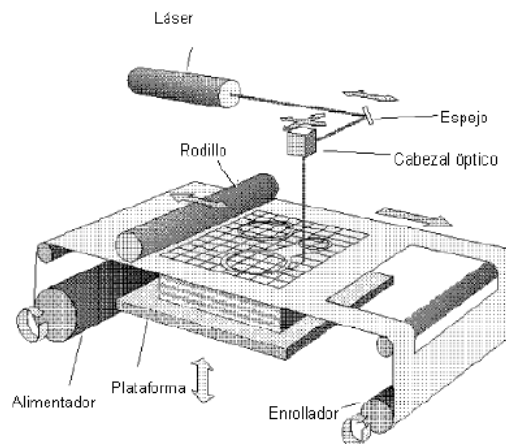


Figura 2.5 Proceso de fabricación por corte y laminado

Fuente: <http://www.robtec.com>

2.2.13 Proyección Aglutinante

Esta tecnología trabaja mediante la deposición de material en polvo en capas y la ligazón selectiva del mismo mediante la impresión de "chorro de tinta" de un material aglutinante.

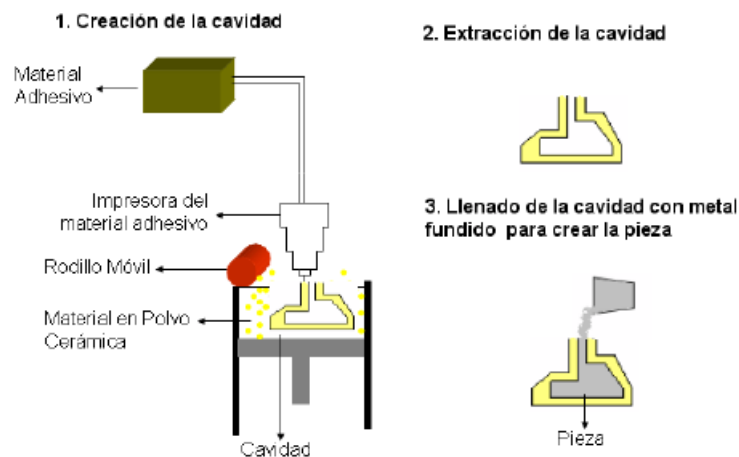


Figura 2.6 Proceso de fabricación mediante Proyección Aglutinante

Fuente: <http://www.robtec.com>

2.3 Conceptos Básicos de materiales usados para el Prototipado rápido

2.3.1 Fotopolímeros

Son sustancias que experimentan un grado de polimerización variable en función de la energía luminosa que reciben. Por tanto, al iluminarlos, según la iluminación recibida en cada zona, la sustancia se polimeriza con un grado distinto, lo cual hace que su índice de refracción cambie. Se genera así una estructura de fase que puede servir para aplicaciones tales como la obtención de redes de difracción u holografía, ya que pueden alcanzarse resoluciones muy elevadas.

Estos sistemas tienen ventaja de no necesitar revelado sobre todo su facilidad de obtención, incluso para superficies grandes. Los polímeros se utilizan en forma de disolución líquida muy fácil de extender sobre un soporte rígido y transparente como una lámina de vidrio. Normalmente se coloca el polímero entre dos láminas de vidrio, o bien se deposita sobre una lámina y se añade una sustancia plastificante que otorga rigidez a la mezcla y permite que se mantenga sobre el soporte.

Como inconvenientes hay que citar la poca estabilidad de las imágenes producidas y el que no son fácilmente reutilizables. Se necesita para ello iluminarlos con un haz de luz – haz de borrado – completamente uniforme, que consiga producir el mismo grado de polimerización en todo el sistema, destruyendo así la imagen grabada y dejando el sistema listo para ser reutilizado.

2.3.2 PVC no plastificado (Rígido)

Es muy crítica, pues requiere temperaturas a las que la descomposición ya es perceptible. La formulación debe proporcionar una baja viscosidad del fundido y una elevada estabilidad térmica.

La mayor parte de las formaciones de PVC no plastificado se preparan por mezcla seca de los polvos de moldeo.

Se transforman por extrusión, extrusión-soplado, inyección, compresión, termoconformado, calandrad.

2.3.3 PVC Plastificado

El plastificado se puede incorporar premezclando en una artesa a temperatura ambiente. Seguidamente la masa pasa a un molino de dos rodillos o a un mezclador interno. Finalmente se grancea.

En el mezclado en seco la mezcla se agita vigorosamente con calentamiento débil o son calentamiento. Se obtiene polvo seco o de alta fluidez.

Se transforma por extrusión, calandrado (temperatura de los cilindros 140 – 200 °C), inyección, lecho fluido, etc.

2.3.4 Plastisol

Suspensión de partículas de polímero en el plastificante. La viscosidad depende del tipo y cantidad de polímero y plastificante. Al calentar a 160°C se convierten en materiales tenaces.

2.3.5 Organosol

Es un Plastisol con disolvente o diluyente orgánico volátil, que se ha de eliminar antes del curado o gelificación de la pasta.

2.3.6 Policarbonatos

Los policarbonatos son versátiles. Tienen buenas propiedades mecánicas y eléctricas, una elevada resistencia al impacto, y se pueden fabricar resistentes a los productos químicos. Las aplicaciones incluyen:

cascos de seguridad, lentes ópticos, vidrios de ventana a prueba de bala, anuncios, etc.

2.3.7 Nylon

Existen varios tipos diferentes de nylon que se preparan cada uno a partir de un monómero o de un conjunto de monómeros diferente, pero todos ellos comparten ciertas características estructurales comunes. El monómero de un tipo de nylon es un ácido carboxílico con un grupo amino en el sexto átomo de carbono. La polimerización consiste en la reacción del grupo carboxilo de una molécula de monómero con el grupo amino de otra. Esta reacción produce un enlace de amida que liga entre sí las unidades con las que se construye en el polímero final.

2.3.8 Celulósicos

La celulosa ($C_6H_{10}O_5$) es un carbohidrato polímero que existe en la naturaleza. La madera y las fibras de algodón, que son las principales fuentes de celulosa, contienen alrededor del 50 y 95% del polímero respectivamente. Cuando la celulosa se disuelve y luego se precipita durante su procesamiento químico, el polímero resultante se llama *celulosa regenerada*. Cuando ésta se produce en forma de fibra se le conoce como rayón. Cuando se produce como una película delgada se le llama *celofán*, utilizada ampliamente como material de envoltura. No se puede usar la celulosa como un termoplástico, debido a que cuando la temperatura se descompone, antes que fundirse. Sin embargo se puede combinar con diversos compuestos para formar varios plásticos de importancia comercial. Algunos ejemplos son el *acetato de celulosa* AC (CA en inglés) y *acetato-butirato de celulosa* ABC (CAB en inglés).

2.3.9 ABS

El Acrilonitrilo Butadieno Estireno o ABS es un termoplástico duro, resistente al calor y a los impactos. Es un Copolímero obtenido de la polimerización del Estireno y Acrilonitrilo en la presencia del Polibutadieno, resultando de la combinación de los tres monómeros, originando un plástico que se presenta en una gran variedad de grados, dependiendo de las propiedades utilizadas de cada uno.

El ABS se origino por la necesidad de mejorar algunas propiedades del Poliestireno de alto impacto. Su formula química es $(C_8H_8-C_4H_6-C_3H_3N)$.

Al combinar los tres monómeros por injerto, cada uno de ellos aporta diferentes propiedades:

- El Acrilonitrilo proporciona la estabilidad térmica, resistencia química y al envejecimiento, lo mismo que la dureza superficial.
- El Butadieno proporciona resistencia al impacto, retención de propiedades a bajas temperaturas y tenacidad
- El estireno contribuye con brillo, rigidez y facilidad de procesamiento.

El rango de composición de estos materiales se relaciona de la siguiente manera:

Acrilonitrilo: 25-35%

Butadieno: 15-30%

Estireno: 45-55%

Evidentemente, las diferentes proporciones en que se combinan los tres monómeros son las que determinan los distintos grados de ABS que existen, diseñados en ocasiones para aplicaciones muy específicas. Todos los grados de ABS poseen una excelente calidad superficial y

brillo, buenas propiedades aislantes, gran resistencia al impacto, estabilidad dimensional y baja deformación a temperaturas elevadas.

2.3.10 PLA

El ácido poliláctico (PLA), es un biopolímero termoplástico cuya molécula precursora es el ácido láctico.

El ácido láctico puede producirse por fermentación anaeróbica de sustratos orgánicos, con microorganismos como hongos y bacterias. El ácido láctico obtenido en la fermentación es ópticamente activo, por lo que la producción específica de los isótopos puede determinarse utilizando un lactobacilo apropiado.

Para la polimerización del ácido poliláctico, se emplea un proceso continuo utilizando polimerización por apertura de anillo del lactido. La condensación del ácido láctico acuoso produce un prepolímero (oligomero) de bajo peso molecular. El prepolímero se depolimeriza incrementando la temperatura de policondensación, reduciendo la presión y utilizando un catalizador organometálico, resultando en una mezcla de estereoisómeros de lactido.

La mezcla de lactidos es purificada por destilación al vacío, puesto que su composición determina las propiedades del producto final. En el paso final, el polímero de alto peso molecular se produce por polimerización catalítica por apertura del anillo diláctido. Los monómeros remanentes se remueven por vacío y se reciclan.

2.4 Almidones termoplásticos (TPS)

El TPS es un material compatible con el medio ambiente debido a que es un material renovable y puede incorporarse al suelo como abono orgánico, por lo que en la actualidad existen muchas investigaciones básicas y aplicadas sobre el almidón, por ser un polímero natural, de bajo costo y abundante.

El TPS es un material que podemos conseguir por la modificación estructural que se da dentro del granulo de almidón, cuando este es procesado con un bajo contenido de agua y la acción de las fuerzas térmicas y mecánicas en presencia de fuerzas térmicas que no se evaporan fácilmente durante el procesamiento (Bastioli, 2001). El TPS presenta varios atributos, además de su biodegradabilidad. Es un material renovable, flexible y se puede acondicionar muy fácilmente a diferentes procesos de termoplastificación, usando equipos estándar utilizados en la fabricación de polímeros sintéticos, tales como inyección por moldeo, extrusión por soplado, moldeo por inyección, moldeo por compresión, extrusión de película plana y radiación por moldeo (Van Soest, 1996).

2.4.1 Fuentes y características de los almidones

El almidón es el carbohidrato mas abundante en la naturaleza, es sintetizado durante la fotosíntesis y almacenado en los amiloplastos de las células vegetales (Yuryev, 1995). El almidón es un granulo parcialmente cristalino e insoluble en agua a temperatura ambiente. Los gránulos de almidón tienen diferentes tamaños y formas dependiendo de las fuentes biológicas de donde provengan. La forma puede ser redonda, elíptica, ovalada, lenticular o poligonal (Hoover, 2001). En general la superficie de los diferentes gránulos de almidón varia según su origen botánico y

constituye un interrogante en investigaciones (Limbedoom, 2004). Los gránulos de almidón están formados por dos polímeros como lo es la amilosa y la amilopectina, constituido por unidades de glucosa.



Figura 2.7 Almidón de papa

Fuente: Elaboración propia

Los almidones nativos o hidrolizados y plastificados, fueron desarrollados bajo diferentes condiciones operativas, porque la producción de materias primas a escala industrial sigue siendo evaluada debido a las diferentes aplicaciones del almidón. Los almidones nativos son aquellos que no han sufrido ninguna modificación y es extraído de fuentes naturales. El almidón esta compuesto de dos polímeros amilosa y amilopectina, la proporción de estos dos polímeros depende de la fuente de origen. La amilosa generalmente es el menor componente, presenta una estructura lineal constituida por monómeros de glucosa. Por otra parte, la amilosa forma muchos complejos insolubles con un gran número de moléculas que generalmente se precipitan. Los almidones de arveja, trigo, maíz, sorgo, amarato, cebada, papa, yuca, batata y ñame son extraídos por dos vías (seca y húmeda). Los estudios de plastificación también se han

relacionado con el tipo de extracción, y si organización celular, demostrándose la incidencia de las variables de operación en el proceso de transformación. (Acosta 2004)

2.4.2 Fusión y mecanismos de transformación

Para que un almidón nativo se pueda procesar y formar un material bioplástico, es necesario romper y fundir la estructura semicristalina original (Van Soest, 1996). Se han desarrollado varios métodos para elaborar TPS. La estabilidad, transformación y las propiedades físicas de los TPS dependen de la naturaleza de las zonas amorfas y cristalinas presentes en la estructura del gránulo.

La transformación del almidón granular está influenciada por las condiciones del proceso tales como la temperatura y el contenido de plastificante. El agua y el glicerol son los plastificantes más comúnmente usados. Durante los diferentes procesos de termoplastificación la influencia del agua y el glicerol en los gránulos del almidón son de gran importancia, dada su acción como lubricante lo cual facilita la movilidad de las cadenas poliméricas. Además, retardan la retrogradación de los productos termoplastificados (Van Soest, 1996)

2.4.3 Verificación de los procesos de plastificación y sus propiedades

Durante el almacenamiento, el contenido de plastificante disminuye debido a la migración de este desde la matriz hasta la superficie y el medio ambiente, afectando las propiedades mecánicas, ya que el esfuerzo aumenta y la elongación disminuye. De igual forma, las propiedades térmicas cambian, aumentando la temperatura de transición vítrea y fusión. La permeabilidad aumenta a medida que la concentración

del plastificante aumenta, siendo mayor en compuestos hidrófilos que en hidrófobos. El envejecimiento es evidente durante el almacenamiento, debido a los diferentes procesos de recristalización de las cadenas de polímeros y la difusión de los plastificantes al medio externo en el TPS. Este fenómeno de recristalización o retrogradación, depende de las condiciones ambientales, lo cual incide en la separación de fases entre el plastificante y el almidón.

2.4.4 Modificaciones Químicas y Bioquímicas

La modificación del almidón a través de la esterificación, eterificación y la oxidación antes del proceso de termoplastificación permite lograr un alto grado de sustitución de grupos hidrofílicos – OH, por grupos hidrofóbicos, lo que reduce la sensibilidad al agua y mejora las propiedades mecánicas y de barrera en los materiales TPS.

2.5 Moldeo de termoplástico por inyección

Un embolo o pistón de inyección se mueve rápidamente hacia delante y hacia atrás para empujar un plástico ablandado por el calor a través del espacio existente entre las paredes del cilindro y una pieza recalentada y situada en el centro. Esta pieza central se emplea, dada la pequeña conductividad térmica de los plásticos, de forma que la superficie de calefacción del cilindro es grande y el espesor de la capa plástica calentada es pequeño. Bajo la acción combinada del calor y la presión ejercida por el pistón de inyección, el polímero es bastante fluido como para llegar al molde frío donde toma forma la pieza en cuestión. El polímero estará lo suficientemente fluido para llegar al molde frío. Pasado un tiempo breve dentro del molde cerrado, el plástico solidifica, el molde se abre y la pieza es removida. El ritmo de producción es muy rápido, de escasos segundos.

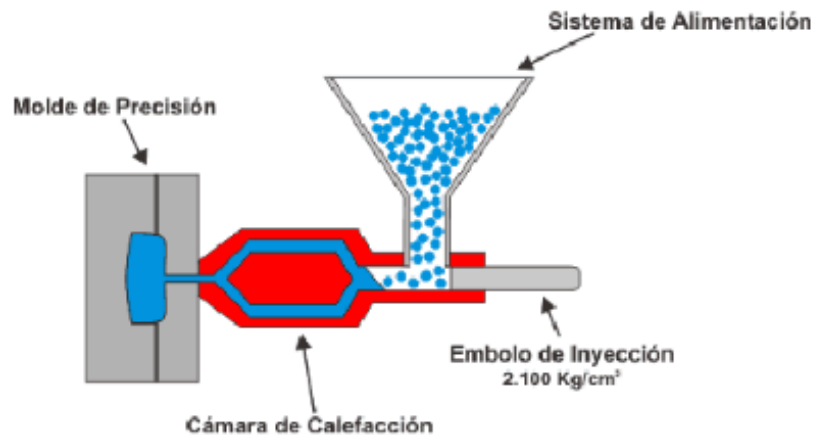


Figura 2.8 Proceso para la inyección de termoplástico en un molde frío.

Fuente: <http://www.scielo.cl>

2.6 Equipo RapMan

El Equipo RapMan es una iniciativa para tratar de crear una máquina auto-replicable (capaz de fabricarse a sí misma), que puede ser usada como herramienta de prototipado rápido y de manufactura. RapMan está desarrollado bajo licencia GNU para producir una impresora 3D con ingeniería abierta "open source". Actualmente sólo puede producir copias de sus partes de plástico, aunque el objetivo declarado del proyecto, y hacia el que se está avanzando, es llegar a imprimir sus circuitos y sus partes de metal. Según Hedquist, Ulrika, creador del RepMan, "queremos asegurarnos de que todo tiene fuente abierta, no sólo el diseño y los programas de control sino la herramienta completa"

2.7 Reciclado del ABS

Existen diferentes tipos de reciclado, pero cada tipo de reciclados:

- Reciclado mecánico

- Reciclado químico
- Reciclado termoquímico
- Recuperación de energía

El reciclado mecánico se hace desde los orígenes de la industria plástica donde se usan los descartes de su producción. Desde el productor de materia prima que reutilizaba o vendía los polímeros fuera de especificaciones, hasta el moldeador que molía y reusaba piezas mal moldeadas, refiles, etc., constituidas por material limpio, conocido, que luego mezclaba con material virgen, para seguir moldeando. Este reciclado mecánico es el que logra el máximo valor para el producto, que volvía a la línea o a los compuestos. En éste proceso, la limpieza es fundamental, debiéndose evitar contacto con grasas, aceites, adhesivos, tintas, etc.

El reciclado químico se aplica solamente a los materiales termoplásticos logrados por poli-condensación. Se basa en aprovechar la reversibilidad de la reacción, reobteniéndose los monómeros iniciales.

El reciclado termoquímico puede trabajar con mezclas de plástico, eliminándose las selecciones, pero es la que más desvaloriza el desecho.

Las opciones de este sistema son la pirólisis, hidrogenación y gasificación.

La pirólisis se realiza a 500-900 ° C, sin presión y sin oxígeno.

La hidrogenación a 300-500 ° C a 10 – 40 Mpa y atmósfera de hidrógeno

La gasificación a 900 – 1400 °C con 0-6 Mpa, oxígeno y agua.

Los primeros dos procesos entregan gas, aceite y sólido; el último, hidrógeno y monóxido de carbono. Si hay cloro presente se remueve como

ácido clorhídrico que se neutraliza. El proceso de gasificación es el más usado dentro de los procesos termoquímicos.

La recuperación de la energía, por combustión en hornos de los residuos plásticos, termina en energía térmica. Los gases de combustión si es necesario deben ser tratados antes de ser liberados al ambiente.

Para el caso específico del ABS los fabricantes recomiendan 3 alternativas dependiendo del origen del residuo:

- Si son piezas que fueron moldeadas solas y no contienen algún tipo de sustancia nociva pueden ser mecánicamente recicladas después de usadas.
- Si las piezas contienen sustancias peligrosas puede realizarse un reciclado termoquímico o una recuperación de energía por combustión, con el posterior tratamiento de los gases de combustión.

Las partes que están fabricadas del material ABS deben estar marcadas de



acuerdo con la norma ISO 11469 (DIN 58840) :

Figura 2.9 Nivel de reciclaje del ABS
Fuente: Proveedores de la Universidad del Estado de Carolina del Norte

2.8 Consideraciones generales para la construcción y validación de instrumentos

La medición, es el proceso mediante el cual se perciben aquellas características deseadas de los eventos de los que se desea extraer una información específica, por lo que las mediciones se clasifican, categorizan e interpretan dichas percepciones en función de una serie de reglas o convenciones previamente establecidas. Este proceso de medición requiere de la utilización de técnicas e instrumentos que permiten acceder a los datos necesarios durante la investigación.

Las técnicas de recolección de datos comprenden procedimientos y actividades que le permiten al investigador obtener la información necesaria para dar respuesta a su pregunta de investigación. Se pueden mencionar como técnicas de recolección de información la observación (ver o experimentar), la encuesta (preguntar), la entrevista (dialogar), la revisión documental (leer), las sesiones en profundidad (hacer o participar).

Según Hurtado (2000) para llevar a cabo la base de recolección de datos y seleccionar o construir el instrumento, el investigador debe haber cubierto una serie de pasos; estos pasos son los siguientes:

- Delimitación y planteamiento del enunciado holopráxico
- Revisión bibliográfica conceptual de la temática según diversas teorías y enfoques.
- Definición y caracterización de las unidades de estudio
- Identificación de la fuente que proporcionará la información

2.9 Unidades de estudio

Para la poder llevar a cabo la comparación del plástico de ABS (Material usado actualmente como consumible de los equipos de Prototipado Rápido de la Universidad Estatal de Carolina del Norte) y los materiales que se propondrán en la investigación, realizaremos pruebas de tracción con un equipo marca ATS, modelo 1620-CC-Universal Test Machine, con capacidad máxima de carga de 22.500 Lb. Que nos permitirá determinar la tensión y carga máxima. Por otra parte para calcular el costo por libra, se consultara con los proveedores actuales las listas de precios en dólares.

Al momento de seleccionar el material, cuyas propiedades físicas sean las más parecidas al material que se viene utilizando actualmente en el laboratorio de la Universidad Estatal de Carolina del Norte, que es el plástico de ABS, tendremos un material muy resistente y de bajo costo, que permitirá abaratar los estudios que se realizan actualmente.

Los eventos que pudieran afectar la implementación del material alternativo es la transformación física de dicho material alternativo, en una forma de aspectos similares a las que la maquinaria de Prototipado rápido es capaz de soportar.

Otro evento que pudiera afectar la implementación del material alternativo seria la elaboración del Termoplástico de Almidón, cuyos componentes son el Almidón, Glicerina y vinagre, ya que el proceso de fabricación se realizará según un estudio realizado, llamado "x" (Meneses, Corrales, Valencia, 2007). En el que se describe el proceso de manufactura utilizado en varias muestras y concluyendo con las mejores muestras según tracción y durabilidad. Estas muestras que presentan mejores resultados, serán las que utilizaremos como punto de partida para el proceso de manufactura,

utilizando un método de extracción con un molde diseñado y creado por la Universidad Estatal de Carolina del Norte.

2.10 Prueba de Dureza HRC

La dureza es la oposición que ofrecen los materiales a la penetración, la abrasión, el rayado, la cortadura, las deformaciones permanentes, etc. También puede definirse como la cantidad de energía que absorbe un material ante un esfuerzo antes de romperse o deformarse. Por ejemplo: la madera puede rayarse con facilidad, esto significa que no tiene mucha dureza, mientras que el vidrio es mucho más difícil de rayar.

La Dureza Rockwell se utiliza como punta un cono de diamante (en algunos casos bola de acero). Es la más extendida, ya que la dureza se obtiene por medición directa y es apto para todo tipo de materiales. Se suele considerar un ensayo no destructivo por el pequeño tamaño de la huella.

CAPITULO III

Criterios Metodológicos

En esta sección se explicará los aspectos necesarios que expliquen la manera en que se realizará el estudio. Contempla el tipo de investigación, el enfoque y el diseño de la misma; así como también las técnicas e instrumentos para la recolección, procesamiento y análisis de datos de la investigación.

3.1 La definición de Investigación

Según Hurtado (2000), La investigación es un proceso evolutivo continuo y organizado, mediante el cual se pretende conocer algún evento, partiendo de lo que ya se conoce, ya sea con el fin de encontrar leyes generales o simplemente con el propósito de obtener respuestas particulares a una necesidad o inquietud determinada. La investigación corresponde a la actividad que se realiza en torno al conocimiento, de acuerdo a los objetivos propuestos, métodos determinados y contextos específicos.

3.2 Tipo de Investigación

En este estudio se utilizará una investigación de tipo Evaluativa, debido a que la investigación evaluativa se puede utilizar con la intención de tomar decisiones acerca de la aplicación de ciertos materiales en determinados equipos de Prototipado rápido de bajo costo.

3.3 Estructura metodológica general para llevar a cabo una investigación evaluativa

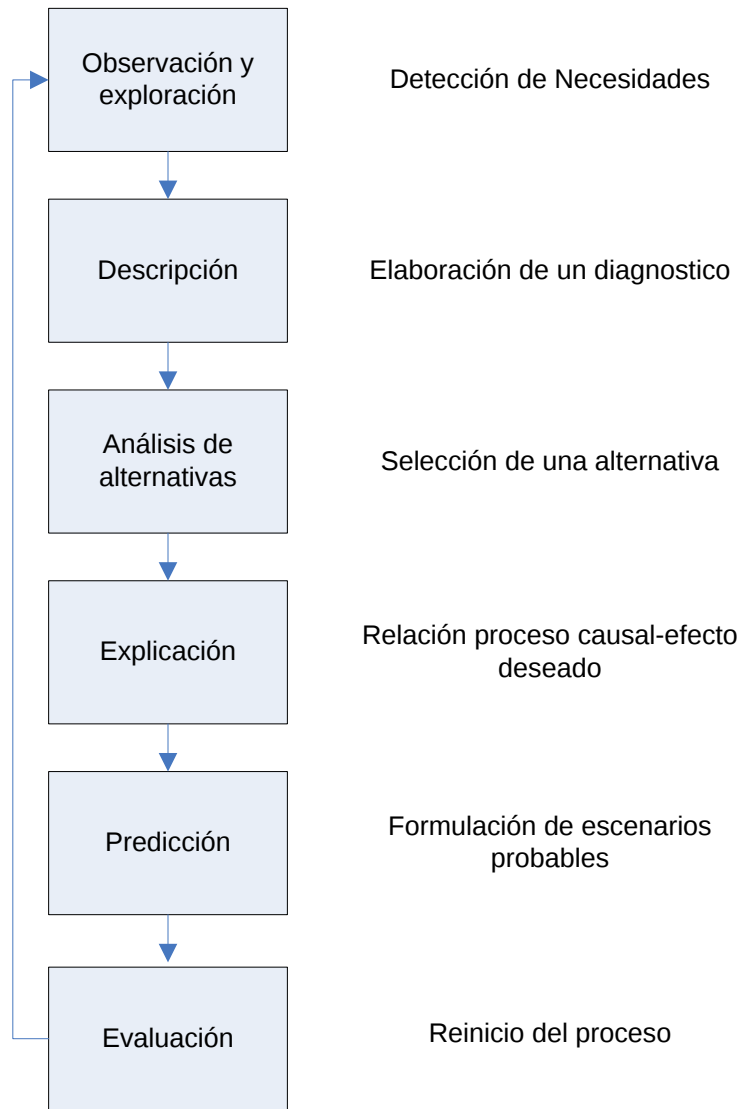


Figura 3.1 Estructura Metodológica para llevar a cabo una investigación evaluativa.
Fuente: Metodología de la investigación, Jacqueline Hurtado de Barrera (Elaboración Propia)

3.3.1 Estadio exploratorio

Es la fase inicial de la investigación evaluativa, que permitirá determinar los materiales a ser evaluados, según sus propiedades físicas y costos,

para lograr la disminución de los en la adquisición de materia prima para la elaboración de materiales en equipos de Prototipado Rápido.

3.3.2 Estadio descriptivo

En esta fase se realizará un proceso de recolección de datos más completo, a fin de obtener una descripción precisa del material utilizado actualmente y el material propuesto.

3.3.3 Estadio explicativo

Esta fase permitirá determinar la relación existente entre el proceso causal y el efecto deseado en el uso del material propuesto

3.3.4 Estadios proyectivo y predictivo

Esta fase permite, partiendo del diagnóstico y de las explicaciones formuladas, visualizar escenarios futuros, tanto de las tendencias probables en el remplazo del material usado actualmente en la tecnología de Prototipado rápido, como los aspectos deseables a plantearse como metas.

3.3.5 Estadio interactivo

Esta fase comprende la aplicación del programa. En este estadio se debe poner en marcha el estudio y recoger la información relacionada con la implementación del nuevo material. Es conveniente observar si la aplicación se ajusta a lo establecido previamente en el estudio, si las actividades se cumplen en el tiempo previsto y como esta señalado, si se aplican los métodos establecidos, si los materiales y equipos utilizados, son los preestablecidos en la planificación.

3.3.6 Estadío evaluativo

Con la aplicación del estudio, debe obtenerse un cambio, y tendrá que ser evaluado. Esta evaluación se llevará a cabo en los laboratorios de Prototipado Rápido de la Universidad Estatal de Carolina del Norte (North Carolina State University).

El análisis en este estadío se expresara como comparaciones de los resultados antes y después de la aplicación del material alternativo propuesto.

3.4 Diseño de la investigación

El diseño de investigación que se empleará será Cuasi Experimental, debido a que las situaciones que se manejarán, se aproximan a la investigación experimental, pero no cumplen todas las condiciones de rigurosidad que tienen los diseños experimentales. En este tipo de diseño manipularemos la variable independiente que es el material alternativo, y una variable dependiente que es el costo de dicho material.

3.5 Procesos Generadores y eventos a modificar

Para lograr los resultados deseados, se tendrán procesos Generadores como lo son la elaboración del termoplástico de almidón y las pruebas de tracción, cuyos procesos se muestran a continuación:

3.5.1 Proceso para elaboración termoplástico de almidón

Para hacer posible la fabricación de un polímero a partir del almidón de papa, es necesario aportar diferentes reactivos a la mezcla y garantizar ciertas condiciones que permitan su obtención. Los polímeros biodegradables requieren componentes que aporten características de humectación, plasticidad, lubricación, extensión y resistencia, entre otros.

En general el agua se recomienda como el mejor plastificante, aunque no debe encontrarse en proporciones muy altas con relación al almidón, debido a que para extraerla de la mezcla, una vez se encuentre lista, se tendría que elevar la mezcla hasta el punto de ebullición, lo que puede degradar la estructura del almidón.

Al igual que el agua, la glicerina es un plastificante y además brinda humectación al polímero. El alcohol polivinílico (PVA) es recomendable también como plastificante, teniendo en cuenta que se asegura que la cantidad de la mezcla no debe exceder el 20% del peso total. OFICINA EUROPEA DE PATENTES EP670863 Bio-degradable compositions comprising starch. www.european-patent-office.org.

En cuanto a los lubricantes, se recomiendan los aceites naturales como el de linaza y el de soya, los cuales otorgan manejabilidad a la mezcla y evitan que se adieran a los moldes de los equipos en donde se trabaje. Estas grasas vegetales pueden estar en proporción entre 0.5% y 15%. FRITZ, H. G.; SEIDENSTUCKER, T.; BOLZ, U. and JUZA, M. 1994. Study on production of thermoplastics and fibers based mainly on biological materials. Stuttgart. European Commission, 392 p.

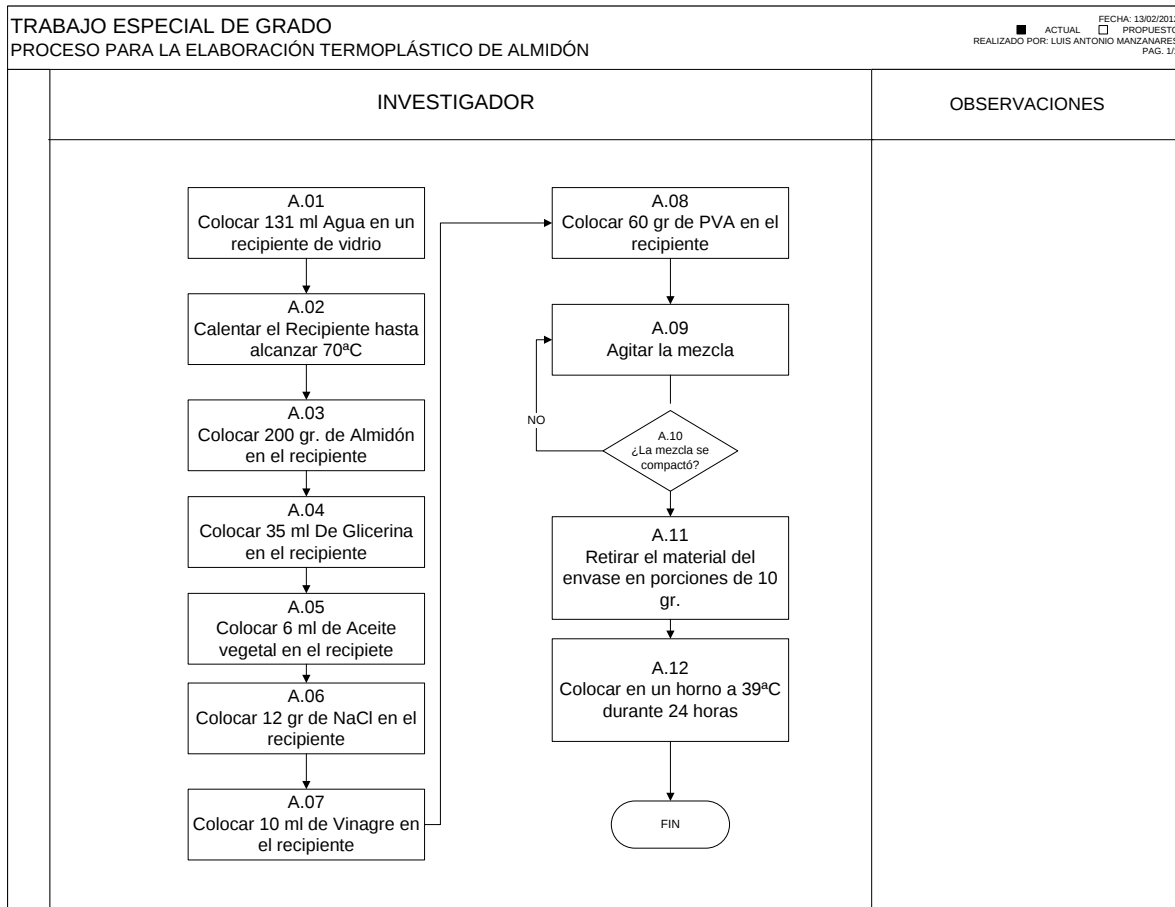


Figura 3.2 Proceso para la elaboración de Termoplástico de almidón

Fuente: OFICINA EUROPEA DE PATENTES EP670863 Bio-degradable compositions comprising starch. (Elaboración Propia)

3.5.2 Proceso para la medición de resistencia a la tracción

Este ensayo consiste en someter a una probeta a un esfuerzo axial de tracción creciente hasta que se produce la rotura de la probeta.

Se realizará una medición de resistencia a la torsión del ABS, para comparar con el Termoplástico de Almidón. Para la ejecución de estas pruebas se utilizará un equipo marca ATS, modelo 1620-CC-Universal Test Machine, con capacidad máxima de carga de 22.500 LB.

La ejecución de los procesos mencionados anteriormente, permitirá obtener una disminución en el costo del consumible, por lo que el evento a modificar

en este estudio es el costo del consumible de los equipos de Prototipado rápido.

3.6 Descripción y selección de las unidades de estudio

Las unidades de estudio serán seleccionadas según cada objetivo específico, por lo que para la caracterización de la tecnología existente de Prototipado rápido se utilizará el dólar (\$), para con ello generar la relación de costos y establecer \$ 5,000 como el valor máximo de la tecnología de Prototipado rápido a estudiar. Por otra parte, para realizar la caracterización de los materiales de bajo costo que cumplan con los requisitos de la tecnología de Prototipado rápido, se tomara en cuenta el costo de la materia prima, en caso de que sea necesario, para llevar a cabo la constitución del material deseado y propuesto como alternativa, expresado en Dólares (\$) por cada libra, como también se tomará en cuenta la tensión soportada, la carga máxima soportada, para con ello poder realizar la comparación con el consumible actual.

Para la selección de los materiales alternativos de bajo costo, se tomará en consideración el material que tenga un menor costo, expresado en Dólares (\$) por cada libra, como también la tensión soportada por el material, tomando en cuenta el material que mas se aproxime a los valores de máxima tensión soportada del consumible actual, siendo este el plástico ABS.

El material alternativo que sea seleccionado, deberá cumplir con los requisitos de la tecnología de Prototipado rápido seleccionada, por lo que se deberá tomar en cuenta la temperatura de fusión del material en °C, el diámetro del material para que pueda ser colocado dentro del equipo en milímetros (mm) y la cantidad mínima de material que debe colocarse en el equipo para que este pueda ser procesado.

Luego de que el material seleccionado sea procesado por el equipo de Prototipado rápido, se realizará un estudio económico, que permitirá tomar la decisión, ya que permitirá calcular el costo real en Dólares (\$).

3.7 Instrumentos para la recolección de datos

Los pasos comunes para la elección de un instrumento ya elaborado, son:

- a- Hacer un listado de eventos o características que se pretenden medir u observar, los cuales deben estar mencionados en el enunciado holopráxico o pregunta de investigación.
- b- Revisar la definición conceptual de cada evento o característica. Esto implica profundizar en su significado y en los aspectos que comprende, para lo cual es necesario apoyarse en el sintagma conceptual.
- c- Revisar las sinergias y los indicios del evento o los eventos a medir. Esto es particularmente útil cuando se deba utilizar un instrumento ya desarrollado. En este caso es necesario indagar acerca de los instrumentos utilizados en investigaciones similares para medir el evento de interés. Si hay varios instrumentos desarrollados, es importante compararlos entre sí en cuanto a su validez, confiabilidad, características de la muestra para quien se construyó el instrumento, posibilidad de adaptarlo al contexto de la investigación, etc. Es necesario, además, revisar cuál de los instrumentos disponibles proporciona la información necesaria para alcanzar con mayor precisión los objetivos planteados.
- d- Elegir el instrumento: seleccionar el instrumento cuya validez y confiabilidad esté más sustentada, y que además se ajuste mejor a la investigación que se está realizando y a la conceptualización de los eventos. Si el instrumento ha sido aplicado en otro país o en un contexto muy diferente, será necesario hacer una prueba piloto y llevar a cabo las adaptaciones respectivas.

Para la selección de la muestra luego de su elaboración, se utilizará técnica de muestreo no probabilístico intencional, ya que con este método se podrá escoger la muestra en función del control que se desea establecer sobre determinadas variables extrañas, o con base en una serie de criterios que se consideran necesarios para tener una mejor aproximación al evento. En un evento intencional se pueden eliminar los casos atípicos y calibrar influencias excepcionales tratando de que la muestra sea lo más parecida al grupo natural. (Martínez,1996).

3.8 Técnicas de análisis

Las técnicas de análisis se irán desarrollando a medida que el estudio va avanzando, por lo que para ello se tomarán en cuenta las siguientes consideraciones:

- Para el análisis de los objetivos específicos en el estadio descriptivo, se utilizará técnicas de imágenes, gráficas y figuras.
- En el estadio comparativo, las técnicas de análisis de los objetivos específicos que se utilizarán son las matrices de comparación.
- Para el análisis de los objetivos específicos en el nivel analítico, se utilizarán técnicas cualitativas de categorización.
- En la fase explicativa, las técnicas de análisis de los objetivos específicos que se utilizarán, serán las técnicas de relación permitirán destacar las diferencias y semejanzas entre los materiales alternativos propuestos y el consumible actual.
- En la fase predictiva, la técnica a utilizar para el análisis de los objetivos predictivos será el análisis de tendencia, ya que este análisis permite determinar la tendencia del evento a modificar y desarrolla escenarios.

CAPITULO IV

Resultados del diagnostico

4.1 Resultados del estadio descriptivo y de las condiciones actuales

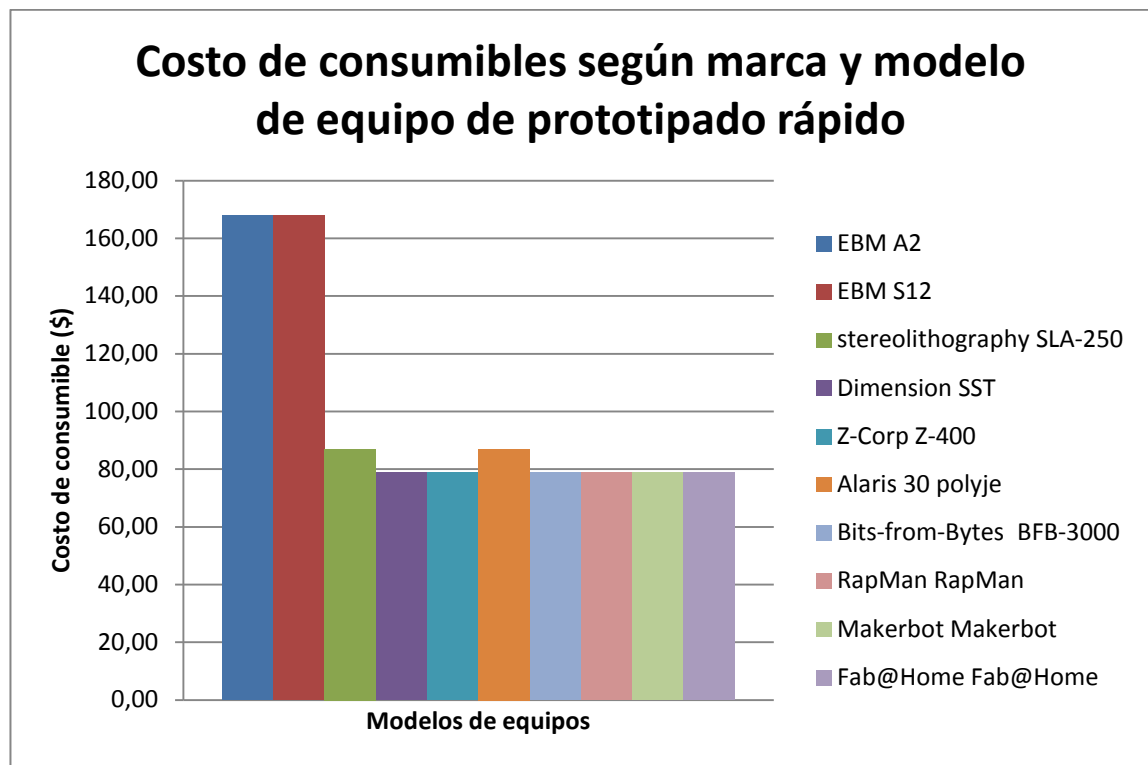
Según el primero de los objetivos específicos planteados, en el que se busca caracterizar la tecnología existente de Prototipado Rápido con un costo menor a \$ 5,000. Se hizo una evaluación del costo de los equipos existentes en el Laboratorio de Prototipado Rápido de la universidad de Carolina del Norte, arrojando los siguientes resultados:

Marca	Modelo	Consumible	Costo del equipo	Costo del consumible
EBM	A2	titanio	Mayor a \$ 5,000	168 \$/Kg
EBM	S12	titanio	Mayor a \$ 5,000	168 \$/Kg
stereolithography	SLA-250	Fotopolímero	Mayor a \$ 5,000	87 \$/Kg
Dimension	SST	ABS	Mayor a \$ 5,000	78,8 \$/Kg
Z-Corp	Z-400	ABS	Mayor a \$ 5,000	78,8 \$/Kg
Alaris 30	polyje	Fotopolímero	Mayor a \$ 5,000	87 \$/Kg
Bits-from-Bytes	BFB-3000	ABS	Mayor a \$ 5,000	78,8 \$/Kg
RapMan	RapMan	ABS	\$ 971.89	78,8 \$/Kg
Makerbot	Makerbot	ABS	\$ 1,099.00	78,8 \$/Kg
Fab@Home	Fab@Home	ABS	\$ 3,300.00	78,8 \$/Kg

Tabla 4.2 Listado de Equipos de Prototipado rápido según marca, modelo, consumible, costo del equipo y costo del consumible.

Fuente: Proveedores de la Universidad Estatal de Carolina del Norte (Elaboración Propia)

Toda la información referente a los modelos, marcas y cantidad equipo, fue suministrada por el Ing. Jason Low, que es profesor de la Universidad Estatal de Carolina del Norte, cuya área de interés dentro de la Universidad son las técnicas de manufactura no convencionales.



Grafica 4.3 Listado de Equipos de Prototipado rápido según marca, modelo y costo del consumible.

Fuente: Proveedores de la Universidad Estatal de Carolina del Norte (Elaboración Propia)

Como se puede observar en la gráfica anterior, el costo de la mayoría de los equipos es superior a los cinco mil dólares y por otra parte, el consumible de menor precio y común para la mayoría de los equipos es el ABS.

Debido a que esta investigación hace su enfocada en las tecnologías de Prototipado rápido cuyo valor es menor a \$ 5,000, se utilizará como equipo de pruebas el “RapMan”, ya que el costo es el más bajo y utiliza el consumible con mayor presencia en estos equipos, que el ABS.

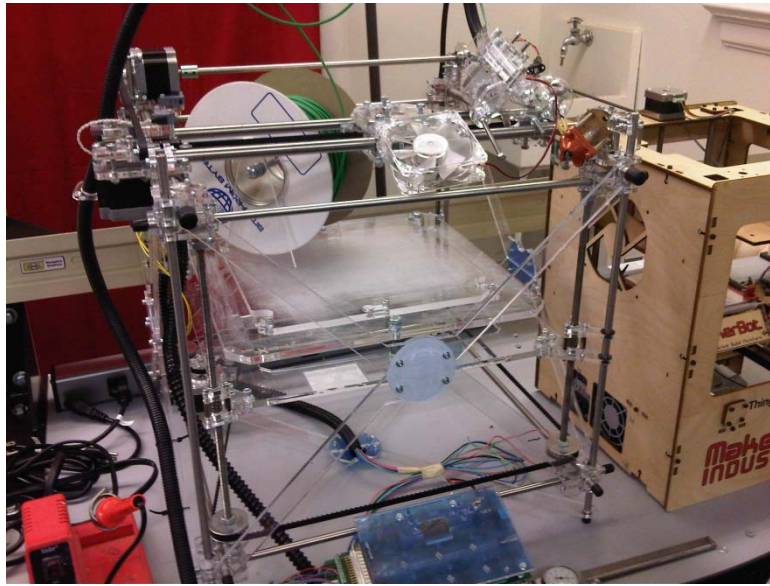


Figura 4.4 Equipo “RapMan” seleccionado para realizar las pruebas
Fuente: Elaboración Propia



Figura 4.2 Consumible ABS
Fuente: Elaboración Propia

4.2 Resultados del estadio comparativo

Para lograr una comparación efectiva de los materiales alternativos de bajo costo que pudieran ser usados en sustitución de los materiales actuales, se

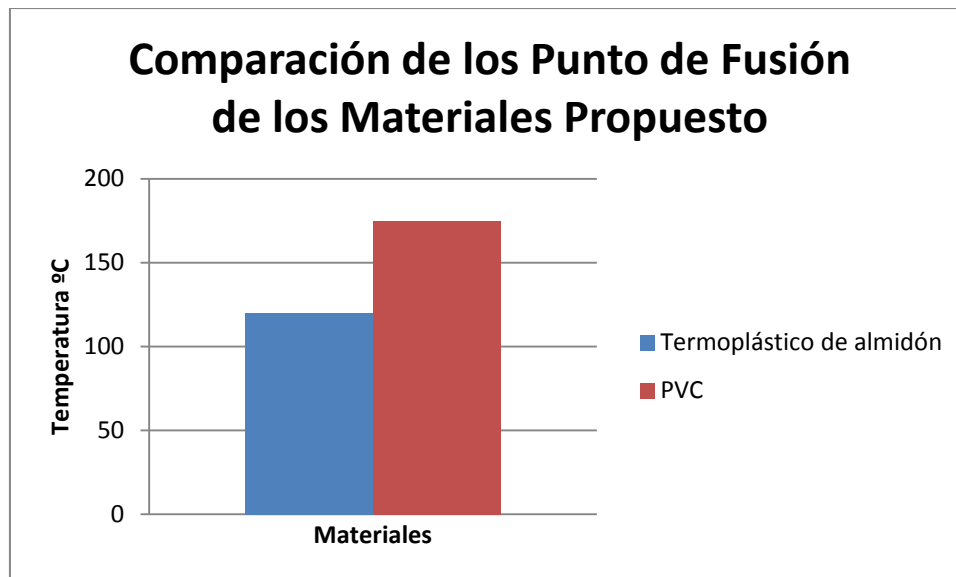
realizara una caracterización cuyo propósito es el de determinar los atributos de dichos materiales, como se muestra en la tabla a continuación:

Material	Pto. de fusión (°C)	Humedad (%)	Densidad (gr/cm ³)	Costo (\$/Kg)
PVC	175	menor al 2	1,5	8
Termoplástico de almidón	120	7 - 10	1,3	28

Tabla 4.2 Listado de materiales caracterizados por punto de fusión, porcentaje de Humedad y densidad.

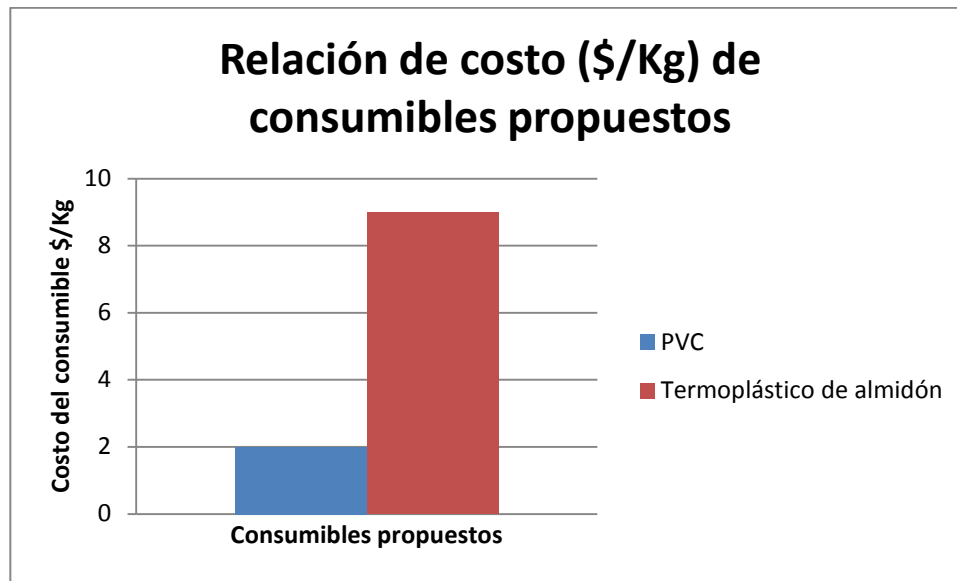
Fuente: Proveedores de la Universidad Estatal de Carolina del Norte y pruebas realizadas al termoplástico de almidón (Elaboración Propia)

A continuación se presenta una gráfica en el que se realiza la comparación de los puntos de fusión de los materiales propuestos.



Gráfica 4.2 Comparación de los puntos de Fusión entre el Material Propuesto y el Material Actual (Elaboración Propia)

A continuación se muestra la gráfica 4.3, en el que se compara la relación de costo (\$) entre los materiales propuestos, tomando como base 1 Kg.



Gráfica 4.3 Comparación de costos (\$/Kg) de los consumibles propuestos
(Elaboración Propia)

Como se puede observar en la tabla 4.2, el PVC y el Termoplástico de almidón son materiales económicos en comparación con los componentes actuales ABS, Titanio y otros consumibles.

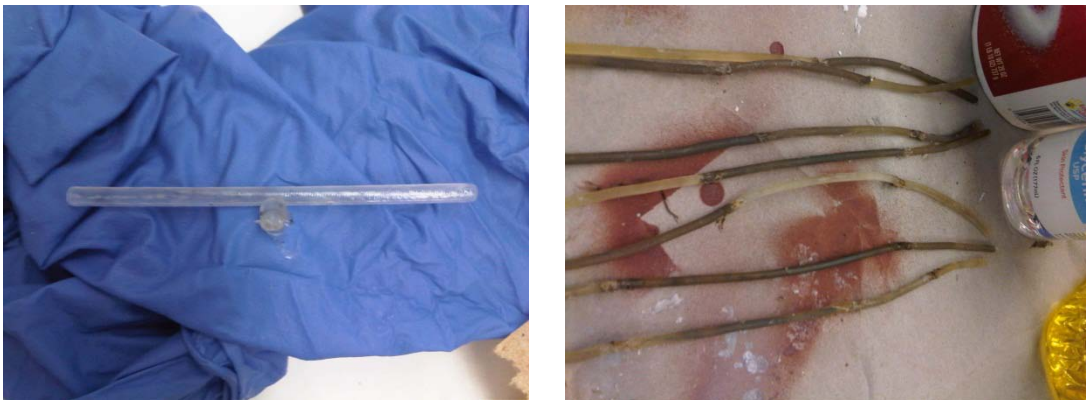


Figura 4.3 Termoplástico de almidón, luego de ser procesado por el equipo de moldeo por Inyección
(Elaboración Propia)

Para el cálculo del costo del termoplástico de almidón, se tomo en cuenta únicamente el valor de cada uno de los componentes necesarios para la elaboración de este material, como se muestra en la tabla a continuación:

Material utilizado	Cantidad	Costo (\$)
Almidón de papa	1 Kg	9,00
Vinagre blanco	300 ml	1,80
Aceite vegetal	300 ml	1,30
Sal	10 gr	0,87
Alcohol Polivinílico	45 gr	2,30
Agua destilada	600 ml	1,00
Total para 1,5 Kg de Termoplástico de almidón		16,27

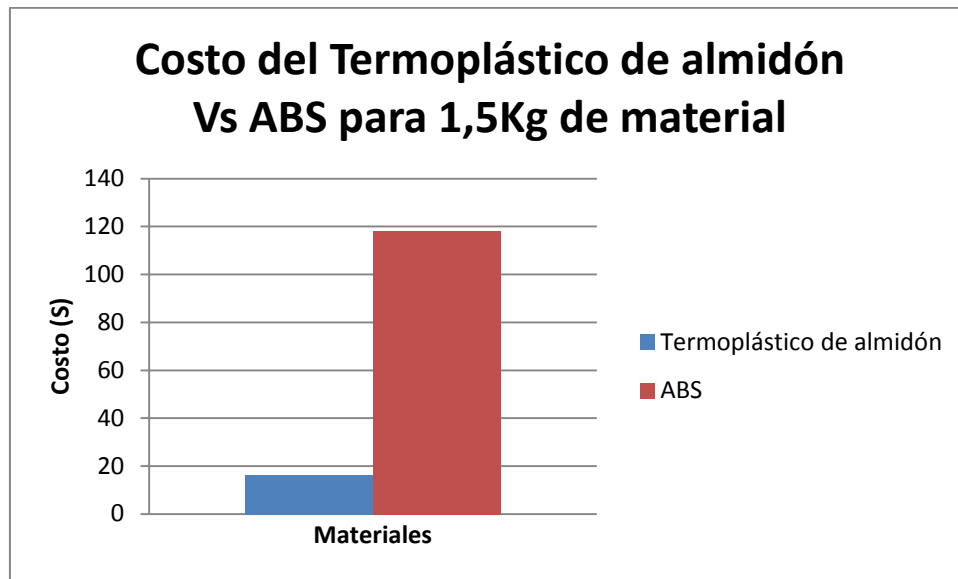
Tabla 4.3 Costos de materia prima para elaboración de Termoplástico de almidón.
Elaboración propia

Como se puede observar en la tabla anterior, el costo en materia prima para la elaboración de 1,5 Kg de Termoplástico de almidón es de \$ 16,27.

A continuación se observa una tabla que compara los costos del termoplástico de almidón, en donde solo se tomará en cuenta el valor de la materia prima utilizada para la fabricación de 1,5Kg de Termoplástico de almidón, y el costo de 1.5 Kg de ABS:

Consumible	Termoplástico de almidón	ABS
Costo (\$)	16,27	118,2

Tabla 4.4 Costos de materia prima para elaboración de Termoplástico de almidón vs Costo de ABS para 1,5 Kg de cada material.
Elaboración propia



Gráfica 4.4 Costos de materia prima para elaboración de Termoplástico de almidón vs Costo de ABS para 1,5 Kg de cada material.
Elaboración propia

En la tabla anterior se puede observar que el costo de la materia prima asociados a la elaboración de 1,5 Kg del termoplástico de almidón es un 13% del costo de 1,5Kg de ABS, por lo que se obtuvo una diferencia en costos importante.

Se debe tomar en cuenta que el costo de 1,5 Kg de Termoplástico de almidón, no incluye los costos de Mano de Obra directa, costos por Servicios e insumos, costo por depreciación de los equipos utilizados, ni otros costos asociados en la elaboración de un producto a nivel industrial.

El termoplástico de almidón, como material alternativo propuesto, posee muchas ventajas con relación al consumible actual en los equipos de Prototipado rápido. Estas ventajas y beneficios se muestran en la tabla a continuación:

Elementos considerados	ABS	Termoplástico de almidón
Costo \$/Kg	78,8	28
Esfuerzo Máximo (MPa)	38,21	16,24
Modulo de elasticidad (MPa)	31,55	7,08
Biodegradable	NO	SI
Para crear Modelos volumétricos - dimensionales	SI	SI
Para crear Modelos funcionales	SI	NO
Para crear Modelos experimentales	SI	NO
Para crear Modelos Ergonómicos	SI	SI

Tabla 4.5 Listado de elementos a considerar en la selección del material alternativo propuesto.
Fuente: Estudios realizados en los laboratorios de la Universidad de Carolina del Norte
(Elaboración Propia)



Figura 4.4 Estudio de tracción del ABS.
Fuente: Estudios realizados en los laboratorios de la Universidad de Carolina del Norte
(Elaboración Propia)

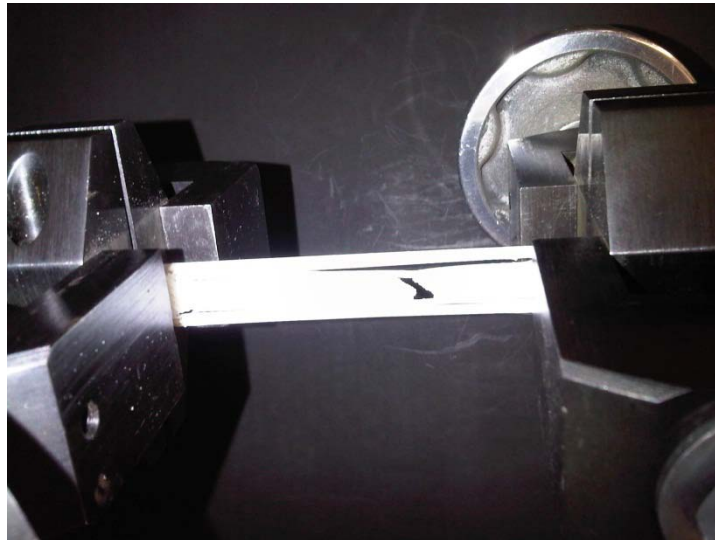


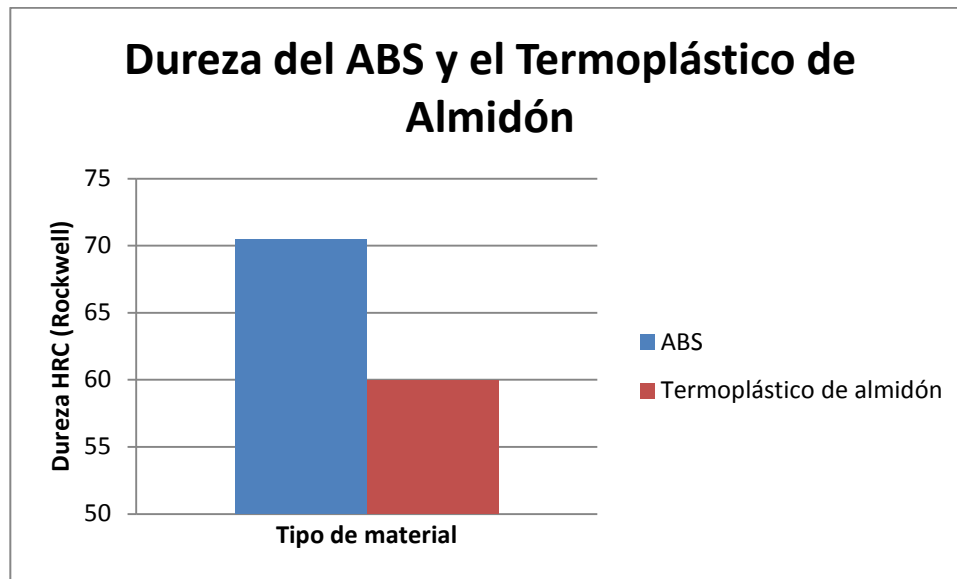
Figura 4.5 Estudio de tracción del Termoplástico de almidón.
Fuente: Estudios realizados en los laboratorios de la Universidad de Carolina del Norte
(Elaboración Propia)

Según los criterios de selección de la tabla anterior, se puede observar que uno de los factores más importantes es que el Termoplástico de almidón es un material biodegradable y de rápida descomposición. Debido a que la descomposición del termoplástico de almidón es acelerada con respecto al ABS, es que no es recomendable utilizarlo para Modelos Funcionales ni Experimentales que requieran de largos estudios, ya que por su composición química, este material se deteriora rápidamente por el importante contenido de agua en su estructura, independientemente de que luego de su elaboración, este material fue colocado en un horno para extraer la mayor cantidad de humedad posible.

Los resultados de la prueba de dureza, fueron los siguientes:

	ABS	Termoplástico de almidón
Dureza HRC	70,45	59,94

Tabla 4.6 Estudio de Dureza del Termoplástico de almidón y el ABS.
Fuente: Estudios realizados en los laboratorios de la Universidad de Carolina del Norte
(Elaboración Propia)



Gráfica 4.5 Estudio de Dureza del Termoplástico de almidón y el ABS.
Fuente: Estudios realizados en los laboratorios de la Universidad de Carolina del Norte
(Elaboración Propia)

Como se pudo observar en la tabla anterior, la dureza del ABS es mayor que la dureza del termoplástico de almidón, ya el ABS presento un 15% más de dureza con respecto al Termoplástico de Almidón.

4.3 Resultados del estadio predictivo

Como pudimos observar en los resultados anteriores, el Termoplástico de almidón se ha convertido en una alternativa importante, por lo que a medida que se fue avanzando en el estudio, las otras alternativas fueron descartadas.

Dado el bajo costo que representa el Termoplástico de almidón, con respecto al ABS, la carga máxima soportada, su biodegradabilidad, se puede decir que se podrá contar con el Termoplástico de almidón como material alternativo para ser usado en las tecnologías existentes de Prototipado rápido.

Al tomar en cuenta que los costos asociados a la materia prima para la elaboración de 1,5Kg de termoplástico de almidón, es el 13% del costo de 1,5Kg de ABS, nos permite colocar el Termoplástico de almidón como una opción importante en estudios que se realicen a futuro, cuya finalidad podrá ser el calculo de los costos de fabricación, pudiendo afianzar así este producto como una alternativa de consumible para esta tecnología y muchas otras que requieran de un Termoplástico para el desarrollo de su producto final.

CAPITULO V

Descripción del plan de acción

Este capítulo comprende la valoración del estudio en términos de su configuración interna, ya que implica analizar el estudio en términos de adecuación de cada uno de sus componentes en con base en criterios establecidos en el sintagma gnoseológico.

5.1 Justificación del estudio

La disminución de los costos de los consumibles, permitirá que esta tecnología sea asequible a todas las personas interesadas en la elaboración de prototipos, ya que ya no se estaría hablando de que el Prototipado rápido es solo de uso industrial, sino que las personas que deseen formalizar una idea, evaluar un proyecto o responder a la pregunta “¿Qué pasaría si...?”, podrán elaborar su prototipo y verlo funcionar.

En la medida en que se han desarrollado nuevos productos con las tecnologías de Prototipado rápido con el fin de disminuir los costos asociados a la producción, el medio ambiente ha sufrido las consecuencias, debido a que al momento de elaborar un prototipo, este es probado, son observadas sus cualidades y principales propiedades, se estudia que tan parecido es a lo que se tenía en mente y luego de todo esto, es desechado, debido a que cumplió su objetivo. Por lo que el Termoplástico de Almidón podría revolucionar la elaboración de prototipos, ya que las propiedades físicas y químicas de este Termoplástico están diseñadas para cumplir esa misión para luego comenzar el proceso de biodegradación.

5.2 Objetivos del estudio

Para la formulación de los objetivos, se tomaron aspectos importantes según las necesidades detectadas, como lo es el costo asociado a la utilización del Prototipado rápido como alternativa para el desarrollo de nuevos productos.

Los objetivos planteados en la investigación fueron alcanzables, ya que en la búsqueda del material alternativo se presentaron varias alternativas, incluso alternativas que involucraban la elaboración del producto, resultando esta alternativa la más factible para su desarrollo y posible implementación.

5.3 Contenidos del estudio

El estudio estuvo conformado por la selección del material a utilizar tomando en cuenta los costos, lo amigable con el ambiente y similitud con el consumible actual para su posible sustitución. En este trayecto, se realizaron pruebas en el Laboratorio de Manufactura Aditiva de la Universidad de Carolina del Norte, pudiendo elaborar el Termoplástico de almidón siguiendo estrictos controles en medidas y procedimientos.

El Termoplástico de almidón, luego de su elaboración, se convierte en una pasta muy densa, que requiere pasar primero por algunos procesos, como lo es el proceso para la extracción de la humedad y el proceso de moldeo de Inyección, para con ello obtener el Termoplástico de almidón en la forma requerida por el equipo de Prototipado rápido y poder ser procesado correctamente.

En el equipo de Prototipado rápido se realizaron algunas modificaciones, como lo fue la creación de una barra cilíndrica del mismo diámetro del Termoplástico de almidón en su versión final y del largo del sistema de inyección del equipo de Prototipado rápido, para que este material pudiera ingresar en el área de calentamiento y mantuviera la consistencia hasta llegar al área de Inyección, debido a que su bajo punto de fusión con respecto al ABS, hacía que se convertía rápidamente en líquido y existía la posibilidad de que el material no fluyera correctamente.

5.4 Métodos y procedimientos de la aplicación del estudio

Para llevar a cabo la caracterización de las tecnologías existentes de Prototipado rápido, se realizó la solicitud de precios a los distintos proveedores de la Universidad de Carolina del Norte, para con la información solicitada, comenzar con la selección de la tecnología de Prototipado rápido y consumible a estudiar.

Al momento de realizar las pruebas del material en el equipo de Prototipado rápido “RapMen”, se logró validar que el material cumple con los requisitos para ser procesado en estos equipos, permitiendo realizar las siguientes pruebas de tracción, cálculo de la densidad y porcentaje de Humedad en la muestra.

5.5 Tiempos, etapas y programación de actividades

Para la ejecución del estudio, se plantearon una serie de etapas que fueron diseñadas y seleccionadas según cada uno de los objetivos específicos y tomando en cuenta el uso de los laboratorios de la Universidad de Carolina del Norte.

La ejecución en tiempo de algunas etapas, dependió en gran medida a agentes externos, como lo fue la respuesta de los proveedores a la solicitud de las listas de precios de los consumibles y equipos, para con ello realizar la selección del equipo y el tipo de consumible a investigar. La espera de los ingredientes para la elaboración del Termoplástico de almidón también fue un factor importante para la ejecución de las etapas de forma programada.

En la tabla que se muestra a continuación, se podrá observar cada una de las actividades y etapas planteadas, y el tiempo asignado para su ejecución.

	SEMANAS															
	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16
Revisión y recolección de información general de tecnología y materiales a																
Análisis de información específica de las tecnologías estudiadas																
Identificación de materiales alternativos																
Selección de variables para la EDD																
Construcción de la EDD																
Ejecución experimental																
Verificación de los materiales																
Evaluación económica de la alternativa propuesta																
Revisión del documento																

Figura 5.1 Etapas y actividades desarrolladas vs el tiempo estipulado.
(Elaboración Propia)

5.6 Personal requerido y participantes

Al momento de comenzar la parte experimental de este estudio en el Laboratorio de Manufactura Aditiva de la Universidad de Carolina del Norte, fue necesaria la colaboración de personal calificado en el uso de los equipos de Prototipado rápido, por lo que se conto con el Ing. Harshad Shrinivasar, para la realización de pruebas con el material propuesto.

Por otra parte, para la realización de los estudios de tracción, humedad, densidad y costos, se tuvo la participación del Ing. Jason C. Low, que también realizo un gran aporte en el suministro de materia prima para la

elaboración del Termoplástico de almidón, la reservación del Laboratorio de Manufactura Aditiva de la Universidad de Carolina del Norte con todos los equipos necesarios para realizar las pruebas requeridas.

5.7 Recursos utilizados para la aplicación del estudio

En el estudio realizado fue necesario el uso de los siguientes equipos:

- Equipo de Prototipado rápido “RapMen”
- 0.5 kg de consumible ABS
- Almidón de papa
- Balanza KSP-30
- Termocupla marca irfp9240
- Equipo para prueba de tracción marca “ATS” modelo “1620-00”
- Hornilla eléctrica para preparación de termoplástico marca “Isotemp”, modelo “Fisher Scientific”



Figura 5.2 Recursos utilizados para la elaboración de Termoplástico de almidón.
Fuente: Elaboración Propia

- Vinagre blanco marca “Harris teeter”, para la elaboración del Termoplástico de almidón

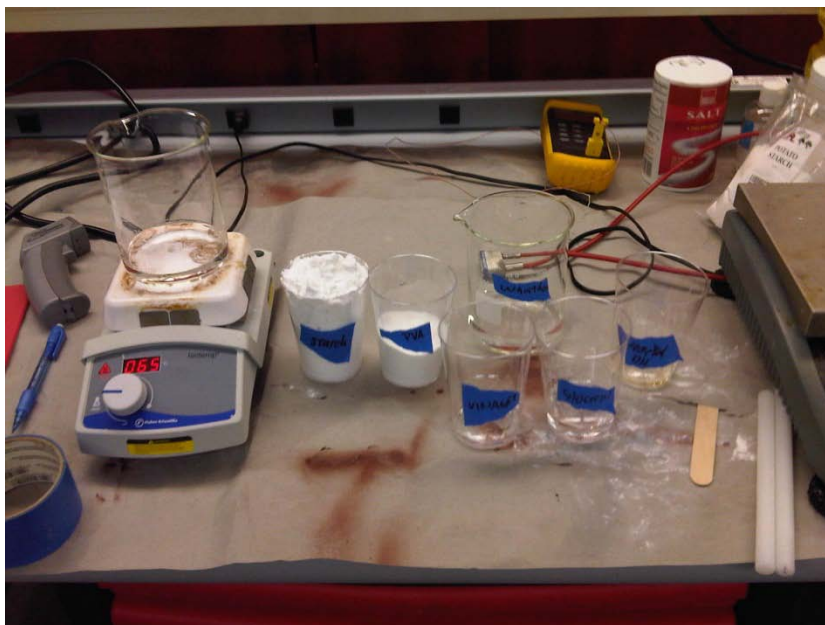


Figura 5.3 Recursos utilizados para la elaboración de Termoplástico de almidón 2

Fuente: Elaboración Propia

- Aceite vegetal marca “Harris teeter”, para la elaboración del Termoplástico de almidón
- Sal marca “Harris Teeter”, para la elaboración del Termoplástico de almidón
- Equipo de moldeo de termoplástico por Inyección marca “Crystal Alloy Injectors” modelo “110A”
- Horno para extracción de humedad del Termoplástico de almidón marca “Vamon” modelo DKN 600



Figura 5.4 Muestras de Termoplástico de almidón dentro del Horno para extracción de humedad
Fuente: Elaboración Propia

- Alcohol Polivinílico, para la elaboración del Termoplástico de almidón
- Agua destilada, para la elaboración del Termoplástico de almidón
- Molde de aluminio para elaboración de diámetro adecuado para el “RapMan” de Prototipado rápido, en el equipo de moldeo de termoplástico por inyección

5.8 Costos del estudio

A continuación se presentará el esquema de costos del estudio:

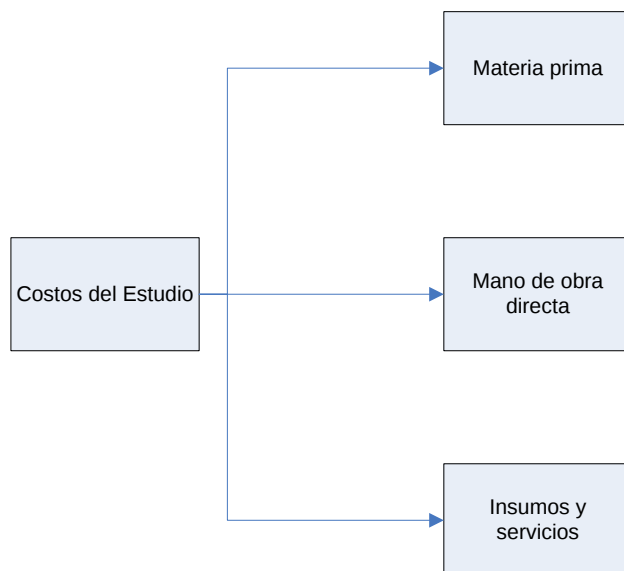


Figura 5.5 Estructura de costos del estudio.
Elaboración propia

Como se presentó en el gráfico anterior, los costos del estudio están divididos en tres grupos, Los costos de la materia prima, los costos de la Mano de Obra directa y los costos de los insumos y servicios.

Los costos de la Materia prima se muestran en la siguiente tabla:

Material utilizado	Cantidad	Costo (\$)
ABS	0,5 Kg	39,40
Almidón de papa	1 Kg	9,00
Vinagre blanco	300 ml	1,80
Aceite vegetal	300 ml	1,30
Sal	10 gr	0,87
Alcohol Polivinílico	45 gr	2,30
Agua destilada	600 ml	1,00

Tabla 5.1 Costos de materia prima para el estudio.
Elaboración propia

Como se puede observar en la tabla anterior, los costos asociados a la materia prima están representados en Dólares (\$) y en función del material utilizado en Kilos, miligramos o mililitros.

Los materiales antes mencionados corresponden a los necesarios para la elaboración del termoplástico de almidón. El PVC y el ABS fue necesario para la comparación de costos y propiedades físicas.

Los costos asociados a la Mano de directa y los Insumos y servicios no se tomarán en cuenta, debido a que todos estos costos fueron asumidos por la Universidad del Estado de Carolina al Norte, al dotar de personal y equipos necesarios para poder llevar a cabo dicho estudio. Esto se debe a que dicho esta estudio está enfocado a fines investigativos e informativos y no a fines comerciales.

Los costos totales del estudio se muestran a continuación:

Tipos de costo	Monto (\$)
Costos de materia prima	55,67
Costos de mano de obra directa	0,00
Costos de Insumos y servicios	0,00
Total	55,67

Tabla 5.2 Suma de los costos del estudio.
Elaboración propia

Como se puede observar, el estudio realizado tuvo un costo de 55,67 \$, cuyo financiamiento fue propio del autor de este estudio.

5.9 Criterios para evaluación de efectividad

La efectividad es la capacidad de lograr un efecto deseado, esperado o anhelado, por lo que para la evaluación de la efectividad del proyecto se realizaron comparaciones con cada uno de los objetivos específicos en las diferentes etapas del proceso. Esto permite decidir si realmente las técnicas

y estrategias utilizadas para el estudio son efectivas y han sido bien seleccionadas.

Otra forma de evaluación de efectividad es la comparación de los costos referentes a la elaboración del Termoplástico de almidón y el costo de esa misma cantidad, en material ABS, lo que permite identificar si realmente el material propuesto es más económico que el material actual, pudiendo ser está otra razón más para evaluar la efectividad del presente estudio.

CAPITULO VI

Discusión de los resultados

6.1 Evaluación del estudio en sus diferentes aspectos

El proceso investigativo utilizado permitió elaborar un producto que no se había utilizado en la tecnología de Prototipado rápido, lo que fue de gran importancia ya que con el Termoplástico de almidón y esta nueva aplicación, se estaría introduciendo un nuevo consumible al mercado existente referido a Prototipado rápido, lo que permitirá desarrollar nuevas investigaciones de factibilidad para la fabricación de este material a nivel industrial y poder suplir el mercado existente.

Cuando se planteó la caracterización de la tecnología existente de Prototipado rápido, con fines comerciales y de investigación, con un costo menor de \$ 5,000, se decidió solicitar esta información a los proveedores actuales de la Universidad Estatal de Carolina del Norte, que suministraron los precios de los equipo que están únicamente por debajo a \$ 5,000, además de su valor, lo que permitió comenzar con la caracterización de los materiales de bajo costo que cumplen con los requisitos de la tecnología de Prototipado Rápido, tomando como base los materiales sugeridos por los desarrolladores de esta tecnología.

La caracterización de los materiales, según la tensión máxima soportada, la dureza, costos, entre otros, fue fundamental para diferenciar los materiales según propiedades comunes, por lo que al continuar con la definición de criterios de selección, el material con menor costo y con una resistencia importante, fue el Termoplástico de almidón.

Al tener definido el material con el que se iba a trabajar, se estudiaron las condiciones bajo las cuales el equipo de Prototipado rápido recibe el consumible, lo que fue un factor fundamental al momento de tomar las

decisiones futuras, ya que el molde para la inyección del termoplástico de almidón, se elaboró en función al diámetro máximo tolerado por el “RapMan”.

El proceso seleccionado para el logro de los objetivos planteados, tuvo un alcance mayor al esperado, ya que no solo se logró caracterizar y seleccionar el material adecuado para la sustitución de los consumibles actuales, sino también que se logró utilizar como consumible, un material biodegradable cuyo uso no era el de Prototipado rápido, por lo que se logró transformar este material y hacerlo apto para ser procesado en el equipo de Prototipado rápido “RapMan”.

Una de las técnicas importantes que permitió la caracterización del material, fue la realización de estudios de dureza y ensayos de tracción, debido a que según esos resultados, se pasó a comparar ambos materiales y realizar la selección del material que mejor se adapte a las necesidades para lo que realmente se necesita, según los criterios establecidos, dado que lo que se buscó fue comparar los materiales alternativos con el consumible actual en propiedades físicas y costos.

Las técnicas comparativas utilizadas, permitieron afianzar uno de los materiales propuestos que fue el termoplástico de almidón. Esto sucede luego de comparar los costos, dureza, resistencia a la tracción y otros estudios que permitieron ir colocando al Termoplástico de almidón como la alternativa a desarrollar.

Es importante destacar que el PVC mostró una mayor resistencia a la tracción y un costo menor que el termoplástico de almidón, lo que lo tuvo que haber convertido en el material a seguir evaluando y propuesto como alternativo, pero dado a que el PVC estudiado no es biodegradable, se realizó el descarte de este material y se continuó con el estudio del termoplástico de almidón, que es un material amigable con la

naturaleza y se adapta mejor con el objetivo que cumplirá como consumible de equipos de Prototipado rápido.

CONCLUSIONES

El estudio fue estructurado para poder llevar a cabo una investigación evaluativa, implementando metodologías y herramientas previamente establecidas que rigen este tipo de estudios; pero siempre existe la posibilidad de que ocurran dificultades que compliquen su desarrollo, y llevan a los investigadores a enfrentar y superar las distintas dificultades encontradas durante el proceso de investigación y obtención de información.

El objetivo del presente Trabajo Especial de Grado fue el estudio de factibilidad técnica y económica de la selección de materiales alternativos de bajo costo para ser usados en tecnologías de “Prototipado Rápido”.

El estudio descriptivo y de las condiciones actuales, revelan que existen equipos que utilizan la tecnología de Prototipado rápido con un costo menor a \$ 5,000. Por lo que la selección de alguno de estos equipos para el estudio fue completamente viable. Entre las razones de la selección del “RapMan” como equipo de prueba del consumible alternativo propuesto, está que este equipo es el de menor costo y posee un programa abierto, que permitieron realizar modificaciones pertinentes con la finalidad del uso del Termoplástico de almidón como consumible para esta tecnología.

El estudio comparativo, reveló que es posible caracterizar los materiales alternativos de bajo costo que cumplan con los requisitos de la tecnología de Prototipado Rápido, debido a que se tomó como base los materiales sugeridos por los desarrolladores de esta tecnología, siendo viable la realización de pruebas a los materiales actuales y a los propuestos gracias a la comparación realizada de las propiedades físicas y costos por cada Kilogramo de material.

El estudio comparativo también permitió definir que los criterios para la selección de los materiales alternativos de bajo costo propuesto son

aceptables, ya que con la matriz de características generada se pudo observar la relación costo-beneficios y las utilidades que puede tener el Termoplástico de almidón como consumible para la tecnología de Prototipado rápido.

Se logró la valoración de los materiales que pueden ser usados por la tecnología de Prototipado Rápido, realizando la evaluando del modelo actual de suministro de consumible dentro del equipo “RapMan” de Prototipado rápido, que condujo preparación del termoplástico de almidón con técnicas de moldeo por inyección, por lo que fue completamente viable la sustitución del ABS por el Termoplástico de almidón.

Finalmente, al calcular el costos en materia prima para la fabricación del Termoplástico de almidón, y compararlo con el costo del ABS, se observó que la materia prima del Termoplástico de almidón posee un costo del 13% del costo del ABS lo que comprueba que este material es de muy bajo costo con respecto todos los consumibles usados actualmente para esta tecnología, por lo que se puede decir que el Termoplástico de Almidón, es apto para ser usado en las tecnologías de Prototipado rápido cuyo consumible actual sea el ABS, ya que representa una alternativa viable.

Recomendaciones

A continuación se presentan algunas recomendaciones y propuestas que tienen por objetivo garantizar el éxito de investigaciones enfocadas en profundizar y desarrollar el Termoplástico de almidón como material biodegradable y consumible de equipos de Prototipado rápido:

- Para la elaboración del termoplástico de almidón, se debe seguir el procedimiento descrito anteriormente para su preparación, debido a que si no se colocan los compuestos en el orden establecido, se generan coágulos de almidón y no quedará una mezcla homogénea.
- En general se recomienda el agua como el mejor plastificante, aunque no debe encontrarse en proporciones que superen un la mitad del contenido de almidón, debido a que luego para extraerla de la mezcla, una vez esta se encuentra lista, es necesario elevar la temperatura a la ebullición del agua, lo que puede degradar la estructura del almidón.
- Para la realización del proceso de moldeo por inyección, es recomendable no tenga una humedad superior al 9%, debido a que al momento de colocar el Termoplástico de almidón en el equipo, las altas temperaturas lo convertirán en una gelatina, quedando atrapado todo el material dentro de la cámara de calentamiento.
- Es importante que para la realización de ensayos de tracción, se elabora una probeta con técnicas de filamentos longitudinales que vayan de un extremo a otro, y no con filamentos que transversales, debido a que así, la probeta tendrá una mayor resistencia a la tracción.
- Si para realizar los cilindros de Termoplástico de almidón, se utiliza el moldeo de Inyección, se debe tomar en cuenta que no todos los moldes tienen un tamaño superior a 10 cm, y el tamaño mínimo aceptable de consumible dentro del equipo de Prototipado rápido

“RapMen” debe ser de 18 cm, por lo que se deben unir los cilindros, y para ellos es recomendable no utilizar ningún tipo de pegamento, sino más bien, fundir los extremos y pegarlos, que al secarse quedará una unión rígida.

- Para llevar a cabo la comparación de estos tipos de consumibles, es recomendable realizar pruebas de tracción y dureza, ya que estas pruebas permiten determinar propiedades importantes en los materiales, según el uso que se le vaya a dar.
- Es importante conocer el equipo en el que se van a realizar las pruebas del material alternativo, debido a que así podremos saber que tipo de consumibles podemos utilizar, como también la mínima o máxima temperatura que da el equipo, en proceso calentamiento del consumible. Con esto se evitaría sobre calentar o no calentar el consumible lo suficiente, lo que ocasionara un atasco del material.

BIBLIOGRAFÍA

Fuentes Bibliográficas

- Baca, G. (1995). Evaluación de proyectos. Mexico: Mc. Graw Hill
- Bernal, M.L. y otros siete autores (2007). Variación de los tiempos de fermentación de almidón agrio y de la velocidad de rotación del tornillo de un extrusor de uso sencillo en la obtención de almidón TPS. Colombia: Revista Biotecnol. Sector Agropecuario y Agroindustria
- Brions Guillermo, Evaluación de programas. Editorial Trillas Mexico, (1991)
- Coffin, D. R., Fishman, M. L. (2004). Extrusion of Pectin and Glycerol whit various combinations of Orange Albedo and Starch. New York: Nova
- George, Ch (2007). Preparation and Characterization of Solid-State and Plasmonic Material. Illinois
- Hurtado, J (2000). Metodología de investigación Holística. (3era edición) Venezuela: Fundación Sygal
- L.P.B.M. Janssen, Leszek Moscicki (2009). Thermoplastic Starch: A green material for various industries. Alemania: Wiley-VCH Verlag GmbH & Co. KGaA.
- Lawton JW. (1997). Biodegradable coatings for Thermoplastic Starch. New York: Campbell Plenum Press

Fuentes Electrónicas

- Acosta, H. y otros seis autores; Efecto de las variables de operación de un extrusor de uso sencillo sobre las propiedades mecánicas de almidón termoplástico hecho de almidón agrio de yuca, Rev. Biotecnol. Sector Agropecuario y Agroindustrial, <http://www.unicauca.edu.co/biotecnologia/ediciones/vol2/Art22.pdf>. Acceso: Noviembre 2011

- Oficina Europea de patentes EP304401A2, Sharpes articles made form pre-processed starch. www.european-patent-office.org. Acceso: Noviembre 2011