



Universidad
Zaragoza

Proyecto Fin de Carrera

Diseño de una impresora 3D DLP

Autor

Myriam Derré

Directores

Jorge Santolaria Mazo

Francisco Javier Brosed Dueso

Escuela de Ingeniería y Arquitectura, Universidad Zaragoza

2014

DISEÑO DE UNA IMPRESORA 3D DLP

RESUMEN - ESPAÑOL

Este proyecto trata del desarrollo de una impresora 3D compacta y de bajo coste con el objetivo de comercializarla más adelante. No se puede cumplir la totalidad del objetivo en el alcance del proyecto de fin de carrera. Por eso, solo se intenta obtener un prototipo de una impresora fotoquímica del tipo DLP. Se realiza este prototipo con respecto a los requerimientos técnicos y los requerimientos de la persona cargada del diseño exterior de la impresora.

El proyecto comienza por un estudio de las impresoras 3D del mercado y varios elementos y utillajes que se pueden utilizar en este proyecto. Así se obtiene una mejor idea de las tecnologías de impresión 3D; de lo que ya se hace y lo que puede ser mejorado. En esta parte, se definen los elementos a tener en cuenta durante el diseño. Después, se realiza un análisis de las relaciones entre las características de la máquina. O sea, el impacto de las dimensiones de las piezas realizadas sobre los elementos utilizados para fabricar la impresora y, por consecuencia, sobre el coste y las dimensiones de la impresora. Gracias a este estudio se puede elegir un diseño para el producto y el conjunto de los elementos a utilizar con respecto a los requerimientos. Luego, con la idea del diseño a realizar se estudia las partes mecánicas del sistema. O sea, primero, el sistema de desplazamiento con el soporte de la pieza. Después, la cuba y, por fin, el sistema óptico con el proyector y los elementos ópticos que pueden ser añadidos (lentes de Fresnel, lentes divergentes, espejo...). En esta parte se empieza a buscar presupuestos para varios de los elementos de modo que se obtiene una primera idea del precio de la impresora. La parte siguiente consiste en la realización del modelo numérico de la máquina gracias al software SolidEdge. Así se puede definir las características de las piezas de montaje. Se intenta obtener un máximo de piezas comerciales en el montaje para reducir el coste de la impresora. Además, en esta parte se define las dimensiones exactas de cada elemento. De esta manera se pueden obtener las dimensiones finales de la impresora completa. Por último, se realizan ensayos del sistema óptico (proyector, lente de Fresnel y lente divergente). Con ellos se puede definir la influencia de cada elemento sobre la calidad de la pieza. Estos ensayos deben validar la utilización de las piezas elegidas.

Lo que quedará a realizar después este proyecto, es, en una primera parte, el fin del prototipo con las modificaciones implicadas por los ensayos y su diseño exterior. En una segunda parte, habrá que realizar el estudio de industrialización y de la comercialización del producto.

DISEÑO DE UNA IMPRESORA 3D DLP

RESUMEN – INGLÉS

This project relates to the development of a 3D DLP printer. This printer must be as cheap and compact as possible. The ultimate goal of this project is to commercialise the printer. The time of a single “Proyecto de Fin de Carrera” is not sufficient to complete the all project. Therefore, the aim is only to obtain a prototype of a 3D DLP printer. But, at the same time, we try to prepare the rest of the project. To do so, the product’s design has to respect the requirement of the exterior design’s responsible. Moreover, during the all project, quotes of the various elements of printer are realized in function of the needs.

To do it, we start by the realization of a study of the 3D printers already present on the market as well as the various elements and tools which we can need during the project. Thank to that, we can have a best idea of the 3D printer’s technologies; what is already done and what we can improve. In this part, we can define what we need to take care during the realization of the project. Then, we carry out a study about the relations between the various features of the machine. That being so, the influence of the dimensions of the making piece on the elements used during the fabrication of the printer. And, as a consequence, on its price and its size. Thank to this study, we can choose the design of the product and the set of the pieces which must be used to respect the project’s requirements. Next, because the global design is known, we can start to analyse the mechanic parts of the system. That mind to start with the moving part and the support of the piece. The analysis continues with the cistern to be concluded by the optic system: the projector and the parts which can be added (divergent lens, Fresnel’s lens, mirror...). The quotes start to be requested during this part of the project. In this way we can realize a first evaluation of the cost of our 3D DLP printer. The next part is the realization of the printer’s CAD model thanks to the software SolidEdge. Hence, we can have a best definition of the features of the assembly elements. We look for marketing elements to reduce as much as possible the cost of the system. Moreover, this model allows us to define the accurate size of each part of the assembly and, as a consequence, of the complete printer. As a last point, we realize tests of the optic system (projector, Fresnel’s lens y divergent lens). These tests allow us to define the influence of each element on the quality of the piece. They must valid o no the use of the chosen pieces.

To carry on this project, the next person concerned by it should, in a first part, end the realization of the full prototype of the 3D printer (the mechanic part and the outward design) following the modifications due to the tests’ results. Then, in a second part, he should realize the studies of the industrialization and of the marketing of the product.

ÍNDICE

RESUMEN - ESPAÑOL	3
RESUMEN – INGLÉS	4
ÍNDICE	5
INTRODUCCIÓN	7
MEMORIA DEL PFC	9
1. Estado del arte	10
1.1. Las impresoras 3D	10
1.1.1. Presentación del principio	10
1.1.2. Los diferentes procesos.....	10
1.2. Las impresoras fotoquímicas	12
1.2.1. Principio general	12
1.2.2. Las diferentes técnicas de impresión fotoquímica	12
1.2.3. El mercado actual de impresora fotoquímica	13
1.3. Los fuentes de luz	14
1.3.1. Las características de un proyector	14
1.3.2. Los tipos de proyectores	14
1.3.3. Elección del proyector.....	15
1.4. Las resinas fotosensibles.....	16
1.4.1. Definición y utilización	16
1.4.2. Las características importantes de las resinas	16
1.4.3. Ejemplos de resinas.....	17
1.5. Las lentes ópticas	17
1.5.1. Propiedades importantes de las lentes	17
1.5.2. Utilización de lentes	17
1.5.3. Las lentes en el mercado	18
1.6. Estudio del proyecto precedente.....	19
1.6.1. El prototipo precedente	19
1.6.2. Elementos importantes del diseño	20
2. Influencia del tamaño de piezas	21
2.1. Influencia del tamaño de la imagen proyectada.....	21
2.1.1. Caso 1	21
2.1.2. Caso 2	21
2.1.3. Caso 3	22
2.1.4. Caso 4	22
2.2. Influencia de la altura de la pieza sobre el sistema de desplazamiento	23
2.3. Combinación de las alturas	23
3. Las partes mecánicas	25
3.1. El sistema de desplazamiento	25
3.2. La cuba	25
3.2.1. El material y realización	25
3.2.2. Dimensiones	25
3.2.3. Aumento de volumen.....	26
3.3. El sistema óptico	26
3.4. El coste	27

4. Diseño del conjunto.....	28
4.1. Sistema de desplazamiento	28
4.2. La cuba	29
4.3. El sistema de proyección.....	30
4.3.1. La lente divergente.....	30
4.3.2. La placa soporte	30
4.4. La lente de Fresnel	31
4.5. La estructura	32
5. Ensayos del sistema de proyección.....	33
5.1. Los ensayos	33
5.2. Resultados.....	33
CONCLUSIÓN Y TRABAJO FUTURO.....	34
TABLA DE ILUSTRACIÓN.....	36
BIBLIOGRAFÍA	37

INTRODUCCIÓN

Ahora, la impresión 3D es lo que más se parece a la solución de un viejo sueño de los hombres: obtener una pieza directamente a partir de un simple dibujo. En efecto, la impresión 3D es un proceso de fabricación por adición de material que permite obtener piezas directamente desde un modelo numérico. Con este proceso no se necesita realizar cálculos de molde, de matriz o de gama de mecanización. Solo hay que cargar el modelo CAD (Computer-Aided Design) dentro un software de descomposición en capa. Por eso, aunque este proceso no reduce el tiempo de fabricación, reduce mucho el tiempo de preparación. Pues, una pieza puede ser obtenida en mucho menos tiempo que con los otros procesos de fabricación (mecanización, fundición, estampado...). Además, con esta técnica, se puede realizar piezas más complejas que con las otras, no hay problemas de accesibilidad o de socavado. Por fin, como no hay que pagar herramientas o moldes caros, para realizar pocas piezas, este proceso es más económico que la mayoría de los otros. Pero si el tamaño de la serie a producir es tal que el tiempo de preparación puede permitir una reducción significativa del tiempo y del coste de la fabricación la impresión 3D sale mucho menos rentable que las otras técnicas de producción. Por estas razones, la impresión 3D es utilizada por la producción de pequeñas series o de piezas unitarias y no de grandes series. Así, es utilizada para realizar prototipos de nuevos productos antes de producirlos en serie con otro sistema de producción. Pero también puede ser utilizada para realizar piezas únicas o cuasi que deben ser totalmente adaptadas a su entorno (elementos de prótesis o piezas de arte). Para concluir, las impresoras 3D son a menudo consideradas como sistemas de prototipado rápido y empezaban a entrar en las empresas del mundo para esta razón.



Figura 1 - Pieza realizada por impresión 3D - www.standon.be

Dadas sus posibilidades, este ámbito tiene un desarrollo muy rápido. Empezó a ser utilizado por las empresas para realizar prototipos. Luego, algunas empresas utilizaron impresoras 3D para realizar piezas unitarias totalmente adaptadas a su entorno – prótesis por ejemplo. Ahora, los particulares utilizan cada vez más impresoras 3D para realizar piezas de arte o de recambio para reparar elementos de su casa –extremidad de picaporte, elementos de juguetes... Para los particulares, todo eso es sencillo porque se puede encontrar muchos modelos de piezas en libre acceso en Internet. Con el aumento de la demanda de las empresas y de los particulares, las impresoras 3D son cada vez más numerosas en el mercado. Además, las impresoras comerciales compiten con las impresoras DIY –*Do It Yourself*- o sea, la fabricación de una impresora a partir de piezas sueltas. Estas máquinas son más para los particulares que quieren una impresora 3D a muy bajo coste. Por consecuencia, para vender un nuevo producto, una empresa debe proponer impresoras cada vez más baratas, rápidas y con una mejor calidad de impresión.

Por consiguiente, la evolución de las tecnologías de la impresión 3D es muy rápida. Ya existen cinco tecnologías de impresora 3D: la extrusión, el hilado, el granulado, el laminado y la estereolitografía. Estas cinco tecnologías se apoyan sobre cuatro

principios de fabricación: el depósito de un material fundido, la síntesis localizada de polvo, la encoladura de una lámina de material y la polimerización de una resina. El único elemento en común de estas tecnologías es que la pieza se realiza capa por capa y que cada capa tiene un espesor fino (inferior a 1mm).

El objetivo del proyecto es el diseño de una impresora 3D por estereolitografía con un proyector DLP. Con este tipo de tecnología, las piezas se fabrican por la adición de sucesivas capas de pequeño espesor. Cada capa se realiza gracias a la polimerización de una resina fotosensible expuesta a una imagen proyectada por el sistema de proyección DLP. Esta imagen es definida por la presencia de elementos negros y otros iluminados, sin variación de color. El sistema de proyección puede emitir en los UV o en el visible. En nuestro caso, el sistema emite en el visible. Después, un sistema de desplazamiento mueve el soporte para realizar la capa siguiente. El sistema de proyección DLP es una de las cuatro tecnologías de los video-proyectores actualmente sobre el mercado, las otras son las tecnologías LCD, LED y CRT (menos común). Las otras tecnologías son una combinación y/o evolución de unas de estas tecnologías. Los requerimientos que se le piden al diseño son la obtención de una impresora 3D compacta y de bajo coste para comercializarla.

Con el fin de alcanzar el objetivo del proyecto, que es la obtención de una impresora de bajo coste y compacta. Las tareas a realizar se dividen en cuatro partes. La primera consiste en el estudio de las tecnologías de impresoras 3D así como de las impresoras estereolitográficas. De esta manera se puede tener una mejor idea de las tecnologías ya desarrolladas, de lo que se debe tener en cuenta y de lo que se puede mejorar. Después, hay que realizar el análisis de las relaciones entre las características de la pieza a fabricar, los elementos del sistema, el coste y las dimensiones de la impresora. El objetivo de este análisis es definir los elementos que se puede utilizar y las dimensiones máximas de la pieza con respecto a los requerimientos. Luego, con la idea de lo que se puede realizar, se estudia las partes mecánicas del sistema. O sea, primero, el sistema de desplazamiento con el soporte de la pieza. Después, la cuba y, por fin, el sistema óptico con el proyector, los elementos ópticos que pueden ser añadidos (lentes de Fresnel, lentes divergentes, espejo...). La tercera parte es la realización del diseño del conjunto para definir las características de las piezas del montaje. En esta parte se define las dimensiones exactas de cada elemento así como las de la impresora completa. Se proponen también varias posibilidades imaginadas y las razones cada elección. En el último grupo de tareas, se realiza ensayos con el sistema óptico (proyector, lente de Fresnel y lente divergente). Con ellos se puede definir la influencia de cada elemento sobre la calidad de la pieza. Estos ensayos deben validar la utilización o no de cada pieza.

Como se debe comercializar la impresora el diseño exterior es un elemento muy importante de esta máquina. Por eso, algunas elecciones se realizan con respecto a los requerimientos de un estudiante realizando en paralelo un proyecto, en parte, sobre el diseño exterior de esta impresora.

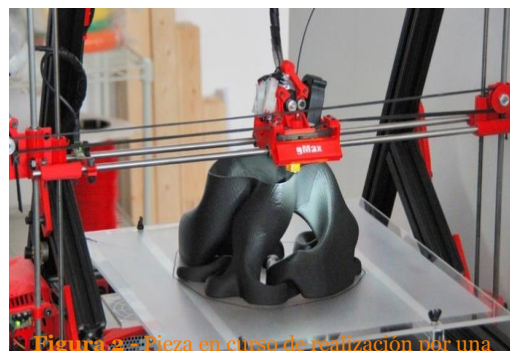


Figura 2: Pieza en curso de realización por una impresora 3D - www.3dnatives.com

MEMORIA DEL PFC

En esta parte se encuentra el desarrollo de este proyecto fin de carrera.

1. ESTADO DEL ARTE

1.1. LAS IMPRESORAS 3D

Las primeras impresoras 3D aparecen en las grandes empresas en los años 80. Hace 10 años, los precios de las impresoras y de los consumibles bajan mucho y el mercado se abre a un público mucho más variado. A largo de los años se desarrollan muchas tecnologías de impresión 3D. En esta parte se presentan estas tecnologías así como algunas impresoras del tipo desarrollado en el proyecto.

1.1.1. PRESENTACIÓN DEL PRINCIPIO

La impresión 3D es un proceso de fabricación por adición de material. Las piezas son fabricadas directamente desde un modelo CAD (o de un modelo obtenido por ingeniería inversa) gracias a un programa que le descompone en capas más o menos gruesas.

A partir del modelo descompuesto en capas, las piezas se realizan según el proceso siguiente:

- 1- El programa selecciona la capa a realizar.
- 2- Los datos de la capa son enviados al sistema de fabricación de la capa (cabeza de deposición del hilo fundido, laser, proyector, etc.)
- 3- El sistema de fabricación realiza la capa con un proceso de adición de material (extrusión, hilado, granulado, laminado o fotoquímica).
- 4- El soporte de la pieza se desplaza relativamente al sistema de fabricación.
- 5- El programa selecciona la capa siguiente para realizarla sobre la última.
- 6- El ciclo se repite hasta que la pieza está completa.

En el **anexo 1**, se puede encontrar un esquema del proceso de fabricación por capa de una impresora 3D.

1.1.2. LOS DIFERENTES PROCESOS

Para realizar una impresión 3D, existen las cinco tecnologías siguientes:

a. La extrusión

Esta técnica fue desarrollada en los años 1980. Actualmente se encuentra en modo "open source", no hay patente, todo el mundo puede utilizar esta tecnología. Así mismo, es el método más utilizado para realizar impresoras 3D. La extrusión utiliza la tecnología del modelado por deposición fundida -o MDF. Se introduce un filamento de material en una boquilla cuya temperatura está por encima de la temperatura de fusión del hilo. De esta manera, una capa se realiza por la deposición del fino hilo fundido de material. Este depósito se solidifica ya que entra en contacto con el soporte o una capa ya realizada. La forma de la capa se realiza gracias al desplazamiento en el plano de la boquilla. Para realizar la capa siguiente se desplaza la boquilla o el soporte según el eje vertical.

Con esta técnica se pueden realizar piezas con los materiales siguientes: termoplásticos (PLA, ABS, PCL...), ceras, aleaciones de muy bajo punto de fusión (aleaciones eutécticas) y materiales comestibles (chocolate, productos químicos...).

b. El hilado

Esta tecnología es desarrollada por la NASA y utiliza un haz de electrones -EBF- para realizar las capas. Esta técnica permite realizar elementos en cuasi todas las aleaciones (de aluminio, de titanio, de acero, etc.) si son compatibles con el haz de electrones.

El EBF funciona mediante una cámara de vacío gracias a la que el haz de electrones puede actuar sobre el metal. Bajo esta fuente de energía, el metal se funde y su forma se modifica de acuerdo con la forma requerida por el diseño. Una de las ventajas de este tipo de fabricación es la posibilidad de incluir un material dentro otro directamente durante su fabricación y en lugares inaccesibles de otro modo.

Ahora, no hay aplicaciones comerciales, el hilado es un proceso en estudio en los laboratorios de la NASA. Pero, a la vista de su potencial, no es para nada descabellado pensar que dentro de unos años las aplicaciones serán múltiples, en particular en el terreno de la aeronáutica y de las expediciones aeroespaciales.

c. El granulado

Existen varias tecnologías de granulado, el principio es el mismo para cada tecnología. Solo la fuente de energía, su temperatura y, por consecuencia, los materiales que se puede utilizar cambian. Las tecnologías son:

- El sinterizado directo de metal por láser (DMLS), con el que se puede trabajar sobre casi cualquier aleación.
- La fusión por haz de electrones (EBM), con la que se puede trabajar con las aleaciones de titanio.
- El sinterizado selectivo por calor (SHS) con el que se puede trabajar con polvo de termoplástico.
- El sinterizado selectivo por láser (SLS) con el que se puede trabajar con termoplástico, polvos metálicos o polvos cerámicos.
- La proyección aglutinante (DSPC) con la que se puede trabajar con yeso.

Una capa se realiza por la fundición local del polvo o del material de base gracias a la energía resultante de la tecnología. La fuente de energía es controlada por el modelo CAD del producto a realizar y permite crear una nueva capa y unirla con la precedente.

d. El laminado

Este tipo de impresión trabaja con varios tipos de papeles (papel, papel de aluminio, etc.) o capas de plástico y utiliza la tecnología de laminado de capas (LOM). La pieza se realiza por adición y encoladura de hojas cortadas según las formas queridas.

Al principio, las hojas son pre-impregnadas de cola, pues son cortadas en función de la capa a realizar. Para unir dos capas, se calientan y se posicionan las hojas, después un rodillo ejerce el esfuerzo de presión necesario para la unión. Cuando la pieza se enfría se endurece y alcanza el aspecto y las características requeridas.

e. La fotoquímica

En este proyecto se utilizará este tipo de impresión 3D, por eso se desarrolla esta técnica en la parte siguiente.

1.2. LAS IMPRESORAS FOTOQUÍMICAS

1.2.1. PRINCIPIO GENERAL

Las impresoras fotoquímicas utilizan las características fotoquímicas de algunas resinas. Se realiza piezas duras a partir de una resina fotosensible fluida. La primera impresora fotoquímica fue desarrollada en 1986 por 3DSYSTEMS y funciona con el principio de la estereolitografía. La mayoría de las otras técnicas derivan de esta.

La realización de una pieza se hace capa por capa gracias a la exposición de la resina fotosensible fluida a una fuente de luz. Esta fuente puede ser fija (imagen de un proyector) o móvil (láser controlado por ordenador). Una vez que el tiempo de exposición es suficiente para que la polimerización de la resina se realice, el soporte se desplaza y la capa siguiente puede ser realizada.

Este proceso permite obtener un buen acabado de superficial final y permite realizar piezas complejas. Además, es una de las técnicas las más rápidas para realizar una pieza. Pero tiene también algunos inconvenientes. En efecto, solo se puede utilizar polímeros o compuestos con material cerámico duro (gracias a la adición de partículas cerámicas en el polímero seguido por un tratamiento térmico). Además, las resinas utilizadas por este tipo de producción son caras (entre 60 y 90EUR por litro) y sensibles a la humedad y a la temperatura.



Figura 3 - Pieza realizada por estereolitografía



Figura 4 - Pieza realizada por MDF

1.2.2. LAS DIFERENTES TÉCNICAS DE IMPRESIÓN FOTOQUÍMICA

En largo del tiempo se desarrollan tres técnicas de impresión fotoquímica, cada una está basada sobre la polimerización de una resina fotosensible. Solo la forma y el tipo de fuente de luz cambian.

a. La estereografía SLA

La estereografía SLA es la primera técnica utilizada para realizar una impresora 3D fotoquímica. Esta impresora utiliza la fotosensibilidad a los rayos UV de algunas resinas. Un láser proyecta un rayo del dominio UV sobre la resina. Las capas se realizan gracias al movimiento del láser controlado gracias al programa de descomposición de la pieza en capas.

Esta técnica permite realizar piezas complejas muy rápidamente pero necesita un control muy fino del movimiento del láser y eso puede ser, al final, muy complejo.

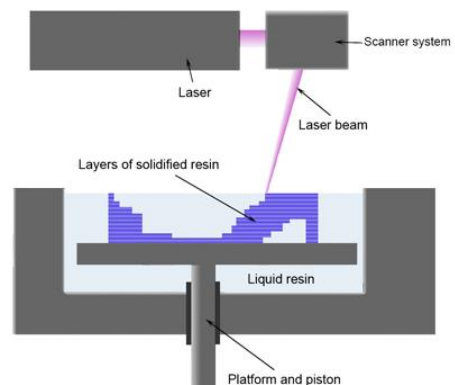


Figura 5 - Esquema de la fabricación por SLA

b. La fotopolimerización por luz UV o visible

Esta técnica utiliza un proyector para diseñar las capas de la pieza. Eso permite simplificar la realización de la pieza porque no necesita controlar el desplazamiento de un elemento móvil. De esta manera se puede realizar la pieza más rápidamente y más barata que por estereolitografía. Sin embargo, implica mayores restricciones a nivel de las dimensiones máximas y mínimas de las piezas. En efecto, las dimensiones de la máquina y de las piezas que pueden ser realizadas están directamente relacionadas. Cuanto más grande es la máquina mayores pueden ser las piezas. Mientras que, para un proyector dado, con una resolución definida, cuanto más grande es la pieza peor es su resolución.

c. La fotopolimerización por absorción de fotones

Esta técnica permite conseguir muy pequeños detalles y por eso se pueden realizar piezas de micro-fabricación 3D. Eso se hace mediante el mecanismo de fotopolimerización por absorción de fotones de la resina. Con esta tecnología, un objeto 3D puede ser trazado en un bloque de gel con un láser. El gel es curado y se solidifica sólo en los lugares en donde el láser es enfocado. Después de la etapa de curado, el gel restante es lavado. Esta técnica ofrece tamaños de menos de 100nm siendo fácilmente realizable tanto en estructuras complejas de partes móviles como en fijas pero necesita también gestionar el movimiento y la velocidad del láser durante todo el proceso de fabricación.

1.2.3. EL MERCADO ACTUAL DE IMPRESORA FOTOQUÍMICA

Ahora, el mercado de las impresoras 3D fotoquímicas se desarrolla muy rápidamente a través de empresas ya sobre el mercado, gracias al Crowdfunding (financiación gracias al web) o siguiendo el principio del DIY.

Las impresoras actualmente en el mercado son:

- La **3D DLP Printer**, la impresora desarrollada será del mismo tipo que esta. Cuesta más o menos 1.600 USD para piezas de 75 x 75 x 120 mm con una resolución de 80µm.
- La **Form 1**, fue creada gracias al Crowdfunding por una pequeña empresa americana, Formlabs Inc., su precio es de 3.400 USD para una pieza de 125 x 125 x 165mm y una resolución de 300µm.
- La **Gama Projet**, es una gama desarrollada por 3D Systems uno de los líderes del mercado. Su gama de impresoras 3D con la tecnología de estereografía se compone de los 10 productos "Projet®".
- La **3DLPrinter** de Robotfactory, su precio es de 6.000 EUR para una pieza de 102 x 78 x 160mm y una resolución de 10µm
- La **B9 Creator**, es en desarrollo gracias al Crowdfunding, su precio estimado es de 2.495 USD para una pieza de 77 x 102 x 203mm y una resolución de 100µm.

1.3. LOS FUENTES DE LUZ

Existen dos tecnologías posibles para la fuente de luz, el proyector y el láser. El proyecto concierne una impresora 3D DLP, por eso se estudia solo los proyectores.

1.3.1. LAS CARACTERÍSTICAS DE UN PROYECTOR

Un proyector de video (o video-proyector) es un sistema que transforma una señal numérica en una imagen. Por eso el sistema utiliza un conjunto de lentes ópticas combinado con una fuente de luz.

Para describir un proyector se necesitan muchos parámetros yendo de la tecnología utilizada al nivel de la fuente de luz hasta el diseño exterior de la caja del proyector. Las características importantes de un proyector son:

- El tipo de luz, o el dominio de emisión del sistema (UV o visible)
- La luminosidad, o la cantidad máxima de lux/m² proyectada
- El contraste, o la definición de los contornos de una imagen
- La resolución, o el número de punto que permiten realizar la imagen
- El formato, o el ratio entre la longitud y la anchura de una imagen
- El ratio de proyección, o el ratio entre el tamaño de la imagen y la distancia de proyección
- El tamaño y peso del proyector, útil para dimensionar el resto de la máquina

En el **anexo 2** se puede encontrar una descripción más completa de las características de un proyector.

1.3.2. LOS TIPOS DE PROYECTORES

a. Los DLP

En esta tecnología desarrollada por Texas Instrumentes, cada pixel corresponde a un micro-espejo controlado por una corriente eléctrica que define para cada espejo si él refleja o no la luz. El color de la imagen es debido a un filtro tricolor en rotación entre los espejos y la lámpara. Pero como en este proyecto, solo hay que diferenciar las partes negras y blancas, esta parte no nos interesa.

Sus ventajas son: el contraste elevado, la ausencia de remanencia en las imágenes y la facilidad de reglajes. Sus inconvenientes son: la pérdida de luminosidad, su precio elevado, el calor y el ruido emitidos por el sistema así como la duración corta de la lámpara.

Ahora, es este tipo de tecnología la que se utiliza en el prototipo de la impresora 3D actualmente desarrollada en la Universidad y en la mayoría de las impresoras 3D fotoquímicas que funcionan con proyectores.

b. Los LCD

Esta tecnología derivada de las pantallas a cristal líquido fue desarrollada en los años 90. La fuente de luz es una lámpara especial a vapor de metal. Esta luz es dividida en tres, cada rayo cruza un filtro de un color fundamental (rojo, azul y verde) y después, la imagen es reconstruida gracias a las imágenes resultantes de los tres filtros y es proyectada sobre la pantalla.

Si actualmente, los estudios disminuyen mucho los inconvenientes de este tipo de sistema, los mayores problemas ocurren al nivel del contraste y de la resolución.

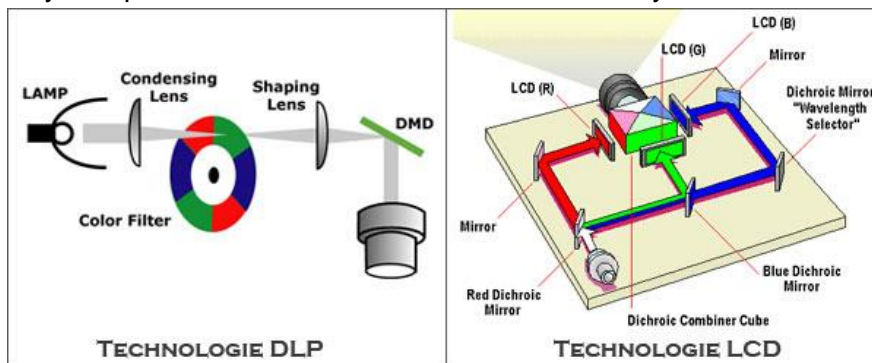


Figura 6 - Esquema explicativo de las tecnologías DLP y LCD

c. Los LED

Los proyectores LED representan una categoría aparte de los proyectores pero cada uno utiliza una tecnología ya presentada (DLP o LCD), lo único que cambia es la fuente de luz. En efecto, el origen la fuente de luz es una matriz de LED. Esta tecnología permite disminuir radicalmente el consumo de energía del proyector y de aumentar su vida. Sin embargo, su luminosidad es muy débil (comparado con los proyectores DLP o LCD).

d. Los CRT

Es la más antiguas de las técnicas de proyección y ya no es muy utilizada. La imagen es reconstituida por la combinación de tres imágenes en color primario. Estas imágenes son obtenidas gracias a tres tubos catódicos de alta resolución. Permiten obtener una buena calidad de imagen con un contraste entre 15.000:1 y 30.000:1 pero con una luminosidad y una resolución muy bajas. Además un proyector de este tipo es muy voluminoso y pesado.

1.3.3. ELECCIÓN DEL PROYECTOR

En esta parte se intenta elegir un proyector del mercado para el proyecto.

a. Proyectores del mercado.

Se selecciona sólo los proyectores que tienen como mínimo las características siguientes:

	Luminosidad	Contraste	Resolución
Valores mínimas	2.000 lúmenes	10.000:1	1024 x 768 pixeles

El proyector actual es el proyector de **ACER X1311 KW**.

La tabla de la búsqueda de los proyectores se encuentra en el **anexo 4**.

b. Análisis de los resultados.

Se puede observar que la mayoría de los proyectores que responden a los mínimos requeridos funcionan con la tecnología DLP así mismo algunos proyectores LCD empiezan a tener un nivel de calidad suficientes. Además, ahora, los mejores contrastes se encuentran con proyectores utilizando la tecnología LCD y no DLP pero se trata de casos particulares.

La gama de precio es muy amplia pero por 400-500 EUR se pueden encontrar proyectores de calidad suficiente para lo que queremos realizar.

Se nota también que el precio depende más de la resolución que de la luminosidad o el contraste. Además, se ve que los proyectores más pesados tienen un contraste elevado.

Se concluye que se puede utilizar el proyector actual. Después, un cambio de proyector implicará de utilizar uno con el mismo ratio de proyección o hacer de nuevo los cálculos de ajuste de la posición para varios elementos (proyector, lentes...).

1.4. LAS RESINAS FOTOSENSIBLES

Las resinas fotosensibles son elementos cruciales de las impresoras 3D fotoquímicas. Esta parte tiene como objetivo presentar las resinas fotosensibles.

1.4.1. DEFINICIÓN Y UTILIZACIÓN

Una resina fotoquímica es un material sensible a una onda electromagnética del espectro óptico (desde los UVC hasta los infrarrojos). La reacción química a la exposición a una fuente de luz es el cambio de estado de agregación o de la solvencia de la resina. Luego, bajo una fuente de luz, una resina fotoquímica puede endurecerse o disolverse en un revelador.

En nuestro caso se utiliza una resina fotopolimerizable. Es una resina constituida de dos elementos: una base de monómero y un fotoiniciador, elemento sensible a una longitud de onda que inicia la transformación. En este caso, la resina de monómero se polimeriza gracias a la luz visible para formar un polímero sólido.

Los fotoiniciadores son repartidos en 2 grupos, los fotoiniciadores sensibles:

- A los UV medio, lejanos y extremos, UVB y UVC , que necesitan una lámpara UV caras para curar
- A los UV cercanos , UVA, y a la luz visible, colores violeta y azul, que pueden curar bajo una lámpara clásica y más barata

Las resinas fotoquímicas se utilizan mucho en los procesos de fotolitografía o de fotograbado para conseguir un revestimiento protector añadido en el área de un sustrato. Estas técnicas son utilizadas también en el terreno de la electrónica para realizar tarjetas de pequeños circuitos impresos o en el terreno de la mecanización química. En efecto eso permite proteger una parte de la superficie con una capa químicamente inerte de polímero antes de atacar el resto de la pieza con el producto químico. Pero en nuestro caso, lo que importa es la capacidad de polimerizar de una resina bajo una fuente de luz.

1.4.2. LAS CARACTERÍSTICAS IMPORTANTES DE LAS RESINAS

Para realizar una pieza con una resina fotosensible respetando las propiedades requeridas, hay que conocer las características de la resina. O sea: su viscosidad inicial, su longitud de onda de iniciación de la reacción, el tiempo de exposición mínima, su dureza final, su resistencia mecánica, su composición química y sus densidades antes y después de la polimerización.

En el **anexo 5** se encuentra una tabla que define las características principales de las resinas y sus impactos finales sobre la pieza final o sobre el proceso de fabricación.

1.4.3. EJEMPLOS DE RESINAS

Existen muchos tipos de resinas, se pueden realizar resinas caseras o se pueden comprar directamente a los fabricantes. En esta sección se presentan algunas resinas del mercado:

- Los productos de la empresa Spot-a materiales (**Spot-HT, Spot-GP, Spot-LV y Spot-E**). La empresa propone resinas para muchos usos con precios desde 68 EUR hasta 78 EUR por Kg de producto.
- La empresa MadeSolid propone una resina fotopolímera, la **MS Resin**, por 73 EUR/kg de materia.
- La resina **UV-CAST™ 9663**, de Dymax es también una resina fotosensible. Esta resina se cura bajo una fuente de luz UV o visible y cuesta 87,5 EUR/L.

1.5. LAS LENTES ÓPTICAS

Una lente es un componente óptico transparente (para un espectro de onda definido). Una lente tiene por objetivo desviar un rayo de su trayectoria natural. En función de la forma de la lente atravesada y de la dirección relativa del rayo con respecto a la lente, un rayo puede divergir, converger o ser devuelto paralelamente al eje óptico de la lente.

1.5.1. PROPIEDADES IMPORTANTES DE LAS LENTES

Para obtener una buena imagen de un objeto o de una fuente se deben respetar algunas leyes ópticas. O sea:

- El estigmatismo
- El aplanetismo
- Las leyes de Gauss

Cada una de estas leyes es definida en el **anexo 6**.

1.5.2. UTILIZACIÓN DE LENTES

Existen muchos usos posibles de lentes, en la mayoría de los casos, las lentes son utilizadas en sistemas ópticos con varias lentes para ver lo que no es visible para los ojos (telescópico, microscópico, etc.), para reorientar rayos y paliar a un defecto (gafas, lentes de contacto, etc.) o para concentrar rayos y aumentar localmente la energía del rayo (calor y luz) como en un horno solar.

En este proyecto, la utilización de lentes tendría dos funciones:

- Enderezar los rayos del proyector de manera que los rayos del proyecto sean paralelos al eje óptico del sistema y que sólo se cure la superficie de la imagen sin generar un pequeño cono de curación. Por eso se utiliza una lente convergente donde la fuente de luz es al nivel del focal de la lente.

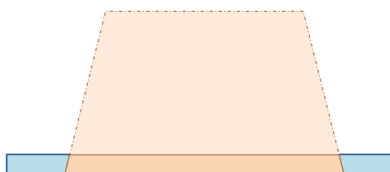


Figura 7 - Realización de una capa sin una lente

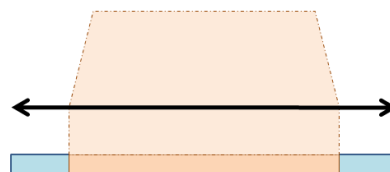


Figura 8 - Realización de una capa con una lente

- Disminuir el espacio útil del sistema con el aumento del ratio de proyección con una lente divergente.

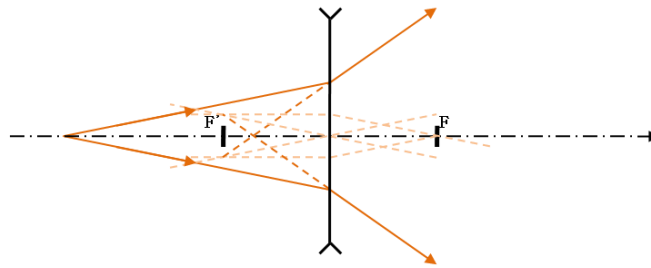


Figura 9 - Esquema de una fuente de luz a través de una lente divergente

1.5.3. LAS LENTES EN EL MERCADO

a. Generalidad

Comprar una lente de pequeño tamaño es muy simple, existe muchas empresas que fabrican y venden este tipo de lentes. Eso empieza a ser más difícil cuando la lente tiene un diámetro cerca de su distancia focal como es el caso con la lente convergente del sistema. Para este tipo de lentes se debe utilizar lentes realizadas, fabricadas por encargo en la mayoría de los casos, mucho más cara que las otras.

b. Las lentes de Fresnel

Las lentes de Fresnel fueron inventadas en 1822 para disminuir las pérdidas de luminosidad en los faros. En efecto a aquella época, hasta 50% de la luz se perdía en el sistema óptico. El objetivo de Fresnel fue realizar una lente de espesor constante y bajo con una distancia focal corta para un diámetro largo. Por eso construía una lente compone de varios anillos de lente con la misma distancia focal pero de diámetro variable. Cada anillo tiene un espesor bajo. De esta manera se obtiene una lente más fina pero con discontinuidad al nivel de la superficie externa.

Este tipo de lente permite obtener una mejor luminosidad pero con una disminución de la calidad de la imagen, dada a las discontinuidades que se notan sobre la imagen con la aparición de círculos.

Ahora esto tipo de lentes se utiliza en muchos dominios así mismo son más eficientes para concentrar la luz que para proyectar una imagen. Se utilizan en los faros, los paneles solares, los proyectores de cine o video proyectores, los detectores de movimientos...

Una lente de Fresnel puede ser divergente o convergente sin distinción.

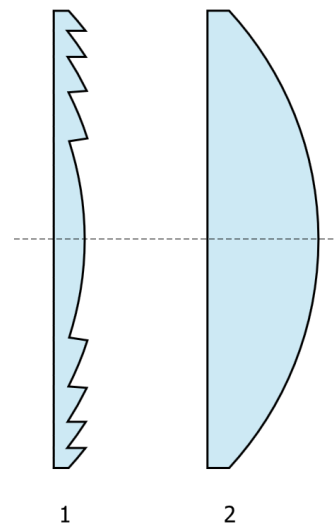


Figura 10 - Comparación de una lente de Fresnel (1) y de una lente clásica (2) de misma distancia focal

1.6. ESTUDIO DEL PROYECTO PRECEDENTE

En un proyecto precedente, se realizaba un prototipo de una impresora 3D DLP. Se encuentran algunos problemas con el modelo actual, por eso en este proyecto se intenta rehacer el diseño de la impresora para paliar a los defectos encontrados. En esta parte se presentan los problemas encontrados con el primer diseño, los elementos que pueden ser reutilizados y los elementos importantes a tener en cuenta...

El diseño de la precedente impresora se desarrolla en el proyecto de fin de máster de Javier Otero Ballesteros, "Diseño y fabricación de una impresora 3D de bajo coste basada en tecnología DLP.", realizado en 2013.

1.6.1. EL PROTOTIPO PRECEDENTE

El prototipo precedente se descompone en 5 partes, un sistema óptico de proyección, un brazo de elevación, la estructura de soporte de la cuba, la estructura global del sistema y un programa de control.

a. El sistema óptico de proyección

El proyector y el sistema óptico es una de las partes más importantes del prototipo. En este prototipo, la imagen es proyectada por abajo. Por consecuencia, la polimerización de la resina ocurre entre la placa soporte de la pieza y el vidrio del fondo de la cuba y el polímero se pega tanto sobre la placa soporte como sobre el vidrio de la cuba. Por lo tanto entre cada capa se debe despagarla con perjuicio de la calidad de la pieza.

A pesar de la posibilidad de un tratamiento de la superficie para prevenir los problemas, todo eso provoca una disminución de la calidad de la pieza (deformación y desgaste sobre la superficie), un aumento del riesgo de mala producción y del tiempo de realización de la pieza (se añade la acción de despague de la pieza al proceso).

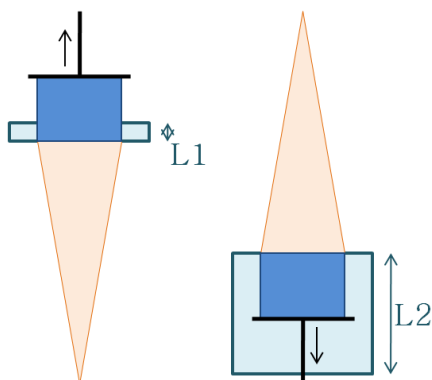


Figura 12 - Comparación de ambas soluciones

Para resolver eso lo más simple es cambiar el sentido de la llegada del haz de luz. En lugar de una proyección desde abajo se proyecta la imagen desde arriba. De esta manera, la resina polimeriza entre la placa soporte y el aire. Así no se necesita despagar la pieza entre cada capa.

La mayor consecuencia de esta solución es un aumento de la altura de la cuba. En efecto, en este caso, la placa soporte se hunde dentro la resina, luego, la cuba debe ser como mínimo tan profunda como la altura de la pieza.

Además, se necesita revisar el sistema de desplazamiento del soporte porque ahora no se puede unir desde arriba.

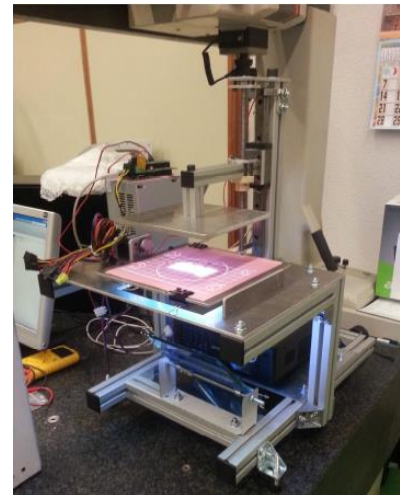


Figura 11 – El modelo actual de impresora 3D DLP

b. El brazo de elevación

El brazo de elevación es la parte móvil de la máquina. Se constituye de dos partes mayores, una corredera y un sistema de desplazamiento.

La corredera consta de un carro y de su guía, este conjunto provee una rigidez suficiente a la impresión.

El sistema de desplazamiento debe ser bastante preciso para permitir un desplazamiento de menos de 1 milímetro (espesor de una capa). Para hacerlo, se usa un sistema de tornillo sin fin con una tuerca anti-juego.

El estudiante precedente había hecho un buen estudio de esta parte con una comparación de diferentes soluciones. Esta parte de la impresora no cambia mucho por eso se puede recuperar y adaptar esta parte a este proyecto.

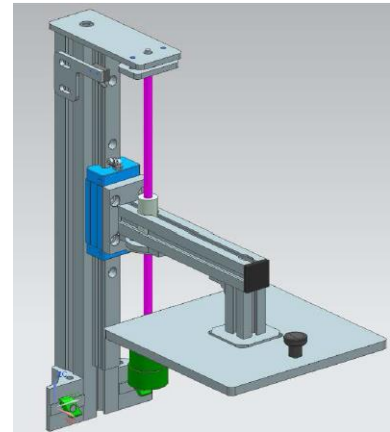


Figura 13 - Brazo de elevación del prototipo actual

c. La cuba y su soporte

Como se decía antes, la modificación de la colocación del proyector implica una modificación completa de la cuba y de su soporte. Por eso no se utilizar el trabajo ya realizado sobre la cuba.

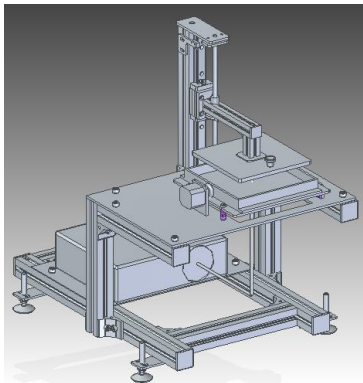


Figura 14 - El prototipo precedente

d. La estructura global del sistema

La estructura global del sistema precedente es constituida de perfiles MK, de placas metálicas y de uniones estándares. Esta estructura descansa sobre unas patas de nivelación para asegurar la posición horizontal de todo el conjunto.

Así mismo el diseño de la estructura global va cambiar totalmente en vista de la colocación de las piezas. Para la nueva estructura, se reutilizan los mismos tipos de elementos.

e. El programa de control

Se conserva el programa porque se guarda el sistema de desplazamiento y solo se necesita cambiar pequeños elementos. En el **anexo 7** se encuentra la descripción de cada fase del programa. En la continuación del proyecto, este programa será un modificado para mejorar la calidad de la pieza después la realización de ensayos.

1.6.2. ELEMENTOS IMPORTANTES DEL DISEÑO

Durante todo el diseño se debe tener en cuenta el impacto de las decisiones sobre los puntos siguientes:

- La resolución y la definición de los detalles de la pieza:
- Las dimensiones de la máquina completa, la máquina debe ser tan compacta como sea posible
- El volumen de la cuba, esto depende mucho de las dimensiones de las piezas
- El espesor de una capa y el tiempo de exposición
- La circulación de la resina dentro de la cuba cuando el soporte baja
- Protección de la resina de la luz para prever polimerización no controlada

2. INFLUENCIA DEL TAMAÑO DE PIEZAS

En esta parte se define la influencia de las dimensiones máximas de la pieza sobre el tamaño de la impresora 3D. Se supone que la pieza máxima tiene una base rectangular donde el lado el más pequeño es de x mm, el otro lado depende del formato (f) y es igual a x/f mm por una altura de y mm.

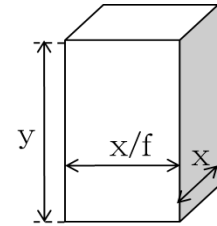


Figura 15 - Tamaño máximo de una pieza

Al principio, se estudia por separado la influencia de la anchura de la imagen sobre el sistema óptico y la influencia de la altura sobre el conjunto de la cuba y del sistema de desplazamiento. Después, se realiza la combinación de ambos elementos.

2.1. INFLUENCIA DEL TAMAÑO DE LA IMAGEN PROYECTADA

Hay cuatro conjuntos posibles del sistema de proyección. Cada uno es compuesto como mínimo de un proyector y de una lente de Fresnel, a eso se puede añadir un espejo o/y una lente divergente. Se realiza el estudio de los casos siguientes:

Caso 1	Sistema sin lente divergente ni espejo
Caso 2	Sistema sin lente divergente pero con un espejo
Caso 3	Sistema con una lente divergente sin espejo
Caso 4	Sistema con una lente divergente y un espejo (imposible)

2.1.1. CASO 1

a. Estudio

Este caso es el más sencillo, se compone solo del proyector y de una lente de Fresnel. Los cálculos y los resultados son presentados en el **anexo 8**.

b. Análisis

En este caso, la altura del sistema óptico depende directamente de la longitud máxima de la pieza según estas ecuaciones:

- Formato 1:1, $Al_{tot} = 2,0496 \cdot x + 167$ mm
- Formato 16:10, $Al_{tot} = 2,7345 \cdot x + 167$ mm
- Formato 4:3, $Al_{tot} = 2,4155 \cdot x + 167$ mm

Las alturas que se pueden obtener son demasiado grandes por eso no se realiza una impresora de este tipo. Pero estos resultados permiten obtener una base de comparación para los estudios siguientes.

2.1.2. CASO 2

a. Estudio

En este caso se añade al proyector y a la lente de Fresnel un espejo. Este espejo simple capa (sin protección de la parte reflejante) permite reorientar el rayo de luz y reducir la altura del sistema óptico. Pero eso implica aumentar su anchura, para elegir

este principio hay que analizar el impacto de eso. Los cálculos y los resultados son presentados en el **anexo 9**.

b. Análisis

Se nota que solo se puede utilizar un espejo para un sistema de proyección de una imagen superior a 60 mm de lado. Además, la reducción mínima con un espejo es de 46%, por eso es muy interesante utilizar un espejo para reducir la altura del sistema. Pero eso aumenta también la longitud del sistema, por eso, para definir si es pertinente utilizar un espejo y su posición se debe definir si el aumento de la longitud del diseño es aceptable o no. El espejo no tiene impacto sobre la anchura del sistema.

2.1.3. CASO 3

a. Estudio

En este caso, se añade una lente divergente al proyector y a la lente de Fresnel. De esta manera, se amplía el ángulo de proyección y se reduce la longitud de rayo de luz. La lente influye sobre la longitud y la anchura del conjunto pero influye sobre el precio. En efecto, la lente es más cara que un espejo simple capa. Los cálculos y los resultados son presentados en el **anexo 10**.

b. Análisis

Se nota que los resultados no siguen una ley bien definida. En efecto, la elección de las distancias focales es más o menos libre mientras que no se puede utilizar lente con distancias focales fuera de las clásicas (-40, -50 o -75 mm).

Además, se puede observar que no es muy útil utilizar una lente para dimensiones de imagen inferior a 30mm y que cuanto más grande sea la imagen, más eficiente es la utilización de la lente –desde 7% para una imagen de 20 mm hasta 40% para una imagen de 200 mm de lado.

Se nota también que la reducción de la altura realizada gracias a una lente es inferior a la que se realiza gracias a un espejo. Pero una lente no tiene un impacto notable sobre las otras dimensiones del sistema. Pues, aunque la altura del sistema óptico es superior con una lente que con un espejo, la máquina puede más compacta.

2.1.4. CASO 4

Visto los estudios precedentes, parece interesante realizar un conjunto con una lente y un espejo. Pero después los cálculos desarrollado en el **anexo 11**, se nota que no es posible para imágenes de dimensiones inferiores a 200 mm y que para esta dimensión sería muy difícil de realizar. Por eso no se estudia este caso.

2.2. INFLUENCIA DE LA ALTURA DE LA PIEZA SOBRE EL SISTEMA DE DESPLAZAMIENTO

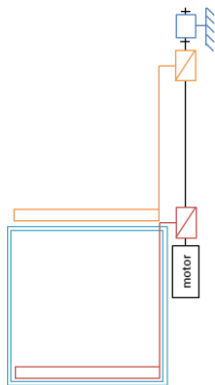


Figura 16 - Sistema de desplazamiento 1

En esta parte se estudia la influencia de la altura de la pieza sobre el sistema de desplazamiento con la cuba. Por eso, se estudian dos sistemas de desplazamiento.

Para ambos, la altura del sistema es directamente relacionada a la altura de la pieza, no se pueden añadir elementos para reducirla.

Con el primer sistema se realiza el desplazamiento por arriba cuando, con el segundo, el desplazamiento se realiza por abajo. El desarrollo de los cálculos se realiza en el **anexo 12**.

Después de los cálculos, se ve que el sistema de desplazamiento es más compacto con el primer sistema de desplazamiento. Por eso, en lo sucesivo, solo se estudia el primer sistema de desplazamiento.

Además, a partir de una pieza de 60mm de altura, la altura del sistema de desplazamiento sigue una ley cerca de una ley lineal de ecuación:

- Para el primer sistema de desplazamiento
 $y = 1,8703x + 95,91 \text{ mm}$
- Para el segundo sistema de desplazamiento
 $y = 1,9778x + 151,96 \text{ mm}$

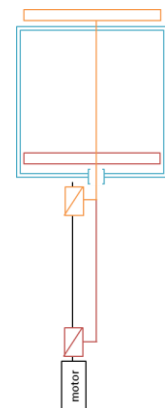


Figura 17 - Sistema de desplazamiento 2

2.3. COMBINACIÓN DE LAS ALTURAS

En esta parte, se combinan los resultados de los estudios precedentes. Se supone para cada estudio una distancia de 30mm entre la lente de Fresnel y la posición máxima de la placa soporte. Esta distancia debe prever los contactos entre la resina y la lente.

Solo hay un sistema de desplazamiento, por consecuencia, solo varia el sistema óptico. Además, no se estudian los casos 1 y 4. Por eso se realiza un estudio según las variaciones del sistema óptico de los casos 2 y 3:

Caso 2	Sistema sin lente divergente con un espejo	Diseño 1
Caso 3	Sistema con una lente divergente sin espejo	Diseño 2

Se presentan en el **anexo 13** los cálculos de las alturas del sistema global en función de las dimensiones de la pieza, del formato y del montaje elegido.

Por fin, se debe elegir entre una máquina más alta y estrecha (con una lente) o una máquina menos alta pero más ancha (con un espejo).

Con todo, se elige un valor mínimo de lado de 150 mm para la pieza. La altura puede cambiar un poco. Para elegir el diseño se realiza dos esquemas de los dos diseños posibles para piezas de lado de 150mm y 120mm para un formato 1:1. Los resultados son presentados en los **anexo 14**.

Junio 2014

En estos esquemas se ve que la utilización de un espejo implica un aumento de anchura demasiado grande para nuestra aplicación. Además la utilización de una lente divergente permite realizar dos gamas de impresora sin modificación del diseño. Así se elige utilizar un diseño con una lente divergente para tener la posibilidad de proponer dos impresoras 3D:

- La primera con la lente divergente para piezas de grande tamaño
- La segunda sin la lente divergente, más barata pero que permite realizar piezas de más pequeñas dimensiones.

Así con dos precios se puede desatender el impacto del precio de las lentes divergentes.

3. LAS PARTES MECÁNICAS

En esta parte se estudian las partes mecánicas utilizadas dentro del conjunto. Se intenta obtener una pieza de 150 mm de lado como mínimo y de 100 mm de altura.

3.1. EL SISTEMA DE DESPLAZAMIENTO

Se reutiliza parcialmente el sistema de desplazamiento ya realizado en el proyecto anterior sobre las impresoras 3D DLP. Por eso no se estudia el sistema de tornillo-tuerca. Pero el sistema de sujeción de la placa cambia por eso se debe estudiar este parte.

Como la sujeción se realiza sobre un lado, el riesgo es que la placa doble bajo el peso de la placa soporte y de la pieza realizada. Los cálculos presentados en el **anexo 15** muestran que para la pieza máxima (150 x 240 x 100) y para un soporte en aluminio, la flexión es inferior a 1µm o sea puede ser despreciada.

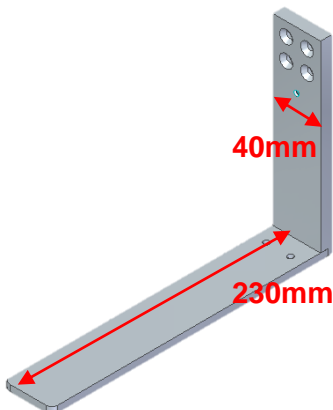


Figura 19 - Piezas a estudiar del sistema de desplazamiento

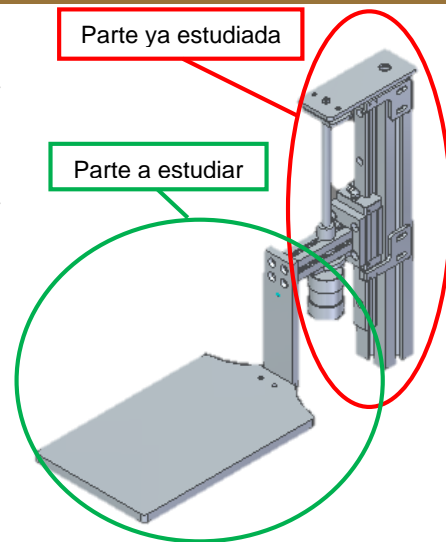


Figura 18 - El sistema de desplazamiento

Pues se elige de realizar una pieza con las dimensiones siguientes: **40 x 230 x 5 mm**.

3.2. LA CUBA

La cuba parece un elemento sencillo pero tiene que respetar muchas normas.

3.2.1. EL MATERIAL Y REALIZACIÓN

El material de la cuba tiene que proteger la resina de los rayos de luz exteriores. Por eso, se realiza en PVC tintado que es un material opaco a la luz visible y a los UV. El presupuesto de la cuba se encuentra en el **anexo 22**.

3.2.2. DIMENSIONES

En el **anexo 16** se encuentra los cálculos realizado para definir las dimensiones de la cuba. Al final se obtiene los resultados siguientes:

- Longitud: 300 mm
- Anchura: 170 mm
- Altura: 130 mm

3.2.3. AUMENTO DE VOLUMEN

Cuando la placa soporte de la pieza baja, se nota que el volumen dentro de la cuba aumenta. En efecto se considera que la densidad de la resina líquida o polimerizada es constante y no tiene impacto sobre el volumen. Mientras que, se añade el volumen de la parte del soporte la que entra dentro de la resina. O sea por una capa se añade 40 mm^3 o sea un aumento de $0,78 \mu\text{m}$ lo que es muy poco para una capa pero que implica un aumento de $0,82 \text{ mm}$ al final o sea 8 veces la altura de una capa ($e_{\text{capa}} = 0,1 \text{ mm}$).

Para resolver el problema del aumento del volumen se puede modificar la cuba para obtener un nivel límite de la altura de resina, añadir una bomba para rellenar de resina lo que falta después el movimiento de bajar y subir y un sensor de control del nivel. Aunque, esta solución sería muy cara.

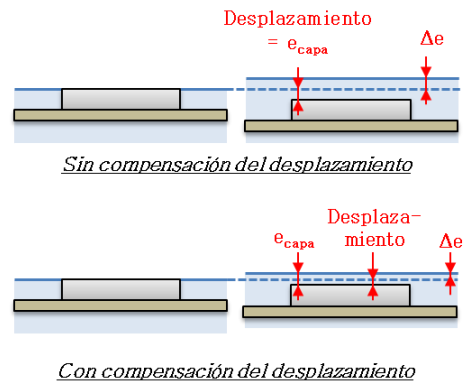


Figura 20 - Defecto de espesor

Por eso se decide resolver este problema con una modificación del programa de control del movimiento. El principio de este cambio es compensar el aumento de la altura de la resina con una modificación del movimiento. Pero eso implicaría disminuir el desplazamiento "grosso modo" de $0,8 \mu\text{m}$ que es demasiado débil para el sistema de desplazamiento. Por eso se elige guardar el desplazamiento inicial pero corregir cada N capa ($\approx 10-20$ capas) el desplazamiento. Eso debe ser analizado con los ensayos para definir el impacto sobre la calidad de pieza.

En el **anexo 17** se encuentra los cálculos teóricos de este defecto.

3.3. EL SISTEMA ÓPTICO

Este diseño se basa sobre el diseño de una impresora con una lente divergente y sin espejo. Pero en vista al precio de una lente divergente con las características requeridas (entre 150 y 200 EUR), se considera la posibilidad de suprimir esta lente y por consecuencia de reducir el tamaño de la imagen proyectada. Pues, en este diseño, se quiere realizar una impresora con dos clases de precio sin cambiar el diseño exterior (dimensiones) de la impresora.

Por eso, en el **anexo 18** se encuentra la búsqueda de combinación las lentes de Fresnel y las lentes divergentes para obtener el diseño requerido.

Por fin se elige la combinación siguiente:

- De Edmund Optical con una distancia focal de $8,2''$ y $11'' \times 11''$ de lado
- De Ross Optical de referencia PN 170420
- De Lentes-de-Fresnel con una distancia focal de 220 mm y $280 \times 280 \text{ mm}$ de lado
- Por un formato de 4:3

3.4. EL COSTE

En esta parte, se presenta un estudio del coste de una impresora para un lote unitario y para un lote de 100 impresoras. Este estudio se realiza a partir de los presupuestos recibidos. Si no se encuentra el precio para 100 elementos se cuenta un descuento de 15% del precio de un elemento. Los precios de algunas partes no corresponden a una empresa, son estimaciones de mí parte.

	Precio para 1 impresora unitaria		Precio para 1 impresora de un lote de 100	
Proyector	Acer	400 €	Acer	340 €
Lente divergente	Ross Optical	121 €	VY Optics Photoelectric Technology	30 €
Lente de Fresnel 1	Edmund Optical	105 €	Edmund Optical	90 €
Lente de Fresnel 2	Lentille de Fresnel	23 €	Lentille de Fresnel	20 €
Cuba	Plástico Ferplast	131 €	Plástico Ferplast	110 €
Soporte lente divergente	Estimación	50 €	Estimación	40 €
Sistema de guía de la lente de Fresnel	Estimación	100 €	Estimación	85 €
Estructura general	Estimación	100 €	Estimación	85 €
Total gama 1		1007 €		780 €
Total gama 2		754 €		640 €

En los **anexos 19, 20, 21 y 22** se encuentran los presupuestos obtenidos de los varios elementos.

4. DISEÑO DEL CONJUNTO

En esta parte, se presenta las elecciones realizadas para el diseño del conjunto de la impresora 3D. Esta presentación se realiza parte por parte desde el sistema de proyección hasta la estructura general. El diseño se realiza utilizando el software de diseño SolidEdge

4.1. SISTEMA DE DESPLAZAMIENTO

Una parte de este sistema ya fue realizado en un proyecto anterior. Por eso se reutiliza, por una parte, este sistema. En efecto las características no han cambiado sobre esta parte de la impresora. Solo se adapta las dimensiones de los perfiles utilizados en relación con las otras partes.

Por otra parte, se realiza completamente el soporte de las piezas. Se compone de tres elementos: la placa soporte de la pieza y los dos soportes de unión de esta placa con el sistema de desplazamiento. La placa soporte debe tener la posibilidad de ser salida para recuperar la pieza sin desmontar el resto. Las características del diseño son las de las **figuras 22 y 23**.

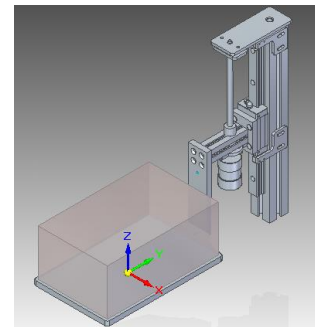


Figura 21 - Sistema de desplazamiento

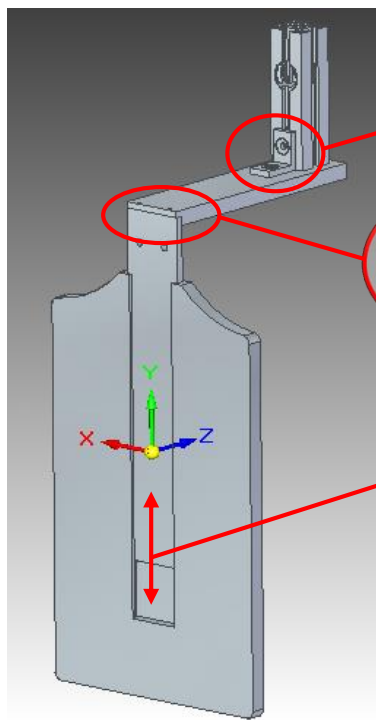


Figura 23 - Soporte de la pieza

Utilización de una escuadra para asegurar la perpendicularidad

Realización de la perpendicularidad por un doble contacto entre ambas piezas

Realización de una corredera para sacar fácilmente la placa soporte de la pieza

Fijación al perfil por 4 tornillos

Fijación rápida gracias a dos pasadores de liberación rápida

Espacio para facilitar la circulación de la resina dentro de la cuba

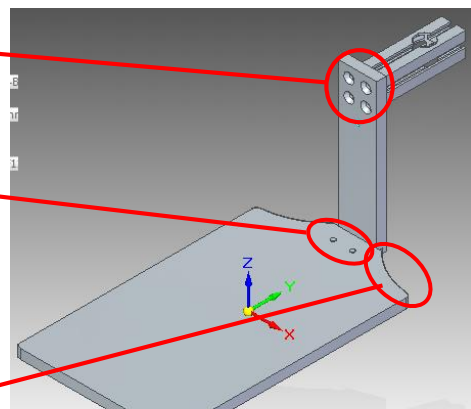


Figura 22 - Soporte de la pieza

El problema con este modelo es que el sistema de fijación para sacar de la placa soporte de la pieza de la cuba está dentro de la cuba y, por consecuencia, está recubierto de resina. Por eso se puede diseñar un sistema que permita extraer el conjunto completo como se ve en la propuesta de la **figura 24**.

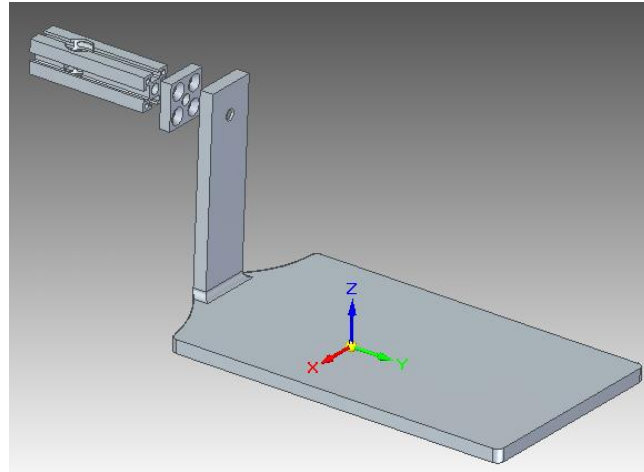


Figura 24 - Evolución posible del soporte de la pieza

Aquí el soporte se realiza de una pieza y se fija sobre el perfil gracias a una placa intermedia y un tornillo $\frac{1}{4}$ de vuelta. La perpendicularidad sería asegurada gracias la imbricación del soporte sobre la placa intermedia. Con todo, el problema sería el comportamiento y el riesgo de caída al momento de sacar la pieza. En efecto, cuando el tornillo $\frac{1}{4}$ de vuelta esta sacado, todo se apoya sobre la placa intermedia que tiene una profundidad muy débil (6 mm) en comparación con el tamaño del soporte (300 mm).

4.2. LA CUBA

Se da la posibilidad de sacar la cuba de la impresora de manera sencilla. Además, se debe obtener una colocación de la cuba bastante buena utilizando registros a cada lado.

Para colocar la cuba se escoge utilizar siete bulones de registro que pueden ser retirados para sacar la cuba. Eso permite una colocación de buena calidad y repetible pero con posibilidades de sacarla muy rápidamente.

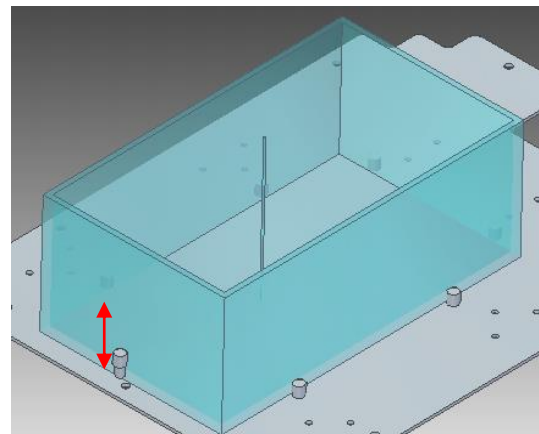


Figura 25 - Colocación de la cuba

En este proyecto se utiliza una cuba sin modificación porque solo es un prototipo pero si se realiza una producción en serie se puede diseñar una modificación de la cuba para facilitar su manipulación y montaje. Como se ve en la **figura 26**.

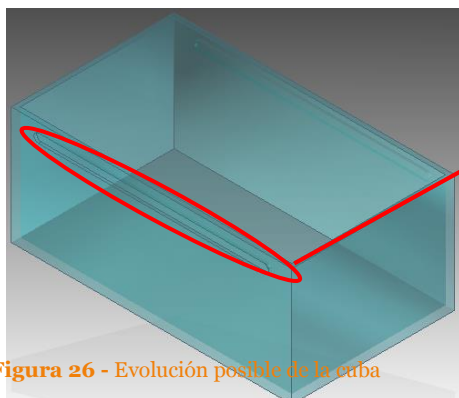


Figura 26 - Evolución posible de la cuba

Agujeros oblongos para un mejor asidero

4.3. EL SISTEMA DE PROYECCIÓN

El sistema de proyección se compone de un proyector comercial, del conjunto de la lente divergente y de la placa soporte de ambas partes.

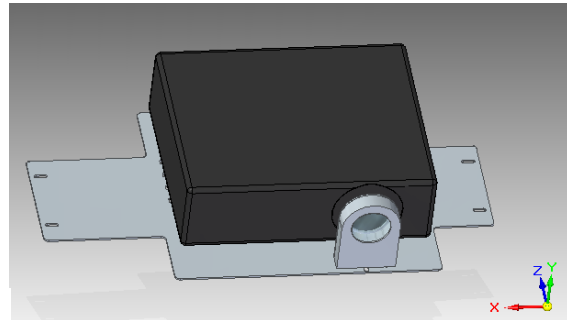


Figura 27 - El sistema de proyección

4.3.1. LALENTE DIVERGENTE

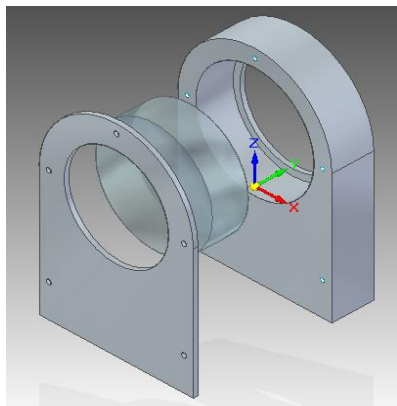
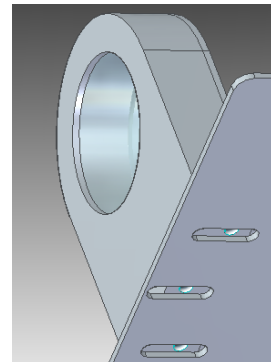


Figura 28 - Conjunto de la lente divergente. Eso es válido si la resina tiene un módulo de Young $E > 21 \text{ MPa}$ (ahora el polietileno tiene un $E \approx 200 \text{ MPa}$).

La lente divergente es un producto comercial, sus dimensiones vienen dadas por el fabricante. Su soporte debe ser adaptado a esta lente y debe permitir colocarla con precisión. Se compone de dos partes, un soporte y su tapa. Los esfuerzos sobre esta parte son muy bajos (el peso de la lente es mucho inferior a 75 g). Además, las dimensiones tienen que ser muy precisas para no influir en la calidad de los productos fabricados por la impresora. Por eso puede ser realizada por mecanización o gracias a una impresora 3D de buena calidad.

No se permite juego de colocación lateral porque su posición no debe cambiar y se puede mover en estas direcciones el proyector y la placa soporte. Pero se puede desplazar la lente en altura para una colocación sencilla.

Figura 29 - Colocación en longitud



4.3.2. LA PLACA SOPORTE

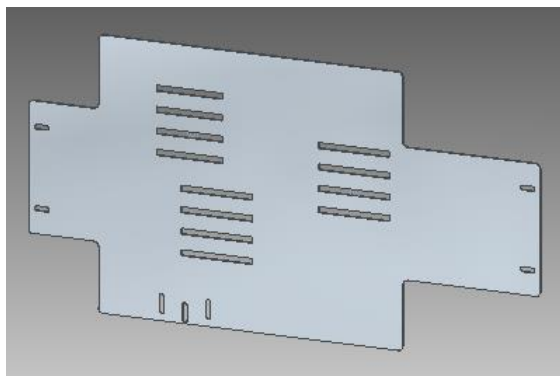


Figura 30 - Placa soporte del proyector

La placa soporte esta obtenida por corte desde una placa metálica de 2mm de espesor. Se utilizan agujeros oblongos para ajustar la colocación de los varios elementos y prever el calentamiento del proyector gracias a la circulación del aire. Los dos lados fijados a la estructura son un poco más finos para permitir un juego sobre la colocación en altura del conjunto.

4.4. LALENTE DE FRESNEL

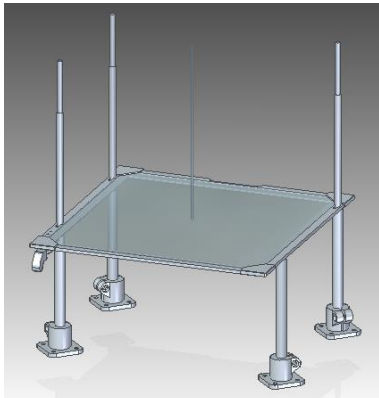


Figura 31 - Conjunto de la lente de Fresnel

El conjunto de la Lente de Fresnel es compuesto de muchos elementos. El primero es el soporte de la lente. Está compuesto de la lente de Fresnel, de una placa mecanizada para acogerla y de cuatro elementos de fijación. La placa puede ser realizada como una pieza única o como el conjunto de cuatro piezas más pequeñas. La segunda solución permite perder menos material durante la mecanización pero implica una mecanización de mayor calidad para unir los cuatro elementos y acoger la lente.

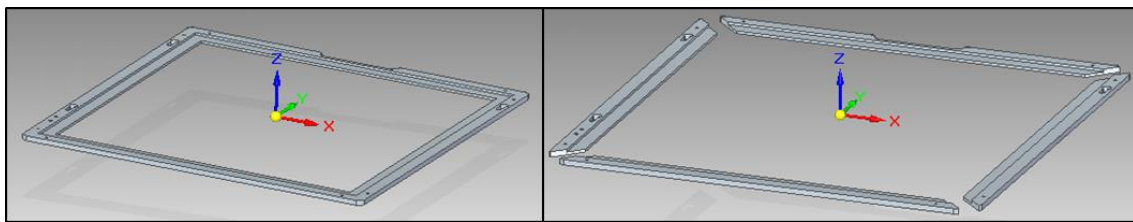


Figura 32 - Dos posibilidades para el soporte

Además, la lente de Fresnel debe tener la posibilidad de ser desplazada para permitir sacar la pieza. Para esto hay dos soluciones. Sacarla o subirla y mantenerla a una altura superior.

Sacar la pieza permite obtener una estructura más simple pero cuanto más se manipule la lente de Fresnel, mayores son los riesgos de romperla o estropearla. Además, como para el diseño exterior se quiere abrir la impresora sobre dos lados esta estructura molesta durante la manipulación. Por eso no se elige esta solución (**figura 33**).

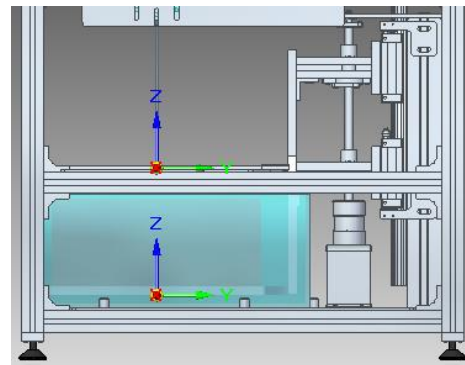


Figura 33 - Lente de Fresnel, primera solución

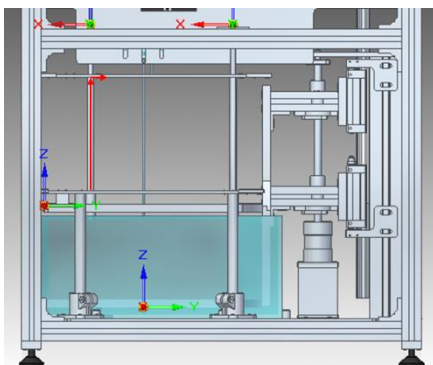


Figura 34 - Lente de Fresnel, segunda solución

La segunda solución (**figura 34**), la elegida, molesta menos durante la manipulación porque se compone de cuatro soportes cilíndricos con una variación del diámetro de manera que se puede subir y empujar el soporte. Así, todo el tiempo, la lente se apoya sobre, como mínimo, tres puntos. Además como no se saca la lente, hay menos riesgo de estropearla durante su manipulación. Sin embargo es una solución más cara que necesita mayor calidad de fabricación porque se requiere una corredera con tres guías. Estas guías deben tener

una tolerancia muy baja de paralelismo. Además los soportes inferiores pueden ser mecanizados o comprados pero si se compran no se pueden fijar perfectamente (se puede instalar solo 3 sobre 4 tornillos, ver la **figura 35**).

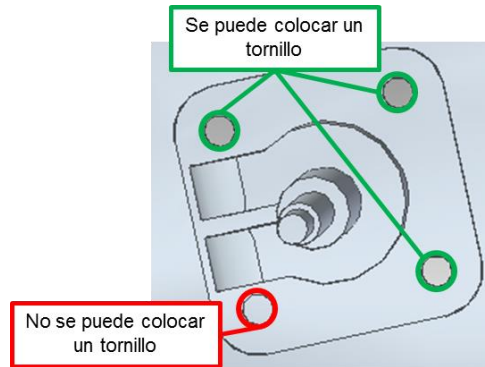


Figura 35 - Colocación de tornillos

4.5. LA ESTRUCTURA

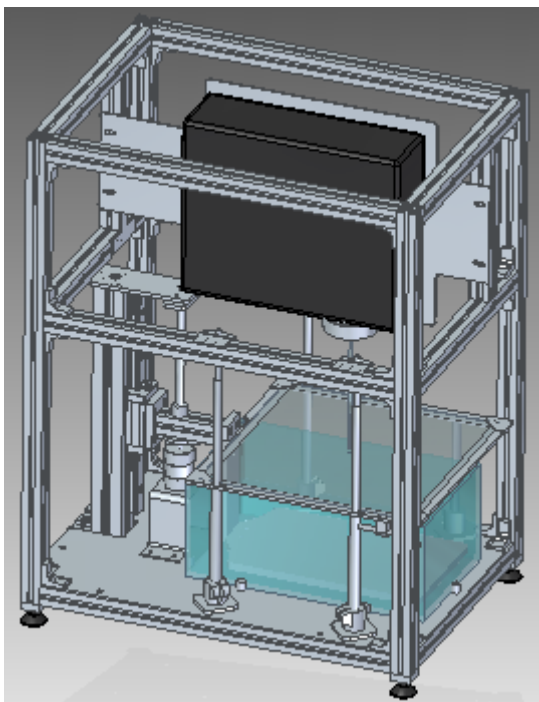


Figura 36 - Conjunto global de la impresora 3D

La estructura es muy sencilla, es un paralelepípedo compuesto de perfiles de 25 mm de lado. Estos perfiles están unidos por escuadras adaptadas a estos perfiles.

Todo repuesto sobre cuatro pies regulables que aseguran la horizontalidad de la máquina. Cada pie es unido a un perfil gracias a una placa de 10 mm de espesor que permite atornillar los pies.

En el **anexo 23** se encuentra dos tablas recapitulativas de las piezas del conjunto, en el **anexo 24** se encuentra los planos de las piezas a realizar y en el **anexo 25** se encuentra una vista del conjunto de la impresora en la posición alta y baja.

5. ENSAYOS DEL SISTEMA DE PROYECCIÓN

Para verificar las dimensiones del diseño y para definir la utilidad de los varios elementos se realizan los ensayos siguientes con el sistema de proyección:

Nº del ensayo	Tipo	Objetivo
1	Sin lente	Obtener piezas y valores de referencia para los ensayos siguientes
2	Con la lente divergente	Estudiar la reducción de altura implicada por la presencia de la lente divergente
3	Con la lente divergente y la lente de Fresnel	Estudiar influencia de la lente de Fresnel sobre la calidad de la pieza
4	Con una lente de Fresnel	Estudio del impacto de la lente de Fresnel sobre un sistema sin lente divergente.

5.1. LOS ENSAYOS

La estructura utilizada para los ensayos es la presentada en la **figura 36**. Se puede desplazar el proyector en la altura, la lente de Fresnel y la cuba en el plano.

Se utiliza la resina Spot-LV de la empresa Spot-A porque es la resina que polimeriza la más rápidamente y que tiene una viscosidad muy baja. Como solo se realiza un estudio de la geometría de la pieza eso es suficiente.

Los ensayos son presentados en los **anexos 26 y 27**.

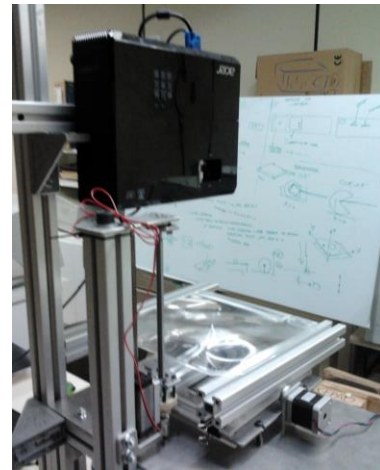


Figura 37 - Estructura de los ensayos

5.2. RESULTADOS

Con los ensayos se puede definir que:

- La utilización de una lente divergente no es pertinente aquí porque, mientras que ella aumenta el tamaño de la imagen proyectada, su utilización implica una degradación demasiado grande de la calidad de la imagen. Aunque no se sabe la causalidad exacta (defecto de la lente o problema de su geometría), realizar la prueba del origen del problema sería caro sin asegurar su resolución. Por eso, se elige realizar una impresora sin reducción de altura o con la utilización de un espejo.
- La utilización de una lente de Fresnel con una distancia focal adaptada al diseño permite reducir el ángulo de proyección hasta obtener un ángulo de 0 grados. Eso permite reducir la cantidad de resina utilizada para fabricar una pieza. Si la lente no tiene una tal lente, cualquiera la altura de la pieza, hay que llenar la cuba hasta una altura predeterminada por la cual se realiza el ajustamiento del tamaño para la pieza la más alta. Pero la lente de Fresnel reduce significativamente el ángulo de proyección y por consecuencia aumenta la calidad de la pieza.

CONCLUSIÓN Y TRABAJO FUTURO

Las impresoras 3D son productos de actualidad, cada mes se presentan novedades tecnológicas. Cuando los australianos trabajan para imprimir un riñón humano, los ingleses ya fabrican frutas por impresión 3D. Hay cada vez más utilizaciones de este tipo de máquinas. Por consecuencia, las ventas de impresoras han crecido mucho durante los últimos años. Con este aumento del mercado, las impresoras 3D han seguido un desarrollo muy rápido. Ahora, las impresoras 3D que funcionan por extrusión son las más vendidas y desarrolladas. Pero, con esta tecnología, ahora solo se pueden mejorar las características de las impresoras (la velocidad de impresión, la resolución de la pieza...) y no realizar progresos muy importantes. Hoy en día, para realizar un nuevo avance, hay que trabajar sobre procesos menos estudiados como el granulado, el hilado o la impresión fotoquímica. Así se puede trabajar con otros materiales, reducir significativamente el tamaño de la impresora o el tiempo de fabricación de una pieza.

Este proyecto ha tratado de un tipo de impresión fotoquímica. Aquí la mayor diferencia con el proceso extrusión es que en lugar de depositar un hilo de materia se polimeriza una resina gracias a una fuente de luz. Este principio permite desarrollar nuevos sistemas de fabricación y cambiar la calidad de la pieza fabricada así como el tiempo de fabricación. En este proyecto no se ha realizado una comparación de calidad con otras impresoras de extrusión porque no es pertinente realizar esta comparación sin tener una idea más precisa del precio de la nueva impresora. Pero, como una capa se realiza por la proyección de una imagen en menos de 10 segundos (con el desplazamiento), se puede afirmar que la fabricación de una pieza es más rápida. Eso es particularmente notable para una pieza más ancha que alta porque uno de los problemas de este tipo de máquina es el comportamiento de la resina durante el desplazamiento del soporte.

Durante este proyecto se ha diseñado una impresora 3D con la posibilidad proponer dos gamas sin cambiar el diseño. Se han definido los elementos a tener en cuenta durante el diseño. Se han realizado los cálculos que permiten obtener una impresora de este tipo. Durante cada parte, se han utilizado elementos comerciales para reducir el coste final del producto. Se ha realizado también el modelo CAD completo de la impresora 3D. Los primeros ensayos del sistema óptico probaron que añadir una lente divergente provocó una disminución de la calidad inaceptable. Por eso, no se ha seguido el desarrollo de esta impresora con dos gamas de precio. Pero los ensayos probaron también que la lente de Fresnel mejora la calidad de la impresión por la reducción del ángulo de proyección. Además, una lente de Fresnel con una distancia focal adaptada al diseño requerido permite reducir la cantidad de resina utilizada para imprimir una pieza.

Con eso se ha acabado este proyecto fin de carrera, no se continúa este proyecto porque el tiempo debido a este proyecto no permite rehacer el diseño completo o de fabricar las piezas del prototipo completo. Para continuar este proyecto, ahora se puede,

Junio 2014

por un lado, continuar el prototipo con solo la lente de Fresnel o, por otro lado, cambiar el diseño para añadir un espejo de modo que se reduce la altura. En ambos caso los cálculos ya son realizados en la segunda parte del proyecto y el diseño del modelo numérico es más o menos ya realizado. En efecto se puede reutilizar mucho de lo que hay está hecho. Después, habría que definir el nuevo diseño y realizar el prototipo completo con su caja y su diseño exterior. Finalmente, habría que modificar el programa de control para adaptarlo al nuevo sistema de desplazamiento. O sea, cambiar el movimiento de desplazamiento, añadir un movimiento de bajada-subida para la circulación de la resina... También, se mejoraría el programa con ensayos de la resina para optimizar el desplazamiento, para reducir al máximo la amplitud del movimiento y los tiempos de espera. Hay que realizar eso después la realización del prototipo para poder comprobarlo y hacerlo bien desde el principio. Por fin se debe realizar el estudio de industrialización y de comercialización.

TABLA DE ILUSTRACIÓN

Figura 1 - Pieza realizada por impresión 3D - www.standon.be	7
Figura 2 - Pieza en curso de realización por una impresora 3D - www.3dnatives.com	8
Figura 3 - Pieza realizada por estereolitografía	12
Figura 4 - Pieza realizada por MDF	12
Figura 5 - Esquema de la fabricación por SLA	12
Figura 6 - Esquema explicativo de las tecnologías DLP y LCD	15
Figura 7 - Realización de una capa sin una lente	17
Figura 8 - Realización de una capa con una lente	17
Figura 9 - Esquema de una fuente de luz a través de una lente divergente	18
Figura 10 - Comparación de una lente de Fresnel (1) y de una lente clásica (2) de misma distancia focal	18
Figura 11 - El modelo actual de impresora 3D DLP	19
Figura 12 - Comparación de ambas soluciones	19
Figura 13 - Brazo de elevación del prototipo actual	20
Figura 14 - El prototipo precedente	20
Figura 15 - Tamaño máximo de una pieza	21
Figura 16 - Sistema de desplazamiento 1	23
Figura 17 - Sistema de desplazamiento 2	23
Figura 18 - El sistema de desplazamiento	25
Figura 19 - Piezas a estudiar del sistema de desplazamiento	25
Figura 20 - Defecto de espesor	26
Figura 21 - Sistema de desplazamiento	28
Figura 22 - Soporte de la pieza	28
Figura 23 - Soporte de la pieza	28
Figura 24 - Evolución posible del soporte de la pieza	29
Figura 25 - Colocación de la cuba	29
Figura 26 - Evolución posible de la cuba	29
Figura 27 - El sistema de proyección	30
Figura 28 - Conjunto de la lente divergente	30
Figura 29 - Colocación en longitud	30
Figura 30 - Placa soporte del proyector	30
Figura 31 - Conjunto de la lente de Fresnel	31
Figura 32 - Dos posibilidades para el soporte	31
Figura 33 - Lente de Fresnel, primera solución	31
Figura 34 - Lente de Fresnel, segunda solución	31
Figura 35 - Colocación de tornillos	32
Figura 36 - Conjunto global de la impresora 3D	32
Figura 37 - Estructura de los ensayos	33

BIBLIOGRAFÍA

FUENTES VIRTUALES

General

<http://www.techniques-ingenieur.fr/>
<http://fr.wikipedia.org/>
<http://es.wikipedia.org/>
<http://en.wikipedia.org/>
<http://www.monunivers3d.com/guide/histoire/>

Impresoras 3D

<http://www.be-3d.fr>
<http://impresora3dprinter.com>
<http://formlabs.com/>
<http://www.robotfactory.it>
<http://www.3dnatives.com>

Proyectoros

Sitios web de las marcas presentadas

<http://www.ldlc.com>
<http://www.lesnumeriques.com>

Resinas

Sitios web de los fabricantes de las resinas presentadas

<http://www.dymax.com/>
<http://www.femto-st.fr>
<http://3dprinter.wikidot.com/photoactive-resins>

Lentes

Sitios web de los fabricantes de las lentes presentadas

<http://www.optics-concept.fr>
<http://www.greenlightsl.com>
<http://www.first-glass-optics.de/>

MEMORIA DE TRABAJO DE FIN DE MÁSTER

Proyecto de fin de máster de Javier Otero Ballesteros, “Diseño y fabricación de una impresora 3D de bajo coste basada en tecnología DLP.”, realizado en 2013.