



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

ÍNDICE

ÍNDICE.....	3
TABLA DE ILUSTRACIÓN	4
ANEXOS DEL PFC.....	5
1. Estado del arte	6
Anexo 1: Proceso de la realización de una pieza por impresión 3D.....	6
Anexo 2: Las características importantes de un proyector	7
Anexo 3: Calculo del detalle mínimo en función de la resolución y de la dimensión de la imagen.....	11
Anexo 4: Tabla de comparación de los proyectores	12
Anexo 5: Las características de las resinas fotosensibles.....	13
Anexo 6: Propiedades de las lentes	14
Anexo 7: El programa de control.	15
2. Influencia del tamaño de piezas	17
Anexo 8: Influencia de la anchura de la pieza, caso 1.....	17
Anexo 9: Influencia de la anchura de la pieza, caso 2	23
Anexo 10: Influencia de la anchura de la pieza, caso 3	27
Anexo 11: Influencia de la anchura de la pieza, caso 4	34
Anexo 12: Influencia de la altura de la pieza sobre el sistema de desplazamiento	35
Anexo 13: Combinación de las alturas	39
Anexo 14: esquemas de las dos posibilidades.	49
3. Las partes mecánicas	53
Anexo 15: Estudio de la flexión del soporte de pieza.	53
Anexo 16: Cálculos de las dimensiones de la cuba	55
Anexo 17: Impacto del aumento de volumen.....	57
Anexo 18: Búsqueda de combinación del sistema óptico.....	59
Anexo 19 : Presupuesto de Knight Optical.....	64
Anexo 20 : Presupuesto de Ross Optical	66
Anexo 21 : Presupuesto de VY Optics Photoelectric Technology Co.,Ltd.	67
Anexo 22 : Presupuesto de Plásticos Ferplast por la cuba	68
4. Diseño del conjunto.....	69
Anexo 23 :Tabla recapitulativa de las piezas del conjunto.	69
Anexo 24: Plano des piezas.....	71
Anexo 25: Imágenes de la solución elegida	82
5. Ensayos del sistema de proyección.....	83
Anexo 26: Los ensayos	83
Anexo 27: Pruebas obtenidas con los ensayos	88

TABLA DE ILUSTRACIÓN

Figura 38 - Evolución de la luminosidad	8
Figura 39 - Evolución del contraste de una imagen	8
Figura 40 - Evolución de la resolución de una imagen	9
Figura 41 - Los formatos de imagen	9
Figura 42 - Esquema del ratio de proyección	10
Figura 43 - El proyector Acer X1311KW	17
Figura 44 - Esquema del conjunto en el caso 1	17
Figura 45 - Esquema del conjunto en el caso 2	23
Figura 46 - Esquema del conjunto del caso 3	27
Figura 47 - Esquema del conjunto del caso 4	34
Figura 48 - Esquema del sistema de desplazamiento 1	35
Figura 49 - Esquema del sistema de desplazamiento 2	36
Figura 50 - Esquema del montaje numero 1	39
Figura 51 - Esquema del montaje numero 2	44
Figura 52 - Cálculo de las dimensiones de la cuba	55
Figura 53 - Defecto de espesor	57
Figura 54 - Impresora 3D posición alta	82
Figura 55 - Impresora 3D posición baja	82
Figura 56 - Esquema del ensayo 1	83
Figura 57 - Esquema del ensayo 2	84
Figura 58 - Esquema del ensayo 4	85

ANEXOS DEL PFC

En esta parte se encuentra el conjunto de los anexos citados en la memoria del PFC.

1. ESTADO DEL ARTE

ANEXO 1: PROCESO DE LA REALIZACIÓN DE UNA PIEZA POR IMPRESIÓN 3D



ANEXO 2: LAS CARACTERÍSTICAS IMPORTANTES DE UN PROYECTOR

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 su caja. En esta sección se presenta las principales características de los proyectores.

a. El tipo de luz

Primeramente, el tipo de luz define en que dominio la fuente de luz emite, en los UV o en el visible. Pues, el tipo de luz define también la tecnología de la fuente de luz utilizada. Eso permite tener una primera idea del resto de las características del aparato. En efecto, algunas de las tecnologías utilizadas permiten obtener características muy buenas en algunos dominios y muy malas dentro otros.

El tipo de luz depende de la lámpara utilizada y no de la tecnología del proyector. Si la totalidad de los proyectores emitían en el espectro visible, se podría cambiarlos para emitir en los UV. En el proyecto no importa la color emitida solo importa diferenciar la pieza a realizar, donde la luz emite, y la parte “negra” de la imagen, donde la resina no debe polimerizar. Por eso, se puede sustituir la fuente de luz por una fuente que emitiría en los UV.

Sin embargo, las cajas de los proyectores son, por la mayoría, en plástico. Ahora bien, el plástico no soporta quedar bajo una fuente de luz UV. Los UV provocan un envejecimiento prematuro del plástico. Si este efecto es un poco reducido con tratamientos especiales del plástico para los UVA, los UVB y UVC son muy malos para el plástico. Por consecuencia, si se quiere realizar un proyector que emite en los UV, se debe prever un cambio frecuente del sistema o cambiar el material de la caja del proyector. Pues, para evitar eso, se busca una resina fotosensible que polimeriza bajo una fuente de luz emitiendo en el espectro visible de la luz.

b. La luminosidad

Expresada en lumen –lux/m²– la luminosidad define el número de partículas por unidad de superficie y por unidad de tiempo de un haz. Para un proyector, su luminosidad define la luminosidad de la luz proyectada sobre la pantalla para una imagen 100% blanca.

Cuanto más grande es la luminosidad del proyector, más visible es la imagen dentro una sala clara. Así mismo, si la luminosidad del proyector no es suficiente, hay que disminuir la luminosidad de la sala para obtener una imagen de buena calidad. En este proyecto, la luminosidad del proyector es importante no para tener una buena imagen, pero para el tiempo de exposición. Cuanto mejor es la luminosidad, menos tiempo se necesita para iniciar la polimerización de la resina y por consecuencia más rápida es la realización de la pieza.

**Figura 1 - Evolución de la luminosidad**

El proyector actual tiene una luminosidad de 2.500 lúmenes por eso en la búsqueda de proyector no se seleccionará proyectores con una luminosidad inferior a 2.000 lúmenes.

c. Contraste

El contraste se define como la diferencia relativa en la intensidad entre un punto de una imagen y sus alrededores. Eso permite diferenciar un objeto del fondo. Si una imagen de un objeto tiene un contraste nulo no se puede diferenciar el objeto del fondo. Cuanto mejor es el contraste, más se destaca un objeto del fondo.

**Figura 2 - Evolución del contraste de una imagen**

En el proyecto, cuanto mejor es el contraste, mejor se definen los contornos de la pieza y por consecuencia más finos son los detalles.

El contraste se calcula con el punto el más luminoso de la imagen comparada al punto el menos luminoso y todo está traído a 1. Así mismo, el contraste puede ser de 10.000:1 y no 5.000:0,5.

El proyector actual tiene un contraste de 10.000:1 por eso en la búsqueda de proyector no se seleccionará proyectores con un contraste menor a 10.000:1.

d. La resolución

La resolución de una imagen define el número de puntos diferentes que permiten realizar una imagen. Al principio eso no parece importante pero su influencia aumenta con el tamaño de la pantalla de proyección. En efecto, tener 500 o 1.000 puntos diferentes sobre una longitud de 50 mm no cambia mucho, el ojo no puede hacer la diferencia pero sobre una longitud de 500 mm las diferencias son muchas más notables.

La resolución de una imagen se escribe gracias a un producto de pixeles, “XXXX x YYYY”, donde “XXXX” define el número de pixeles en la longitud e “YYYY” define el número de pixeles en la altura.

En el caso del proyecto, la resolución combinada con el tamaño de la pantalla permite definir la calidad de los detalles de la pieza realizada. La distancia entre dos puntos será el tamaño mínima de un detalle.

$$D_{detalle} = \frac{L_{pantalla}}{N_{puntos}}$$

Con:
 D_{detalle}, la dimensión mínima de un detalle
 L_{pantalla}, la longitud de la pantalla
 N_{puntos}, la resolución de la imagen



Figura 3 - Evolución de la resolución de una imagen

La resolución actual del proyector es de 1.280 x 800, por eso en la búsqueda de proyectores, no se consideraría proyectores de resolución inferiores a 1.024 x 768.

En el **anexo 3** se encuentra una tabla de los cálculos del tamaño del detalle mínimo de la imagen en función de la resolución y del tamaño de la pantalla.

e. El formato

El formato de una imagen define el ratio entre su longitud y su altura. Se escribe de la manera siguiente **X : Y** de la manera la más simplificada con X un divisor de la longitud e Y es un divisor de la altura.

En la mayoría de los caso una imagen es definida por el tamaño de su diagonal, así su formato permite calcular las dimensiones de su longitud y su altura.

$$L_{pantalla} = F \times A_{pantalla}$$

$$L_{pantalla} = \frac{D_{pantalla}}{(1 + F^{-1})}$$

Con:
 L_{pantalla}, la longitud de la pantalla
 A_{pantalla}, la altura de la pantalla
 D_{pantalla}, la dimensión de la diagonal de la pantalla

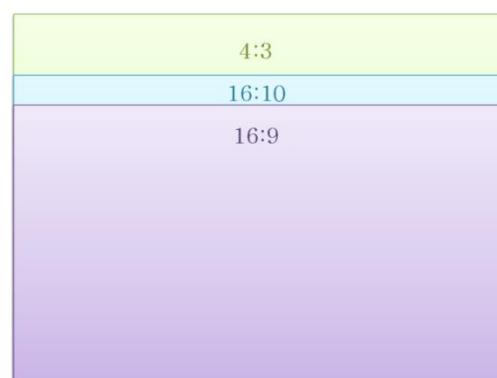


Figura 4 - Los formatos de imagen

F, el formato de la imagen

Los formatos los más clásicos son: 1:1, 16:9, 16:10 y 4:3.

f. El ratio de proyección

Esta característica permite definir la dimensión de la diagonal de la pantalla en función de su distancia al proyector. De esta manera se puede definir la distancia mínima entre el proyector y la cuba necesaria para obtener el tamaño de la pieza requerido. Se calcula con la diagonal de la imagen proyectada.

Esta característica se escribe de la manera siguiente:

Dimensión de la diagonal: Distancia de proyección

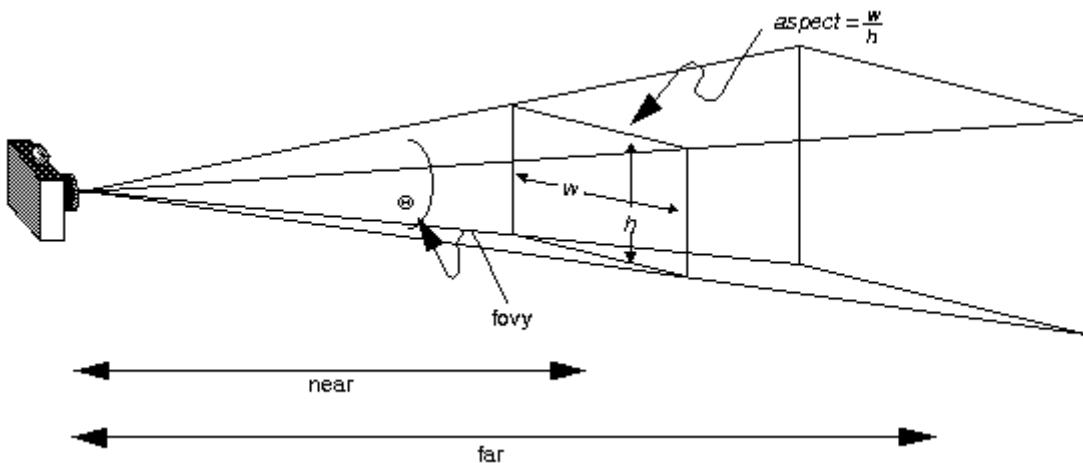


Figura 5 - Esquema del ratio de proyección

g. Tamaño y peso del proyector

Estas características son útiles solo para dimensionar el soporte de la máquina. No se puede utilizar las mismas piezas para soportar un proyector de 2 kg que uno de 8 kg.

**ANEXO 3: CALCULO DEL DETALLE MÍNIMO EN FUNCIÓN DE LA RESOLUCIÓN
Y DE LA DIMENSIÓN DE LA IMAGEN**

Dimensión de la pantalla de proyección (mm)	Distancia entre dos píxeles (mm)					
	Resolución nativa (pixel)					
	1024	728	1280	800	1920	1200
50	4,88E-02	6,87E-02	3,91E-02	6,25E-02	2,60E-02	4,17E-02
54	5,27E-02	7,42E-02	4,22E-02	6,75E-02	2,81E-02	4,50E-02
58	5,66E-02	7,97E-02	4,53E-02	7,25E-02	3,02E-02	4,83E-02
62	6,05E-02	8,52E-02	4,84E-02	7,75E-02	3,23E-02	5,17E-02
66	6,45E-02	9,07E-02	5,16E-02	8,25E-02	3,44E-02	5,50E-02
70	6,84E-02	9,62E-02	5,47E-02	8,75E-02	3,65E-02	5,83E-02
74	7,23E-02	1,02E-01	5,78E-02	9,25E-02	3,85E-02	6,17E-02
78	7,62E-02	1,07E-01	6,09E-02	9,75E-02	4,06E-02	6,50E-02
82	8,01E-02	1,13E-01	6,41E-02	1,03E-01	4,27E-02	6,83E-02
86	8,40E-02	1,18E-01	6,72E-02	1,08E-01	4,48E-02	7,17E-02
90	8,79E-02	1,24E-01	7,03E-02	1,13E-01	4,69E-02	7,50E-02
92	8,98E-02	1,26E-01	7,19E-02	1,15E-01	4,79E-02	7,67E-02
94	9,18E-02	1,29E-01	7,34E-02	1,18E-01	4,90E-02	7,83E-02
96	9,38E-02	1,32E-01	7,50E-02	1,20E-01	5,00E-02	8,00E-02
98	9,57E-02	1,35E-01	7,66E-02	1,23E-01	5,10E-02	8,17E-02
100	9,77E-02	1,37E-01	7,81E-02	1,25E-01	5,21E-02	8,33E-02
102	9,96E-02	1,40E-01	7,97E-02	1,28E-01	5,31E-02	8,50E-02
104	1,02E-01	1,43E-01	8,13E-02	1,30E-01	5,42E-02	8,67E-02
106	1,04E-01	1,46E-01	8,28E-02	1,33E-01	5,52E-02	8,83E-02
108	1,05E-01	1,48E-01	8,44E-02	1,35E-01	5,63E-02	9,00E-02
110	1,07E-01	1,51E-01	8,59E-02	1,38E-01	5,73E-02	9,17E-02
112	1,09E-01	1,54E-01	8,75E-02	1,40E-01	5,83E-02	9,33E-02
114	1,11E-01	1,57E-01	8,91E-02	1,43E-01	5,94E-02	9,50E-02
116	1,13E-01	1,59E-01	9,06E-02	1,45E-01	6,04E-02	9,67E-02
118	1,15E-01	1,62E-01	9,22E-02	1,48E-01	6,15E-02	9,83E-02
120	1,17E-01	1,65E-01	9,38E-02	1,50E-01	6,25E-02	1,00E-01
122	1,19E-01	1,68E-01	9,53E-02	1,53E-01	6,35E-02	1,02E-01
124	1,21E-01	1,70E-01	9,69E-02	1,55E-01	6,46E-02	1,03E-01
126	1,23E-01	1,73E-01	9,84E-02	1,58E-01	6,56E-02	1,05E-01
128	1,25E-01	1,76E-01	1,00E-01	1,60E-01	6,67E-02	1,07E-01
130	1,27E-01	1,79E-01	1,02E-01	1,63E-01	6,77E-02	1,08E-01
132	1,29E-01	1,81E-01	1,03E-01	1,65E-01	6,88E-02	1,10E-01
134	1,31E-01	1,84E-01	1,05E-01	1,68E-01	6,98E-02	1,12E-01
136	1,33E-01	1,87E-01	1,06E-01	1,70E-01	7,08E-02	1,13E-01
138	1,35E-01	1,90E-01	1,08E-01	1,73E-01	7,19E-02	1,15E-01
140	1,37E-01	1,92E-01	1,09E-01	1,75E-01	7,29E-02	1,17E-01
142	1,39E-01	1,95E-01	1,11E-01	1,78E-01	7,40E-02	1,18E-01
144	1,41E-01	1,98E-01	1,13E-01	1,80E-01	7,50E-02	1,20E-01
146	1,43E-01	2,01E-01	1,14E-01	1,83E-01	7,60E-02	1,22E-01
148	1,45E-01	2,03E-01	1,16E-01	1,85E-01	7,71E-02	1,23E-01
150	1,46E-01	2,06E-01	1,17E-01	1,88E-01	7,81E-02	1,25E-01
152	1,48E-01	2,09E-01	1,19E-01	1,90E-01	7,92E-02	1,27E-01
154	1,50E-01	2,12E-01	1,20E-01	1,93E-01	8,02E-02	1,28E-01
156	1,52E-01	2,14E-01	1,22E-01	1,95E-01	8,13E-02	1,30E-01
158	1,54E-01	2,17E-01	1,23E-01	1,98E-01	8,23E-02	1,32E-01
160	1,56E-01	2,20E-01	1,25E-01	2,00E-01	8,33E-02	1,33E-01
164	1,60E-01	2,25E-01	1,28E-01	2,05E-01	8,54E-02	1,37E-01
168	1,64E-01	2,31E-01	1,31E-01	2,10E-01	8,75E-02	1,40E-01
172	1,68E-01	2,36E-01	1,34E-01	2,15E-01	8,96E-02	1,43E-01
176	1,72E-01	2,42E-01	1,38E-01	2,20E-01	9,17E-02	1,47E-01
180	1,76E-01	2,47E-01	1,41E-01	2,25E-01	9,38E-02	1,50E-01
184	1,80E-01	2,53E-01	1,44E-01	2,30E-01	9,58E-02	1,53E-01
188	1,84E-01	2,58E-01	1,47E-01	2,35E-01	9,79E-02	1,57E-01
192	1,88E-01	2,64E-01	1,50E-01	2,40E-01	1,00E-01	1,60E-01
196	1,91E-01	2,69E-01	1,53E-01	2,45E-01	1,02E-01	1,63E-01
200	1,95E-01	2,75E-01	1,56E-01	2,50E-01	1,04E-01	1,67E-01

ANEXO 4: TABLA DE COMPARACIÓN DE LOS PROYECTORES

Marca	Referencia	Precio	Tecnología	Contraste	Luminosidad	Resolución	Focal	Abierto	Ratio de proyección	Nivel sonoro	Dimensión	Peso	Distancia mínima de proyección	Distancia máxima de proyección
		EUR			Lumen	pixel	mm	mm	longitud (m) x altura (m)	dB	longitud x altura x anchura (en cm)	kg	m	m
Acer	X1311 kW	Compró 300€	DLP	10.000:1	2.500	1280x800	f/21 - 23	f/2,56 - f/2,8	0,69 a 1m	30	26,8 x 8 x 19,2	2,6	1	10
	X1263	350 – 400 €	DLP	17.000:1	3.000	1024x768	f21,79 - 23,99	f/2,41 - f/2,55	0,584 a 0,762	30	26,8 x 8 x 19,2	2,2	1	10
	H6510BD	700 – 850 €	DLP	10.000:1	3.000	1920 x 1200	F/16,88 - 21,88	f/2,59 - f/2,87	1,143 a 0,762	32	26,4 x 7,8 x 22	2,2	1,5	
	H7532BD	800-1.000 €	DLP	50.000:1	2.000	1920 x 1200	f22,41 - 26,82	f/2,55 - f/2,87	0,94 a 0,762	30	29,4 x 9,5 x 22,9	3,2	1,5	10
Klarstein	Proyectores LED donde ni la luminosidad ni la resolución y ni el contraste son suficientes													
BenQ	LX61ST	1600-1750 €	DLP	80.000:1	2.500	1280 x 800		f/2,59 - 6,95	0,49:1		39,35 x 14,96 x 29,8	5,1		
	W1070	750 – 800 €	DLP	10.000:1	2.000	1920 x 1080	F/16-88 - 21,88	f/2,59 - 2,87	1,15-1,5:1	33	31,2 x 10,9 x 24,4	2,65		
	MW663	550 – 650 €	DLP	13.000:1	3.000	1280 x 800		f/2,59 - 2,87	1,21 - 1,57:1	32	31,2 x 10,4 x 24,4	2,75		
Toshiba	Proyectores donde ni la resolución y ni el contraste son suficientes													
Philips	Esta empresa se especializa en los proyectores LCD portátil. Por eso, la luminosidad y el contraste no son suficientes													
Epson	EB 955W	750 – 850 €	LCD	10.000:1	5.000	1280 x 800			1,38-2,24:1	37	29,7 x 8,7 x 23,4	2,9		
	EH TW490	500 – 550 €	LCD	12.000:1	3.000	1280 x 800			1,3-1,56:1	37	29,7 x 7,7 x 23,4	2,4	0,9	
	EH-TW5200	900 €	LCD	15.000:1	2.000	1920 x 1080			1,22 - 1,47:1	37	29,7 x 10,5 x 24,7	2,8		
	EH-TW9200	3 000 €	LCD	600.000:1	2.400	1920 x 1080			1,34 - 2,87:1	32	46,6 x 14 x 39,5	8,6		
Panasonic	PT-AT1000E	1 500 €	LCD	50.000:1	2.800	1920 x 1080	F: 21,5 - 43,0	f/2,0 - 3,4	1 m a 1,2m	29	47 x 13,7 x 38	8,6	1,2	
	PT-AT6000E	2 100 €	LCD	500.000:1	2.400	1920 x 1080	F/22,4 - 44,8	f/1,9 - 3,2	1 m a 1,2m	22	47 x 15,1 x 36,4	8,7	1,2	
NEC	Mientras que la tecnología DLP o LCD utilizada, el contraste máximo solo es de 4000:1 que no es suficiente.													
Samsung	Los productos son a destinación de los particulares. El contraste no es más que 4000:1													
Optoma	EW400	800-900 €	DLP	15.000:1	4.000	1280 x 800	f/18,2-21,8	F/2,4-2,66	1,28-1,536:1	29	28,8 x 8,6 x 22		1,2	12
	ZW212ST	1400-1600 €	DLP	100.000:1	2.500	1024 x 768	f/7,02	F/2,8	0,626:1	28	32,1 x 9,5 x 24	4,5	0,5	2,5
	X306ST	750-950 €	DLP	18.000:1	3.200	1024 x 768	f/7,017	F/°2,8	0,626:1	30	28,8 x 8,6 x 22	2,8	0,5	2,5
	W307UST	1000-1200 €	DLP	15.000:1	3.500	1280 x 800	f/7,35	F/2,6	0,35:1	32	35,7 x 23,1 x 36,7	7,5	0,45	0,75
	DH1011	900-1100 €	DLP	13.000:1	3.000	1920 x 1080	f/22,41-26,82	F/2,55-2,87	1,5-1,8:1	26	32,4 x 9,7 x 23,4	3,1	1,2	10
	H100WXGA	500-600 €	DLP	20.000:1	3.200	1280 x 800	f/21-25,6	F/2,57 - 2,84	0,35:1	26	31,6 x 12,4 x 22,4	2,21	1,2	10
Vivitek	D557W	500 €	DLP	15.000:1	3.000	1280 x 800			0,68 a 1m	35	27,4 x 10 x 21,2	2,3	1	10
	D803W-3D	850-950 €	DLP	15.000:1	3.600	1280 x 800	f = 17.8-21.35	F = 2.50-2.72	1,54 - 1,7:1	34	28,5 x 13 x 26,1	2,7	1,2	10
Sony	Esta empresa se dedicada más en los productos para los particulares de muy alta grado (y muy caro) o de baja grado...													
Hitachi	El contraste máximo de los proyectores de Hitachi es de 4.000:1 lo que no es suficiente													

ANEXO 5: LAS CARACTERÍSTICAS DE LAS RESINAS FOTOSENSIBLES

En la tabla siguiente, se presentan las características principales de las resinas y sus impactos finales sobre la pieza final o sobre el proceso de fabricación:

Característica de la resina	Influencia sobre la pieza o el proceso de fabricación
Viscosidad inicial	Eso permite definir si se necesita una acción de más o no durante el proceso. En efecto, si la viscosidad inicial es importante, se puede ser necesario de realizar una etapa de rascado, de bajada y subida o de espera entre cada capa para igualar la superficie de la cuba y asegurar que la resina se reparte bien antes de realizar la nueva capa.
Longitud de onda óptima de iniciación de la reacción	Eso permite definir la protección necesaria para la resina al nivel de la luz natural –si reacciona sólo a los UVC la protección puede ser mínima porque la capa de ozono los bloquea por la mayoría. Pero si reacciona a la luz visible se necesita protecciones importantes antes y durante el proceso. Además, eso permite saber el tipo de luz –y de proyector- a utilizar durante la reacción.
Tiempo de exposición	Eso permite optimizar el tiempo de fabricación para obtener una pieza de buena calidad sin exponer la resina más que lo que es necesario y tener un proceso de fabricación demasiado largo.
Dureza final	Eso permite saber la dureza previa de la pieza y por eso la resina debe ser elegida en función de la utilización de la pieza y de esta característica. Además se puede detectar un defecto en el diseño o en el proceso si la dureza real del resultado es demasiada leja de la previa
Resistencias físicas máximas a los varios esfuerzos	Eso permite saber las características previas de la pieza y por eso la resina debe ser elegida en función de la utilización de la pieza requerida y de estas características. Además se puede detectar un defecto en el diseño o en el proceso si las resistencias de la pieza real son demasiadas lejas de las previas
Composición química	En función de la utilización de la pieza realizada algunas composiciones químicas no se pueden utilizar para evitar reacciones nefastas durante la vida del producto.
Densidades antes y después de la polimerización	Eso permite prever durante el proceso de fabricación el comportamiento de la resina en la cuba. En efecto, si la densidad antes la polimerización es menor que la de la resina después polimerización sería necesario de llenar la cuba durante el proceso si es el contrario, la resina se desbordará.

ANEXO 6: PROPIEDADES DE LAS LENTES

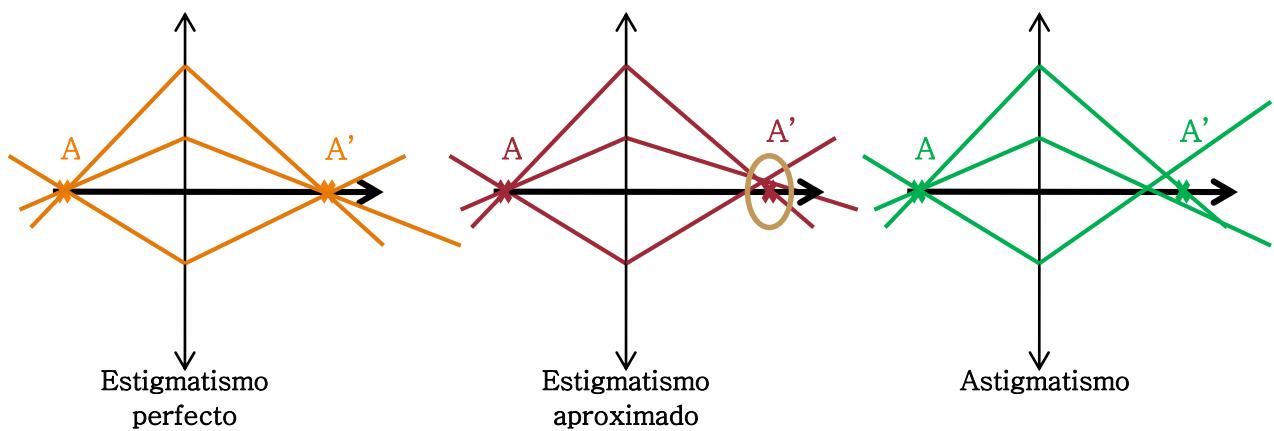
Para obtener una buena imagen de un objeto o de una fuente hay que respetar algunas leyes ópticas.

a. El estigmatismo

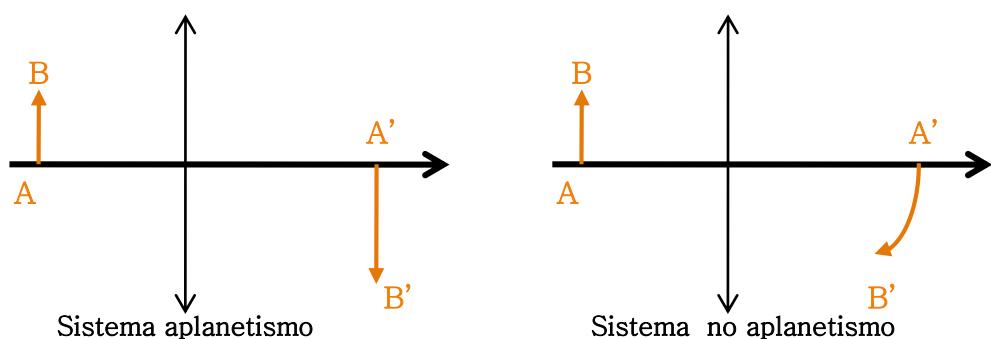
En óptica geométrica, un sistema es estigmatismo si todos los rayos pasando por un punto A de un objeto se cruzan al mismo punto A', la imagen de este punto.

Si todos los rayos pasando por un punto A de un objeto se cruzan alrededor de un punto A', la imagen de A, pues se respeta un estigmatismo aproximado.

Sino la imagen no es de buena calidad, el sistema es astigmatismo.

*b. Aplanetismo*

El aplanetismo es la propiedad de un sistema óptico lo que da una imagen perpendicular al eje óptico de un objeto perpendicular a este eje.

*c. Condiciones de Gauss*

Para minimizar los defectos y aberraciones, un sistema óptico debe respetar las condiciones de Gauss. De esta manera haría estigmatismo aproximado y aplanetismo.

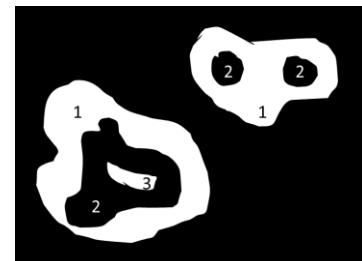
Las condiciones de Gauss son:

- Los rayos deben cruzar la lente alrededor del eje óptico de la lente
- Los rayos deben tener un ángulo débil con el eje óptico: $\sin(\alpha) \approx 0$, $\tan(\alpha) \approx 0$ y $\cos(\alpha) \approx 1$

ANEXO 7: EL PROGRAMA DE CONTROL.

El programa es desarrollado en MatLab gracias al software de código abierto de Arduino. Por eso muchas líneas del código solo son utilizadas para el funcionamiento del software. Todo el código es necesario al funcionamiento pero aquí se presenta las partes las más importantes.

Líneas	Acción
2-45	Inicialización del código
48-84	Definición de las variables Detección de los puertos abiertos y de sus velocidades Los puertos abiertos se cargan sobre la interface Pop-up Menu "Puerto-T"
99-157	Conexión de los puertos (pushbutton1- "Conectar") Selección de un puerto abierto en el Pop-up Menu "Puerto-T" Fijación de su velocidad en función de los requerimientos Conexión del puerto Intercambio con el usuario gracias a la interfaz (cad) para definir el estatus de los puertos y de la impresora.
321-381	Colocación del sistema de desplazamiento a su posición inicial después de selección del botón "HOME" Intercambio con el usuario gracias a la interfaz (cad) durante todo el proceso
413-628	Ensayo de las capacidades del motor de desplazamiento y del motor de tilt
676-681	Ensayo del movimiento de tilt (despegue de la pieza del fondo de la cuba)
706-734	Definición de la posición actual de la placa soporte (a través de la posición del sistema de desplazamiento)
736-760	Intercambio de las informaciones gracias a la interfaz
764-988	Proceso de fabricación de la pieza 1- Posicionamiento del soporte a su posición inicial 2- Descenso hasta la posición de la primera capa. Se realiza un movimiento de bajada-subida para que durante todo la impresión se encuentra el juego del sistema de desplazamiento en el mismo lado 3- Cargando de la pieza a realizar 4- Centrado de la pieza en la imagen proyectada 5- Creación de las fronteras de la imagen 6- Numeración des las secciones dentro de las fronteras 7- Coloración de las zonas, en blanco para las secciones impares y en negro para las secciones pares



	<p>8- Proyección de la imagen durante un tiempo x para la primera capa o x' para las otras capas</p> <p>9- Realización del movimiento de tilt</p> <p> Sin tilt, selección 1</p> <p> Tilt caso 1, movimiento de rotación de un motor</p> <p> Tilt caso 2, movimiento de subida-bajada-subida</p> <p>10- Realización de la capa siguiente con el mismo proceso</p> <p>11- Vuelta del sistema de desplazamiento a su posición inicial</p> <p>Entre cada etapa se añade un tiempo de espera de manera de asegurar la calidad de la impresión</p>
1009-1018	<p>Función Dotilt</p> <p>Rotación del motor de tilt en el sentido positivo</p> <p>Tiempo de espera</p> <p>Rotación del motor de tilt en el sentido negativo</p>
1020-1086	Función del control del movimiento del motor de tilt en función de los varios parámetros
1089-1152	Definición de los parámetros de impresión
1157-1179	Función de carga de la pieza a realizar
1481-1499	Función del cálculo del tiempo restante para imprimir la pieza

El resto del código permite el buen funcionamiento del programa gracias al intercambio de informaciones entre el software y la placa Arduino.

Las informaciones enviadas a "com" son enviadas a la placa Arduino. "cad" es una referencia a la interfaz de información con el usuario.

2. INFLUENCIA DEL TAMAÑO DE PIEZAS

ANEXO 8: INFLUENCIA DE LA ANCHURA DE LA PIEZA, CASO 1

a. Cálculos

En este caso, no hay nada entre el proyector y la lente de Fresnel. Por eso, la distancia entre el proyector depende únicamente del tamaño de la imagen proyectada. En los esquemas siguientes se definen los varios elementos útiles para definir las características del sistema.



Figura 6 - El proyector Acer X1311KW

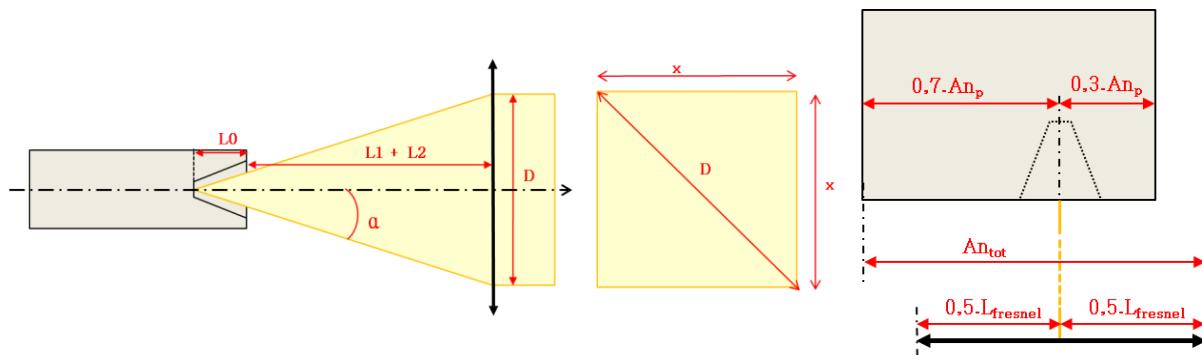


Figura 7 - Esquema del conjunto en el caso 1

Los datos dados o a definir son los siguientes:

Proyector		
$L_{\text{proyector}}$	Longitud del proyector	192 mm
$An_{\text{proyector}}$	Anchura del proyector	268 mm
$Al_{\text{proyector}}$	Altura del proyector	80 mm
L_0	Distancia entre la lente del proyector y su caja	30 mm
α	Ángulo de proyección del proyector en la diagonal se define gracias a su ratio de proyección (0,69:1)	19,03°
f	Ratio entre la longitud y la anchura de la imagen proyectada	Variable
Imagen		
x	Anchura de la imagen proyectada	Variable
D	Dimensión de la diagonal de la imagen	$D = x \cdot \sqrt{1 + f^2}$
Lente de Fresnel		
DF_{Fresnel}	Distancia focal de la lente de Fresnel. Para obtener una imagen paralela al eje óptico, la origen de la luz debe ser en el plano focal de la lente de Fresnel	$DF = L_0 + L_1 + L_2$
L_{Fresnel}	Longitud máxima de la lente de Fresnel es igual a un lado de la imagen más una margen de 40 mm (o de 40%). Es una aproximación antes la búsqueda de lente.	$L_{\text{Fresnel}} = x + \max(40; 0,4 \cdot x)$
e_{Fresnel}	Espesor del soporte de la lente de Fresnel	≈ 5mm

General		
$L_1 + L_2$	Distancia entre la caja del proyector y la lente de Fresnel	$L_1 + L_2 = \frac{D}{2 \cdot \tan(\alpha)} - L_0$
L_{tot}	Longitud global del sistema óptico	$L_{tot} = \max(Al_{proyector}; L_{Fresnel})$
An_{tot}	Anchura global del sistema óptico	$An_{tot} = \max(0,7 \cdot An_{proyector}; \frac{L_{Fresnel}}{2}) + \max(0,3 \cdot An_{proyector}; \frac{L_{Fresnel}}{2})$
Al_{tot}	Altura global del sistema óptico	$Al_{tot} = L_{proyector} + L_1 + L_2$

b. Resultados

Los resultados de los tres formatos estudios (1:1, 16:10 y 4:3) son definidos en las tablas y en los gráficos siguientes:

Diseño de una impresora 3D DLP

Junio 2014

Formato 1:1, f=1

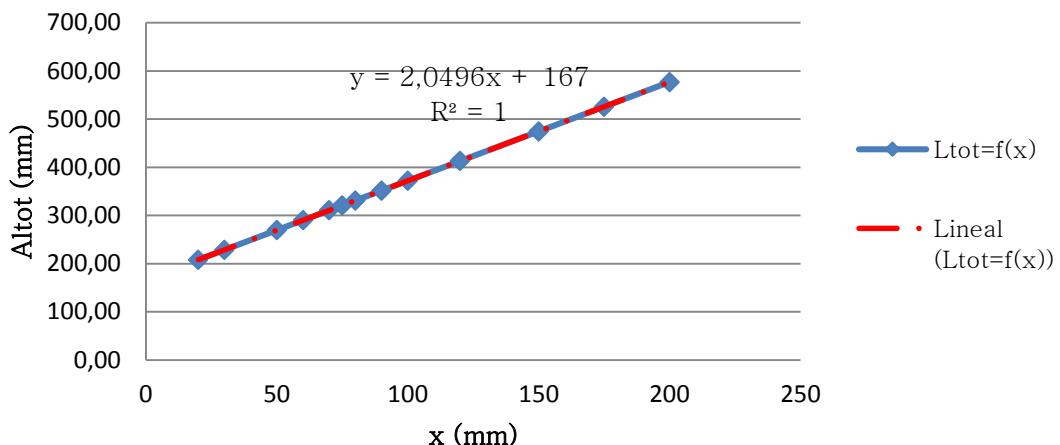
x (mm)	20	30	50	60	70	75	80	90	100	120	150	175	200
Superficie pieza (mm ²)	400	900	2500	3600	4900	5625	6400	8100	10000	14400	22500	30625	40000
Ratio superficie con respecto a x = 150mm	2%	4%	11%	16%	22%	25%	28%	36%	44%	64%	100%	136%	178%
General													
D (mm)	28	42	71	85	99	106	113	127	141	170	212	247	283
L _{Fresnel} (mm)	60	70	90	100	110	115	120	130	140	168	210	245	280
L _{1+L₂} (mm)	10,99	31,49	72,48	92,98	113,47	123,72	133,97	154,46	174,96	215,95	277,44	328,68	379,92
A _{tot} (mm)	207,99	228,49	269,48	289,98	310,47	320,72	330,97	351,46	371,96	412,95	474,44	525,68	576,92
Reducción de la altura con respecto x=150mm	-56%	-52%	-43%	-39%	-35%	-32%	-30%	-26%	-22%	-13%	0%	11%	22%
A _{tot} (mm)	268	268	268	268	268	268	268	268	272	293	310	328	
L _{tot} (mm)	80	80	90	100	110	115	120	130	140	168	210	245	280
Volumen (cm ³)	4459	4899	6500	7771	9153	9885	10644	12245	13956	18842	29152	39938	52919
Lente de Fresnel													
D _{Fresnel} (mm)	41	61	102	123	143	154	164	184	205	246	307	360	410

Formato 16:10, f=1,6

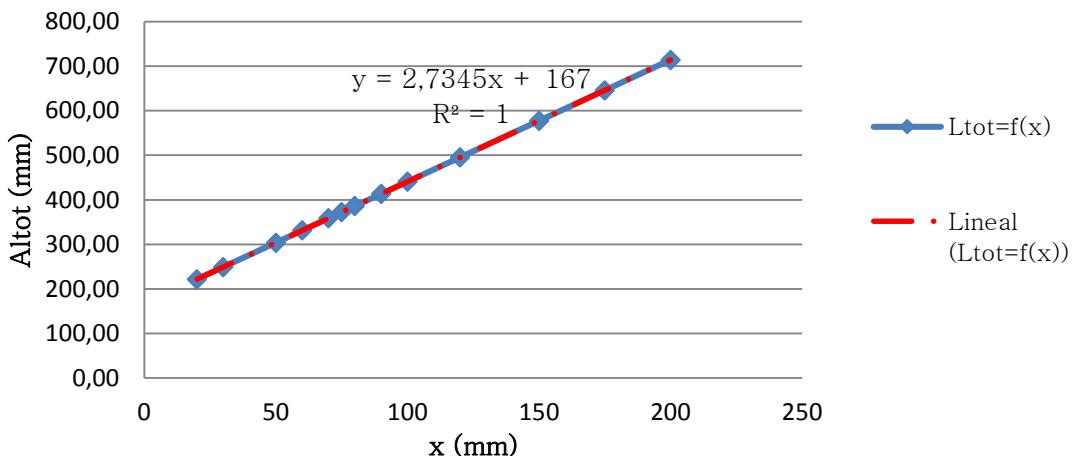
x (mm)	20	30	50	60	70	75	80	90	100	120	150	175	200
Superficie pieza (mm ²)	400	900	2500	3600	4900	5625	6400	8100	10000	14400	22500	30625	40000
Ratio superficie con respecto a x = 150mm	2%	4%	11%	16%	22%	25%	28%	36%	44%	64%	100%	136%	178%
General													
D (mm)	37,74	56,60	94,34	113,21	132,08	141,51	150,94	169,81	188,68	226,42	283,02	330,19	377,36
L _{Fresnel} (mm)	60	70	90	100	110	115	120	130	140	168	210	245	280
L _{1+L₂} (mm)	24,69	52,03	106,72	134,07	161,41	175,09	188,76	216,10	243,45	298,14	380,17	448,54	516,90
A _{tot} (mm)	221,69	249,03	303,72	331,07	358,41	372,09	385,76	413,10	440,45	495,14	577,17	645,54	713,90
Reducción de la altura con respecto x=150mm	38%	43%	53%	57%	62%	64%	67%	72%	76%	86%	100%	112%	124%
A _{tot} (mm)	268,00	268,00	268,00	268,00	268,00	268,00	268,00	268,00	268,00	271,60	292,60	310,10	327,60
L _{tot} (mm)	80,00	80,00	90,00	100,00	110,00	115,00	120,00	130,00	140,00	168,00	210,00	245,00	280,00
Volumen (cm ³)	4753,03	5339,30	7325,83	8872,66	10566,05	11467,71	12406,01	14392,54	16525,64	22592,57	35464,98	49044,22	65484,39
Lente de Fresnel													
D _{Fresnel} (mm)	54,69	82,03	136,72	164,07	191,41	205,09	218,76	246,10	273,45	328,14	410,17	478,54	546,90

x (mm)	20	30	50	60	70	75	80	90	100	120	150	175	200
Superficie pieza (mm ²)	400	900	2500	3600	4900	5625	6400	8100	10000	14400	22500	30625	40000
Ratio superficie con respecto a x = 150mm	2%	4%	11%	16%	22%	25%	28%	36%	44%	64%	100%	136%	178%
General													
D (mm)	33,33	50,00	83,33	100,00	116,67	125,00	133,33	150,00	166,67	200,00	250,00	291,67	333,33
L _{Fresnel} (mm)	60	70	90	100	110	115	120	130	140	168	210	245	280
L _{1+L₂} (mm)	18,31	42,46	90,77	114,93	139,08	151,16	163,24	187,39	211,55	259,86	332,32	392,71	453,09
Alt _{tot} (mm)	215,31	239,46	287,77	311,93	336,08	348,16	360,24	384,39	408,55	456,86	529,32	589,71	650,09
Reducción de la altura con respecto x=150mm	41%	45%	54%	59%	63%	66%	68%	73%	77%	86%	100%	111%	123%
A _{tot} (mm)	268,00	268,00	268,00	268,00	268,00	268,00	268,00	268,00	268,00	271,60	292,60	310,10	327,60
L _{tot} (mm)	80,00	80,00	90,00	100,00	110,00	115,00	120,00	130,00	140,00	168,00	210,00	245,00	280,00
Volumen (cm ³)	4616,23	5134,10	6941,08	8359,66	9907,70	10730,27	11585,21	13392,19	15328,64	20845,75	32524,53	44802,57	59631,62
Lente de Fresnel													
DF _{Fresnel} (mm)	48,31	72,46	120,77	144,93	169,08	181,16	193,24	217,39	241,55	289,86	362,32	422,71	483,09

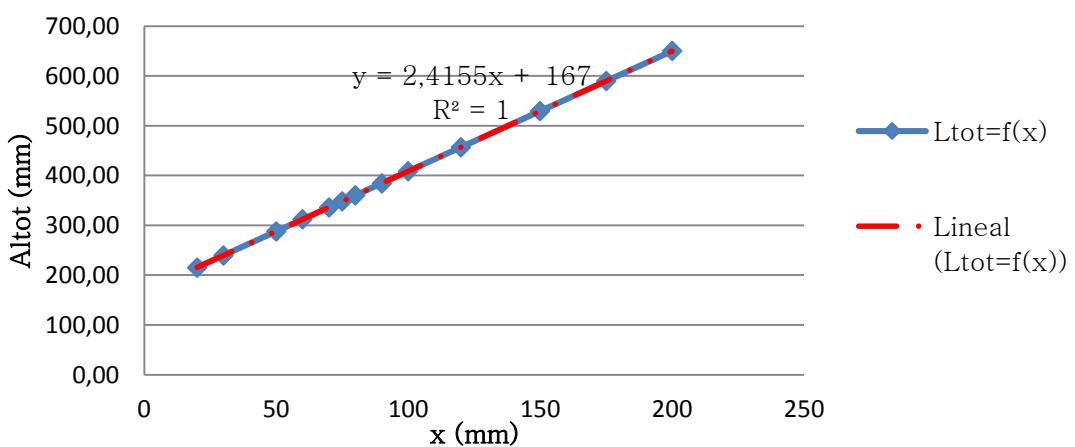
Evolución de la altura en función de las dimensiones de la pieza, formato 1:1



Evolución de la altura en función de las dimensiones de la pieza, formato 16:10



Evolución de la altura en función de las dimensiones de la pieza, formato 4:3



c. *Análisis*

Gracias a los resultados de las tablas y de los gráficos, se puede definir que la altura del sistema óptico sin lente ni espejo sigue una ley lineal en función de la dimensión lateral de la imagen proyectada.

Las ecuaciones en función del formato son las siguientes:

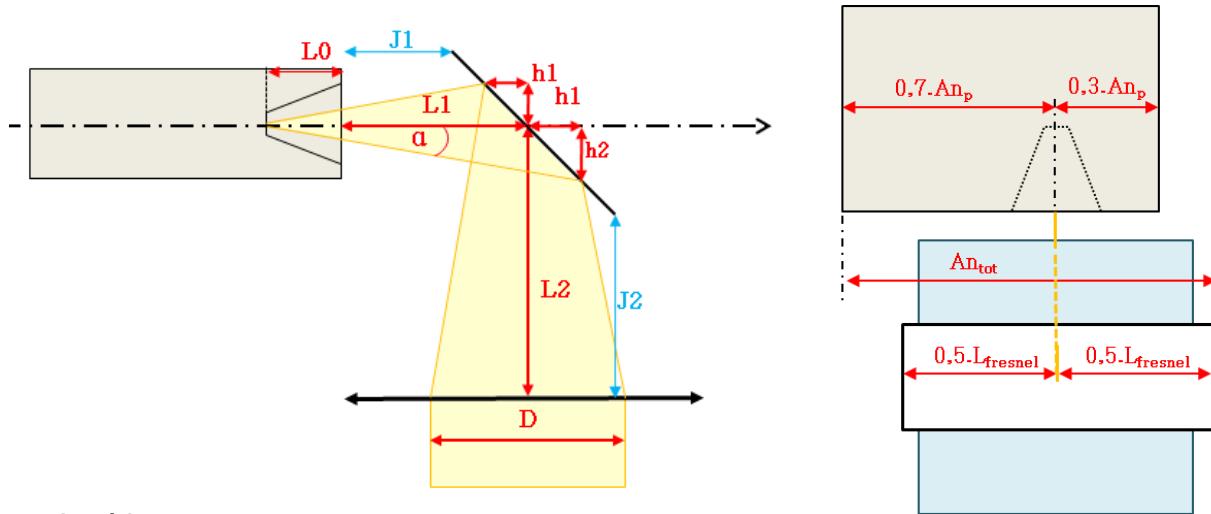
- Formato 1:1, $Al_{tot} = 2,0496 \cdot x + 167$ mm
- Formato 16:10, $Al_{tot} = 2,7345 \cdot x + 167$ mm
- Formato 4:3, $Al_{tot} = 2,4155 \cdot x + 167$ mm

Luego, cuanto más grande es x, más grande es la superficie de la pieza. Por eso se puede realizar una pieza de grande tamaño, pero las alturas alcanzadas para obtenerlas 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.

ANEXO 9: INFLUENCIA DE LA ANCHURA DE LA PIEZA, CASO 2

a. Cálculos

En este caso se añade un espejo simple capa entre el proyector y la lente de Fresnel. Eso permite disminuir mucho la altura del conjunto porque se reorienta el proyector. Pero eso implica también de aumentar la longitud del sistema. Hay que tener en cuenta este fenómeno para el diseño de una impresora 3D de pequeña dimensiones y compacta.



Aquí hay tres cosas a tener en cuenta para elegir el sistema óptimo:

Figura 8 - Esquema del conjunto en el caso 2

- La reducción notable de la altura del sistema.
- El aumento razonable de la longitud del sistema.
- La existencia de un juego suficiente entre el proyector y el espejo así como entre el espejo y la lente Fresnel. Porque si no hay este juego, no se puede montar el conjunto. Se supone que un 10 mm de juego es suficiente.

Por eso, para poder utilizar un espejo, hay que respetar los elementos siguientes:

General		
Lmax	Longitud necesaria para obtener la dimensión de la imagen requerida	$Lmax = \frac{D}{2 \cdot \tan(\alpha)} - L0$
L1	Distancia entre la caja del proyector y el espejo	Variable
L2	Distancia entre el espejo y la lente Fresnel	$L2 = Lmax - L1$
h1	Dimensión mínima del espejo para reflectar la parte superior de la imagen	$h1 = \frac{\tan(\alpha)}{1 + \tan(\alpha)} \cdot (L1 + L0)$
H1	Dimensión superior del espejo con una margen de 10 mm (si $h1 < 20$ mm) o 15 mm sino	$H1 = h1 + margen$
J1	Juego entre el proyector y el espejo, debe ser superior a 10 mm	$J1 = L1 - H1$
h2	Dimensión mínima del espejo para reflectar la parte inferior de la imagen	$h2 = \frac{\tan(\alpha)}{1 - \tan(\alpha)} \cdot (L1 + L0)$
H2	Dimensión inferior del espejo con una margen de 10 mm (si $h2 < 20$ mm) o 15 mm sino	$H2 = h2 + margen$

J2	Juego entre el espejo y la lente de Fresnel, debe ser superior a 10 mm	$J2 = L2 - H2$
An _{espejo}	Anchura (y longitud) del espejo	$An_{espejo} = (H1 + H2) \cdot \sqrt{2}$
L _{tot}	Longitud global del sistema óptico	$L_{tot} = L_{pro} + L1 + \max(\frac{L_{Fresnel}}{2}; H2)$
An _{tot}	Anchura global del sistema óptico	$An_{tot} = \max(0,7 \cdot An_{proyector}; \frac{An_{espejo}}{2}) + \max(0,3 \cdot An_{proyector}; \frac{An_{espejo}}{2})$
Alt _{tot}	Altura global del sistema óptico	$Alt_{tot} = e_{fresnel} + L2 + \max(H1; \frac{Al_{pro}}{2})$

b. Resultados

Si todas las condiciones (sobre los juegos) son satisfechas, se puede elegir un valor de L1 en función de lo que parece el mejor para disminuir la altura, conservar una longitud razonable y permitir un montaje fácil (juegos importantes de cada lado).

Por eso se obtiene tablas del mismo tipo que la siguiente:

x (mm)	70	mm										
L1+L2 (mm)	113,47	mm										
LF	110	mm										
L1	mm	30	37	39	40	41	42	43	44	45	46	48
L2	mm	83,5	76,5	74,5	73,5	72,5	71,5	70,5	69,5	68,5	67,5	65,5
h1	mm	15,4	17,2	17,7	18,0	18,2	18,5	18,7	19,0	19,2	19,5	20,0
H1	mm	25	27	28	28	28	28	29	29	29	29	35
Juego H1-L1	mm	5	10	11	12	13	14	14	15	16	17	13
h2	mm	31,6	35,3	36,3	36,9	37,4	37,9	38,5	39,0	39,5	40,0	41,1
H2	mm	47	50	51	52	52	53	53	54	55	55	56
Juego H2-L2	mm	36,5	26,5	23,5	21,5	20,5	18,5	17,5	15,5	13,5	12,5	9,5
Altura tot	mm	imposible	121,5	119,5	118,5	117,5	116,5	115,5	114,5	113,5	112,5	imposible
Disminución	%		60%	61%	61%	62%	62%	62%	63%	63%	63%	
Longitud tot	mm		284	286	287	288	289	290	291	292	293	
Anchura tot	mm		268	268	268	268	268	268	268	268	268	
Volumen	cm ³		9245	9157	9112	9067	9021	8974	8927	8880	8832	
Dimensión espejo												
Anchura	mm	102	109	112	113	113	115	116	117	119	119	129
Longitud	mm	102	109	112	113	113	115	116	117	119	119	129

Los elementos marcados “imposible” no permiten utilizar un espejo con las características requeridas porque no hay juego suficiente.

Se elige la posibilidad en amarillo porque permite obtener las márgenes las mejores repartidas de cada lado. Esta selección no es fija, puede cambiar con la evolución del diseño y de los espacios necesarios. En efecto se nota que existen muchas posibilidades. Además, cuanto mayor es x más grande es la bandeja de posibilidades. En la tabla siguiente se muestra las bandejas de posibilidades para cada formato y cada valor de x.

	Formato 1:1		Formato 16:10		Formato 4:3	
x (mm)	L1 mínimo	L1 máximo	L1 mínimo	L1 máximo	L1 mínimo	L1 máximo
20	Imposible		Imposible		Imposible	
30						
50			37 mm	43 mm		
60			37 mm	61 mm	37 mm	48 mm
70	37 mm	47 mm	37 mm	79 mm	37 mm	64 mm
75	37 mm	54 mm	37 mm	88 mm	37 mm	72 mm
80	37 mm	60 mm	37 mm	96 mm	37 mm	80 mm
90	37 mm	74 mm	37 mm	115 mm	37 mm	95 mm
100	37 mm	87 mm	37 mm	132 mm	37 mm	111 mm
120	37 mm	114 mm	37 mm	162 mm	37 mm	143 mm
150	37 mm	155 mm	37 mm	222 mm	37 mm	190 mm
175	37 mm	185 mm	37 mm	267 mm	37 mm	230 mm
200	37 mm	220 mm	37 mm	311 mm	37 mm	270 mm

En las tres tablas siguientes se presenta la evolución de las dimensiones del sistema óptico en función del formato y de las dimensiones de la pieza a realizar.

Formato 1:1

		x (mm)												
		20	30	50	60	70	75	80	90	100	120	150	175	200
L1	mm	42	46	46	58	70	100	130	160	170				
L2	mm	71,5	77,7	88,0	96,5	105,0	116,0	147,4	168,7	209,9				
Juego H1-L1	mm	14	17	17	20	29	52	74	96	104				
Juego H2-L2	mm	18,5	22,7	33,0	35,5	37,0	33,0	48,4	53,7	89,9				
Altura tot	mm	116,5	122,7	133,0	141,5	151,0	169,0	208,4	237,7	280,9				
Disminución	%	62%	61%	59%	59%	59%	59%	56%	54%	51%				
Longitud tot	mm	289	295,5	298	315	332	376	427	474,5	502				
Anchura tot	mm	302,2	306,4	306,4	327,6	341,7	372,9	438,4	506,3	526,1				
Lado espejo	mm	115	119	119	140	154	185	219	253	263				

Formato 16:10

		x (mm)												
		20	30	50	60	70	75	80	90	100	120	150	175	200
L1	mm	41	55	68	75	80	90	100	125	150	200	220		
L2	mm	65,7	79,1	93,4	100,1	110,0	126,1	143,4	173,1	230,2	248,5	296,9		
Juego H1-L1	mm	13	18	28	33	37	44	52	70	89	126	141		
Juego H2-L2	mm	13,7	19,1	26,4	30,1	37,0	48,1	60,4	76,1	120,2	112,5	149,9		
Altura tot	mm	110,7	124,1	138,4	147,1	158,0	177,1	196,4	233,1	296,2	327,5	380,9		
Disminución	%	63%	62%	61%	60%	59%	57%	55%	52%	48%	49%	46%		
Longitud tot	mm	278	297	315	324,5	332	347	362	401	447	514,5	552		
Anchura tot	mm	268	268	268	327,6	275,1	280,1	295,1	308,6	336,1	347,6			
Lado espejo	mm	113	137	151	158	164	175	185	215	242	297	320		

Formato 4:3

		x (mm)												
		20	30	50	60	70	75	80	90	100	120	150	175	200
L1	mm	45	60	65	70	80	90	110	150	170	200			
L2	mm	70	79,1	86,2	93,2	107	121	150	182	223	253			
Juego H1-L1	mm	16	22	26	29	37	44	59	89	104	126			
Juego H2-L2	mm	15	17	21	25	34	44	61	72	103	117			
Altura tot	mm	115	124	131	139	155	173	206	248	294	332			
Disminución	%	63%	63%	62%	61%	59%	57%	54%	53%	50%	49%			
Longitud tot	mm	287	307	315	322	337	352	386	447	485	532			
Anchura tot	mm	268	268	268	268	270	275	287	309	319	336			
Lado espejo	mm	119	141	147	154	164	175	198	242	263	297			

c. *Análisis*

Se nota que solo se puede utilizar un espejo para sistema de proyección de una imagen superior a 60mm 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 hay que definir si el aumento de la longitud es aceptable o no en el diseño.

Eso no tiene impacto sobre la anchura del sistema.

ANEXO 10: INFLUENCIA DE LA ANCHURA DE LA PIEZA, CASO 3

a. Cálculos

En este caso se añade una lente divergente entre el proyector y la lente de Fresnel. Eso permite disminuir la altura del conjunto gracias al aumento del ángulo de proyección de la imagen. La lente debe tener una distancia focal muy corta para aumentar al máximo este ángulo. Pero debe también tener un diámetro suficiente para contener la imagen proyectada completa a una distancia superior a 30 mm. En efecto, hay 30 mm entre el punto de proyección de la imagen y la caja del proyector (L_0) y a menos de eso, la lente no podría ser colocada precisamente dentro de la caja del proyector.

El conjunto general sería el siguiente:

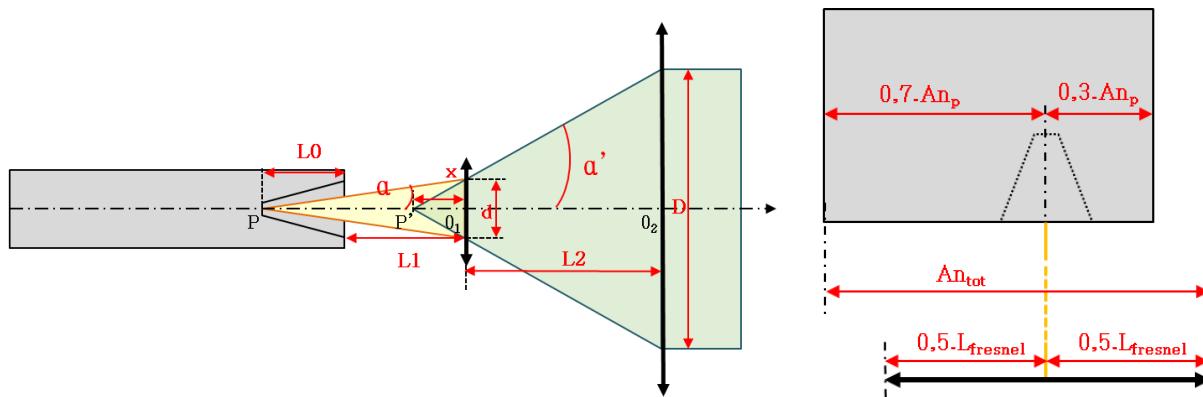


Figura 9 - Esquema del conjunto del caso 3

En la tabla siguiente

se presenta

los cálculos de los varios elementos del sistema óptico, los otros elementos son presentados en los casos precedentes.

General		
L_{max}	Longitud necesaria para obtener la imagen	$L_{max} = \frac{D}{2 \cdot \tan(\alpha)} - L_0$
L_1	Distancia entre la caja del proyector y la lente divergente, debe ser superior a 0 mm	$L_1 = -\overline{O_1 P} - L_0$
L_2	Distancia entre la lente divergente y la lente Fresnel	$L_2 = \overline{O_1 O_2}$
x	Distancia entre la lente divergente y la imagen del punto de proyección por la lente divergente	$x = -\overline{O_1 P'}$
d	Dimensión de la imagen proyectada al nivel de la lente divergente	$d = -\overline{O_1 P} \cdot \tan(\alpha) \cdot 2$
D	Dimensión de la imagen proyectada al nivel de la lente de Fresnel	$D = x \cdot \sqrt{1 + f^2}$
Lente de Fresnel		
$DF_{Fresnel}$	Distancia focal de la lente de Fresnel. Para tener una imagen al infinito, P' debe ser en el plano focal de la lente de Fresnel.	Variable
$L_{Fresnel}$	Dimensión de un lado de la lente de Fresnel, es igual a un lado de la imagen más una margen de 40 mm o de 40% de x	$L_{Fresnel} = x + \max(40; 0,4 \cdot x)$
Lente divergente		
DF_{LD}	Distancia focal de la lente divergente	Variable

D_{LD}	Diámetro de la lente divergente, debe ser superior al diámetro de la imagen para respetar las condiciones de Gauss	$D_{LD} = 1,5 \cdot d$
α	Ángulo de proyección del proyector en la diagonal se define gracias su ratio de proyección (0,69:1)	19,03°
α'	Ángulo de proyección después de la lente divergente	$\alpha' = \arctan\left(\frac{D}{2 \cdot DF_{LF}}\right)$
Resultados		
L_{tot}	Longitud global del sistema óptico	$L_{tot} = \max(Al_{proyector}; L_{Fresnel})$
An_{tot}	Anchura global del sistema óptico	$\begin{aligned} An_{tot} \\ = \max(0,7 \cdot An_{proyector}; \frac{L_{Fresnel}}{2}) \\ + \max(0,3 \cdot An_{proyector}; \frac{L_{Fresnel}}{2}) \end{aligned}$
Al_{tot}	Altura global del sistema óptico	$Al_{tot} = L_{proyector} + L1 + L2$

Las leyes ópticas y geométricas útiles para resolver este problema son las siguientes:

$$\frac{1}{\overline{O_1P'}} - \frac{1}{\overline{O_1P}} = \frac{1}{\overline{f'_1}}$$

$$\frac{d}{D} = \frac{\overline{O_1P'}}{\overline{O_2P'}}$$

Por consecuencia tenemos:

$$\overline{O_1P} = DF_{LD} \cdot \left(\frac{\tan(\alpha')}{\tan(\alpha)} - 1 \right)$$

$$\overline{O_1P'} = \overline{O_1P} \cdot \frac{\tan(\alpha)}{\tan(\alpha')}$$

$$\overline{O_2P'} = DF_{LF}$$

$$\overline{O_1O_2} = \overline{O_1P'} - \overline{O_2P'}$$

b. Resultados

Para obtener los resultados, se realiza una manipulación manual de las distancias focales de ambas lentes. Esta acción permite reducir al máximo la altura guardando una distancia suficiente entre la lente de Fresnel, la lente divergente y el proyector. Además, para tener una buena transmisión de la luz, hay que prever la obtención de una lente divergente demasiado espesa. Se supone que este espesor depende del diámetro y de la distancia focal de la lente. Y, cuanto más próximo de 1 es el ratio $\frac{2 \cdot DF_{LD}}{D_{LD}}$, más la lente es espesa.

Por eso se obtiene, para cada formato, las tablas y gráficos siguientes:

		x (mm)												
		20	30	50	60	70	75	80	90	100	120	150	175	200
Lente divergente														
Distancia focal	mm	Inútil	-50	-35	-30	-35	-30	-40	-40	-40	-50	-40	-40	-40
Diámetro	mm		37	45	43	43	37	43	43	43	54	41	39	
Espesor	mm		11	25	28	28	19,15	19	19	19	24	17	16	
Tan(α')			0,589	0,771	0,825	0,758	0,754	0,707	0,707	0,707	0,707	0,687	0,673	
Angulo α'	rad		0,532	0,657	0,690	0,648	0,646	0,615	0,615	0,615	0,615	0,602	0,593	
Angulo α'	grado		30,509	37,646	39,521	37,148	37,025	35,264	35,264	35,264	35,264	34,507	33,958	
O_1P	mm	Inútil	-35,40	-43,26	-41,74	-41,86	-35,59	-41,98	-41,98	-41,98	-52,48	-39,71	-38,08	
O_1P'	mm		-20,73	-19,35	-17,45	-19,06	-16,28	-20,48	-20,48	-20,48	-25,60	-19,93	-19,51	
Lente de Fresnel														
Distancia focal	mm	Inútil	60	55	60	70	75	90	100	120	150	180	210	
Dimensión lado	mm		70,70	85,00	99,00	106,07	113,14	127,28	141,42	169,71	212,13	247,49	282,84	
Espesor	mm		5	5	5	5	5	5	5	5	5	5	5	
O_1O_2	mm	Inútil	39,27	35,65	42,55	50,94	58,72	69,52	79,52	99,52	124,40	160,07	190,49	
O_2P'	mm		-60	-55	-60	-70	-75	-90	-100	-120	-150	-180	-210	
Global														
Altura tot	mm	Inútil	236,67	240,91	246,28	254,80	256,31	273,50	283,50	303,50	338,87	361,78	390,57	
Reducción altura	%		12,2%	16,9%	20,7%	20,5%	22,6%	22,2%	23,8%	26,5%	28,6%	31,2%	32,3%	
Altura rayo de luz	mm		74,67	78,91	84,28	92,80	94,31	111,50	121,50	141,50	176,87	199,78	228,57	
Reducción rayo de luz	%		30,5%	38,3%	43,2%	41,5%	44,2%	41,0%	42,1%	43,6%	43,4%	45,1%	44,9%	
Longitud	mm		80,00	85,00	99,00	106,07	113,14	127,28	141,42	169,71	212,13	247,49	282,84	
Anchura	mm		268	268	268	268	268	268	268	272	294	311	329	

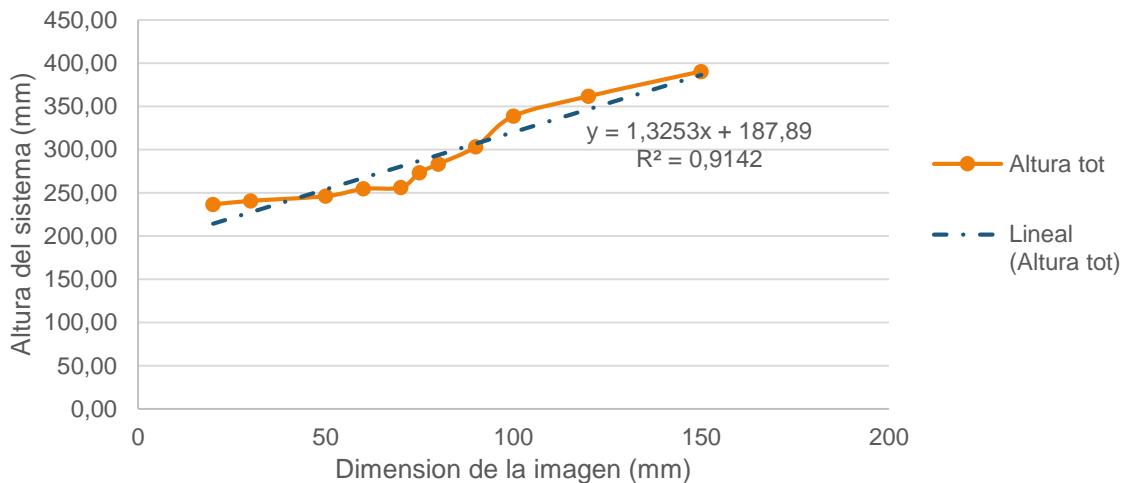
Formato 16:10

		x (mm)												
		20	30	50	60	70	75	80	90	100	120	150	175	200
Lente divergente														
Distancia focal	mm	-30	-40	-40	-30	-40	-30	-30	-30	-30	-30	-30	-30	-30
Diámetro	mm	37	44	39	42	47	40	37	38	37	37	40	43	37
Espesor	mm	19,00	19,78	15,23	25,73	22,89	22,92	19,15	20,35	19,15	19,15	22,92	27,23	19,15
Tan(α')		0,755	0,708	0,674	0,809	0,734	0,786	0,755	0,772	0,755	0,755	0,786	0,825	0,755
Angulo α'	rad	0,65	0,62	0,59	0,68	0,63	0,67	0,65	0,66	0,65	0,65	0,67	0,69	0,65
Angulo α'	grado	37,04	35,28	33,97	38,96	36,27	38,17	37,04	37,66	37,04	37,04	38,17	39,54	37,04
O₁P	mm	-35,63	-42,03	-38,13	-40,32	-45,07	-38,36	-35,63	-37,12	-35,63	-35,63	-38,36	-41,78	-35,63
O₁P'	mm	-16,29	-20,50	-19,52	-17,20	-21,19	-16,83	-16,29	-16,59	-16,29	-16,29	-16,83	-17,46	-16,29
Lente de Fresnel														
Distancia focal	mm	25	40	70	70	90	90	100	110	125	150	180	200	250
Dimensión lado	mm	37,74	56,60	94,34	136,00	152,00	160,00	168,00	184,00	200,00	232,00	280,00	320,00	360,00
Espesor	mm	5	5	5	5	5	5	5	5	5	5	5	5	5
O₁O₂	mm	8,71	19,50	50,48	52,80	68,81	50,94	83,71	93,41	108,71	133,71	163,17	182,54	233,71
O₂P'	mm	-25	-40	-70	-70	-90	-70	-100	-110	-125	-150	-180	-200	-250
Global														
Altura tot	mm	206	224	251	255	276	274	281	293	306	331	364	386	431
Reducción altura	%	6,9%	10,2%	17,5%	22,9%	23,0%	26,5%	27,1%	29,2%	30,4%	33,1%	37,0%	40,2%	39,6%
Altura rayo de luz	mm	44	62	89	93	114	112	119	131	144	169	202	224	269
Reducción rayo de luz	%	25,7%	29,3%	37,5%	44,9%	42,0%	46,9%	46,7%	48,0%	48,2%	49,2%	51,5%	53,6%	51,2%
Longitud	mm	80	80	94	136	152	160	168	184	200	232	280	320	360
Anchura	mm	268	268	268	268	268	268	272	280	288	304	328	348	368

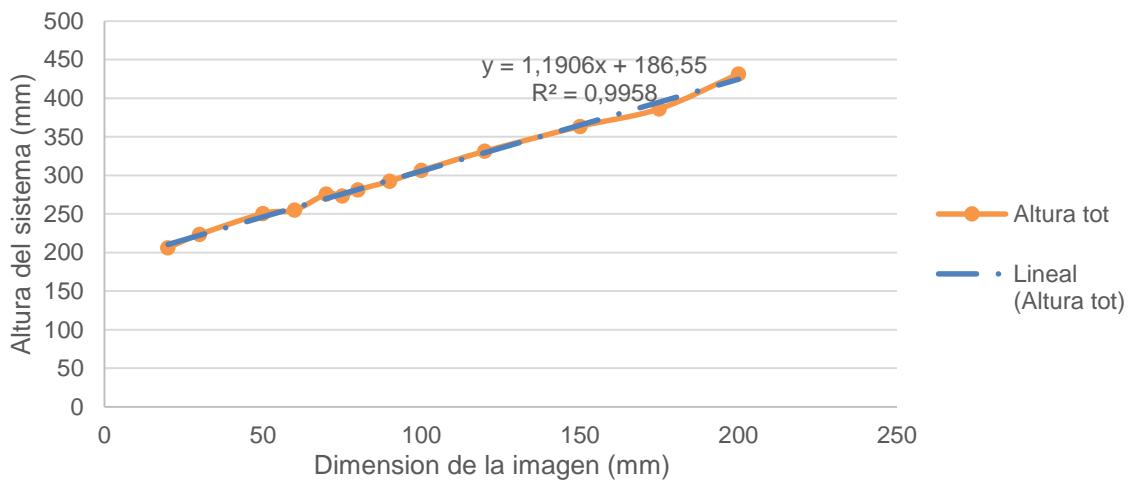
Formato 4:3

		x (mm)												
		20	30	50	60	70	75	80	90	100	120	150	175	200
Lente divergente		Inútil	-40	-40	-30	-30	-40	-30	-40	-40	-40	-40	-40	-30
Distancia focal	mm		42	39	39	39	39	36	42	39	42	46	40	
Diámetro	mm		17,87	15,23	21,61	21,61	15,23	18,00	17,87	15,23	17,87	21,82	22,92	
Espesor	mm		0,694	0,667	0,778	0,781	0,667	0,750	0,694	0,667	0,694	0,729	0,794	
Tan(α')			0,61	0,59	0,66	0,66	0,59	0,64	0,61	0,59	0,61	0,63	0,67	
Angulo α'	rad		34,78	33,69	37,87	38,00	33,69	36,87	34,78	33,69	34,78	36,10	38,44	
O_1P	mm	Inútil	-40,52	-37,29	-37,63	-37,93	-37,29	-35,22	-40,52	-37,29	-40,52	-44,54	-39,01	
O_1P'	mm		-20,13	-19,30	-16,69	-16,75	-19,30	-16,20	-20,13	-19,30	-20,13	-21,07	-16,96	
Lente de Fresnel														
Distancia focal	mm	Inútil	60	75	75	80	100	100	120	150	180	200	210	
Dimensión lado	mm		106,7	120,0	133,3	140,0	146,7	160,0	173,3	200,0	240,0	273,3	306,7	
Espesor	mm		5	5	5	5	5	5	5	5	5	5	5	
O_1O_2	mm	Inútil	39,87	55,70	58,31	63,25	80,70	83,80	99,87	130,70	159,87	178,93	193,04	
O_2P'	mm		-60	-75	-75	-80	-100	-100	-120	-150	-180	-200	-210	
Global														
Altura tot	mm	Inútil	242,4	255,0	257,9	263,2	280,0	281,0	302,4	330,0	362,4	385,5	394,1	
Reducción altura	%		15,8%	18,3%	23,3%	24,4%	22,3%	26,9%	26,0%	27,8%	31,5%	34,6%	39,4%	
Altura rayo de luz	mm		80,39	92,99	95,94	101,18	117,99	119,02	140,39	167,99	200,39	223,47	232,05	
Reducción rayo de luz	%		36,1%	38,0%	44,9%	45,6%	40,5%	46,5%	43,1%	43,0%	45,4%	47,8%	52,5%	
Longitud	mm		107	120	133	140	147	160	173	200	240	273	307	
Anchura	mm		268	268	268	268	268	268	274	288	308	324	341	

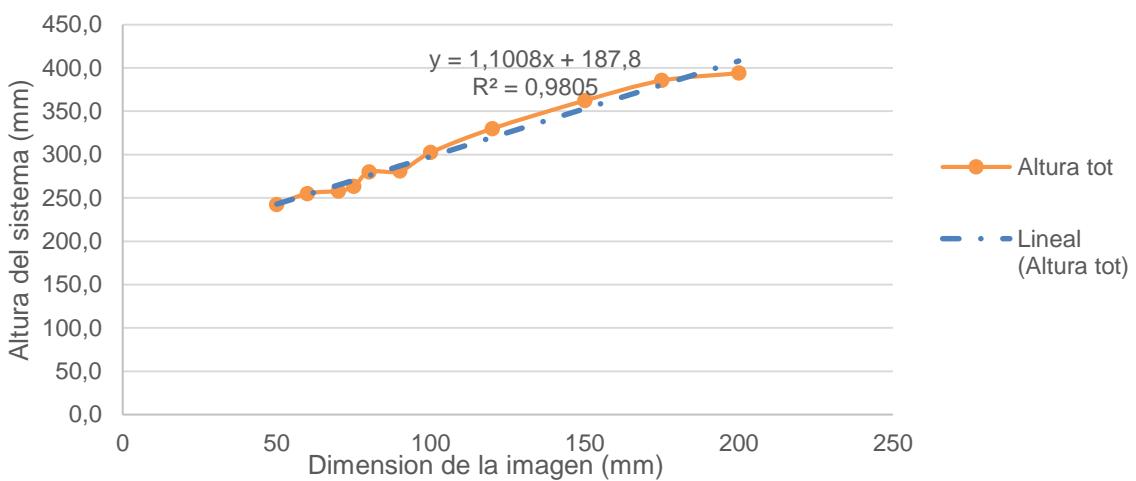
Evolución de la altura total en función de la dimensión de la imagen Formato 1:1



Evolución de la altura total en función de la dimensión de la imagen Formato 1:1



Evolución de la altura total en función de la dimensión de la imagen Formato 4:3



c. Análisis de los resultados

Como la elección de las características es más o menos libre, no existe una ley fija para definir las propiedades de las lentes y no se puede –para un coste razonable– realizar lentes especiales. En efecto, las distancias focales son numerosas pero fijas (20 mm, -30 mm, -50 mm... sino 33,7 mm, 44 mm...). Por eso los resultados no siguen una ley bien definida.

Mientras que se puede observar que no es útil de utilizar una lente para imágenes de menos de 30 mm de lado y que cuanto más grande es la imagen, más eficiente es la reducción realizada gracias a la lente (desde 12,2% para una imagen de 50 mm hasta 32,3% 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 la lente no tiene un impacto sobre la anchura o la longitud del sistema. Por eso, si la altura del sistema óptico es superior con una lente que con un espejo, su anchura y su longitud son inferiores y en función del resto de la máquina, la máquina puede más pequeña para la misma pieza.

ANEXO 11: INFLUENCIA DE LA ANCHURA DE LA PIEZA, CASO 4

Vista a los estudios precedentes, parecería interesante de realizar un conjunto con una lente y un espejo. El esquema del sistema sería el siguiente:

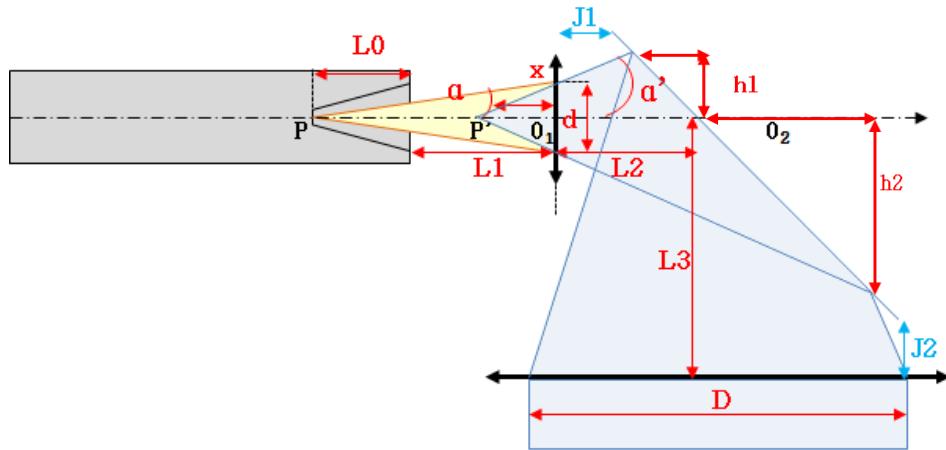


Figura 10 - Esquema del conjunto del caso 4

En este caso, hay que:

- $J1 > 5$
- $J2 > 5$

O sea,

$$L2 > \left(\frac{\tan(\alpha')}{1 + \tan(\alpha')} \cdot O_1 P' + 10 \right) \cdot \left(1 - \frac{\tan(\alpha')}{1 + \tan(\alpha')} \right)^{-1} + 5$$

$$L2 < \left(\frac{\tan(\alpha')}{1 - \tan(\alpha')} \cdot O_1 P' + O_1 O_2 - 10 \right) \left(1 + \frac{\tan(\alpha')}{1 - \tan(\alpha')} \right)^{-1} - 5$$

O sea

x (mm)	70	75	80	90	100	120	150	175	200
L2> (mm)	X	X	X	40,17	40,17	40,17	40,17	35,58	34,87
L2< (mm)	0	0	0	-2,05	0,88	6,74	10,41	38,21	40,81

Por consecuencia, se podría utilizar un espejo y una lente divergente solo con el sistema de proyección de una imagen de 200 mm de lado. Y en este caso, la margen para colocar los varios elementos sería muy estrecha. Por eso se decide de no estudiar este caso.

ANEXO 12: INFLUENCIA DE LA ALTURA DE LA PIEZA SOBRE EL SISTEMA DE DESPLAZAMIENTO

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

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

SISTEMA DE DESPLAZAMIENTO 1

a. Cálculos

Este sistema de desplazamiento conserva por una grande parte el principio de la impresora actual. El principio es el siguiente:

El desplazamiento se realiza por arriba gracias a un sistema de tuerca sin fin. Una corredera es utilizada para guiar el sistema. El problema de este sistema es que se mantiene solo de un lado y existe un riesgo de flexión del soporte.

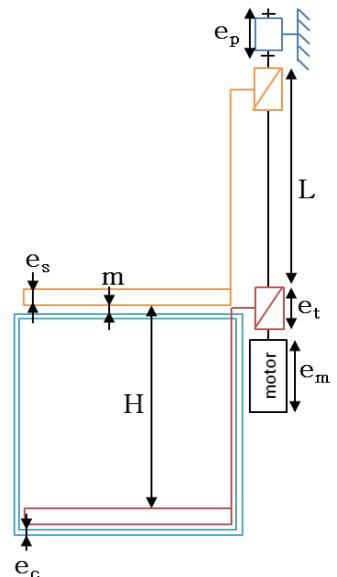


Figura 11 - Esquema del sistema de desplazamiento 1

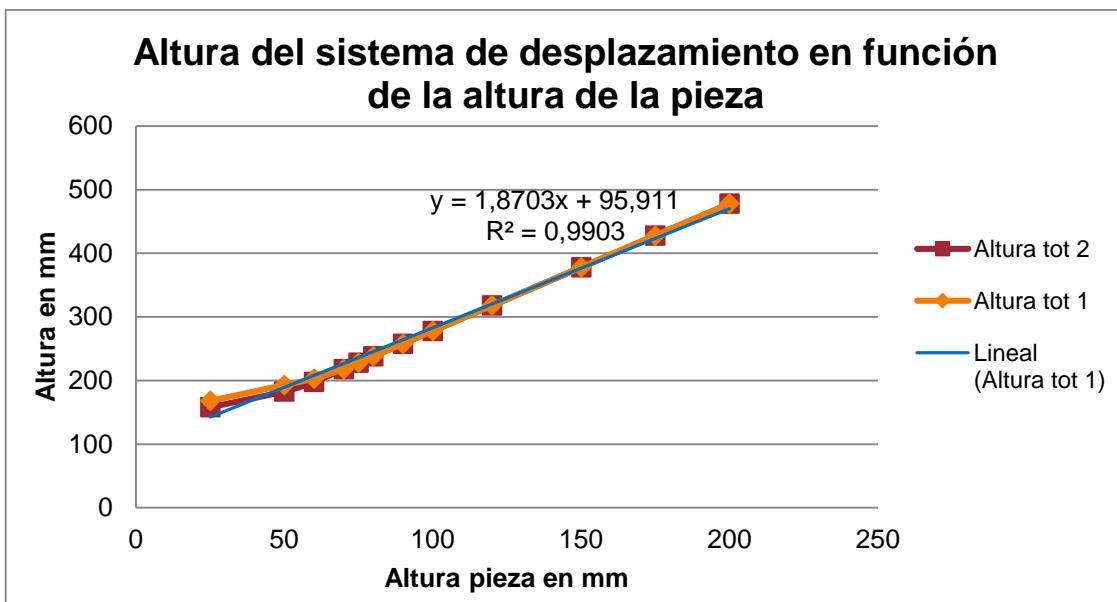
Con este sistema, hay

Características		Dimensión
e_s	Espesor de la placa soporte	10 mm
e_c	Espesor de la cuba	5 mm
e_p	Espesor del pivote	18 mm
e_t	Espesor del tornillo	60 mm
Al_m	Altura del motor	50 mm
An_m	Anchura del motor	40 mm
m	Margen para la salida de la placa soporte de la cuba	5 mm
H	Altura de la pieza	Variable
H_c	Altura de la cuba	$H_c = H + e_s + e_c$
L	Altura de la parte del sistema de desplazamiento fuera de la cuba	$L = H + e_s + m$
Al_{tot1}	Altura total del sistema de desplazamiento y de la cuba sin reorientación del motor	$Al_{tot} = L + \max(H_c; Al_m + \frac{e_t}{2}) + e_p + \frac{e_t}{2}$
Al_{tot2}	Altura total del sistema de desplazamiento y de la cuba con reorientación del motor	$Al_{tot} = L + \max(H_c; An_m + \frac{e_t}{2}) + e_p + \frac{e_t}{2}$

b. Resultados

Por eso se obtiene los resultados siguientes

Sistema de desplazamiento 1													
H	mm	25	50	60	70	75	80	90	100	120	150	175	200
L	mm	40	65	75	85	90	95	105	115	135	165	190	215
H _c	mm	40	65	75	85	90	95	105	115	135	165	190	215
Alt _{tot1}	mm	168	193	203	218	228	238	258	278	318	378	428	478
Alt _{tot2}	mm	158	183	198	218	228	238	258	278	318	378	428	478

**SISTEMA DE DESPLAZAMIENTO 2****c. Cálculos**

Este sistema de desplazamiento permite un desplazamiento por abajo en lugar de por arriba. El principio es el siguiente:

El desplazamiento se realiza por abajo gracias a un sistema de tuerca sin fin. Una corredera puede ser utilizada para guiar el sistema. Aquí el mantenimiento se realiza por el centro del soporte por eso el riesgo de flexión es mínimo pero se necesita unión cilindro-cilindro con una buena estanquidad, lo que puede ser caro.

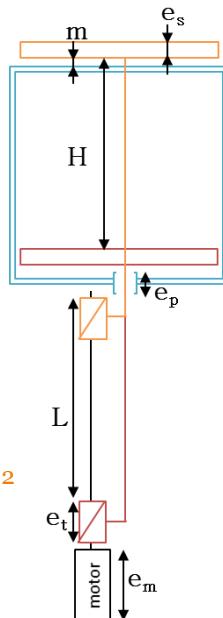


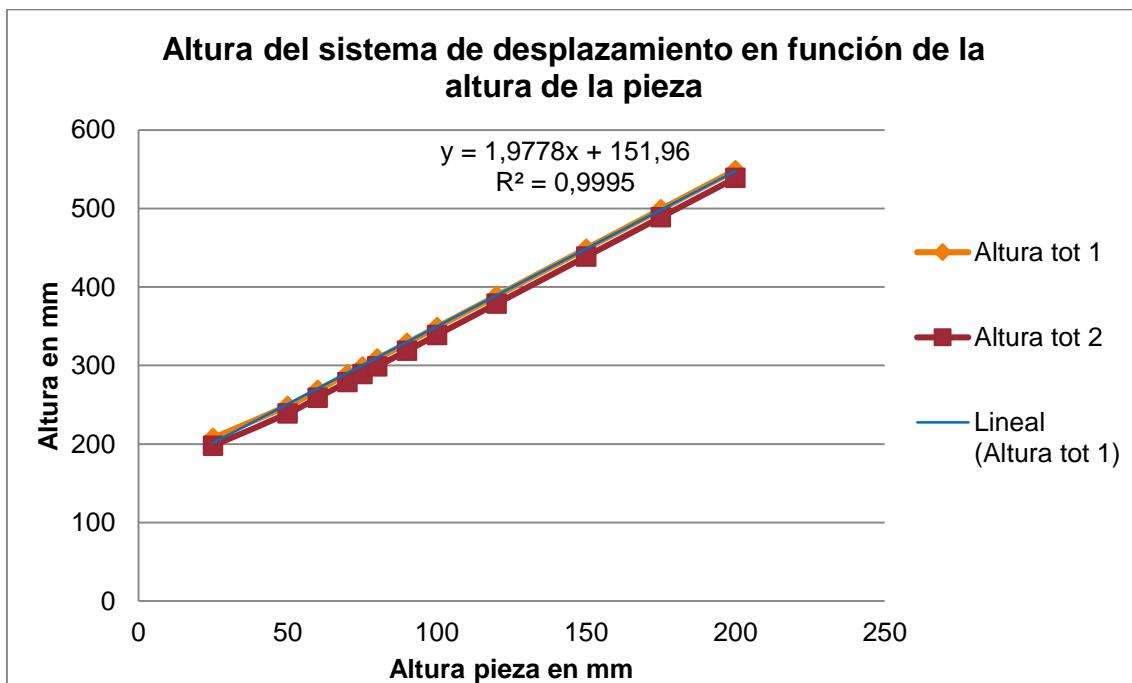
Figura 12 - Esquema del sistema de desplazamiento 2

Características		Dimensión
e_s	Espesor de la placa soporte	10 mm
e_c	Espesor de la cuba	5 mm
e_p	Espesor del pivote	18 mm
e_t	Espesor del tornillo	60 mm
Al_m	Altura del motor	50 mm
An_m	Anchura del motor	40 mm
m	Margen para la salida de la placa soporte de la cuba	5 mm
H	Altura de la pieza	Variable
H_c	Altura de la cuba	$H_c = H + e_s + e_c + \frac{e_t}{2}$
L	Altura de la parte del sistema de desplazamiento fuera de la cuba	$L = H + e_s + m$
Al_{tot1}	Altura total del sistema de desplazamiento y de la cuba sin reorientación del motor	$Al_{tot} = L + H_c + Al_m + \frac{e_t}{2}$
Al_{tot2}	Altura total del sistema de desplazamiento y de la cuba con reorientación del motor, pues se añade una rueda dentada	$Al_{tot} = L + H_c + An_m + \frac{e_t}{2}$

d. Resultados

Por eso se obtiene los resultados siguientes

Sistema de desplazamiento 1													
H	mm	25	50	60	70	75	80	90	100	120	150	175	200
L	mm	40	65	75	85	90	95	105	115	135	165	190	215
H_c	mm	49	65	75	85	90	95	105	115	135	165	190	215
Al_{tot1}	mm	208	249	269	289	299	309	329	349	389	449	499	549
Al_{tot2}	mm	198	239	259	279	289	299	319	339	379	439	489	539



ANÁLISIS

Se ve que el primer sistema de desplazamiento es más compacto. Por eso, en lo sucesivo, solo se estudia este.

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

Para el primer sistema de desplazamiento

$$y = 1,8703x + 95,911 \text{ mm}$$

Para el segundo sistema de desplazamiento

$$y = 1,9778x + 151,96 \text{ mm}$$

ANEXO 13: COMBINACIÓN DE LAS ALTURAS

En esta parte, se combinan los resultados de los estudios precedentes.

Se supone para cada estudio una distancia de 30 mm 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 varía 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

DISEÑO 1

En este caso, se combinan el primer sistema de desplazamiento y el sistema óptico del segundo caso o sea con el espejo sin la lente divergente. El esquema siguiente permite definir los varios elementos importantes y la colocación de uno en relación con el otro. El proyector se pone al nivel del sistema de desplazamiento para limitar la anchura y longitud del conjunto.

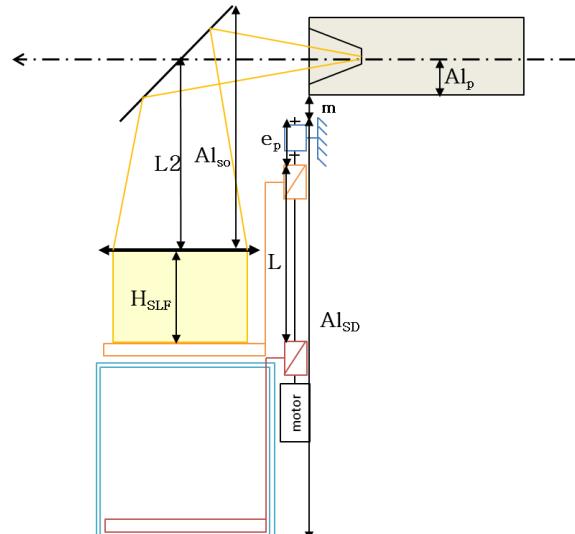


Figura 13 - Esquema del montaje numero 1

	Características	Dimensión
e_p	Espesor del pivote	18 mm
L	Altura de la parte del sistema de desplazamiento fuera de la cuba	Variable
Al_{SD}	Altura del sistema de desplazamiento	Variable
Al_{so}	Altura del sistema óptico	Variable
Al_p	Mitad de la altura del proyector	40 mm
L2	Distancia entre el espejo y la lente de Fresnel	Variable
H_{SLF}	Margen mínima entre la lente de Fresnel y la posición alta del soporte de la pieza	mínima 30 mm, variable
m	Margen mínima entre los dos sistemas	mínima 30 mm, variable
Al_m	Altura total de la máquina	$Al_m = \max(Al_{SD} - L - e_p + H_{SLF} + Al_{so}; Al_{SD} + m + Al_p - L2 + Al_{so})$

Además se debe obtener

$$L2 + H_{SLF} > L + e_p + m + Al_p$$

En todas las tablas se encuentra el código de color siguiente:

352,99	Altura inferior a 2 veces la longitud del proyector
485,72	Altura entre a 2 y 2,6 veces la longitud del proyector
	Anchura pieza inferior a su altura
	Anchura pieza superior a su altura
-9%	Reducción máxima
-44%	Reducción mínima

Por fin se obtienen las tablas siguientes (para cada formato) de la altura de la máquina en función de las dimensiones de la pieza y las tablas de la reducción en porcentaje de la altura en vista del caso sin lente divergente y sin espejo:

Formato 1:1

m mínima	30	mm		x (mm)												
H _{SLF} mínima	30	mm		20	30	50	60	70	75	80	90	100	120	150	175	200
e _p	18	mm		A _{ISO}												
A _{l_p}	40	mm		117	122	133	141	150	169	208	238	281				
H (mm)	25	168	L	42	46	46	58	70	100	130	160	170				
	50	193		313	314	325	321	318	309	348	378	421				
	60	203		338	339	350	346	343	332	348	378	421				
	70	218		348	349	360	356	353	342	351	378	421				
	75	228		363	364	375	371	368	357	366	383	426				
	80	238		373	374	385	381	378	367	376	388	431				
	90	258		383	384	395	391	388	377	386	393	436				
	100	278		403	404	415	411	408	397	406	406	446				
	120	318		423	424	435	431	428	417	426	426	459				
	150	378		463	464	475	471	468	457	466	466	499				
	175	428		523	524	535	531	528	517	526	526	559				
	200	478		573	574	585	581	578	567	576	576	609				
				623	624	635	631	628	617	626	626	659				

	A _{l_p}	x (mm)												
		20	30	50	60	70	75	80	90	100	120	150	175	200
H(mm)	25	168	IMPOSSIBLE	117	122	133	141	150	169	208	238	281		
	50	193		-31%	-32%	-31%	-35%	-38%	-44%	-43%	-43%	-41%		
	60	203		-25%	-26%	-26%	-30%	-33%	-40%	-43%	-43%	-41%		
	70	218		-23%	-24%	-24%	-28%	-31%	-38%	-43%	-43%	-41%		
	75	228		-20%	-22%	-21%	-25%	-29%	-36%	-41%	-43%	-41%		
	80	238		-19%	-21%	-20%	-24%	-28%	-35%	-40%	-43%	-41%		
	90	258		-18%	-19%	-19%	-23%	-26%	-34%	-39%	-42%	-40%		
	100	278		-15%	-17%	-16%	-20%	-24%	-31%	-37%	-41%	-40%		
	120	318		-13%	-14%	-14%	-18%	-22%	-29%	-34%	-39%	-39%		
	150	378		-8%	-10%	-10%	-14%	-17%	-25%	-30%	-35%	-35%		
	175	428		-2%	-4%	-4%	-8%	-12%	-19%	-25%	-30%	-30%		
	200	478		2%	1%	1%	-3%	-7%	-14%	-20%	-26%	-26%		
				6%	5%	5%	1%	-3%	-10%	-16%	-22%	-23%		

Formato 16:10

m mínima	30	mm		x (mm)												
HSLF mínima	30	mm		20	30	50	60	70	75	80	90	100	120	150	175	200
e _p	18	mm		A _{iso}												
A _{lp}	40	mm		111	124	138	147	158	177	196	233	296	328	381		
H	25	168	40	IMPOSSIBLE												
	50	193	65	66	79	93,4	100,1	110	126,1	143,5	173,1	230,2	248,5	296,9		
	60	203	75	283	283	283	287	298	317	336	373	436	468	521		
	70	218	85	308	308	308	310	311	317	336	373	436	468	521		
	75	228	90	318	318	318	320	321	324	336	373	436	468	521		
	80	238	95	333	333	333	335	336	339	341	378	441	473	526		
	90	258	105	343	343	343	345	346	349	351	383	446	478	531		
	100	278	115	353	353	353	355	356	359	361	388	451	483	536		
	120	318	135	373	373	373	375	376	379	381	398	461	493	546		
	150	378	165	393	393	393	395	396	399	401	408	471	503	556		
	175	428	190	433	433	433	435	436	439	441	448	491	523	576		
	200	478	215	493	493	493	495	496	499	501	508	521	553	606		
				543	543	543	545	546	549	551	558	564	578	631		
				593	593	593	595	596	599	601	608	614	627	656		

	H	x (mm)												
		20	30	50	60	70	75	80	90	100	120	150	175	200
H	H	111	124	138	147	158	177	196	233	296	328	381		
	25	168,00	IMPOSSIBLE											
	50	193,00	-36%	-40%	-43%	-44%	-43%	-43%	-42%	-41%	-39%	-40%	-39%	
	60	203,00	-31%	-35%	-38%	-39%	-41%	-43%	-42%	-41%	-39%	-40%	-39%	
	70	218,00	-28%	-32%	-36%	-38%	-39%	-41%	-42%	-41%	-39%	-40%	-39%	
	75	228,00	-26%	-30%	-34%	-35%	-37%	-39%	-42%	-41%	-39%	-40%	-39%	
	80	238,00	-24%	-29%	-33%	-34%	-35%	-38%	-41%	-41%	-39%	-40%	-39%	
	90	258,00	-23%	-27%	-31%	-33%	-34%	-37%	-39%	-40%	-38%	-40%	-38%	
	100	278,00	-22%	-25%	-29%	-30%	-32%	-34%	-37%	-40%	-38%	-39%	-38%	
	120	318,00	-21%	-22%	-26%	-28%	-29%	-32%	-35%	-39%	-37%	-39%	-37%	
	150	378,00	-20%	-20%	-22%	-23%	-25%	-28%	-31%	-35%	-36%	-38%	-37%	
	175	428,00	-18%	-18%	-18%	-18%	-19%	-22%	-25%	-29%	-35%	-37%	-35%	
	200	478,00	-15%	-15%	-15%	-15%	-15%	-14%	-16%	-21%	-28%	-32%	-34%	

Formato 4:3

m mínima	30	mm
HSLF mínima	30	mm
e_p	18	mm
Al_p	40	mm

	Al_{SD}	L
H	25	168
	50	193
	60	203
	70	218
	75	228
	80	238
	90	258
	100	278
	120	318
	150	378
	175	428
	200	478

x (mm)												
20	30	50	60	70	75	80	90	100	120	150	175	200
Al ₂ O ₃												
L ₂												
IMPOSSIBLE	70	79	86	93	107	121	150	182	223	253		
	283	283	283	284	295	313	346	388	434	472		
	308	308	308	309	311	315	346	388	434	472		
	318	318	318	319	321	325	346	388	434	472		
	333	333	333	334	336	340	351	393	439	477		
	343	343	343	344	346	350	356	398	444	482		
	353	353	353	354	356	360	364	403	449	487		
	373	373	373	374	376	380	384	413	459	497		
	393	393	393	394	396	400	404	423	469	507		
	433	433	433	434	436	440	444	454	489	527		
	493	493	493	494	496	500	504	514	519	557		
	543	543	543	544	546	550	554	564	569	582		
	593	593	593	594	596	600	604	614	619	627		

			20	30	50
H	H	25	168,00	193,00	203,00
	70	218,00	228,00	238,00	258,00
	80	238,00	258,00	278,00	298,00
	90	258,00	278,00	298,00	318,00
	100	278,00	298,00	318,00	338,00
	120	318,00	338,00	358,00	378,00
	150	378,00	398,00	418,00	438,00
	175	428,00	448,00	468,00	488,00
	200	478,00	498,00	518,00	538,00
					IMPOSSIBLE

x (mm)												
20	30	50	60	70	75	80	90	100	120	150	175	200
IMPOSSIBLE	115	124	131	139	155	173	206	248	294	332		
	-37%	-41%	-42%	-43%	-44%	-43%	-42%	-42%	-41%	-40%		
	-32%	-35%	-37%	-38%	-41%	-43%	-42%	-42%	-41%	-40%		
	-30%	-33%	-35%	-36%	-39%	-41%	-42%	-42%	-41%	-40%		
	-27%	-31%	-32%	-34%	-36%	-39%	-42%	-42%	-40%	-40%		
	-26%	-29%	-31%	-33%	-35%	-37%	-41%	-41%	-40%	-40%		
	-24%	-28%	-30%	-31%	-34%	-36%	-41%	-41%	-40%	-39%		
	-22%	-26%	-27%	-29%	-31%	-34%	-38%	-40%	-39%	-39%		
	-21%	-23%	-25%	-26%	-29%	-32%	-36%	-40%	-39%	-39%		
	-20%	-20%	-20%	-22%	-25%	-27%	-32%	-37%	-38%	-38%		
	-18%	-18%	-18%	-18%	-19%	-21%	-26%	-32%	-36%	-36%		
	-16%	-16%	-16%	-16%	-16%	-17%	-22%	-28%	-32%	-35%		
	-15%	-15%	-15%	-15%	-15%	-14%	-17%	-24%	-28%	-32%		

El análisis de los resultados permite observar que la reducción de la altura es más importante cuando la altura de la pieza es menor que su anchura. Además, cuanta más pequeña es la altura de la pieza, más importante es la reducción. Se ve también que, con este sistema, es relativamente simple obtener una máquina de un tamaño inferior a 2,6 veces la anchura del proyector

DISEÑO 2

En este caso, se combinan el primer sistema de desplazamiento y el sistema óptico del tercero caso o sea sin el espejo y con la lente divergente. El esquema siguiente permite definir los varios elementos importantes y la colocación de uno en relación con el otro.

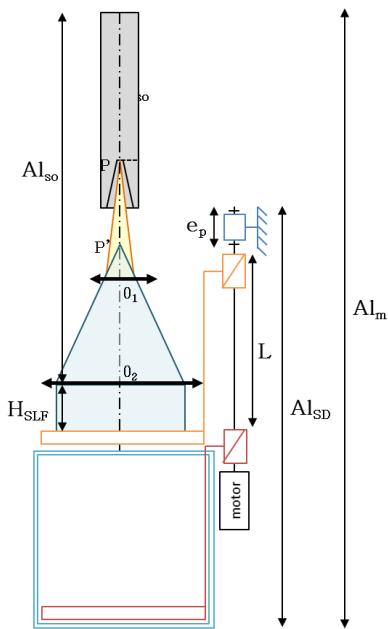


Figura 14 - Esquema del montaje numero 2

En este caso, hay:

	Características	Dimensión
e_p	Espesor del pivote	18 mm
L	Altura de la parte del sistema de desplazamiento fuera de la cuba	Variable
Al_{SD}	Altura del sistema de desplazamiento	Variable
Al_{so}	Altura del sistema óptico	Variable
H_{SLF}	Margen mínima entre la lente de Fresnel y la posición alta del soporte de la pieza	30 mm
A_m	Altura total de la máquina	$A_m = Al_{so} + Al_{SD} + H_{SLF} - \min(Al_{so} + H_{SLF}; L + e_p)$

En todas las tablas se encuentra el mismo código de color que antes.

Por fin se obtienen las tablas siguientes (para cada formato) de la altura de la máquina en función de las dimensiones de la pieza y las tablas de la reducción en porcentaje de la altura vista del caso sin lente divergente y sin espejo:

Formato 1:1

H_{SLF}	30	mm
e_p	18	mm

	Al_{SD}	L	x (mm)												
			20	30	50	60	70	75	80	90	100	120	150	175	200
H (mm)	IMPOSSIBLE	25	168	40	236,67	240,91	246,28	254,80	256,31	273,50	283,50	303,50	338,87	361,78	390,57
		50	193	65	376,67	380,91	386,28	394,80	396,31	413,50	423,50	443,50	478,87	501,78	530,57
		60	203	75	376,67	380,91	386,28	394,80	396,31	413,50	423,50	443,50	478,87	501,78	530,57
		70	218	85	381,67	385,91	391,28	399,80	401,31	418,50	428,50	448,50	483,87	506,78	535,57
		75	228	90	386,67	390,91	396,28	404,80	406,31	423,50	433,50	453,50	488,87	511,78	540,57
		80	238	95	391,67	395,91	401,28	409,80	411,31	428,50	438,50	458,50	493,87	516,78	545,57
		90	258	105	401,67	405,91	411,28	419,80	421,31	438,50	448,50	468,50	503,87	526,78	555,57
		100	278	115	411,67	415,91	421,28	429,80	431,31	448,50	458,50	478,50	513,87	536,78	565,57
		120	318	135	431,67	435,91	441,28	449,80	451,31	468,50	478,50	498,50	533,87	556,78	585,57
		150	378	165	461,67	465,91	471,28	479,80	481,31	498,50	508,50	528,50	563,87	586,78	615,57
		175	428	190	486,67	490,91	496,28	504,80	506,31	523,50	533,50	553,50	588,87	611,78	640,57
		200	478	215	511,67	515,91	521,28	529,80	531,31	548,50	558,50	578,50	613,87	636,78	665,57

	Al_{SD}	L	x (mm)												
			20	30	50	60	70	75	80	90	100	120	150	175	200
H (mm)	IMPOSSIBLE	25	168	40	236,67	240,91	246,28	254,80	256,31	273,50	283,50	303,50	338,87	361,78	390,57
		50	193	65	-8%	-11%	-14%	-14%	-16%	-16%	-17%	-20%	-22%	-25%	-26%
		60	203	75	-8%	-11%	-14%	-14%	-16%	-16%	-17%	-20%	-22%	-25%	-26%
		70	218	85	-8%	-11%	-14%	-14%	-16%	-16%	-17%	-20%	-22%	-25%	-26%
		75	228	90	-8%	-11%	-14%	-14%	-16%	-16%	-17%	-19%	-22%	-24%	-26%
		80	238	95	-8%	-11%	-14%	-14%	-15%	-15%	-17%	-19%	-22%	-24%	-25%
		90	258	105	-8%	-11%	-14%	-14%	-15%	-15%	-16%	-19%	-21%	-24%	-25%
		100	278	115	-7%	-11%	-13%	-13%	-15%	-15%	-16%	-19%	-21%	-23%	-25%
		120	318	135	-7%	-10%	-13%	-13%	-14%	-14%	-16%	-18%	-20%	-23%	-24%
		150	378	165	-7%	-10%	-12%	-12%	-13%	-14%	-15%	-17%	-19%	-22%	-23%
		175	428	190	-6%	-9%	-11%	-12%	-13%	-13%	-14%	-17%	-19%	-21%	-23%
		200	478	215	-6%	-9%	-11%	-11%	-12%	-12%	-14%	-16%	-18%	-20%	-22%

Formato 16:10

H _{SLF}	30	mm	x (mm)													
	e _p	18	mm	20	30	50	60	70	75	80	90	100	120	150	175	200
H (mm)	Al _{SD}	L	206	224	251	255	276	274	281	293	306	331	364	386	431	Also
	25	168	40	390,00	390,00	390,61	395,11	415,88	413,53	421,34	432,53	446,34	471,34	503,53	526,32	571,34
	50	193	65	415,00	415,00	415,00	415,00	415,88	415,00	421,34	432,53	446,34	471,34	503,53	526,32	571,34
	60	203	75	425,00	425,00	425,00	425,00	425,00	425,00	432,53	446,34	471,34	503,53	526,32	571,34	
	70	218	85	440,00	440,00	440,00	440,00	440,00	440,00	440,00	451,34	476,34	508,53	531,32	576,34	
	75	228	90	450,00	450,00	450,00	450,00	450,00	450,00	450,00	456,34	481,34	513,53	536,32	581,34	
	80	238	95	460,00	460,00	460,00	460,00	460,00	460,00	460,00	461,34	486,34	518,53	541,32	586,34	
	90	258	105	480,00	480,00	480,00	480,00	480,00	480,00	480,00	480,00	496,34	528,53	551,32	596,34	
	100	278	115	500,00	500,00	500,00	500,00	500,00	500,00	500,00	500,00	500,00	506,34	538,53	561,32	606,34
	120	318	135	540,00	540,00	540,00	540,00	540,00	540,00	540,00	540,00	540,00	558,53	581,32	626,34	
	150	378	165	600,00	600,00	600,00	600,00	600,00	600,00	600,00	600,00	600,00	600,00	611,32	656,34	
	175	428	190	650,00	650,00	650,00	650,00	650,00	650,00	650,00	650,00	650,00	650,00	650,00	681,34	
	200	478	215	700,00	700,00	700,00	700,00	700,00	700,00	700,00	700,00	700,00	700,00	700,00	706,34	

	Al _{SD}	L	x (mm)													
			20	30	50	60	70	75	80	90	100	120	150	175	200	
H (mm)	Al _{SD}	L	206	224	251	255	276	274	281	293	306	331	364	386	431	Also
	25	168	40	0%	0%	-12%	-16%	-17%	-19%	-20%	-22%	-23%	-26%	-30%	-33%	-33%
	50	193	65	0%	0%	-6%	-12%	-17%	-19%	-20%	-22%	-23%	-26%	-30%	-33%	-33%
	60	203	75	0%	0%	-4%	-10%	-15%	-17%	-19%	-22%	-23%	-26%	-30%	-33%	-33%
	70	218	85	0%	0%	-2%	-8%	-13%	-15%	-17%	-21%	-23%	-26%	-30%	-33%	-33%
	75	228	90	0%	0%	-1%	-6%	-11%	-14%	-16%	-20%	-23%	-25%	-29%	-33%	-33%
	80	238	95	0%	0%	0%	-5%	-10%	-13%	-15%	-19%	-23%	-25%	-29%	-32%	-33%
	90	258	105	0%	0%	0%	-3%	-8%	-11%	-13%	-17%	-21%	-25%	-29%	-32%	-32%
	100	278	115	0%	0%	0%	-1%	-6%	-9%	-11%	-15%	-19%	-24%	-28%	-32%	-32%
	120	318	135	0%	0%	0%	0%	-2%	-5%	-7%	-11%	-15%	-22%	-28%	-31%	-31%
	150	378	165	0%	0%	0%	0%	0%	0%	-2%	-6%	-10%	-17%	-25%	-30%	-30%
	175	428	190	0%	0%	0%	0%	0%	0%	0%	-2%	-6%	-13%	-21%	-27%	-29%
	200	478	215	0%	0%	0%	0%	0%	0%	0%	0%	-2%	-6%	-9%	-18%	-24%

Formato 4:3

H_{SLF}	30	mm	x (mm)												
e_p	18	mm	20	30	50	60	70	75	80	90	100	120	150	175	200
	Al_{SD}	L	Al_{So}												
H (mm)	25	168	40	242,4	255,0	257,9	263,2	280,0	281,0	302,4	330,0	362,4	385,5	394,1	
		50	193	390,00	394,99	397,94	403,18	419,99	421,02	442,39	469,99	502,39	525,47	534,05	
		60	203	415,00	415,00	415,00	415,00	419,99	421,02	442,39	469,99	502,39	525,47	534,05	
		70	218	425,00	425,00	425,00	425,00	425,00	425,00	442,39	469,99	502,39	525,47	534,05	
		75	228	440,00	440,00	440,00	440,00	440,00	440,00	447,39	474,99	507,39	530,47	539,05	
		80	238	450,00	450,00	450,00	450,00	450,00	450,00	452,39	479,99	512,39	535,47	544,05	
		90	258	460,00	460,00	460,00	460,00	460,00	460,00	460,00	484,99	517,39	540,47	549,05	
		100	278	480,00	480,00	480,00	480,00	480,00	480,00	480,00	494,99	527,39	550,47	559,05	
		120	318	500,00	500,00	500,00	500,00	500,00	500,00	500,00	504,99	537,39	560,47	569,05	
		150	378	540,00	540,00	540,00	540,00	540,00	540,00	540,00	540,00	557,39	580,47	589,05	
		175	428	600,00	600,00	600,00	600,00	600,00	600,00	600,00	600,00	600,00	610,47	619,05	
		200	478	650,00	650,00	650,00	650,00	650,00	650,00	650,00	650,00	650,00	650,00	650,00	
				700,00	700,00	700,00	700,00	700,00	700,00	700,00	700,00	700,00	700,00	700,00	

	Al_{SD}	L	x (mm)											
	20	30	50	60	70	75	80	90	100	120	150	175	200	
			Al_{So}											
H (mm)	25	168	40	242,4	255,0	257,9	263,2	280,0	281,0	302,4	330,0	362,4	385,5	394,1
		50	193	-9%	-13%	-16%	-17%	-16%	-20%	-19%	-21%	-25%	-28%	-32%
		60	203	-3%	-8%	-13%	-15%	-16%	-20%	-19%	-21%	-25%	-28%	-32%
		70	218	-1%	-6%	-11%	-13%	-15%	-19%	-19%	-21%	-25%	-28%	-32%
		75	228	0%	-4%	-9%	-11%	-13%	-17%	-19%	-21%	-25%	-28%	-32%
		80	238	0%	-3%	-7%	-10%	-12%	-16%	-19%	-21%	-25%	-28%	-32%
		90	258	0%	-1%	-6%	-9%	-11%	-15%	-18%	-21%	-24%	-27%	-32%
		100	278	0%	0%	-4%	-6%	-9%	-13%	-16%	-20%	-24%	-27%	-31%
		120	318	0%	0%	-2%	-4%	-7%	-11%	-14%	-20%	-24%	-27%	-31%
		150	378	0%	0%	0%	0%	0%	-2%	-5%	-12%	-20%	-25%	-29%
		175	428	0%	0%	0%	0%	0%	0%	-1%	-8%	-17%	-23%	-28%
		200	478	0%	0%	0%	0%	0%	0%	0%	0%	-4%	-13%	-19%

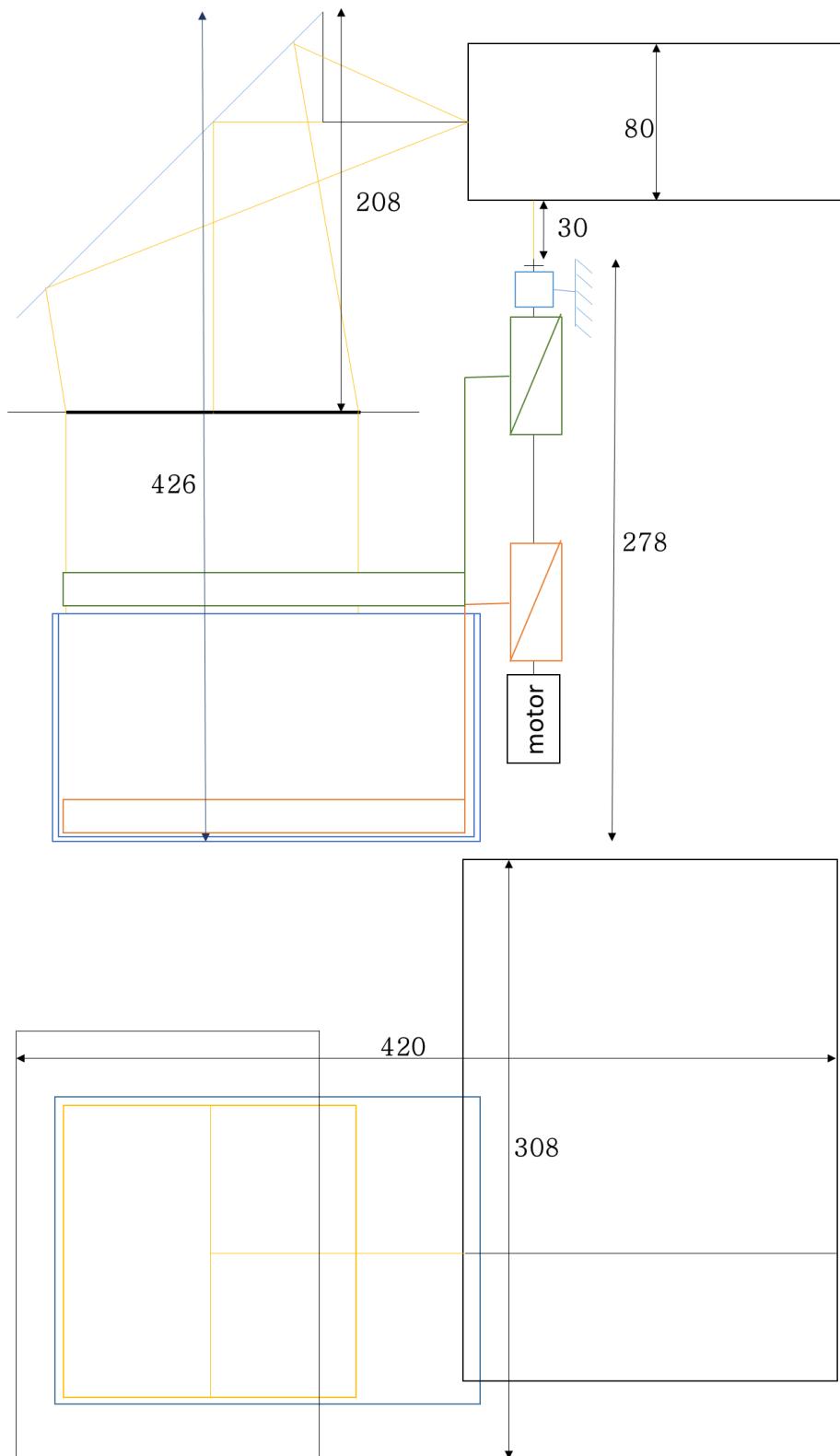
La reducción de la altura es un poco menor con una lente que con un espejo pero las otras dimensiones quedan iguales y eso no es el caso con un espejo.

Como el estudio con el espejo, la reducción de la altura es más eficiente cuando se aumenta la anchura de la pieza que de otra manera.

Por fin hay que elegir entre una máquina más alta y estrecha (con una lente) o una máquina menos alta pero más gorda (con un espejo).

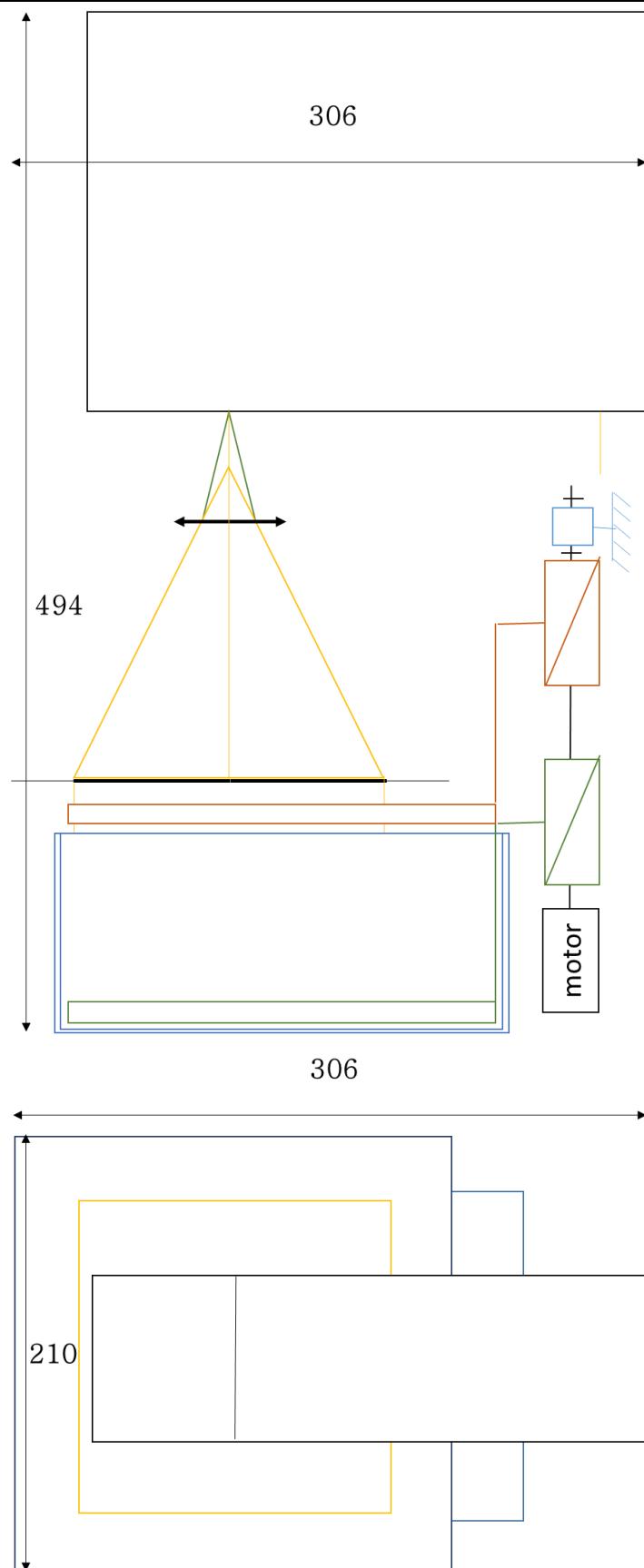
ANEXO 14: ESQUEMAS DE LAS DOS POSIBILIDADES.

Esquema del sistema con espejo, tamaño pieza 150*150*100



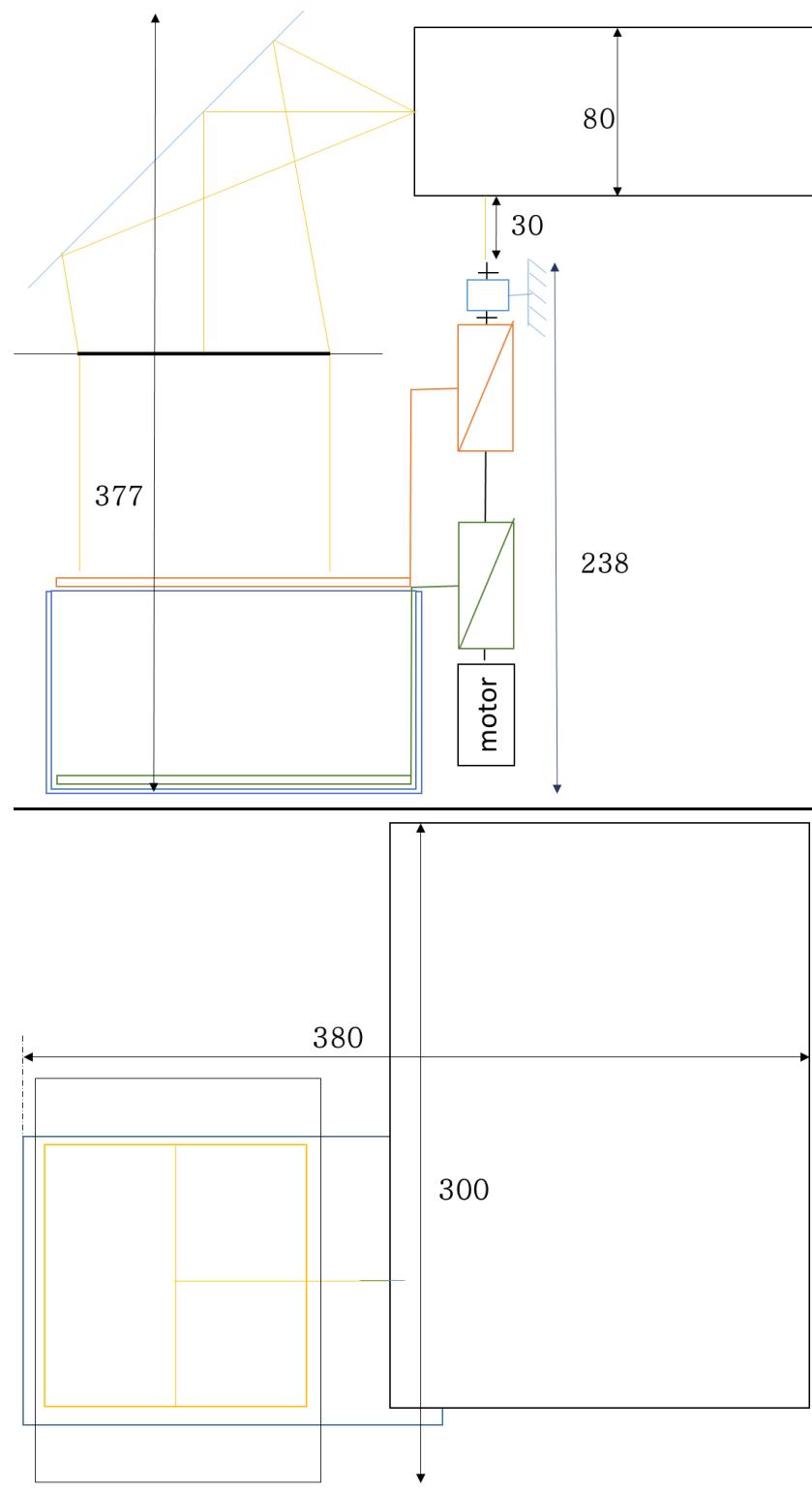
Dimensiones de la máquina: 426*420*308

Esquema del sistema con lente, tamaño pieza 150*150*80



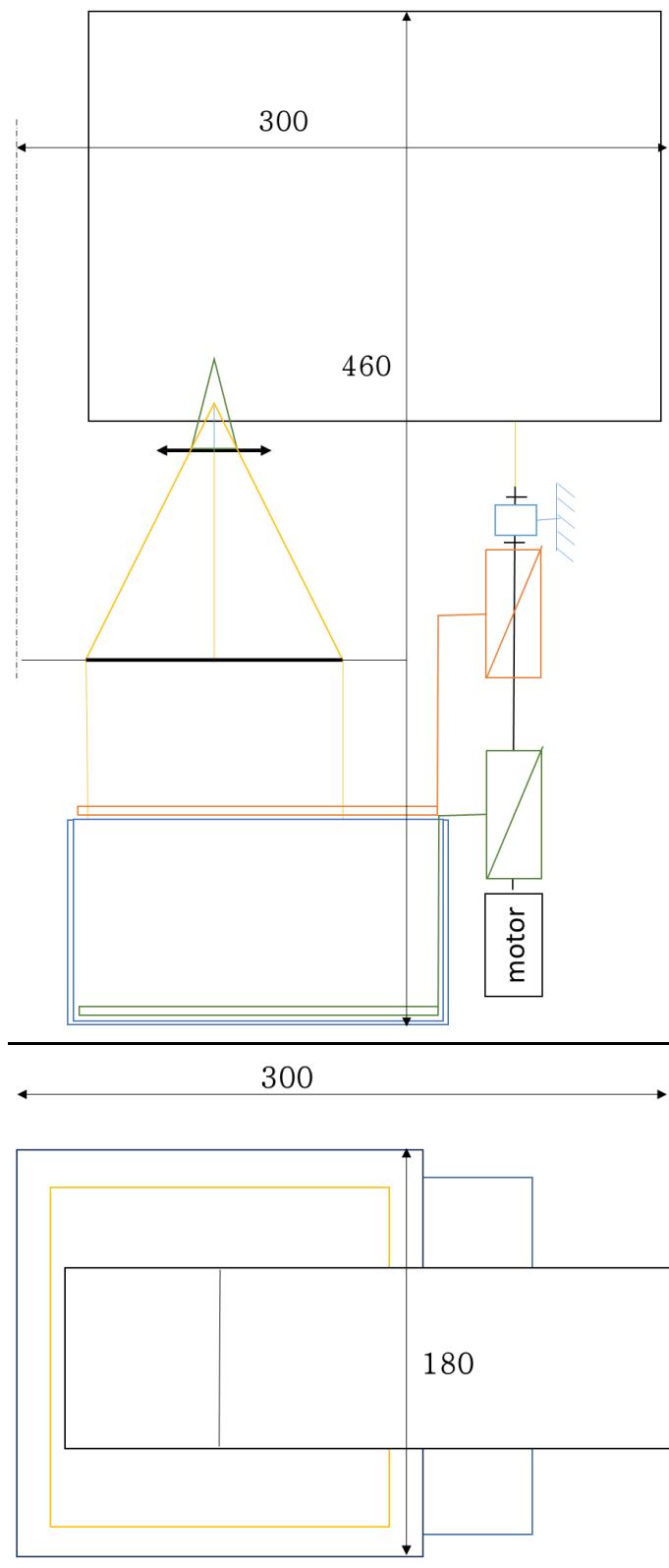
Dimensiones de la máquina: 494*306*210

Esquema del sistema con espejo, tamaño pieza 120*120*80



Dimensiones de la máquina: 377*300*380

Esquema del sistema con lente, tamaño pieza 120*120*80



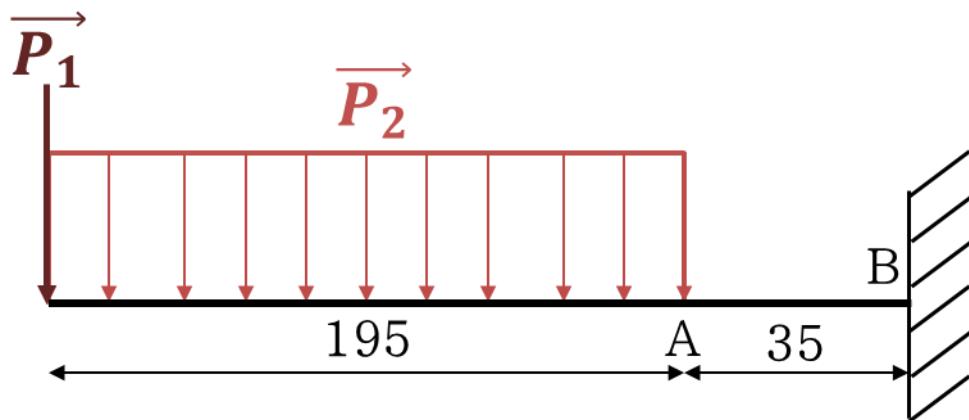
Dimensiones de la máquina: 460*300*180

3. LAS PARTES MECÁNICAS

ANEXO 15: ESTUDIO DE LA FLEXIÓN DEL SOPORTE DE PIEZA.

En esta parte, se definen las dimensiones de la unión entre la placa soporte y el sistema de desplazamiento. Para ser válida, esta unión tiene que ser bastante grande para limitar la flexión en el caso el peor, o sea cuando se realiza una pieza con las dimensiones máximas (150 x 240 x 100 mm).

La repartición de los esfuerzos es la siguiente:



Al punto A, la deformación es la siguiente:

$$y_{max} = \frac{P_1 \cdot L1^3}{3 \cdot E \cdot I} + \frac{P_2 \cdot L1^3}{8 \cdot E \cdot I}$$

Al punto B, la deformación es la siguiente

$$y_{max} = \frac{P \cdot L^3}{3 \cdot E \cdot I}$$

Con:

P el peso máxima de la pieza y de su soporte sobreestimado con un coeficiente de 1,5

$$\vec{P} = \vec{P}_1 + \vec{P}_2$$

P_1 representa el peso no soportada directamente por el soporte

P_2 representa el peso soportada directamente por el soporte

$$\vec{P}_1 = \frac{240 - 195}{240} \cdot \vec{P}$$

L1 = 195 mm

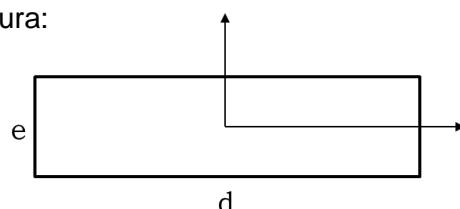
L2 = 35 mm

L la longitud máxima, $L = L1 + L2 = 195 + 35 = 230 \text{ mm}$

E el módulo de Young del material utilizado en MPa

I el momento cuadrado de la estructura:

$$I = \frac{d^3 \cdot e}{12}$$



Se hacen los cálculos con una estructura de aluminio y una de acero. Se obtienen los resultados siguientes:

Densidad		
Pieza	1500	kg/m ³
Soporte pieza	7500	kg/m ⁴

Densidad		
Pieza	1500	kg/m ³
Soporte pieza	3500	kg/m ⁴

Pieza		
Anchura	150	mm
Longitud	240	mm
Altura	100	mm
Espesor placa	10	mm
Superficie	36000	mm ²
Volumen pieza	3600000	mm ³
Volumen placa	360000	mm ³
Superficie	0,036	m ²
Volumen pieza	0,0036	m ³
Volumen placa	0,00036	m ³
Peso	8,1	kg
Esfuerzo	79,461	N
Esfuerzo con margen	120	N

Pieza		
Anchura	150	mm
Longitud	240	mm
Altura	100	mm
Espesor placa	10	mm
Superficie	36000	mm ²
Volumen pieza	3600000	mm ³
Volumen placa	360000	mm ³
Superficie	0,036	m ²
Volumen pieza	0,0036	m ³
Volumen placa	0,00036	m ³
Peso	6,66	kg
Esfuerzo	65,3346	N
Esfuerzo con margen	99	N

Soporte		
Anchura	40	mm
Longitud 1	195	mm
Espesor	5	mm
Altura	100	mm
Longitud 2	35	mm
I	3840000	mm ⁴

Soporte		
Anchura	40	mm
Longitud 1	195	mm
Espesor	5	mm
Altura	100	mm
Longitud 2	35	mm
I	3840000	mm ⁴

Material soporte		Acero
E	210	GPa
	210000	MPa

Material soporte		Aluminio
E	70	GPa
	70000	MPa

Flexión 1	0,00018103	mm
Flexión 2	2,1267E-06	mm
Flexión total	0,00018315	mm

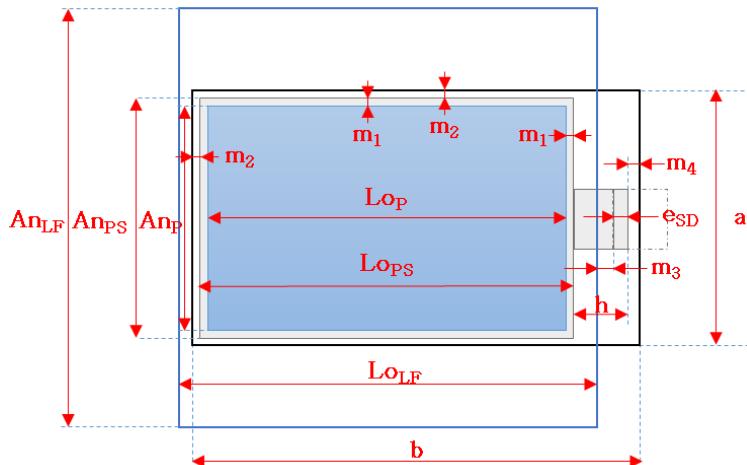
Flexión 1	0,00044804	mm
Flexión 2	5,2637E-06	mm
Flexión total	0,00045331	mm

La margen utilizada es muy importante, y la flexión máxima en todos los casos es inferior 0,5 µm. Por eso se considera que se pueden utilizar las dimensiones siguientes d=40 mm y e=5 mm para el diseño de esta parte. Si las dimensiones aumentan la flecha disminuirá, por eso se puede también utilizar valores más grandes. Además, la densidad de la resina utilizada por los cálculos es alta para una resina de polímero.

ANEXO 16: CÁLCULOS DE LAS DIMENSIONES DE LA CUBA

LONGITUD Y ANCHURA

La cuba debe ser bastante grande para contener el soporte de la pieza y el sistema de desplazamiento sin que los varios elementos se tocan. Al mismo tiempo, esta cuba debe ser la más pequeña que posible para limitar el consumo de resina.



Por eso hay:

Figura 15 - Cálculo de las dimensiones de la cuba

LO_P	Longitud de la pieza	240 mm
AN_P	Anchura de la pieza	150 mm
LO_{LF}	Longitud de la lente de Fresnel	280 mm
AN_{LF}	Anchura de la lente de Fresnel	280 mm
Márgenes		
	m₁	5 mm
	m₂	5 mm
	m₃	10 mm
	m₄	5 mm
L_{SP}	Longitud de la placa soporte de la pieza	$L_{SP} = L_P + 2 \cdot m_1$ $L_{SP} = 250 \text{ mm}$
An_{SP}	Anchura de la placa soporte de la pieza	$An_{SP} = An_P + 2 \cdot m_1$ $An_{SP} = 160 \text{ mm}$
e_{SD}	Espesor del sistema de desplazamiento	10 mm
h		$h = \frac{Lo_{PS}}{2} + \frac{Lo_{LF}}{2} + m_3 + e_{SP}$ $h = 35 \text{ mm}$
a	Anchura cuba	$a = An_{PS} + 2 \cdot m_2$ $a = 170 \text{ mm}$
b	Longitud cuba	$b = Lo_{PS} + m_2 + h + m_4$ $b = 300 \text{ mm}$
S₀	Área mínima de la cuba	$S_0 = a \cdot b$ $S_0 = 51.000 \text{ mm}^2$

ALTURA

Al nivel de la altura, la cuba debe ser bastante grande para contener la pieza entera, más:

- una margen de seguridad para evitar que la resina se desborda de la cuba durante los desplazamientos, esta margen es de 10 mm
- Una margen para permitir bajar la placa soporte más abajo que la posición final y permitir la circulación de la resina por arriba (se supone que se realiza un movimiento de bajada-subida de más de 5 mm para cada capa). Esta margen es de 5 mm
- Una margen entre el fondo de la cuba y la posición la más debajo de la placa soporte, esta margen es de 5 mm

Se supone que la cuba es un paralelepípedo perfecto (se supone que esta encolada y no colada). Por eso, la altura de la cuba sería de:

$$\text{Altura} = 100 + 10 + 5 + 5 = 120 \text{ mm}$$

Si la cuba se colada, hay un pequeño ángulo de desmolda y los cálculos de la altura son muchos más difíciles y deben ser realizados gracias a un software de cálculo.

ANEXO 17: IMPACTO DEL AUMENTO DE VOLUMEN

Si se supone que la resina tiene la misma densidad antes y después su polimerización, el aumento del volumen solo es debido a la penetración del soporte de la placa dentro de la resina. Además, se supone una margen de 5 mm al nivel de la altura de la pieza.

Pues, el aumento de volumen máxima es:

$$\Delta V_{max} = L_{soporte} \cdot A_{n_{soporte2}} \cdot (A_{l_p} + 5)$$

$$\Delta V_{max} = 42.000 \text{ mm}^3$$

Por consecuencia, el aumento máximo de altura es:

$$\Delta e_{max} = \frac{\Delta V_{max}}{L_{cuba} \cdot A_{n_{cuba}}}$$

$$\Delta e_{max} = 0,824 \text{ mm}$$

Lo que no es mucho en absoluto pero lo que representa mucho en vista del espesor de una capa ($\approx 0,1 \text{ mm}$). Y es suficiente para torcer una pieza.

Para resolver el problema del aumento del volumen se puede modificar la cuba para obtener un nivel límite de la altura de resina y añadir una bomba para llenar de resina lo que falta después el movimiento de bajada-subida. Pero eso implicaría una modificación cara de la cuba, la añadidura de una bomba y de un sensor de nivel. Por fin esta solución sería muy cara.

Por eso se decide resolver este problema con una modificación del programa de control del movimiento. El principio de este cambio es bajar cada vez de menos de manera que el aumento de la altura de la resina sea igual a la disminución de la amplitud del movimiento.

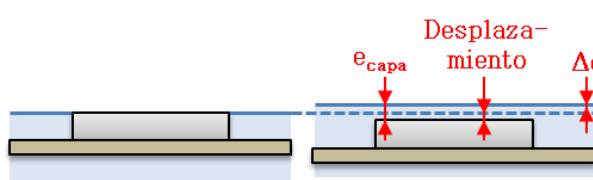
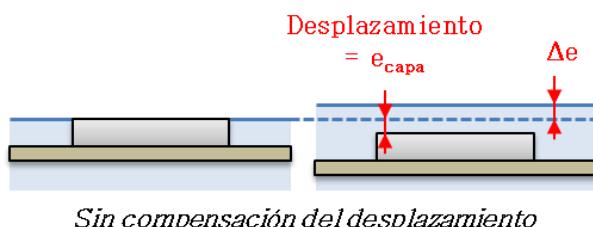


Figura 16 - Defecto de espesor

El desplazamiento de una capa (dpz_n) debe respetar las ecuaciones siguientes:

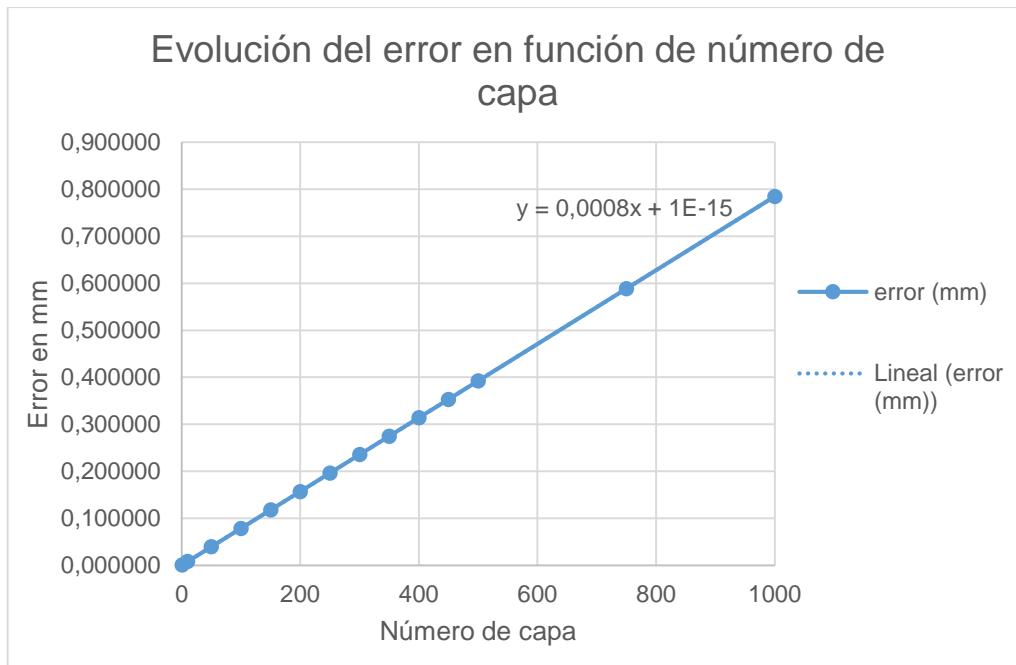
$$dpz_n = e_{capa} - \Delta e_n$$

$$\Delta e_n = \frac{dpz_n \cdot d \cdot e_{SP}}{S_n}$$

$$S_n = S_0 = L_{cuba} \cdot A_{n_{cuba}}$$

Por una pieza de 100 mm y un espesor de capa de 0,1 mm se obtienen los resultados siguientes.

Capa	e_{real} (mm)	$e_{teórico}$ (mm)	error (mm)
1	0,1	0,099216	0,000784
10	1	0,992157	0,007843
50	5	4,960784	0,039216
100	10	9,921569	0,078431
150	15	14,882353	0,117647
200	20	19,843137	0,156863
250	25	24,803922	0,196078
300	30	29,764706	0,235294
350	35	34,725490	0,274510
400	40	39,686275	0,313725
450	45	44,647059	0,352941
500	50	49,607843	0,392157
750	75	74,411765	0,588235
1000	100	99,215686	0,784314



Por fin, se ve que para una capa la diferencia de altura es “grosso modo” de 0,8 μ m y el sistema de desplazamiento no puede tener en cuenta un defecto tan débil. Pero para prever los defectos de las piezas se puede corregir el desplazamiento cada N capas. Eso debe ser analizado con los ensayos para definir el impacto sobre la calidad de pieza

ANEXO 18: BÚSQUEDA DE COMBINACIÓN DEL 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 70 y 200 EUR para una pieza unitaria), se considera la posibilidad de suprimir esta lente y por consecuencia de reducir el tamaño de la imagen proyectada. Luego, en este diseño se quiere realizar una impresora con dos clases de precio sin cambiar el diseño exterior (dimensiones) de la impresora.

De esta manera se podría obtener una impresora del **modelo A** más cara con la posibilidad de realizar piezas más grandes o del **modelo B** más barato, pero con la realización de piezas más pequeñas, sin cambiar el diseño exterior.

CARACTERÍSTICAS

Se quiere obtener para el **modelo A** piezas cuya dimensión la más pequeña es de 150 mm. La otra dimensión depende del formato de proyección del proyector: 16:10 –el formato nativo del proyector- o 4:3 –un formato admisible del proyector. La altura de la pieza sería de 100 mm.

Para el **modelo A**, se pueden realizar varias combinaciones de lente de Fresnel y de lente divergente. Pero al nivel del **modelo B**, la distancia focal de la lente de Fresnel debe muy ser cerca de la longitud del rayo de luz obtenido en el **modelo A**.

Además, vista que ahora no se intenta realizar una producción de serie, para reducir el precio al máximo hay encontrar una lente de Fresnel ya realizada en serie y no preguntar a la realización de una lente especial para el proyecto. Ídem para las lentes divergentes. Por eso, para elegir las lentes del **modelo A** hay que utilizar lentes comerciales de manera que la longitud del rayo de luz serie cerca de la distancia focal de una lente de Fresnel comercial.

Las dimensiones máximas de la pieza del **modelo B** son definidas en función de la lente de Fresnel elegida.

Para que se acepta una combinación hay que:

- Las dimensiones de la lente de Fresnel del **modelo B** sea superior de 40 mm a las dimensiones de la imagen
- La diferencia entre las distancias focal real y teórica de la lente de Fresnel del **modelo B** es menor que 10 mm y excepcionalmente de 20 mm.
- Excepto si hay una diferencia de precio muy importante, no se compran lentes en dos empresas

LAS LENTES.

En esta parte se presentan las varias lentes de Fresnel y divergentes comerciales encontradas sobre la Internet. Solo se eligen empresas que proponen lentes con características definidas y con la posibilidad de pedir menos de 10 piezas por pedido.

Por consecuencia, al nivel de las lentes de Fresnel solo salen tres empresas europeas. En la siguiente tabla se encuentra las lentes que serían utilizadas después.

Distancia Focal	Dimensiones lente	Dimensiones exteriores	Espesor	Muesca por mm	Precio
EDMUND OPTICS					
7,9" (200,67mm)	3" x 3" (76,2 x 76,2 mm)	1,5 mm	1	30,88 €	
10" (254mm)	5,5" x 5,5" (139,7 x 139,7 mm)	1,5 mm	4	80,75 €	
7" (177,8mm)	11" x 11" (280 x 280 mm)	2,3 mm	2	99,75 €	
8,2" (208,28mm)	11" x 11" (280 x 280 mm)	2,3 mm	2	99,75 €	
OASYS OPTICS AND SYSTEMS					
178 mm	267x267 mm	280 x 280 mm	2.3 mm	2	Sin respuesta
185 mm	267x267 mm	280 x 280 mm	2.3 mm	2	
210 mm	267x267 mm	280 x 280 mm	2.3 mm	2	
235 mm	267x267 mm	280 x 280 mm	2.3 mm	2	
LENTILLE-DE-FRESNEL.COM					
220 mm	280 x 280 mm		2 mm	2	23 €

Al nivel de la lente divergente, se constata que para obtener una reducción sencilla se necesita una lente divergente tal que su diámetro es quasi igual a su distancia focal. Solo se encuentran cinco empresas que proponen esto tipo de producto para pedido inferior a 10 piezas.

Producto	Diámetro	Distancia focal	Espesor centro	Espesor máximo	Precio
ROSS OPTICAL					
L-BCC092	40,00 mm	-50,00 mm	1,40 mm	9,60 mm	70 €
L-BCC105	50,00 mm	-50,00 mm	2,50 mm	15,30 mm	70 €
PN 170420	50,8 mm	-50,00 mm	2,50 mm	16 mm	121,68€
ALTECHNA					
Double concave lens	50,8 mm	-50 mm	5 mm		285 €
KNIGHT OPTICAL					
Double concave lens	50 mm	-50 mm	5 mm	16 mm	74,44 €
VY OPTICS PHOTOELECTRIC TECHNOLOGY CO.,LTD.					
Double concave lens	50 mm	-50 mm	2 mm	15 mm	28,8 €
INDEX OPTICS & PHOTONICS					
Double concave lens	42 mm	-50 mm	2 mm	10,5 mm	39 €

En los **anexos 19, 20, 21** se encuentran los presupuestos obtenidos de las lentes.

LAS COMBINACIONES POSIBLES.

Se realiza un estudio de las posibilidades con el formato 16:10 – el formato nativo del proyector- y el formato 4:3 –el formato admisible por el proyector el más cerca de un formato 1:1- para ampliar las posibilidades. El formato 1:1 no permite obtener resultados concluyentes.

Por fin se obtiene las tablas siguientes:

Diseño de una impresora 3D DLP

Junio 2014

Formato 4:3.

CON LA LENTE DIVERGENTE						SIN LENTE DIVERGENTE										ANALISIS	PRECIO LENTES DE FRESNEL (SIN TRANSPORTE) unidad	
LENTE DE FRESNEL			LENTE DIVERGENTE		GLOBAL	LENTE DE FRESNEL								GLOBAL				
Distancia focal	Longitud	Anchura	Distancia focal	Diámetro	Longitud del rayo	Distancia focal	Diferencia teoría realidad	Longitud real	Anchura real	Dimensión de la diagonal	Longitud de la imagen	Anchura de la imagen	Longitud lente de Fresnel teórica	Anchura lente de Fresnel teórica	Possible	Altura total		
mm	mm	mm	mm	mm	mm	mm	mm	mm	mm	mm	mm	mm	mm	mm	mm	mm		
177,8	280	280	-50	50	204,23	200,67	-3,56	76,2	76,2	138,46	83,08	110,77	103,08	130,77	no	x	IMPOSIBLE	
177,8	280	280	-50	50	204,23	208,28	4,05	280	280	143,71	86,23	114,97	106,23	134,97	si	370,3	Utilización de lente de la misma empresa	2*99,75=199,5 €
177,8	280	280	-50	50	204,23	210	5,77	267	267	144,90	86,94	115,92	106,94	135,92	si	372	Utilización de lente de 2 empresas	
178	267	267	-50	50	204,34	200,67	-3,67	76,2	76,2	138,46	83,08	110,77	103,08	130,77	no	x	IMPOSIBLE	
178	267	267	-50	50	204,34	208,28	3,94	280	280	143,71	86,23	114,97	106,23	134,97	si	370,3	Utilización de lente de 2 empresas	
178	267	267	-50	50	204,34	210	5,66	267	267	144,90	86,94	115,92	106,94	135,92	si	372	Utilización de lente de la misma empresa	
185	267	267	-50	50	208,45	200,67	-7,78	76,2	76,2	138,46	83,08	110,77	103,08	130,77	no	x	IMPOSIBLE	
185	267	267	-50	50	208,45	208,28	-0,17	280	280	143,71	86,23	114,97	106,23	134,97	si	370,5	Utilización de lente de 2 empresas	
185	267	267	-50	50	208,45	210	1,55	267	267	144,90	86,94	115,92	106,94	135,92	si	372	Utilización de lente de la misma empresa	
208,28	280	280	-50	40 o 50	224	220	-4	280	280	151,80	91,08	121,44	111,08	141,44	si	386	Utilización de lente de 2 empresas	99,75+23 = 122,75 €
208,28	280	280	-50	40 o 50	224	235	11	267	267	162,15	97,29	129,72	117,29	149,72	si	397	Utilización de lente de 2 empresas	
210	267	267	-50	40 o 50	225,25	220	-5,25	280	280	151,80	91,08	121,44	111,08	141,44	si	387,3	Utilización de lente de 2 empresas	
210	267	267	-50	40 o 50	225,25	235	9,75	267	267	162,15	97,29	129,72	117,29	149,72	si	397	Utilización de lente de la misma empresa	
220	280	280	-75	50	239,06	235	-4,06	267	267	162,15	97,29	129,72	117,29	149,72	si	401,1	Utilización de lente de 2 empresas	

Diseño de una impresora 3D DLP

Junio 2014

Formato 16:10.

CON LA LENTE DIVERGENTE						SIN LENTE DIVERGENTE											ANALISIS	PRECIO LENTES DE FRESNEL		
LENTE DE FRESNEL			LENTE DIVERGENTE		GLOBAL	LENTE DE FRESNEL									GLOBAL					
Distancia focal lente de Fresnel	Longitud Lente de Fresnel	Anchura Lente de Fresnel	Distancia focal	Diámetro	Longitud del rayo	Distancia focal lente de Fresnel	Diferencia teoría realidad	Longitud lente de Fresnel real	Anchura lente de Fresnel real	Dimensión de la diagonal	Longitud de la imagen	Anchura de la imagen	Longitud lente de Fresnel teórica	Anchura lente de Fresnel teórica	Possible	Altura total				
mm	mm	mm	mm	mm	mm	mm	mm	mm	mm	mm	mm	mm	mm	mm	mm	mm				
177,8	280	280	-26,2		227,2	220	-7,2	280	280	151,80	91,08	121,44	111,08	141,44	si	389,2	Utilización de lente de 2 empresas	=99,75+23 = 122,75 €		
210	267	267	-50	50	233,26	235	1,74	267	267	162,15	97,29	129,72	117,29	149,72	si	397	Utilización de lente de la misma empresa			
210	267	267	-50	50	233,26	220	-13,26	280	280	151,80	91,08	121,44	111,08	141,44	si	395,3	Utilización de lente de 2 empresas			
210	267	267	-50	50	233,26	254	20,74	139,7	139,7	175,26	105,16	140,21	125,16	160,21	no	x	IMPOSIBLE			
220	280	280	-50	50	240,04	235	-5,04	267	267	162,15	97,29	129,72	117,29	149,72	si	402	Utilización de lente de 2 empresas			
220	280	280	-50	50	240,04	254	13,96	139,7	139,7	175,26	105,16	140,21	125,16	160,21	no	x	IMPOSIBLE			
235	267	267	-50	40 o 50	250,92	235	-15,92	267	267	162,15	97,29	129,72	117,29	149,72	si	412,9	Utilización de la misma lente			
235	267	267	-50	40 o 50	250,92	254	3,08	139,7	139,7	175,26	105,16	140,21	125,16	160,21	no	x	IMPOSIBLE			

En la tabla siguiente se encuentra la explicación del código de color del origen de las lentes de Fresnel.

Código de color para las lentes de Fresnel	
	EDMUND OPTICS
	OASYS OPTICS AND SYSTEMS
	Lentille-de-fresnel.com

ANÁLISIS

En el **modelo B** las distancias focales teóricas y reales de la lente no son exactamente las mismas, por eso, para obtener una imagen de buena calidad entre el **modelo A** y el **modelo B** cada vez hay que desplazar un poco las lentes de Fresnel (de la diferencia entre la teoría y la realidad). Por eso, la altura global del sistema óptico es la del **modelo B** con la distancia focal la más grande entre la teórica y la real. Eso no cambia mucho el resultado (de menos de 12mm en el peor de los casos). Pero en el diseño hay que tener en cuenta la necesidad de modulación. Es modulación puede ser realizada gracias a la añadidura de arandelas.

Se favorece la utilización de lentes de Fresnel de la misma empresa por razones económicas excepto para la empresa Lentilles-de-Fresnel.com en vista de los precios muy baratos para características iguales.

Además se ve que todas las combinaciones posibles utilizan lentes de Fresnel de dimensiones exteriores iguales, de esta manera no hay problemas de colocación de la lente entre ambos modelos. Más adelante, para pedidos de más de 50 piezas, se puede recortar las lentes para reducir la anchura de la impresora.

Después, la elección se hace en función del precio de las lentes de Fresnel, del tamaño del sistema óptico y si se necesita en función del tamaño de la pieza en el modelo B.

ELECCIÓN.

Por fin se elige la combinación siguiente:

- Lente de Fresnel de Edmund Optical con una distancia focal de 8,2" y 11"x11" de lado
- Lente divergente de Ross Optical de referencia PN 170420
- Lente de Fresnel de Lentilles-de-Fresnel con una distancia focal de 220 mm y 280 mmx280 mm de lado
- Por un formato de 4:3

Porqué es la combinación que:

- Permite obtener piezas las más grandes para una altura la más pequeña
- Evita al máximo las variaciones del diseño con una diferencia de altura entre ambos modelo de 4 mm
- No he recibido presupuesto de OASYS OPTICS AND SYSTEMS mientras mi múltiple toma de contacto.
- Ross Optical no propone la lente la más barata pero permite comprar solo una.
- Evita una pérdida de luminosidad y calidad de más con la utilización de dos lente de Fresnel como en el primer caso del estudio del formato 16:10.

ANEXO 19 : PRESUPUESTO DE KNIGHT OPTICAL



FROM: KNIGHT OPTICAL (UK) LTD
 Roebuck Business Park,
 Harrietsham, Kent. ME17 1AB. UK.
 Tel: 0044 (0) 1622 859444
 Fax: 0044 (0) 1622 859555
www.knightoptical.com

Date: 14.04.14

Ref: 3541

Company: Myriam Derre

ESTIMATE

Dear Myriam

Thank you for your enquiry. Price and delivery would be as follows: All prices are in GBP

Product Code	Description	Quantity	Price	Total
LNQ5002-C	Bi-concave lens, 50mmdia x 3mmCenterthk, 15mmEdgethk, -50mmfl, BK7, Uncoated	5	GBP 74.44	GBP 372.20

Please note that the minimum order quantity is 5.

Delivery: 6 Weeks

Carriage charge: GBP 33.00

Destination: Spain

I trust this meets your approval, and look forward to receiving further order instruction in the near future. Please don't hesitate to contact me if I can be of further assistance.

Best regards

Ridwan Awosanya

NOTES:

1. ALL PAYMENTS ARE TO BE MADE IN DOCUMENT CURRENCY ONLY.
2. PRICES QUOTED EXCLUDE V.A.T
3. V.A.T IS CHARGED ON ALL UK TRANSACTIONS UNLESS VAT EXEMPTION DOCUMENTATION IS PROVIDED. VAT IS ALSO CHARGED ON ALL TRANSACTIONS WITHIN THE EU UNLESS A VAT NUMBER IS PROVIDED. NO VAT APPLIES OUTSIDE THE EU.
4. ON NON UK PAYMENTS, MADE IN GBP, IF PAYMENT IS MADE VIA BANK TRANSFER, THEN A £20.00 CHARGE APPLIES WHICH IS THE CHARGE TO US VIA OUR BANKERS.
5. PRICES ARE VALID FOR 30 DAYS.
6. TERMS AND CONDITIONS PER KNIGHT OPTICAL (UK) LTD.
7. DELIVERY TIME IS SUBJECT TO CONFIRMATION AT TIME OF ORDER.
8. Payment Terms: Pro-Forma



This KNIGHT OPTICAL name and logo and ISO KNIGHT OPTICAL logo are the trade marks of Knight Optical (UK) Limited

TERMS & CONDITIONS

1. Definitions

"Us" & "We" are Knight Optical (UK) Ltd and includes our appointed agents, sub contractors and successors.
"The Customer" Any person, or other body entering into a contract with us for the supply of goods or services.
"Goods" is anything supplied by or processed by us for the Customer.
"Works" Shall mean all labour and services supplied by us to or for the Customer.

2. Orders & Contracts

All orders shall be in writing, (including email communication). An email shall be deemed to have the same authority as a paper based signed order. We reserve the right to refuse any order. A contract is made when we accept the order, subject to any terms.

The Customer acknowledges its contract with us is subject to these express terms and conditions together with any additional and all contractual details confirmed in our quotation. All other conditions, warranties and representations are excluded. No variation to these conditions shall apply unless specifically agreed in writing by us and will be on a strict Order by Order basis.

These Terms and Conditions take precedent over any which The Customer might usually rely upon, even if they are presented with or are part of a Purchase Order. All Orders placed on us are exclusively covered by these Terms & Conditions.

3. Estimates & Quotations

Prices on estimates & quotations are exclusive of VAT, local taxes, import duty, carriage or similar charges which may be levied. Prices may change between the issue of the estimate and the Order for products or works. Estimates and quotations are given on the understanding the work performed by us is conducted in a manner decided upon by us. A fixed price quotation is valid only on the day issued, unless it has an expressed expiry date.

4. Confidentiality, Design & Drawings

We will not discuss or disclose details of the Customer's business with any third party, except where required by law or where authorised by the Customer. We provide secure storage of drawings and/or other specifications, materials prototypes etc., provided by the Customer and we will return all such material upon request at the end of the contract subject to full payment.

Where we have designed a product in order to meet a specification required by the customer, the copyright and intellectual property rights belong to us unless otherwise agreed in writing by a Director of Knight Optical (UK) Ltd. It is our usual policy to allow the purchase of copyrighted material by the customer.

5. Customers' Specifications

(a) Where specifications and drawings are supplied by the Customer, then the Customer should supply such specifications and drawings before or at the same time as the order. We will rely upon the specification and drawings provided by The Customer.

(b) The Customer represents they are satisfied as to the suitability of any process requested (and any products used therein) upon any goods or products whether or not the customer has provided them. The Customer takes responsibility for the results of any such process and end result, with the exception of defects or damage arising from negligence or lack of reasonable skill and care on our part.

(c) Where we have design responsibility for the any work or product, we will use our expertise in interpreting the Customer's requirements and produce a final drawing(s). Prior to the commencement of any works, the drawings and specifications we have produced are deemed to be complete and correct when the order to proceed is given. We have no attaching responsibility for the suitability of any work for any given application, unless we have specifically specified this in writing prior to the start of any works and/or supply.

(d) If the specifications on which the Estimate or Quotation is based are changed by the Customer once the order has been placed, we reserve the right to suspend the supply of Goods or Works pending agreement upon the change in costs (if any). This will rescind any agreed time penalties or similar agreements.

6. The Price & Alterations

The price stated in the contract may be changed if:

?Any alterations are made in any specification upon which a price has been determined.
?Any variation is required as to the mode, place and time of delivery of the materials.
?Any expense is incurred by us following of delay arising from the Customer's instructions.
?The works relate to an estimate or a quotation which states the prices are subject to variation.

In the event any additional work is required, we may require written acceptance of an incremental cost prior to the start of that work.

7. Terms of Payment, Credit Accounts

We will invoice the Customer for the Goods or Works as soon as possible. The invoice will be the full contract price in accordance with our Quotation plus any agreed extras or variations (except in the case of agreed "call offs"). Our terms of payment are 30 days from the date of invoice where an approved credit account is in place, unless it is agreed in writing by us that different terms shall apply. In all other cases payment is required in advance.

We reserve the right to change the terms or withdraw any credit account granted by us. In respect of all payments due to time of payment is of the essence of the contract.

We reserve the right to charge interest at the rate of 4.0% above bank of England base rate per month by separate invoice, exclusive of VAT, on all invoices which remain unpaid after the due date of payment.

8. Delivery, Collection & Risk

(a) Goods supplied by the Customer remain at the Customer's risk until they are received at our premises and we have acknowledged that they have been received in good order.

(b) We are not a common carrier, but at the Customer's request and at the Customer's expense we may collect Customer's Goods, whereupon we will take all reasonable precaution to safeguard the Goods, but in accordance with sub-clause (a) above the Goods will remain at the Customer's risk until they have been received by us. We do not accept responsibility for any liability for any delay arising nor any damage caused.

(c) When Goods are delivered from us to the Customer, or collected by the Customer from our premises, Goods shall be at the Customer's risk immediately after delivery or, if an independent carrier is used, immediately the Goods are released to such independent carrier, or immediately the materials are collected by the Customer.

9. Our Liability for alleged defective and/or missing goods

(a) The Customer shall inspect the Goods immediately upon receipt and notify us of any shortfalls within 3 working days. We have strict controls which include a double verification of quantities and products supplied to avoid errors in product delivery.

(b) If the Customer considers the Goods are defective it shall within 14 days of receiving the Goods give notice in writing to us stating the defects or discrepancies alleged. Unless the Customer gives such notice the Goods shall be deemed to be in all respects in accordance with the contract and to the satisfaction of the Customer and the Customer shall be bound to accept and pay the contract price.

(c) Where goods, products or services supplied by us fail to meet the specification agreed by us, or where we have been negligent or failed to exercise reasonable care, upon receipt of the goods which have been verified as defective by us, these goods will be resupplied as quickly as is practical to The Customer. Irrespective of the nature of any defect, our liability to the customer will be limited to the amount paid by The Customer for the defective goods. For the avoidance of doubt, we are not liable for any consequential loss of any kind, irrespective of whether any consequential loss is a likely outcome.

Delivery Dates & Liability for performance and/or loss

(a) We will use every endeavour to meet requested delivery dates but delivery may be subject to delay and we will not accept any liability for any losses arising.

(b) We accept no liability in contract tort or otherwise for any personal injury, loss or damage of any kind suffered by the Customer (or a subsequent customer) as a result of its use of the Goods.

(c) We warrant only that the goods supplied, or the processes performed, conform to the specification provided by us. Except in the case of a specific written assurance by us as to a warranted specific use (which must be agreed prior to the placing of the order), absolutely no warranty actual or implied exists as to suitability of any product or process carried out by us for any specific purpose. The decision to implement our products in a particular manner rests with the Customer and with it any responsibility for performance.

10. Retention Of Title & Lien

We shall have a possessory lien against the Customer on any and all of the Customer's Goods in our possession for any and all monies due from the Customer. We retain retention of title until the goods or services have been paid in full.

11. Our Right To Sub-Contract

We have the right to engage Sub-Contractors to perform our obligations under any contract either wholly or in part, except where we have indicated on its quotation that no sub contractor will be used in the performance of the Order.

12. Call Offs

Where a call off agreement has been entered into, the Customer acknowledges its liability to fulfil the terms of the call off. In the event the customer has failed to honour the call off agreement either by virtue of time or quantity we are entitled to require either full payment of items not called off, or compensation at our discretion.

13. Construction & Unfair Clauses

All contracts shall be interpreted in accordance with English Law and any action shall be solely pursued through the English Judicial System. If any clause contained herein shall for any reason be determined invalid, illegal or unenforceable, such determination shall not affect any other provisions.

14. Goods Supplied To Us By A Customer

(a) Where Goods are received from a Customer which are not in our opinion fit for purpose, we will notify the Customer accordingly. The customer is responsible for the costs of any onward carriage.

(b) If we are requested to carry out works to prepare the goods into a fit and working condition we shall not have responsibility for any loss or damage arising unless such damage is caused by our negligence or lack of reasonable care. The Customer is responsible for the cost for this work.

(c) In the event that the condition of the Goods received by us has been questioned, we shall not proceed with the contract until expressly authorised to do so by the Customer and we shall not be responsible for any delay arising from this requirement.

(d) In the event that we have questioned with the Customer the suitability of Goods but the Customer authorises us to proceed with the Contract regardless, the Customer agrees that any defects in the work performed by us as a result of the Goods being unsuitable shall give rise to no liability on our part and such defects shall not constitute lawful excuse for withholding payment or part payment from us.

(e) We reserve may cancel a contract without being liable to the Customer in any way for such cancellation, or alternatively to proceed with the contract on such terms or conditions as we may feel appropriate, without being liable for any breach of contract arising by such unilateral alterations in the terms and conditions if:

(i) The Customer, has in our opinion failed to provide Goods into a fit condition for processing
(ii) In our opinion the Customer's Goods are in anyway unsuitable
(iii) In our opinion the Customer's requirements are unobtainable

(f) We give no warranty that customer Goods can be worked upon in any way or incorporated into any machine equipment thing or process without causing damage to the Goods. Any such work or incorporation is carried out is at the risk of the Customer and any damage thereby caused shall not be our responsibility.

(g) In the event of the desired finish not being obtained owing to the supply by the Customer of unsuitable Goods or inaccurate/inappropriate specifications or any other reason outside our control, no responsibility shall attach to us and the Customer shall remain liable to pay the contract price.

(h) In the event of damage being caused to the Customer's Goods during processing as a result of our negligence or lack of reasonable care, our liability for any such damage is limited to the lower of the contract price or the value of the item damaged.



Diseño de una impresora 3D DLP

1er juin 2014

ANEXO 20 : PRESUPUESTO DE ROSS OPTICAL

ROSS OPTICAL INDUSTRIES

Invoice

Date	Page
Apr 24, 2014	1
Order Number	23245

1410 Gail Borden Place, A3
El Paso, TX 79935
USA
Phone: (915) 595-5417
Fax: (915) 595-5466

Sold To:

Universidad de Zaragoza
Dpto. Ingeniería de Diseño y Fabricación
Escuela de Ingeniería y Arquitectura
c/ María de Luna 3
Zaragoza 50018
Spain

Ship To:

Universidad de Zaragoza
Dpto. Ingeniería de Diseño y Fabricación
Escuela de Ingeniería y Arquitectura
c/ María de Luna 3
Zaragoza 50018
Spain

Reference VERBAL	PO Number 042414JSM	Cust. No. 2416	Salesperson 2	Order Date Apr 24, 2014	Ship Via FEDEXP	Terms PREPAYMENT
---------------------	------------------------	-------------------	------------------	----------------------------	--------------------	---------------------

Quantity.	Item Number 170420 MC0000	Description LENS, BI-CONCAVE, 25.4 DIA X -50. F/L, UNCOATED Shipping and Handling Charge Expected Ship Date: April 24, 2014 <u>Wire Transfer Bank Information</u> Name of Bank: United Bank of El Paso Del Norte Bank Address: 125 Mesa Hills Drive, El Paso, TX 79912, USA Telephone #: (915) 231-2500 AWB#: 112024437 Account #: 5505037 Account Name: Ross Optical Industries	Unit Price 168.00	UOM EA	Extended Price 168.00 75.00

Comments:	Tax Summary: TX 0.00	Less Included Tax 0.00 Order Discount 0.00 Subtotal 243.00 Total sales tax 0.00 Total order 243.00
-----------	-------------------------	---

**ANEXO 21 : PRESUPUESTO DE VY OPTICS PHOTOELECTRIC TECHNOLOGY
Co.,LTD.**

PRICE LIST - QUOTATION					
No.	Description of Items	Qty(pcs)	Unit Price (dollars)	Totally(dollars)	Delivery(working day)
1	A bi-concave lens,blk7,Focal length of -50mm,Diameter 50mm,Center thickness 2 or 2.5mm,Edge thickness 15mm,Surface quality 60-40,Without coating	10	28.50	285.00	40
		100	20.85	2,085.00	40
NOTES:	All items are environmental friendly.				
	Trade Terms:FOB Changchun				
	Terms of Payment:T/T prepaid totally				
	Please give feedback about test result of item in one month,after service is available in one month only.				
	We Reserve The Right Not To Accept An Order If the Buyer Has Not Stamped & Signed Proforma Invoice				

ANEXO 22 : PRESUPUESTO DE PLÁSTICOS FERPLAST POR LA CUBA



Fabricación, transformación y comercialización de plásticos

- Metacrilato • Polietileno • PETG • P.V.C. espumado
- Polícarbonato • Poliestireno • P.V.C. Compacto • Otras materias

- Mecanizados C.N.C. • Moldeo de piezas • Asesoramiento técnico
- Corte por laser • Corte a medida • Servicio urgente 24 h.
- Encolados de precisión • Prototipos y piezas especiales • Almacenaje de stocks
- Venta al mayor y al detalle • Transporte

Pressupost/Presupuesto/Budget

Tel.

Nº Doc.	Nº Client.	Data/Fecha	Pg.
INT/10887	99999	15/05/2014	1/1
n/Ref.	s/Ref.	Responsable	

Myriam DERRE

CIF / NIF: A00000000

Cod.	Descripció /Descripción/Description	Uni.	Pr.Un.		Parcial
PIEZA PVC - PIEZA PVC GRIS S/PLANO CUBA		1,00	131,00		131,00
Precio unitario para la fabricación y suministro de 1 Cuba de PVC Gris de 5mm grosor, s/ plano Cuba.					
TRANS.V/// - TRANSPORTE A CONCRETAR		1,00			
Plazo de entrega: 4-5 Días.					
Import Net/Importe Neto/Net Amount	B. Imponible	21 % IVA		TOTAL/TOTAL AMOUNT	
131,00	131,00	27,51		158,51 €	

OBSERVACIONES: Bultos 0 - Peso Bruto 0	TRANSF. 00190026604010023963 CCC: Vencimiento Importe 15/05/2014 158,51
---	--

Inscrita en el Reg. Mercantil de Barcelona, Tomo 30.635, Folio 0211, Hoja B-17705, Inscripción 2º, N.I.F. B-58.989.070

www.plasticosferplast.com

info@plasticosferplast.com

OFICINAS - FÁBRICA - TIENDA

C/. Valls, 69 (Pol. Ind. Siglo XX) • 08220 Terrassa (Barcelona) España
Tel.: (+34) 93 785 11 66 • Fax: (+34) 93 731 01 52

4. DISEÑO DEL CONJUNTO

ANEXO 23 :TABLA RECAPITULATIVA DE LAS PIEZAS DEL CONJUNTO.

a. *Los componentes a realizar*

Tipo	Nombre del plano	Nº	Esfuerzos	Otro	Material	Técnica	Reemplazamiento
Placa soporte cuba	Soporte cuba	1	Peso de la cuba llenada de resina		Acero	Corte	Modificar los agujeros si se cambia el soporte de los guías
Placa soporte motor	Soporte motor	1	Peso del motor		Acero	Plegado	
Placa soporte proyector	Soporte proyector	1	Peso del proyector, de la lente divergente (3kg)		Acero	Corte	
Soporte Lente divergente 1	Soporte Lente Divergente	1	Peso de la lente (75g) (flexión)	Calidad de las superficies	Metal o resina	Mecanizado	
Soporte Lente divergente 2		1					
Soporte Lente de Fresnel	Soporte Lente de Fresnel	1	Peso dela lente de Fresnel	Calidad de las superficies + tornillos	Metal	Mecanizado	
Fijación soporte Lente de Fresnel		4			Metal	Mecanizado	
Escuadra fijación columna	Guía Lente de Fresnel	3		Alineación de los ejes	Metal	Plegado	
Placa fijación columna		3		Alineación de los ejes	Metal	Mecanizado	
Guía columna		3		Alineación de los ejes	Metal	Mecanizado	
Soporte guía bajo		4	Peso de la guía (300g) + conjunto Lente de Fresnel (1kg/4)	Alineación de los ejes			RK Rose + Krieger K3 0018 CC S R12
Guía soporte 1		3	Peso del conjunto de la lente de Fresnel (1kg/3)	Cilíndrico	Metal	Mecanizado	a modificar longitud y diámetro si se cambia el soporte
Guía soporte 2		1	Peso del conjunto de la lente de Fresnel (1kg/4)		Metal	Mecanizado	
Cuba 170 x 300 mm	Cuba 170 x 300 mm	1		Opaco			
Soporte pieza	Soporte Pieza	1	Peso pieza	Flexión	Metal	Mecanizado	
Soporte 1		1	Peso pieza + Soporte pieza	Flexión + tornillos	Metal	Mecanizado	
Soporte 2		1	Peso pieza + Soporte pieza + Soporte 1	Tornillos	Metal	Mecanizado	

b. Los componentes comerciales

Parte	Tipo	Características	Nº	Fabricante	Referencia	Precio unidad	Precio total
Estructura	Perfil	Lado 25mm longitud 625mm, fileteada	4	MK Technology Group www.mk-group.com	(MK_)25.01.0625		- €
		Lado 25mm longitud 455mm	6		(MK_)25.01.0455		- €
		Lado 25mm longitud 310mm	6		(MK_)25.01.0310		- €
		Lado 25mm longitud 206mm	2		(MK_)25.01.0206		- €
	Fijación	Unión 2 perfiles de 25mm con tornillos	32		T25.50.1010		- €
		Escuadra plata de unión de 2 perfiles de 25mm con tornillos	2		T25.50.3006		- €
		Escuadra para unir 1 perfil de 25mm y un perfil de 50mm con tornillos	1		T25.50.1020		- €
	Tuerca	Tuerca para unir placa a un perfil de 25mm	16		M5.25.50.0500		- €
			16		M5x8 D691258		- €
		Tornillos y tuercas M2x15	12				- €
		Tornillos y tuercas M5x15	4				- €
		Tornillos y tuercas M2x30	6				- €
Pies	Pies regulables en altura M<M8	4	RK Rose + Krieger	4816300 o 4006311 (amortización vibración)			- €
	Pasador de colocación	7					- €
Sistema óptico	Proyector	Ya comprado	1	Acer	Acer X1311KW	- €	- €
	Tornillos	Ya presente sobre el sistema (fijación proyector)	3			- €	- €
		Tornillos M2x6	5			- €	- €
		Tornillos M4x10	3			- €	- €
	Lente	Tornillos y tuercas M2x10	8			- €	- €
		Lente divergente DF=50mm, Ø=50mm, Edge thickness=16mm	1	Ross Optical www.rossoptical.com	170420 LENS, BI-CONCAVE, 50.8 DIA X -50. F/L, UNCOATED	121,10 €	121,10 €
		Lente de Fresnel DF=208,28mm, longitud 280mm	1		Nº de Stock #32-597	99,75 €	99,75 €
		Lente de Fresnel DF=220mm, longitud 280mm	1		BHPA220-2-2	23,00 €	23,00 €
	Sistema de desplazamiento	todo el sistema ya presente sobre la impresora 3D	1	Ya presente, recorte de los perfiles y re-mecanización del eje roscado		€	€
		M4x10 avellanado	4			€	€
		M2x10	2			€	€
Escuadra	Escuadra para unir 1 perfil de 25mm y una placa con tornillos	1	MK Technology Group www.mk-group.com	T25.50.1020			€
	Pasador de liberación rápida Ø5x10	2					€

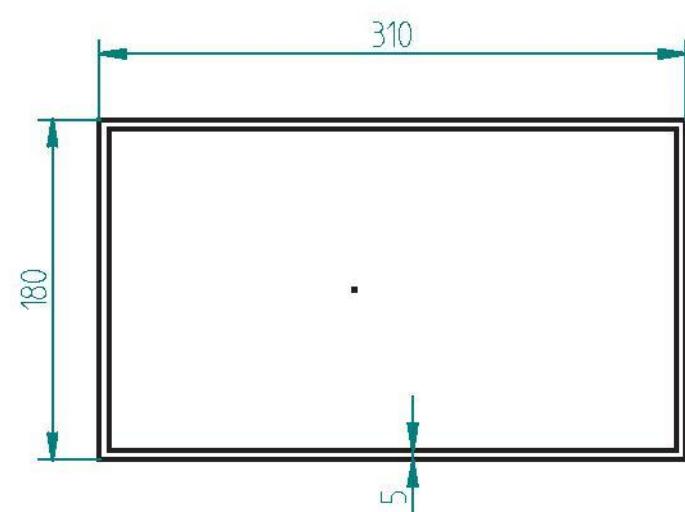
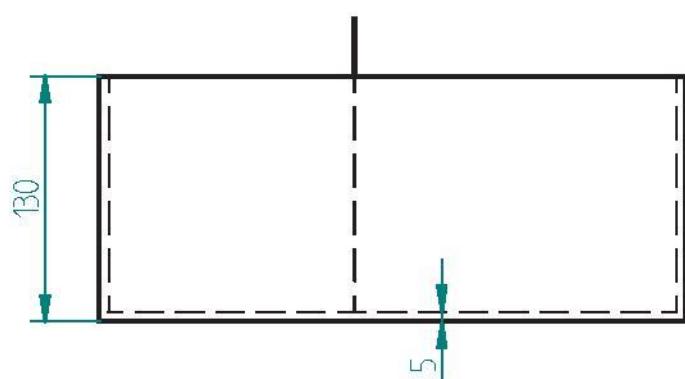
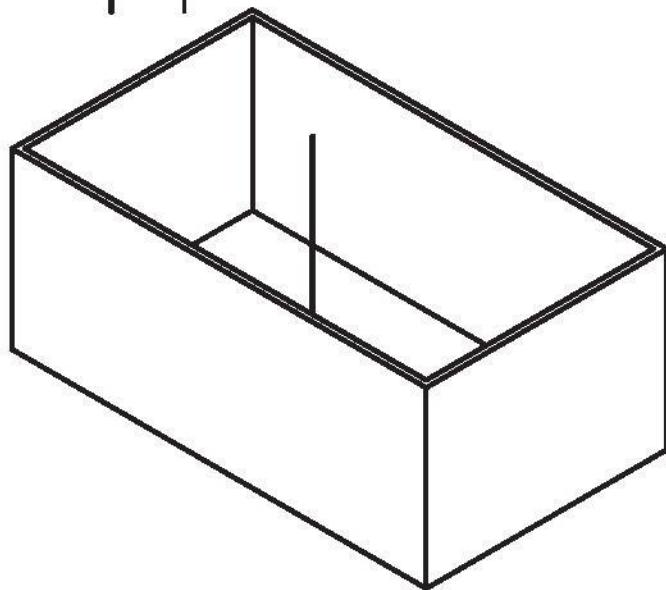
ANEXO 24: PLANO DES PIEZAS

En las páginas siguientes se encuentra los planos de:

- La cuba y su evolución posible
- El soporte de la cuba
- El soporte del motor
- El soporte de los pies de la estructura
- El conjunto del soporte de la pieza
- El sistema de guía de la lente de Fresnel
- El soporte de la lente de Fresnel en una pieza y en cuatro
- El soporte de la lente divergente
- El soporte del proyector

Revisiones

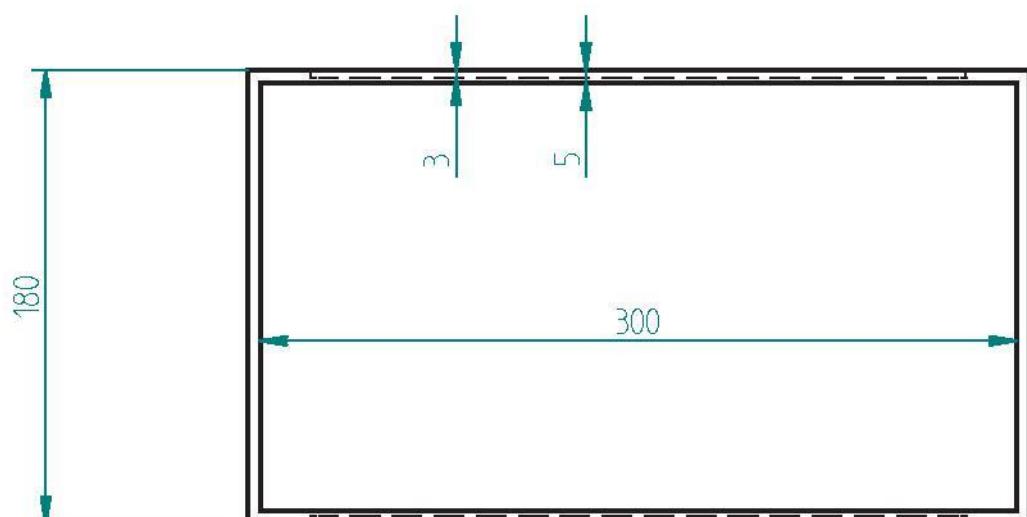
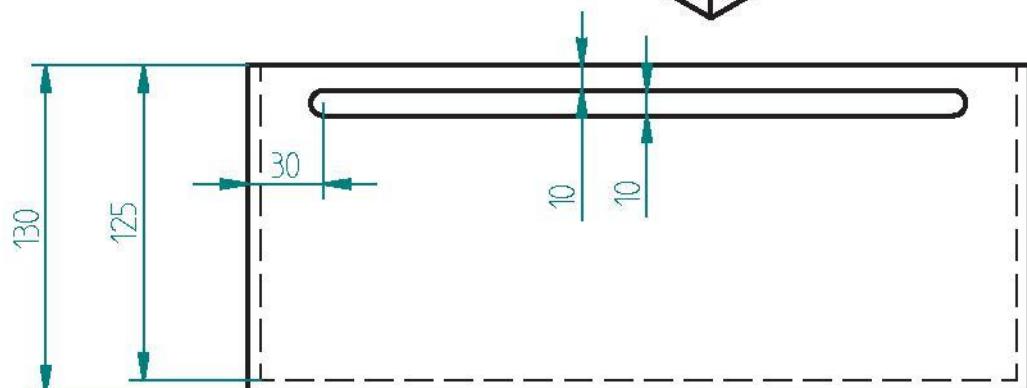
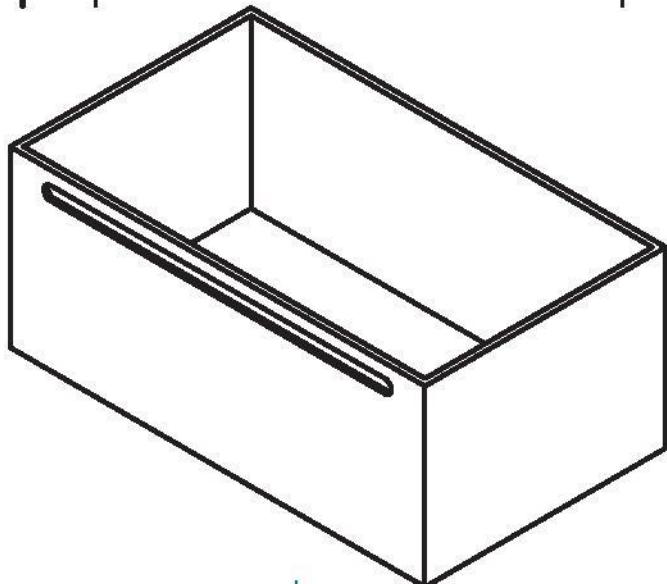
Rev	Descripción	Fecha	Aprobado



	Nombre	Fecha	Solid Edge ST Siemens PLM Software	
Dibujado	Myriam DERRE	2014		
Comprobado			Título	
Aprobado 1			Cuba	
Aprobado 2				
Salvo indicación contraria cotas en milímetros ángulos en grados tolerancias $\pm 0,5$ y $\pm 1^\circ$			A4	Plano
				Rev
Archivo: cuba 170 x 300 mm.dft				
Escala 1:4		Peso	Hoja 1 de 1	

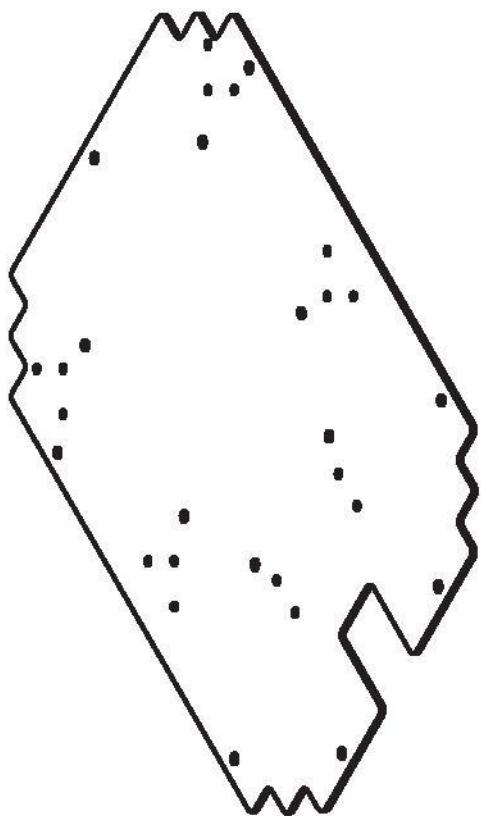
Revisiones

Rev	Descripción	Fecha	Aprobado

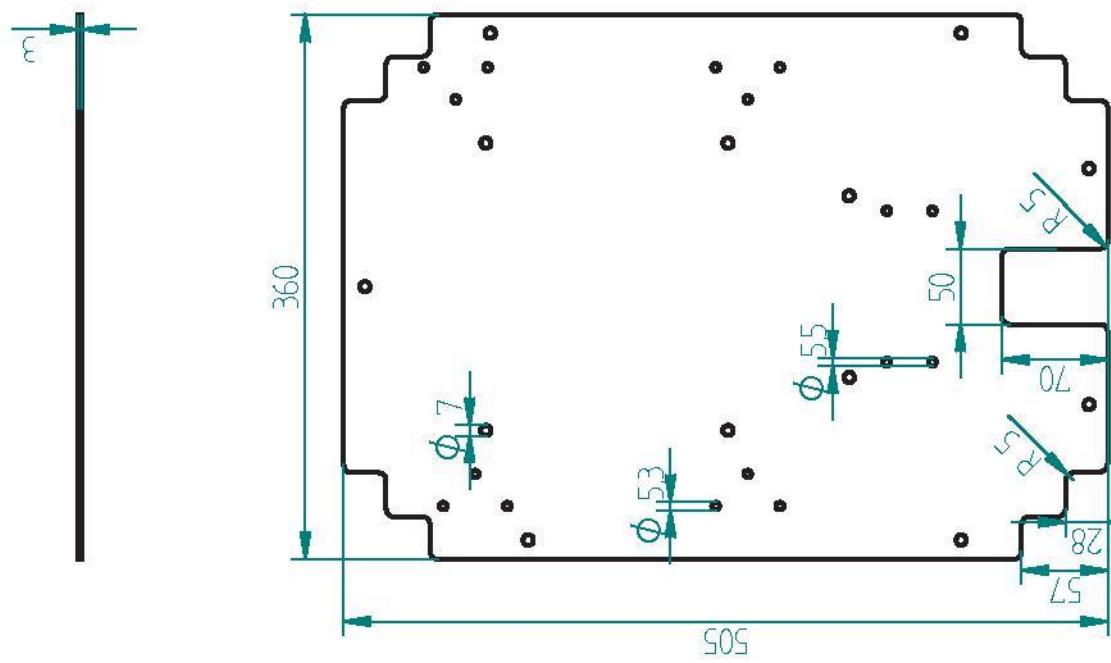


Dibujado	Myriam DERRE	Fecha	Solid Edge ST Siemens PLM Software		
Comprobado					
Aprobado 1					
Aprobado 2					
Salvo indicación contraria cotas en milímetros ángulos en grados tolerancias $\pm 0,5$ y $\pm 1^\circ$			A4	Plano	Rev
Archivo: cuba 170 x 300 mm evolución.dft					
Escala 1:3		Peso	Hoja 1 de 1		

Rev	Revisores	Descripción	Fecha	Aprobado

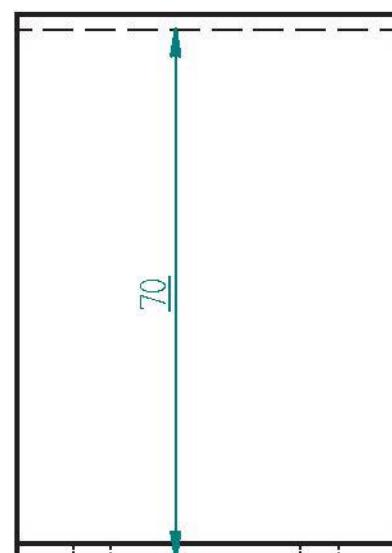
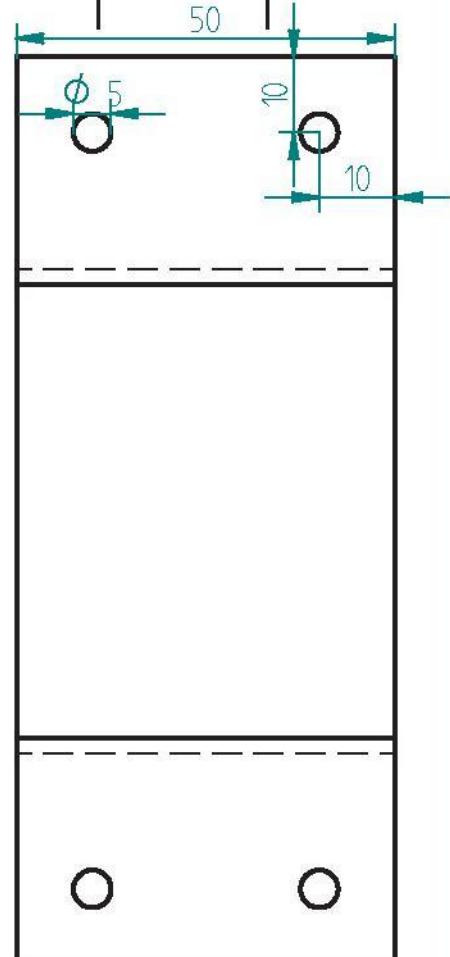
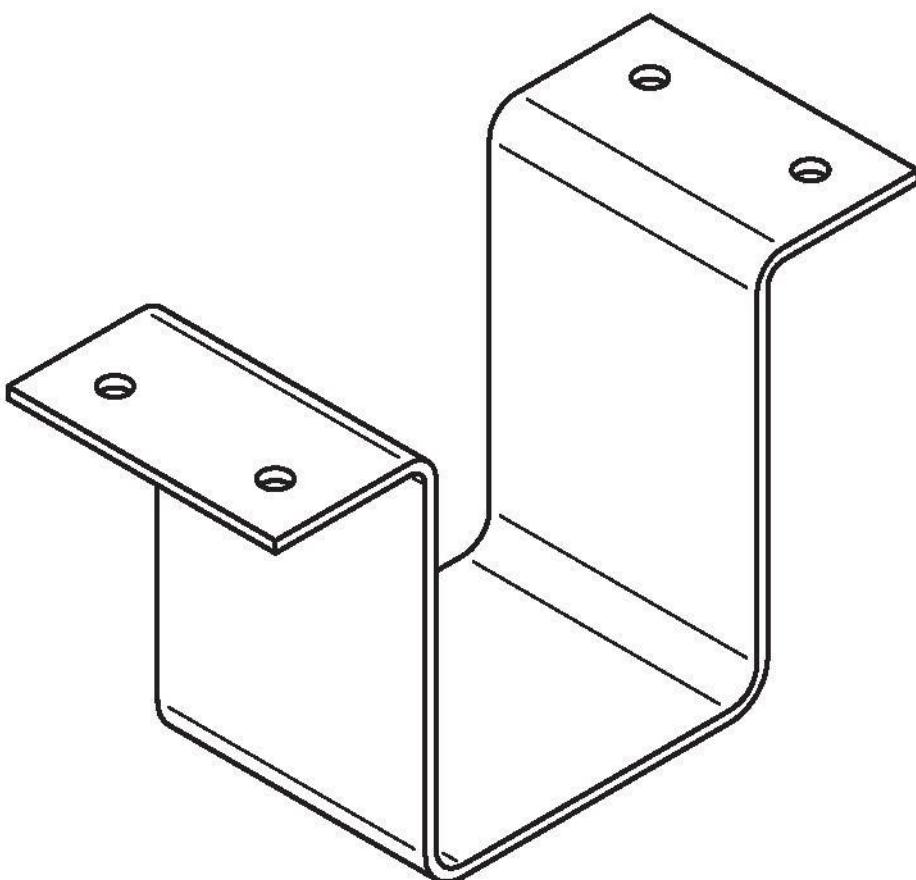


Solid Edge ST		Nombre	Fecha	Rev	
Dibujado	Didyf-Lab	2014			
Comprobado					
Aprobado 1					
Aprobado 2					
		Placa soporte cuba			
Título		A4		Plano	
Salvo indicación contraria					
colas en milímetros					
ángulos en grados					
tolerancias $\pm 0,5$ y $\pm 1^\circ$					
		Escala 1:5		Peso	
				Hoja 1 de 1	



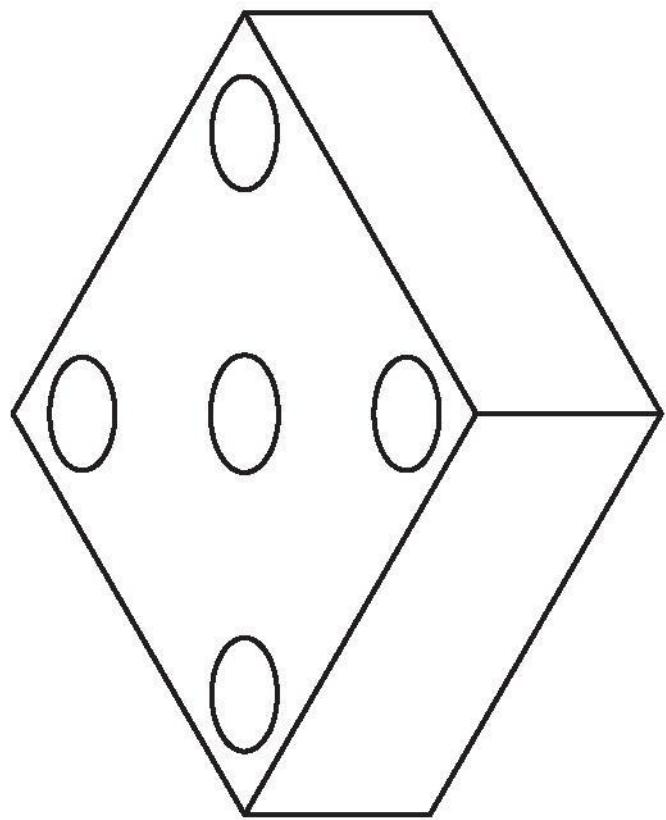
Revisiones

Rev	Descripción	Fecha	Aprobado

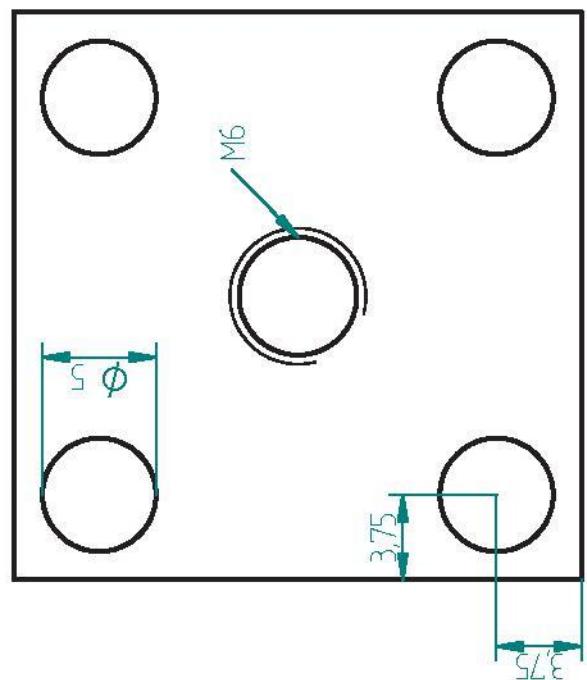
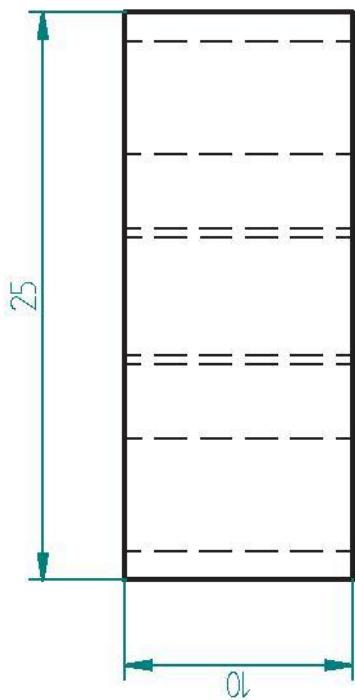


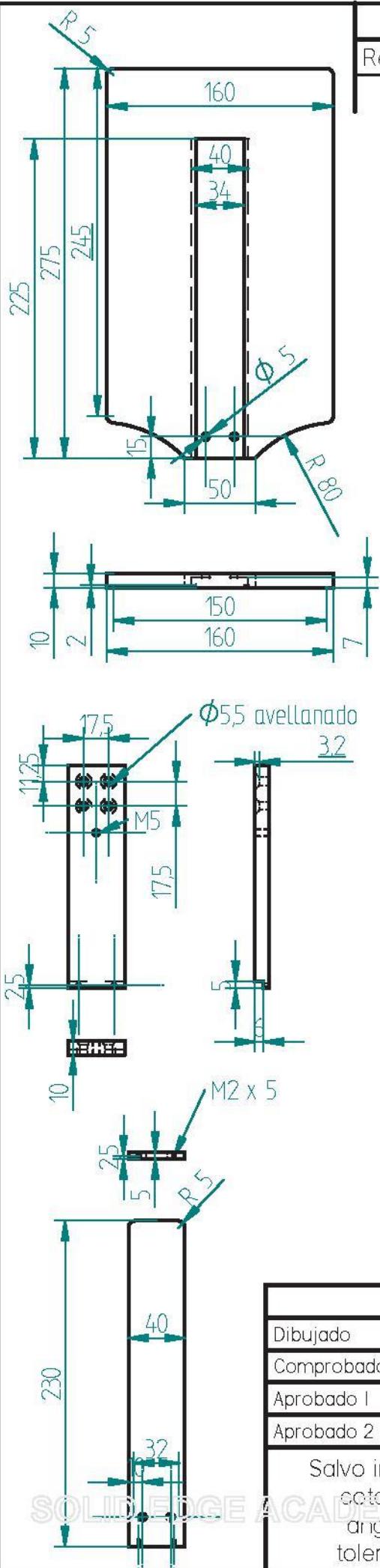
Dibujado	Myriam DERRE	Fecha	Solid Edge ST Siemens PLM Software		
Comprobado					
Aprobado 1			Título		
Aprobado 2			Placa soporte motor		
Salvo indicación contraria cotas en milímetros ángulos en grados tolerancias $\pm 0,5$ y $\pm 1^\circ$			A4	Plano	Rev
			Archivo: Soporte motor.dft		
Escala 1:1		Peso	Hoja 1 de 1		

Rev	Revisores	Descripción	Fecha	Aprobado

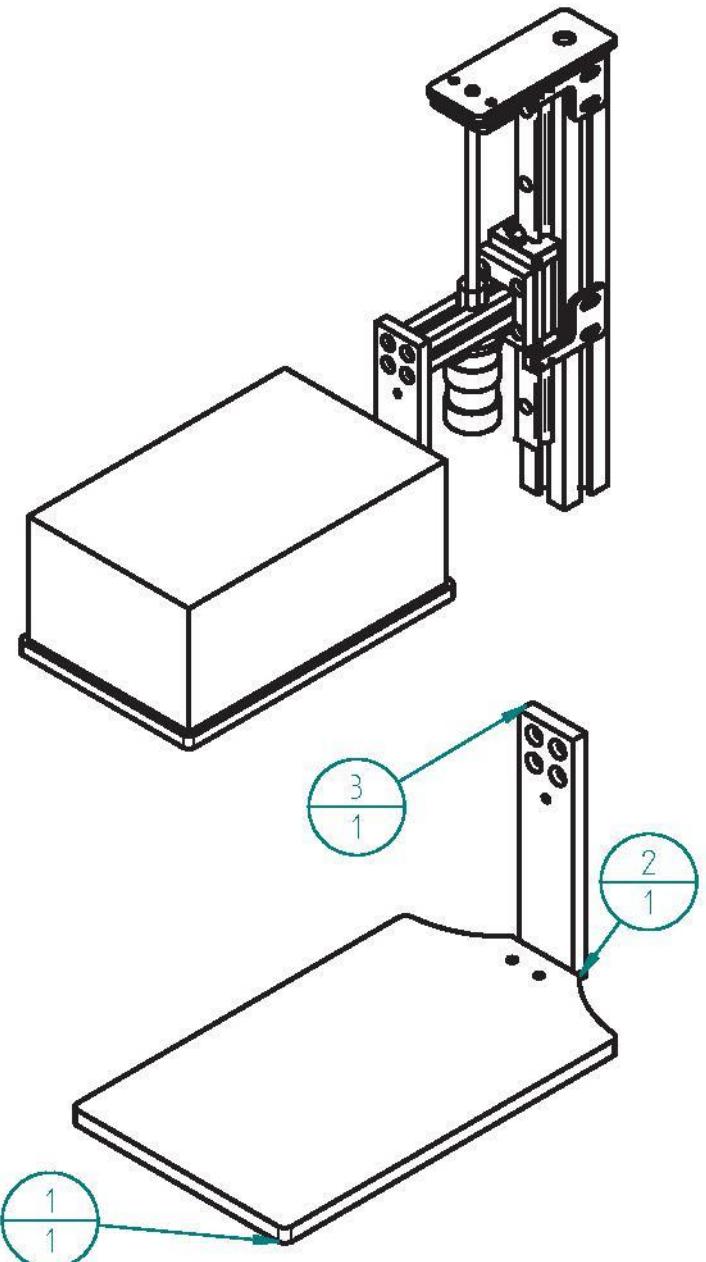


Solid Edge ST		Nombre	Fecha	Siemens PLM Software	Rev
Dibujado	Myriam DERRE	2014			
Comprobado					
Aprobado 1					
Aprobado 2					
Placa soporte de los pies regulable					
Título					
A4		Plano			
Salvo indicación contraria					
cotas en milímetros					
ángulos en grados					
tolerancias $\pm 0,5$ y $\pm 1^\circ$					
Escala 3:1		Peso		Hoja 1 de 1	
Archivo: Soporte piedfit					

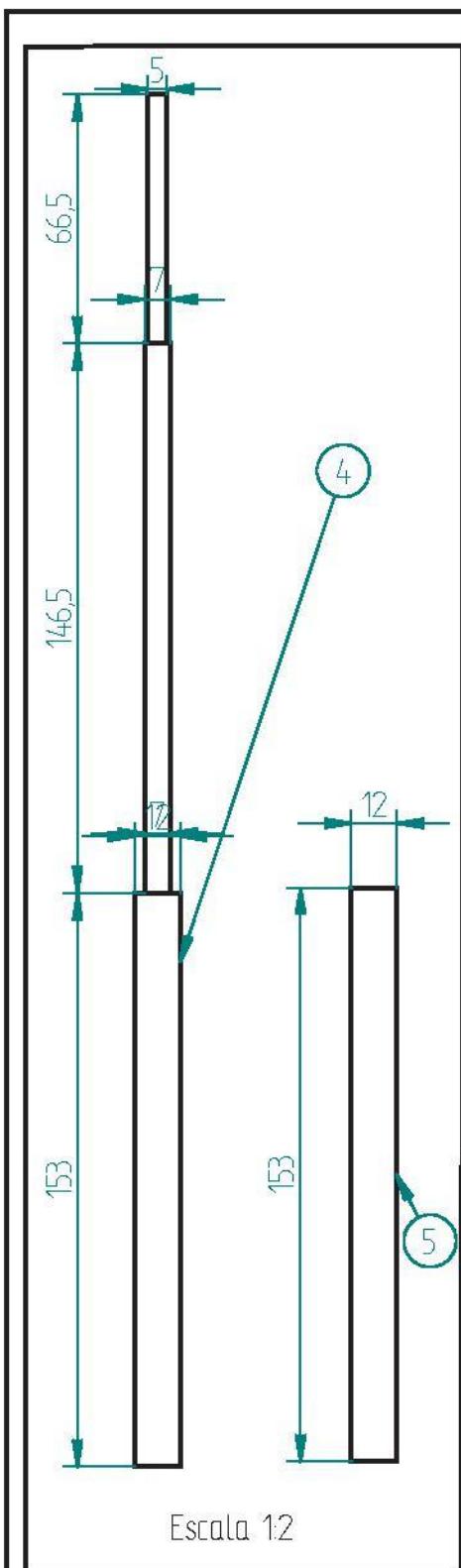




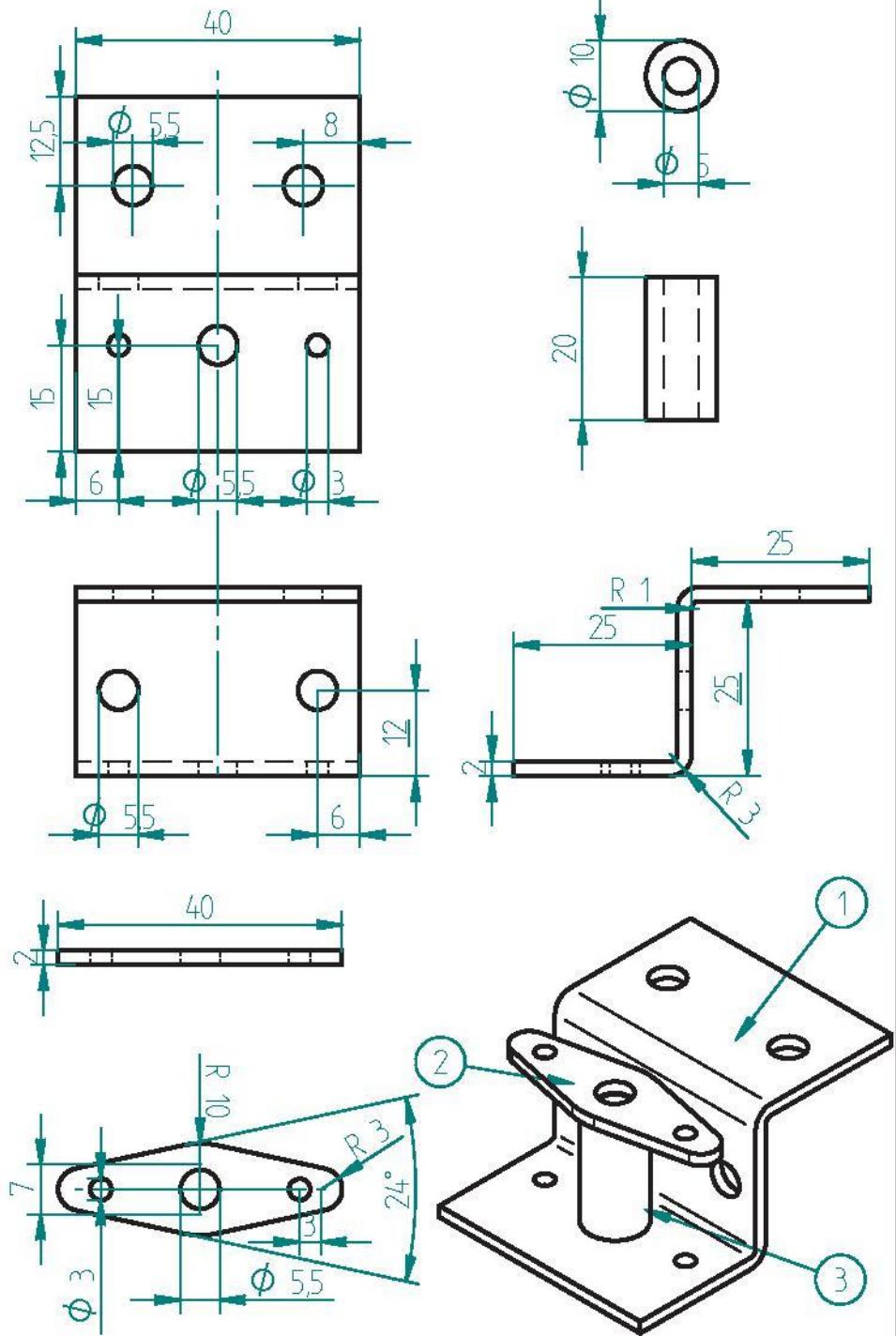
Revisiones			
Rev	Descripción	Fecha	Aprobado
Número de elemento	Nombre archivo (sin extensión)	Cantidad	
1	Placa soporte 250x 160	1	
2	Soporte1	1	
3	Soporte2	1	



	Nombre	Fecha	Solid Edge ST Siemens PLM Software		
Dibujado	Myriam DERRE	2014			
Comprobado			Título Soporte pieza		
Aprobado 1					
Aprobado 2					
Salvo indicación contraria cotas en milímetros ángulos en grados tolerancias $\pm 0,5$ y $\pm 1^\circ$			A4	Plano	Rev
Archivo: Soporte pieza.dft					
Escala 1:4		Peso	Hoja 1 de 1		



Revisiones			
Rev	Descripción	Fecha	Aprobado



Piezas del dibujo	
ref	Nombre
1	Escuadra de fijación de guía
2	Placa fijación columna
3	Guía columna
4	Guía soporte 1
5	Guía soporte 2

Solid Edge ST

Siemens PLM Software

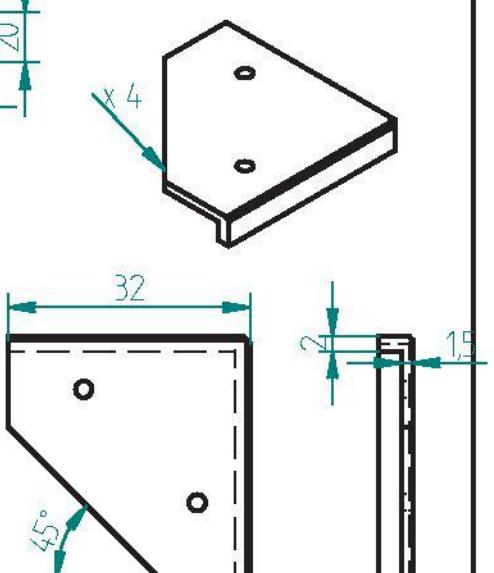
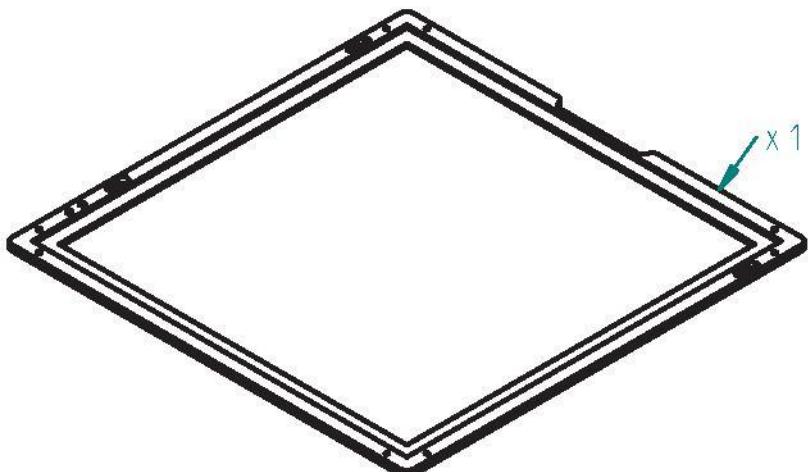
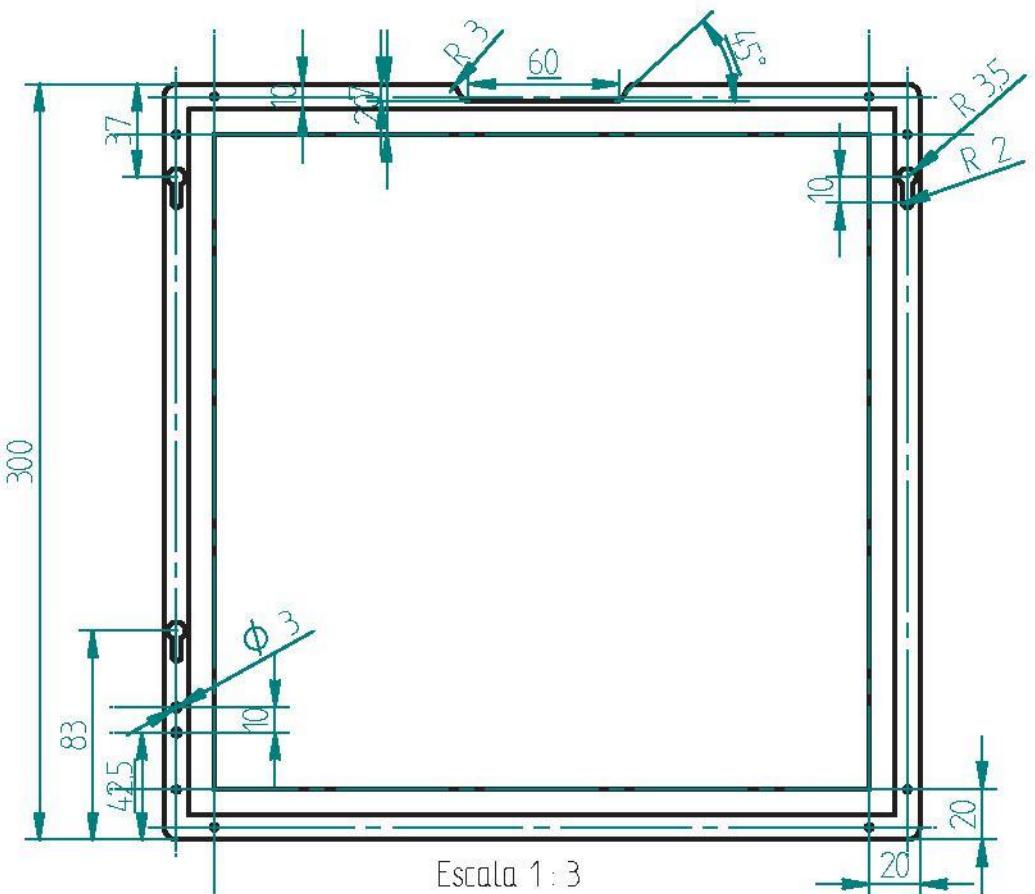
Título

Pieza de la guía de la lente de Fresnel

Salvo indicación contraria
cotas en milímetros
ángulos en grados
tolerancias ± 0.5 y $\pm 1^\circ$

A4	Plano	Rev
Archivo: Guia lente de Fresnel 2.dft		
Escala 1:1	Peso	Hoja 1 de 1

Revisiones			
Rev.	Descripción	Fecha	Aprobado
300			



Escala 1:3

Escala 1 : 1

	Nombre	Fecha
Dibujado	Myriam DERRE	2014
Comprobado		
Aprobado 1		
Aprobado 2		

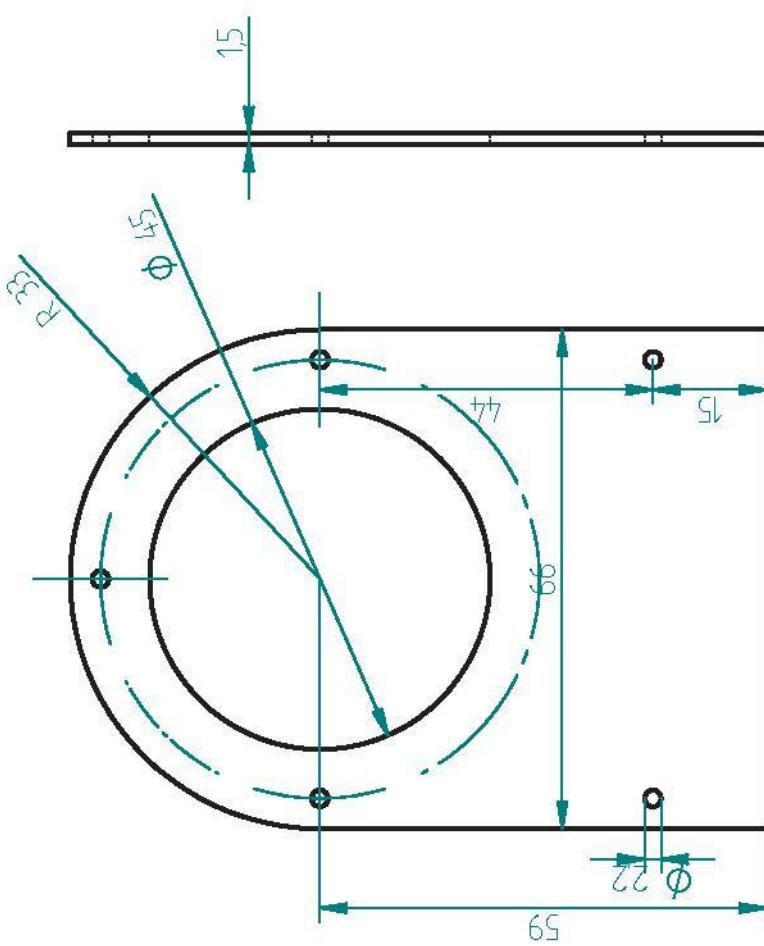
Solid Edge ST
Siemens PLM Software

Soporte lente de Fresnel

Salvo indicación contraria
cotas en milímetros
ángulos en grados
tolerancias $\pm 0,5$ y $\pm 1^\circ$

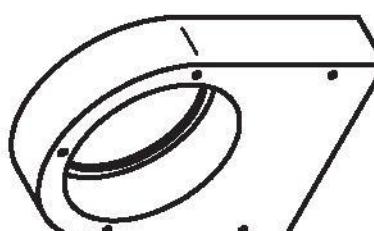
A4	Plano	Rev
Archivo: Soporte Lente de Fresnel.dft		
Escala 1:3	Peso	Hoja 1 de 1

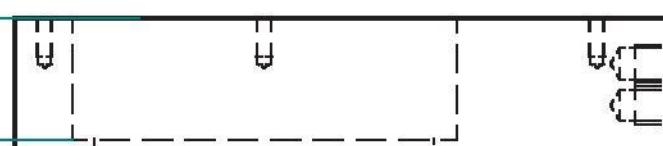
Rev	Descripción	Fecha	Aprobado						
Revisiones									

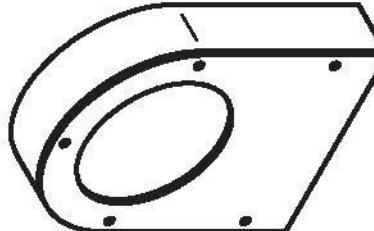


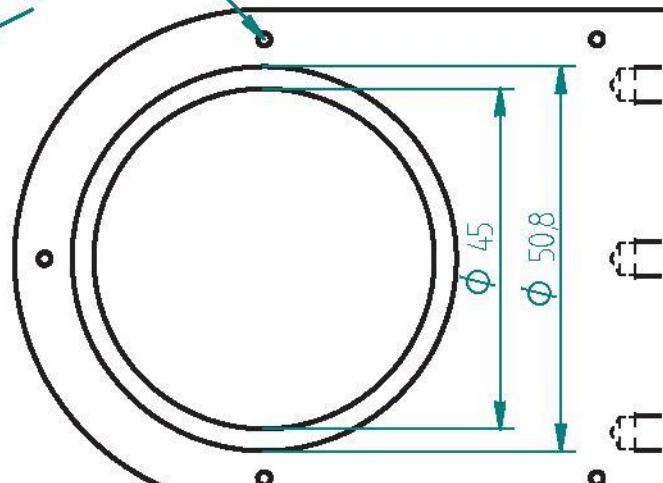
Solid Edge ST Siemens PLM Software		
Título: Soporte lente divergente		
Nombre	Fecha	Rev
Dibujado Myriam DERRE	2014	
Comprobado		
Aprobado 1		
Aprobado 2		

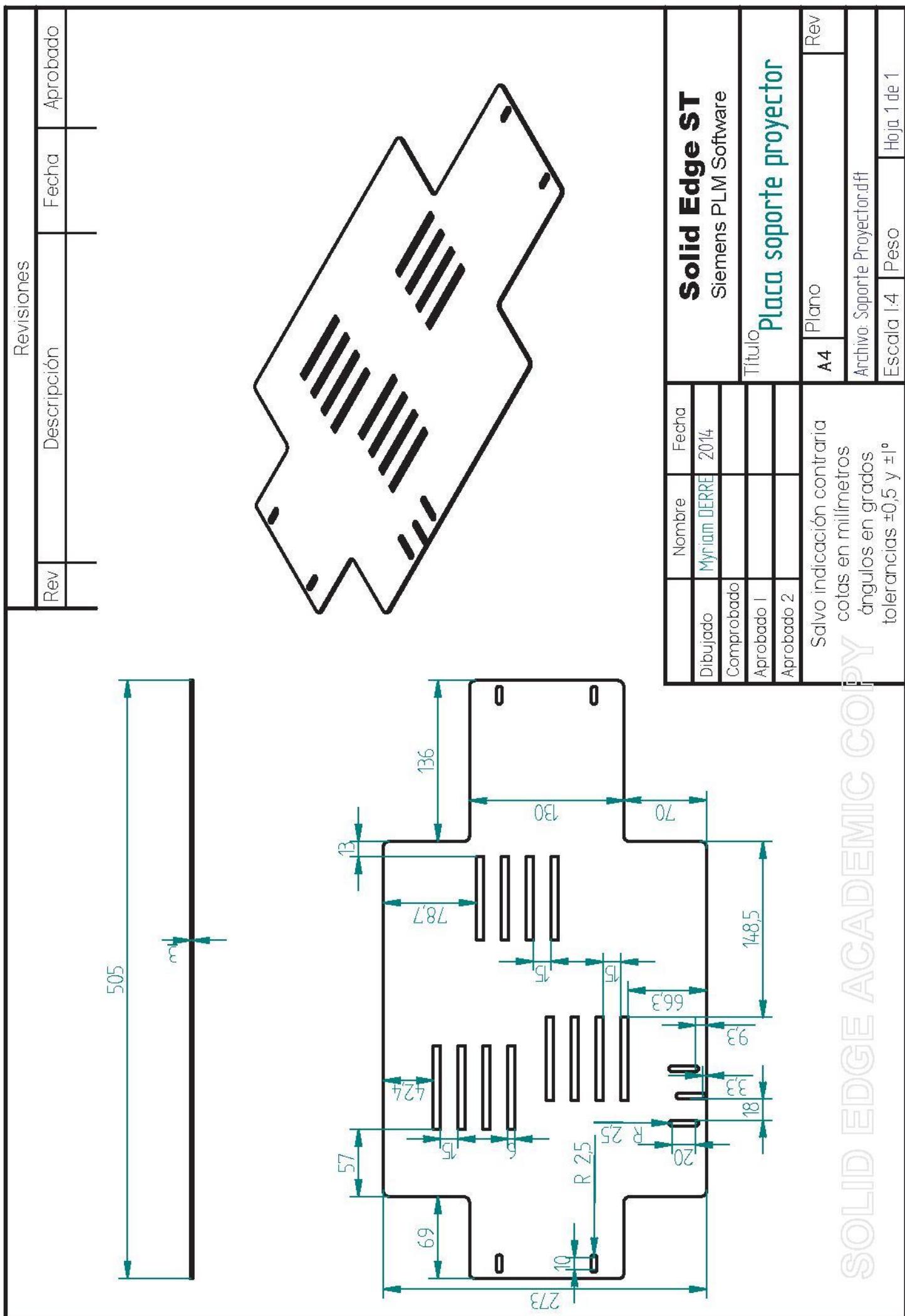
Salvo indicación contraria
cotas en milímetros
ángulos en grados
tolerancias ± 0.5 y $\pm 1^\circ$











ANEXO 25: IMÁGENES DE LA SOLUCIÓN ELEGIDA

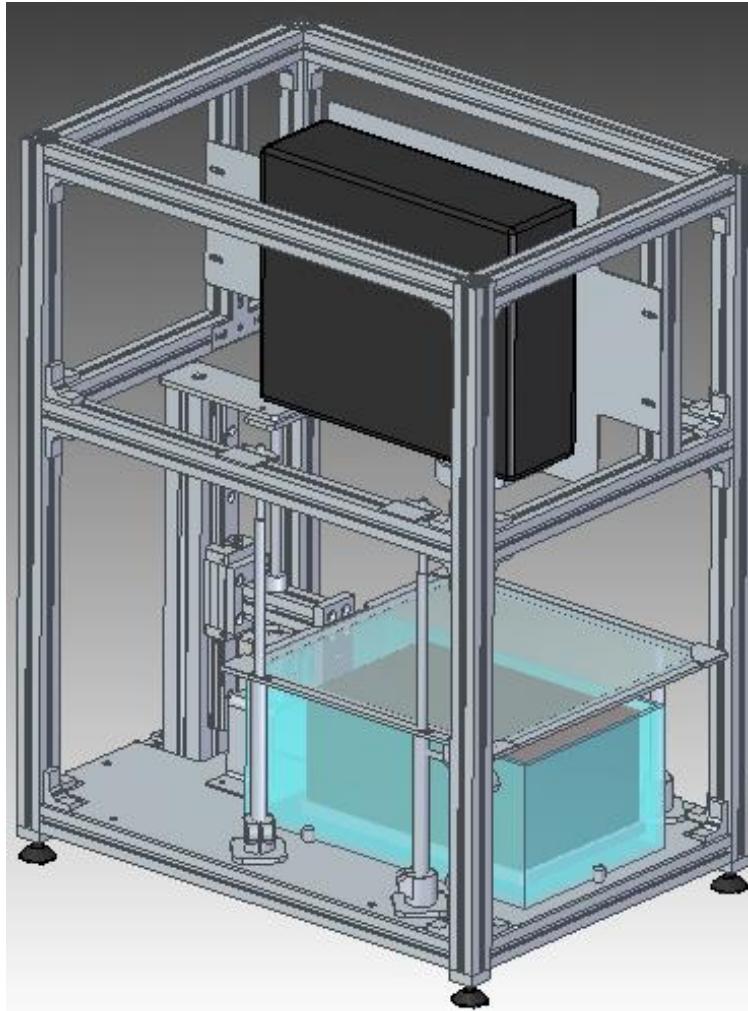


Figura 18 - Impresora 3D posición baja

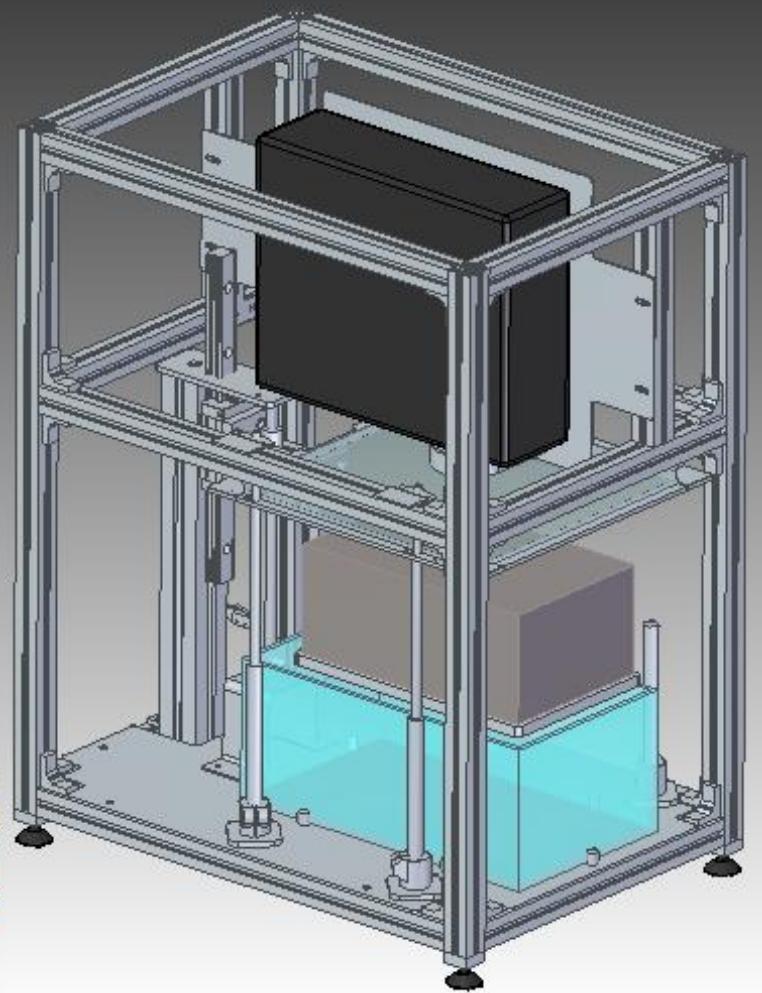


Figura 17 - Impresora 3D posición alta

5. ENSAYOS DEL SISTEMA DE PROYECCIÓN

ANEXO 26: LOS ENSAYOS

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

Nº del ensayo	Tipo	Objetivo
1	Sin lente	Obtener una 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.

ENSAYO 1: SIN LENTE DIVERGENTE Y SIN LENTE DE FRESNEL

En este ensayo se realiza el modelo de base con lo cual se puede comparar los resultados de los ensayos siguientes.

a. Realización

Se realizan al principio unos ensayos horizontales para verificar la distancia L_1 teórica y obtener distancias de referencias. Por eso se proyecta un cuadrado de 50 x 50 mm sobre una pantalla móvil en la longitud. Se utiliza el enfoque y el zoom del proyector para obtener imágenes netas y/o del buen tamaño.

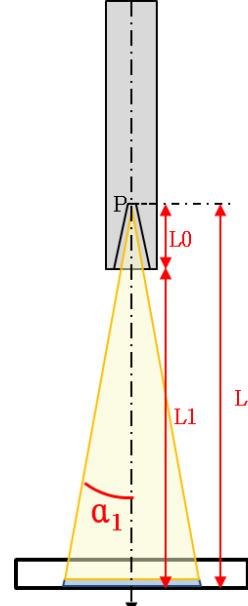


Figura 19 - Esquema del ensayo 1

Se obtiene los resultados siguientes:

	1	2	3	4	5
	Obtención de la primera imagen neta	Obtención de una pantalla de 150x240 mm (\approx) sin zoom	Obtención de una pantalla de 150x240 mm (\approx con zoom)	Obtención de una imagen a la escala 1:1 (\approx) sin zoom	Obtención de una imagen a la escala 1:1 (\approx) con zoom
L_1	248,5 mm	356 mm	343 mm	314 mm	299 mm
L_1 th		Entre 325 mm o 337 mm			
Explicación		La diferencia puede explicarse porque no se puede realizar el enfoque para el zoom a esta distancia			
Tamaño imagen ($\pm 0,5$ mm)	39 x 39 mm	53 x 52,5 mm	54 x 52,5 mm	49,5 x 47,5 mm	46 x 48 mm
Coef corrector de la imagen	L: +28,21% A: +28,21%	L: -5,66% A: -1,96%	L: -7,41% A: -4,76%	L: +1,01% A: +5,26%	L: +8,70% A: +4,17%
Tamaño pantalla ($\pm 0,5$ mm)	117 x 182 mm	156 x 241 mm	156,5 x 241 mm	142 x 219 mm	135 x 213 mm

Pues se realizan unos ensayos de fabricación de una pieza con el proceso siguiente:

- Colocar el proyector aproximadamente a $L_1 = 325$ mm de la cuba
- Poner dentro de la cuba una imagen a la escala 1:1
- Proyectar la imagen precedente dentro de la cuba
- Enfocar la imagen gracias al zoom y el enfoque del proyector
- Ajustar el tamaño de la imagen con un coeficiente de corrección de la imagen proyectada
- Rellenar la cuba de resina
- Proyectar la imagen del ensayo durante 10 segundos (20 para la primera capa)
- Desplazar el soporte de la pieza (de 0,1 mm) y realizar otra capa (x4)
- Mesurar las varias dimensiones de la imagen y de la pieza: A_1 , A_2 a dos alturas
- Calcular el ángulo: α_1

b. Resultados

Al final con tres ensayos de realización de piezas de tamaño variado se obtienen los resultados siguientes:

		Dimensión a (mm)				Angulo (Rad)			Angulo (grado)			Promedio	Desviación típica
		250 mm	325 mm	1	2	medio	1	2	medio	1	2		
Ensayo A				No concluyente									
Ensayo B				21	21	26,61	26,1	0,075	0,068	0,071	4,278	3,890	4,084
				25	24	30,72	29,69	0,076	0,076	0,076	4,361	4,339	4,350
				25	24	30,35	29,28	0,071	0,070	0,071	4,080	4,027	4,054
				25	24	30,62	29,74	0,075	0,076	0,076	4,285	4,377	4,331
				Promedio			0,074	0,074	0,074	4,242	4,247	4,245	
				Desviación típica			0,003	0,003	0,003	0,145	0,192	0,169	
Ensayo E	Sin lente											4,205	0,158

El ángulo de proyección es “grosso modo” de $4,2^\circ$.

ENSAYO 2: CON UNA LENTE DIVERGENTE Y SIN LENTE DE FRESNEL

En este ensayo se estudia el impacto de la lente divergente sobre la diminución de la altura de la impresora y sobre la calidad de la pieza

a. Realización de los ensayos

Como para el primer ensayo, se realizan al principio unos ensayos horizontales para verificar las distancias L_1 teóricas. Por eso se proyecta un cuadrado sobre una pantalla móvil en la longitud. Se desplaza la lente divergente para encontrar la distancia ideal de colocación de la lente divergente. Para eso se puede modificar la distancia entre el proyector y la pantalla (se empieza con $L_1+L_2 = 194$ mm). También se puede modificar el enfoque y el zoom del proyector para obtener imágenes netas.

b. Resultados

Con este ensayo se nota que no se puede obtener una imagen neta con la lente divergente cualquier sea su colocación o la de la pantalla. Si el tamaño de la imagen aumenta de manera significativa, la difracción de la luz es demasiado importante y no se puede obtener un

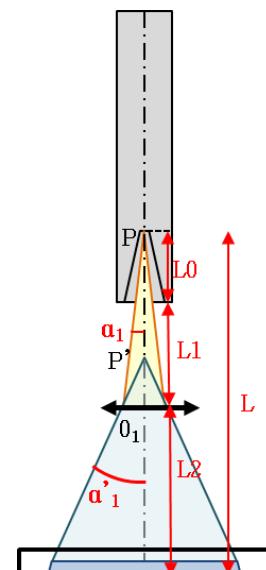


Figura 20 - Esquema del ensayo 2

contorno neto. Eso puede ser debido al espesor de la lente, al hecho que el diámetro de la lente es próximo de su distancia focal o a un defecto de la lente pero no hay manera barata de verificar eso.

No se puede realizar más ensayos sobre esta parte.

ENSAYO 3: CON UNA LENTE DIVERGENTE Y UNA LENTE DE FRESNEL

En este ensayo se estudia el impacto de la lente de Fresnel sobre la calidad de la pieza cuando se utiliza una lente divergente.

Debido que la lente divergente no permite la obtención de una imagen de buena calidad no se realiza este ensayo.

ENSAYO 4: CON UNA LENTE DE FRESNEL

En este ensayo se estudia el impacto de la lente de Fresnel sobre la calidad de la pieza en general.

Para obtener una imagen perfectamente paralela de se debe poner la origen de la proyección dentro del plano focal de la lente de Fresnel. O sea entre 171,28 y 183,23 mm de la caja del proyector (en función del enfoque). Pero como la primera imagen neta se obtiene a 248,5 mm no podemos obtener una imagen perfectamente neta de esta manera. Sin embargo, la lente de Fresnel tiene que mejorar la pieza por la reducción del ángulo de proyección.

a. Evaluación de la reducción del ángulo.

La distancia focal de la lente de Fresnel es de 208,28mm.

En la tabla siguiente se presenta una tabla que define el ángulo después de la lente de Fresnel en función de su distancia focal y de su distancia al origen de la proyección. Para un ángulo inicial de $\alpha_1 = 4^\circ$

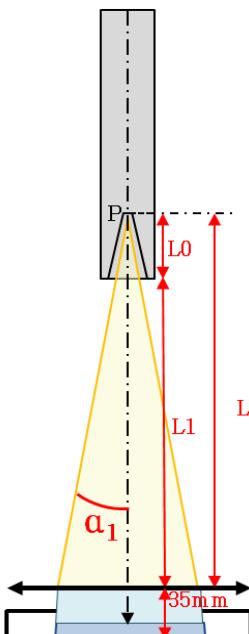


Figura 21 - Esquema del ensayo 4

α_2 (en grado)	Distancia focal									
	208,28	210	220	235	254	275	280	300	330	
Distancia al origen	208,28	0,00	0,03	0,21	0,46	0,72	0,97	1,03	1,22	1,48
210,00	-0,03	0,00	0,18	0,43	0,69	0,95	1,00	1,20	1,46	
215,00	-0,13	-0,10	0,09	0,34	0,62	0,87	0,93	1,14	1,40	
220,00	-0,23	-0,19	0,00	0,26	0,54	0,80	0,86	1,07	1,34	
230,00	-0,42	-0,38	-0,18	0,09	0,38	0,66	0,72	0,93	1,21	
235,00	-0,51	-0,48	-0,27	0,00	0,30	0,58	0,64	0,87	1,15	
240,00	-0,51	-0,48	-0,27	0,00	0,30	0,58	0,64	0,87	1,15	
250,00	-0,80	-0,76	-0,55	-0,26	0,06	0,36	0,43	0,67	0,97	
254,00	-0,88	-0,84	-0,62	-0,32	0,00	0,31	0,37	0,61	0,92	
260,00	-0,99	-0,95	-0,73	-0,43	-0,09	0,22	0,29	0,53	0,85	
270,00	-1,19	-1,14	-0,91	-0,60	-0,25	0,07	0,14	0,40	0,73	
280,00	-1,38	-1,34	-1,09	-0,77	-0,41	-0,07	0,00	0,27	0,61	
290,00	-1,57	-1,53	-1,27	-0,94	-0,57	-0,22	-0,14	0,13	0,49	
300,00	-1,76	-1,72	-1,46	-1,11	-0,73	-0,36	-0,29	0,00	0,36	
310,00	-1,96	-1,91	-1,64	-1,28	-0,88	-0,51	-0,43	-0,13	0,24	
320,00	-2,15	-2,10	-1,82	-1,45	-1,04	-0,66	-0,57	-0,27	0,12	
330,00	-2,34	-2,29	-2,00	-1,62	-1,20	-0,80	-0,72	-0,40	0,00	

	Lentes de Fresnel ya encontrado en el mercado
	Distancia aproximada de colocación de la lente en función del proyector
-0,99	Ángulo teórico obtenido

Con esta tabla se ve que no se puede obtener una imagen perfectamente paralela al eje óptico pero ya el ángulo de proyección se reduce de casi un cuarto. Y eso es un caso muy desfavorable; con otras lentes se puede mejorar más la calidad de pieza.

b. Realización de los ensayos

Pues se puede realizar el ensayo siguiente:

- Colocar el proyector aproximadamente a la longitud $250+75=325$ mm. Los 75mm representan la distancia entre la lente de Fresnel y la resina.
- Colocar la lente de Fresnel a 75 mm de la cuba
- Colocar en el plano la lente de Fresnel gracias a la proyección de un círculo de pequeño diámetro centrado
- Realizar una pieza siguiendo el mismo proceso que para el ensayo 1
- Mesurar las varias dimensiones de la imagen y de la pieza: A1, A2 a dos alturas
- Calcular el ángulo: α_2

c. Resultados

Al final con dos ensayos de realización de piezas de tamaño variado se obtienen los resultados siguientes:

		Dimensión a (mm)				Angulo (Rad)			Angulo (grado)			Promedio	Desviación típica
		25 0 m m	325 mm	1	2	medio	1	2	medio	1	2		
Ensayo C	Con una lente de Fresnel	20	20	19,5 3	19,5	- 0,006	- 0,007	- 0,006	- 0,359	- 0,382	- 0,371	-0,991	0,436
		20	20	18,3 4	18,1 2	- 0,022	- 0,025	- 0,024	- 1,268	- 1,436	- 1,352		
		20	20	18,5 8	18,4 1	- 0,019	- 0,021	- 0,020	- 1,085	- 1,214	- 1,150		
		Promedio				- 0,016	- 0,018	- 0,017	- 0,904	- 1,011	- 0,957		
		Desviación típica				- 0,008	- 0,010	- 0,009	- 0,481	- 0,556	- 0,518		
Ensayo D	Con una lente de Fresnel	22	22	19,7 5	20,6 3	- 0,030	- 0,018	- 0,024	- 1,718	- 1,046	- 1,382		
		22	22	21,4 9	21,1 5	- 0,007	- 0,011	- 0,009	- 0,390	- 0,649	- 0,519		
		22	22	20,5 3	20,4	- 0,020	- 0,021	- 0,020	- 1,123	- 1,222	- 1,172		
		Promedio				- 0,019	- 0,017	- 0,018	- 1,077	- 0,973	- 1,025		
		Desviación típica				- 0,012	- 0,005	- 0,008	- 0,666	- 0,293	- 0,480		

El ángulo de proyección es más o menos igual a $0,99^\circ$ o sea menos del cuarto del ángulo de proyección sin la lente de Fresnel. Lo que corresponde bien con los cálculos teóricos; Además, esta lente no está optimizada. Por eso, cuanto mayor sería la distancia focal mejor serían los resultados, hasta una distancia focal límite de más o menos 350 mm.

Se nota también que, con la lente de Fresnel, se obtienen más de piezas con un contorno bien definido mientras que se pueden encontrar piezas con una parte del contorno de mala calidad. Además no es seguro que haya una relación directa entre la calidad del contorno y la presencia de la lente de Fresnel. Hay demasiados parámetros

a tener en cuenta (lo plano del soporte, espesor de capa...) para asegurar una causalidad a eso.

ANÁLISIS

Los ensayos permitieron notar que la utilización de una lente divergente es comprometida. En efecto, con la lente comprada la calidad de la imagen se degrada demasiado para utilizarla. Eso puede ser impuesto a la lente comprada (se nota un círculo interno que puede ser un defecto de esa lente) o más generalmente al tipo de la lente requerida. Se requiere una lente con un diámetro equivalente o superior a su distancia focal, que es una lente muy especial. Por consecuencia, la lente es muy espesa y las pérdidas por difracción pueden ser demasiado grandes. Para definir el origen de estas pérdidas habría que comprar una nueva lente con la misma distancia focal y un diámetro superior. Pero no se encuentra sobre el mercado lentes con un diámetro superior a su distancia focal. Luego, habría que pedir una fabricación especial cara sin seguridad de suceso.

Al contrario, los ensayos con la lente de Fresnel fueron un suceso. Así mismo la lente no está optimizada para el conjunto ella disminuye el ángulo de proyección. Los resultados son totalmente coherentes con los cálculos teóricos por eso se puede esperar que con una lente que tiene una distancia focal adaptada al diseño (una distancia focal igual a la longitud del haz de luz) se puede disminuir más el ángulo de proyección hasta suprimirlo completamente. Se nota también que cuanto mayor es el ángulo de proyección, peor es la reducción del ángulo (75% para un ángulo inicial de 4° y 50% para un ángulo inicial de 10°). Pero con una lente de distancia focal más cerca de la longitud del haz, al final, el resultado es el mismo. Eso es útil para saber hasta cual nivel se debe llenar la cuba en función de la altura de la pieza. Con un ángulo de proyección nulo, cualquiera la altura de la resina la dimensión de la pieza es la misma. Cuando, con un ángulo importante, la más pequeña diferencia de altura implica una variación de las dimensiones de la pieza. Por eso cuanto más pequeño es este ángulo, menos influye la altura de la resina sobre la calidad de la pieza. De esta manera, si ángulo es nulo, se puede llenar la cuba solo de lo que útil para fabricar la pieza. Sino cualquiera la altura de la pieza, hay que llenar la cuba a la altura a la cual se hacía el ajustamiento del tamaño de la imagen para la pieza la más alta, con una precisión más o menos fina.

Por fin, se puede decir que:

- La utilización de una lente divergente no es pertinente aquí. Se debe realizar una impresora sin reducción de altura o con un espejo para reducirla.
- La utilización de una lente de Fresnel permite reducir el ángulo de proyección hasta obtener un ángulo nulo. Eso permite reducir la cantidad de resina utilizada para fabricar una pieza.

ANEXO 27: PRUEBAS OBTENIDAS CON LOS ENSAYOS

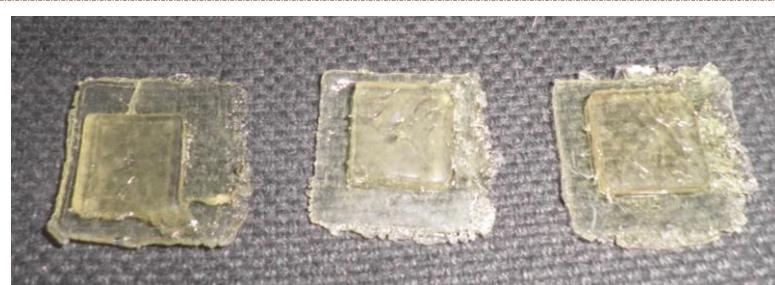
ENSAYO A



ENSAYO B



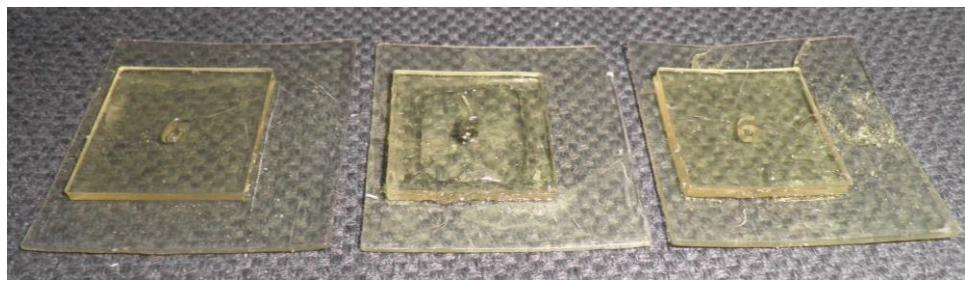
ENSAYO C



ENSAYO D



ENSAYO E



COMPARACIÓN

