



Universidad
Zaragoza

Proyecto Fin de Carrera

LUZ BLANCA

Autor

Ignacio Leiva Sanagustín

Director

Juan José Aguilar Martín

Escuela de Ingeniería y Arquitectura
Año 2013



INDICE

1. INTRODUCCION	3
1.1 Marco	3
1.2 Objetivos y alcance	3
1.3 Sistemas escáner 3D	4
2. PROTOTIPO INICIAL PARA ENSAYOS	5
2.1 Descripción del material empleado	5
2.2 Creación de soporte para pruebas iniciales	7
2.2.1 Disposición de elementos	7
2.2.2 Estudio de reflejos	12
2.2.3 Fijación de soportes	14
3. ANALISIS DE IMAGEN	17
3.1 Software comercial	17
3.2 Programas desarrollados	18
3.2.1 Programa inicial, detector de picos	18
3.2.2 Desarrollo de software	20



4. ENSAYOS	29
4.1 Pruebas iniciales	29
4.2 Estudio de repetibilidad	38
4.2.1 Estudio de varias disposiciones	39
4.2.2 Disposición 4	46
4.2.2.1 Angulo máximo de trabajo	46
4.2.2.2 Valor mínimo de repetibilidad obtenible	51
4.2.2.3 Estudio de luz	52
4.2.3 Resumen de resultados	53
4.3 Estudio de paso	54
4.4 Estimación de la resolución	58
4.5 Comparativa con el sistema laser	60
5. COMPARATIVA DE PROYECTORES	61
5.1 Análisis de resultados obtenidos	61
5.2 Estudio de mercado	62
6. DISEÑO DE SOPORTE PARA DISPOSITIVO FINAL	66
6.1 Análisis de resultados obtenidos	66
6.2 Diseño de elementos y mejoras para el soporte	68
7. CONCLUSIONES Y TRABAJO FUTURO	73
 ANEXOS	
Anexo 1 - Hojas de características de los proyectores y de la cámara	
Anexo 2 - Referencias	



1. INTRODUCCION

1.1 Marco

El presente proyecto se ha llevado a cabo en la Escuela de Ingeniería y Arquitectura de la Universidad de Zaragoza dentro de la actual línea de investigación sobre sistemas de medición sin contacto. Actualmente se han realizado estudios con un sistema laser sobre la superficie de un intercambiador de calor en la cual interesa que exista la máxima planitud para evitar fugas. Se quieren estudiar, como alternativa al laser , los sistemas de escaneo de luz blanca.

La pieza sobre la cual se lleva a cabo el estudio en el proyecto es el mismo intercambiador de calor usado en los estudios con el sistema laser. Se parte de un equipo compuesto por una cámara industrial que ya ha sido usada y verificada en ensayos con el sistema laser, dos lentes de distinta distancia focal y dos proyectores basados en diferente tecnología de funcionamiento.

1.2 Objetivos y alcance

El objetivo final de la línea de investigación, es desarrollar un prototipo de sistema de escaneo sin contacto basado en la luz blanca. En el presente proyecto se tendrá como objetivo el plantear un prototipo de este sistema con el que sin llegar a medir se pueda hacer un estudio de repetibilidad. Para ello se llevan a cabo las siguientes etapas:

Por un lado, encontrar una disposición de trabajo adecuada de los elementos para llevar a cabo estudio comparativo con plantillas y así poder elegir un grosor de franjas adecuado para trabajar en un futuro, comparándolo a la vez con los resultados obtenidos con el laser.

Por otro lado, se compararan resultados obtenidos con elementos de diferentes características, dos lentes y dos proyectores como se ha mencionado antes. Además, con los resultados obtenidos con estos dos proyectores, se realizara un estudio de las posibilidades que nos da el mercado para contemplar la posibilidad de adquirir otro.

También, durante todo el proyecto, se desarrollara un software de análisis de imagen basándonos en los resultados obtenidos en los diferentes ensayos. Este servirá para analizar las capturas obtenidas.

Por ultimo, se llevara a cabo el diseño de un soporte para los distintos elementos del prototipo que permita trabajar con el en un futuro de manera rápida y eficaz. Durante los distintos ensayos se desarrollara un soporte ajustable y una vez obtenidas las conclusiones se fijara de cara al trabajo futuro con el dispositivo, pensando ya en portabilidad, industrialización y su uso para la medición.



1.3 Sistemas escáner 3D

Un **escáner 3D** es un dispositivo que analiza un objeto o una escena para reunir datos de su forma y ocasionalmente su color. La información obtenida se puede usar para construir modelos digitales tridimensionales que se utilizan en una amplia variedad de aplicaciones. Desarrollados inicialmente en **aplicaciones industriales** (metrología, automóvil), han encontrado un vasto campo de aplicación en actividades como la **arqueología, arquitectura, ingeniería, y entretenimiento** (en la producción de películas y videojuegos).

Este sistema consta de una **cámara industrial** y un **proyector**. Se basa en una serie de patrones de luz (plantillas de franjas monocromáticas) que se generan y se proyectan sobre un determinado área, dentro de la cual está situado el objeto a escanear. Dentro de lo que es una toma de escaneo, estos patrones se van variando en anchura y fase. De esta manera el escáner 3D va calculando las coordenadas tridimensionales en base a la imagen que capta de los patrones proyectados, deformados sobre la superficie a escanear. En la **figura 1.1** se muestra un escáner comercial 3D.



Figura 1.1 - Sistema escáner 3D



2. PROTOTIPO INICIAL PARA ENSAYOS

En este capítulo se describe la construcción de un soporte que permita con los elementos fijados en una posición adecuada, realizar el estudio de repetibilidad. En el apartado "2.1 Descripción del material empleado" se detallan los elementos que se utilizan a lo largo del proyecto y en el apartado "2.2 Creación de soporte para pruebas iniciales", se analizan los resultados obtenidos con varias capturas de la cámara y se lleva a cabo un estudio de reflejos de la luz de proyección sobre la superficie de la pieza. Con los resultados obtenidos se busca una disposición adecuada de los elementos que sirva de referencia para poder diseñar un primer soporte que servirá para tenerlos fijados en las siguientes pruebas.

2.1 Descripción del material empleado

En este apartado se detallan los elementos que se utilizan a lo largo del proyecto y el papel que van a desempeñar en los diferentes ensayos.

El material del cual se dispone es el siguiente:

- **Pieza:**

Es un intercambiador de calor de Toyota sobre el cual se han realizado pruebas con el sistema laser. Sobre su superficie es donde se va a llevar a cabo el estudio.

- **Cámara:**

Una cámara industrial Pixelink modelo PL-B781, la cual se ha usado y verificado en diferentes pruebas. El tamaño de las imágenes captadas con esta será 3000x2208 pixeles. Se adjunta hoja de características en anexos.

- **Lente:**

Dos lentes de distinta distancia focal, 12 mm HR F1.4 y 50 mm HR F2.8, para realizar un estudio comparativo de los resultados obtenidos con cada una de ellas.

- **Proyector:**

Dos proyectores basados en distinta tecnología, LED y lámpara. Se adjunta hoja de características de cada uno de ellos en anexos. Durante la presente memoria se hará mención a estos de la siguiente manera:

**Proyector 1 :** Modelo ACER DLP Projector P1266

Tecnología de lámpara (2500 lúmenes)

Resolución nativa de 1024x768 pixeles, lo que equivale a un tamaño de imagen de 27.09x20.32 cm.

Proyector 2: Modelo Philips Picopix PPX2055

Tecnología LED (55 lúmenes)

Resolución nativa de 854x480 pixeles, lo que equivale a un tamaño de imagen de 12.7x22.6 cm.

Se van a realizar pruebas con ambos y un estudio comparativo de los dos. Con los resultados obtenidos, se estudiara en el apartado "6. Comparativa de proyectores", la posibilidad de comprar otro mediante un análisis de lo que nos ofrece el mercado.

- **Soportes:**

Para todo el proyecto usaremos perfiles de aluminio cuadrados de 40x40 mm y distintas longitudes.

- **Ordenador:**

Para capturar imágenes y ajustar los valores de la cámara se emplea un ordenador de mesa. Para proyectar plantillas y analizar las imágenes se utiliza un ordenador portátil capaz de adaptar la resolución de la pantalla a la máxima del proyector. Durante la redacción de la memoria nos referiremos a estos de la siguiente manera:

Ordenador 1: Procesador Pentium 4 3 GHz de RAM

Sistema operativo Windows Xp

Ordenador 2: Modelo Packard bell EasyNote TS

Procesador Intel Pentium core i5

Sistema operativo Windows 7



2.2 Creación de soporte para pruebas iniciales

2.2.1 Disposición de elementos

El primer objetivo es encontrar una disposición adecuada de los elementos para comenzar a trabajar y llevar a cabo las primeras pruebas en las cuales queremos encontrar un grosor adecuado de las franjas de las plantillas que se van a proyectar sobre la pieza. Las pruebas se van a llevar a cabo con el **Proyector 1 y la lente de 12 mm**. Mas adelante se realizara el estudio comparativo con el Proyector 2. El modo en el que trabajaremos de manera general será el siguiente:

1. Posicionamiento de los elementos.
2. Proyección de la plantilla a través del proyector sobre la superficie de la pieza
3. Ajuste del tiempo de exposición de la cámara a través del Ordenador 1, ajuste del diafragma y enfoque del objetivo de manera manual . Una vez ajustados los valores, se capturan las imágenes para su posterior análisis (se giraran si es necesario en el Ordenador 2).
4. Inspección visual, estudio y análisis de las imágenes mediante el software adecuado.

Lo primero que se debe hacer es crear una plantilla inicial. Se usa el programa Microsoft Paint. Para este apartado se crea una plantilla de franjas negras y blancas de grosor 8 pixeles. El estudio de grosores se realizara mas adelante cuando ya tengamos una disposición adecuada. El **formato** en el cual guardaremos la **plantilla** será **mapa de bits monocromático (.bmp)**, ya que solo tendrá valores negro (0) y blanco (256) y la **resolución** (tamaño) en pixeles de la imagen será la máxima del proyector para poder aprovecharla , **1024x768**. Esta plantilla se proyectara mediante el proyector el cual estará conectado al Ordenador 2 en el cual se ajustara la resolución de la pantalla a la máxima del Proyector 1. Mediante Microsoft Power Point se ejecutará una presentación con la plantilla. En las **figura 2.1** se observa la creación de la plantilla con Microsoft Paint.

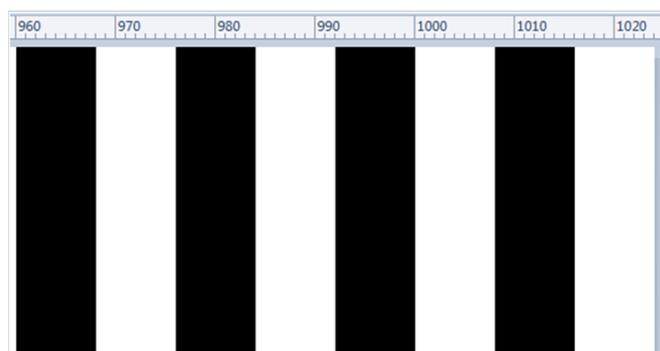


Figura 2.1 - Creación de plantilla de 8px con Microsoft Paint



El esquema general del montaje visto en planta será el siguiente:

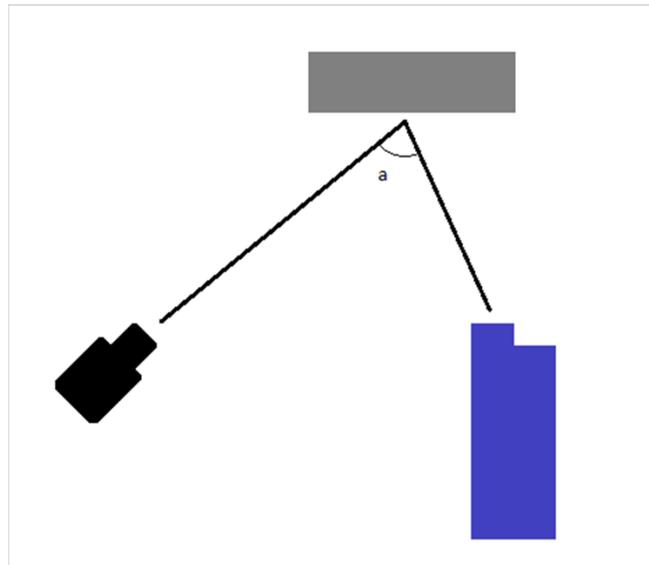


Figura 2.2 - Esquema de distancias. Cámara en negro, proyector en y pieza en gris.
Ángulo a , entre eje óptico de la cámara y eje de proyección del proyector.

En gris se representa la pieza, en azul el proyector y en negro la cámara. El ángulo "a", formado por el eje óptico de la cámara y el eje de proyección del proyector, se obtiene tomando distancias desde el centro de la superficie de la pieza, el centro del cañón de proyección del proyector y el eje óptico de la cámara (desde el centro de la lente) .

Una vez creada la plantilla y posicionados los elementos, se ajusta el **diafragma del objetivo de la cámara** intentando que esté **lo mas cerrado posible para poder ganar así enfoque**. Desde el Ordenador 1 se introduce un valor de 150 ms como tiempo de exposición de la cámara. Con todo esto se enfoca manualmente el objetivo y se procede a capturar la imagen.

Se realizan dos montajes variando entre ellos únicamente el ángulo a . La cámara apoyada en dos perfiles de aluminio y girada 90 grados con respecto al eje óptico, el proyector 1 en la mesa y la pieza también sobre perfiles. En uno de los montajes el ángulo será lo mas cercano a cero y en el otro lo mas cercano a 90 grados.

Al primero de ellos lo llamaremos **Montaje a 0** y al segundo **Montaje a 90**. A continuación se muestra una imagen de cada uno de los montajes y la captura obtenida en cada caso.

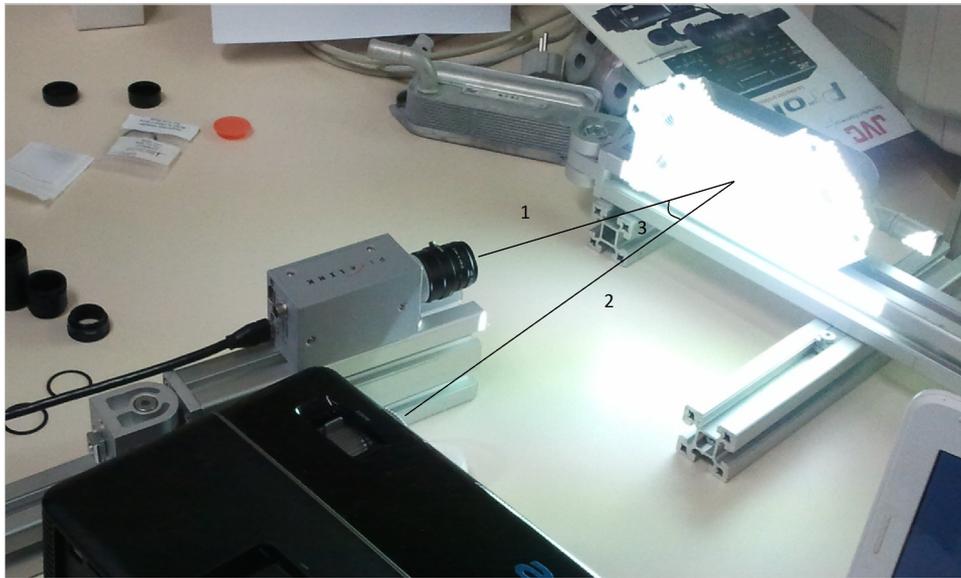


Figura 2.3 - Montaje a 0

1. Eje óptico cámara
2. Eje de proyección
3. Angulo $a = \text{aprox. } 0 \text{ grados}$



Figura 2.4 - Captura obtenida con Montaje a 0

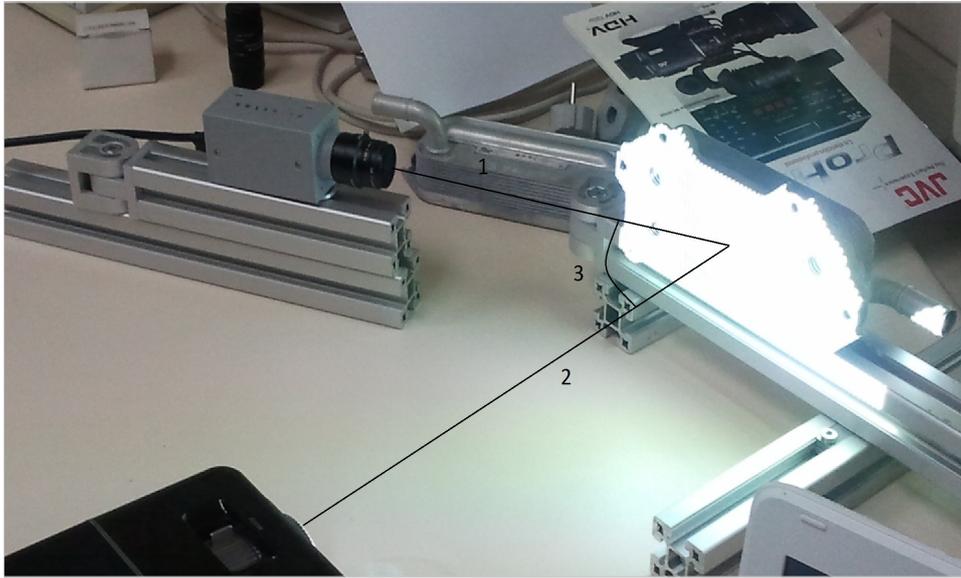


Figura 2.5 - Montaje a 90

- 1. Eje óptico cámara
- 2. Eje de proyección
- 3. Angulo α = aprox. 90 grados

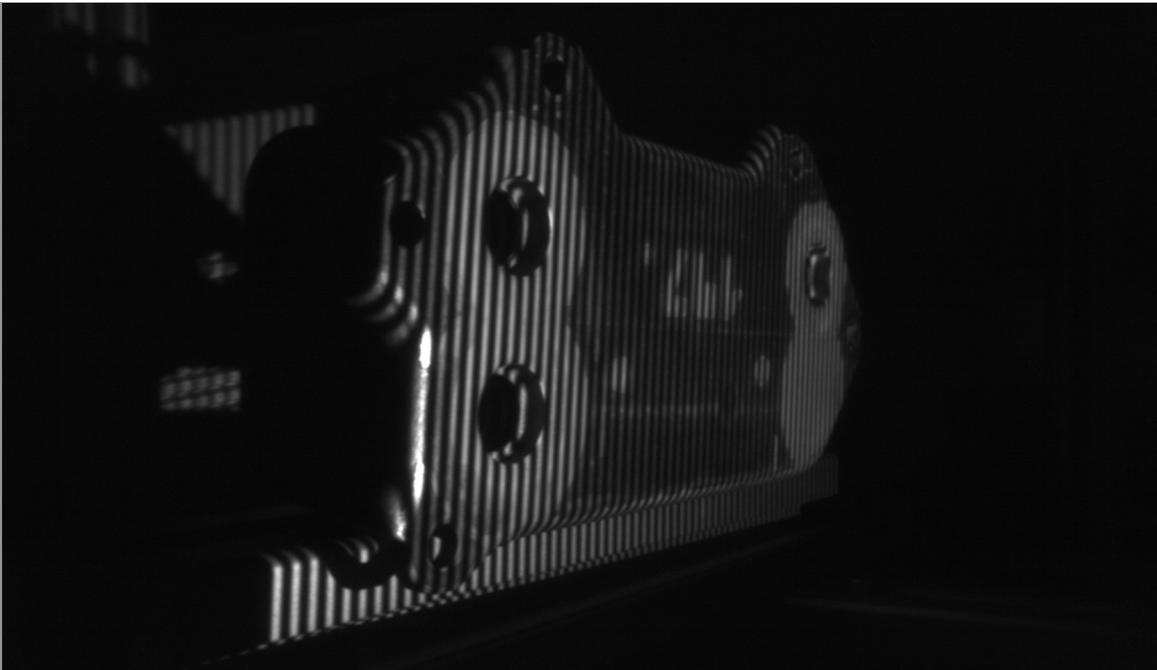


Figura 2.6 - Captura obtenida con Montaje a 90



Una vez se tienen las capturas se procede al análisis de resultados:

Montaje a 0:

Aunque en esta disposición no podemos observar la profundidad en la superficie de la pieza debido a que el eje óptico de la cámara está casi perpendicular a esta, el número de líneas que se pueden apreciar es elevado.

Por contraposición, se observa que con este ángulo de 0 grados, se capta el reflejo producido en la superficie de la pieza por la luz de proyección. Este reflejo nos hace perder líneas en esa zona de la pieza y por tanto se debe eliminar en la medida de lo posible.

La alternativa es angular la cámara con respecto a la superficie central de la pieza, manteniendo los demás elementos en la misma posición. De aquí surge el Montaje a 90.

Montaje a 90:

La ventaja de esta disposición es que podemos ver la profundidad de la superficie de la pieza. Se ha conseguido eliminar el reflejo producido por la luz de proyección pero como consecuencia del angulado de la cámara surgen problemas en perspectiva. Se observa que conforme avanzamos en horizontal en la captura, las líneas en la superficie de la pieza se hacen cada vez más difíciles de distinguir, perdiendo en la zona final de la pieza algunas de ellas.

Una posible solución es girar todo el sistema 90 grados. Así la cámara captaría todas las líneas posibles y el reflejo podría eliminarse casi totalmente. Esta disposición es la que se usa para medir con el sistema laser. Como inconveniente, habrá que girar las imágenes ya que hemos girado todo el sistema y por tanto cámara, plantilla y pieza están también giradas y eso se refleja en las capturas que se muestran giradas 90 grados.

Esta disposición se denominará **Disposición 1**. Con ella se llevarán a cabo un estudio del reflejo captado por la cámara con respecto al ángulo α y más adelante las pruebas iniciales para la elección del grosor de franjas de la plantilla. A continuación se muestra el montaje del sistema en la **figura 2.7**.



Figura 2.7 - Disposición 1, obtenida girando todo el sistema 90 grados

2.2.2 Estudio de reflejos

Debido al problema que se ha observado con el reflejo de la luz del proyector captado por la cámara, se realiza un estudio comparativo variando el **ángulo α** para tener una idea del valor a partir del cual el reflejo no nos dejaría trabajar con las imágenes. El estudio se lleva a cabo con la Disposición 1, Proyector 1, Lente de 12 mm y plantilla de 8 pixeles.

El proyector y la pieza permanecerán inmóviles conservando la distancia entre ellos en todas las capturas. Para variar el Angulo α , moveremos la cámara con respecto al proyector manteniendo fija la distancia entre esta y la pieza.

A continuación se muestran 3 capturas tomadas con la cámara a diferente distancia y el valor del ángulo α en cada caso.



Figura 2.8 - Angulo $\alpha = 60$



Figura 2.9 - Angulo $\alpha = 55$



Figura 2.10 - Angulo $\alpha = 52$

Los resultados nos muestran que para ángulos inferiores a 55 grados el reflejo entra en la pieza eliminando en dicha zona varias líneas que nos llevarían a errores en la medición.



2.2.3 Fijación de soportes

Una vez se tienen las distancias deducidas mediante las pruebas iniciales en la Disposición 1 con cada una de las lentes, se procede a diseñar un soporte fijo (con algún grado de libertad) para realizar las siguientes pruebas.

Se dispone de varios perfiles de aluminio con sus correspondientes amarres (fijos o móviles) y varios bloques de acero de diferentes medidas que servirán de soporte para la cámara y la pieza. A continuación se detallan los elementos con sus medidas.

Cuatro perfiles de aluminio de diferentes medidas, tres de los cuales serán fijos como soporte del proyector y otro que portara la cámara y el cual regularemos para colocarla en la posición adecuada .

Elementos de amarre para ensamblar los perfiles y una unión móvil para ensamblar el perfil móvil. Cabe mencionar que una vez regulado el perfil móvil , la unión se fija apretando el tornillo correspondiente y no se mueve durante las pruebas. Se muestran en la **figura 2.11**.

Dos bloques de acero de medidas 580x580x240 mm que estarán fijados al brazo móvil y que sustentaran la cámara. A su vez tendrán dos grados de libertad de giro para regular la cámara.



Figura 2.11 - Elementos de amarre de los perfiles



Una vez seleccionados los elementos y con la idea del soporte, se realizan las siguientes operaciones en el taller sobre los perfiles y los bloques.

Dos ranurados con la fresadora en el perfil en el cual se amarra el Proyector 1. Uno de ellos con una anchura ligeramente mayor que la rosca del tornillo de amarre y el otro de anchura mayor para permitir el paso de la cabeza del tornillo. En la **figura 2.12** se pueden observar dichos ranurados.



Figura 2.12 - Ranurados en el perfil de sujeción del Proyector 1

Por otro lado, para el sistema de sujeción de la cámara se realizan con el taladro las siguientes operaciones.

En uno de los bloques un agujero pasante del diámetro del tornillo de amarre y otro que permitirá alojar la cabeza, este nos permitirá amarrar el bloque al perfil. Para el amarre con el otro bloque se realiza la misma operación pero en horizontal. Para el bloque que alojara la cámara, se realiza un agujero pasante que permitirá el amarre con el bloque amarrado al perfil y 4 agujeros pasantes con su correspondiente alojamiento para la cabeza de los tornillos que amarraran la cámara.

En la **figura 2.13** se muestra el soporte con la cámara y los grados de libertad que posee. Podrá girarse en torno al eje z y en torno al eje x. Con el primer giro se regulara el ángulo a una vez fijado el brazo móvil y con el segundo el encuadre dependiendo de la altura de la pieza.



Figura 2.13 - Soporte de la cámara con los giros posibles

El aspecto final del soporte será el siguiente:

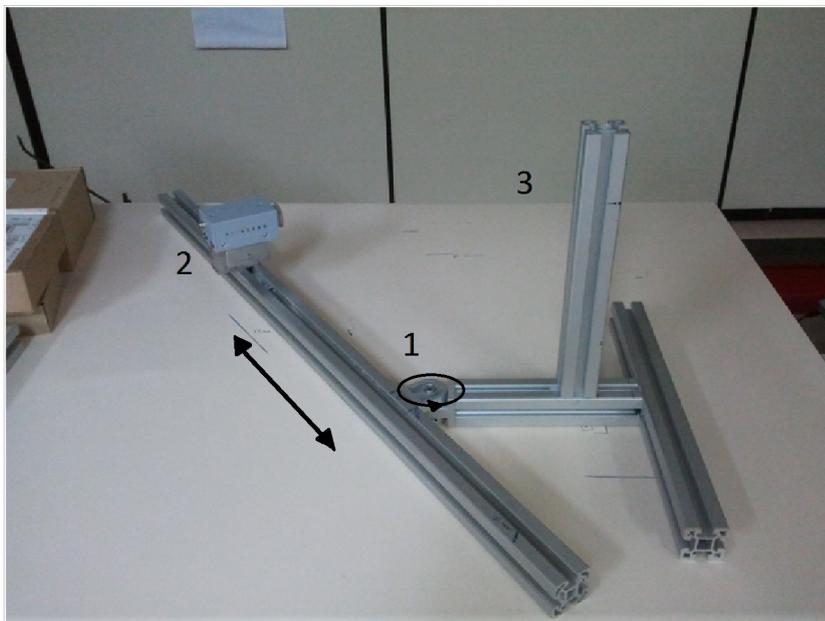


Figura 2.14 - Diseño soporte final

1. Articulación regulable
2. Cámara con soporte regulable
3. Soporte proyector con barra horizontal para dar estabilidad



3. ANALISIS DE IMAGEN

A lo largo de todo el proyecto se van a utilizar varios programas comerciales como controladores y para la inspección, tratamiento y análisis de imágenes. A continuación se detalla una lista con todos ellos y una breve descripción de cada uno en el apartado "3.1 Software comercial empleado". En el apartado "3.2 Programas desarrollados" se describirá el software de análisis de imagen desarrollado durante todo el proyecto.

3.1 Software comercial empleado

Sistemas operativos:

-Microsoft Windows: Es el sistema operativo utilizado tanto en el ordenador 2 (Windows 7) como en el ordenador 1 (Windows Xp).

Controladores:

-Pixelink: El controlador de la cámara industrial con el cual visualizamos lo que esta capta en tiempo real. Se realizaran las capturas una vez ajustados los valores de la cámara.

-Picopix viewer 2: Controla el proyector 2, dando opción de modificar el brillo y el modo de proyección. El proyector 1 se controla mediante reguladores en la propia carcasa.

Proyección de plantillas:

-Microsoft Powerpoint: Para la proyección de las plantillas. Se debe ajustar el tamaño de diapositiva a la resolución del proyector. Se crean presentaciones en el caso de varias plantillas para facilitar el trabajo.

Análisis e inspección de imagen:

-Microsoft Paint: Se emplea principalmente para la creación de plantillas como hemos mencionado antes, aunque también se usara para la inspección visual de las imágenes en algún caso.

-Xnview: Es un visualizador de imágenes que permite la inspección de cada pixel de manera rápida. También permite rotar imágenes sin modificar las características (el visor de Windows las modifica para darles un mejor aspecto visual).

-Matlab: Es el programa principal en el apartado de análisis de imagen. Se obtendrá información sobre las capturas tomadas para su posterior análisis. Se usara para programar el algoritmo (software) para el análisis de las imágenes a lo largo de todo el proyecto.

-Excel: Se almacenan y tratan los datos obtenidos en Matlab. También representaremos los resultados obtenidos con graficas.



3.2 Programas desarrollados

En este apartado se enumeran y explican las diferentes etapas de desarrollo de software del proyecto, conforme se han ido añadiendo mejoras, basándose en los resultados obtenidos en los distintos ensayos.

3.2.1 Programa inicial—detector de picos

El primer objetivo que se plantea en el proyecto es encontrar un grosor de franja para las plantillas con el cual poder trabajar. Con este objetivo se desarrolla un programa mediante el editor de Matlab que se usa en las pruebas iniciales las cuales tienen como objetivo la comparativa de varias capturas de la pieza, proyectando sobre esta varias plantillas de diferente grosor de franjas.

Como se ha explicado antes, se proyecta la plantilla sobre la superficie de la pieza, se captura con el software de la cámara y se procede a su análisis.



Figura 3.1 - Captura con la plantilla 2x2 y la lente 50 mm en la Disposición 1.

Se ve en la **figura 3.1** como el resultado es una imagen en escala de gris con valores de 0 a 255. Lo primero que interesa es conocer el salto de nivel de gris que hay entre franjas dentro de la superficie de la pieza y así tener una idea de las líneas que podríamos obtener con dicha plantilla.

Lo primero es cargar la imagen en Matlab teniendo en cuenta la resolución. El formato por defecto al capturar con el software de la cámara no es el adecuado, por tanto será necesario **convertir las capturas con Xnview a escala de grises de 0 a 255** para que Matlab cargue correctamente el mapa de grises de la imagen.



Una vez cargada la imagen correctamente en Matlab y ajustado el programa a la resolución de esta, se piensa en estudiar la imagen en horizontal, creando un vector que la recorra en esta dirección, almacenando el nivel de gris de todos los píxeles y representándolo para tener así la posibilidad de comparar los saltos entre los valores máximos y mínimos y hacer un conteo de estos.

Para poder reconocer si un valor se trata de un máximo o un mínimo, se crea un bloque que trabajara con la representación de píxeles almacenados realizando cálculos con la pendiente de la recta tangente a esta grafica. Mediante la pendiente realiza cálculos de derivadas. Si la derivada pasa de negativa a positiva, buscara un mínimo y si es al contrario, buscara un máximo. Los valores de los picos (máximos y mínimos) se almacenaran y se representaran en una grafica. En ocasiones aparece saturación en la imagen (varios píxeles seguidos con el mismo color), por tanto se crea otro bloque dentro de este para que el programa reconozca estas zonas y no coja todos los puntos. Se obtiene la grafica mostrada en la **figura 3.2**.

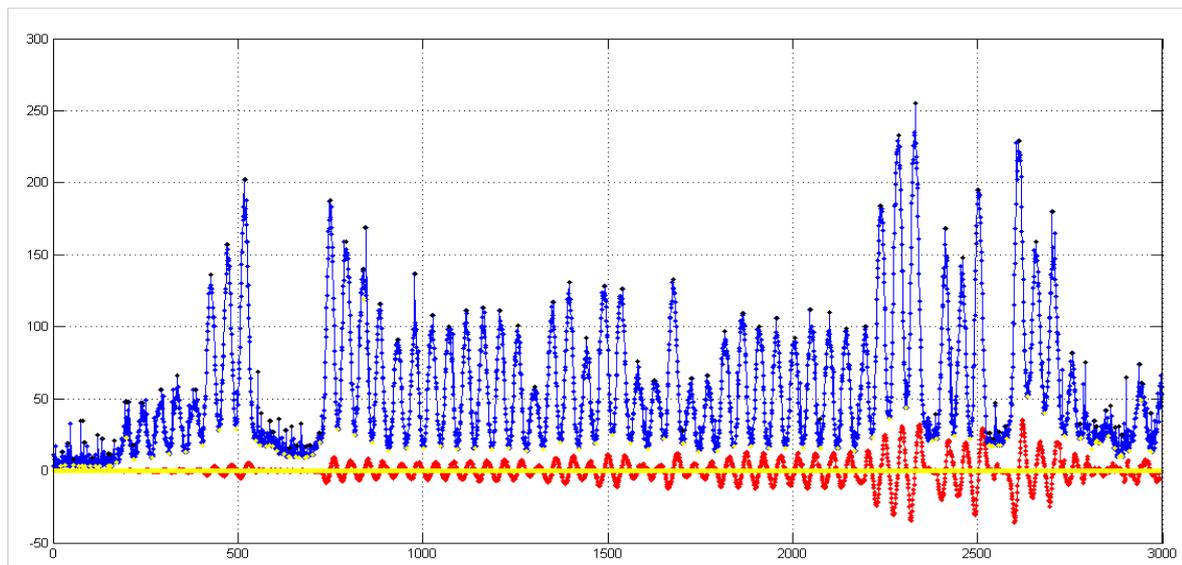


Figura 3.2 - Gráfica obtenida con Matlab. En azul el nivel de gris de los puntos obtenidos
En negro los picos máximos de nivel de gris
En amarillo los picos mínimos
En rojo el calculo de la derivada

En azul se representan el nivel de gris de todos los puntos obtenidos unidos mediante una línea para dar forma a la grafica. En negro se representa el pico máximo y en amarillo el pico mínimo. En la zona de abajo, en rojo se representan los cálculos de derivadas y en amarillo el paso por cero para poder observarlo.

Este programa va a ser usado para las pruebas iniciales como hemos mencionado y de base para el desarrollo del software que se usara a lo largo de todo el proyecto.



3.2.2 Desarrollo de software

Partiendo de la idea del programa inicial para detectar picos, se desarrolla el software de análisis de imagen que se usa durante todo el proyecto. Conforme han transcurrido las pruebas, basándose en los resultados del análisis de las imágenes, se han añadido mejoras hasta obtener el código final.

A lo largo de todo el desarrollo del software se introducen varias mejoras que vienen impuestas por los resultados obtenidos en los diferentes ensayos del proyecto. Con objetivo de tener claridad del código utilizado en cada prueba, se clasifica el software en varias etapas que se nombran a continuación con más detalle.

Software 1

Tras los resultados obtenidos en las pruebas iniciales con el programa inicial, se observan varios aspectos a mejorar de cara a las siguientes pruebas.

Lo primero que interesa es eliminar las zonas de ruido de la imagen. En estas zonas, el programa inicial detectaba varios picos sin pertenecer a la superficie de la pieza. Para ello el software trabajara con dos variables (inicial y final) que introduciremos para cada imagen en función de la superficie de la pieza y así se podrá ajustar el análisis solo a esta. Por otro lado, en una variable vector se introducirá el valor de este, constante en la horizontal que recorrerá la imagen y en el cual estarán los puntos a analizar como ocurría con el detector de picos.

Ahora es necesario saber la posición exacta de los picos de cara al análisis. Para ello se crea un bloque que calculara el centro de gravedad de varios puntos, obteniendo así una ponderación de la posición del pico. Se trabajara con una **variable rango** que tendrá como valor los puntos a coger para calcular el centro y que se ajustara en función de la anchura de las franjas de las plantillas. Los centros de gravedad se almacenaran en 2 variables así como su nivel de gris y el salto entre estos. Por pantalla se obtendrá el dibujo del vector v_3 sobre la pieza y una grafica parecida a la del detector de picos pero con los centros de gravedad y el rango ajustado.

En negro se representaran los centros de gravedad de los picos máximos y en rojo los cálculos de derivadas basados en la pendiente. Aquí es donde influirá la variables rango cogiendo más o menos puntos para el calculo.

En la **figura 3.3** se muestra la grafica que se obtiene por pantalla al ejecutar el programa en Matlab.

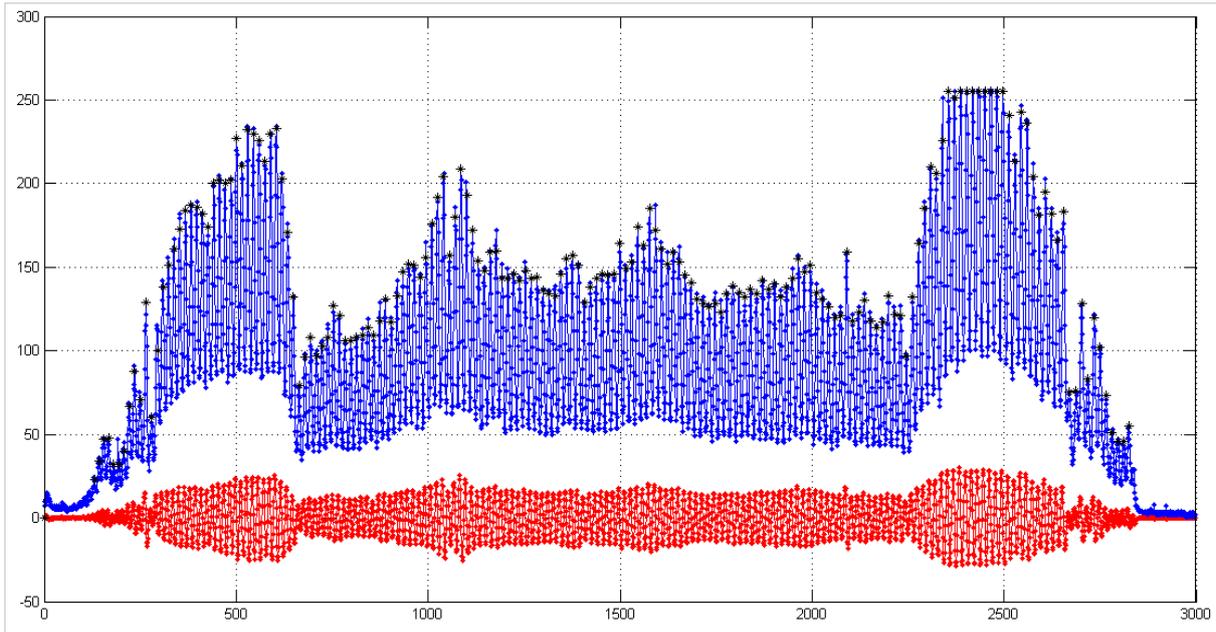


Figura 3.3 - Gráfica obtenida por pantalla. En negro se representan los centros de gravedad.

Por otro lado, en dos matrices se obtendrá, en 1, el centro de gravedad de la posición de los picos máximos y mínimos, en 2, el nivel de gris de dichos centros y en 3, el salto entre centros máximo y mínimo consecutivos. Se muestra en la **figura 3.4** las matrices que se obtienen por pantalla.

cdgsmx					cdgsmn				
	1	2	3	4		1	2	3	4
1	200.0685	50	24		1	206.9384	27	32	
2	214.0044	57	32		2	220.9834	28	33	
3	227.8389	61	34		3	235.0081	28	34	
4	242.1095	54	33		4	248.9861	27	34	
5	255.9475	59	34		5	262.9565	28	34	
6	269.8608	62	36		6	277.0062	31	36	
7	284.0438	60	34		7	292.0155	28	33	
8	298.7072	53	31		8	305.9846	24	31	
9	312.1875	50	27		9	319.9116	27	35	
10	326.2873	58	35		10	333.8225	35	48	
11	340.7994	78	48		11	347.2629	56	112	
12	354.6314	163	112		12	361.4541	78	115	
13	368.9856	193	115		13	376.0653	90	111	
14	382.8098	183	109		14	390.1621	79	109	

Figura 3.4 - Matrices por pantalla

1. Centro de gravedad de la posición de los máximos
2. Nivel de gris de los centros de gravedad
3. Salto entre centro máximo y mínimo



Software 1.2

Tras el primer ensayo de repetibilidad (se explica con detalle en el apartado “4. Ensayos”) con la lente de 12 mm, la plantilla 2x2 y el Proyector 1, se observa que tras la toma de 10 capturas sin mover ningún elemento y representar los valores del rango de la diferencia entre las posiciones de cada captura y la posición media de las 10, existen varios puntos dispersos en la grafica. Para dar una explicación a estos puntos, se aíslan las posiciones y niveles de gris que se han obtenido con Matlab en Excel y se realiza un estudio por separado comparando los valores con los que se observan en Xnview. Al no observar ningún valor atípico se concluye en que el software necesita una mejora y se analizan varios aspectos.

Realizando una media de las posiciones de los máximos obtenidos con las 10 capturas y restando las posiciones obtenidas con 2 de las capturas, se obtiene la siguiente grafica de diferencias mostrada en la **figura 3.5**.

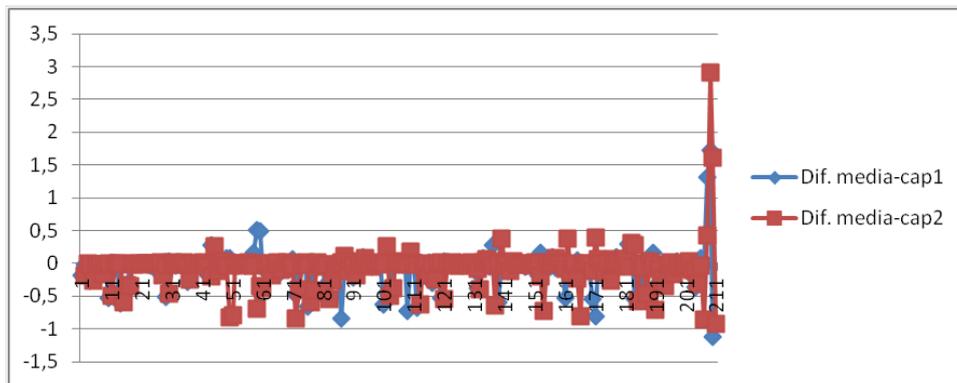


Figura 3.5 - Diferencia entre la posición de los centros de gravedad de dos capturas y la media de las posiciones de 10 capturas.

Como se observa hay muchos valores dispersos. Representando la diferencia de la posición del mismo pico en capturas diferentes se obtiene la siguiente grafica en la escala decimal representada en la **figura 3.6**.

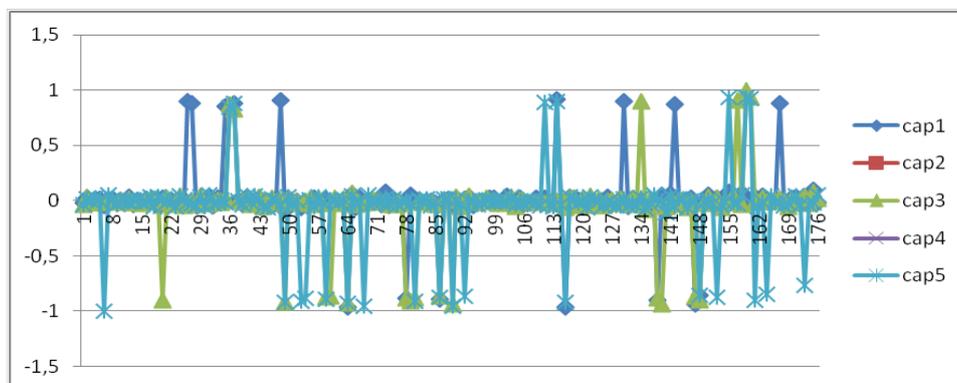


Figura 3.6 - Diferencia de la de un mismo pico en varias capturas distintas



Se observa que dicha diferencia, o vale cero o vale 1 pero no aparecen valores intermedios lo que hace pensar que el cálculo del centro de gravedad que realiza el software no es correcto. Por tanto se estudia la forma en la que se realiza este cálculo. Tras este estudio se concluye que para una misma distribución de los niveles de gris en una ventana de píxeles el resultado se ve afectado por la componente de continua que presenta la distribución, valores que se observan en dos distribuciones detalladas en la **figura 3.7**. Finalmente, se introducen mejoras en la fórmula tradicional. Esta mejora consiste en convertir los valores del nivel de gris de cada pixel a una escala, de forma que queden comprendidos entre los valores 0 y 1 de manera proporcional respecto de los valores máximo y mínimo de la distribución. De esta forma, se obtiene el mismo resultado independientemente de la componente de continua de la distribución.

En la **figura 3.7** se muestran las dos distribuciones iguales pero con niveles de gris distintos. Se observa la componente de continua en los extremos.

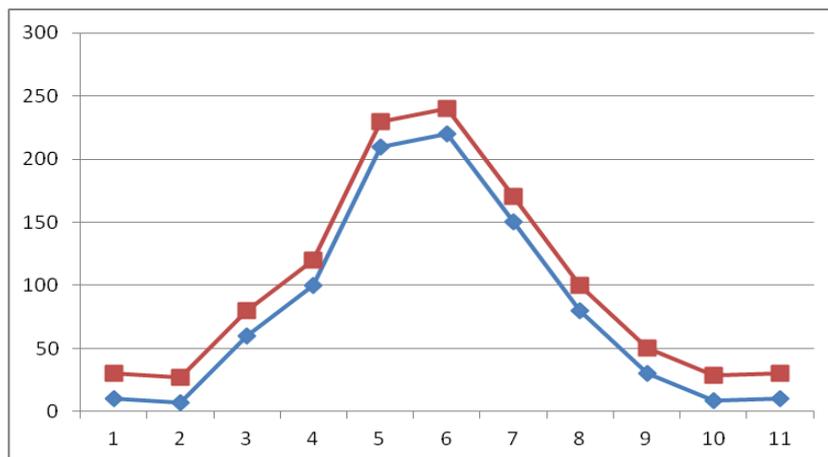


Figura 3.7 - Distribuciones de puntos simétricas con niveles de gris distintos

Con la fórmula sin mejora se obtendría una posición de centro de gravedad de 129,79 para la distribución representada en azul y un valor de 129,83 para la representada en rojo, observándose así el problema mencionado con anterioridad.

Una vez introducida la mejora, con la ponderación se obtendría el mismo valor de 127,77 para las dos distribuciones a pesar de tener distintos niveles de gris sus puntos.



Representando dos histogramas en escala decimal de las diferencias que se obtenían en la figura 3.6, se observa como la tendencia de diferencias entre 0 y 1 se suaviza con la mejora del software. En la **figura 3.8 sin la mejora** y en la **figura 3.9 con los valores de nivel de gris convertidos a la escala** .

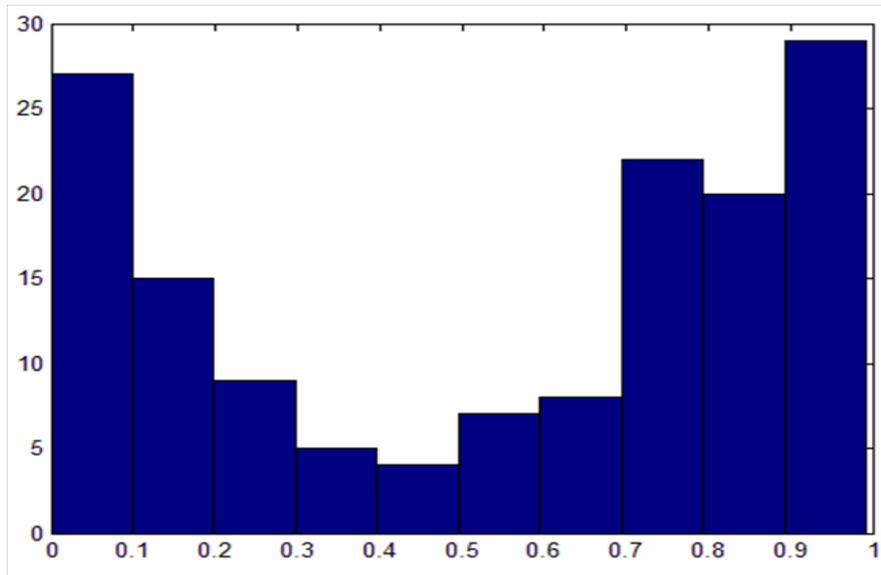


Figura 3.8 - Histograma decimal de diferencias de un pico en una captura con software 1.2

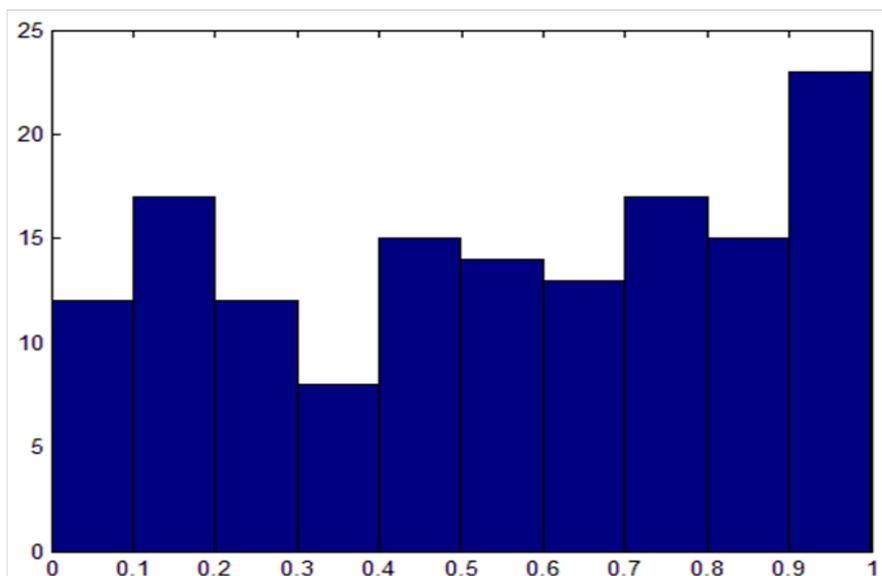


Figura 3.9 - Histograma decimal de diferencias de un pico en una captura con software 1.3



Tras la mejora, se observa en los mismos ensayos que siguen apareciendo valores atípicos en las graficas de dispersión de datos de los ensayos. Se lleva a cabo un análisis de dichos puntos estudiando nivel de gris y salto obtenidos con Matlab y comparándolos con las capturas en Xnview. Se vuelve a concluir que el problema es del software y no del método.

Tras dicha inspección se observa en las graficas obtenidas con Matlab que hay alguna zona en la cual los cálculos de la derivada no pasan por cero y esto lleva a que el programa no detecte correctamente la posición del centro de gravedad del máximo en dicha zona. Se observa un paso por cero conflictivo en la **figura 3.8**.

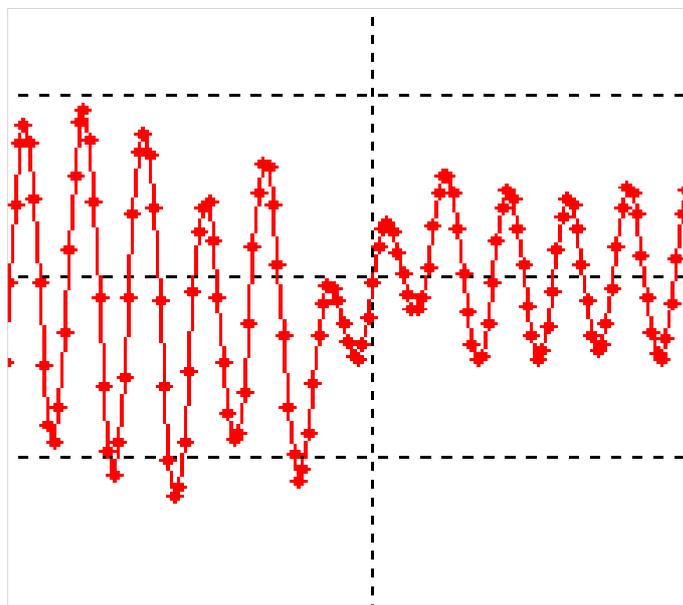


Figura 3.8 - Paso por cero de la derivada

Modificando el valor de la variable rango, mencionada con anterioridad en la descripción del software 1, de 5 puntos a 3 puntos, se consigue que el programa detecte correctamente la posición del centro de gravedad del máximo en dichas zonas conflictivas. A continuación se detallan dos figuras en las que se muestra una grafica obtenida con el software antes de la mejora y otra con el rango ajustado.

En el recuadro negro de la primera figura se detalla como el programa no reconoce el centro de gravedad en su posición correcta y en amarillo se recuadra el calculo de la derivada el cual no pasa por cero debido a que el programa coge 5 puntos. En la segunda grafica se recuadra como con el rango de 3 puntos el centro de gravedad aparece en su posición correcta y la derivada pasa por cero.

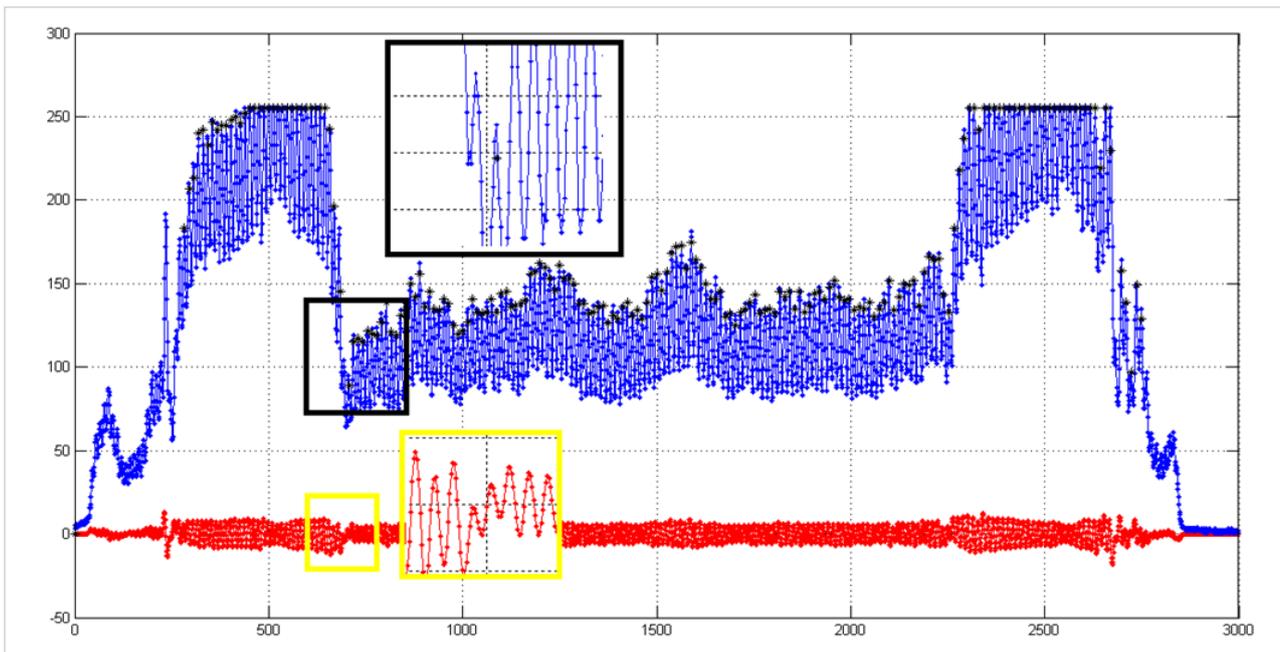


Figura 3.9 - Grafica obtenida con rango = 5

En el recuadro negro centro de gravedad no aparece.

En el recuadro amarillo, derivada que no pasa por cero

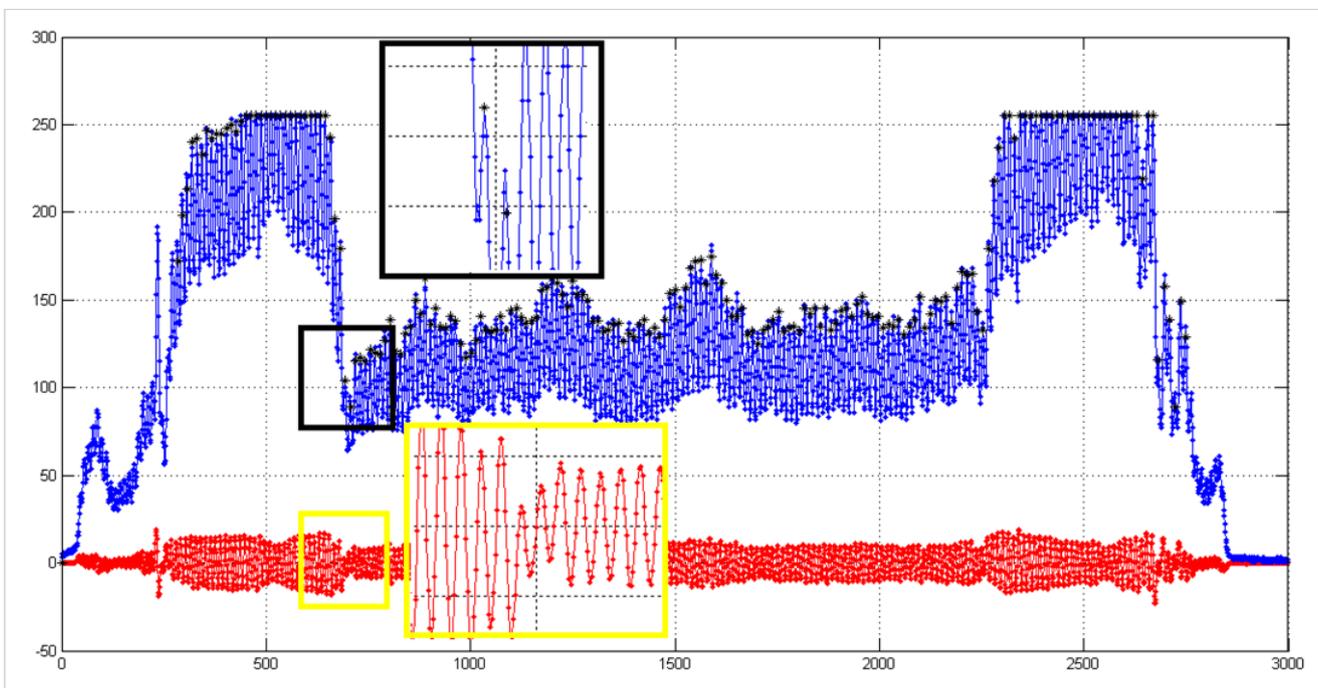


Figura 3.10 - Grafica obtenida con rango = 3

En el recuadro negro centro de gravedad correctamente hallado

En el recuadro amarillo, derivada pasando por cero



Software 1.3

Tras varios ensayos de repetibilidad, se observa en las graficas obtenidas que siguen existiendo picos. Tras inspeccionar dichos puntos con los valores almacenados en Excel, las graficas obtenidas con Matlab y Xnview como se hizo anteriormente con el software 1.2, no se observa ningún valor de gris o punto anómalo. Por esto se deduce que el software necesita una nueva mejora. Tras inspeccionar los cálculos realizados por Matlab se observa que hay de nuevo un problema en el calculo de la derivada con la variable rango. Para este calculo se usa un parámetro denominado con la letra j , que tendrá valor positivo y negativo y que indica los limites en el paso por cero de la derivada. Con un valor de j , el software comienza a coger puntos en el primero que pasa por cero y por tanto en ocasiones coge ruido del pico anterior y posterior. En la **figura 3.11** se representa como con el valor j , en el calculo se coge ruido del pico anterior y posterior. Modificándolo a $j+2$ se pierde algún punto pero se asegura el no coger ruido. Ocurre lo mismo con los valores simetricos $-j$ y $j-2$. Se representa con una línea discontinua el rango mas menos j y en continua el j mas menos 2.

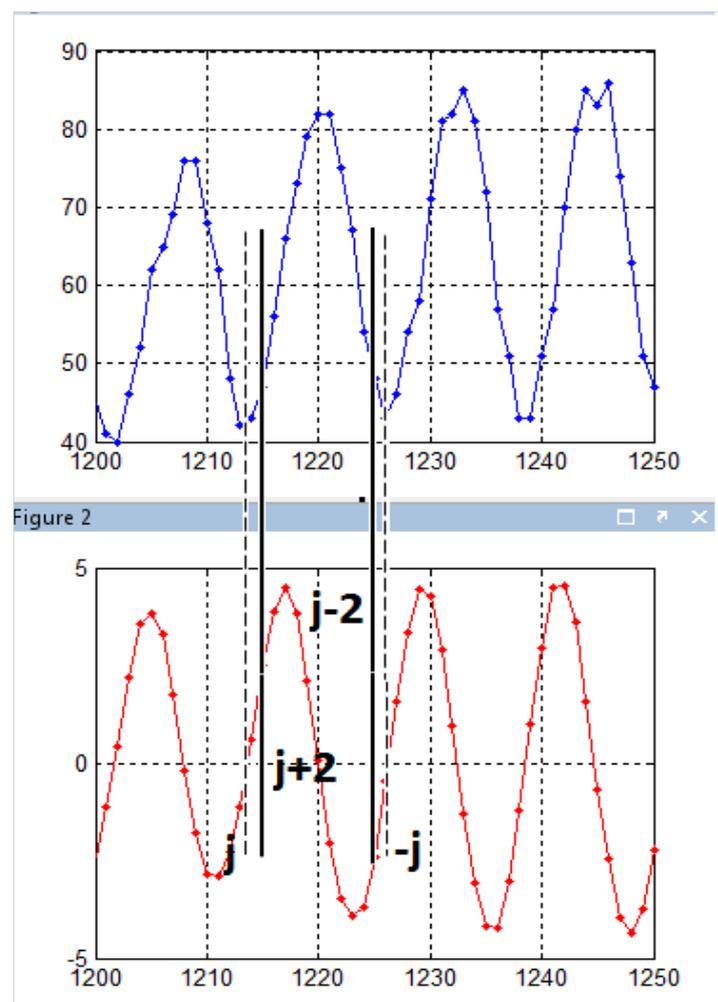


Figura 3.11 - Modificación del rango para el calculo de centros de gravedad
En discontinua rango $+j$, en discontinua $j+2$.



A continuación en la **figura 3.12** se representa la repetibilidad obtenida con la plantilla de 2x3, en la Disposición 4 y con el proyector 1, con los 3 posibles parámetros de j en el calculo de la derivada.

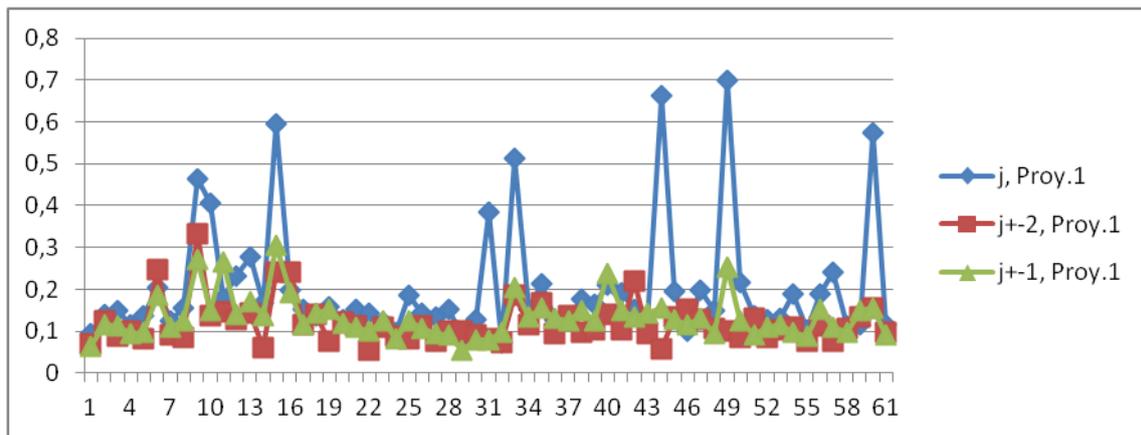


Figura 3.12– Repetibilidad obtenida con varios valores posibles de j en el calculo de la derivada

Software 1.3b, para el calculo del valor mínimo de repetibilidad obtenible:

En el apartado "4.2.2.2 Valor mínimo de repetibilidad obtenible", se realiza un ensayo con el objetivo de obtener el valor mínimo de repetibilidad obtenible con el método. Para ello se crea una plantilla con una única franja iluminada y se estudia la repetibilidad. Al tener solo una franja, no se sabe lo que hay antes y después de esta con lo que el software al buscar pasos por cero no podría detectarla. La modificación necesaria consiste en que el software no busque dichos pasos por cero sino la derivada máxima. De este modo, independientemente de lo que encuentra antes y después de la franja será posible detectar el centro de gravedad de su posición.



4. ENSAYOS

En este apartado 4 se van a explicar los ensayos realizados con los distintos elementos que llevaran a la elección de una plantilla de trabajo y la obtención de una disposición de trabajo que permitirá el diseño del un soporte final para el prototipo.

En el apartado "4.1 Pruebas iniciales" se realiza un estudio de varias plantilla para la elección de un grosor de franja adecuado. En el apartado "4.2 Estudio de repetibilidad" se llegara a un valor mínimo obtenible con el método que vendrá dada en una disposición adecuada obtenida en los propios ensayos.

En el apartado "4.3 Estudio de paso" se realiza un calculo de la distancia en pixeles que hay entre franjas consecutivas en una misma plantilla y entre franjas consecutivas que se denominara paso.

Por ultimo en el apartado "4.4 Estimación de la precisión" se obtendrá un valor de la resolución que se puede obtener en z con el método mediante una captura con el calibrador.

4.1 Pruebas iniciales

Objetivos del ensayo y montaje:

El objetivo principal de estas pruebas iniciales es encontrar un ancho de franja adecuado para la plantilla con la cual se va a trabajar. Se deben tener en cuenta varios aspectos.

Por un lado, interesa tener el máximo numero de líneas en la superficie de la pieza. Esto se traduce a que interesa que la plantilla tenga el mayor numero de franjas posibles. El tamaño de la plantilla será el máximo que pueda obtenerse con el proyector, es decir, su resolución. Esto nos limitara también el numero de líneas obtenibles en la superficie.

Por otro lado, es importante que estas franjas estén diferenciadas, es decir, que el salto o cambio entre el nivel de gris (blanco y negro) que hay entre ellas , sea el suficiente como para poder distinguir las en la imagen obtenida con la cámara. Este hecho hará que no podamos tener líneas demasiado pequeñas ya que a pesar de obtener un gran numero de estas, no se podrían distinguir.



Con todo esto se procede al siguiente ensayo:

1. Creación de plantillas monocromáticas de grosores desde 1 pixel hasta 8 para poder tener una comparativa de los resultados obtenidos.
2. Desarrollo del programa inicial **detector de picos** (explicado en el apartado de programados), que nos permitirá obtener las graficas en cada captura y poder compararlas.
3. Montaje en la **Disposición 1**, obtenida en el apartado "2.2 Creación de soporte para pruebas iniciales", con el Proyector 1 y la cámara. Se estudiara el comportamiento de este montaje con la lente de 12 mm y por otro lado con la lente de 50 mm.

Se capturan las imágenes siguiendo el procedimiento general descrito en "2.2 Creación de soporte para pruebas iniciales". Como ayuda se crea una presentación en Power Point con las 8 plantillas que tendrán la resolución del Proyector 1, 1024x768.

Una vez se tienen las capturas, se analizan mediante Matlab, guardando las graficas obtenidas para poder realizar la comparativa.

Análisis de resultados y conclusiones

Primero se hace un resumen de los aspectos generales que se han observado y después se muestran y describen los resultados obtenidos con las diferentes plantillas en Matlab.

Observaciones generales:

Las plantillas se guardan en formato *.bmp, mapa de bits monocromático y el tamaño traducido a centímetros será , 27.09x20.32 cm. A la hora de enfocar las lentes se ha mantenido el diafragma lo mas cerrado posible para así poder ganar enfoque.

Por otro lado, en el ajuste de los valores de la cámara mediante el ordenador, el tiempo de exposición para la lente de 12 mm será de 50 ms y para la lente de 50 mm será de 150 ms lo cual se explica por el siguiente motivo. La lente de 12 mm no nos permite cerrar tanto el diafragma como la de 50 mm, el enfoque con la segunda por tanto será mucho mejor y las imágenes obtenidas son mas nítidas. Esto se traduce a que con la lente de 50 mm el diafragma esta mas cerrado y por tanto el tiempo de exposición debe ser mayor para tener claridad en la captura.

Por otro lado se observa que con un tiempo de exposición muy alto , 500 ms , aparecen manchas en las capturas. Por tanto el tiempo de exposición quedara entre 50 y 500 ms.



A continuación se muestran 2 capturas de cómo quedaría el montaje con cada una de las lentes y las distancias obtenidas.

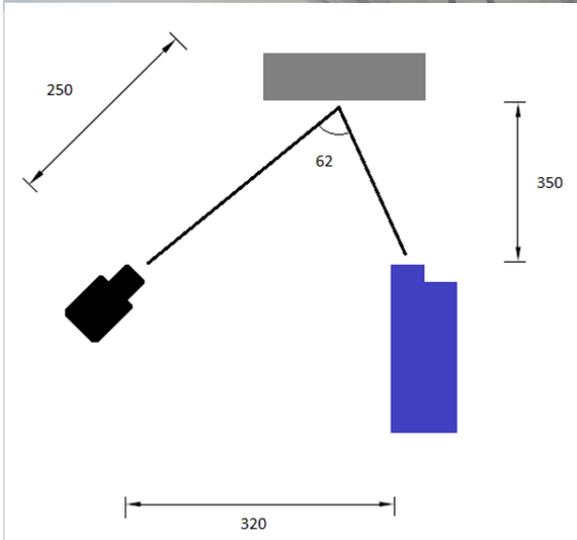


Figura 4.1 - Montaje con la lente de 12 mm y distancias obtenidas entre elementos.

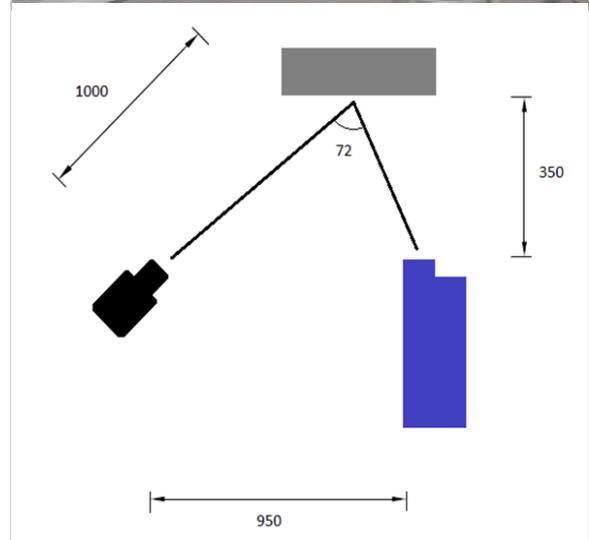


Figura 4.2 - Montaje con la lente de 50 mm y distancias obtenidas entre elementos.

Como se puede observar, el montaje con la lente de 50 mm ocupa un espacio demasiado grande. A parte de necesitar perfiles de mas de 1 m de longitud , de cara a la portabilidad del método una vez diseñado e industrializado , esto sería un inconveniente. A pesar de esto se estudian los resultados obtenidos con dicha lente.



Comparativa de plantillas:

En las **figuras 4.3 y 4.4** se muestran dos capturas obtenidas con cada una de las lentes y la plantilla de 2x2.

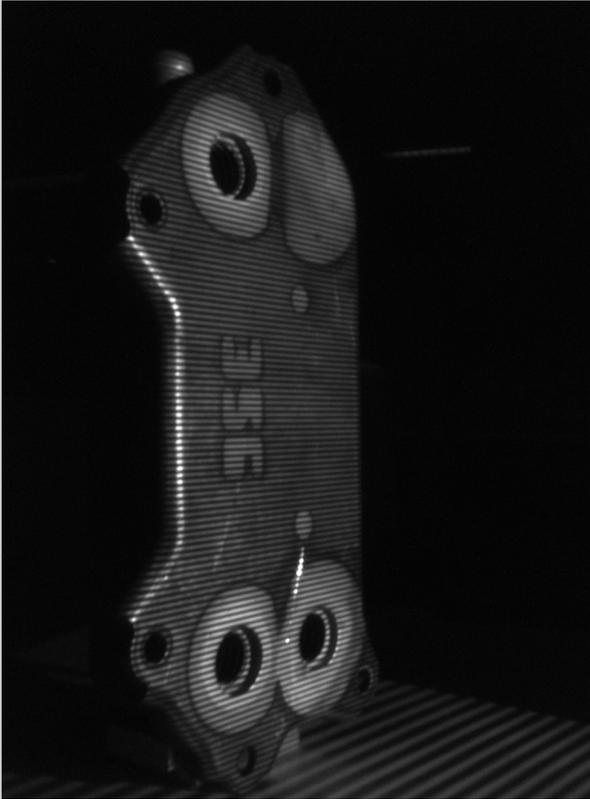


Figura 4.3 - Captura obtenida con la lente de 12 mm en la Disposición 1 y la plantilla 2x2

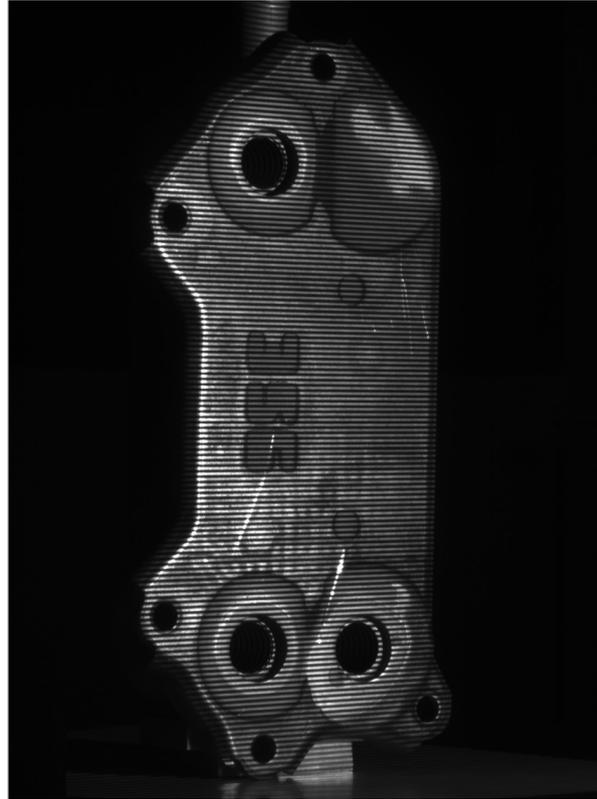


Figura 4.4 - Captura obtenida con la lente de 50 mm en la Disposición 1 y la plantilla 2x2

Como ya se ha mencionado antes, se observa una mayor nitidez en la captura con la lente de 50 mm debido a la mejora del enfoque.

Para cargar las imágenes en Matlab y analizarlas se deben girar. Este procedimiento deberá ser realizado con Xnview ya que si se giran con el visor de Windows el mapa gris es modificado.



Una vez cargada la imagen en Matlab, se procede al análisis de una línea en horizontal constante que recorrerá la imagen de manera horizontal (como se ha explicado habrá que rotar las imágenes). En la **figura 4.5** se muestra el vector que recorre la imagen y en la **figura 4.6** la grafica obtenida con Matlab.

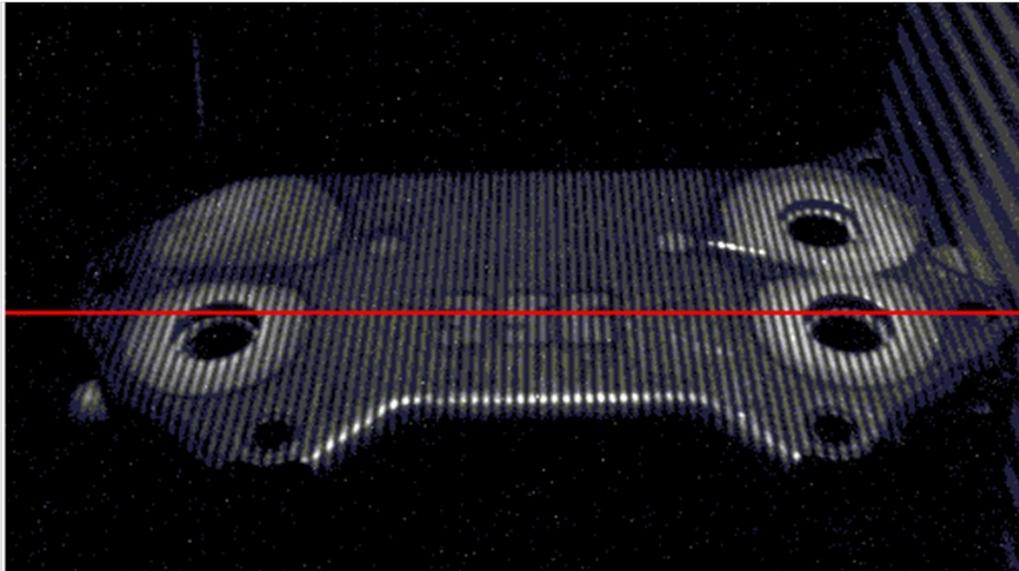


Figura 4.5 - Dibujo obtenido por pantalla del vector constante en v que recorre la imagen para su análisis.

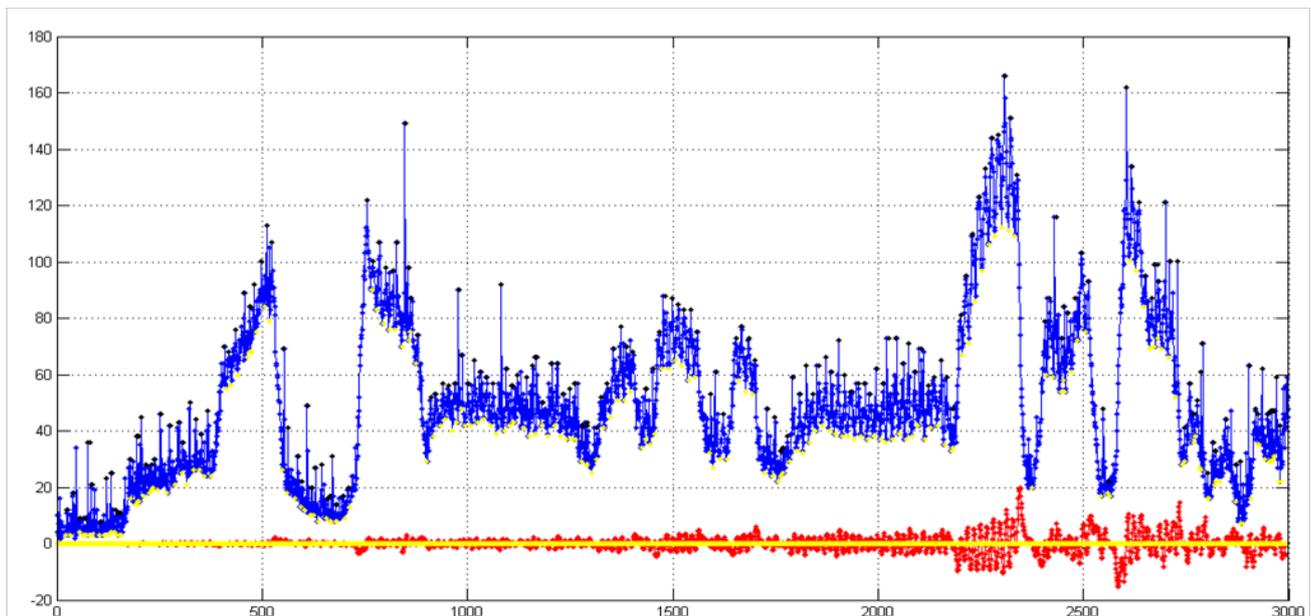


Figura 4.6 - Gráfica de picos obtenida en Matlab. En negro picos máximos, en amarillo picos mínimos y en rojo los cálculos de la derivada.



Se distinguen varias zonas en la grafica analizando en horizontal:

Zona 0-200: zona de ruido en la que el programa reconoce varios picos (pixeles con niveles de gris máximo o mínimo dentro del rango de análisis) que no interesa analizar al no formar parte de la superficie de la pieza.

Zona 200-400: zona mas estable aunque con poca luz que da valores de gris entre 15 y 50.

Zona de flux con agujero, 400-900: se tienen valores muy altos, 70-160, al ser una zona muy clara entre 60 y 110 bajando entre 15 y 30 en la zona del agujero.

Zona estable, 1250-1750: una zona estable en donde se podría llevar a cabo un buen análisis salvo por las marcas del número de la pieza.

Zona final: Se repite lo mismo en los agujeros y como se observa al haber tomado la captura vertical con la Disposición 1 y girado la imagen, no perdemos nivel de gris conforme se avanza en horizontal.

Se observa también que los mínimos (negros) son bastante mas estables que los máximos (blancos) en cuanto a valor de nivel de gris. A pesar de esto trabajaremos con los máximos ya que es la luz que se proyecta con el proyector. Además, los mínimos pueden ser mas difíciles de detectar por problemas de sombras en la imagen (se realiza un ensayo para verificarlo en las siguientes pruebas)

De cara al estudio del salto que hay entre picos, es decir, lo fácil o difícil que sea detectarlos, se establece un valor mínimo entre picos de 10. Con esto descartamos la plantilla de 1x1 tanto para la lente de 12 mm como para la de 50 mm ya que los saltos están muy cerca del limite y en muchos casos por debajo. Se puede observar este hecho en la **figura 4.7**.

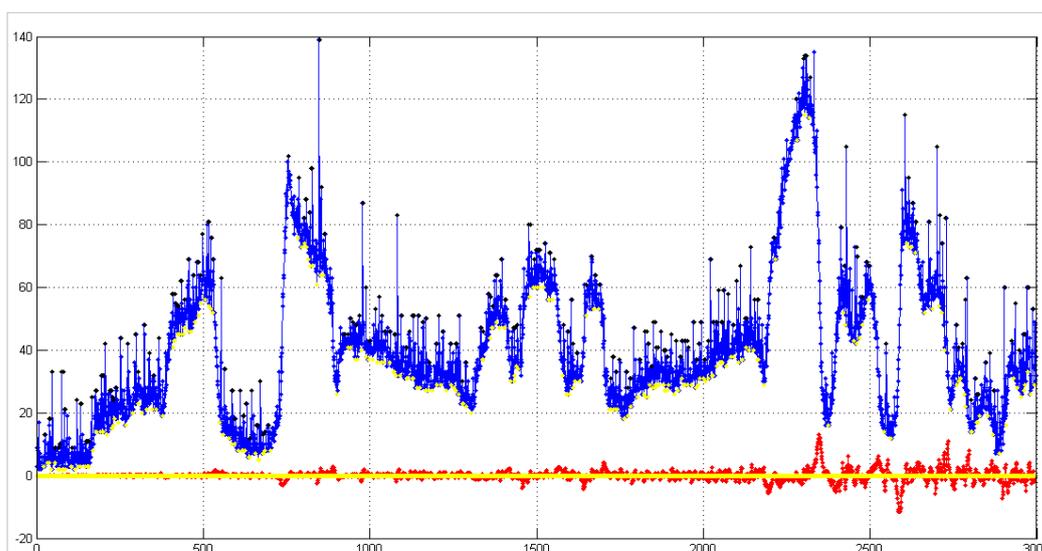


Figura 4.7 - Gráfica obtenida con la plantilla 1x1 y la lente de 12 mm



Para la plantilla de 2x2 y la lente de 12 mm , se obtienen valores aceptables de salto, en torno a 20 en la mayoría de los casos, y un numero de picos mayor que con las plantillas siguientes como se observa en la **figura 4.8**. Por todo esto se intuye que el grosor de franja deberá ser como mínimo 2 pixeles.

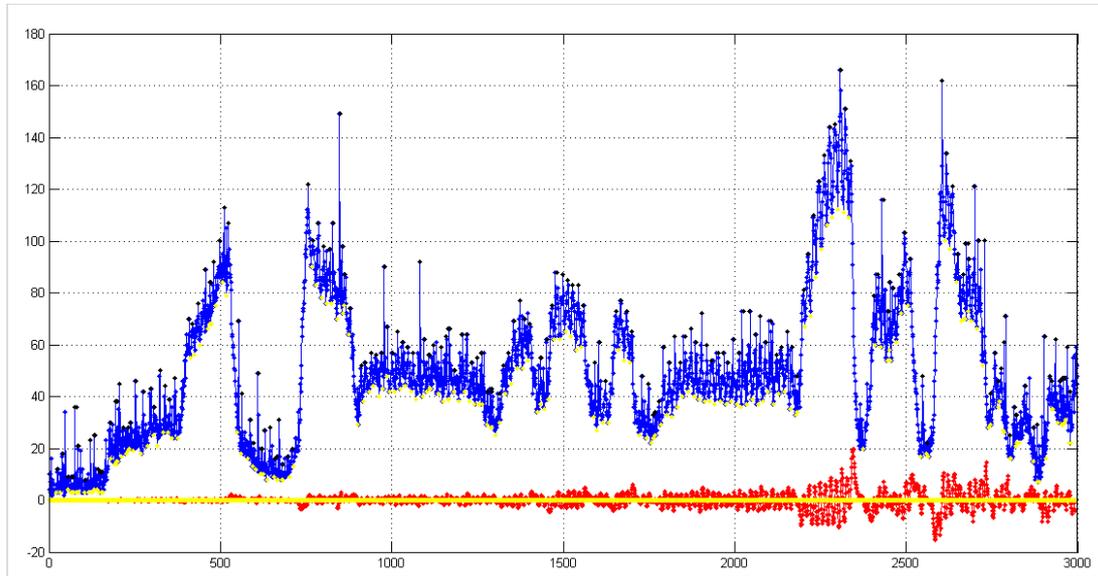


Figura 4.8 - Grafica obtenida con la plantilla 2x2 y lente de 12 mm

Para la misma plantilla con la lente de 50 mm se obtienen valores mucho mayores de salto, esto es debido a la mayor nitidez de la imagen.

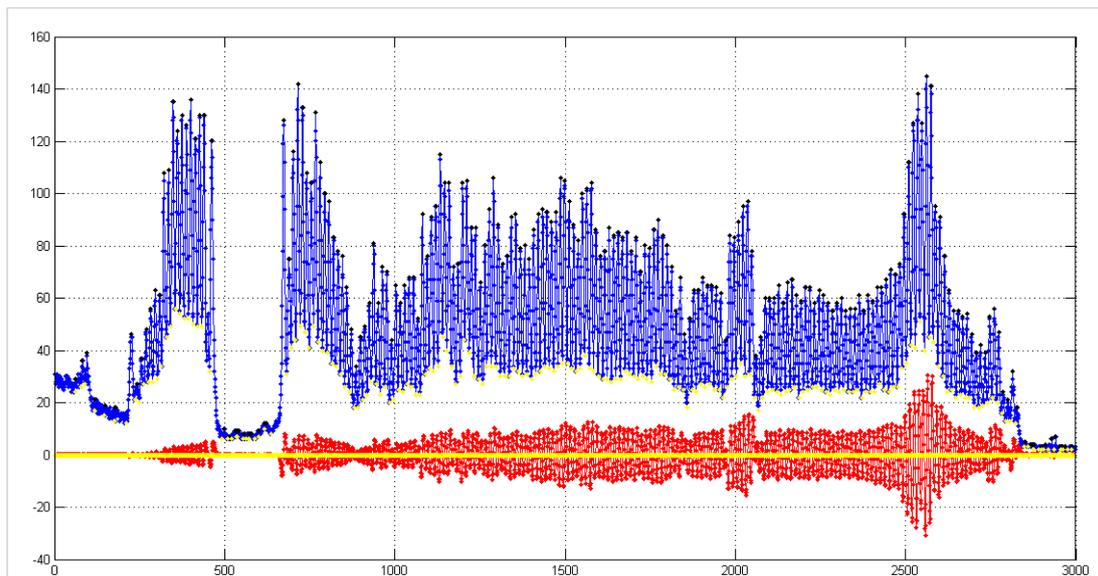


Figura 4.9 - Grafica obtenida con la plantilla 2x2 y la lente de 50 mm



Conforme aumentamos el tamaño de la franja tanto en 12 como 50 mm, perdemos picos y el salto no aumenta prácticamente, por lo tanto se descartan plantillas por encima de los 3 pixeles. Se puede observar en las figuras 4.10 y 4.11.

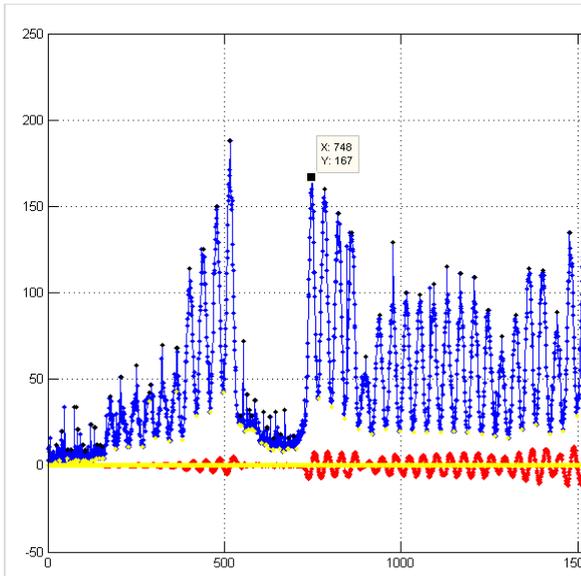


Figura 4.10 - Plantilla 5x5, lente 12 mm

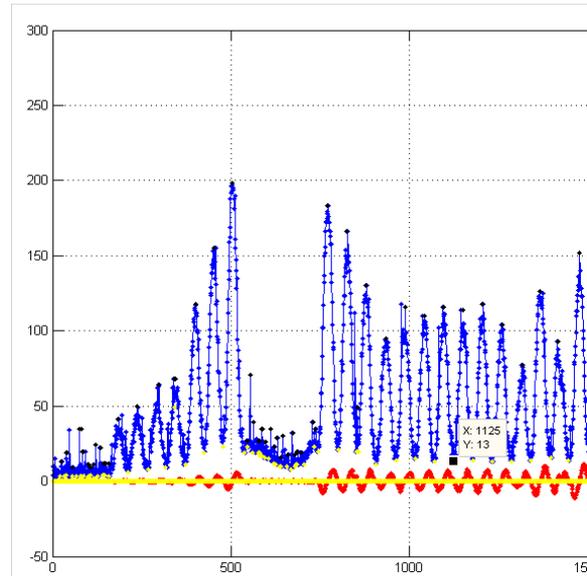


Figura 4.11 - Plantilla 6x6, lente 12 mm

Cabe mencionar que a partir de 5 pixeles perdemos información de la superficie de la pieza como se observa en la imagen como se observa en la figura 4.12.

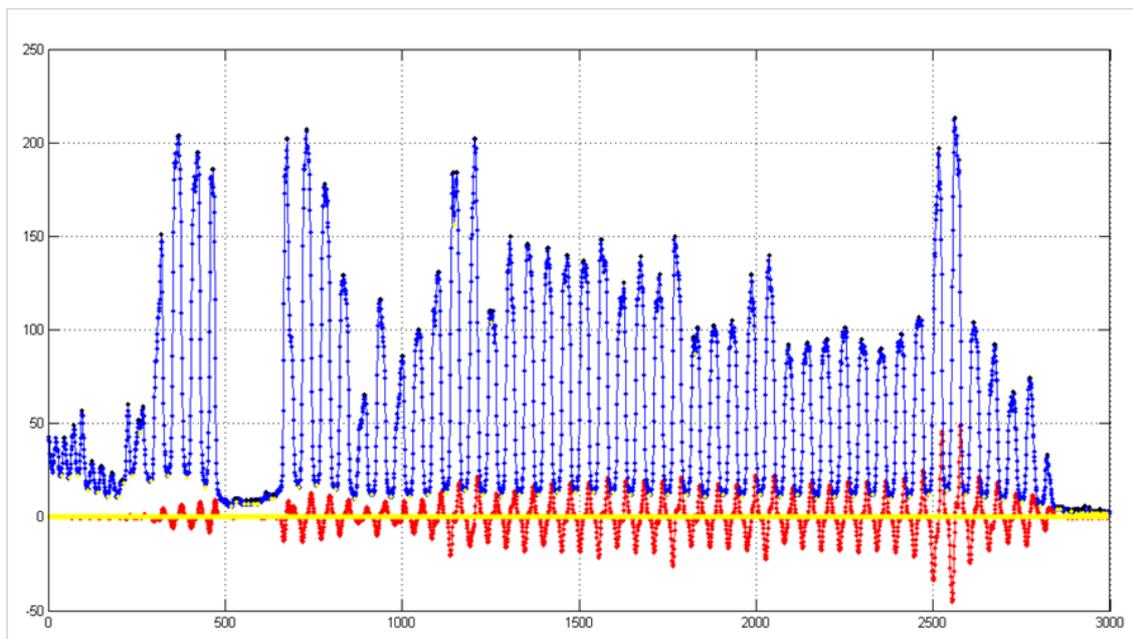


Figura 4.12 - Grafica obtenida con la plantilla 8x8 y lente de 50 mm



Otra observación realizada en las capturas es que las franjas blancas, aun con el mismo grosor, parecen mas anchas que las negras como se puede ver a continuación en la **figura 4.13**.

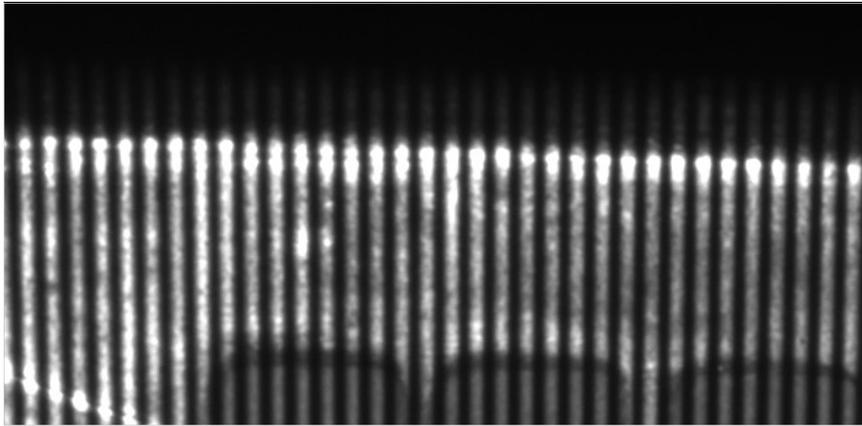


Figura 4.13 - Se observa como las franjas blancas aparecen mas gruesas que las negras sobre todo en las zonas del perfil de la pieza.

Por todo lo anterior se decide trabajar con la plantilla de 2x2 que nos dará un numero de líneas suficiente con el salto entre picos que se busca y por otro lado se comprobara si aumentando en 1 pixel las franjas blancas de la plantilla se obtienen mejores resultados con una plantilla de 2x3.



4.2 Estudio de repetibilidad

Una vez seleccionados los valores del grosor de las franjas de la plantilla, se va a estudiar a fondo varias configuraciones posibles con los distintos elementos que componen el prototipo con objetivo de seleccionar la más adecuada de cara a usar el dispositivo para la medición.

Este sistema de medición tiene que tener repetibilidad, es decir, para una misma situación (entrada de datos) la identificación del centro de gravedad de las franjas debe ser la misma. En caso contrario las variaciones en los resultados de salida se convertirían en variación de los resultados de medición (cuando esta se aplique) influyendo en la calidad de los resultados.

Por tanto se va a llevar a cabo un estudio de repetibilidad sobre 10 capturas sin mover los elementos en cada una de las configuraciones, que nos permitirá decidir si la diferencia entre estas 10 capturas es significativa y así poder elegir la configuración óptima para el prototipo. Los ensayos se realizarán con el Proyector 1 y Proyector 2 en cada una de las disposiciones, la lente de 12 mm en todos los casos salvo en la Disposición 1 que se realiza una comparativa con la de 50 mm y las plantillas de 2x2 y 2x3 en cada una de las disposiciones y con cada uno de los proyectores.

El procedimiento general a seguir será el siguiente:

1. Tomaremos 10 capturas seguidas con todos los elementos fijados e inmovibles. Para ello se seguirá el proceso general mencionado en el apartado 2.2.
2. Se cargarán las imágenes en Matlab una a una, y se almacenará la posición de los máximos obtenidos en cada una de ellas en la hoja Excel. Para obtener el valor de repetibilidad:
 - 2.1. Se realiza un promedio de la posición de los máximos de las 10 capturas y se almacena en una columna.
 - 2.2. Para cada una de las 10 capturas, se calcula la diferencia entre las posiciones de los máximos y la media y se almacena en otra columna.
 - 2.3. Finalmente se calcula, con las 10 columnas de diferencias, el promedio, la desviación estándar y el rango. Los dos primeros valores no tienen demasiada relevancia pero nos dan una idea de cómo son los datos. El rango es el valor de repetibilidad que se busca. Se representará en una gráfica para ver su evolución a lo largo de la imagen. En el eje de ordenadas se representará el valor de repetibilidad y en abscisas la posición de los máximos. Un valor de cero indicará que el método es totalmente repetible y valores por encima del pixel indicarán que el método no tiene una buena repetibilidad.



4.2.1 Estudio de varias disposiciones

Antes de hacer un estudio de las diferentes disposiciones, se realiza una toma con la lente de 12 mm, el proyector 1 y la plantilla 2x2 para ver como funciona el software e introducir mejoras para que funcione de manera correcta. De aquí se obtiene primera mejora (software 1.2) mencionado en el apartado “3.2 Programas desarrollados”.

Con el software mejorado se procede a estudiar el comportamiento de las dos plantillas en cada una de las disposiciones posibles y con cada proyector. A continuación se detalla cada una de ellas y los resultados obtenidos.

Para cada disposición se describen las posiciones de cada elemento, los ajustes y los resultados obtenidos.

DISPOSICION 1 :

La posiciones de los elementos son las concluidas en el apartado de 2.2 como se ve en la **figura 4.14**.



Figura 4.14 - Montaje en Disposición 1 con el Proyector 2



Aunque se ha descartado la lente de 50 mm debido a que el montaje con esta ocuparía un gran espacio y de cara a la portabilidad del método sería un inconveniente, se realiza como se ha dicho una comparativa de la repetibilidad obtenida con esta y la de 12 mm con el Proyector 1. Los resultados obtenidos son los siguientes:

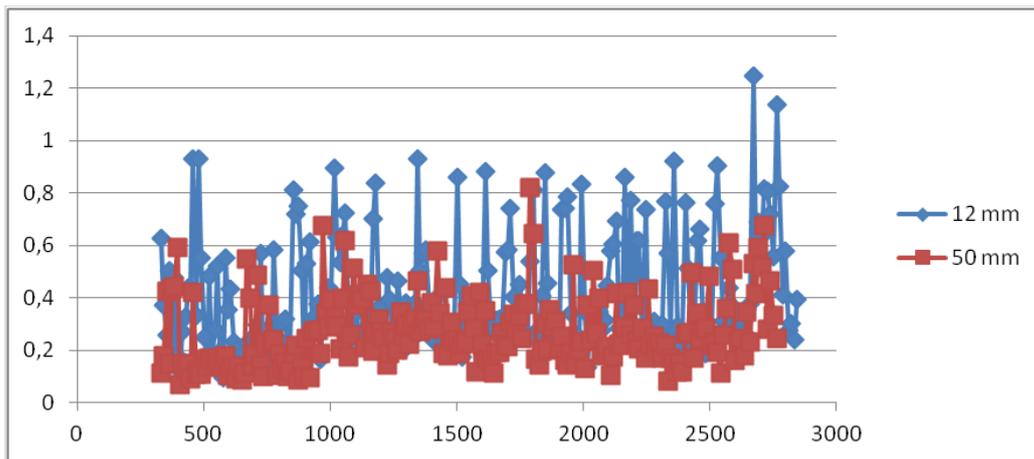


Figura 4.15 - Comparativa de repetibilidad obtenida con cada lente

La repetibilidad obtenida con la lente de 12 mm esta en torno a 1,25 y la obtenida con la de 50 mm en torno a 0,8. La diferencia es grande como era de esperar. Esta es debida a la mayor nitidez de las capturas obtenidas con la lente de 50 mm como se ha mencionado.

Realizando una comparativa entre plantillas con el Proyector 1 se obtiene lo siguiente:

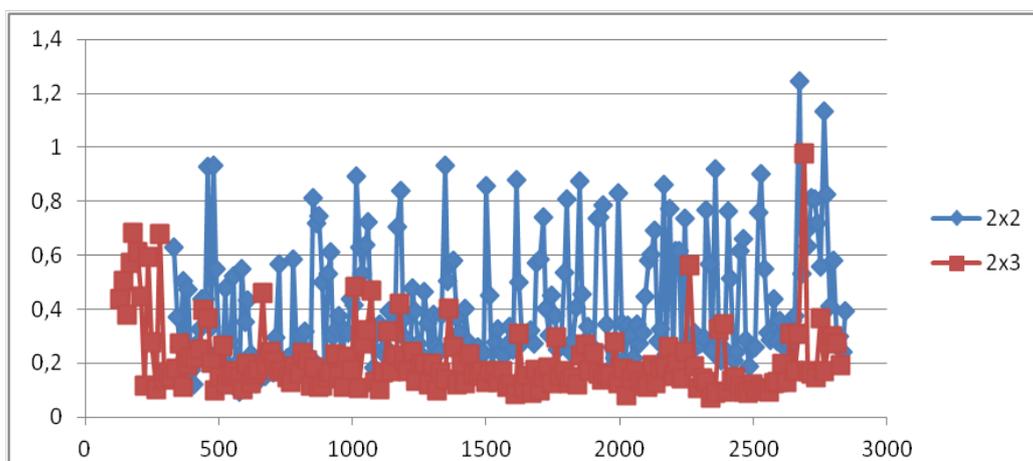


Figura 4.16 - Comparativa de repetibilidad obtenida con cada plantilla



Aunque en la zona central de la grafica se puede observar que con la plantilla de 2x3 se obtienen valores mas bajos de repetibilidad que con la de 2x2, en la zona final tenemos un pico de 1 pixel. Este pico ha sido analizado mediante Matlab, se han realizado inspecciones visuales de los pixeles de las capturas en Xnview y se ha concluido a que no es ningún valor anómalo que se pueda descartar. Por tanto se obtienen valores de 1,25 pixel para 2x2 y de 1 pixel para 2x3. A pesar de ello se deduce que la plantilla de 2x3 nos permitirá obtener mejores resultados y por tanto se comparan el Proyector 1 y 2 con dicha plantilla. El resultado es el siguiente:

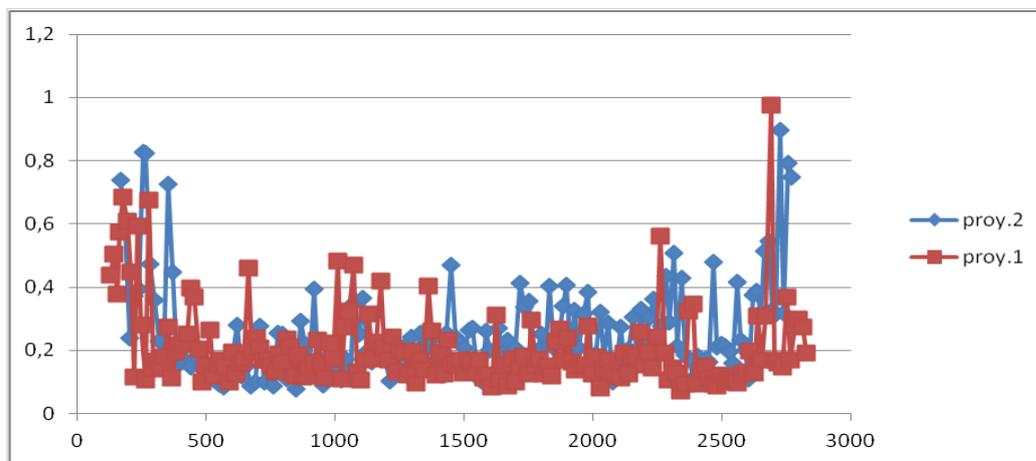


Figura 4.17 - Comparativa de repetibilidad con los dos proyectores

Se observa que la diferencia entre ambos para esta disposición no es significativa.

Las conclusiones obtenidas de los ensayos con esta disposición son las siguientes:

De momento con los resultados obtenidos se puede prever que la plantilla 2x3 nos dará valores de repetibilidad mas bajos. En cuanto a los proyectores, de momento no se observan diferencias para esta disposición aunque el Proyector 1 nos da una potencia de brillo mayor que el Proyector 2 y por tanto se puede cerrar mas el diafragma de la lente y mejorar así el enfoque de esta. El tiempo de exposición que se debe introducir en el controlador de la cámara en cada caso será, 150 ms para el montaje con el Proyector 1 y 300 ms para el montaje con el Proyector 2.

El principal problema de esta disposición es que las franjas quedan paralelas al eje óptico de la cámara y por tanto no se aprecia deformación en la superficie de la pieza cuando las proyectamos. Como solución a este problema se plantea la disposición 2. Las distancias obtenidas entre elementos se detallan en el apartado "6.Diseño de soporte para dispositivo final".

**DISPOSICION 2 :**

Para esta disposición, giraremos todo el sistema 90 grados en sentido contrario a las agujas del reloj, como ya se hizo en el apartado 2.2 . El resultado es el siguiente montaje mostrado en la figura 4.5 y la captura en la **figura 4.18**.



Figura 4.18 - Montaje en Disposición 2 con el Proyector 2

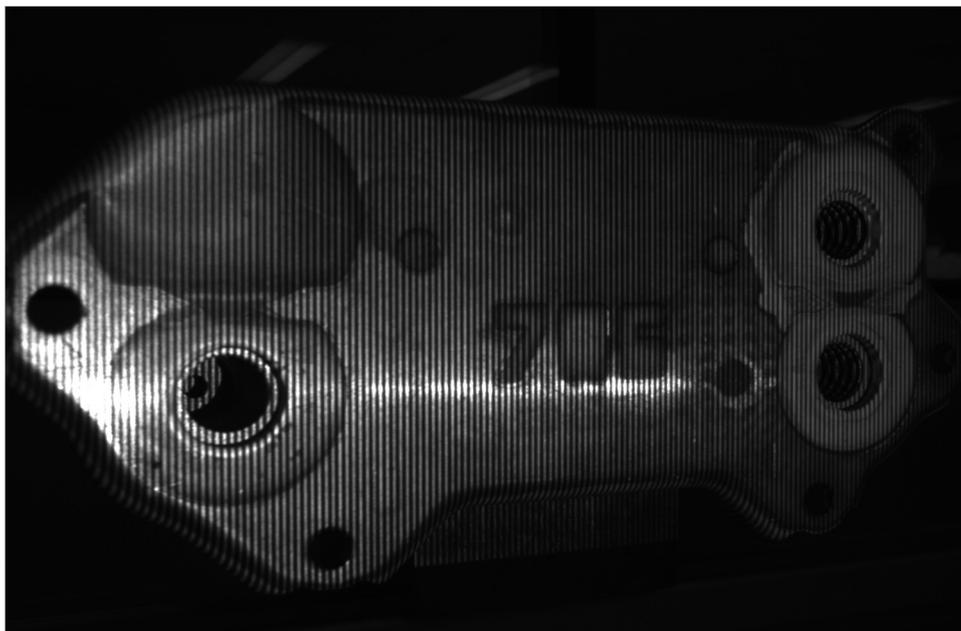


Figura 4.19 - Captura obtenida en la Disposición 2 con la plantilla 2x2 y el Proyector 1



El principal problema de esta disposición, como se observa en la captura es, el reflejo captado producido por la luz de proyección. Este reflejo puede atenuarse (sin llegar nunca a desaparecer) con el Proyector 1 ya que podemos cerrar mas el diafragma de la cámara debido a que el brillo que nos proporciona la lámpara es mayor que el del LED. Esto se refleja en la grafica de la repetibilidad que muestra unos valores mucho mas altos en la zona final debido a que para eliminar el reflejo se a oscurecido toda la imagen y por razón de perspectiva en esta zona no se pueden llegar a distinguir bien las líneas. Como puede observarse la diferencia de valores entre los dos proyectores no es demasiado grande salvo en la zona final que se ha mencionado.

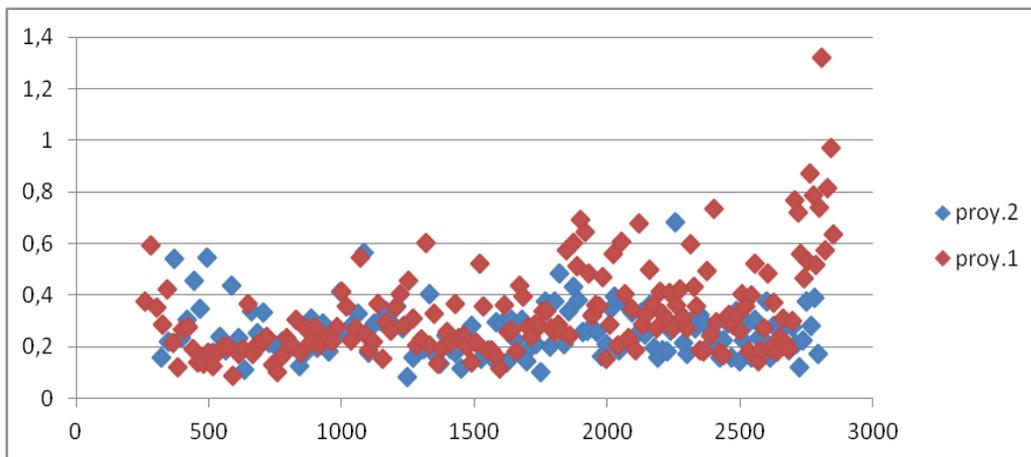


Figura 4.20 - Comparativa en la Disposición 2, repetibilidad Proyector 1 y 2

En cuanto a plantillas se obtiene esta vez valores de repetibilidad mucho mas pequeños con la plantilla 2x3 tanto con el proyector 1 como con el proyector 2 como vemos en la siguiente grafica.

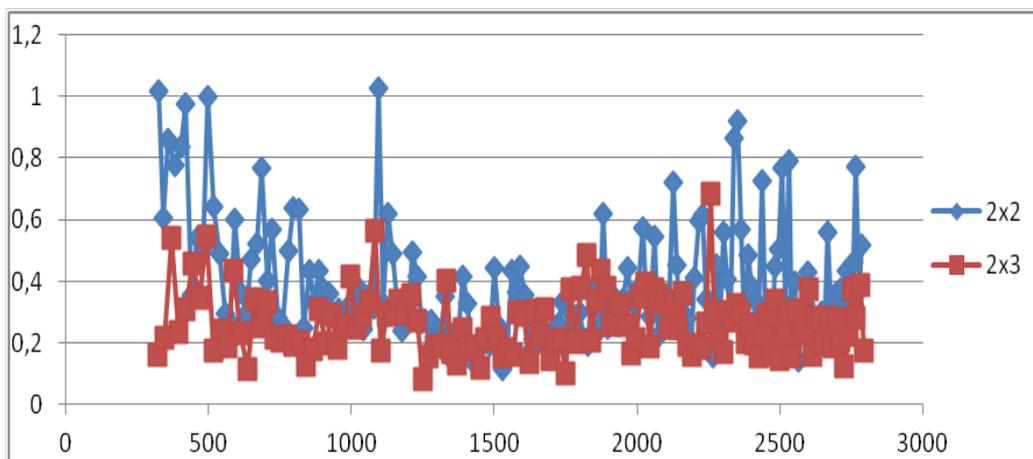


Figura 4.21 - Comparativa de repetibilidad obtenida con las plantillas y el Proyector 1

La plantilla de 2x3 nos da valores mucho mas bajos en general teniendo como máximo 0,7 frente a 1 pixel de la de 2x2.



Las conclusiones obtenidas son las siguientes:

Tras realizar varias capturas, variando el ángulo de la cámara y las posiciones de los elementos, probando el resultado de incorporar anillos de extensión en la lente, se concluye que en ningún caso se podría llegar a eliminar del todo el reflejo producido por la luz de proyección, por tanto esta disposición no podría ser utilizada en ninguno de los casos ya que perderíamos líneas en esa zona. En cuanto a proyectores volvemos a obtener valores parecidos entre si de repetibilidad aunque vuelve a notarse que el proyector 1 da mucha mas potencia lumínica que se traduce en mas brillo y mas nitidez. En cuanto a las plantillas se ve claramente que trabajaremos mejor con la 2x3 debido a que se obtienen valores de repetibilidad mas bajos y graficas mas estables.

Para intentar evitar el reflejo, sabiendo que con esta disposición podríamos llegar a medir, se plantea la disposición 3.

DISPOSICION 3:

Como alternativa a la Disposición 2 , se plantean dos opciones. La primera de ellas es , elevar el proyector y girarlo unos grados hacia abajo para conseguir así que el reflejo no entre la superficie de la pieza. Para ello se crea un soporte para este como se observa en la figura.

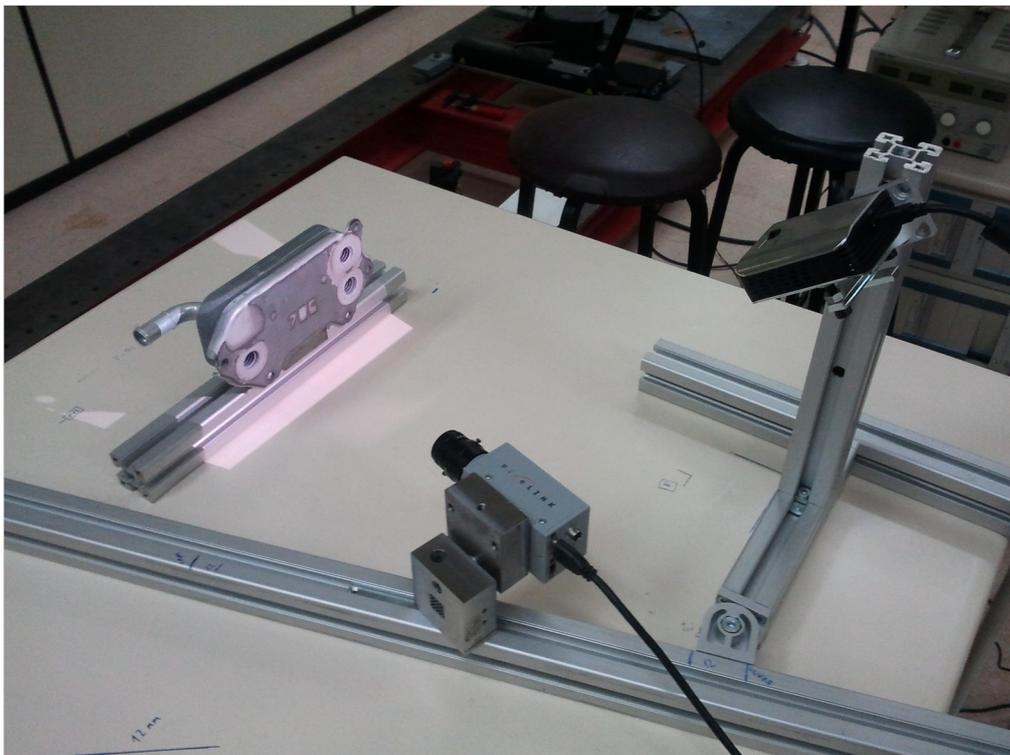


Figura 4.22 - Montaje de Disposición 3 y Proyector 2



En la **figura 4.23** se muestra la captura obtenida girando el Proyector 1.



Figura 4.23 - Deformación de las líneas producidas con el giro del Proyector 1

Como puede observarse al girar el proyector, la superficie de proyección no es paralela a la superficie de la pieza y esto provoca que en el lado izquierdo se deformen las líneas, provocando así que la distancia entre estas no sea uniforme en toda la pieza. Esto llevaría a una densidad de puntos no uniforme de cara a la medición, con lo que se debe descartar dicha solución. El mismo efecto se observa al girar la pieza. Por esto se concluye en que esta disposición no podrá ser usada tampoco para la medición.

DISPOSICION 4:

Como solución se plantea una disposición 4 que será la que escogeremos para el trabajo futuro. La disposición de los elementos será la misma que en la disposición 1 pero en este caso las franjas de la plantilla estarán giradas y por tanto se observara la deformación en la superficie de la pieza lo que nos permitirá realizar mediciones. Esto significa que las capturas no deberán ser giradas para su análisis. Por contraposición, se traducirá a que tendremos menos numero de líneas en la pieza (al final del capítulo se incluye una tabla resumen de estas) ya que aprovecharemos solo el ancho de la resolución máxima del proyector. Se realiza un estudio en un apartado aparte de esta disposición mas a fondo.



4.2.2 Disposición 4

4.2.2.1 Angulo máximo de trabajo

Como ya se ha mencionado en el apartado 2.2, sería interesante para esta configuración encontrar un ángulo a lo mas cercano a 90 grados que permitiera captar la profundidad en la superficie de la pieza y a su vez obtener un numero suficiente de líneas para poder trabajar. Es por este motivo que se realiza un estudio del ángulo a con esta disposición.

Para realizar este estudio se usara el Proyector 2 y la plantilla 2x3, tomando las capturas mediante el procedimiento general mencionado en 2.2. Las distancias del proyector y la cámara a la pieza permanecerán inmóviles y serán las obtenidas en la Disposición 1. Para variar el ángulo se variara la distancia entre la cámara y el proyector.

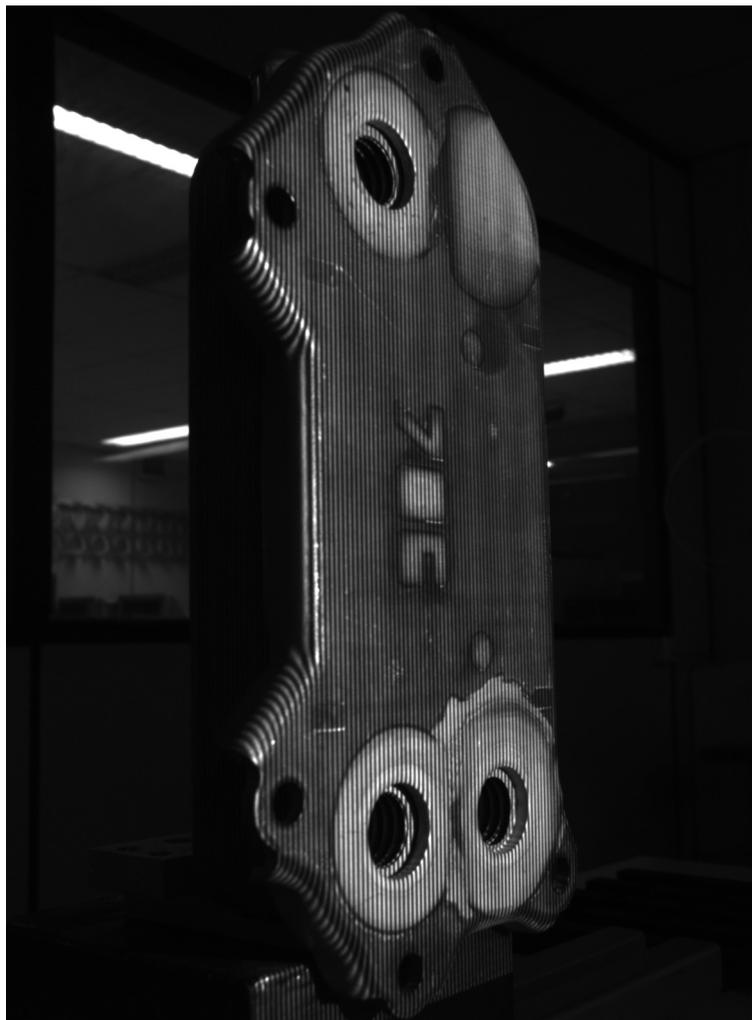


Figura 4.24 - Captura obtenida con la Disposición 4



Como se observa en la captura, en esta disposición aparecen unas primeras franjas blancas en la pieza que no interesan debido a su deformación. Estas líneas se eliminarán en el análisis puesto que podrían llevar a error en los resultados. Se observa en la **figura 4.25**.

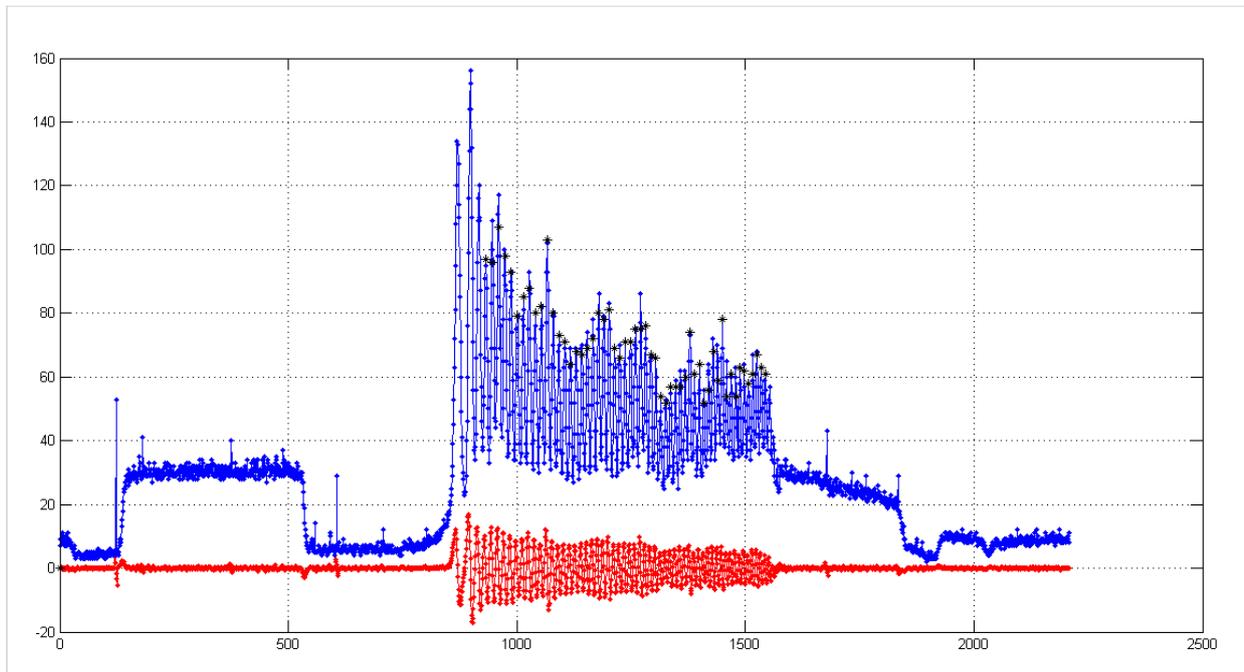


Figura 4.25 - Grafica obtenida tras ajustar el rango para evitar las primeras líneas

Se plantean 4 distancias posibles. Como se ha mencionado anteriormente, el salto mínimo entre picos fijado como limite para poder trabajar con una plantilla o disposición es de 10. Con esto se procede al análisis obteniéndose los siguientes resultados. En la tabla se muestran las distancias D, entre la cámara y el proyector, el ángulo α en grados y el numero de líneas obtenidas.

D	500	440	400	360
α (grados)	87	72	63	54
nº líneas	23	61	67	67



Representando el nivel de gris de las líneas obtenidas y el salto entre picos frente al número de máximo se obtiene para el ángulo de 87 grados :

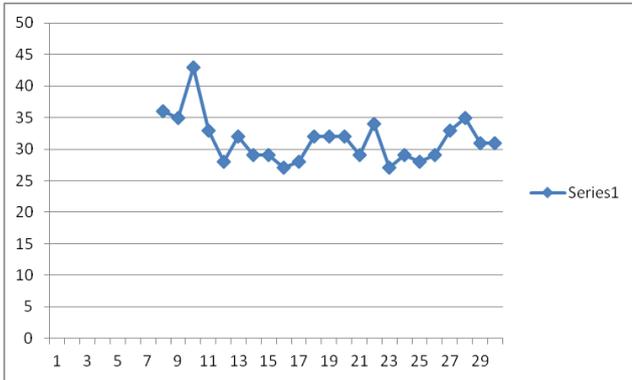


Figura 4.26 - Nivel de gris con ángulo 87

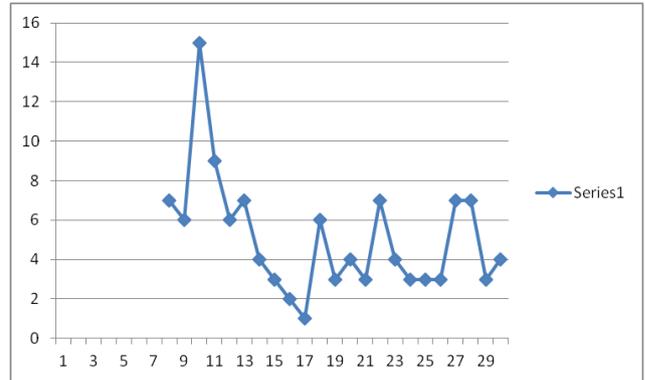


Figura 4.27- Salto entre picos con ángulo 87

Como se observa, con dicho ángulo, aparte de obtener pocas líneas, los niveles de gris son muy bajos, 25-45 y el salto solo llega a 10 en un caso. Por todo esto el ángulo deberá ser mayor.

Para el ángulo de 72 grados , se obtienen casi el triple de líneas y los niveles de gris son ligeramente mas altos , el salto esta en casi todos los casos en el limite de 10 .

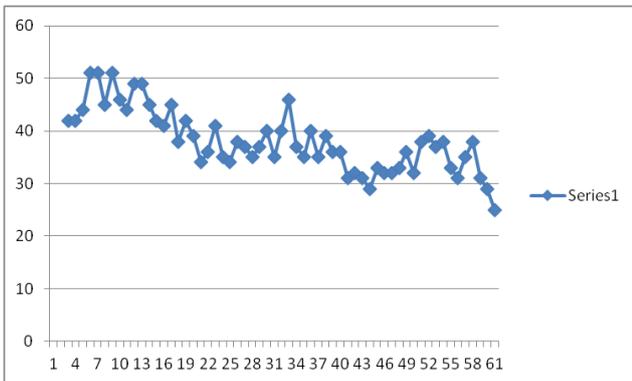


Figura 4.28 - Nivel de gris con ángulo 72

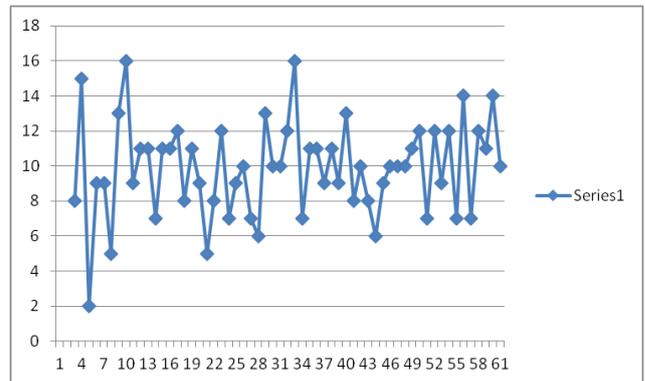


Figura 4.29 - Salto entre picos con ángulo 72

En este caso se empieza a observar como decae tanto el nivel de gris como el salto conforme se avanza en horizontal por razones de perspectiva.



Para el ángulo de 63 grados se obtienen casi el mismo numero de líneas y los siguientes valores:

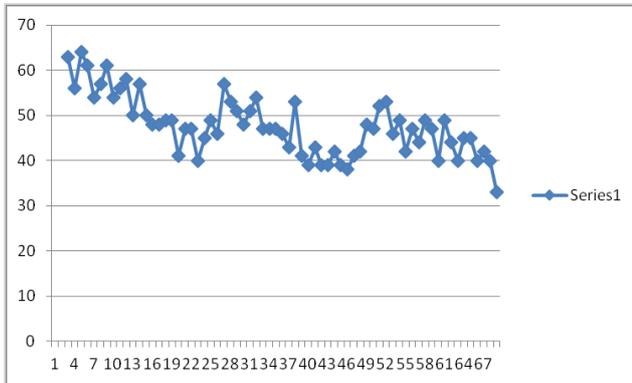


Figura 4.30 - Nivel de gris, ángulo 63

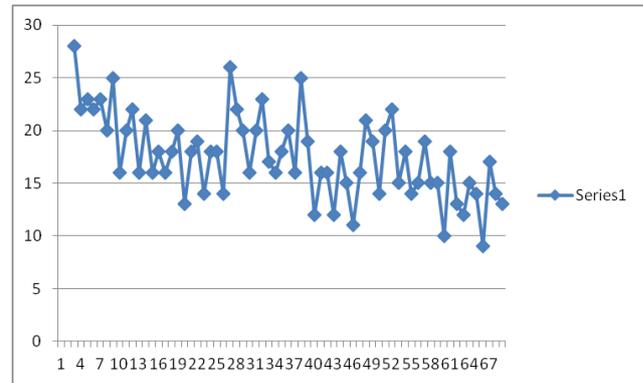


Figura 4.31 - Salto entre picos, ángulo 63

Los valores de gris vuelven a aumentar ligeramente y el salto ya esta en casi todos los casos por encima de 10. El numero de líneas no aumenta y se mantiene como antes. Por otro lado se vuelve a notar la influencia de la perspectiva y como los valores decaen con el avance en horizontal.

Para el ángulo de 54 se obtienen graficas similares con valores de gris 40-90 y saltos entre 40-15.

Por todo lo anterior , se deduce que el ángulo de trabajo deberá estar entre 72 y 63 , con 87 no podemos trabajar debido a saltos mínimos y valores de gris muy bajos y con 54 se obtienen valores mejores pero no aumenta el numero de líneas con lo cual no interesa ya que la prioridad es tener un ángulo lo mas cercano a 90 grados.

Con todo esto se realiza un estudio de repetibilidad con los ángulos 72 y 63 para ver cual de los dos podría proporcionar mejores resultados.



Se lleva a cabo por tanto el estudio de repetibilidad con ángulos 72 y 63. Se sigue el procedimiento general mencionado en el primer capítulo y se utiliza la plantilla 2x3 y el Proyector 2. Los resultados obtenidos son los mostrados en las siguientes figuras.

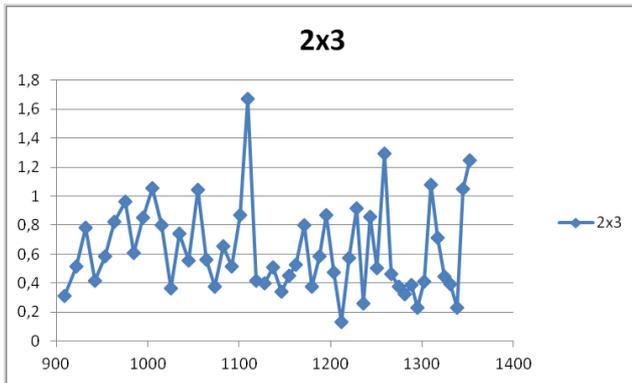


Figura 4.32- Repetibilidad, ángulo

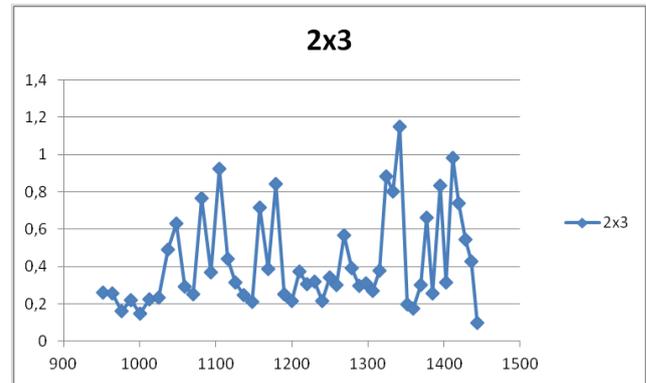


Figura 4.33 - Repetibilidad, ángulo 63

Como se observa el ángulo no estará dentro de estos límites ya que la repetibilidad obtenida es un valor demasiado alto. Estará en 1,7 en el caso de 72 y 1,2 en el caso de 63.

Por tanto se busca un ángulo intermedio entre estos dos, 58 grados, y se realiza una comparativa con la plantilla 2x3 y los dos proyectores. El resultado es el siguiente:

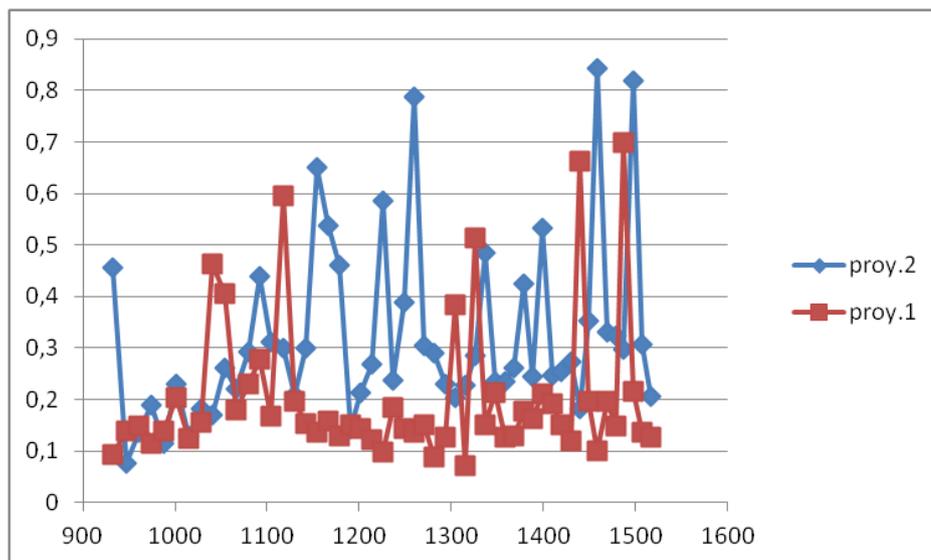


Figura 4.34 - Comparativa de repetibilidad en Disposición 4 y ángulo 58



Como se observa e la grafica, los valores de repetibilidad son mas bajos. Con el Proyector 1 se obtienen valores de 0,7 y con el Proyector 2 valores de 0,85. Por otro lado se observan varios ...

Las distancias entre elementos obtenidas en los ensayos para la Disposición 4 se detallan en el apartado "6.Diseño de soporte para prototipo final".

4.2.2.2 Valor mínimo de repetibilidad obtenible

Con objeto de saber si los valores obtenidos de repetibilidad se pueden mejorar, se realiza un ensayo para estudiar el valor mas bajo obtenible con el método. Se empleara el software 1.3 con la ultima mejora .

Se creara una plantilla con una línea blanca central de 1 pixel. Esto quiere decir que las franjas serán del máximo grosor posible y por tanto la reducción del valor de repetibilidad obtenido mediante el aumento del tamaño de las franjas negras seria la máxima. Se obtienen valores :

Proyector 1: 0,0782

Proyector 2: 0,1528

Por tanto lo que se plantea es doblar el tamaño de la franja negra de la plantilla y tener 2x6. Se obtendrán menos líneas pero la repetibilidad debería mejorar notablemente. Tras realizar los ensayos con los dos proyectores se obtiene los siguiente:

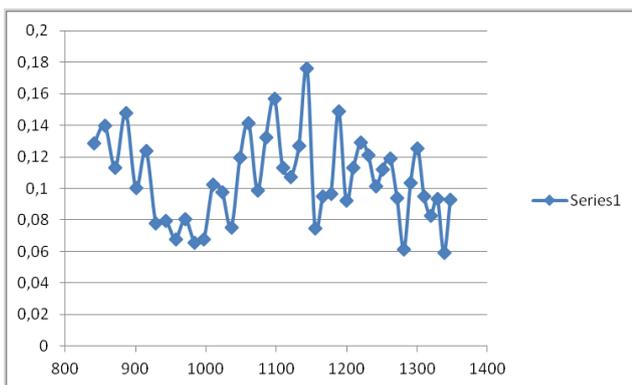


Figura 4.35 - Repetibilidad 2x6, proyector 1

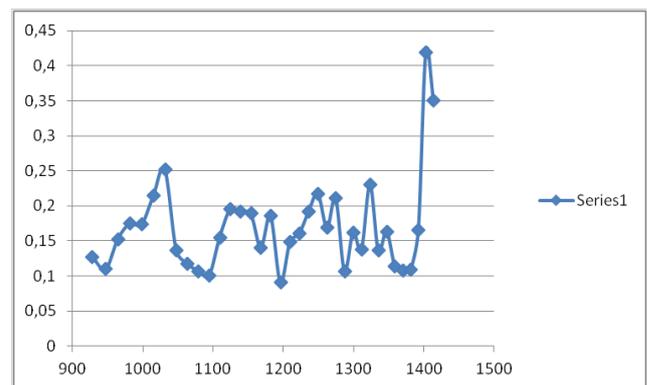


Figura 4.36 - Repetibilidad 2x6, proyector 2

Se obtienen un valor de 0,18 para el Proyector 1 y 0,25 para el Proyector 2. Tan solo 0,1 pixeles de diferencia con respecto al valor mínimo obtenible.



4.2.2.3 Estudio de luz

Como ultimo ensayo en este apartado se realiza una comparativa entre 2 tomas de repetibilidad, uno en el que las capturas están tomadas con luz externa de fondo y otro con el que las capturas se toman con la menor luz posible. Con esto tendremos una idea de en que medida afecta la luz externa a la repetibilidad.

Las dos tomas se llevan a cabo con el Proyector 1 y la plantilla 2x2 y el software 1.3b. Los resultados obtenidos son los siguientes:

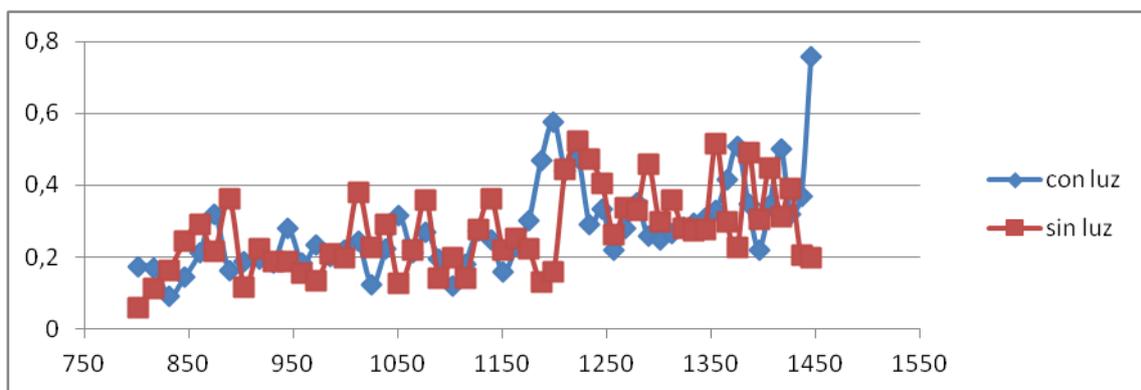


Figura 4.37 - Comparativa repetibilidad con y sin luz de fondo

Como se observa, el principal efecto que tendrá la luz de fondo se produce en las zonas limite en donde la superficie de la pieza queda mas definida con poca luz y por tanto el software reconoce de manera correcta los primeros máximos. A pesar de esto no afecta al valor de repetibilidad obtenido.



4.2.3 Resumen de resultados

A continuación se muestra una tabla con todos los datos obtenidos en las diferentes configuraciones. Para cada disposición, repetibilidad y líneas obtenidas con los dos proyectores y las dos plantillas. En la Disposición 4, se indican los valores con el ángulo 58 con el que se trabaja finalmente y los valores con la plantilla de 2x6.

TABLA DE RESULTADOS		2x2		2x3		2x6			
		Repet.	Líneas	Repet.	Líneas	Repet.	Líneas		
Disposición 1	Proyector 1	1	227	0,9	178	-			
	Proyector 2	1,25	206	1	158				
Disposición 2	Proyector 1	1	164	0,7	176				
	Proyector 2	1,4	148	1,3	135				
Disposición 4, ángulo 58	Proyector 1	1	77	0,7	61			0,18	44
	Proyector 2	1,45	62	0,85	52			0,25	36

Como observaciones a destacar, con la plantilla de 2x3 se obtienen en todos los casos valores de repetibilidad mas bajos que con la de 2x2, aunque por contrapartida nos dará un numero de líneas en la superficie del intercambiador menos. Con el Proyector 1 en todos los casos también se obtiene un valor menos de repetibilidad que con el Proyector 2, esto se debe a la potencia lumínica que se traduce en mayor nitidez en las capturas. Los resultados obtenidos con la plantilla 2x6 en la Disposición 4 con el ángulo 58 se analizan mas adelante en el apartado “7. Conclusiones y trabajo futuro”.



4.3 Estudio de paso

Como comprobación y para conocer la distancia en píxeles que hay entre los picos consecutivos con determinada disposición, plantilla y proyector, se realiza un ensayo que consistirá en proyectar una secuencia de plantillas en las que las franjas cambiaran de posición pixel a pixel de manera ordenada, de izquierda a derecha, empezando por el límite del lado izquierdo, hasta llegar de nuevo a su posición de partida. Dichas plantillas tendrán el formato adecuado para cada proyector y disposición como en los demás ensayos. Tomando capturas de dicha secuencia sobre la pieza, se obtendrá mediante análisis con Matlab y Excel dicha distancia entre picos. Para el caso de 2x2 se crean 4 plantillas y para el caso de 2x3, 5 plantillas.

A continuación se muestra un ejemplo de creación para 2x2.



Figura 4.38 - Creación de plantillas de paso

El procedimiento general de toma de imágenes será el mencionado. Tras ajustar los valores y distancias, se proyectan las plantillas mediante una presentación Power Point sin modificar nada entre una y otra. Una vez se tienen las capturas se procede al análisis de un vector en horizontal exactamente igual que en los demás ensayos y se almacena la posición de los picos.



Por un lado se calcula la distancia que hay entre picos máximos consecutivos dentro de cada plantilla, restando una posición respecto a la siguiente con todas las líneas detectadas. Por otro lado se calcula la distancia entre franjas restando la posición de los máximos obtenidos con la plantilla n a la de los obtenidos con la plantilla n-1, es decir, la posición de 2 menos la 1, la de 3 menos la 2 ... consecutivamente. Así se obtiene la separación entre una misma franja de plantillas consecutivas, es decir, la mínima distancia entre franjas a obtener en el proceso de medición.

Antes de llevar a cabo el estudio de paso con la Disposición final y la plantilla 2x6, se realiza con las distintas configuraciones, plantillas y proyectores. Como resultados a destacar, en el calculo del paso para la Disposición 1, la diferencia no varía con respecto se aumenta en horizontal, a diferencia de la Disposición 2 y Disposición final en donde se aprecia un decrecimiento de este conforme se avanza en horizontal debido a la perspectiva. En las figuras se muestran las distancias en pixeles obtenidas frente a el numero de máximo. En la figura 4.39 y 4.40 se observan varios valores dispersos debido a que se realizo el calculo con el software 1.2 en la Disposición 1.

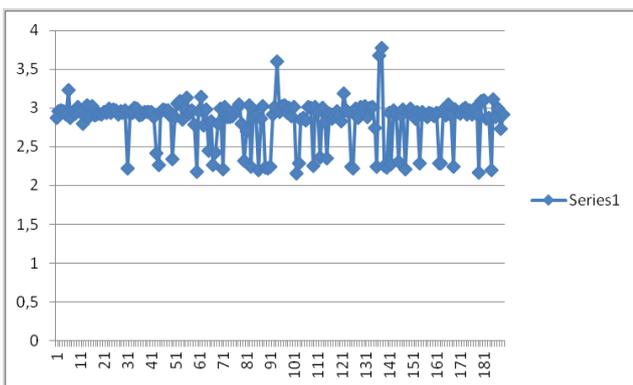


Figura 4.39 - Distancia en pixeles entre franjas frente a numero de máximo

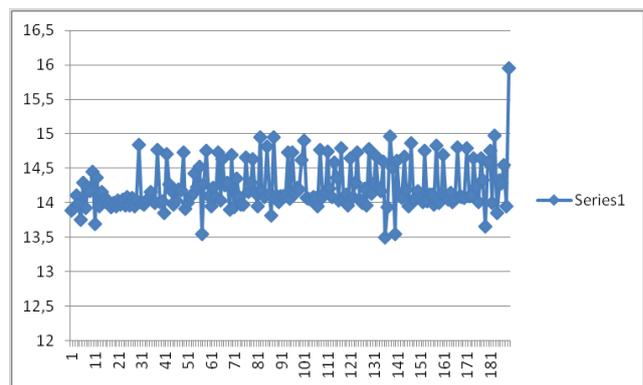


Figura 4.40 - Distancia en pixeles entre picos dentro de una captura frente a numero de máximo

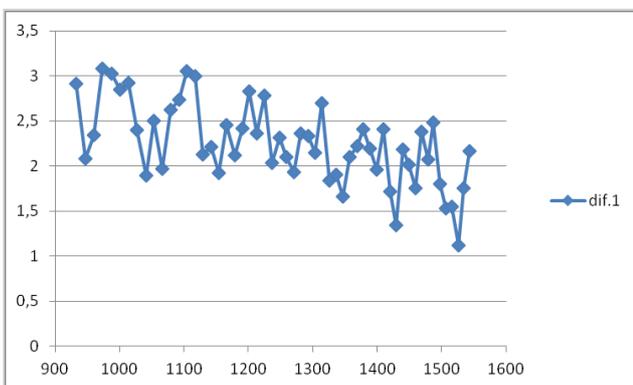


Figura 4.41 - Distancia entre franjas con Disp.2

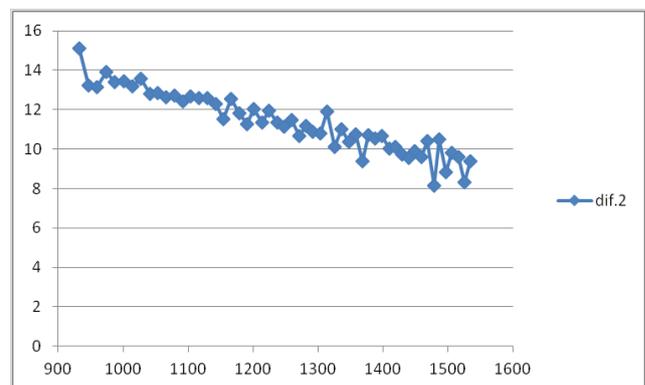


Figura 4.42 - Distancia entre picos con Disp.2



Se obtienen resultados similares para la disposición 4 en la que se observa el mismo problema de decaimiento con el avance en horizontal.

Para la plantilla 2x6 se obtienen los siguientes resultados:

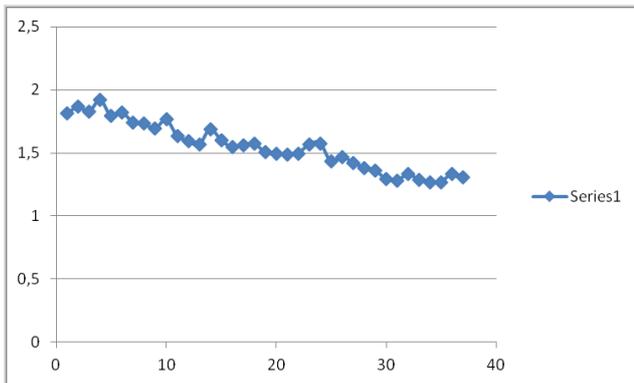


Figura 4.43 - Distancia en pixeles entre franjas frente a numero de máximo con Disposición 4, Proyector 1 y plantilla 2x6

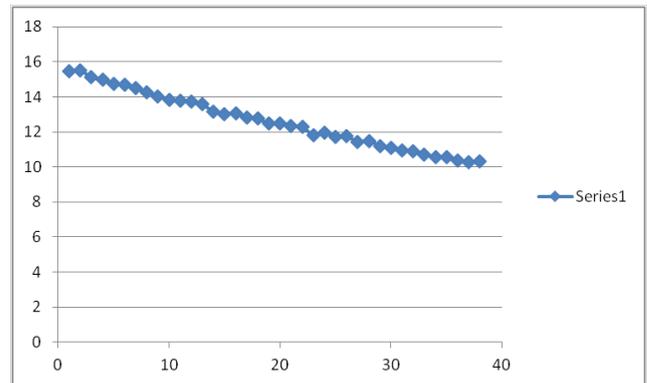


Figura 4.44 - Distancia en pixeles entre franjas frente a numero de máximo con Disposición 4, Proyector 1 y plantilla 2x6

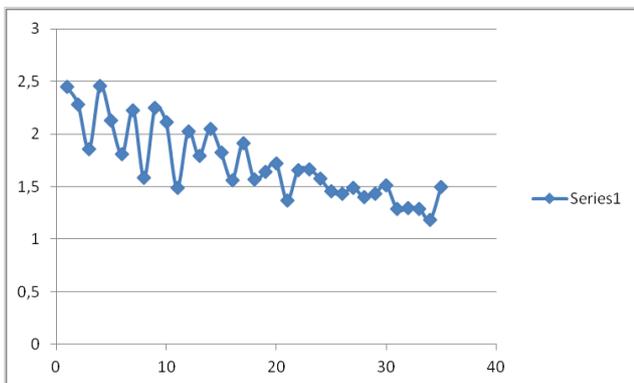


Figura 4.45 - Distancia en pixeles entre franjas frente a numero de máximo con Disposición 4, Proyector 2 y plantilla 2x6

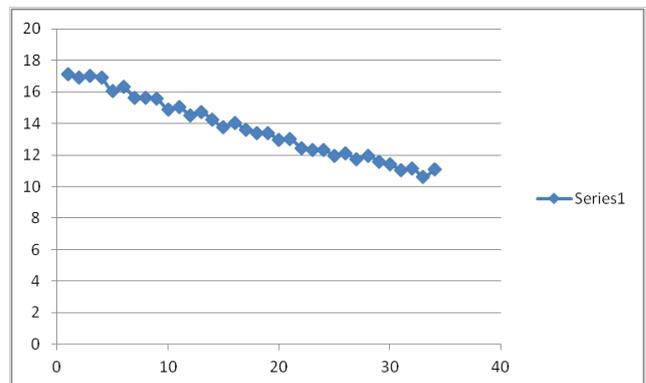


Figura 4.46 - Distancia en pixeles entre franjas frente a numero de máximo con Disposición 4, Proyector 1 y plantilla 2x6

Se observa la tendencia a decaer pero los valores son mucho mas regulares debido a que el análisis se lleva a cabo con el software 1.3.



A continuación se detallan los resultados obtenidos en diferentes disposiciones y con diferentes plantillas a modo de resumen en la siguiente tabla. Los valores son promedios de todas las diferencias y están en píxeles .

TABLA DE RESULTADOS		2x2		2x3		2x6	
		Dist. franjas	Dist. picos	Dist. franjas	Dist. picos	Dist. franjas	Dist. picos
Disposición 1	Proyector 1	2,7	11,4	2,8	14,2	-	
	Proyector 2	3,2	12,7	3,2	15,9		
Disposición 2	Proyector 1	-	-	-	-		
	Proyector 2	3,6	14,7	3,7	18,4		
Disposición 4, ángulo 58	Proyector 1	-	-	-	-	1,6	12,8
	Proyector 2	-	-	2,25	11,3	1,7	13,7



4.4 Estimación de la resolución

El siguiente ensayo tiene como objetivo el encontrar un valor estimado de la resolución en z apreciable con el método. Para ello se tomara una captura de la proyección de la plantilla sobre el calibrador. Colocándolo en una posición en la que la superficie de la pieza coincide con la superficie media de este, se procede a realizar la captura siguiendo el procedimiento general. El ensayo se realiza en la Disposición 4 con el ángulo de trabajo de 58 obtenido y la plantilla 2x6. Se realiza el calculo con los dos proyectores. Se obtiene la siguiente imagen con el Proyector 2.



Figura 4.47 - Captura del calibrador en la Disposición 4 con la plantilla 2x6 y el Proyector 2.



A continuación se muestra la manera de identificar las líneas en el calibrador. Con un 1 se identifica la primera línea en las dos almenas las cuales difieren 4 mm.



Figura 4.48 - Identificación de líneas en el calibrador

Conociendo que la distancia entre las almenas del calibrador es de 4 mm, se trata de identificar una de las líneas en la primera almena y en la segunda, tomar su valor de coordenada en x y hacer la relación.

Para el Proyector 1 se obtiene que la diferencia entre posiciones es de $1465 - 1425 = 40$, por tanto $40/4 = 0.1$. Se obtendrá una resolución en z de 0.1 pixel/mm

Para el Proyector 2 análogamente se obtendrá $1135 - 1095 = 40$, por tanto la misma resolución de 0.1 pixel/mm.



4.4 Comparativa con el sistema laser

Los valores de los resultados que se obtienen con el **sistema laser** son, **650000 puntos** en **1050 líneas** .

Se sabe que **una toma** cuesta unos **20 segundos**.

Por otro lado la **resolución en z** es de **0.1 pixel/mm**.

Con el prototipo en la **Disposición 4** con el **ángulo 58 grados** y la **plantilla de 2x6**, se obtienen para el proyector 1, 44 líneas y para el proyector 2, 36 líneas. Haciendo un conteo de puntos por línea en la superficie de la pieza con las capturas obtenidas se obtiene, realizando una promedio entre las zonas finales donde la superficie es menor y restando la zona de agujeros, un valor de 2400 puntos por línea. Se tomaran 8 imágenes con la plantilla de 2x6 , por tanto se obtendrán:

Proyector 1

$8 \times 44 \times 2400 = 844800$ puntos en **44 líneas** con el **Proyector 1** de **resolución 1024x768**.

Con el **tiempo de exposición** que se obtuvo para este proyector de **150 milisegundos**, se capturan 5 imágenes por segundo con lo que **una toma** de 8 capturas costara **1,6 segundos**.

Proyector 2

$8 \times 36 \times 2400 = 691200$ puntos en **36 líneas** con el **Proyector 2** de **resolución 854x480**.

Con el **tiempo de exposición** que se obtuvo para este proyector de **300 milisegundos**, se capturan 3 imágenes por segundo con lo que **una toma** de 8 capturas costara **2,7 segundos**.

La **resolución en z** para **esta disposición** será de **0.1 pixel/mm** , se detalla el calculo en el apartado "4.4 Estimación de precisión"

Como se observa se obtienen casi 200000 puntos mascon el Proyector 1 y 40000 puntos mas con el Proyector 2 que con el laser. Como principal ventaja se observa que el método es en torno a 10 veces mas rápido. Se obtiene la misma resolución para los dos sistemas.



5. COMPARATIVA DE PROYECTORES

5.1 Análisis de resultados obtenidos

Como se ha visto en los ensayos, el número de líneas que se obtienen con el Proyector 1 es de 44 frente a las 36 obtenidas con el Proyector 2. Es decir con una resolución de 1024x768 pixeles se obtienen 8 líneas más que con una de 854x480. Ya se ha mencionado que interesa obtener el mayor número de líneas posibles con lo que sería interesante encontrar un proyector con una resolución mayor a 1024x768. Se ha visto que el número de líneas vienen marcado por el ancho de la resolución, por tanto no interesan resoluciones del tipo 1280x720, 1366x768.

Por otro lado se ha visto que una de las principales ventajas del Proyector 2 es su ligereza y su tamaño reducido. A todo esto hay que añadirle la durabilidad ya que se basa en tecnología LED a diferencia del 1 que habría que cambiar la lámpara cada cierto tiempo. Todo esto se traduce en que el proyector 1 tiene un consumo mayor de energía y lógicamente una inversión de dinero mucho mayor a los largo del tiempo (un recambio de lámpara cuesta en torno a 150 euros). En cuanto a precio de venta, el 1 esta en torno a los 300 y el 2 a los 200. Sin embargo lo que nos lleva a no rechazar este proyector a pesar de su gasto energético y su consumo es el brillo que proporciona, 2500 frente a 55.

Esto lleva a proyecciones con mucha claridad y capturas mucho más nítidas que hacen que los resultados con el método sean mejores. En las **figuras 5.1 y 5.2** se muestran los proyectores empleados en el proyecto.



Figura 5.1 - Proyector 2
Philips Picopix PPX2055



Figura 5.2 - Proyector 1
ACER DLP Projector P1266

Con todo esto se concluye en que sería interesante, aumentar la resolución de 1024x768, esencialmente el ancho de 768, tener una intensidad lumínica superior a 55 lúmenes y una tecnología basada en LED que diera una buena durabilidad del producto y unas dimensiones pequeñas con bajo peso.



5.2 Estudio de mercado

En este apartado se va a hacer un estudio de lo que podemos encontrar en el mercado diferenciando entre proyectores de lámpara (LDP) o de LED. Se diferencian por franjas en coste por euros.

De 100 a 300 euros:

-Proyectores de lámpara:

En este rango encontramos proyectores de hasta 2800 lúmenes y resoluciones hasta WXGA 1280x800 . Si se quiere aumentar la resolución y los lúmenes en el mismo modelo, debemos irnos a la siguiente franja de dinero. Dos modelos interesante en esta franja son:

Modelo: **BenQ MS517 Proyector 3D**

Resolución: 800 x 600 SVGA

Brillo: 2800 lúmenes ANSI

Tamaño y peso: 30x11x22 cm y peso de 2.3 kg

Consumo y durabilidad: 245 W y 4500 h

Coste: 295 euros

Modelo: **Acer X1311KW**

Resolución: WXGA 1280x800

Brillo: 2500 lúmenes ANSI

Tamaño y peso: 23x28x8,4 y 2,5 kg

Consumo y durabilidad: 246 W y 5000 horas.

Coste: 299 euros

El primero nos dará un brillo mayor pero con una resolución y durabilidad menores.

-Proyectores LED:

Podemos encontrar en este rango los proyectores de bolsillo como el empleado en el proyecto que cuesta en torno a los 210 euros, con resoluciones de 854 x 480 WVGA o 640 x 480 VGA y lúmenes desde 30 hasta 55. Por todo esto interesa ir a la siguiente franja ya que hemos visto que interesa aumentar estos valores.



De 300 a 500 euros:

-Proyectores de lámpara:

En este rango encontramos proyectores con resoluciones de WXGA 1280x800 pero con mas lúmenes de brillo.

Modelo: **Acer P1303PW**

Resolución: WXGA 1280x800

Brillo: 3100 lúmenes ANSI

Tamaño y peso: 96x269x206 mm y 2,59 kg

Consumo y durabilidad: 230 W y 2500 h

Coste: 500 euros

Como se ve , la durabilidad de la lámpara desciende conforme se aumentan los lúmenes.

-Proyectores LED:

En cuanto a LED , en este rango de precio encontramos una gama amplia de productos en la que tenemos varias opciones interesantes.

Modelo: **Asus P1**

Resolución: HD 1280 x 800

Brillo: 200 Lúmenes ANSI

Tamaño y peso: peso de 415g

Consumo y durabilidad: 30.000 horas consume tan solo 50W

Coste: 380 euros

Este proyector nos dará una buena resolución, mayor que el proyector 1, un peso de 415 g frente a los 115 del proyector 2. Aumentaremos los lúmenes hasta 200 frente a los 55 de este y el consumo y la durabilidad son similares.

**Modelo: Acer K130**

Resolución: WXGA (1280 x 800)

Brillo: 300 lúmenes

Tamaño y peso: 431 gr

Consumo y durabilidad: 20.000 horas consume tan solo 50W

Coste: 415 euros

En torno a los 35 euros mas, encontramos este modelo que nos dará como ventaja 100 lúmenes mas. El peso aumenta en pocos gramos pero la durabilidad será de 20.000 horas.

Modelo: Acer K330

Resolución: HD de alta calidad listas (1280 x 800 píxeles)

Brillo: 500 Lúmenes

Tamaño y peso: 1,22 kg

Consumo y durabilidad: hasta 20.000

Coste: 471 euros

Este modelo, nos da una durabilidad aceptable y 200 lúmenes mas, el problema es el peso y el coste.

Mas de 500 euros:

En esta franja encontramos **proyector de lámpara** con brillos superiores a 4000 lúmenes y resoluciones elevadas.

Modelo: Acer P5390W

Resolución: WXGA 1.280 x 800

Brillo: 4000 Lúmenes

Tamaño y peso: 4.7x13.4x10.3 y 2,5 kg

Consumo y durabilidad: hasta 3000 horas

Coste: 860 euros

Si queremos aumentar también la resolución el precio se eleva considerablemente

Modelo: InFocus IN5108

Resolución: SXGA+ (1.400 x 1.050)

Brillo: 4000 lúmenes

Precio: 2500 euros



En cuanto a **LED**, en esta franja se tienen proyectores híbridos Laser-LED con características similares a los proyectores de lámpara de la franja de 300 a 500 euros en cuanto a brillo y resolución pero con una durabilidad tan elevada como las de los proyectores de LED de las anteriores franjas.

Modelo: **Casio XJ-M245**

Resolución: 1280 x 800 píxeles

Brillo: 2500 Lúmenes

Tamaño y peso: 3,9 kg 311 x 84 x 244 mm

Consumo y durabilidad: 190 W hasta 20.000 horas

Coste: 1400 euros

Como vemos el peso aumenta considerablemente y el precio sería demasiado elevado.



6. DISEÑO DE SOPORTE PARA DISPOSITIVO FINAL

En este apartado se va a llevar a cabo el diseño de un soporte que sirva para tener los elementos fijados en la Disposición 4 con el ángulo de 58 grados obtenido de cara a poder trabajar en un futuro con ambos proyectores. En el apartado "6.1 Análisis de resultados" se deducirán las posiciones en el plano y en altura de los elementos en base a los resultados obtenidos en los ensayos. En el apartado "6.2 Diseño de elementos y mejoras para el soporte" se introducen varias mejoras en el soporte inicial usado en los ensayos del proyecto y se realizan los planos de fabricación de los elementos que lo compondrán.

6.1 Análisis de resultados obtenidos

Pensando en poder usar los dos proyectores de los cuales se dispone se plantea el diseño de un soporte que permita un manejo rápido y eficaz del método a la hora de realizar las primeras mediciones en un trabajo futuro.

El diseño estará basado en el soporte diseñado para los ensayos del proyecto y se usan los mismos perfiles de aluminio.

Para llevar a cabo el diseño se toman distancias y referencias con los montajes en la Disposición 4 y las distancias obtenidas.

En el caso de el Proyector 1, la pieza esta elevada sobre un bloque del cual se disponía de 40 mm y el proyector tiene un ligero giro hacia arriba, que se traduce en una elevación delantera de 10 mm. La cámara a su vez esta girada hacia abajo también, 5 mm elevada medidos desde la parte delantera hasta el perfil. Esto quiere decir que si la pieza estuviera a 45 mm, la cámara no necesitaría dicho giro. Por otro lado el proyector necesitaría estar 15 mm mas arriba. Con todo esto las referencias de los elementos quedan, desde cota cero sin contar el perfil pieza a 45 mm, proyector a 105 mm, cámara a 145 mm. Realizando la misma operación con el proyector 2 se obtienen, pieza a 55 mm, proyector a 140 mm y cámara a 145 mm.

A continuación se muestra en la **figura 6.1** la elevación de 40 mm sobre la pieza cuando se utiliza el Proyector1. En la **figura 6.2** aparece el pequeño giro que debe tener la cámara cuando el montaje esta echo con el Proyector 2.



Figura 6.1 - Elevación de la pieza en el montaje con el Proyector 1

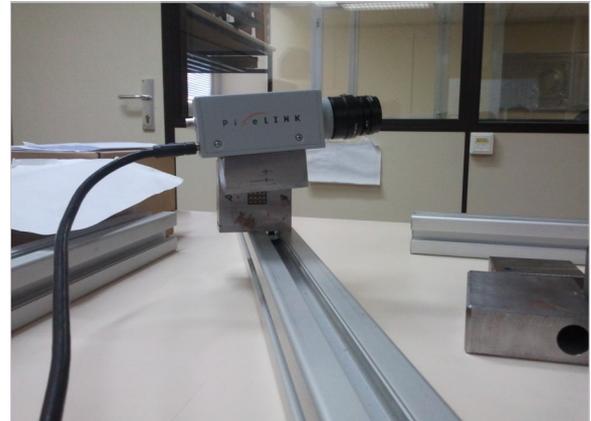


Figura 6.2 - Giro de la cámara en el montaje con el Proyector 2

Una vez referenciados los elementos en altura, se tienen las distancias entre los elementos en el plano obtenidas en el apartado "4.2.2 Disposición 4" que se representan a continuación en las figuras 6.3 y 6.4.

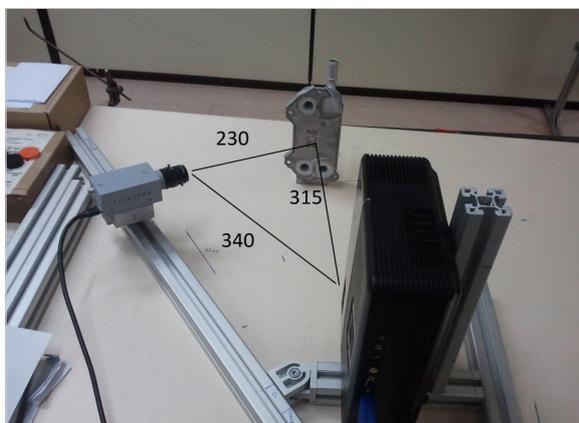


Figura 6.3 - Distancias entre elementos en la Disposición 4 con ángulo de 58 grados para el Proyector 1 en mm

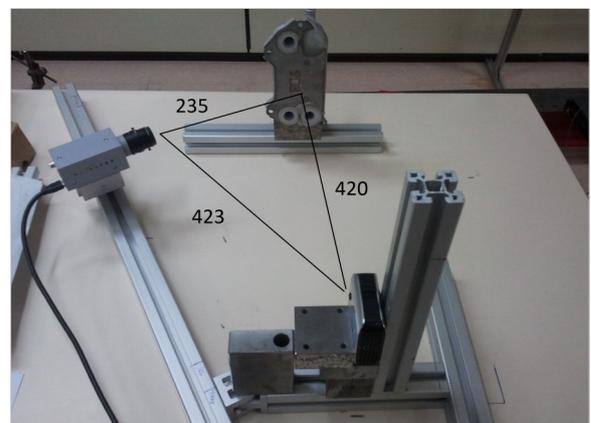


Figura 6.4 - Distancias entre elementos en la Disposición 4 con ángulo de 58 grados para el Proyector 2 en mm

Con todas los elementos referenciados en altura y en el plano se procede al diseño de los elementos y mejoras para el soporte.



6.2 Diseño de elementos y mejoras para el soporte

Con todo esto se procede al diseño de los elementos que compondrán el soporte. A continuación se describen y se representa el esquema de montaje en cada caso. En los anexos se adjuntan los planos de fabricación de cada elemento.

Se emplearan 6 perfiles de aluminio como los utilizados hasta ahora cuadrados de 4x4 mm y longitudes:

1. 100 mm , perfil vertical de sujeción de la pieza.
2. 200mm, parte de la base horizontal sobre el cual ira el perfil 1.
3. 550 mm, parte de la base horizontal, unirá los perfiles 1 y 6.
4. 350 mm, perfil vertical de sujeción del proyector sobre el cual se realiza el ranurado.
5. 500 mm, parte de la base horizontal sobre el cual ira el perfil 4.
6. 350 mm, parte de la base del soporte de la cámara.

Además de estos perfiles se fabricara un soporte similar al que se ha usado para la cámara pero en aluminio y con menos material para ahorrar costes. En la **figura 6.5** se muestra la parte de amarre al perfil del soporte de la cámara y en la **figura 6.6** la parte que se amarrara a esta y que servirá de base para la cámara.

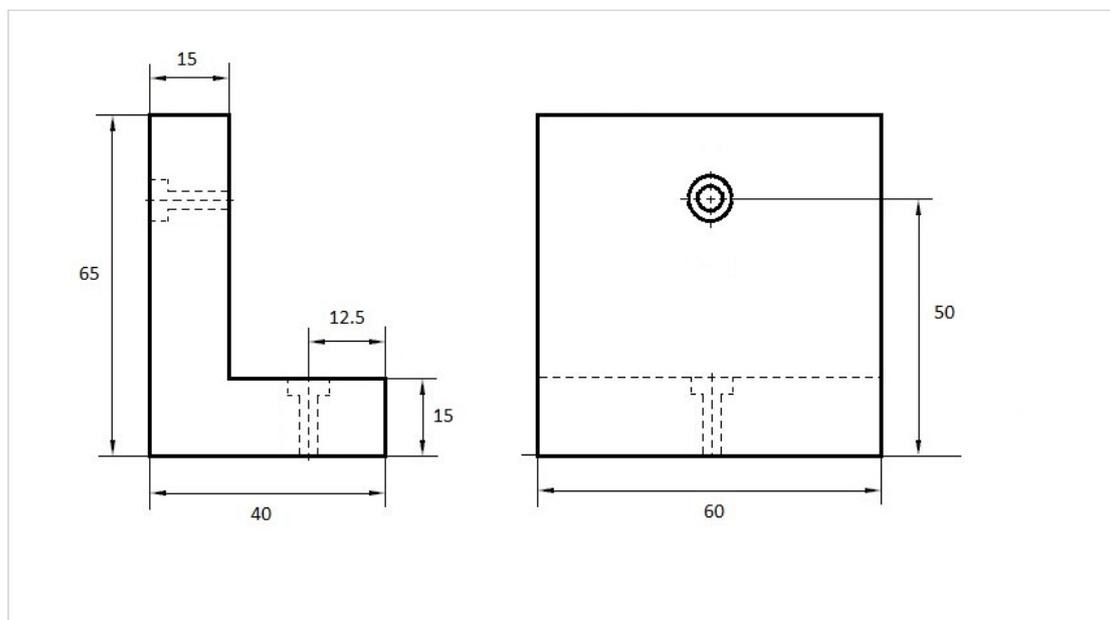


Figura 6.5 - Amarre al perfil del soporte de la cámara



En la **figura 6.6** se muestra la segunda parte del soporte de la cámara que ira amarrada a la mostrada en la **figura 6.5** y que podrá girar en torno al punto de amarre.

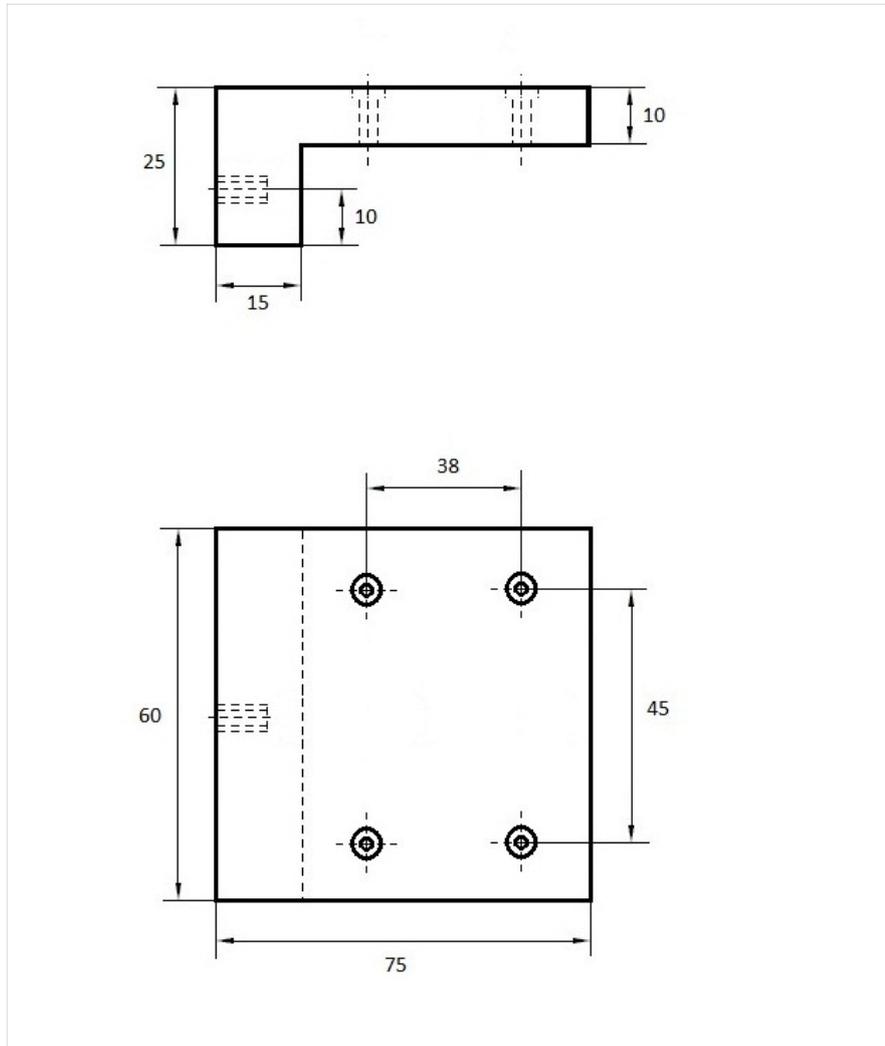


Figura 6.6 - Amarre al perfil del soporte de la cámara



El ranurado que se realizara en el perfil de soporte de los proyectores será el siguiente.

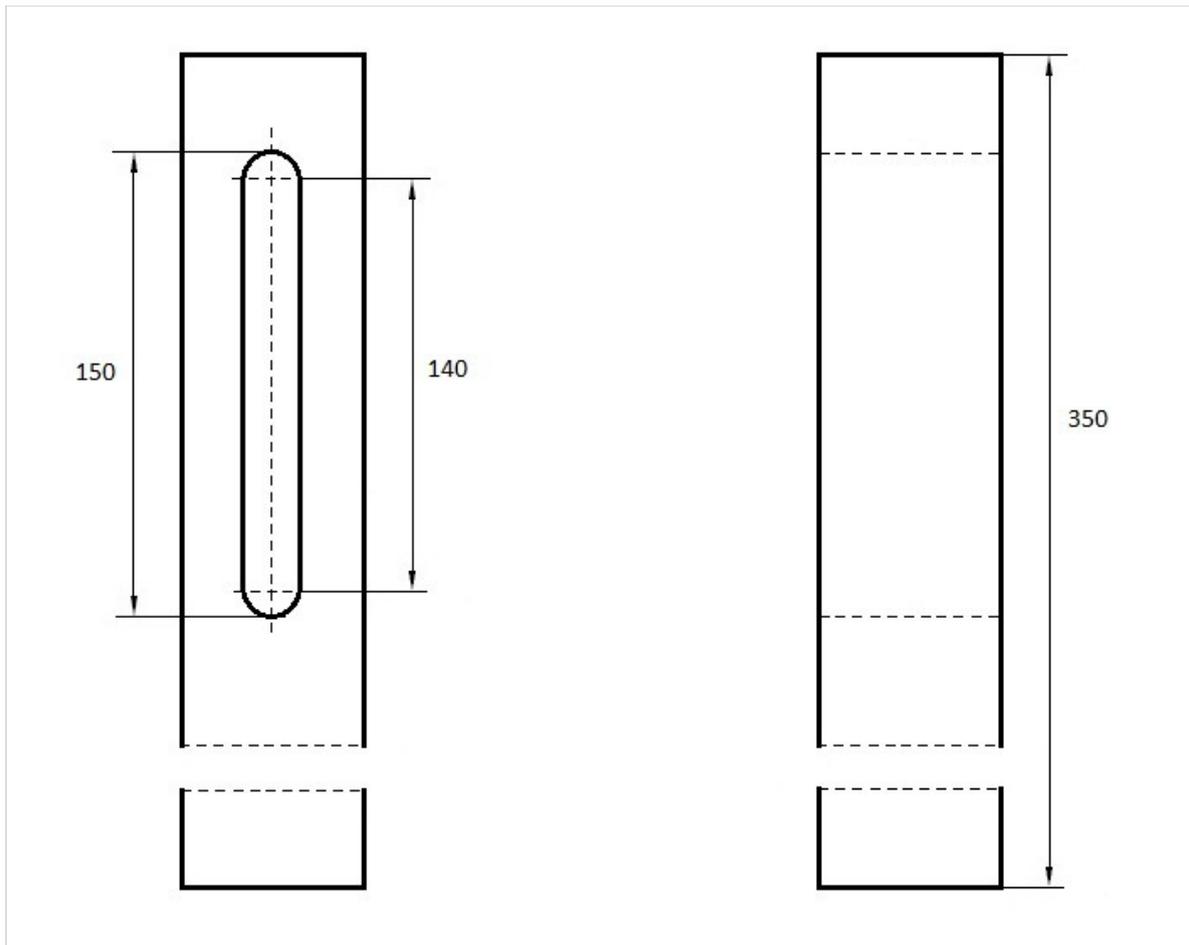


Figura 6.7 - Ranurado en el perfil de amarre de los proyectores



A continuación se muestra el montaje de los elementos con las referencias de distancias entre ellos para que se tengan las distancias obtenidas que se han descrito al comienzo de este capítulo 6 con el Proyector 1

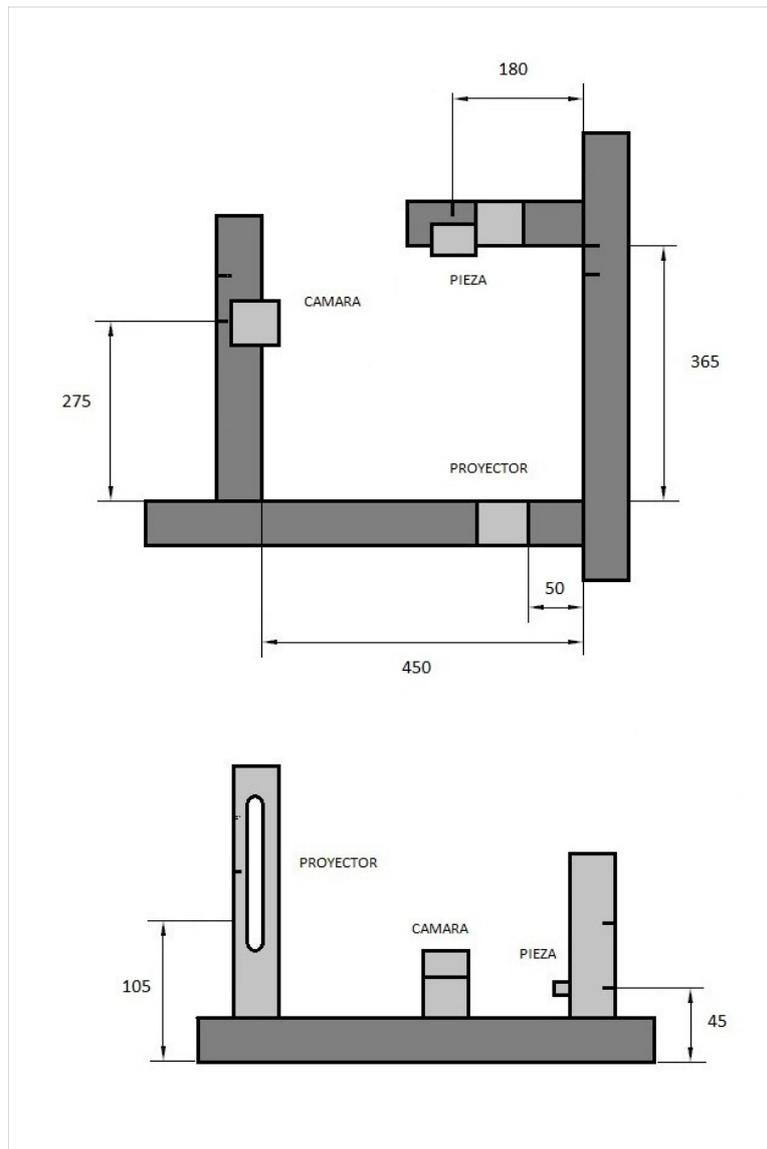


Figura 6.8 - Esquema de distancias y montaje para el Proyector 1

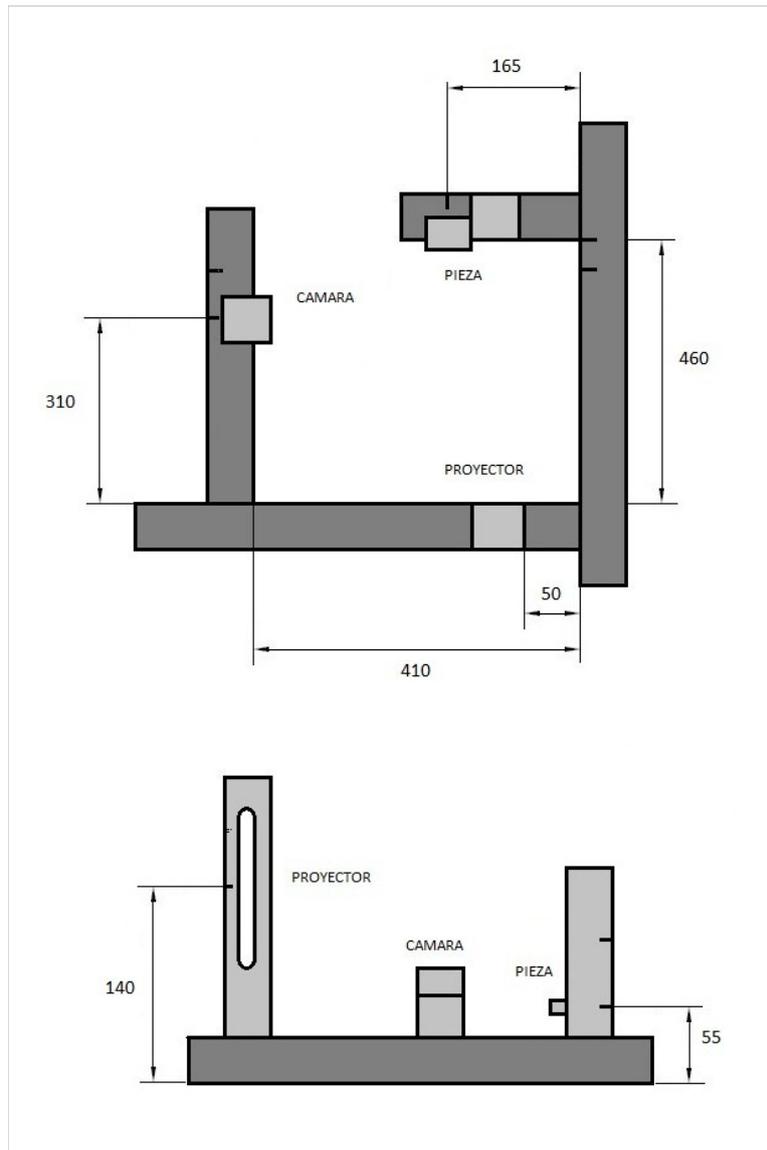


Figura 6.9 - Esquema de distancias y montaje para el Proyector 2



7. CONCLUSIONES Y TRABAJO FUTURO

En este apartado se va a hacer un resumen de los resultados que se han obtenido a lo largo de las diferentes etapas del proyecto consiguiendo los objetivos que se fijaron al comienzo de este. Por otro lado se hará una descripción de las pruebas futuras que se deben llevar a cabo con el objetivo de continuar con la línea de investigación de sistemas de medición basados en la luz blanca.

Tras varios ensayos comparativos se tiene un estudio de lo que puede ofrecernos cada una de las configuraciones posibles de los elementos del dispositivo y se ha obtenido una disposición final, Disposición 4, que va a permitir trabajar en un futuro.

Todos los elementos han quedado referenciados en altura y en el plano en esta disposición. Además se ha diseñado un soporte que permitirá trabajar en dicha disposición tanto con el Proyector 1 como con el Proyector 2 de manera rápida y eficaz.

Por otro lado se ha seleccionado una plantilla con el grosor de franjas adecuado con la que se obtiene un valor de repetibilidad bajo que tan solo difiere en 0,1 píxeles del valor mínimo obtenible con el método.

También, como resultado de varias mejoras sobre el software inicial se ha programado el software 1.3 de análisis de imagen que trabaja correctamente evitando posibles errores en el cálculo de las franjas iluminadas.

Tras comparar los resultados obtenidos con los que ofrece el sistema laser se observa que a pesar de obtener un número inferior de puntos el sistema es 10 veces más rápido y se obtiene la misma resolución en z.

Como trabajo futuro, lo primero que se plantea es fabricar los elementos que componen el soporte para el dispositivo final.

Por otro lado se debe seguir con el desarrollo del software de medición, integrando la captura y el análisis de imágenes.

Se podría estudiar como funcionaría un proyector LED que diera una mayor potencia lumínica ya que el Proyector 2 nos daba tan solo 55 lúmenes.

Por último se debe desarrollar un procedimiento de calibración del método que permita conocer su precisión.

ANEXOS