



Universidad
Zaragoza

Trabajo Fin de Grado

Diseño de un sistema de verificación dimensional
sin contacto

Autor/es

Roberto Martínez Vázquez

Director/es

Jesús Velázquez Sancho
Francisco Javier Brosed Dueso

Escuela de Ingeniería y arquitectura, Universidad de Zaragoza
Año 2015



DECLARACIÓN DE AUTORÍA Y ORIGINALIDAD

(Este documento debe acompañar al Trabajo Fin de Grado (TFG)/Trabajo Fin de Máster (TFM) cuando sea depositado para su evaluación).

D./D^a. Roberto Martínez Vázquez,

con nº de DNI 78756565-B en aplicación de lo dispuesto en el art.

14 (Derechos de autor) del Acuerdo de 11 de septiembre de 2014, del Consejo de Gobierno, por el que se aprueba el Reglamento de los TFG y TFM de la Universidad de Zaragoza,

Declaro que el presente Trabajo de Fin de (Grado/Máster)
Grado _____, (Título del Trabajo)

Diseño de un sistema de verificación dimensional sin contacto

es de mi autoría y es original, no habiéndose utilizado fuente sin ser citada debidamente.

Zaragoza, 21 de Septiembre

Fdo: Roberto Martínez Vázquez

Diseño de un sistema de verificación dimensional sin contacto

Resumen

El presente proyecto tiene como objetivo el diseño de un sistema de verificación dimensional sin contacto cumpliendo unas especificaciones establecidas.

En primer lugar se selecciona el sistema de medición de entre todos los existentes en el mercado, sopesando las ventajas y desventajas de cada uno de ellos. Para ello se analizan las características de los sensores y cámaras que existen.

Una vez que se dispone de los elementos necesarios para poder realizar la verificación dimensional se comprueba que estos cumplen con las especificaciones establecidas inicialmente. Con este estudio se pretende comprobar que el sistema cumple con las tolerancias.

Con las características del sistema establecidas y obtenida la precisión teórica en la fase de diseño del sistema de medición, se realizan ensayos de funcionalidad del prototipo con el material disponible en el laboratorio del departamento, con el objetivo de comprobar los resultados obtenidos anteriormente. También se espera conocer la influencia de otros factores en la medición.

Conocidas las características de la cámara y sensor establecido se diseña la estructura en la que se alojará el sistema de medición. El diseño se lleva a cabo teniendo en cuenta las especificaciones iniciales así como la facilidad de uso del operario que sea encargado de usarlo.

Finalmente se comparan los resultados obtenidos en el laboratorio con los establecidos inicialmente.

Índice

1.	Introducción	4
2.	Estado del arte	5
3.	Análisis de especificaciones	7
4.	Selección de cámara.....	10
5.	Pruebas de verificación	15
5.1.	Procedimiento.....	15
5.2.	Resultados.....	18
5.3.	Comparación con medidas nominales.....	27
5.4.	Errores en función de la posición de la plantilla.....	28
5.5.	Variabilidad en posición fija.....	30
5.6.	Medida experimental de las mangueras	31
5.7.	Análisis de resultados.	33
6.	Diseño de la estructura.	35
6.1.	Estructura.....	35
6.2.	Sistema de sujeción	36
6.3.	Iluminación.....	39
6.4.	Distribución de las cámaras	40
6.5.	Sujección	41
6.6.	Sistema de apertura.....	41
7.	Conclusiones y Trabajo futuro	43
7.1.	Conclusiones	43
7.2.	Trabajo futuro	43
8.	Bibliografía	44

ANEXO I Resultados calibración

ANEXO II Datos distancias

ANEXO III Listado de piezas y presupuesto

ANEXO IV Resultados simulación

ANEXO V Planos

Índice de tablas y gráficas

Ilustración 1	The ROMER Tube Inspection System.....	5
Ilustración 2	Sensor láser LAP	6
Ilustración 3	Intervalo de aceptación	7
Ilustración 4	Promedio d(i) para las 10 posiciones de la plantilla de verificación con la cámara a 20º	20
Ilustración 5	Error de d(i) respecto a las distancias medidas con la cámara a 20º ...	20
Ilustración 6	Desviación estándar para d(i) con la cámara a 20º	20
Ilustración 7	Recorrido para d(i) con la cámara a 20º	20
Ilustración 8	Recorrido para l(i) con la cámara a 20º	21
Ilustración 9	Desviación estándar para l(i) con la cámara a 20º	21
Ilustración 10	Error de l(i) respecto a las distancias medidas con la cámara a 20º.	21
Ilustración 11	Promedio l(i) para las 10 posiciones de la plantilla de verificación con la cámara a 20º	21
Ilustración 12	Posición de las esquinas de la plantilla de calibración.....	22
Ilustración 13	Posiciones en las que se han tomado las fotografías de la plantilla de verificación para 90º.....	22
Ilustración 14	Posiciones de la plantilla de verificación y de la plantilla de calibración	23
Ilustración 15	Posición de la plantilla de verificación en la que se han tomado las fotografías.	23
Ilustración 16	Desviación estándar para d(i) con la cámara a 90º.....	24
Ilustración 17	Recorrido para d(i) con la cámara a 90º	24
Ilustración 18	Error de d(i) respecto a las distancias medidas con la cámara a 90º	24
Ilustración 19	Promedio d(i) para las 10 posiciones de la plantilla de verificación con la cámara a 90º	24
Ilustración 20	Desviación estándar para l(i) con la cámara a 90º.....	25
Ilustración 21	Recorrido para l(i) con la cámara a 90º.....	25
Ilustración 22	Error de l(i) respecto a las distancias medidas con la cámara a 90º.	25
Ilustración 23	Promedio l(i) para las 10 posiciones de la plantilla de verificación con la cámara a 90º	25
Ilustración 24	Posición del punto erróneo.....	25
Ilustración 25	Puntos correspondientes al punto erróneo.....	26
Ilustración 26	Promedio d(i) para las 10 posiciones de la plantilla de verificación con la cámara a 90º con error corregido	26
Ilustración 27	Recorrido para d(i) con la cámara a 90º	26
Ilustración 28	Desviación estándar para d(i) con la cámara a 90º.....	26
Ilustración 29	Desviación estándar para d(i) con la cámara a 90º.....	27
Ilustración 30	Recorrido para d(i) con la cámara a 90º	27
Ilustración 31	Promedio l(i) para las 10 posiciones de la plantilla de verificación con la cámara a 90º con error corregido	27
Ilustración 32	Error para las distancias d(i) con la cámara a 20º.....	28

Ilustración 33	Error para las distancias $l(i)$ con la cámara a 20°	28
Ilustración 34	Error para las distancias $d(i)$ con la cámara a 90°	28
Ilustración 35	Error para las distancias $l(i)$ con la cámara a 90°	28
Ilustración 36	Semi recorrido de todas las distancias de cada posición para 20° ..	29
Ilustración 37	Semi recorrido de todas las distancias de cada posición para 90° ..	29
Ilustración 38	Promedio de $d(i)$ en posición fija	30
Ilustración 39	Desviación estándar para $d(i)$	30
Ilustración 40	Recorrido para $d(i)$	30
Ilustración 41	Promedio de $l(i)$ en posición fija	31
Ilustración 42	Recorrido para $l(i)$	31
Ilustración 43	Desviación estándar para $l(i)$	31
Ilustración 44	Ángulo de visión	32
Ilustración 45	Manguera	32
Ilustración 46	Medidas mangueras	33
Ilustración 47	Perfil utilizado en la estructura	35
Ilustración 48	Sistema de sujeción de los perfiles	36
Ilustración 49	Clips para sujetar las mangueras.....	37
Ilustración 50	Valores de tensiones en la pieza.	39
Ilustración 51	Posición de la tira de leds debajo de la mesa de trabajo.....	39
Ilustración 52	Posición de las cámaras.....	40
Ilustración 53	Cámara sobre el perfil y el soporte	40
Ilustración 54	Sujeción de la estructura.....	41
Ilustración 55	Estructura completa	42

1. Introducción

El presente trabajo surge de la necesidad de una empresa de realizar la verificación de los productos que fabrica. Los productos a verificar son mangueras hidráulicas de distintos diámetros y longitudes.

Partiendo de las especificaciones de las mangueras hidráulicas se diseña un sistema de verificación dimensional sin contacto. Para ello se seleccionan los componentes del sistema de medición, se dimensiona el sistema, se analiza su comportamiento con un prototipo fabricado a tal efecto y se diseña la estructura.

La selección de los componentes se realiza analizando diferentes modelos existentes en el mercado. El funcionamiento del sistema propuesto se verifica con un prototipo de la estructura fabricado a tal efecto. Para la verificación se utiliza un software capaz de detectar las esquinas mediante el programa MatLab. Tras calibrar el sistema se verifica mediante una plantilla de verificación.

Realizados los ensayos de funcionalidad y viabilidad mediante el prototipo, se diseña la estructura que albergará el sistema. En el diseño se especifica la posición de los componentes del sistema de visión y la iluminación requerida, se plantean además diferentes alternativas para la sujeción de las mangueras hidráulicas mientras se realiza su medición.

2. Estado del arte

La industria produce una gran cantidad de productos a lo largo del día que han de ser revisados para verificar su buen funcionamiento y evitar en la mayoría de lo posible futuros fallos. Para ello existen diferentes procesos de revisión y verificación.

En las empresas es necesario el uso de herramientas de verificación dimensional. Estos sistemas no solo han de tener gran precisión y exactitud, sino que en muchos casos deben de ser versátiles para medir con la mayor rapidez posible los objetos deseados.

En la actualidad existen una gran cantidad de sistemas de medición y verificación dimensional en el mercado. Muchos de ellos son sistemas de medición comercializados y otros son diseñados bajo condiciones especiales ya, que los existentes en el mercado no son capaces de cumplir todos los requisitos que se les exige.

Hoy en día las tecnologías aplicadas al control de calidad pretenden acercarse lo máximo posible a una automatización del proceso puesto que con ello se consigue mayor rapidez, fiabilidad y precisión.

En los sistemas de producción hoy en día se usan dos métodos de inspección, ambos sustituyen la medición manual evitando los errores cometidos por el operario:

- Control por muestreo: En este caso se analizan un grupo de piezas cada cierto tiempo.
- Control unitario: La totalidad de las piezas producidas son analizadas para comprobarlas.

En el siguiente apartado aparecen los diferentes tipos de máquinas y tecnologías que se usan en el mercado de hoy en día en la inspección y control de calidad de las piezas producidas en diferentes sectores de la industria.

- The ROMER Tube Inspection System. Este sistema puede inspeccionar y medir tubos y perfiles en prácticamente todos los sectores de la industria. Es un sistema portátil pero consiste en una sonda que va unida a un brazo robótico y hay que mover a lo largo del tubo a inspeccionar, esto hace de él, un sistema muy lento para el propósito que aquí se trabaja.



Ilustración 1 The ROMER Tube Inspection System

- Sensores láser LAP. Los sensores LAP miden las dimensiones sin tocar la superficie. Estos sistemas son flexibles y fáciles de integrar al no tener que tocar el objeto a medir independientemente del material que sea. Este sistema es rápido pero excesivamente caro.



Ilustración 2 Sensor láser LAP

- Máquina de medir tubos rígidos de la empresa OSCAsistemas. Este sistema incorpora varias cámaras de visión que realizan la inspección de la pieza que se encuentra apoyada en su interior. El principal inconveniente de este sistema es que es demasiado lenta y no incorpora un sistema para mantener la pieza estirada puesto que mide piezas rígidas.

Analizando los sistemas anteriores se concluye que los sistemas existentes en el mercado no se adaptan a las características que se demandan en este proyecto, por lo que se realiza el diseño de un sistema capaz de satisfacer las especificaciones determinadas.

3. Análisis de especificaciones

El diseño del sistema se lleva a cabo teniendo en cuenta las especificaciones con las que cuenta el sistema. Tras la determinación de las condiciones que tiene que cumplir se procede a diseñar el resto. Se diseña un sistema de verificación capaz de medir manguitos con un diámetro que va desde los 60 mm de diámetro máximo hasta los 15 mm que tiene el diámetro mínimo. La longitud que poseen los manguitos varía desde los 15 cm en el caso más pequeño hasta los 2 m que tienen los manguitos más grandes.

$$\varnothing_{m\acute{a}x} = 60 \text{ mm}$$

$$L_{m\acute{a}x} = 2 \text{ m}$$

$$\varnothing_{m\acute{i}n} = 15 \text{ mm}$$

$$L_{m\acute{i}n} = 15 \text{ cm}$$

El sistema diseñado ha de ser capaz de medir 1000 unidades de los manguitos de mayor tamaño en 9h, lo que significa ser capaz de verificar las dimensiones de 1,9 unidades por minuto. Con estas condiciones el diseño y funcionamiento ha de ser rápido y de fácil uso para el operario encargado de la instalación para de esta forma poder cumplir con los requisitos.

Las tolerancias establecidas tanto en diámetro como en longitud son las siguientes:

$$T_{\varnothing} = 0,4 \text{ mm/m}$$

$$T_{longitud} = 1 \text{ mm/m}$$

El análisis de mediciones válidas dentro del campo de tolerancias se muestra en la figura:



Ilustración 3 Intervalo de aceptación

Se puede ver que dentro de dicho rango son varios los casos que pueden darse en función del resultado de medición obtenido caracterizado por su incertidumbre. Hay mediciones que se encuentran completamente fuera de rango de tolerancias, por lo que serán rechazadas. Otras en cambio estarán claramente en dicho rango, así que serán y se darán como válidas. Sin embargo, algunas otras como se sitúan en los bordes de tolerancia puede que su valor real esté dentro del rango de tolerancia, o bien, que por el contrario se localicen fuera del mismo.

El objetivo es concluir con unos límites de operación, inferior y superior, que determinen en qué rango la medición se lleva a cabo de forma suficientemente precisa y de manera económica.

Para establecer el límite inferior se acepta para el cociente $\frac{2I}{T}$ la regla del décimo, para la cual se establece que:

$$\frac{2I}{T} = \frac{\pm 3\sigma_m}{(LS - LI)} = \frac{6\sigma_m}{(LS - LI)} \geq \frac{1}{10}$$

Siendo σ_m la desviación típica de la distribución de medición. Así queda definido un rango inferior válido para la relación Tolerancia – Incertidumbre. Los datos que no superen ese valor se entenderá que son demasiado precisos para la medición realizada.

Para el cálculo del límite superior se considera en el análisis la distribución del proceso de fabricación. Al proceso se le exige que se encuentre sobre el límite numérico:

$$c_p = \frac{(LS - LI)}{6\sigma_p} = \frac{T}{6\sigma_p} \geq \frac{4}{3} = 1,33$$

Donde σ_p es la desviación estándar del proceso. Si el proceso abarca las $\frac{3}{4}$ partes del rango de tolerancias, si está centrado, su distancia a los límites es igual a $T/8$ en cada lado. De aquí se obtiene la condición superior de la Tolerancia-Incertidumbre:

$$I \leq \frac{T}{8} \rightarrow \frac{2I}{T} \leq \frac{1}{4}$$

En la práctica, se asume menor o igual a un tercio por cuestiones técnicas. Con todo lo anterior, se llega a la expresión:

$$\frac{1}{10} \leq \frac{2I}{T} \leq \frac{1}{3}$$

En este caso se tiene solamente un límite superior, a partir del cual, si las mediciones superan este valor se descartan como posibles alternativas.

Partiendo de la ecuación $\frac{2I}{T} \leq \frac{1}{3}$, se calcula la incertidumbre para diámetro como para longitud.

$$\frac{2I}{T} \leq \frac{1}{3}$$

$$I \leq \frac{T}{6}$$

Siendo:

$$T_{\emptyset} = 0,4 \text{ mm/m}$$

$$T_{\text{longitud}} = 1 \text{ mm/m}$$

Se obtiene:

$$I_{\emptyset} = 0,06667$$

$$I_{longitud} = 0,16$$

Finalmente, para obtener la resolución a partir de la cual se rechazan las cámaras estudiadas se usa la siguiente fórmula:

$$\frac{I}{resolución} \leq \frac{1}{3}$$

Por lo tanto:

$$Resolución_{\emptyset} = 0,200$$

$$Resolución_{longitud} = 0,500$$

La resolución está en mm/pixel, que indica la distancia representada en cada pixel, por lo tanto cuanto menor sea mejor será la resolución del sistema. Si la resolución es mayor que los datos que se han obtenido, el sistema es descartado por no cumplir con los requisitos.

4. Selección de cámara

Conocidas las especificaciones que requiere el sistema, se procede a seleccionar la cámara y la lente más apropiadas y que cumplan todos los requisitos. La selección de la cámara y la lente que se instalará en el sistema se realiza acotando la búsqueda a ciertos catálogos específicos dada la elevada cantidad de estos elementos que existen actualmente en el mercado.

Tras realizar la búsqueda se realizará una comparativa entre los diferentes elementos seleccionados. Esta comparativa se lleva a cabo con una hoja de cálculo de Excel en la que se ha programado las diferentes condiciones que ha de cumplir la combinación seleccionada.

La búsqueda de la cámara se ha realizado en el catálogo de PointGrey, empresa internacional que se dedica al diseño y fabricación de cámaras. La búsqueda de la lente se ha realizado conjuntamente en el catálogo de PointGrey y en el catálogo de GoyoOptical, empresa dedicada a la venta de lentes industriales.

En una primera búsqueda de cámaras se han elegido las que cumplen con las siguientes características dentro de catálogo seleccionado. Sensor de formato de 1/1.8" y cámaras monocolor. Debido al uso al que estas cámaras van a ser dedicadas, se ha considerado que es suficiente cámaras monocolor, porque con dos colores ya es posible utilizar el programa con el que se realiza el análisis de imagen. Además en la mayoría de los casos las cámaras de color tienen un precio más elevado. Tras realizar la búsqueda se obtienen 16 cámaras, contando la que existe en el laboratorio y con la que se realizan las pruebas de verificación.

Modelo	Resolución 1	Resolución 2	Formato del sensor (")	Precio (USD)
<i>BFLY-PGE-20E4M-CS</i>	1600	1200	5/9	525
<i>FL3-U3-20E4M-C</i>	1600	1200	5/9	795
<i>GZL-CL-41C6M-C</i>	2048	2048	1	2195
<i>GS3-U3-41C6M-C</i>	2048	2048	1	1295
<i>BFLY-PGE-13E4M-CS</i>	1280	1024	5/9	395
<i>BFLY-PGE-50A2M-CS</i>	2592	1944	2/5	295
<i>BFLY-PGE-23S6M-C</i>	1920	1200	5/6	495
<i>FFMV-03M2M-CS</i>	752	480	1/3	275
<i>FL3-U3-13E4M-C</i>	1280	1024	5/9	695
<i>FL3-U3-13S2M-CS</i>	1328	1048	1/3	525
<i>FL3-U3-13Y3M-C</i>	1280	1024	1/2	595
<i>FL3-U3-32S2M-CS</i>	2080	1552	1/3	595
<i>GZL-CL-22C5M-C</i>	2048	1088	2/3	1495
<i>GS3-U3-23S6M-C</i>	1920	1200	5/6	995
<i>GS3-PGE-23S6M-C</i>	1920	1200	5/6	995
<i>Universidad</i>	3000	2208	1/2	0

Ilustración 2 Listado de cámaras

Las características principales que se tienen en cuenta para realizar la comparativa entre las diferentes cámaras son la resolución, el formato del sensor y el precio.

Una vez conocidas las cámaras con las que se va a realizar la comparativa, en las páginas de PointGrey y GoyoOptical se buscan sensores que posean el formato de las cámaras para poder montarlos conjuntamente, puesto que si el formato que se monta en una cámara es menor que el de esta no se aprovecha al máximo la resolución y el ángulo de visión del que se dispone. Por lo tanto, cada cámara se puede montar con un sensor que posea un formato igual o mayor al de la cámara en cuestión. Tras finalizar la búsqueda, se dispone de 7 sensores diferentes contando el disponible en la universidad.

Modelo	Ángulo 1	Ángulo 2	Long Focal	Formato óptica	Precio (USD)
LENS-80T4C	40	32	8	5/9	210
LENS-160T4C	14	9	16	5/9	180
LENS-125F6C	54,5	41,9	12,5	1	395
ACC-01-4002	30,2	22,8	8	1/3	10
LENS-15F3-60C	54,35	42,19	6	1/2	190
LENS-15F5-125C	37,8	28,8	12,5	2/3	170
Universidad	28,3	21,1	12	1/2	0

Ilustración 3 Listado de ópticas

En el caso de las lentes, las características que se tienen en cuenta para realizar la comparativa entre ambas y poder combinarlas con las cámaras, son el ángulo de visión (tanto en coordenada x como en coordenada y), la longitud focal, el formato de la óptica y el precio.

Una vez obtenidas las listas de cámaras y lentes, se procede a realizar la comparativa con la hoja programada en Excel.

El programa necesita como entrada el modelo de cámara, el modelo de lente y la altura a la que se quiere colocar la cámara dentro de la instalación en ese caso. El modelo de la cámara y de la lente se encuentran disponibles dentro de una lista desplegable.

	Modelo	Resolución 1 (Mpx)	Resolución 2 (Mpx)	Formato del Sensor (")	Precio (USD)
Cámara	Uni	3000	2208	1/2	0
		Ángulo 1 (º)	Ángulo 2 (º)	Formato óptica (")	Precio (USD)
Óptica	Uni	28,3	21,1	1/2	0
Altura (mm)	700				

Ilustración 4 Selección de cámara – óptica - altura

Una vez se tienen los datos de entrada, el programa calcula los mm/pixel para la altura introducida de la siguiente manera:

$$\frac{mm}{pixel} = \frac{distancia\ base}{resolución}$$

La distancia base que aparece en la formula anterior, es calcula mediante trigonometría:

Siendo:

$$\text{Ángulo} = \beta$$

$$\beta = 2\alpha$$

$$D_{base} = d_b$$

$$\tan \alpha = \frac{d_b}{H}$$

$$d_b = 2 * H * \tan(\beta/2)$$

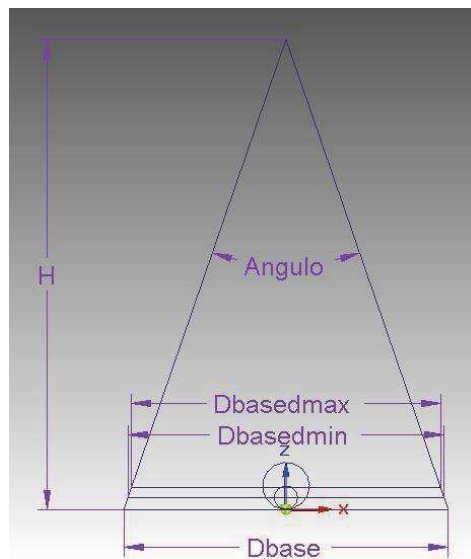


Ilustración 5 Distancia base

Una vez obtenida la distancia base que se ve representada en la figura, se pueden calcular los mm/pixel para la combinación seleccionada.

$$\frac{mm}{pixel} = \frac{distancia\ base}{resolución} = \frac{2 * H * \tan(\beta/2)}{resolución}$$

Se calculan los mm/pixel para longitud y para diámetro porque los ángulos de las cámaras seleccionadas son siempre diferentes en cada dirección. El ángulo más grande coincide con el lado en la que la cámara tiene mayor resolución, con ellos se calcula los mm/pixel en longitud. De esta forma se reduce el número de cámaras totales a colocar en la instalación. Para calcular los mm/pixel en la dirección en la que se coloca el diámetro se usa el ángulo menor.

En caso de que la combinación seleccionada no sea compatible debido a que el sensor seleccionado es menor que el de la cámara, se muestra un mensaje indicando que cámara y lente no son compatibles.

mm/pixel (long)	CÁMARA Y LENTE NO COMPATIBLES	NO CUMPLE
mm/pixel (diam)	CÁMARA Y LENTE NO COMPATIBLES	NO CUMPLE

Ilustración 6 mm/pixel

Tras calcular los mm/pixel en cada caso estos se comparan con la resolución mínima. Si hay más mm/pixel de los óptimos el programa continúa calculando el resto de parámetros, en caso de ser menor, el programa muestra un mensaje en el que se aparece que no se cumple con los requisitos. En algunos casos se puede solventar modificando la altura a la que se colocan las cámaras.

Una vez obtenidos los mm/pixel tanto en la dirección del diámetro como de la longitud, se calculan el número de cámaras necesarias a colocar para poder cubrir toda la longitud de la manguera, sabiendo que el máximo es de 2000 mm. La cantidad de cámaras a colocar se calcula dividiendo la longitud máxima de las mangueras entre la distancia base, posteriormente se redondea al siguiente número entero positivo.

Conocidas las cámaras necesarias para cubrir toda la longitud de la manguera, se calcula la distancia cubierta total. Esta distancia se calcula multiplicando el número entero de cámaras a colocar por la distancia en base que cubre cada una de ellas.

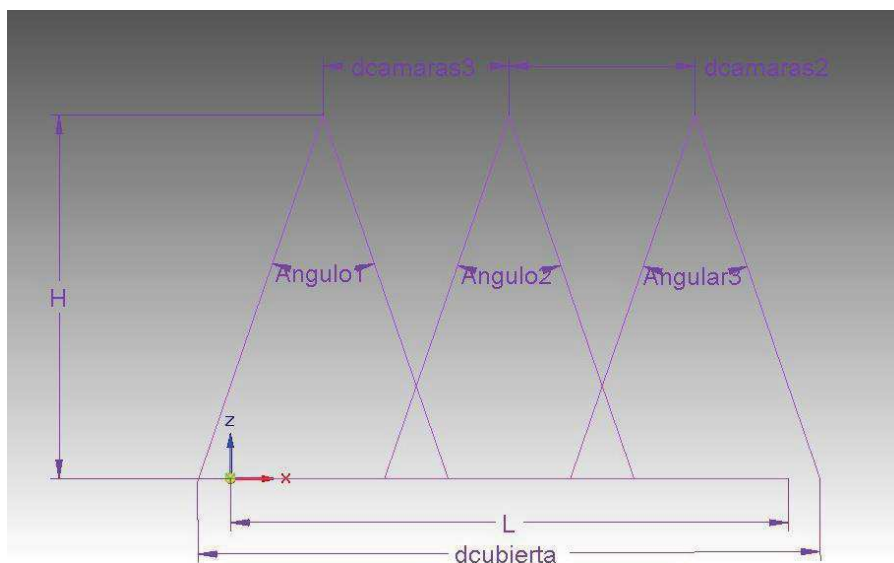


Ilustración 7 Distancia cubierta en longitud

Conocida la distancia cubierta y la longitud máxima de las mangueras se obtiene la distancia sobrante, esta distancia sobrante ha de ser mayor al 3% (6 cm). Esta distancia es utilizada para poder realizar superposición en el campo de visión de las diferentes cámaras y dejar margen a ambos extremos, así se consigue tener todos los puntos del objeto a medir.

Distacia máx (mm)		Cámaras necesarias	Distancia Total (mm)	Dist sobrante (mm)	%
2000	4,173	5	2396,64	396,64	16,55

Ilustración 8 Cámaras necesarias y distancia total

Finalmente se obtiene el precio total de la combinación en USD, este precio se calcula como el coste de cada cámara y cada lente por el número total de cámaras a instalar.



Ilustración 9 Precio total

Tras realizar el procedimiento con todas las cámaras y lentes disponibles en el programa de Excel, se obtienen 51 combinaciones diferentes que cumplen con las tolerancias establecidas al comienzo del estudio. Se establece una altura mínima de trabajo de 50 cm para facilitar el trabajo del operario, por lo que todas las alternativas que se encuentran por debajo son desechadas. El resto de combinaciones se ordenan en función del precio, seleccionando la que menor coste total tiene.

	Modelo Cámara	Modelo Lent	Cámaras necesari	Altura (n	Precio (US
1	BFLY-PGE-50A2M-CS	LENS-15F5-125C	4	757	1860
2	BFLY-PGE-50A2M-CS	LENS-160T4C	4	2470	1900
3	BFLY-PGE-50A2M-CS	LENS-15F3-60C	4	503	1940
4	BFLY-PGE-50A2M-CS	LENS-80T4C	7	677	2525
5	BFLY-PGE-50A2M-CS	LENS-125F6C	4	507	2760
6	FL3-U3-32S2M-CS	ACC-01-4002	5	769	3025
7	FL3-U3-32S2M-CS	LENS-15F5-125C	5	604	3825
8	FL3-U3-32S2M-CS	LENS-160T4C	5	1972	3875

Ilustración 10 Listado de opciones

En la imagen se puede observar que el menor precio es para la combinación formada por la cámara BFLY-PGE-50a2M-CS y la lente LENS-15F5-125C. Esta combinación necesita 4 cámaras colocadas a una altura de 757 mm y su precio total asciende a 1860 USD. Dado que la combinación posee una distancia sobrante mayor al 3% es aceptada como la combinación más adecuada para ser colocada en la instalación.

5. Pruebas de verificación

A continuación se realizan las pruebas de verificación del sistema anterior. Las pruebas se llevan a cabo en el laboratorio con el material que se encuentra disponible. Debido a los recursos disponibles solo se realiza la verificación para el diámetro. El material disponible en el laboratorio consiste en una cámara BFLY-PGE-20E4MCS con una resolución 3000x2208 y un formato de sensor $\frac{1}{2}$ ". La óptica de la que se dispone tiene un ángulo mayor de $28,3^\circ$, un ángulo menor de $21,1^\circ$, longitud focal de 12 mm y un formato de sensor de $\frac{1}{2}$ ".

Se procede a montar la instalación en dos escenarios diferentes. En el primero de ellos se realizan las pruebas con la cámara formando un ángulo de 90° y en el segundo se posiciona a 20° , ángulo a partir del cual disminuyen los errores de medición. La cámara en ambos casos se coloca a 757 mm de altura, distancia igual a la obtenida para la mejor combinación de cámara y lente.



Ilustración 11 Cámara a 90°



Ilustración 12 Cámara a 20°

La instalación está formada por la cámara, el soporte y la mesa de trabajo que es de un material traslúcido que permite el paso de la luz de los fluorescentes que tiene debajo. Estos fluorescentes se colocan para poder ver mejor las diferentes zonas.

La verificación se realiza sobre una plantilla que posee unas medidas determinadas. A partir de las fotografías tomadas por la cámara se calcula las dimensiones de estas así como el error, recorrido y desviación estándar que tiene, simulando de esta manera como actuaría el sistema una vez montado y los fallos que este produciría

5.1. Procedimiento

En este apartado se detalla el procedimiento que se realiza para realizar las pruebas de verificación en los diferentes casos.

En primer lugar se procede a montar la estructura en la posición deseada (20° o 90°), una vez posicionada la cámara a la altura establecida y con el ángulo deseado, se posiciona la plantilla de calibración en el centro.

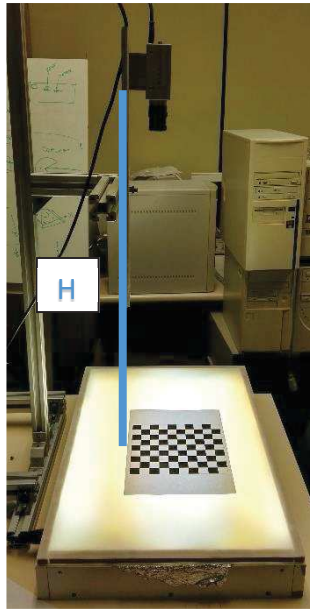


Ilustración 13 Esquema de montaje

Una vez colocada la cámara y la plantilla en la posición adecuada, se regula la imagen para poder obtener la mayor nitidez posible. Los parámetros que nos permiten obtener una mayor calidad de imagen son la ganancia y el tiempo de exposición. Estos parámetros pueden ser editados con el programa que viene con la cámara y se encuentra instalada en el ordenador del laboratorio.

Cuando la calidad de la imagen que se visualiza es considerada óptima se realiza la captura de pantalla de la plantilla de calibración, a continuación y sin mover la cámara se toman capturas de la plantilla de verificación en diferentes posiciones de la zona en la que se encontraba la plantilla de calibración.

Una vez obtenidas las fotografías se procede a usar el programa CameraCalibrator de Matlab. Se introduce la fotografía de la plantilla de calibración al programa y este establece un origen de coordenadas. El origen de coordenadas tiene asignado unos píxeles u, v , a partir de este punto el programa detecta las esquinas del tablero a las que les asigna otras coordenadas u, v diferentes. Al programa también se le introduce la distancia teórica existente entre los cuadrados, de esta forma obtiene también las coordenadas x, y teóricas.

Una vez obtenidas las coordenadas con el programa CameraCalibrator, se realiza un fichero de texto que contenga 5 columnas correspondientes a las coordenadas x, y, z, u, v .

Posteriormente desde la ventana de comandos de MatLab se ejecuta el programa MetrovisionLab. En este programa se introduce el fichero de texto con las coordenadas x, y, z, u, v de la plantilla de calibración. Con estas coordenadas se realiza una calibración del modelo Tsai 2D, estimando el programa Tz y f .

Obtenidos los parámetros de calibración de cada modelo se procede con CameraCalibrator a obtener las coordenadas x, y, z, u, v de cada una de las 10 fotografías que se han tomado de la plantilla de verificación a lo largo de la zona calibrada. Para cada una de estas imágenes el programa establece un origen de coordenadas en puntos diferentes.

Cuando se posee un fichero de texto con las coordenadas x, y, z, u, v para cada una de las fotografías se utiliza en Matlab “programa.m”, que es un programa que calcula la distancia que existe en los diferentes puntos y poder compararlas con las distancias. Tiene como datos de entrada los parámetros de calibración para cada caso, obtenidos con MetrovisionLab, y las coordenadas u, v que se han guardado en un fichero de texto independiente. El programa utiliza la función fTSAI_UV2XYZ junto con los datos de calibración para asignar unas coordenadas x, y, z a cada punto de la cuadrícula. Estas coordenadas x, y, z son diferentes a las teóricas obtenidas con CameraCalibrator. Con las nuevas coordenadas x, y, z se calcula distancia entre los diferentes puntos utilizando la siguiente fórmula:

$$d = \sqrt{(x_2 - x_1)^2 + (y_2 - y_1)^2}$$

El programa devuelve un fichero con la distancia que existe entre todos los puntos consecutivos de la cuadrícula. Se calcula la distancia para el eje x y para el eje y.

Con el fichero de salida que incluye todas las distancias, se calcula mediante una hoja Excel el recorrido, la desviación estándar y el promedio tanto para las distancias como para los errores.

La nomenclatura utilizada es la siguiente:

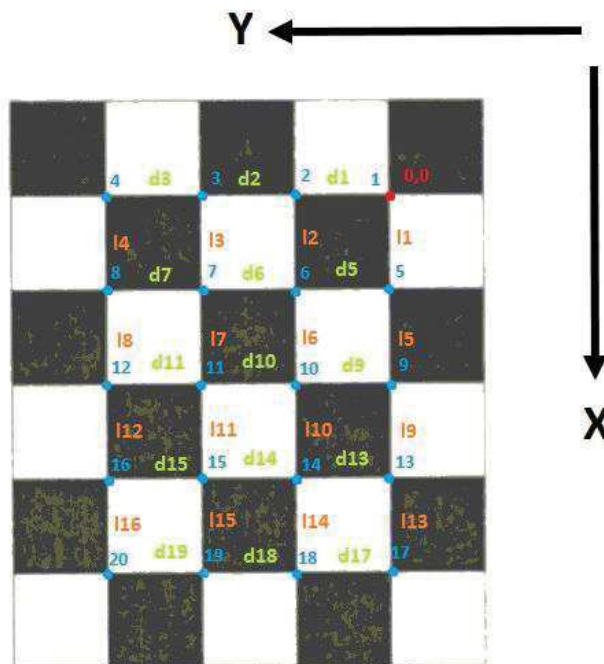


Ilustración 14 Posición de las distancias en la plantilla de verificación

5.2. Resultados

Tras realizar el procedimiento descrito, se obtienen diferentes resultados tanto para el caso en el que la cámara se coloca a 20° como en el caso en el que la cámara se coloca a 90°.

En primer lugar se analizan los datos para el caso en el que la cámara se encuentra a 20°. En la imagen se puede observar el área calibrada para este caso.

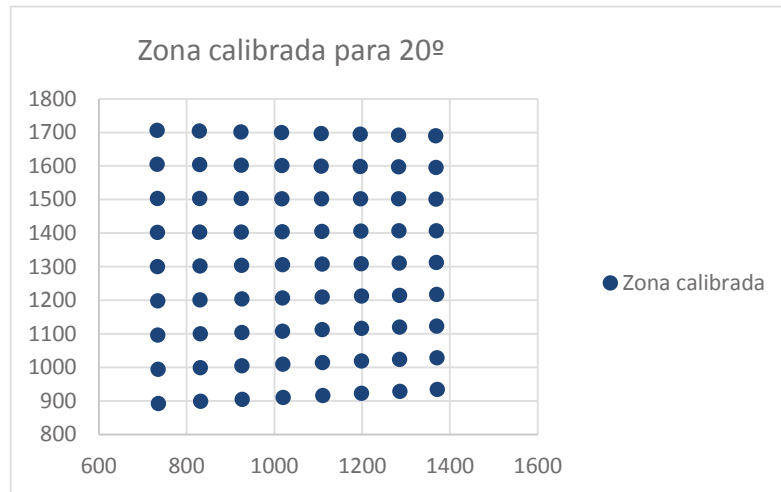


Ilustración 15 Posición de las esquinas de la plantilla de calibración

A continuación se observan las diferentes zonas en las que se han tomado las fotografías de la cuadrícula pequeña. P1 representa la posición de la cuadrícula de verificación en la foto 1 y así sucesivamente.

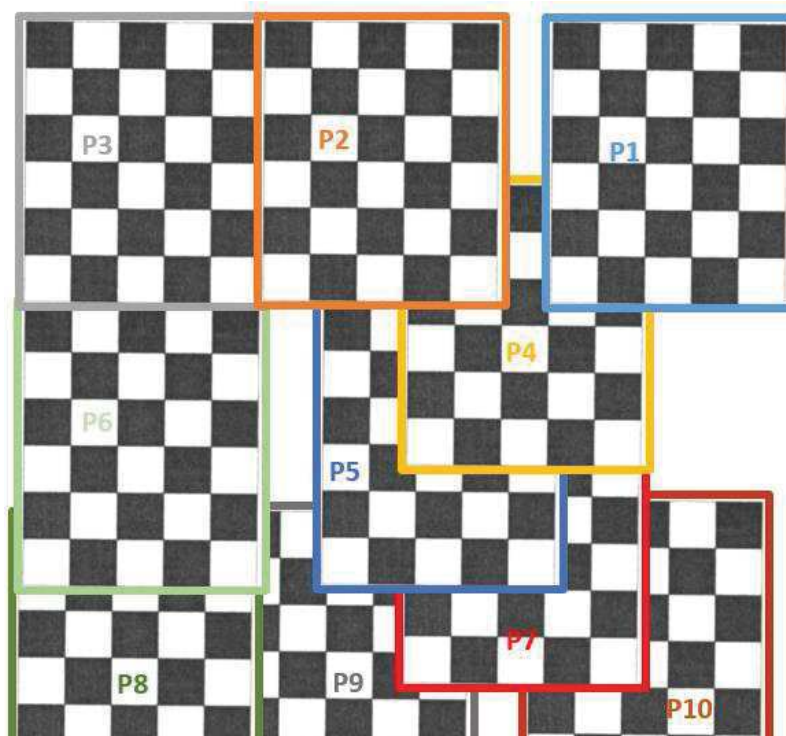


Ilustración 16 Posiciones en las que se han tomado las fotografías de la plantilla de verificación para 20°

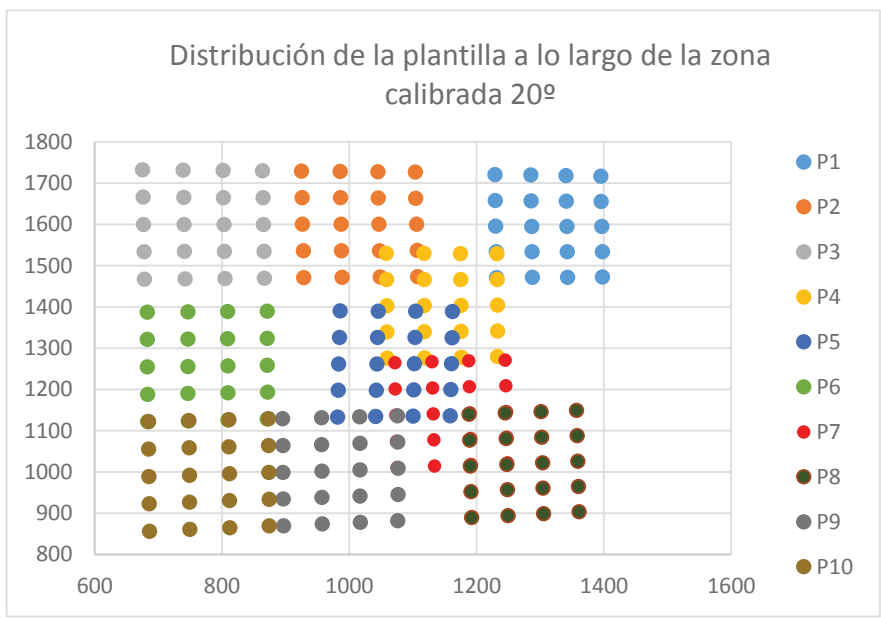


Ilustración 17 Posición de la plantilla de verificación en la que se han tomado las fotografías.

Se observa que en la zona central de la zona calibrada se han tomado varias fotografías, mientras que el resto de fotografías se han tomado de forma homogénea a lo largo del perímetro de la zona que se ha calibrado con CameraCalibrator.

Las imágenes que se han tomado a lo largo del perímetro poseen puntos que se encuentran fuera de la zona calibrada, esto ocurre para puntos de P1, P2, P3, P6, P8, P9 Y P10. Estos puntos son analizados para ver si los resultados difieren del resto que se encuentran dentro de la zona calibrada.

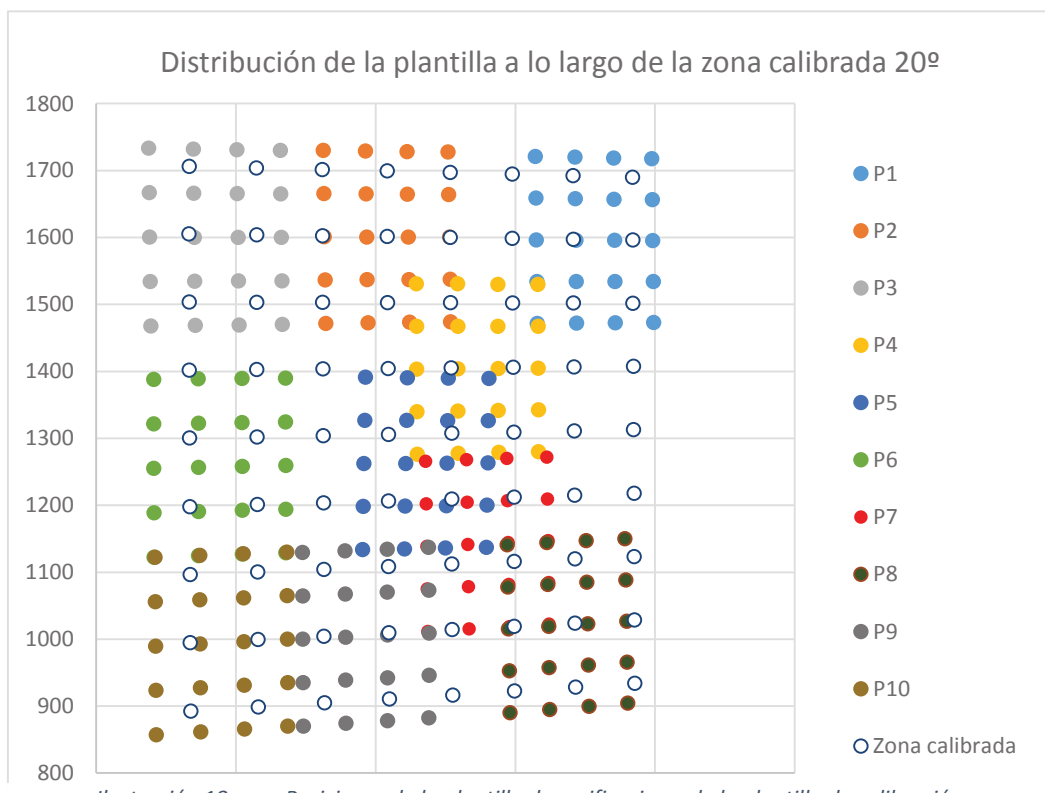


Ilustración 18 Posiciones de la plantilla de verificación y de la plantilla de calibración

Tanto para el caso en el que la cámara se encuentra a 20° como para el caso en el que la cámara se encuentra a 90°, se analizan las distancias en la dirección x y en la dirección y. $D(i)$ representa la media de $d(i)$ en cada una de las 10 capturas de la plantilla de verificación, lo mismo ocurra para $l(i)$. Los ejes se encuentran orientados tal y como se muestra en la imagen en la que se detalla la nomenclatura utilizada durante todo el proceso (Ilustración 14).

Para el caso de 20° y la dirección Y, los resultados obtenidos no revisten ninguna anomalía.

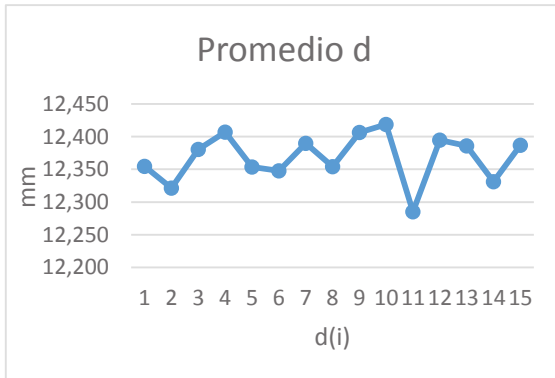


Ilustración 4 Promedio $d(i)$ para las 10 posiciones de la plantilla de verificación con la cámara a 20°

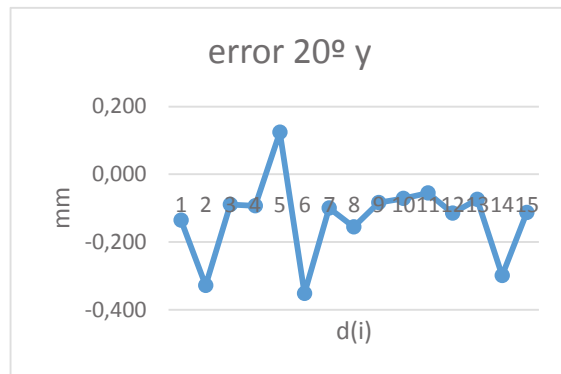


Ilustración 5 Error de $d(i)$ respecto a las distancias medidas con la cámara a 20°

El promedio de la distancia es ligeramente diferentes la distancia medida en la mayoría de los casos, esto se puede comprobar en la gráfica que representa el error.

Las gráficas del recorrido y la desviación estándar tienen una forma similar, aunque no tienen la misma forma. Existen distancias que pueden tener un recorrido amplio pero la mayoría de ellas se encuentran en la zona media y esto reduce su desviación estándar, por lo tanto la desviación estándar es un indicador más fuerte que el recorrido porque ante variaciones mayores se ve menos afectada. En adelante se utiliza el semi recorrido para analizar la variabilidad de las diferentes distancias en las diferentes zonas analizadas. En este caso existe un semi recorrido máximo de 0,058 mm para d15.

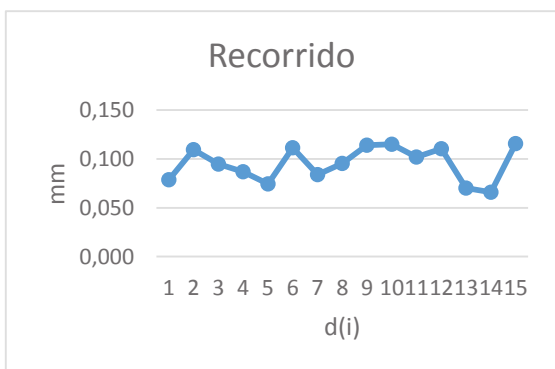


Ilustración 7 Recorrido para $d(i)$ con la cámara a 20°

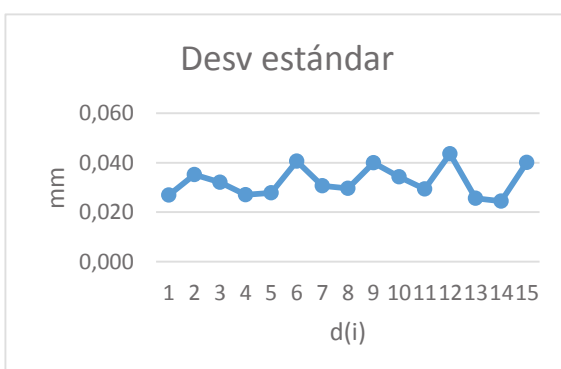


Ilustración 6 Desviación estándar para $d(i)$ con la cámara a 20°

A continuación se exponen los resultados para el caso de la cámara a 20° en la dirección X.

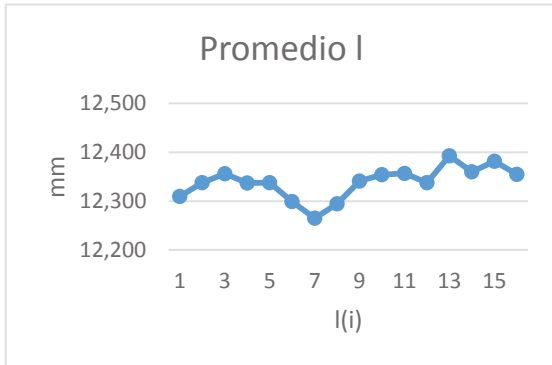


Ilustración 11 Promedio $l(i)$ para las 10 posiciones de la plantilla de verificación con la cámara a 20°

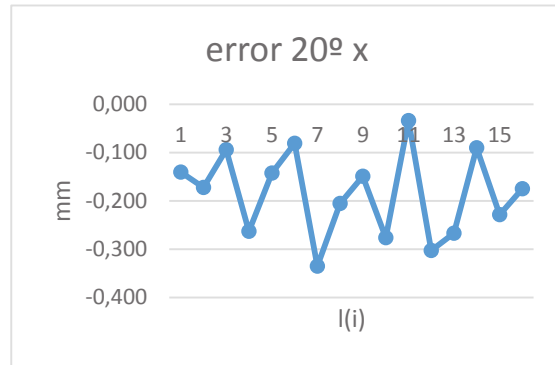


Ilustración 10 Error de $l(i)$ respecto a las distancias medidas con la cámara a 20°

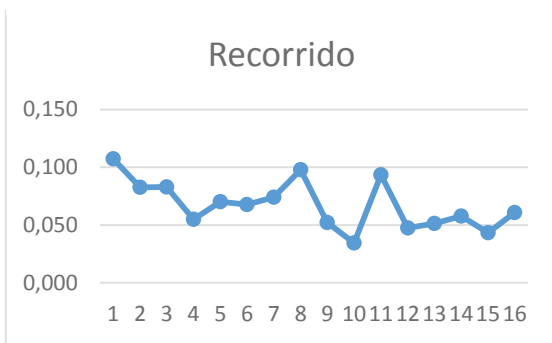


Ilustración 8 Recorrido para $l(i)$ con la cámara a 20°

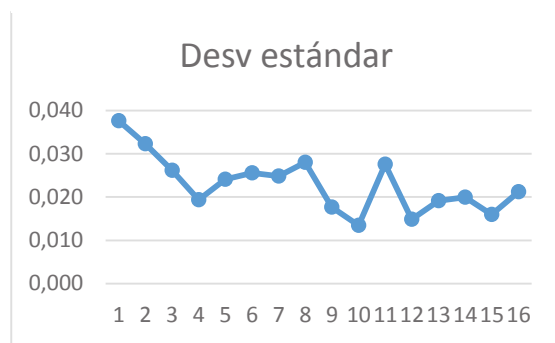


Ilustración 9 Desviación estándar para $l(i)$ con la cámara a 20°

Se observa que al igual que en el caso anterior no existen grandes anomalías en los resultados obtenidos. El promedio de las distancias varía respecto al valor medido y el error tiene una forma diferente a la obtenida en la dirección Y.

El recorrido y la desviación estándar tienen forma similar aunque no idéntica, se puede observar para l_2 y l_3 , que tienen el mismo recorrido pero la desviación de l_2 es mayor que l_3 . En este caso el máximo semi recorrido es 0,054 mm para l_1 .

En la dirección Y el máximo semi recorrido es para d_{15} que involucra los puntos 15 y 16 mientras que en la dirección X el máximo semi recorrido se encuentra para l_1 que está formada por los puntos 1 y 5. No hay diferencias según los puntos de la plantilla que se midan, por lo tanto esta variación en el semi recorrido es aleatoria y no depende de la distancia que se mide. Posteriormente se analiza si existen diferencias en el semi recorrido según la posición en la que se ha tomado la fotografía y de esta manera se analiza si los puntos que se encuentran fuera de la zona de calibración tienen algún efecto.

Para el caso de la cámara a 90° se realiza el mismo procedimiento que para el caso de 20°. La zona calibrada con la cámara a 90° es la siguiente:

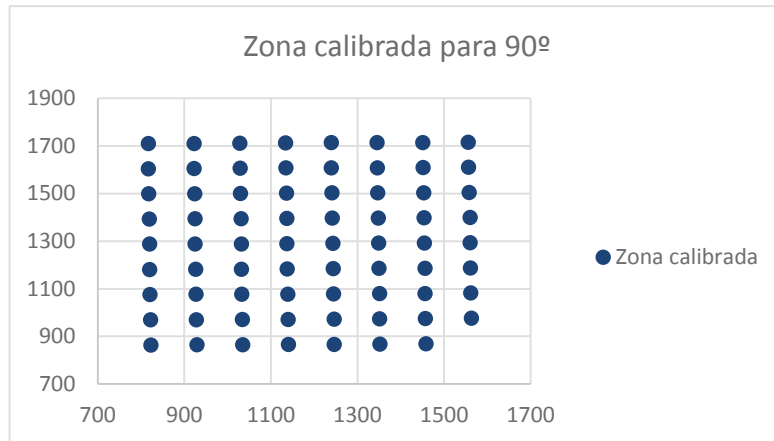


Ilustración 12 Posición de las esquinas de la plantilla de calibración

Las 10 zonas en las que se han tomado las fotografías en este caso son las siguientes:

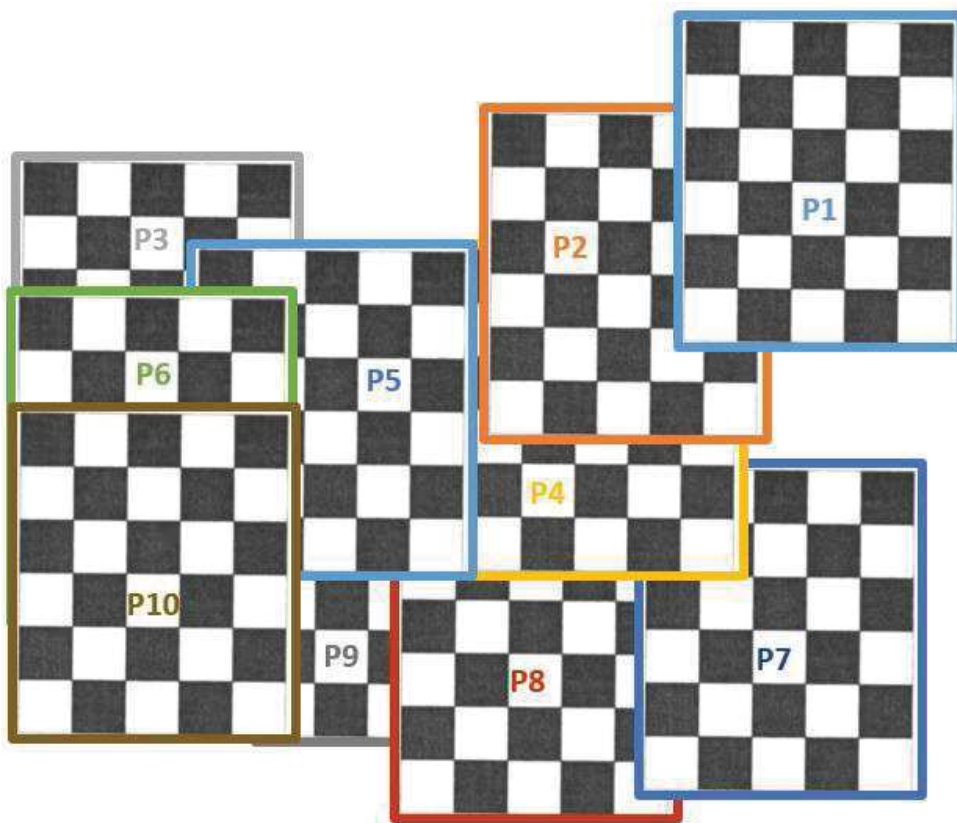


Ilustración 13 Posiciones en las que se han tomado las fotografías de la plantilla de verificación para 90°

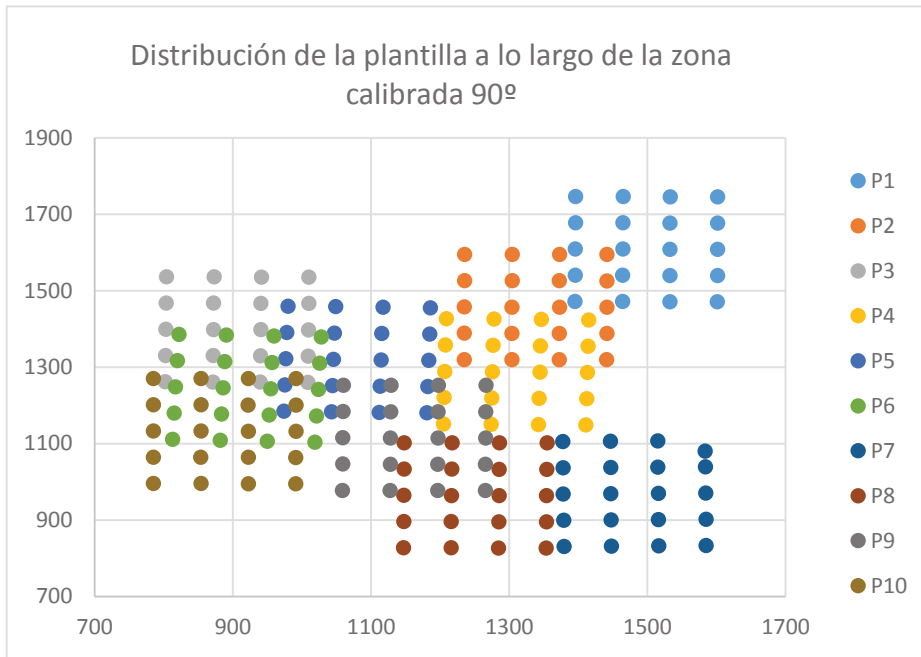


Ilustración 15 Posición de la plantilla de verificación en la que se han tomado las fotografías.

En el caso de las cámara a 90º las fotografías has sido realizadas en mayor número en el centro, aunque también hay fotografías que han sido tomadas a lo largo del perímetro de la zona calibrad. La mayor concentración de capturas en el centro es debido a que al tener la cámara colocada a 90º se esperan mayores errores y se toman las fotografías en el centro para intentar reducirlos.

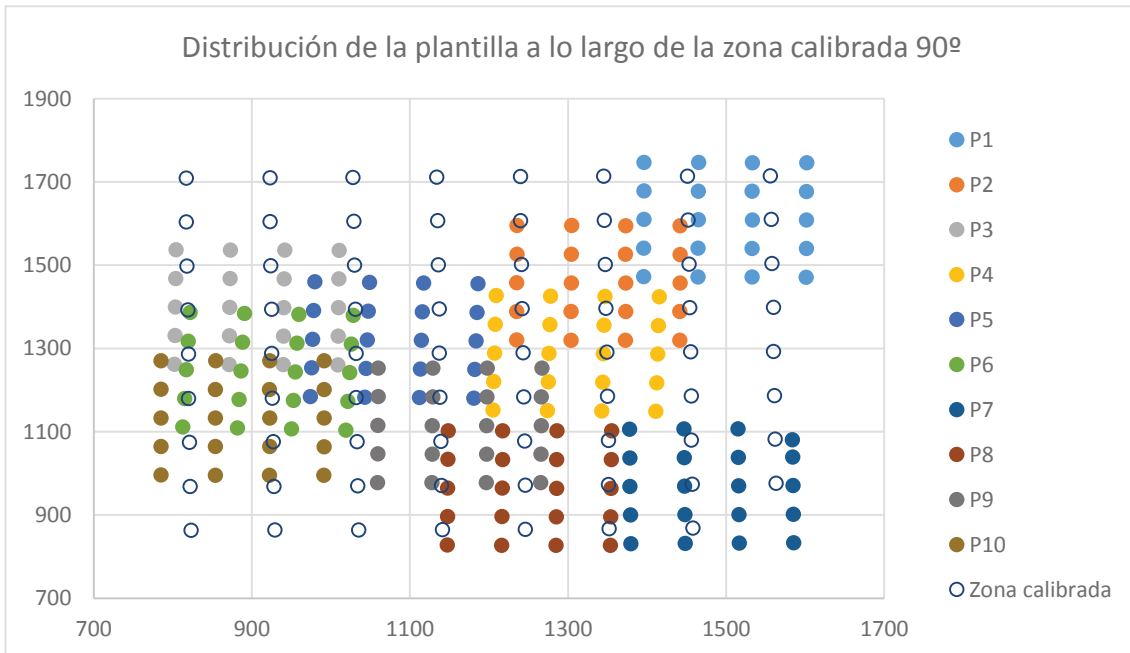


Ilustración 14 Posiciones de la plantilla de verificación y de la plantilla de calibración

Al igual que para el caso anterior existen puntos que se encuentran fuera de la zona calibrada, estos puntos serán analizados en función del semi recorrido que presentan las distancias que los poseen para saber si existen diferencias con el resto de casos.

En primer lugar se analizan los resultados para la dirección Y.

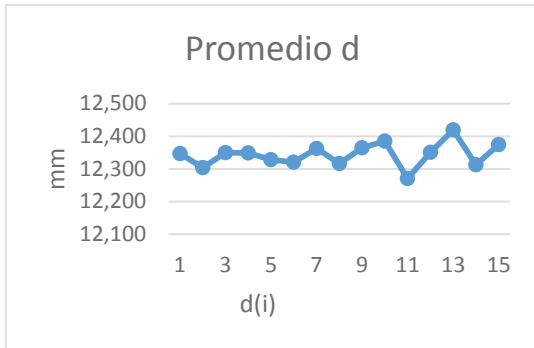


Ilustración 19 Promedio $d(i)$ para las 10 posiciones de la plantilla de verificación con la cámara a 90°

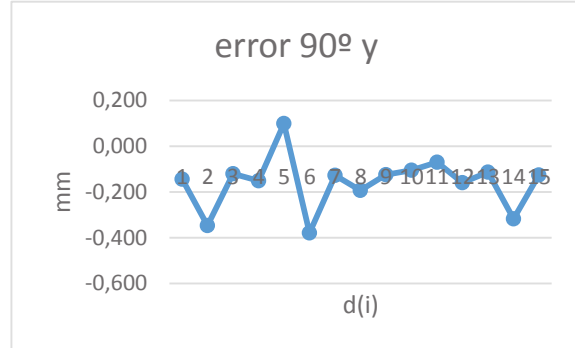


Ilustración 18 Error de $d(i)$ respecto a las distancias medidas con la cámara a 90°

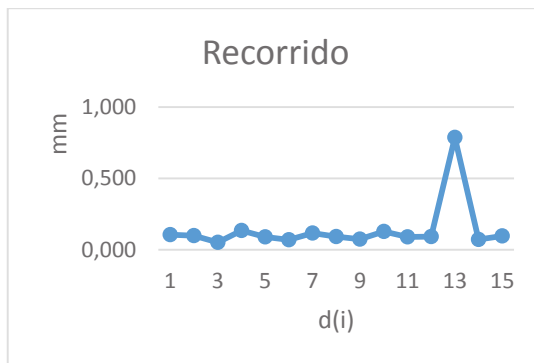


Ilustración 17 Recorrido para $d(i)$ con la cámara a 90°



Ilustración 16 Desviación estándar para $d(i)$ con la cámara a 90°

Las gráficas que representan el promedio de cada distancia y el promedio del error de cada distancia no presentan ningún dato anómalo aunque en la distancia 15 se observa que el promedio es mayor que para el resto de casos. La gráfica del error tiene forma similar a la obtenida para el caso en el que la cámara se ha situado a 20° en la dirección Y.

En las gráficas del recorrido y la desviación resalta el valor que ambas gráficas tienen para la distancia d_{15} . En ambos casos es mucho más elevado que la media, lo que puede ser debido a la existencia de un punto que da lugar a valores anómalos. En este punto el valor del semi recorrido es de 0,393 mm.

Para la dirección X los resultados obtenidos son los siguientes:

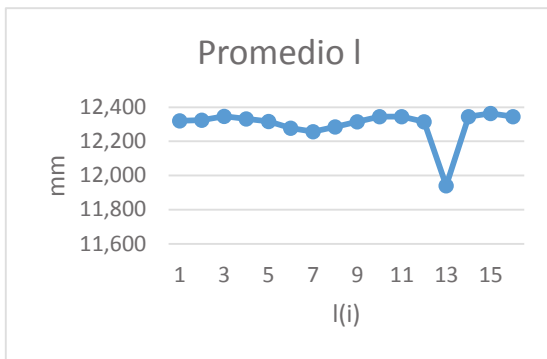


Ilustración 23 Promedio $l(i)$ para las 10 posiciones de la plantilla de verificación con la cámara a 90°

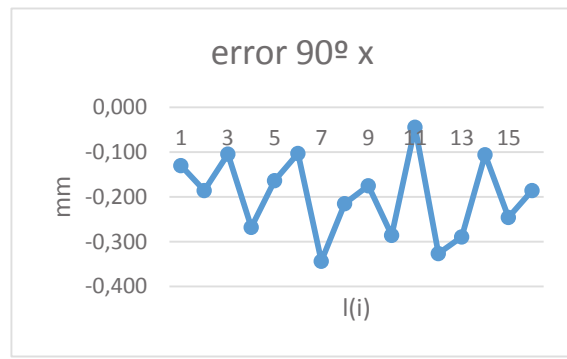


Ilustración 22 Error de $l(i)$ respecto a las distancias medidas con la cámara a 90°

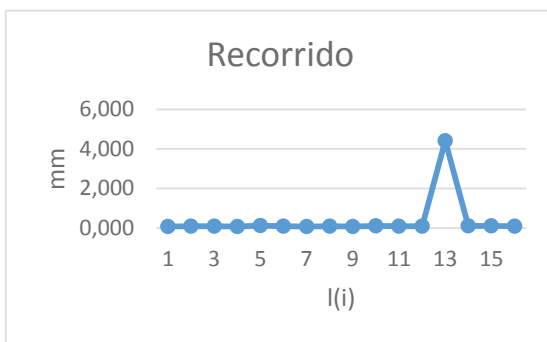


Ilustración 21 Recorrido para $l(i)$ con la cámara a 90°



Ilustración 20 Desviación estándar para $l(i)$ con la cámara a 90°

Analizando los resultados se observa que las gráficas se ven afectadas por el dato de l_{13} . Afecta en gran medida al promedio de esa distancia, por lo que es un dato mucho menor. Tanto el recorrido como la desviación estándar para la distancia l_{13} aumentan considerablemente respecto al resto de distancias. En este caso el máximo semi recorrido es 2,207 mm.

Se decide analizar las coordenadas de los puntos que tienen en común d_{15} y l_{13} y observar en qué punto del proceso se ha producido la anomalía. Analizando las zonas en las que se han tomado las fotografías con la cámara a 90° se puede observar que el punto erróneo corresponde al punto 17 de la 7ª fotografía. En la imagen de las zonas en las que se ha colocado la plantilla pequeña se puede observar.

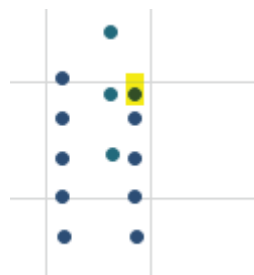


Ilustración 24 Posición del punto erróneo

En primer lugar se analizan los píxeles de la imagen y se comprueba que los píxeles que señala la flecha no coinciden con los obtenidos al procesar la imagen con los programas CameraCalibrator y MetrovisionLab.

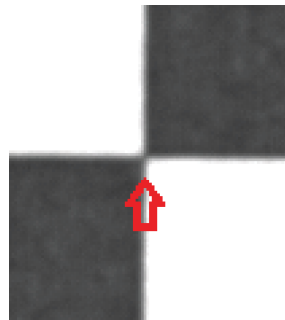


Ilustración 25 Puntos correspondientes al punto erróneo

El error puede ser causado porque el punto se encuentra fuera del área calibrada y a que la cámara forma un ángulo de 90°. Tras analizar la imagen se calculan los píxeles aproximados en los que está situada la intersección de los cuadrados. Posteriormente se cambia el dato en el fichero inicial que se introduce en “programa.m” y se vuelven a calcular las distancias obteniendo los siguientes resultados.

Para las distancias en la dirección Y:

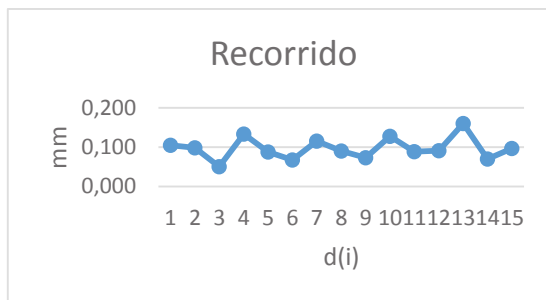


Ilustración 27 Recorrido para d(i) con la cámara a 90°



Ilustración 28 Desviación estándar para d(i) con la cámara a 90°

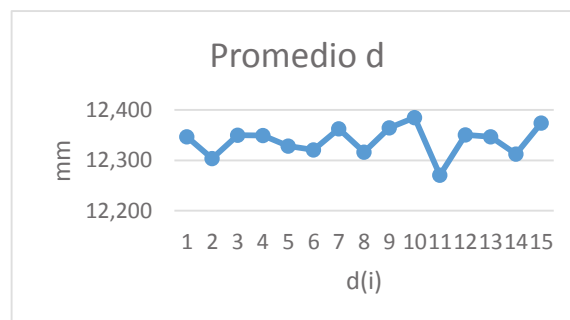


Ilustración 26 Promedio d(i) para las 10 posiciones de la plantilla de verificación con la cámara a 90° con error corregido

Tras corregir el punto anómalo se puede comprobar que los resultados presentan las mismas características que se ha observado para el caso en el que la cámara se encuentra situada a 20°. El máximo semi recorrido en este caso es 0,080 mm para d15.

Los resultados en la dirección X:

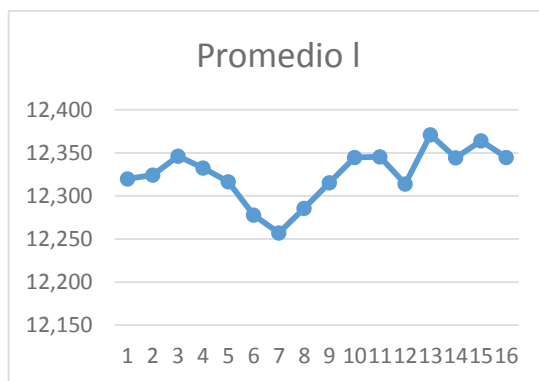


Ilustración 31 Promedio I(i) para las 10 posiciones de la plantilla de verificación con la cámara a 90° con error corregido

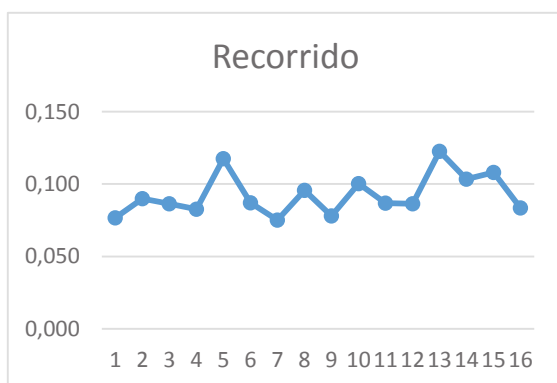


Ilustración 30 Recorrido para d(i) con la cámara a 90°



Ilustración 29 Desviación estándar para d(i) con la cámara a 90°

Al igual que para la dirección Y, al corregir el dato extremo se han corregido los resultados. El promedio de I tiene la misma forma, mientras que el recorrido y la desviación estándar tienen formas parecidas. El máximo semi recorrido es 0,061 mm para l13.

5.3. Comparación con medidas nominales.

Una vez analizados los datos para cada distancia que existe en la cuadrícula de verificación, se procede a compararlas con las medidas nominales obtenidas con pie de rey.

En este caso el error se calcula como la diferencia entre la distancia obtenida por el programa menos la distancia medida. El recorrido y la desviación estándar son iguales que en el caso anterior. En este caso hay que tener en cuenta los posibles errores cometidos al medir con el pie de rey.

Para la cámara situada a 20° los errores son:

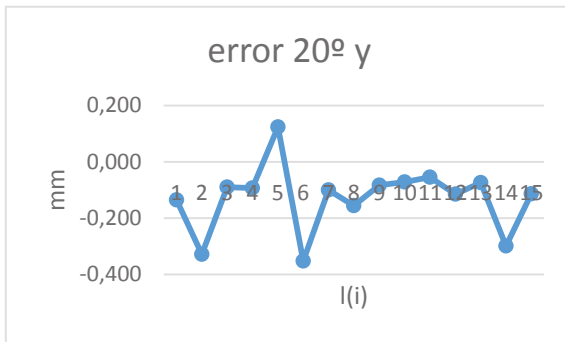


Ilustración 32 Error para las distancias $d(i)$ con la cámara a 20°

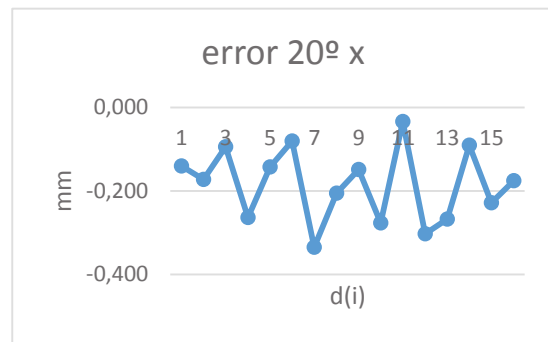


Ilustración 33 Error para las distancias $l(i)$ con la cámara a 20°

Analizando las gráficas para ambos errores se puede observar que en el eje Y el error tiene mayor variabilidad mientras que en el eje X es más uniforme.

Los resultados para la cámara situada a 90°:

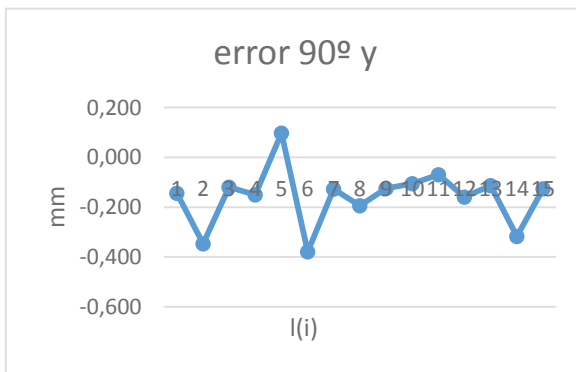


Ilustración 34 Error para las distancias $d(i)$ con la cámara a 90°

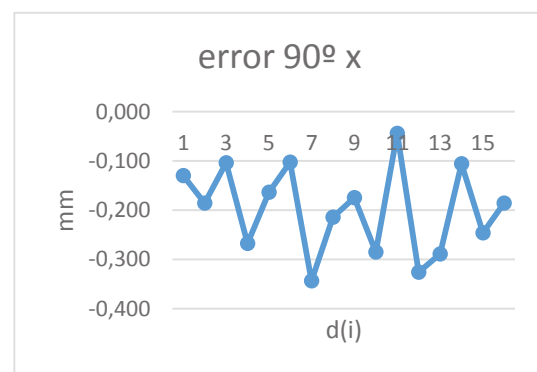


Ilustración 35 Error para las distancias $l(i)$ con la cámara a 90°

Las gráficas de cada eje para los dos casos tienen la misma forma aunque, los valores en el error con la cámara situada a 90° son mayores que para el caso de 20°. Esto volvería a confirmar la hipótesis inicial de que la posición óptima de la cámara en el sistema es a 20° porque se producen menos errores que con la cámara colocada a 90°.

5.4. Errores en función de la posición de la plantilla.

A continuación se analiza la variación del semi recorrido para el conjunto de distancias de cada posición en función de la zona en la que se han realizado las fotografías.

El semi recorrido en este caso se calcula como la media de los semi recorridos de todas las distancias que se encuentran en cada imagen. A cada semi recorrido se le asigna el centro de todos los puntos que forman la imagen.

Con la cámara situada a 20º se obtienen los siguientes resultados:

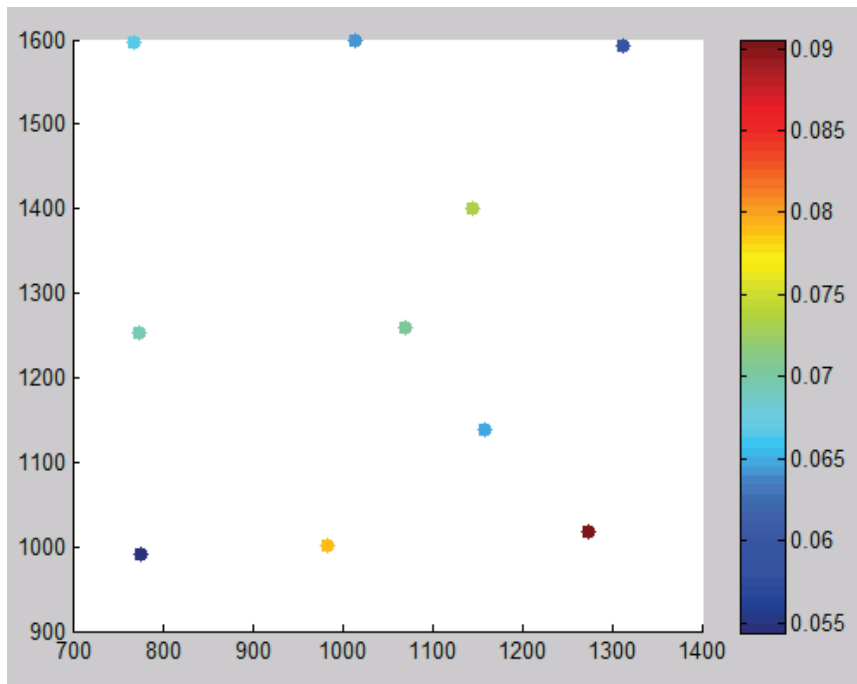


Ilustración 36 Semi recorrido de todas las distancias de cada posición para 20º

Resultados para la cámara situada a 90º:

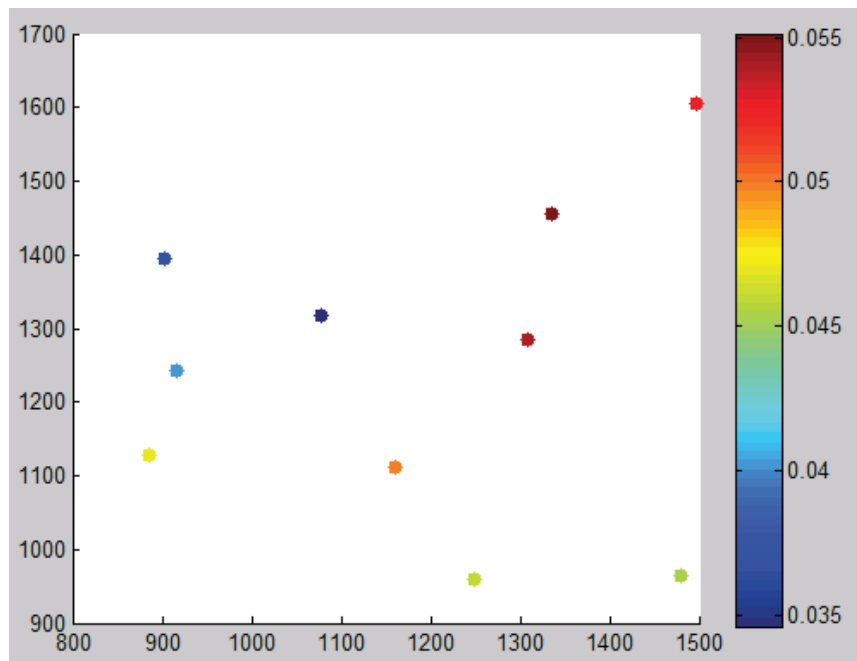


Ilustración 37 Semi recorrido de todas las distancias de cada posición para 90º

Con la cámara a 20º los mejores resultados se obtienen en el centro y en la parte superior de la cuadrícula, mientras que el peor caso se puede observar en la esquina inferior izquierda. Los puntos que menor semi recorrido tienen se corresponden con fotografías que poseen casos fuera de la zona calibrada por lo que en este caso no afectan en los resultados incorporando errores elevados.

Para el caso de la cámara a 90° los peores resultados en el semi recorrido los obtenemos en las fotografías que se han tomado en la parte superior derecha de la imagen. Por el contrario los mejores resultados se obtienen en la parte lateral izquierda. Al igual que en el caso anterior los puntos que se encuentran fuera de la zona de calibración no afectan negativamente puesto que no introducen errores al estar situados en el exterior ya que tanto las posiciones que obtienen los mejores semi recorridos como las peores tienen puntos en el exterior.

Con este análisis se comprueba que con la cámara a 90° los errores son mayores en la mayoría de las zonas del área calibrada que en el otro caso, confirmando de esta manera que se produce un mayor número de errores.

5.5. Variabilidad en posición fija.

Tras analizar la variabilidad de las medidas tomadas a lo largo de la zona calibrada a continuación se estudia la variabilidad en un punto fijo. Para ello se toman 10 fotografías de la plantilla de verificación en la misma posición de la zona de la calibración. Tras realizar el procedimiento con el que se obtienen las distancias se calcula el promedio, recorrido y desviación estándar para cada distancia.

En el eje Y los resultados obtenidos son:

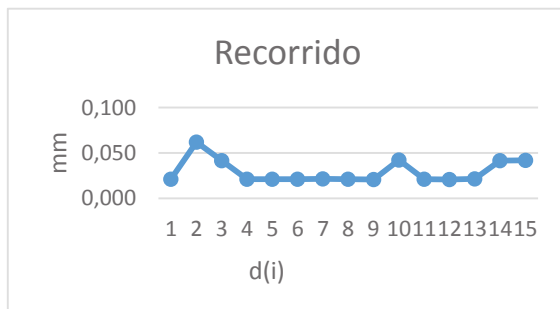


Ilustración 40 Recorrido para d(i)

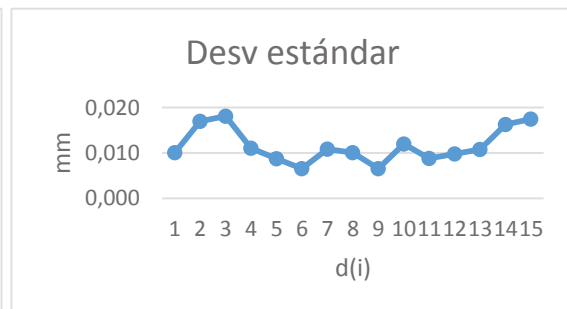


Ilustración 39 Desviación estándar para d(i)

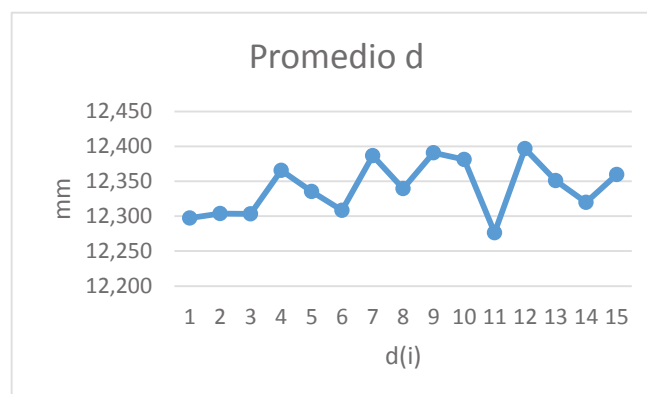


Ilustración 38 Promedio de d(i) en posición fija

A la vista de los resultados se puede comprobar que el recorrido y la desviación estándar tienen poca variabilidad a excepción de alguna distancia que se aleja algo más de la media. El semi recorrido máximo que se obtiene es de 0,0309 mm para la distancia 2.

Esto corresponde con lo observado en el gráfico del recorrido puesto es la que se aleja en mayor medida del resto.

Para el eje X los resultados obtenidos son los siguientes:

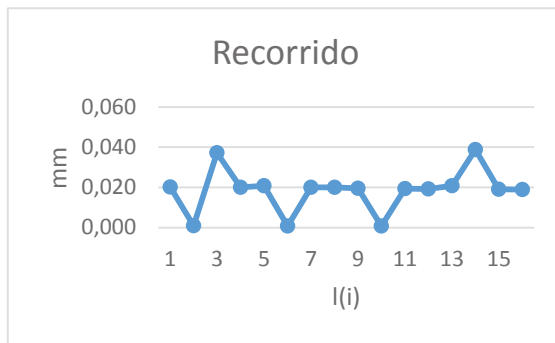


Ilustración 42 Recorrido para l(i)



Ilustración 43 Desviación estándar para l(i)

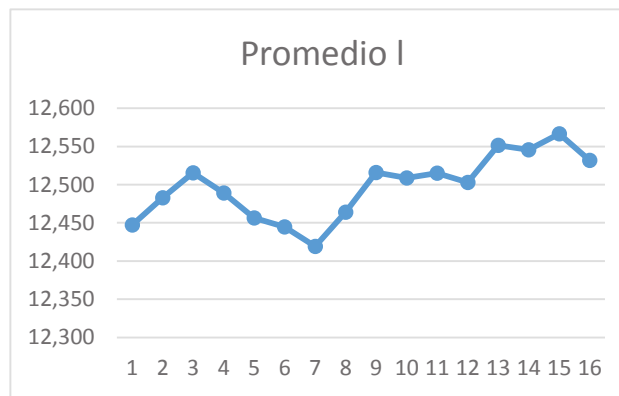


Ilustración 41 Promedio de l(i) en posición fija

Los resultados obtenidos en este caso confirman la tendencia observada en el caso del eje Y, porque disminuye el recorrido y la desviación estándar respecto al caso en el que la plantilla se mueve a lo largo del área calibrada. En algunas distancias el recorrido y la desviación estándar son muy próximas a cero y en ambos casos se observa cierta constancia. El máximo semi recorrido corresponde a l14 y es de 0,019 mm.

Se concluye que se tiene menor variación en los datos al tomar las fotografías sobre un punto fijo con la cámara colocada a 20°.

5.6. Medida experimental de las mangueras

Una vez validado el sistema de medición de las mangueras, se realiza una prueba experimental en el laboratorio para la medida del diámetro de las 6 mangueras que se dispone.

Para ello en primer lugar se mide el diámetro de cada manguera mediante un pie de rey para obtener de esta manera el diámetro. La zona de las mangueras en las que se realiza la medición es sobre la parte metálica del extremo.

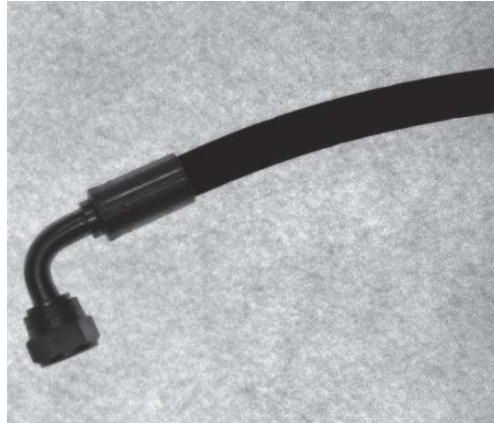


Ilustración 45 Manguera

Una vez obtenidas las medidas con el pie de rey, se sitúan las mangueras sobre la zona calibrada con la cámara situada en la posición de 90°. Conocida la longitud del sensor en las dos direcciones de la cámara y la focal de esta, se obtienen los ángulos reales de la cámara.

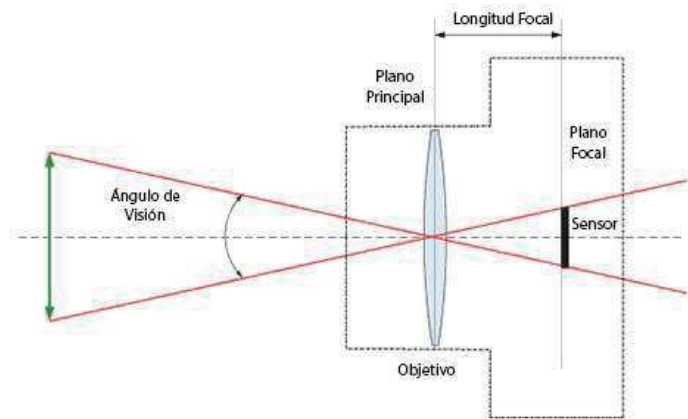


Ilustración 44 Ángulo de visión

Conocido el ángulo de la cámara y la altura a la que está situada, se obtienen los mm/píxel que tiene como resolución en esa posición. Finalmente se mide la distancia que existe entre los cuadrados de la plantilla de calibración sobre la que se coloca la manguera.

Se calculan los píxeles que corresponden a la distancia que existen con el ordenador. Se traza una perpendicular al diámetro de la manguera, se miden los píxeles existentes que hay entre los puntos de la recta en los que existe cambio de color e indican el perfil de la misma. Una vez obtenidos los píxeles correspondientes del diámetro de la manguera, los píxeles de la distancia entre cuadrados y la medida experimental de la misma, se calcula el diámetro teórico de la manguera. Para los casos medidos, los resultados se muestran a continuación.

Manguera	Diámetro obtenido por visión 90º	Diámetro medido con pie de rey
1	17,92	17,71
2	20,61	20,34
3	17,75	20,45
4	24,02	23,52
5	19,18	20,4
6	23,30	23,51

Ilustración 46 Medidas mangueras

Se puede comprobar que en algunos casos son muy similares pero en otros existen diferencias notables entre ambas mediciones. Esto es causado a que el sistema mediante el que se han determinado los píxeles correspondientes al diámetro de cada manguera es muy rudimentario, por lo tanto utilizando métodos con mayor precisión mejorarían los resultados. También hay que tener en cuenta el error cometido al medir los diámetros con el pie de rey.

5.7. Análisis de resultados.

Finalmente se analizan los resultados obtenidos en los apartados anteriores y se comprueba si cumplen con las especificaciones requeridas.

Para analizar los resultados se toma el valor de la incertidumbre calculado en el apartado en que se establecen los requisitos del sistema como aceptable. El valor de la incertidumbre establecido como límite se compara con el semi recorrido. Para compararlo se calcula el máximo semi recorrido de cada caso, se observa si es mayor o menor que el límite establecido a partir de la incertidumbre. En caso de ser mayor no es aceptable.

$$I_{\emptyset} = 0,06667$$

$$I_{longitud} = 0,167$$

Para el caso de 20º el máximo semi recorrido obtenido es en el eje Y 0,058 mm y 0,054 mm en el eje X, por lo tanto, posicionar la cámara formando un ángulo de 20º genera unos resultados aceptables.

Por el contrario, para el caso en el que la cámara se coloca a 90º obtenemos un semi recorrido de 0,080 mm en el eje Y y 0,061 mm en el eje X. El semi recorrido es mayor que el valor límite para la incertidumbre en diámetro por lo tanto no es aceptable posicionar la cámara a 90º ya que produce errores demasiado elevados.

Los resultados obtenidos validan los cálculos realizados para el sistema de forma teórica. Los errores obtenidos se deben a pequeñas variaciones en los ángulos prácticos, la altura a la que se coloca la cámara y la resolución práctica de esta.

Comparando los datos de la simulación con los datos experimentales existen pequeñas diferencias entre ambos.

Al validarse estos resultados se presupone que los resultados que se obtengan con el conjunto seleccionado para el sistema serán igual de válidos y por lo tanto aceptarán las especificaciones de incertidumbre y tolerancia de la empresa.

6. Diseño de la estructura.

Una vez conocidas los resultados de la selección de cámara, realizadas las pruebas de verificación con las que se determina que posición de la cámara es óptima y analizados los requisitos del sistema se procede a diseñar la estructura.

El cuerpo principal de la estructura se encuentra formado por perfiles de aluminio. Estos perfiles son suministrados por una gran cantidad de empresas disponibles en el mercado. Los perfiles utilizados para esta estructura tienen una anchura de 40 mm.

Los perfiles soportan una cabina completamente cerrada que impide el paso de la luz pero que dispone de una puerta guiada hacia arriba que permite la apertura y cierre de una manera muy rápida. En el interior de la cabina el operario coloca las mangueras a medir en unos soportes ajustables al tamaño del tipo de manguera que se mide en cada momento. Las dimensiones totales de la estructura completa son 2200 x 2020 x 500. A la hora de realizar el diseño de la estructura los principales problemas con los que se han contado han sido la forma de sujetar las mangueras, puesto que hay de diferentes tamaños y grosores.

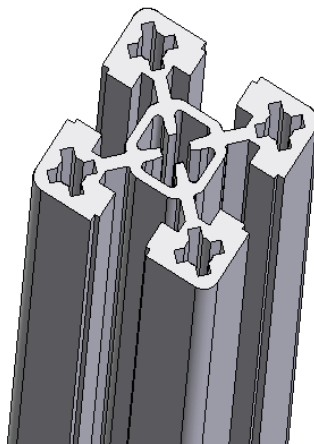


Ilustración 47 Perfil utilizado en la estructura

6.1. Estructura

La estructura del sistema está formada por perfiles de aluminio. La estructura posee 6 patas repartidas de manera regular. Soportan una placa de aluminio donde está instalada la iluminación del sistema. Esta cavidad se encuentra cubierta por placas de plástico en sus laterales. Encima de esta se coloca la mesa de trabajo, esta mesa es de un material traslúcido que permita el paso de la luz de manera homogénea. En la parte superior se encuentran las cámaras encargadas de realizar las mediciones. La cavidad donde se colocan las cámaras está cerrada por paneles de plástico pintados de colores oscuros para impedir que se creen reflejos. El sistema se encuentra anclado al suelo en sus 6 patas.

Los perfiles van unidos entre sí mediante un sistema de unión especial mientras que el resto de elementos se encuentran atornillados a los perfiles.

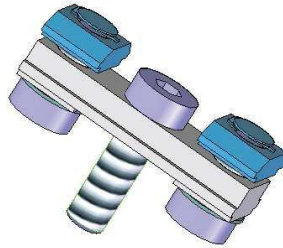


Ilustración 48 Sistema de sujeción de los perfiles

6.2. Sistema de sujeción

El principal problema del diseño de la estructura ha sido la forma en la que sujetar las mangueras mientras se realiza la medición. Este problema es causado por los diferentes diámetros de las mangueras y las diferentes longitudes. Debido a los requisitos se pretende un sistema de medición rápido. Se han barajado diferentes alternativas de sistemas de sujeción.

- Utillaje y muelle: Este sistema incorpora un utillaje en cada extremo de la manguera para mantenerla sujeta. Este elemento se posiciona de manera fija independientemente del tipo de manguera, en el otro será colocado por el operario justo antes de la zona metálica donde se realiza la medición. El utillaje mediante el que se retiene la manguera es ajustable a los distintos tipos de diámetros que existen de manera automática. El utillaje del extremo va enganchado a un muelle que estira la manguera para poder realizar la medición en longitud.

- Localizadores: La manguera se coloca sujeta por un extremo con un clip que se encuentra fijo, la manguera se coloca en una pequeña superficie que tiene una anchura menor al mínimo de los diámetros. Por los laterales y la parte de arriba aparecen empujadores que la colocan en una posición recta.

- Clips: En esta alternativa las mangueras se encajan en unos elementos similares a unos ganchos. Estos elementos tienen diferentes holguras para poder retener todo tipo de diámetros. Un extremo se encuentra fijo mientras que en el otro al encajar la manguera queda estirada. Para mangueras excesivamente largas que puedan flectar se colocan 3 o 4 clips a lo largo de esta de una forma rápida y precisa. Los clips se encuentran sujetos a la mesa de trabajo mediante un sistema de guiado, teniendo la mesa mecanizada en su superficie una guía a lo largo de la cual se pueden colocar los soportes dependiendo de la longitud de la manguera

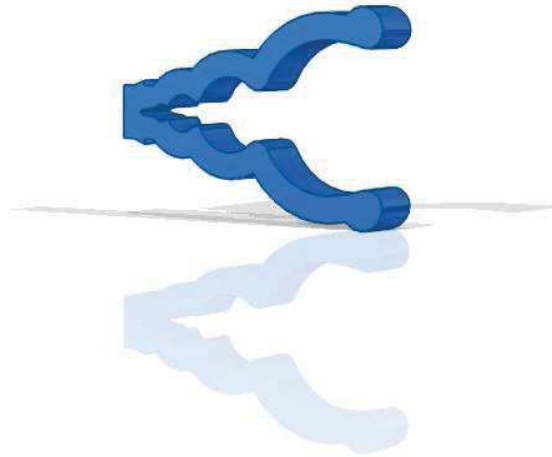


Ilustración 49 Clips para sujetar las mangueras

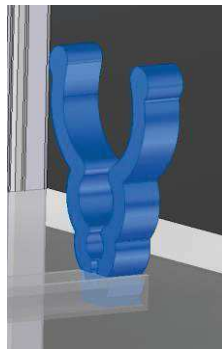


Ilustración 46 Manguera encajada en la guía

Tras analizar las diferentes alternativas se considera la mejor de ellas la que está compuesta por los clips y la guía y por tanto es la que se incluye en el prototipo. En este sistema las cámaras se calibran a partir del punto medio del sistema de medición y no de la superficie de la mesa. En el punto donde se coloca el clip, no se puede realizar la medición puesto que afectaría a la luz procedente del inferior.

La forma en la que quedarían encajadas las mangueras de diferentes diámetros sería la siguiente:

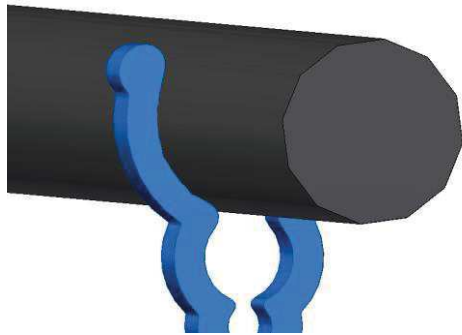


Ilustración 47 Manguera de máximo diámetro encajada en el clip

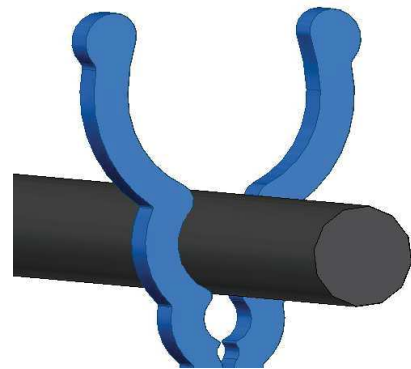


Ilustración 48 Manguera de diámetro medio en el clip



Ilustración 49 Manguera de menor tamaño encajada en el clip

La forma de sujetar las mangueras es una suposición puesto hay que realizar estudios sobre el metacrilato para ver si es viable y rentable su fabricación.

Como alternativa a la mecanización de la pieza que forma la mesa por la que se tiene que desplazar la pieza que sujeta las mangueras, se plantea la colocación de dos placas independientes con el suficiente hueco en el centro para que pueda deslizarse la pieza. De esta forma en el caso de que la mecanización o el mantenimiento de la placa sean demasiado elevados, se ahorran estos costes.

Otra alternativa para la sujeción de la guía en la que se trasladen los clips consiste en unirlos a través de una pieza metálica a una guía situada en un perfil transversal. De esta forma se recibe menos luz que en el caso propuesto.

Sobre los clips se ha realizado un estudio de elementos finitos para ver si es posible su fabricación.

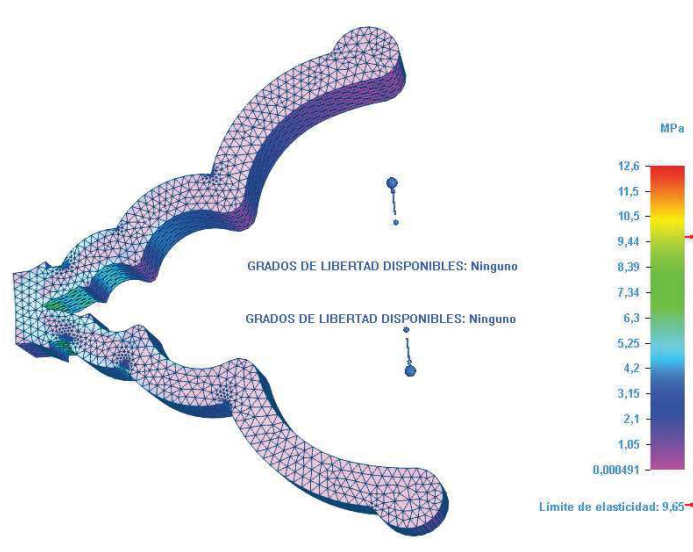


Ilustración 50 Valores de tensiones en la pieza.

En la ilustración se puede observar como la pieza no plastifica cuando se ve sometida al desplazamiento máximo que sufre el clip.

6.3. Iluminación

La iluminación necesaria para realizar la medición de las mangueras mediante cámaras de visión ha de ser uniforme y no muy intensa. Para ello encima del sistema de iluminación se coloca la mesa de trabajo de un material traslúcido que permita el paso de la luz de manera regular sin producir reflejos y alteraciones en la imagen.

El sistema de iluminación seleccionado es mediante una tira de leds que cubre la parte inferior de la mesa de trabajo, habiéndose comparada con otras alternativas como los fluorescentes, se ha seleccionado debido a su mejor relación precio/vida útil (17000 horas de vida útil de los fluorescentes frente a 50.000 de los leds)

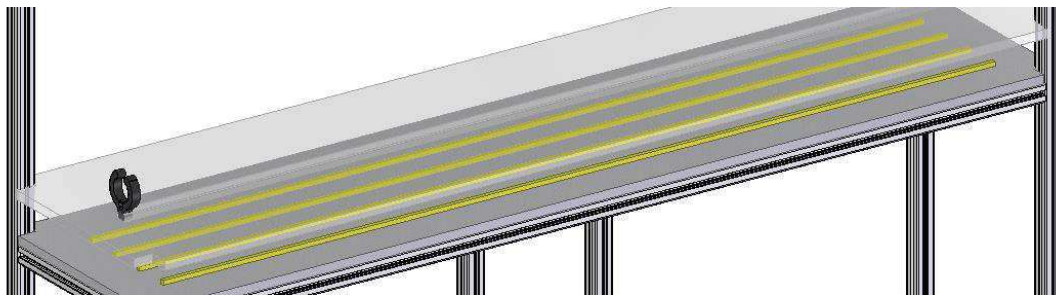


Ilustración 51 Posición de la tira de leds debajo de la mesa de trabajo

El resto de la cabina donde se realiza la medición se encuentra cerrada mediante paneles de plástico opacos que no producen reflejos. De esta manera se obtiene la iluminación deseada con el objetivo de visualizar perfectamente el perfil de las mangueras. La guía

que contiene la mesa para la colocación de los clips forma parte del mismo conjunto y no interfiere en la luz de la cavidad principal.

6.4. Distribución de las cámaras

Tras realizar en estudio para la selección de cámaras se ha llegado a la conclusión de que la mejor opción es la colocación de 4 cámaras BFLY-PGE-50a2M-CS y 4 lentes LENS-15F5-125C. Las cámaras han de ser colocadas uniformemente en la zona de medición.

Las 4 cubren un campo de visión de 2018,35 mm contando con las zonas cubiertas por dos cámaras. Las cámaras han de estar colocadas a una distancia de 351,47 mm entre ellas y las que se encuentran en los extremos a 558,3 mm. La altura a la que se colocan las cámaras es 757 mm, obtenida con anterioridad.

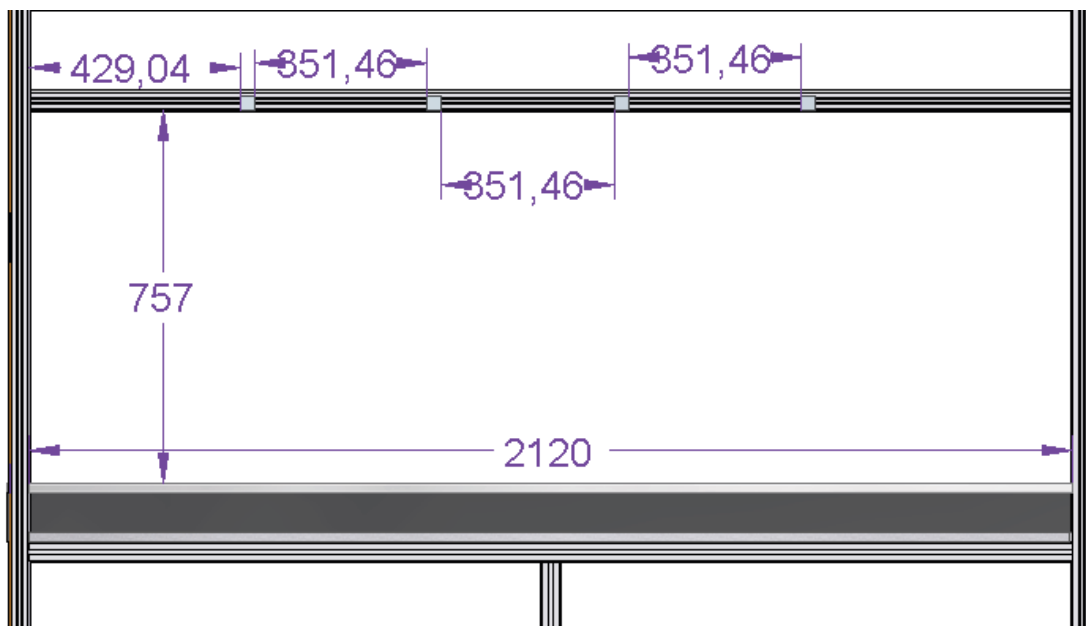


Ilustración 52 Posición de las cámaras

Las cámaras se colocan formando un ángulo de 20° con el panel lateral, esto se consigue colocando un soporte con esta inclinación a las cámaras y atornillando este a un perfil de aluminio transversal que impide ruido y vibraciones.

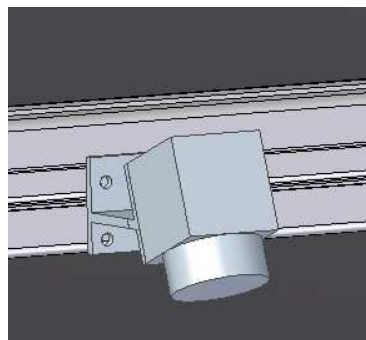


Ilustración 53 Cámara sobre el perfil y el soporte

Al estar colocadas a una altura de 757 mm sobre la base y con un ángulo de inclinación de 20° , la anchura de la mesa ha de ser mínimo de 52,68 cm. En este caso se ha establecido de 50 cm puesto se considera que los objetos se van a colocar en el centro y parte de la imagen que capturen las cámaras no es útil y en esa zona se puede colocar el panel lateral.

6.5. Sujeción

El conjunto se encuentra anclado al suelo mediante piezas de metal con forma de L. Estas piezas se encuentran atornilladas al suelo y a los perfiles de aluminio para evitar el movimiento de la estructura y disminuir de esta forma posibles errores en la calibración de las cámaras.

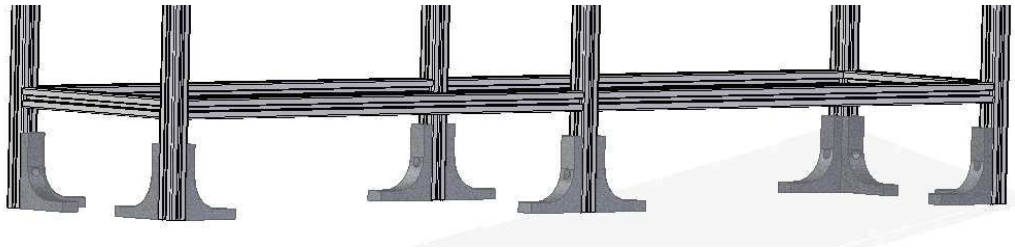


Ilustración 54 Sujeción de la estructura

6.6. Sistema de apertura.

Al realizar el diseño otro de los principales problemas que han aparecido ha sido el sistema de apertura de la estructura, puesto que debe de ser sencillo y rápido. Las alternativas barajadas han sido las siguientes.

- Persiana: Una persiana articulada mediante un motor accionado por un botón por el operario. La persiana se enrolla en la parte superior y al volver a darle al botón esta baja para cerrar la estructura.
- Puertas correderas laterales: Puertas laterales que se abren una hacia cada lado bien por el operario o bien por un sistema mecánico

- Puerta corredera vertical: Una puerta vertical que desliza hacia arriba mediante la acción del operario o mediante un pequeño motor eléctrico. Debido a la sencillez que implica y a lo económico del sistema, se ha decidido instalar una puerta corredera vertical sin ningún tipo de accionamiento mecánico. Esta puerta tiene unos topes en los raíles que impiden que se caiga mientras es colocada la manguera.

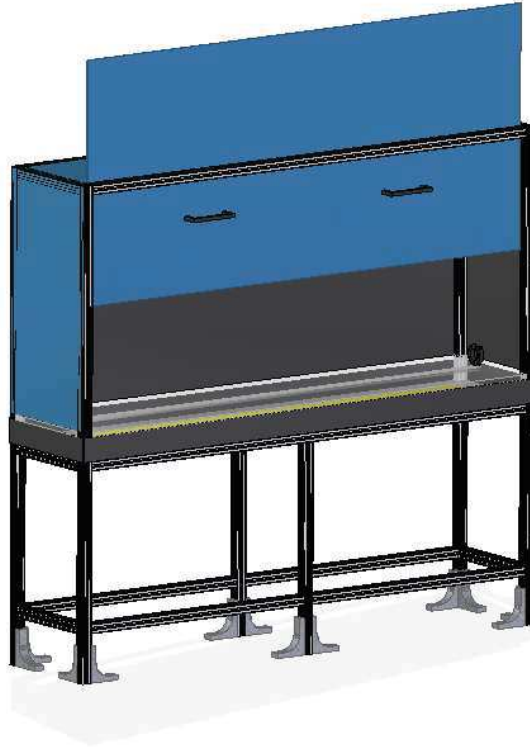


Ilustración 55 Estructura completa

7. Conclusiones y Trabajo futuro

7.1. Conclusiones

En este trabajo se ha realizado el diseño de un sistema de verificación dimensional sin contacto bajo ciertas especificaciones. El objetivo del sistema es medir las mangueras hidráulicas con la mayor rapidez y precisión posible.

En primer lugar se han explicado las especificaciones que tiene el sistema a la hora de ser diseñado. El resto del proceso viene determinado por los límites que se han establecido en este apartado.

Se han explicado los pasos seguidos para obtener el sistema de visión más adecuado en este caso. En el proceso se han tenido en cuenta las principales características de ambos elementos además del precio, puesto que uno de los objetivos principales es conseguir un sistema económico.

Se ha construido un prototipo y con él se han realizado ensayos para comprobar que los cálculos teóricos son correctos y se pueden llevar a cabo. Los resultados obtenidos muestran que con la cámara inclinada 20º sobre la vertical se consigue realizar la medición dentro de los límites establecidos.

Tras conocer las características de posicionamiento que requiere la cámara seleccionada se ha diseñado la estructura que alberga el sistema de verificación. Al igual que la cámara y la lente se ha pretendido economizarla al máximo cumpliendo los requisitos.

Se ha desarrollado un programa con Excel mediante el que se diseña el sistema de verificación y posteriormente se han analizado sus datos con la ayuda del programa MatLab.

Con el programa SolidEdge se ha diseñado la estructura del sistema y se han planteado diferentes alternativas del sistema de sujeción de las mangueras, optando por el que satisface de mejor manera los requisitos sabiendo la existencia de otras posibles soluciones siendo esta una primera propuesta.

7.2. Trabajo futuro

Como trabajo futuro se plantea el diseño de un software capaz de detectar los contornos de las mangueras hidráulicas. También se plantea el estudio de las diferentes alternativas para la sujeción de las mangueras así como el estudio de nuevas alternativas. Finalmente también existe la posibilidad de llevar a cabo la fabricación del sistema, estudios de precisión y su puesta en funcionamiento.

8. Bibliografía

Incertidumbre – Tolerancia
Ingeniería de la Calidad

http://www.ccsso.ca/oshanswers/ergonomics/standing/standing_basic.html

http://visionartificial.fpcat.cat/wp-content/uploads/UD_4_indus.pdf

https://www.youtube.com/watch?v=n_nOSkt6KH8

<http://www.lap-laser.com/es/industrias-generales/productos/medicion/sensores-laser/>

<http://www.oscasistemas.com/producto.php?idioma=es&menu=2&prod=1>

<http://www.ptgrey.com/>

<http://rose-krieger.partcommunity.com/portal/portal/rose-krieger>

<http://www.goyooptical.com/>

<http://www.apcsoluciones.es/index.php/especial-tubos-led/comparativa-fluorescente-vs-led>

<http://www.masferreteria.com/tornilleria-y-fijaciones/48556-tornillo-acero-inox-a-2-933-4x-3604880000166.html?gclid=CIOnrMbsjcgCFRITGwodqzMK5g>

Anexo 1 Resultados calibración

Con el programa MetrovisionLab de MATLAB se ha realizado la calibración de la plantilla de calibración para ambos casos. Una vez realizada esta calibración la cámara no se ha movido de su posición inicial. La calibración realizada ha sido TSAI 2D, la cual calcula la altura a la que se encuentra la cámara y la focal de la misma.

Los resultados de calibración obtenidos para ambos casos han sido:

Cámara a 20°:

$f = 12.6109$ (mm) $k1 = 0.00025307$ $sx = 1$

$Tx = 53.6962$ (mm) $Ty = -113.7199$ (mm) $Tz = 722.8965$ (mm)

$r11 = -0.0042335$ $r12 = -0.92087$ $r13 = -0.38984$

$r21 = 0.99984$ $r22 = 0.0029039$ $r23 = -0.017717$

$r31 = 0.017447$ $r32 = -0.38985$ $r33 = 0.92071$

$Rx = -0.40054$ (rad) $Ry = -0.017448$ (rad) $Rz = 1.575$ (rad)

$Rx = -22.9492^\circ$ $Ry = -0.99971^\circ$ $Rz = 90.2426^\circ$

Recon. Mean uv (pixel) -> 0.29998 0.31913 (0.49056)

Recon. Max uv (pixel) -> 0.8024 0.84131 (1.0502)

Recon. STD uv (pixel) -> 0.20978 0.21506 (0.20188)

Recon. Mean XYZ (mm) -> 0.061919 0.063036 (0.099077)

Recon. Max XYZ (mm) -> 0.16716 0.16911 (0.22082)

Recon. STD XYZ (mm) -> 0.042198 0.044465 (0.041484)

CPU time (s) -> 0.037318

Cámara a 90°:

$f = 3.1376$ (mm) $k1 = 0.0038481$ $sx = 1$

$Tx = 82.5405$ (mm) $Ty = -113.1823$ (mm) $Tz = 156.2105$ (mm)

$r11 = -0.0076228$ $r12 = -0.99977$ $r13 = 0.020195$

$r21 = 0.99956$ $r22 = -0.008195$ $r23 = -0.028407$

$r31 = 0.028566$ $r32 = 0.01997$ $r33 = 0.99939$

$Rx = 0.019979$ (rad) $Ry = -0.02857$ (rad) $Rz = 1.5784$ (rad)

$Rx = 1.1447^\circ$ $Ry = -1.6369^\circ$ $Rz = 90.4369^\circ$

Recon. Mean uv (pixel) -> 1.2188 1.2966 (1.9033)

Recon. Max uv (pixel) -> 5.2661 6.3173 (6.8618)

Recon. STD uv (pixel) -> 1.0444 1.1191 (1.3714)

Recon. Mean XYZ (mm) -> 0.23651 0.22161 (0.34673)

Recon. Max XYZ (mm) -> 1.1746 0.98257 (1.2802)

Recon. STD XYZ (mm) -> 0.20692 0.19301 (0.25433)

CPU time (s) -> 0.055181

Se observa que los resultados obtenidos con la cámara a 90° difieren de los resultados para el otro caso y de los resultados teóricos, esto es debido a que en esta posición no se realiza la calibración de manera correcta. En el caso de la cámara a 90° la calibración no calcula de manera correcta la altura a la que se encuentra la cámara.

Anexo 2. Datos distancias

A continuación se muestran las coordenadas de los centros para cada fotografía.

Para el caso con la cámara a 20º variando por la zona calibrada:

	u	v	x	y
Foto 1	1312,360	1593,391	131,710	12,022
Foto 2	1014,425	1598,169	131,816	75,913
Foto 3	768,213	1597,536	131,043	125,408
Foto 4	1144,446	1401,241	93,176	48,778
Foto 5	1070,371	1259,502	65,163	64,549
Foto 6	774,242	1253,779	65,495	124,416
Foto 7	1158,662	1139,268	39,694	45,988
Foto 8	1273,534	1017,359	18,574	21,225
Foto 9	984,220	1000,471	18,402	82,604
Foto 10	776,741	990,307	18,617	124,103

Ilustración A2.1

Para el caso en el que la cámara se encuentra a 90º:

	u	v	x	y
Foto 1	1496,871	1606,367	114,847	104,039
Foto 2	1336,262	1454,392	85,723	76,889
Foto 3	903,059	1395,516	8,242	66,725
Foto 4	1307,934	1284,372	80,453	46,532
Foto 5	1077,445	1316,756	39,307	52,532
Foto 6	917,220	1241,524	10,669	39,236
Foto 7	1479,603	963,571	110,957	-10,799
Foto 8	1248,677	959,772	69,570	-11,312
Foto 9	1160,203	1110,923	53,896	15,757
Foto 10	884,858	1128,884	4,809	19,171

Ilustración A2.2

Para el caso con la cámara a 20º con la plantilla de verificación en un punto fijo:

	u	v	x	y
Foto 1	1016,589	1175,151	51,592	75,806
Foto 2	1016,584	1175,300	51,621	75,807
Foto 3	1016,679	1175,279	51,616	75,787
Foto 4	1016,594	1175,274	51,616	75,805
Foto 5	1016,629	1175,279	51,617	75,797
Foto 6	1016,604	1175,370	51,636	75,802
Foto 7	1016,659	1175,284	51,617	75,791
Foto 8	1016,630	1175,275	51,616	75,797
Foto 9	1016,634	1175,279	51,617	75,796
Foto 10	1016,604	1175,269	51,615	75,803

Ilustración A2.3

Distancias en el eje y con la cámara colocada a 20º

	d1	d2	d3	d5	d6	d7	d9	d10	d11	d13	d14	d15	d17	d18	d19
1	12,393	12,314	12,411	12,418	12,383	12,348	12,353	12,364	12,416	12,416	12,277	12,397	12,381	12,347	12,401
2	12,371	12,347	12,362	12,415	12,390	12,324	12,397	12,351	12,407	12,419	12,290	12,390	12,359	12,335	12,413
3	12,342	12,309	12,353	12,363	12,331	12,298	12,346	12,314	12,358	12,388	12,239	12,342	12,373	12,300	12,345
4	12,345	12,327	12,412	12,412	12,350	12,350	12,394	12,375	12,416	12,462	12,292	12,441	12,422	12,338	12,423
5	12,397	12,333	12,392	12,446	12,360	12,377	12,430	12,365	12,445	12,414	12,287	12,430	12,399	12,315	12,436
6	12,356	12,265	12,349	12,399	12,326	12,293	12,382	12,309	12,353	12,404	12,253	12,337	12,367	12,296	12,321
7	12,359	12,362	12,426	12,424	12,383	12,404	12,425	12,405	12,424	12,445	12,340	12,425	12,403	12,361	12,384
8	12,345	12,375	12,402	12,409	12,373	12,401	12,387	12,373	12,465	12,475	12,284	12,443	12,429	12,348	12,398
9	12,319	12,274	12,370	12,424	12,315	12,370	12,426	12,358	12,431	12,406	12,318	12,413	12,366	12,361	12,414
10	12,319	12,307	12,331	12,359	12,326	12,312	12,360	12,327	12,351	12,360	12,268	12,332	12,361	12,309	12,333
Recorrido	0,079	0,110	0,095	0,087	0,074	0,111	0,084	0,095	0,114	0,115	0,102	0,110	0,070	0,066	0,116
Desv estándar	0,027	0,035	0,032	0,027	0,028	0,041	0,031	0,030	0,040	0,034	0,029	0,044	0,026	0,024	0,040
Promedio	12,355	12,321	12,381	12,407	12,354	12,348	12,390	12,354	12,407	12,419	12,285	12,395	12,386	12,331	12,387
Semi recorrido	0,039	0,055	0,047	0,043	0,037	0,056	0,042	0,048	0,057	0,058	0,051	0,055	0,035	0,033	0,058

Ilustración A2.4

Distancias en el eje x con la cámara colocada a 20º

	I1	I2	I3	I4	I5	I6	I7	I8	I9	I10	I11	I12	I13	I14	I15	I16
1	12,342	12,379	12,376	12,351	12,369	12,326	12,303	12,338	12,356	12,373	12,370	12,346	12,385	12,363	12,399	12,374
2	12,346	12,358	12,408	12,360	12,372	12,326	12,280	12,329	12,340	12,371	12,403	12,336	12,407	12,381	12,373	12,383
3	12,350	12,377	12,366	12,335	12,318	12,308	12,260	12,305	12,364	12,353	12,343	12,332	12,373	12,325	12,370	12,340
4	12,333	12,349	12,363	12,354	12,339	12,294	12,288	12,301	12,345	12,360	12,353	12,365	12,412	12,366	12,399	12,353
5	12,327	12,321	12,372	12,363	12,354	12,328	12,262	12,293	12,362	12,355	12,386	12,339	12,370	12,383	12,376	12,386
6	12,306	12,297	12,325	12,330	12,350	12,320	12,290	12,298	12,335	12,344	12,369	12,357	12,416	12,367	12,356	12,325
7	12,306	12,363	12,339	12,330	12,327	12,282	12,258	12,291	12,331	12,366	12,356	12,330	12,412	12,365	12,399	12,351
8	12,256	12,337	12,353	12,308	12,337	12,272	12,229	12,268	12,317	12,339	12,349	12,322	12,400	12,373	12,392	12,364
9	12,242	12,299	12,332	12,323	12,302	12,275	12,231	12,282	12,348	12,339	12,309	12,318	12,386	12,338	12,389	12,341
10	12,288	12,299	12,327	12,314	12,308	12,260	12,249	12,240	12,312	12,339	12,325	12,331	12,365	12,335	12,363	12,333
<i>Recorrido</i>	0,107	0,083	0,083	0,055	0,070	0,068	0,074	0,098	0,052	0,034	0,093	0,047	0,051	0,058	0,043	0,061
<i>Desv estándar</i>	0,038	0,032	0,026	0,019	0,024	0,026	0,025	0,028	0,018	0,013	0,028	0,015	0,019	0,020	0,016	0,021
<i>Promedio</i>	12,310	12,338	12,356	12,337	12,338	12,299	12,265	12,295	12,341	12,354	12,356	12,337	12,393	12,360	12,382	12,355
<i>Semi recorrido</i>	0,054	0,041	0,041	0,028	0,035	0,034	0,037	0,049	0,026	0,017	0,047	0,024	0,026	0,029	0,022	0,030

Ilustración A2.5

Distancias en el eje y con la cámara colocada a 90º

	d1	d2	d3	d5	d6	d7	d9	d10	d11	d13	d14	d15	d17	d18	d19
1	12,409	12,358	12,385	12,436	12,386	12,358	12,447	12,361	12,405	12,459	12,319	12,400	12,456	12,351	12,450
2	12,344	12,323	12,342	12,350	12,347	12,348	12,375	12,336	12,391	12,420	12,273	12,383	12,359	12,338	12,393
3	12,340	12,295	12,345	12,345	12,300	12,313	12,351	12,288	12,355	12,376	12,278	12,309	12,296	12,323	12,372
4	12,328	12,291	12,349	12,312	12,329	12,333	12,333	12,333	12,354	12,393	12,248	12,359	12,328	12,327	12,366
5	12,338	12,299	12,338	12,341	12,321	12,303	12,345	12,289	12,362	12,369	12,277	12,349	12,322	12,285	12,356
6	12,343	12,260	12,344	12,307	12,298	12,309	12,344	12,299	12,367	12,331	12,285	12,315	12,336	12,291	12,356
7	12,388	12,340	12,368	12,401	12,353	12,345	12,398	12,367	12,395	12,413	12,293	12,375	12,354	12,328	12,374
8	12,340	12,308	12,351	12,353	12,320	12,310	12,331	12,316	12,342	12,383	12,260	12,340	12,346	12,296	12,356
9	12,330	12,286	12,335	12,346	12,319	12,297	12,363	12,301	12,332	12,347	12,230	12,351	12,349	12,305	12,354
10	12,304	12,278	12,346	12,302	12,312	12,291	12,338	12,276	12,344	12,357	12,242	12,328	12,324	12,281	12,367
Recorrido	0,105	0,099	0,050	0,134	0,088	0,068	0,116	0,091	0,073	0,128	0,089	0,091	0,160	0,070	0,097
Desv estándar	0,030	0,030	0,015	0,042	0,027	0,024	0,036	0,031	0,025	0,038	0,026	0,029	0,043	0,024	0,029
Promedio	12,347	12,304	12,350	12,349	12,328	12,321	12,363	12,316	12,365	12,385	12,270	12,351	12,347	12,312	12,374
Semi recorrido	0,052	0,049	0,025	0,067	0,044	0,034	0,058	0,045	0,037	0,064	0,044	0,046	0,080	0,035	0,048

Ilustración A2.6

Distancias en el eje x con la cámara colocada a 20º

	I1	I2	I3	I4	I5	I6	I7	I8	I9	I10	I11	I12	I13	I14	I15	I16
1	12,350	12,356	12,400	12,355	12,389	12,323	12,295	12,340	12,361	12,403	12,393	12,367	12,465	12,417	12,442	12,397
2	12,331	12,358	12,334	12,329	12,341	12,261	12,291	12,321	12,339	12,402	12,378	12,337	12,413	12,369	12,380	12,375
3	12,282	12,302	12,323	12,328	12,289	12,272	12,258	12,245	12,317	12,337	12,340	12,328	12,369	12,336	12,357	12,343
4	12,322	12,315	12,327	12,322	12,304	12,242	12,236	12,250	12,307	12,335	12,348	12,308	12,352	12,345	12,338	12,352
5	12,286	12,319	12,354	12,302	12,287	12,267	12,249	12,266	12,310	12,325	12,343	12,308	12,356	12,337	12,355	12,355
6	12,327	12,276	12,313	12,301	12,289	12,253	12,220	12,295	12,286	12,342	12,345	12,280	12,348	12,313	12,334	12,320
7	12,359	12,366	12,393	12,384	12,372	12,325	12,280	12,326	12,319	12,344	12,351	12,289	12,350	12,347	12,374	12,330
8	12,328	12,340	12,371	12,332	12,305	12,299	12,259	12,292	12,323	12,335	12,330	12,327	12,363	12,321	12,370	12,313
9	12,295	12,308	12,324	12,341	12,318	12,296	12,239	12,274	12,309	12,323	12,321	12,302	12,342	12,320	12,353	12,316
10	12,319	12,303	12,325	12,330	12,272	12,238	12,242	12,247	12,283	12,303	12,306	12,294	12,352	12,336	12,340	12,345
<i>Recorrido</i>	0,077	0,090	0,086	0,083	0,117	0,087	0,075	0,096	0,078	0,100	0,087	0,086	0,123	0,103	0,108	0,083
<i>Desv estándar</i>	0,026	0,029	0,031	0,024	0,039	0,032	0,025	0,035	0,023	0,033	0,025	0,026	0,039	0,030	0,032	0,027
<i>Promedio</i>	12,320	12,324	12,346	12,332	12,317	12,278	12,257	12,286	12,315	12,345	12,346	12,314	12,371	12,344	12,364	12,345
<i>Semi recorrido</i>	0,038	0,045	0,043	0,041	0,059	0,043	0,038	0,048	0,039	0,050	0,043	0,043	0,061	0,052	0,054	0,042

Ilustración A2.757

Anexo 3. Lista de piezas y Presupuesto

Lista de piezas del Conjunto:

4 Patas	40x40x2020
2 Patas	40x40x860
4 Laterales pequeños	40x40x420
5 Laterales grandes	40x40x2120
4 Laterales inferiores	40x40x1040
12 Soportes	
1 Mesa inferior	
1 Mesa con guía superior	
2 Paneles laterales pequeños	510x100x5
2 Paneles laterales grandes	1000x500x5
2 Paneles frontales pequeños	2200x100x5
1 Panel trasero	2200x1000x2
1 Panel superior con guía	2200x500x5
1 Puerta frontal	2115x1010x5
2 Manivelas de apertura	
4 Soportes de cámara	
4 Clips de mangueras	
32 Juegos de sujeción de perfiles	
98 Tornillos	
Sistema de Iluminación	
Sistema de visión	

Presupuesto

<i>Descripción</i>	Cantidad	Unidad medida	Precio venta	Importe
<i>Perfil 40x40x2020</i>	4	metro	24,7	199,6
<i>Perfil 40x40x860</i>	2	metro	24,7	42,5
<i>Perfil 40x40x420</i>	4	metro	24,7	41,5
<i>Perfil 40x40x2120</i>	5	metro	24,7	261,8
<i>Perfil 40x40x1040</i>	4	metro	24,7	102,8
<i>Soporte</i>	12	Unidad	4,77	57,2
<i>Mesa</i>	1	Unidad	50	50,0
<i>Mesa ranurada</i>	1	Unidad	150	150,0
<i>Panel 510x100x5</i>	2	m2	42,5	0,4
<i>Panel 1000x500x5</i>	2	m2	42,5	42,5
<i>Panel 2200x100x5</i>	2	m2	42,5	18,7
<i>Panel 2200x1000x2</i>	1	m2	42,5	93,5
<i>Panel 2200x500x5</i>	1	m2	42,5	46,8
<i>Puerta guiada 2115x1010x5</i>	1	m2	42,5	90,8
<i>Tirador</i>	2	Unidad	10,34	20,7
<i>Soportes cámara</i>	4	Unidad	20	80,0
<i>Soporte manguera</i>	4	Unidad	10	40,0
<i>Sujeción</i>	32	Unidad	1,71	54,7
<i>Iluminación (Leds)</i>	1	Metro	30	30,0
<i>Tornillos</i>	87	Unidad	5,7	495,9
<i>Sistema de Visión</i>	4	Unidad	1662,654	1662,7
Precio Total €				3382,4

Anexo 4. Resultados simulación

La simulación del comportamiento de la se realiza con SolidEdge. Esta pieza es la encargada de sujetar las mangueras de diferentes diámetros mientras se realiza la medición de sus dimensiones.

La pieza tiene tres cavidades en donde se alojan las mangueras de diferentes diámetros, siendo los pequeños para mangueras de menor diámetro y los mayores para diámetros mayores (15, 30, 60)

La simulación para comprobar su funcionamiento se realiza fijando el desplazamiento máximo que sufre la pieza en cada caso dependiendo del diámetro de las piezas. Posteriormente se comprueba que la pieza no plastifica.

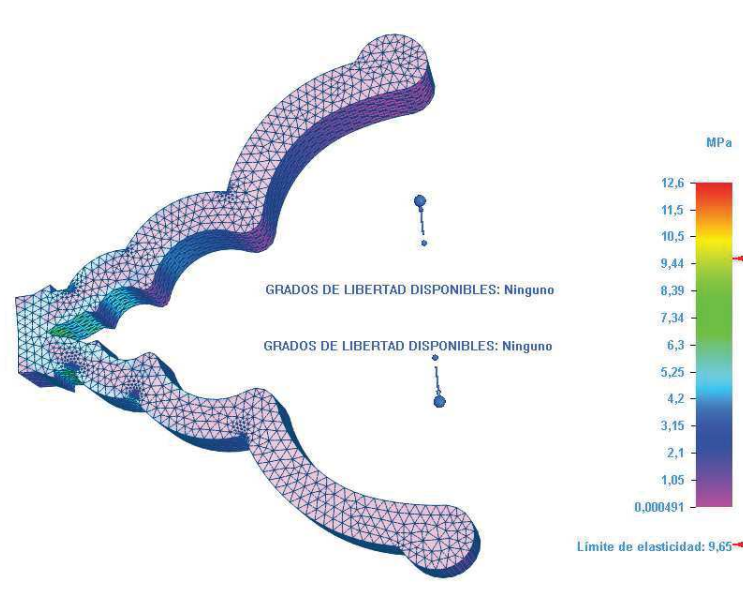


Ilustración A4.1 Tensiones en la pieza simulada para diámetro máximo

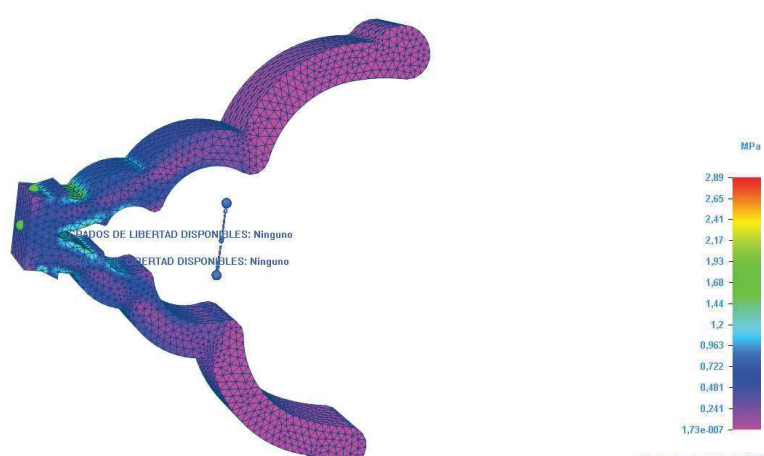


Ilustración A4.2 Tensiones en la pieza simulada para diámetro medio

Ilustración A4.2 Tensiones en la pieza simulada para diámetro medio

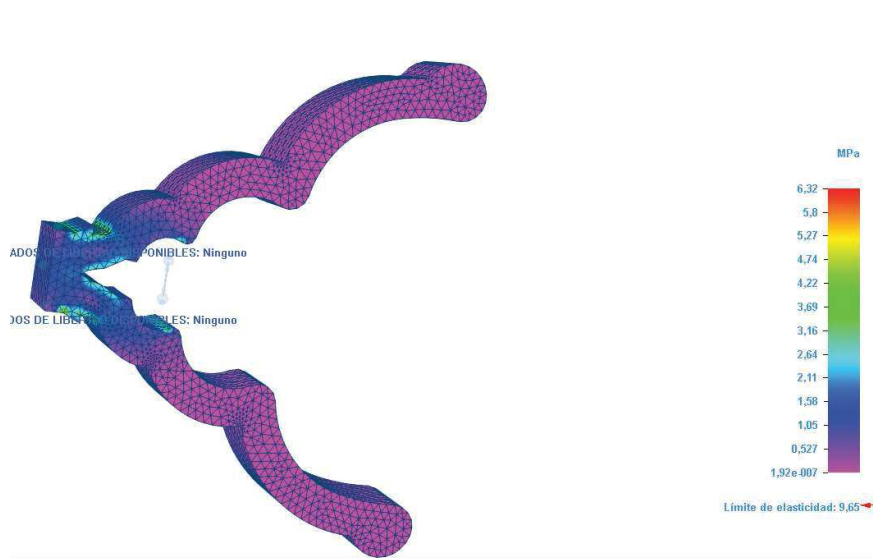


Ilustración A4.3 Tensiones en la pieza simulada para menor diámetro

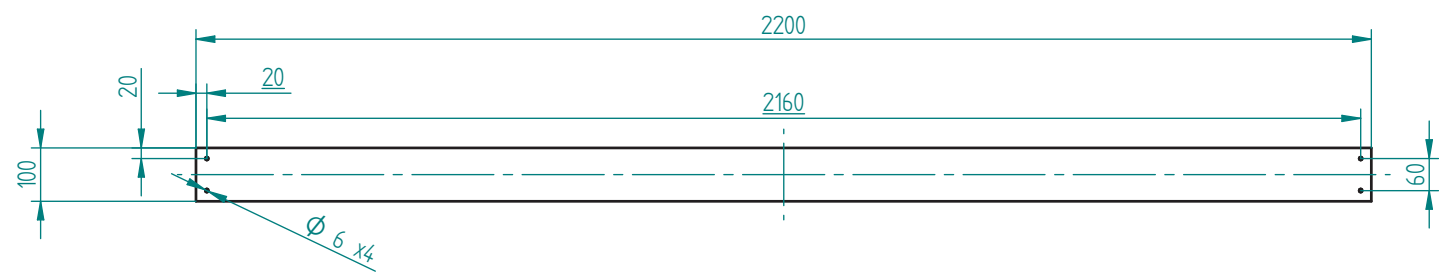
Ilustración A4.3 Tensiones en la pieza simulada para menor diámetro

Anexo 5 Planos

Índice

Plano 1:	Frontal inferior
Plano 2:	Lateral pequeño
Plano 3:	Mesa
Plano 4:	Panel lateral
Plano 5:	Panel trasero
Plano 6:	Frontal
Plano 7:	Apertura
Plano 8:	Soporte patas
Plano 9:	Soporte cámara
Plano 10:	Tapa inferior
Plano 11:	Tapa superior
Plano 12:	Soporte manguera

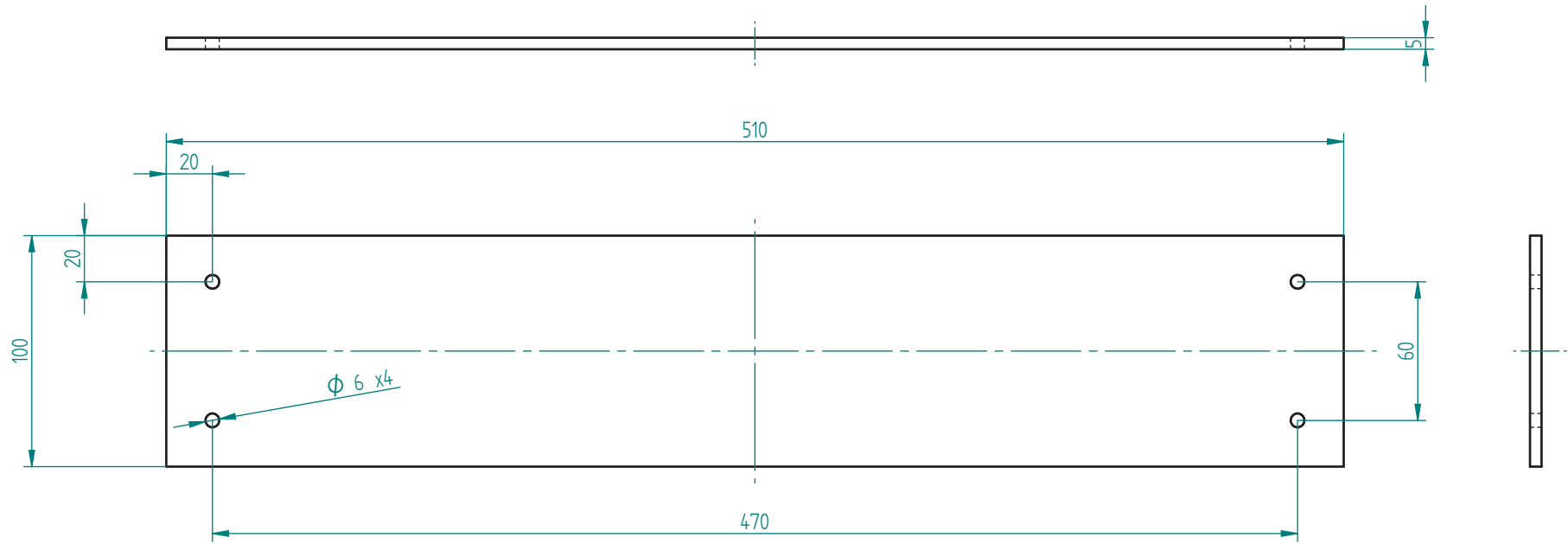
Revisiones			
Rev	Descripción	Fecha	Aprobado



Nombre	Fecha	Solid Edge ST	
Dibujado: Roberto	23/09/15	Siemens PLM Software	
Comprobado		Título	
Aprobado 1		Frontal Inferior	
Aprobado 2		A3	Rev
Salvo indicación contraria cotas en milímetros ángulos en grados tolerancias $\pm 0,5$ y $\pm 1^\circ$		Plano	Plano 1
		Archivo: frontales_inferior.dft	
		Escala	Peso
		Hoja 1 de 1	

SOLID EDGE ACADEMIC COPY

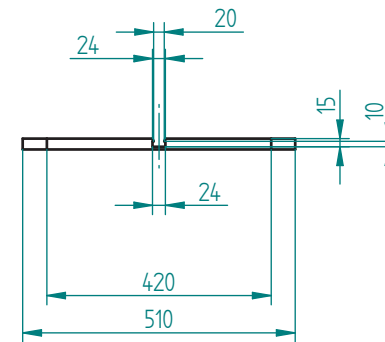
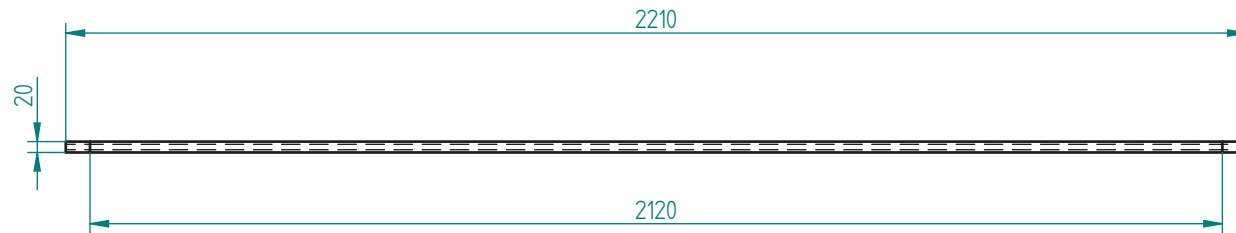
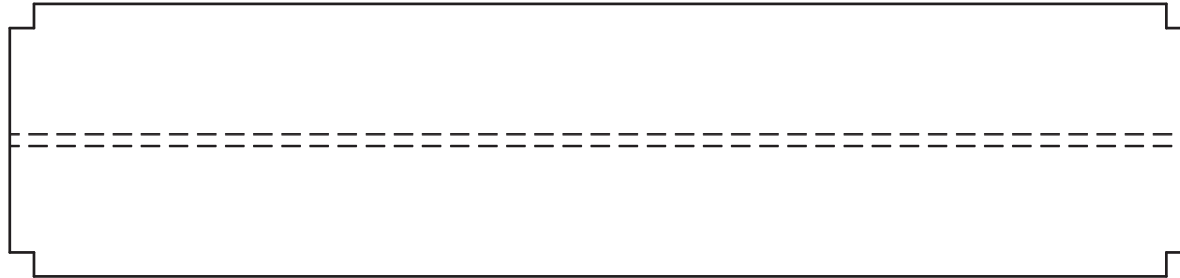
Revisiones			
Rev	Descripción	Fecha	Aprobado



SOLID EDGE ACADEMIC COPY

Nombre	Fecha	Solid Edge ST Siemens PLM Software		
Dibujado: Roberto	23/09/15			
Comprobado		Título Lateral Pequeño		
Aprobado 1				
Aprobado 2				
Salvo indicación contraria cotas en milímetros ángulos en grados tolerancias ±0,5 y ±1°		A3	Plano Plano 2	Rev
		Archivo: lateral_pequeño.dft		
		Escala	Peso	Hoja 1 de 1

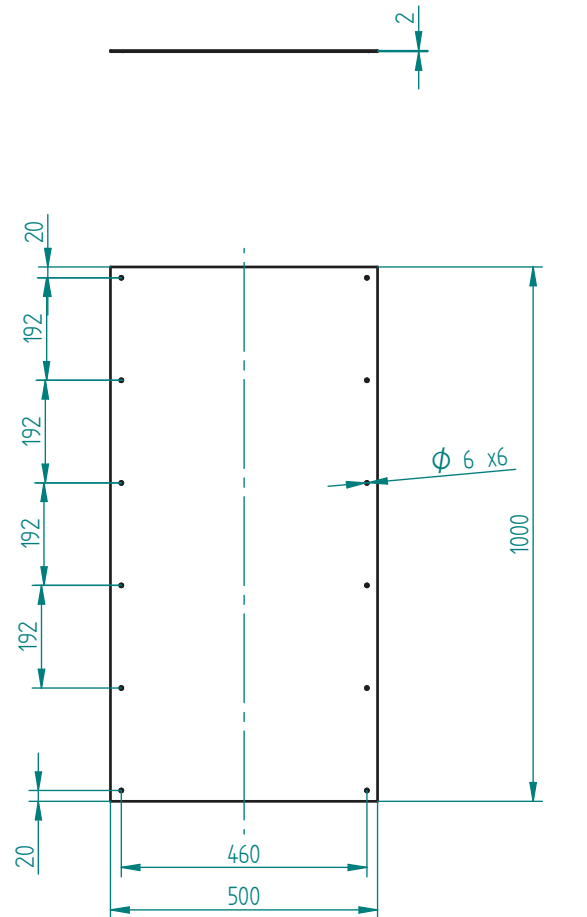
Revisiones			
Rev	Descripción	Fecha	Aprobado



Nombre	Fecha	Solid Edge ST Siemens PLM Software	
Dibujado	Roberto	24/09/15	Título
Comprobado			Mesa
Aprobado 1			A3
Aprobado 2			Plano
Salvo indicación contraria cotas en milímetros ángulos en grados tolerancias ±0,5 y ±1°		Plano 3	
		Rev	
Archivo: mesa(3).dft		Escala	Peso
		Hoja 1 de 1	

SOLID EDGE ACADEMIC COPY

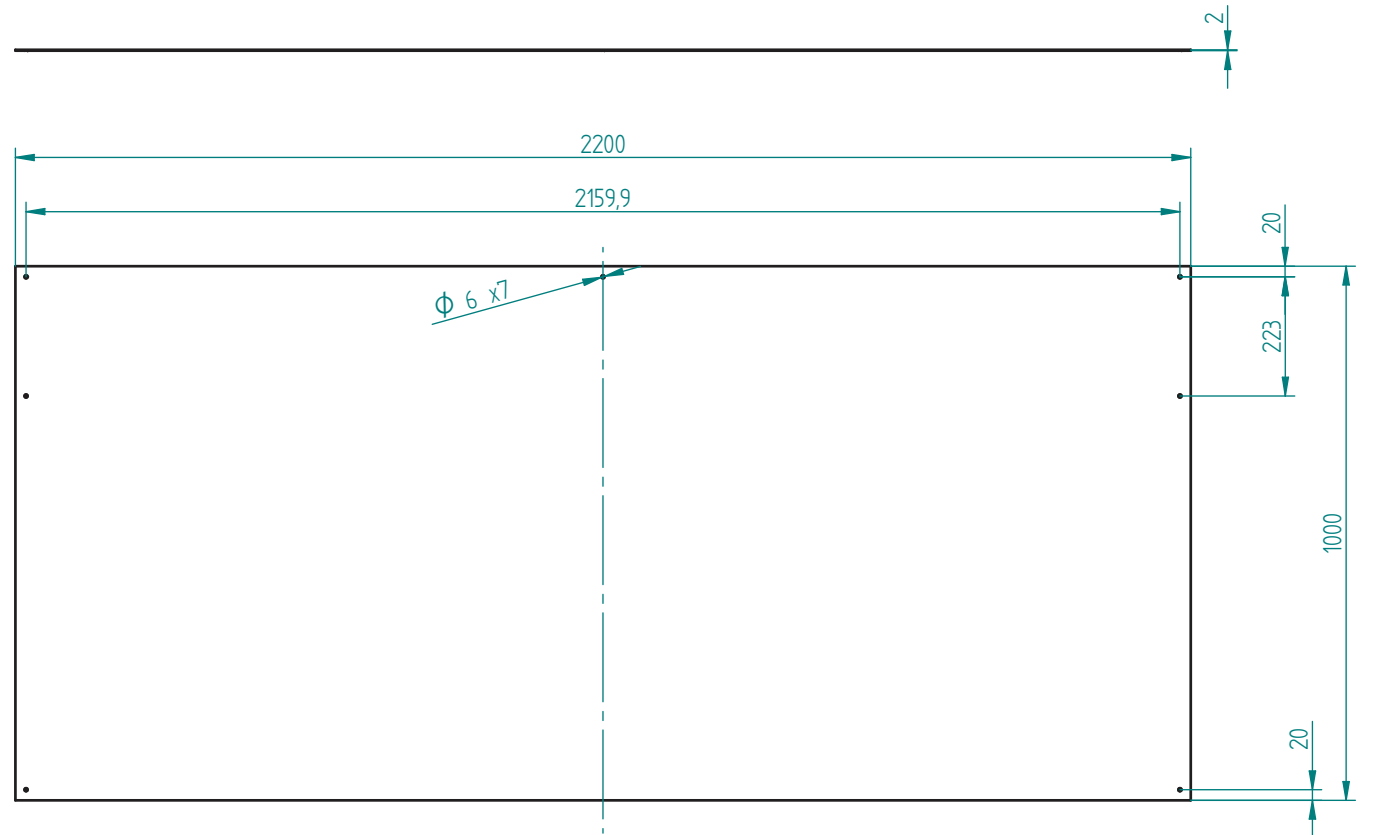
Revisiones			
Rev	Descripción	Fecha	Aprobado



SOLID EDGE ACADEMIC COPY

Nombre	Fecha	Solid Edge ST			
Dibujado: Roberto	23/09/15	Siemens PLM Software			
Comprobado		Título			
Aprobado 1		Panel lateral			
Aprobado 2					
Salvo indicación contraria cotas en milímetros ángulos en grados tolerancias $\pm 0,5$ y $\pm 1^\circ$		A3	Plano	Plano 4	Rev
		Archivo: panel_lateral.dft			
		Escala	Peso	Hoja 1 de 1	

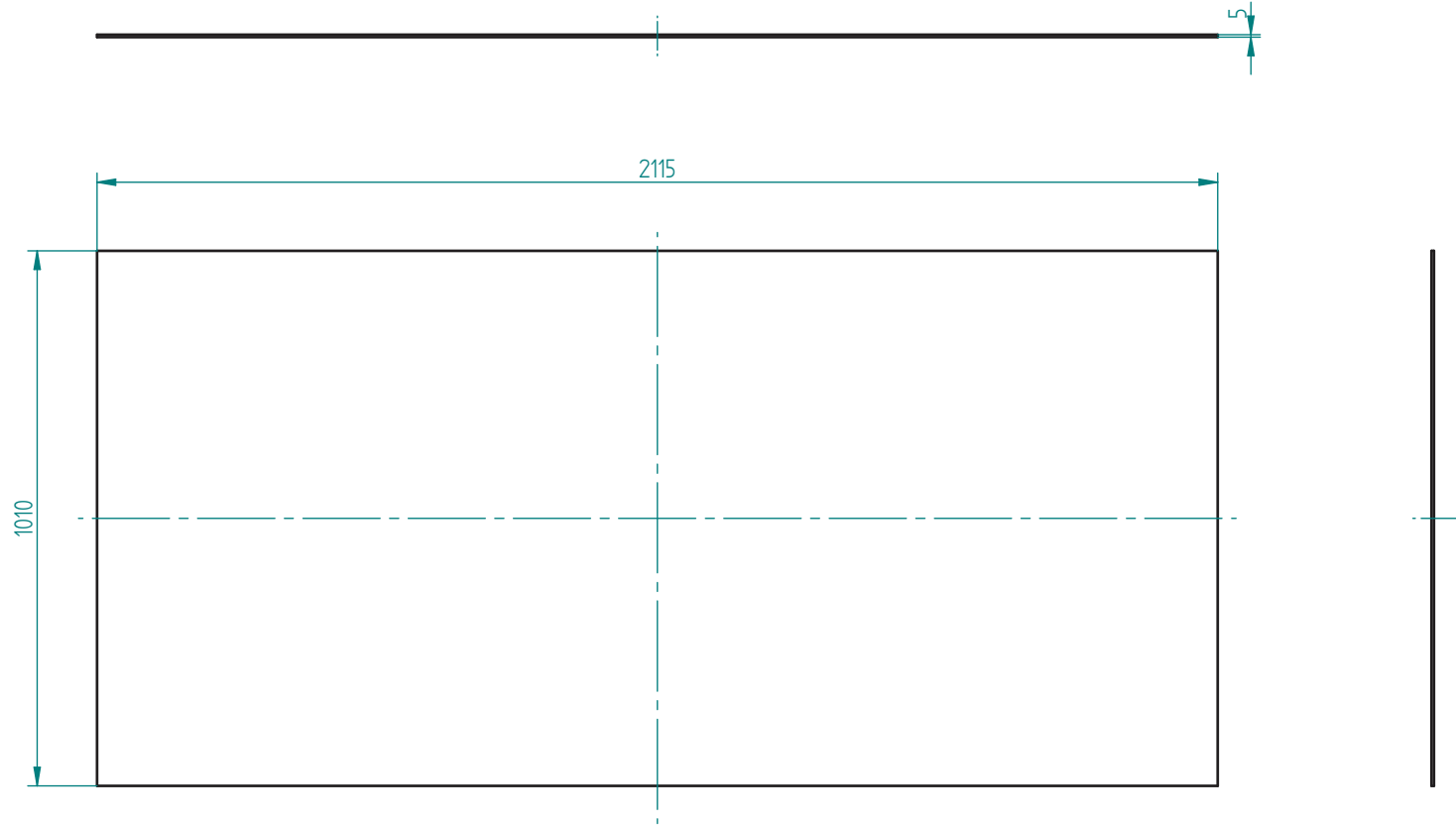
Revisiones			
Rev	Descripción	Fecha	Aprobado



Nombre	Fecha	Solid Edge ST Siemens PLM Software		
Dibujado	23/09/15			
Comprobado		Título Panel Trasero		
Aprobado 1				
Aprobado 2				
Salvo indicación contraria cotas en milímetros ángulos en grados tolerancias $\pm 0,5$ y $\pm 1^\circ$		A3	Plano Plano 5	Rev
		Archivo: panel_trasero.dft		
		Escala	Peso	Hoja 1 de 1

SOLID EDGE ACADEMIC COPY

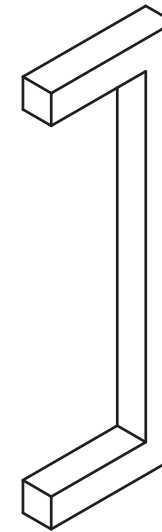
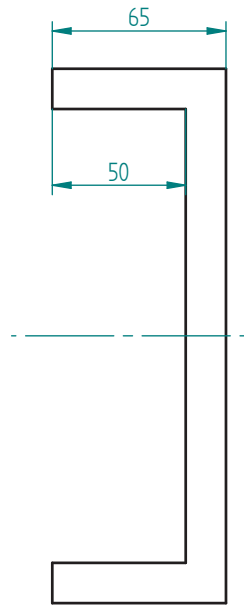
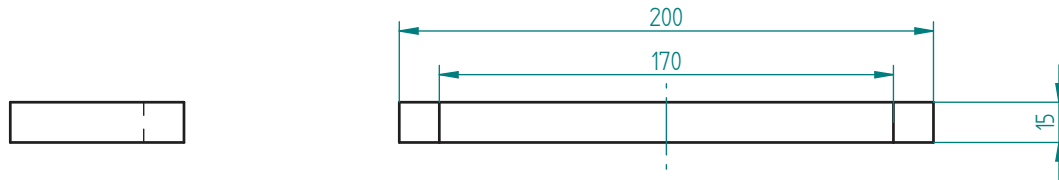
Revisiones			
Rev	Descripción	Fecha	Aprobado



SOLID EDGE ACADEMIC COPY

	Nombre	Fecha	Solid Edge ST Siemens PLM Software		
Dibujado	Roberto	23/09/15			
Comprobado			Título Frontal		
Aprobado 1					
Aprobado 2					
Salvo indicación contraria cotas en milímetros ángulos en grados tolerancias $\pm 0,5$ y $\pm 1^\circ$			A3	Plano Plano 6	Rev
			Archivo: Frontal.dft		
			Escala	Peso	Hoja 1 de 1

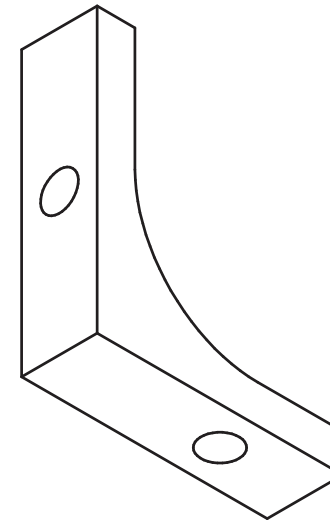
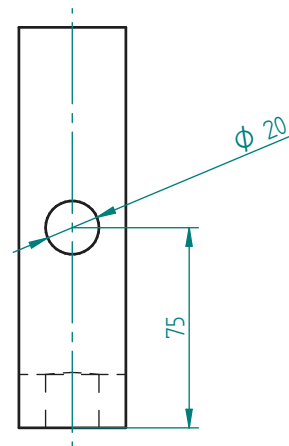
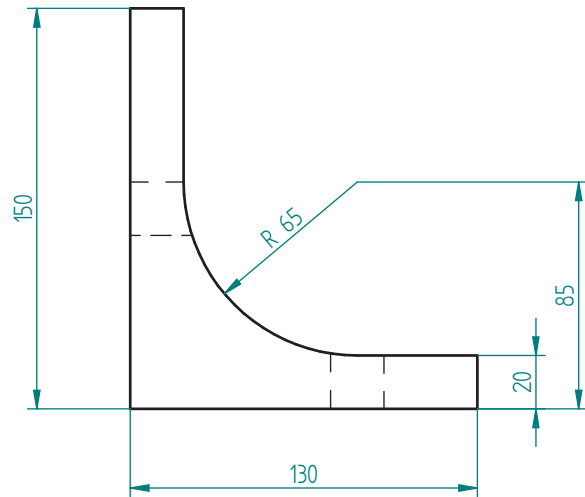
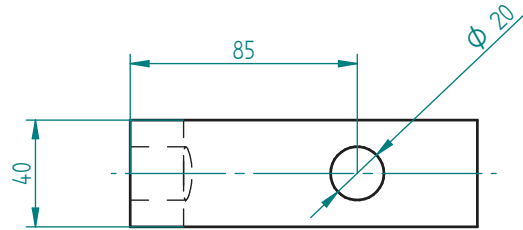
Revisiones			
Rev	Descripción	Fecha	Aprobado



SOLID EDGE ACADEMIC COPY

	Nombre	Fecha	Solid Edge ST Siemens PLM Software		
Dibujado	Roberto	23/09/15			
Comprobado			Título Apertura		
Aprobado 1					
Aprobado 2			A3	Plano Plano 7	Rev
Salvo indicación contraria cotas en milímetros ángulos en grados tolerancias $\pm 0,5$ y $\pm 1^\circ$			Archivo: apertura.dft		
			Escala	Peso	Hoja 1 de 1

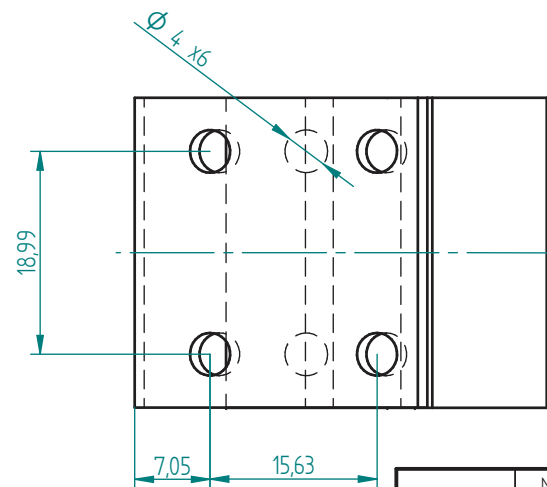
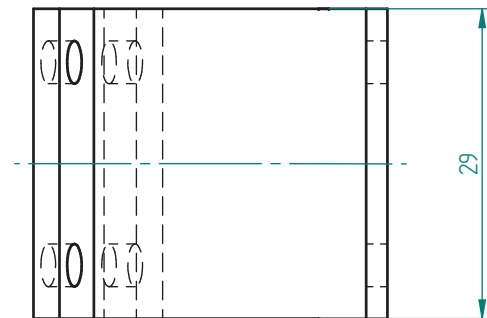
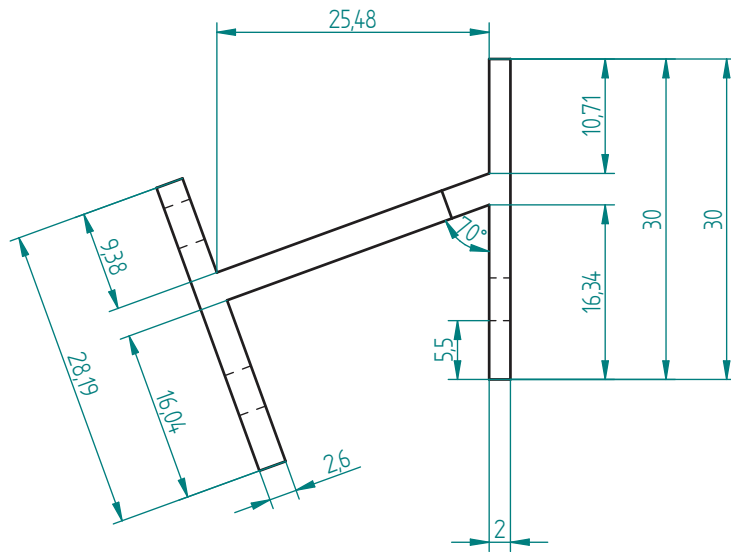
Revisiones			
Rev	Descripción	Fecha	Aprobado



SOLID EDGE ACADEMIC COPY

Nombre	Fecha	Solid Edge ST Siemens PLM Software		
Dibujado: Roberto	23/09/15			
Comprobado		Título Soporte Patas		
Aprobado 1				
Aprobado 2				
Salvo indicación contraria cotas en milímetros ángulos en grados tolerancias ±0,5 y ±1°		A3	Plano Plano 8	Rev
		Archivo: soporte.dft		
		Escala	Peso	Hoja 1 de 1

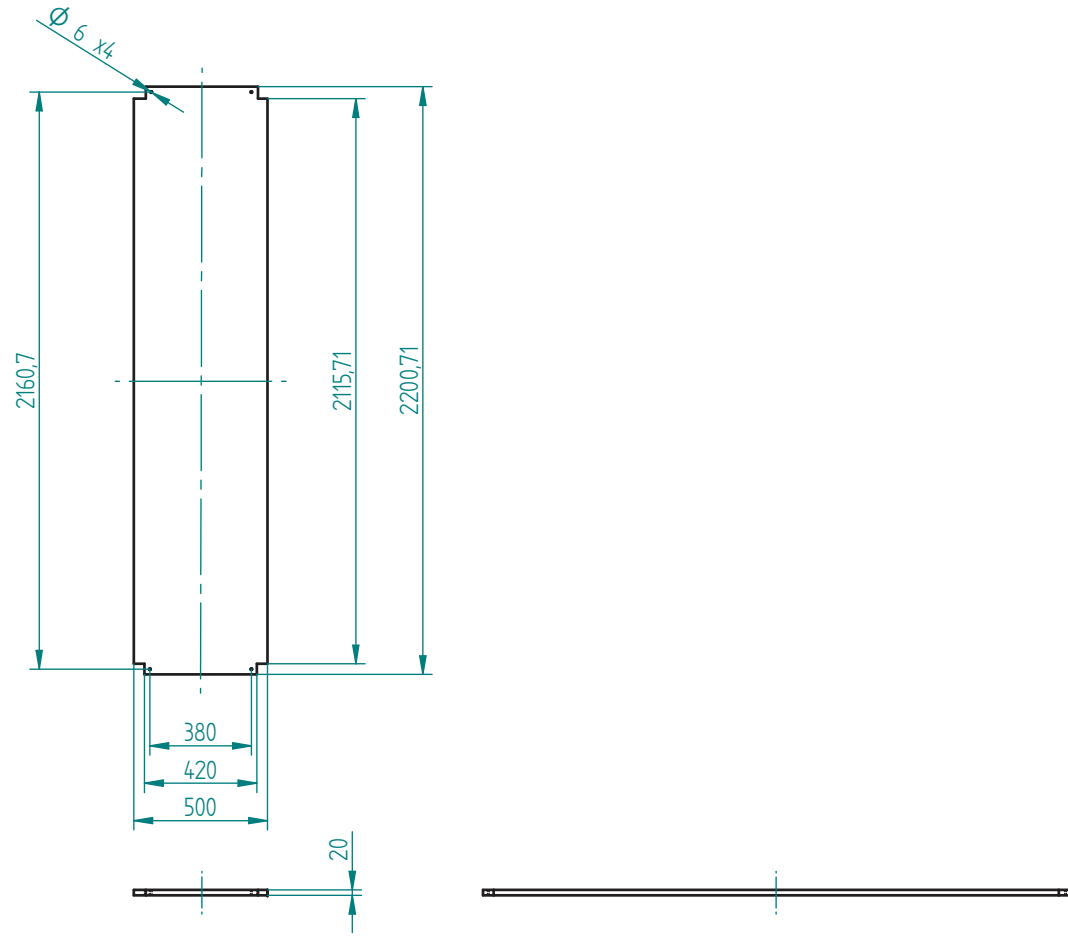
Revisiones			
Rev	Descripción	Fecha	Aprobado



Nombre	Fecha	Solid Edge ST Siemens PLM Software		
Dibujado: Roberto	24/09/15			
Comprobado		Título		
Aprobado 1		Soporte cámara		
Aprobado 2		A3	Plano	Rev
Salvo indicación contraria cotas en milímetros ángulos en grados tolerancias $\pm 0,5$ y $\pm 1^\circ$		Plana 9		
		Archivo: soporte_camara.dft		
Escala	Peso	Hoja 1 de 1		

SOLID EDGE ACADEMIC COPY

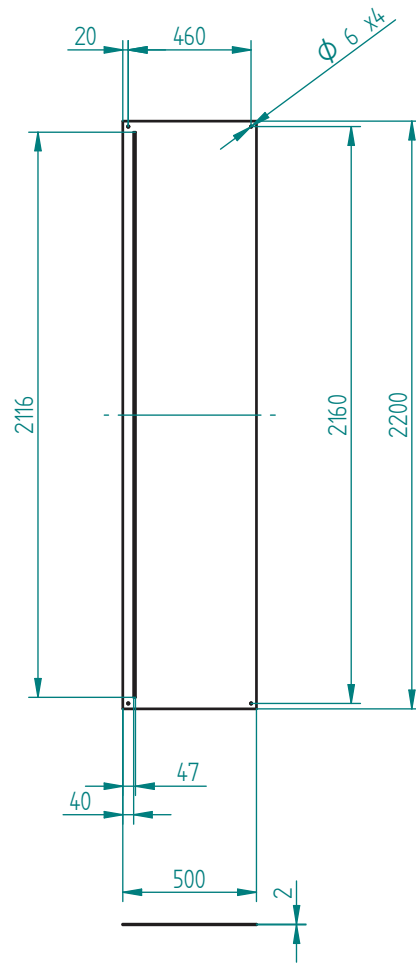
Revisiones			
Rev	Descripción	Fecha	Aprobado



SOLID EDGE ACADEMIC COPY

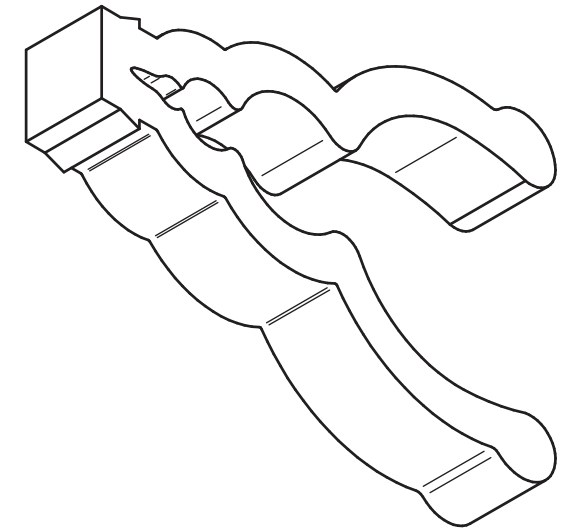
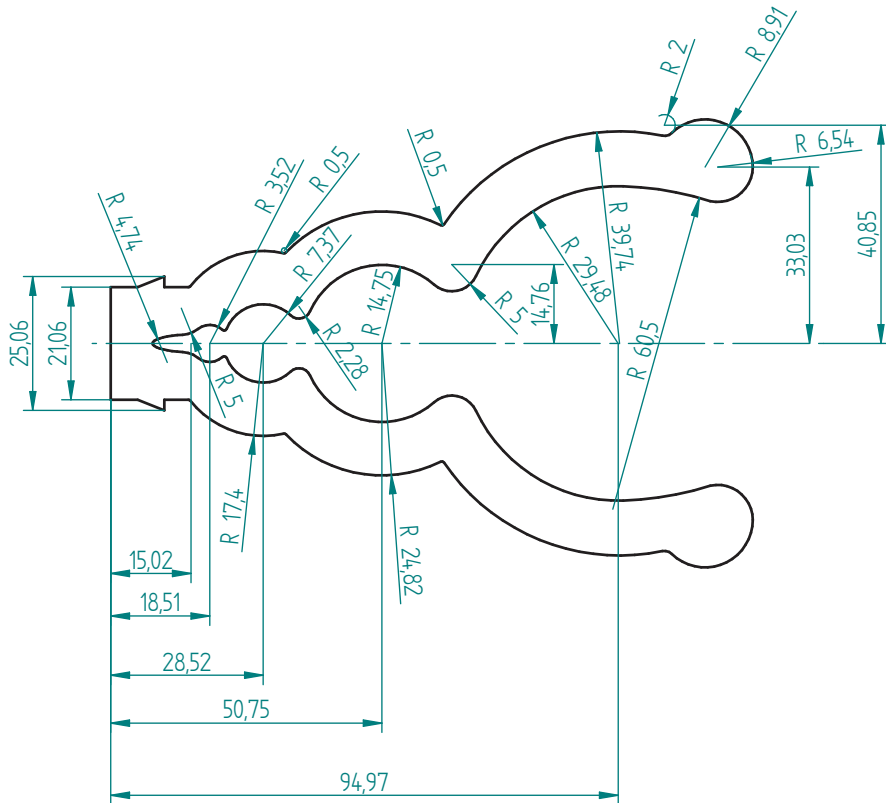
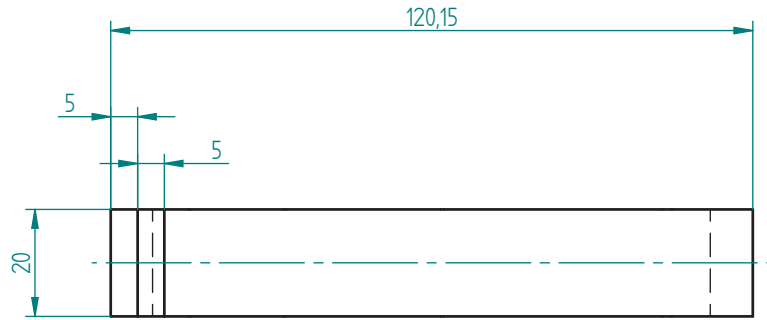
Nombre	Fecha	Solid Edge ST	
Dibujado	Roberto	24/09/15	Siemens PLM Software
Comprobado			
Aprobado 1			Título
Aprobado 2			Tapa inferior
Salvo indicación contraria cotas en milímetros ángulos en grados tolerancias $\pm 0,5$ y $\pm 1^\circ$		A3	Plano Plano 10 Rev
		Archivo: tapa_inferior.dft	
		Escala	Peso Hoja 1 de 1

Revisiones			
Rev	Descripción	Fecha	Aprobado



SOLID EDGE ACADEMIC COPY

Nombre	Fecha	Solid Edge ST Siemens PLM Software		
Dibujado: Roberto	23/09/15			
Comprobado		Título Tapa superior		
Aprobado 1				
Aprobado 2		A3	Plano Plano 11	Rev
Salvo indicación contraria cotas en milímetros ángulos en grados tolerancias $\pm 0,5$ y $\pm 1^\circ$		Archivo: tapa_superior.dft		
		Escala	Peso	Hoja 1 de 1



Revisiones			
Rev	Descripción	Fecha	Aprobado

Nombre	Fecha	Solid Edge ST		
Dibujado	Roberto	Siemens PLM Software		
Comprobado		Título		
Aprobado 1		Soporte manguera		
Aprobado 2				
Salvo indicación contraria cotas en milímetros ángulos en grados tolerancias ±0,5 y ±1°		A3	Plano	Rev
		Plano 12		
		Archivo: soportemanguera.dft		
		Escala	Peso	Hoja 1 de 1

SOLID EDGE ACADEMIC COPY