

PROYECTOS DE INVESTIGACIÓN 2016

MEMORIA DEL PROYECTO Nº SV-16-GIJÓN-1-04

1. DATOS DEL PROYECTO

Título: Desarrollo y ensayo de técnicas de verificación de equipos metrológicos y de Ingeniería Inversa sin contacto

Investigador/a/es responsable/es: Eduardo Cuesta Gonzalez

Tfno: 985182136 – 666963988 **E-mail:** ecuesta@uniovi.es

Otros investigadores:

Braulio José Álvarez Álvarez, 09439293R, Universidad de Oviedo

Joaquín Barreiro García, 09770421N, Universidad de León

Susana Martínez Pellitero, 09779844Z, Universidad de León

Juan Manuel Suarez Méndez, 71677622P (investigador becado por el IUTA, Universidad de Oviedo)

Agustín Castaño Rivero, 10821517V, Universidad de Oviedo

Empresas o instituciones colaboradoras:

Se contaba con apoyo expreso de tres empresas de Asturias (dos de ellas ubicadas en Gijón concretamente) a los que la investigación les resulta de especial interés:

- La empresa ISM3D (Ingeniería y Servicios de Medición Tridimensional, S.L.) que se dedica a la medición y calibración tridimensional de patrones, utillajes y piezas master de precisión
- La empresa DSP industrial, que se dedica a la fabricación de patrones, galgas, calibres y en general piezas master para trazabilidad industrial en medición por coordenadas.
- La empresa General Dynamics (Fábrica de armas de Trubia). Su interés radica en evaluar los límites de la tecnología de inspección sin contacto como las utilizadas en el proyecto, sobre todo técnicas de fotogrametría, para inspección de vehículos blindados y estructuras mecano-soldadas de chapa de alto espesor.

2. MEMORIA DESCRIPTIVA DEL PROYECTO

2.1 Resumen ejecutivo

El resumen ejecutivo del Proyecto debe ser una síntesis clara y concisa del trabajo realizado, describiendo brevemente los motivos que justifican su realización, los beneficiarios, los objetivos específicos y su grado de consecución, la metodología aplicada y los resultados obtenidos.

Extensión: unas 500-600 palabras (limitado a un máximo de 4000 caracteres, incluidos espacios).

El objetivo del proyecto de investigación es el desarrollo de una nueva metodología destinada a la realización práctica e “in-situ” de un nuevo procedimiento de verificación y/o calibración de sensores metroológicos ópticos para aplicaciones de medición y de ingeniería inversa. En este proyecto se contemplan dos tecnologías consideradas como algunas de las de mayor interés en el campo de la metrología óptica por coordenadas: Sensores láser de triangulación suelen estar acoplados a Brazos Articulados de Medir por Coordenadas o AACMM (Fig. 1a) y otros son los equipos de luz blanca estructurada basados en proyección de patrón de franjas (Fig. 1b). La primera tecnología es un método clásico utilizado en metrología e ingeniería inversa y la segunda tiene un gran desarrollo y potencial actual, en ambos casos, por su portabilidad y rapidez de digitalizado. Sin embargo hoy en día persiste la duda sobre la fiabilidad de las medidas (calidad de las nubes de puntos) obtenidas con estos equipos. Los fabricantes dan valores de precisión o de resolución en condiciones ideales y muchas veces alejadas de los casos prácticos reales.

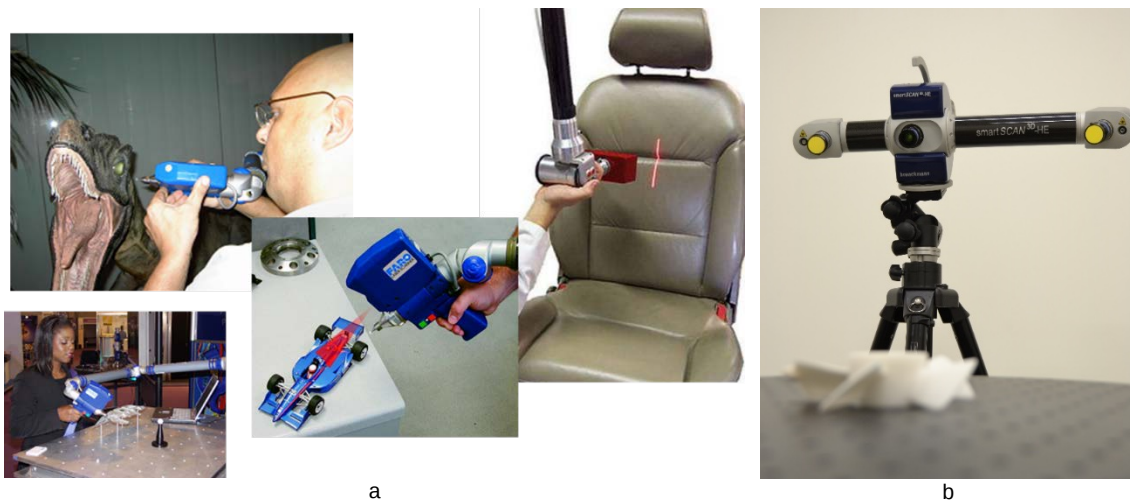


Fig.1.a) Brazo de medir por coordenadas con sensor de triangulación láser. b) Sensor de Luz blanca estructurada.

De hecho, la metodología desarrollada en este proyecto intenta resolver uno de los mayores problemas que se plantean con estas tecnologías ópticas, cuando se pretenden obtener medidas 3D de alta precisión. Tanto es así que no existen normas internacionales de referencia adaptadas especialmente para calibrar o cualificar estos dispositivos. Hasta la fecha es imposible asegurar la trazabilidad de las medidas de estos equipos al no existir estándares trazables. Por ejemplo, no existen artefactos de referencia de tipo estándar ni procedimientos de calibración y verificación trazables (certificables) para sistemas de medida 3D ópticos.

En el caso que nos ocupa se disponía de dos equipos como los mencionados anteriormente y de un patrón prototipo de características ópticas. De tal forma que la investigación pretende, que, una vez calibrado el patrón (y obtenidas las medidas de referencia), proceder a medir el mismo con ambas tecnologías, evaluando las diferencias encontradas. Las nubes obtenidas con estos equipos permitirán reconstruir las entidades y sus errores de reconstrucción serán tomados como desviaciones, obteniendo también información sobre la dispersión de las nubes de puntos (desviaciones estándar de las reconstrucciones).

Dentro de la investigación también se contemplan ensayos preliminares para ajuste de estrategias y calibraciones de equipos (set Up), junto con ensayos en condiciones más desfavorables simulando condiciones in-situ.

En el caso del equipo de luz blanca estructurada disponible (Fig. 2b) la investigación se completó hasta el final, mientras que en el caso del sensor de triangulación laser (Fig. 2a) sólo se realizaron los ensayos preliminares. Por ello en este informe se presentan fundamentalmente los resultados de los ensayos relativos al primer equipo.

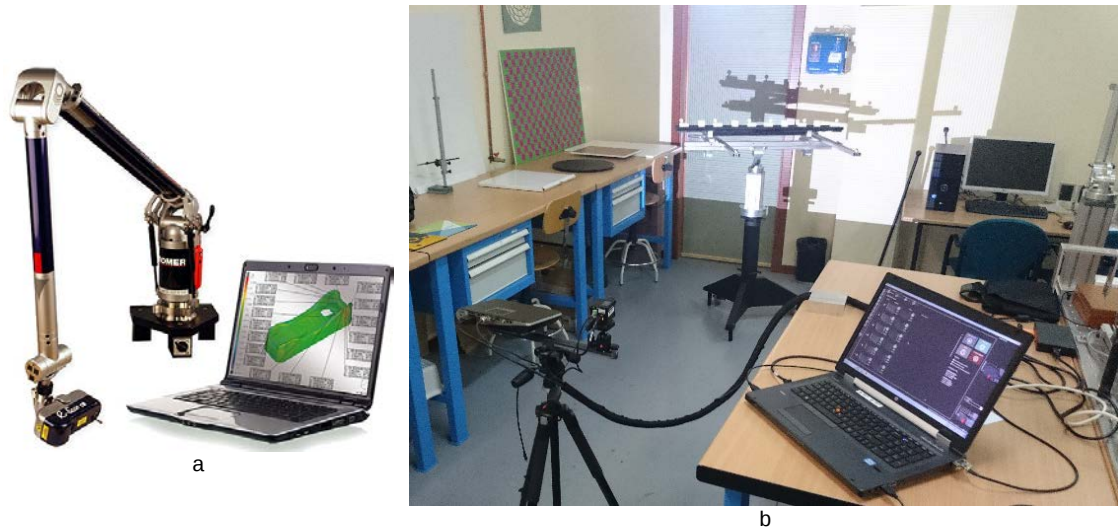


Fig. 2. a) Sensor de triangulación laser montado en brazo de medir por coordenadas. b) Equipo de luz blanca estructurada (Mephisto EX-PRO, 4ddynamics®). En la imagen se observa el equipo durante un ensayo de larga distancia.

2.2 Objetivos iniciales del proyecto y grado de consecución

El objetivo final del proyecto es desarrollar un nuevo procedimiento de verificación para equipos de medir por coordenadas portátiles sin contacto (Figs. 1 y 2), usando un patrón de características ópticas desarrollado. Se pretendía estudiar la precisión alcanzable con los dos equipos de digitalizado disponibles mencionados anteriormente.

La idea pasaba por realizar ensayos de ambos sistemas sobre un novedoso patrón de características sin contacto, desarrollado y fabricado finamente y de forma paralela al proyecto. El proyecto incluye de forma relevante la realización de “ensayos preliminares” frente a ensayos de campo”. Los primeros están pensados para minimizar el ruido, la influencia de otros factores, y digitalizar en las mejores condiciones posibles. La segunda opción esta pensada para captura de las geometrías del patrón, lejos de las condiciones de laboratorio; emulando el trabajo de campo en una empresa o para un trabajo determinado de tipo “in-situ”.

Por otra parte, este procedimiento de evaluación también permitiría validar el propio patrón para una o para las dos tecnologías. En todo caso, el procedimiento de verificación desarrollado en el proyecto permitirá asegurar la fiabilidad de las medidas realizadas de forma rápida y práctica, así como aportar información sobre las fuentes de error que afectan a sus mediciones.

2.3 Tareas realizadas

Las tareas en las que se organizaba y subdividía al proyecto, junto con su grado de cumplimiento son:

- 1- Recopilación y actualización del conocimiento
Ejecutada 100%, y para las dos tecnologías
- 2- Análisis de factores de influencia en metrología óptica
Ejecutada 100%, tanto en Fotogrametría con luz blanca Estructurada, como en Laser de Triangulación. En el primer caso con definición de ensayo de calibración con dameros.
- 3- Diseño y Ejecución de ensayos preliminares.
Ejecutada 100% en fotogrametría (ensayos a corta distancia, y/o sobre dameros pequeños). Solo parcialmente en el equipo de Laser de Triangulación
- 4- Análisis de resultados. Definición de procedimiento de cualificación o verificación.
Ejecutada 100% con el equipo de fotogrametría con luz blanca estructurada (patrón de franjas). No se hicieron con el sensor laser de triangulación.
- 5- Ensayos de validación in-situ.
Ejecutada 100% con el equipo de fotogrametría con luz blanca estructurada (patrón de franjas), se emuló el trabajo con ensayos a larga distancia (evaluando las diferencias de precisión obtenida frente a los ensayos a corta distancia, en condiciones mas optimas de trabajo)
- 6- Conclusiones.
Ejecutada 50%. Se han extraído conclusiones válidas pero solo de la evaluación efectuada con el equipo de luz blanca, todavía faltan por acabar los ensayos con el equipo laser de triangulación.
- 7- Divulgación.
Por ejecutar. Enviado Resumen al congreso Internacional MESIC-2017

A modo de resumen de la metodología seguida se muestra la figura 3, donde se parte del digitalizado del patrón óptico de características (OFBG) con el equipo de luz blanca estructurada (FPE), para capturar las distintas entidades de referencia del mismo. Estas entidades han sido calibradas previamente con la MMC permitiendo generar un CAD del patrón muy aproximado a la realidad "CAD Cuasi-real". Este CAD está creado a partir de diámetros y distancias entre elementos dados por los valores medidos en MMC en vez de los nominales.

Las nubes de puntos capturadas con el sensor se evaluaron con dos softwares de ingeniería inversa (reconstrucción de superficies), que fueron 3DReshaper© y Geomagic©, que son los que permitieron en última instancia crear las características y comparar sus parámetros de definición con los de referencia (CAD Cuasi-real).

El estudio finalizó con la importación de los datos a hojas de cálculo en los que se realizó la comparativa, obteniendo datos de desviaciones y dispersiones de nubes para las distintas orientaciones, y en ensayos de corta y larga distancia.

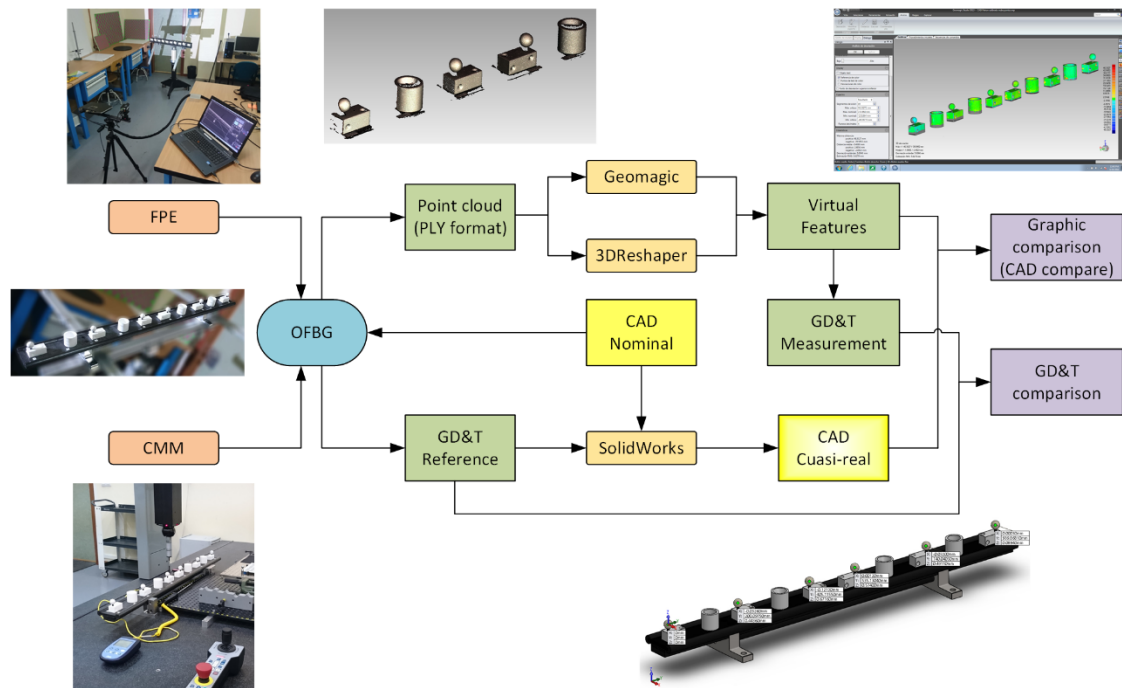


Fig. 3. Metodología desarrollada y empleada para llevar a cabo la parte experimental con el equipo de luz blanca estructurada.

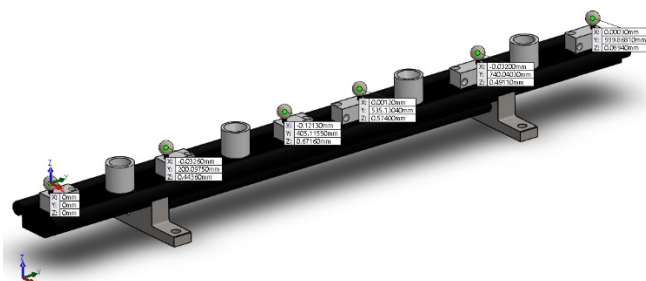
2.4 Resultados obtenidos

Para entender los resultados conseguidos, hay que decir que en el proyecto se definió (y siguió bastante fielmente) una metodología de forma más o menos secuencial:

- a) Una vez estudiado el estado del arte, la tecnología de los equipos, sus parámetros de funcionamiento, etc. y teniendo en cuenta que al principio del proyecto se disponía de un prototipo que fue finalmente acabado, dotado de refuerzos, y con utillaje para montaje repetible. Lo siguiente que se hizo fue calibrar completamente dicho patrón (para utilizar sus múltiples dimensiones como referencias). Esta calibración se llevó a cabo con una Máquina de medir por coordenadas (MMC DEA Global Image 09.15.08) (Fig. 4a), con las que se obtuvieron las numerosas medidas de referencia relativas a las características disponibles y que luego habrían de ser medidas con los equipos de fotogrametría objeto de estudio.



a



b

Fig. 4. a) Calibración del patrón de características mediante MMC (DEA Global Image). CAD adaptado con las medidas MMC (CAD cuasi-real). b) Imagen de comprobación de las coordenadas correspondientes a los centros de las esferas.

- b) Con las medidas calibradas del patrón se procedió a modificar el CAD, generando un CAD cuasi-real (Fig. 4b), en el que las dimensionales de las principales entidades, junto con las distancias relativas entre ellas, se ajustaban con la máxima precisión posible (las de la CMM, entre 0.002 y 0.005 mm). Este CAD fue el utilizado para realizar los numerosos ajustes y comparativas que se realizaron finalmente.
- c) En el caso del equipo disponible de Ingeniería inversa sin contacto basado en Luz blanca estructurada (patrón de franjas proyectadas) se probó y optimizó un procedimiento de calibración (cualificación) basado en dameros (Fig. 5a y b). Se utilizaron dameros fabricados en distintos tamaños para cubrir el campo de medida, tanto el de corta distancia (alta precisión) como el de larga distancia, con mayor profundidad de campo (para baja precisión).

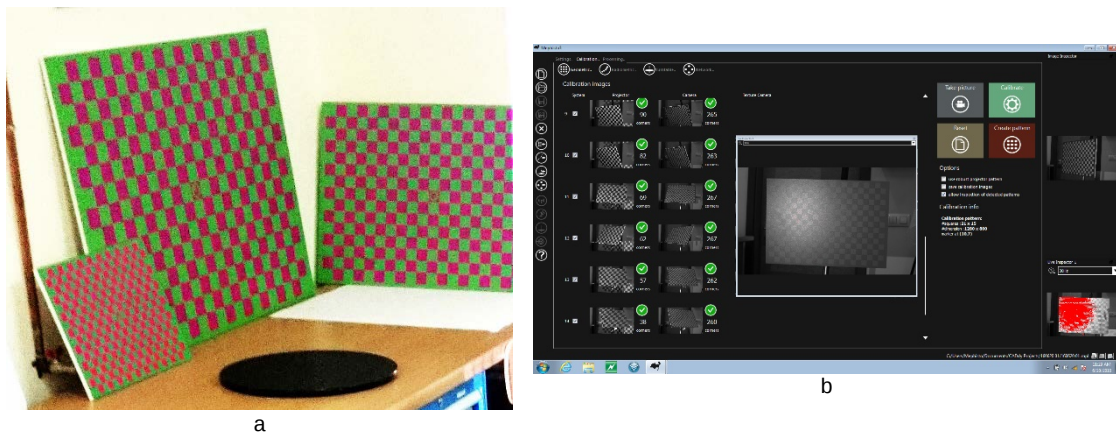


Fig. 5. a) Dameros fabricados y empleados para la calibración a diferentes distancias. b) Captura de pantalla del software durante el proceso de calibración. (Se observan parte de las 14 orientaciones utilizadas en la calibración).

- d) Se desarrolló un procedimiento de verificación del sensor cabezal láser de triangulación montado en brazo de medir por coordenadas. Este procedimiento usó como patrón de referencia el patrón de características ópticas disponible (Fig. 6). En este caso no tiene sentido considerar tanto la distancia entre el objeto y el sensor sino más bien las estrategias de escaneado.



Fig. 6. Digitalizado del patrón de características mediante sensor láser. Ensayos preliminares para determinación de las estrategias óptimas.

- e) Se definieron condiciones, estrategias y consejos de uso para los dos tipos de sensores ópticos mencionados de cara a su uso en condiciones de máxima precisión (Fig. 7). Se aplicaron filtros para eliminar outliers y ruido, como por ejemplo el proveniente de entidades anexas, reflejos, etc. Además, en el caso del equipo de luz blanca, una temática que requirió un gran esfuerzo fue el obligatorio filtrado que fue necesario realizar en los horizontes de cada perspectiva para cada entidad digitalizada, pues el software del equipo siempre generaba puntos falsos en esas zonas.

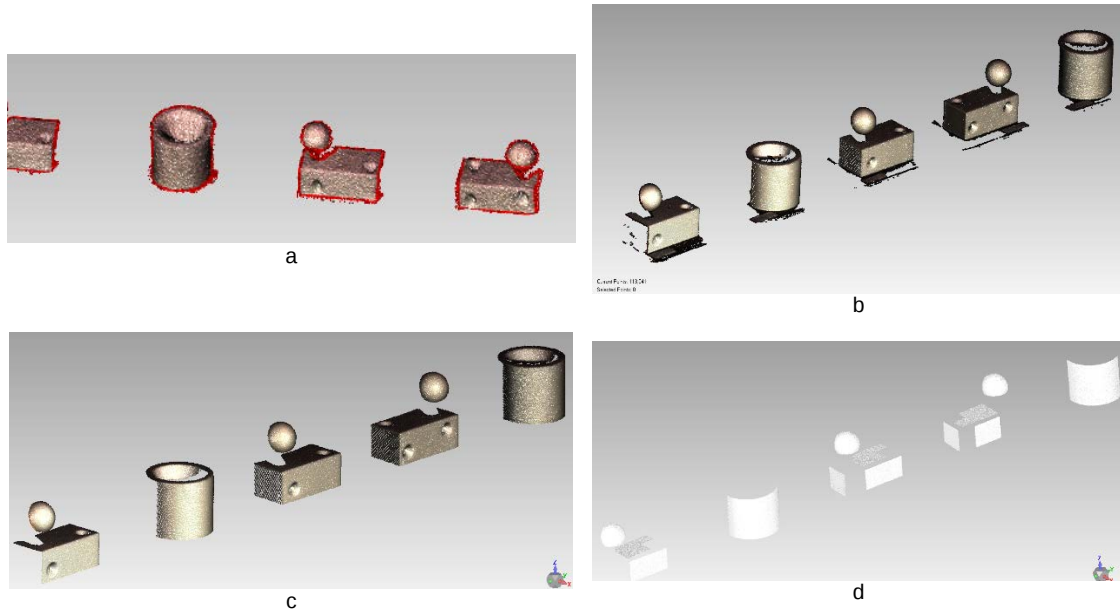


Fig. 7. a y b) Nube de puntos original, filtrado de outliers, c) filtrado posterior de puntos falsos generados en el horizonte de la perspectiva, d) nube de punto final limpia y preparada para generar características.

- f) En el caso del sensor de fotogrametría se repitieron los ensayos emulando condiciones “in-situ” de trabajo, con malas precisiones, principalmente debido al aumento del encuadre (vista completa del patrón), al colocar el patrón a una distancia de entre 2-3m del conjunto cámara-proyector. Por decirlo de alguna manera en estos ensayos se buscaba encontrar el límite tecnológico. Por falta de tiempo estos ensayos no se han podido ejecutar en el caso del sensor de triangulación laser, pero si se han llevado a cabo de forma exhaustiva en el equipo de luz blanca estructurada. De hecho se realizaron 25 capturas de larga distancia y 16 de corta distancia variando las orientaciones (Fig. 8) para abarcar todas las condiciones de trabajo posibles (emulando digitalizados sobre objetos inmóviles, que no pueden ser digitalizados desde cualquier orientación). Este conjunto de capturas permite reconstruir las distintas entidades con una buena cobertura espacial.
- g) Con estos nuevos ensayos se pudo ejecutar un mapa de errores que comete el equipo de fotogrametría disponible. Obteniendo graficas de errores (desviaciones) entre las medidas del equipo de luz blanca y las desviaciones que obtiene la CMM, esto es, las medidas de referencia del patrón.



Fig. 8. Digitalizado del patrón de características mediante el equipo de luz blanca estructurada empleando múltiples orientaciones.

Principalmente hablamos de una serie de características a medir, que a su vez definen unas tolerancias evaluables:

- Distancia entre esferas (6 esferas, 5 distancias)
- Distancias entre cilindros exteriores (2 cilindros, 1 dist.)
- Diámetros de esferas (6 esferas)
- Diámetros de Cilindros exteriores (4 cilindros)
- Distancia entre conos exteriores (2 conos)
- Errores de forma de planos, (planitud, 12 planos)
- Errores de forma de esferas (esfericidad, 6 esferas)
- Angulo del cono interior (conicidad, 2 conos)
- Errores de forma de Cono (2 conos)
- Errores de forma de Cilindros (cilindricidad, 4 cil. exteriores)

Con todas estas tolerancias se realizaron numerosos ensayos, evaluando la capacidad con la que la nube digitalizada se ajustaba al CAD cuasi-real. Precisamente los resultados obtenidos se refieren a estas comparativas. Como se comentó anteriormente, y en el caso del equipo de luz blanca, unos ensayos fueron realizados en corta distancia, basados en parámetros óptimos, y otros fueron realizados en larga distancia; emulando condiciones de trabajo “in-situ”.

Además, las empresas colaboradoras que se citaron anteriormente recibirán formación y documentación sobre esta investigación, no solo con el objetivo del uso óptimo de estos aparatos, (pues conocerán en detalle las ventajas de estos aparatos y podrán disfrutar de un nuevo y mayor conocimiento), sino que en el caso de alguna de ellas, podrán utilizar esta evaluación para optimizar sus patrones, ofertar “la evaluación por características y a medida” y en definitiva mejorar su imagen externa y de una clara ventaja competitiva para la empresa que disponga del “know-how”.

[illegible]

Equipo de Fotogrametría: Caelis Neptunia

Palatin: Puntos de características MACHO 7 Fila de Caelius

Tipo de Medición: 4 orientaciones, 4 medidas por punto en cada orientación

Capítulo 1

Referencia	Distancia	Distancia del punto por Desviación estándar	Número de puntos
Referencia 1	19.1854	0.0000	2885
Referencia 2	20.1434	0.0020	0708
Referencia 3	19.8555	0.1100	0004
Referencia 4	46.0243	0.0800	0001
Referencia 5	39.8632	0.4400	0001

Capítulo 2

Referencia	Distancia	Distancia del punto por Desviación estándar	Número de puntos
Referencia 1	19.1854	0.0000	2885
Referencia 2	19.8555	0.0700	0754
Referencia 3	20.1468	0.0700	0000
Referencia 4	39.8632	0.0400	0720
Referencia 5	39.8232	0.4200	0333

Capítulo 3

Referencia	Distancia	Distancia del punto por Desviación estándar	Número de puntos
Referencia 1	19.1854	0.0000	2885
Referencia 2	20.2172	0.0750	0863
Referencia 3	19.7465	0.1000	0070
Referencia 4	39.8633	0.0800	0082
Referencia 5	39.8232	0.3800	0333

Capítulo 4

Referencia	Distancia	Distancia del punto por Desviación estándar	Número de puntos
Referencia 1	19.1854	0.0000	2885
Referencia 2	19.8555	0.0800	0717
Referencia 3	20.1468	0.4100	0001
Referencia 4	39.8249	0.0400	0003
Referencia 5	39.8008	0.1800	0715

Capítulo 5

Referencia	Distancia	Distancia del punto por Desviación estándar	Número de puntos
Referencia 1	19.1854	0.0000	2885
Referencia 2	19.8555	0.0800	0717
Referencia 3	20.1468	0.4100	0001
Referencia 4	39.8249	0.0400	0003
Referencia 5	39.8008	0.1800	0715

Capítulo 6

Referencia	Distancia	Distancia del punto por Desviación estándar	Número de puntos
Referencia 1	19.1854	0.0000	2885
Referencia 2	19.8555	0.0800	0717
Referencia 3	20.1468	0.4100	0001
Referencia 4	39.8249	0.0400	0003
Referencia 5	39.8008	0.1800	0715

Capítulo 7

Referencia	Distancia	Distancia del punto por Desviación estándar	Número de puntos
Referencia 1	19.1854	0.0000	2885
Referencia 2	19.8555	0.0800	0717
Referencia 3	20.1468	0.4100	0001
Referencia 4	39.8249	0.0400	0003
Referencia 5	39.8008	0.1800	0715

Capítulo 8

Referencia	Distancia	Distancia del punto por Desviación estándar	Número de puntos
Referencia 1	19.1854	0.0000	2885
Referencia 2	19.8555	0.0800	0717
Referencia 3	20.1468	0.4100	0001
Referencia 4	39.8249	0.0400	0003
Referencia 5	39.8008	0.1800	0715

Capítulo 9

Referencia	Distancia	Distancia del punto por Desviación estándar	Número de puntos
Referencia 1	19.1854	0.0000	2885
Referencia 2	19.8555	0.0800	0717
Referencia 3	20.1468	0.4100	0001
Referencia 4	39.8249	0.0400	0003
Referencia 5	39.8008	0.1800	0715

Capítulo 10

Referencia	Distancia	Distancia del punto por Desviación estándar	Número de puntos
Referencia 1	19.1854	0.0000	2885
Referencia 2	19.8555	0.0800	0717
Referencia 3	20.1468	0.4100	0001
Referencia 4	39.8249	0.0400	0003
Referencia 5	39.8008	0.1800	0715

Capítulo 11

Referencia	Distancia	Distancia del punto por Desviación estándar	Número de puntos
Referencia 1	19.1854	0.0000	2885
Referencia 2	19.8555	0.0800	0717
Referencia 3	20.1468	0.4100	0001
Referencia 4	39.8249	0.0400	0003
Referencia 5	39.8008	0.1800	0715

Capítulo 12

Referencia	Distancia	Distancia del punto por Desviación estándar	Número de puntos
Referencia 1	19.1854	0.0000	2885
Referencia 2	19.8555	0.0800	0717
Referencia 3	20.1468	0.4100	0001
Referencia 4	39.8249	0.0400	0003
Referencia 5	39.8008	0.1800	0715

Capítulo 13

Referencia	Distancia	Distancia del punto por Desviación estándar	Número de puntos
Referencia 1	19.1854	0.0000	2885
Referencia 2	19.8555	0.0800	0717
Referencia 3	20.1468	0.4100	0001
Referencia 4	39.8249	0.0400	0003
Referencia 5	39.8008	0.1800	0715

Capítulo 14

Referencia	Distancia	Distancia del punto por Desviación estándar	Número de puntos
Referencia 1	19.1854	0.0000	2885
Referencia 2	19.8555	0.0800	0717
Referencia 3	20.1468	0.4100	0001
Referencia 4	39.8249	0.0400	0003
Referencia 5	39.8008	0.1800	0715

Capítulo 15

Referencia	Distancia	Distancia del punto por Desviación estándar	Número de puntos
Referencia 1	19.1854	0.0000	2885
Referencia 2	19.8555	0.0800	0717
Referencia 3	20.1468	0.4100	0001
Referencia 4	39.8249	0.0400	0003
Referencia 5	39.8008	0.1800	0715

Capítulo 16

Referencia	Distancia	Distancia del punto por Desviación estándar	Número de puntos
Referencia 1	19.1854	0.0000	2885
Referencia 2	19.8555	0.0800	0717
Referencia 3	20.1468	0.4100	0001
Referencia 4	39.8249	0.0400	0003
Referencia 5	39.8008	0.1800	0715

Capítulo 17

Referencia	Distancia	Distancia del punto por Desviación estándar	Número de puntos
Referencia 1	19.1854	0.0000	2885
Referencia 2	19.8555	0.0800	0717
Referencia 3	20.1468	0.4100	0001
Referencia 4	39.8249	0.0400	0003
Referencia 5	39.8008	0.1800	0715

Capítulo 18

Referencia	Distancia	Distancia del punto por Desviación estándar	Número de puntos
Referencia 1	19.1854	0.0000	2885
Referencia 2	19.8555	0.0800	0717
Referencia 3	20.1468	0.4100	0001
Referencia 4	39.8249	0.0400	0003
Referencia 5	39.8008	0.1800	0715

Capítulo 19

Referencia	Distancia	Distancia del punto por Desviación estándar	Número de puntos
Referencia 1	19.1854	0.0000	2885
Referencia 2	19.8555	0.0800	0717
Referencia 3	20.1468	0.4100	0001
Referencia 4	39.8249	0.0400	0003
Referencia 5	39.8008	0.1800	0715

Capítulo 20

Referencia	Distancia	Distancia del punto por Desviación estándar	Número de puntos
Referencia 1	19.1854	0.0000	2885
Referencia 2	19.8555	0.0800	0717
Referencia 3	20.1468	0.4100	0001
Referencia 4	39.8249	0.0400	0003
Referencia 5	39.8008	0.1800	0715

Capítulo 21

Referencia	Distancia	Distancia del punto por Desviación estándar	Número de puntos
Referencia 1	19.1854	0.0000	2885
Referencia 2	19.8555	0.0800	0717
Referencia 3	20.1468	0.4100	0001
Referencia 4	39.8249	0.0400	0003
Referencia 5	39.8008	0.1800	0715

Capítulo 22

Referencia	Distancia	Distancia del punto por Desviación estándar	Número de puntos
Referencia 1	19.1854	0.0000	2885
Referencia 2	19.8555	0.0800	0717
Referencia 3	20.1468	0.4100	0001
Referencia 4	39.8249	0.0400	0003
Referencia 5	39.8008	0.1800	0715

Capítulo 23

Referencia	Distancia	Distancia del punto por Desviación estándar	Número de puntos
Referencia 1	19.1854	0.0000	2885
Referencia 2	19.8555	0.0800	0717
Referencia 3	20.1468	0.4100	0001
Referencia 4	39.8249	0.0400	0003
Referencia 5	39.8008	0.1800	0715

Capítulo 24

Referencia	Distancia	Distancia del punto por Desviación estándar	Número de puntos
Referencia 1	19.1854	0.0000	2885
Referencia 2	19.8555	0.0800	0717
Referencia 3	20.1468	0.4100	0001
Referencia 4	39.8249	0.0400	0003
Referencia 5	39.8008	0.1800	0715

Capítulo 25

Referencia	Distancia	Distancia del punto por Desviación estándar	Número de puntos
Referencia 1	19.1854	0.0000	2885
Referencia 2	19.8555	0.0800	0717
Referencia 3	20.1468	0.4100	0001
Referencia 4	39.8249	0.0400	0003
Referencia 5	39.8008	0.1800	0715

Capítulo 26

Referencia	Distancia	Distancia del punto por Desviación estándar	Número de puntos
Referencia 1	19.1854	0.0000	2885
Referencia 2	19.8555	0.0800	0717
Referencia 3	20.1468	0.4100	0001
Referencia 4	39.8249	0.0400	0003
Referencia 5	39.8008	0.1800	0715

Capítulo 27

Referencia	Distancia	Distancia del punto por Desviación estándar	Número de puntos
Referencia 1	19.1854	0.0000	2885
Referencia 2	19.8555	0.0800	0717
Referencia 3	20.1468	0.4100	0001
Referencia 4	39.8249	0.0400	0003
Referencia 5	39.8008	0.1800	0715

Capítulo 28

Referencia	Distancia	Distancia del punto por Desviación estándar	Número de puntos
Referencia 1	19.1854	0.0000	2885
Referencia 2	19.8555	0.0800	0717
Referencia 3	20.1468	0.4100	0001
Referencia 4	39.8249	0.0400	0003
Referencia 5	39.8008	0.1800	0715

Capítulo 29

Referencia	Distancia	Distancia del punto por Desviación estándar	Número de puntos
Referencia 1	19.1854	0.0000	2885
Referencia 2	19.8555	0.0800	0717
Referencia 3	20.1468	0.4100	0001
Referencia 4	39.8249	0.0400	0003
Referencia 5	39.8008	0.1800	0715

Capítulo 30

Referencia	Distancia	Distancia del punto por Desviación estándar	Número de puntos
Referencia 1	19.1854	0.0000	2885
Referencia 2	19.8555	0.0800	0717
Referencia 3	20.1468	0.4100	0001
Referencia 4	39.8249	0.0400	0003
Referencia 5	39.8008	0.1800	0715

Capítulo 31

Referencia	Distancia	Distancia del punto por Desviación estándar	Número de puntos
Referencia 1	19.1854	0.0000	2885
Referencia 2	19.8555	0.0800	0717
Referencia 3	20.1468	0.4100	0001
Referencia 4	39.8249	0.0400	0003
Referencia 5	39.8008	0.1800	0715

Capítulo 32

Referencia	Distancia	Distancia del punto por Desviación estándar	Número de puntos
Referencia 1	19.1854	0.0000	2885
Referencia 2	19.8555	0.0800	0717
Referencia 3	20.1468	0.4100	0001
Referencia 4	39.8249	0.0400	0003
Referencia 5	39.8008	0.1800	0715

Capítulo 33

Referencia	Distancia	Distancia del punto por Desviación estándar	Número de puntos
Referencia 1	19.1854	0.0000	2885
Referencia 2	19.8555	0.0800	0717
Referencia 3	20.1468	0.4100	0001
Referencia 4	39.8249	0.0400	0003
Referencia 5	39.8008	0.1800	0715

Capítulo 34

Referencia	Distancia	Distancia del punto por Desviación estándar	Número de puntos
Referencia 1	19.1854	0.0000	2885
Referencia 2	19.8555	0.0800	0717
Referencia 3	20.1468	0.4100	0001
Referencia 4	39.8249	0.0400	0003
Referencia 5	39.8008	0.1800	0715

Capítulo 35

Referencia	Distancia	Distancia del punto por Desviación estándar	Número de puntos
Referencia 1	19.1854	0.0000	2885
Referencia 2	19.8555	0.0800	0717
Referencia 3	20.1468	0.4100	0001
Referencia 4	39.8249	0.0400	0003
Referencia 5	39.8008	0.1800	0715

Capítulo 36

Referencia	Distancia	Distancia del punto por Desviación estándar	Número de puntos
Referencia 1	19.1854	0.0000	2885
Referencia 2	19.8555	0.0800	0717
Referencia 3	20.1468	0.4100	0001
Referencia 4	39.8249	0.0400	0003
Referencia 5	39.8008	0.1800	0715

Capítulo 37

Referencia	Distancia	Distancia del punto por Desviación estándar	Número de puntos
Referencia 1	19.1854	0.0000	2885
Referencia 2	19.8555	0.0800	0717
Referencia 3	20.1468	0.4100	0001
Referencia 4	39.8249	0.0400	0003
Referencia 5	39.8008	0.1800	0715

Capítulo 38

Referencia	Distancia	Distancia del punto por Desviación estándar	Número de puntos
Referencia 1	19.1854	0.0000	2885
Referencia 2	19.8555	0.0800	0717
Referencia 3	20.1468	0.4100	0001
Referencia 4	39.8249	0.0400	0003
Referencia 5	39.8008	0.1800	0715

Capítulo 39

Referencia	Distancia	Distancia del punto por Desviación estándar	Número de puntos
Referencia 1	19.1854	0.0000	2885
Referencia 2	19.8555	0.0800	0717
Referencia 3	20.1468	0.4100	0001
Referencia 4	39.8249	0.0400	0003
Referencia 5	39.8008	0.1800	0715

Capítulo 40

Referencia	Distancia	Distancia del punto por Desviación estándar	Número de puntos
Referencia 1	19.1854	0.0000	2885
Referencia 2	19.8555	0.0800	0717
Referencia 3	20.1468	0.4100	0001
Referencia 4	39.8249	0.0400	0003
Referencia 5	39.8008	0.1800	0715

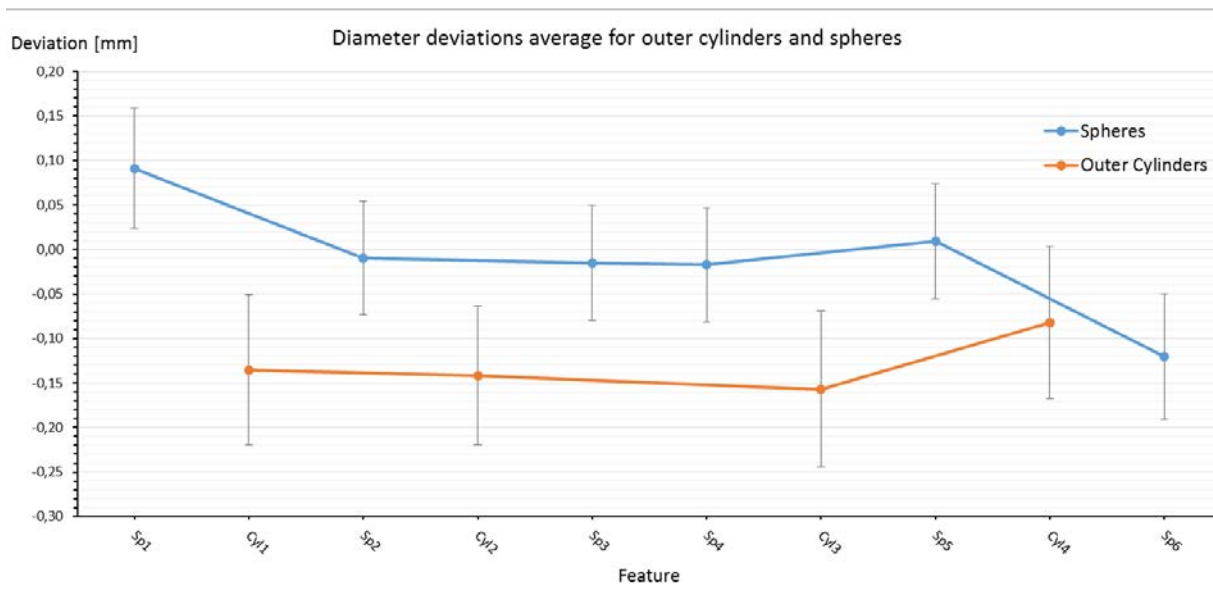
Capítulo 41

Referencia	Distancia	Distancia del punto por Desviación estándar	Número de puntos
Referencia 1	19.1854	0.0000	2885
Referencia 2	19.8555	0.0800	0717
Referencia 3	20.1468	0.4100	0001
Referencia 4	39.8249	0.0400	0003
Referencia 5	39.8008	0.1800	0715

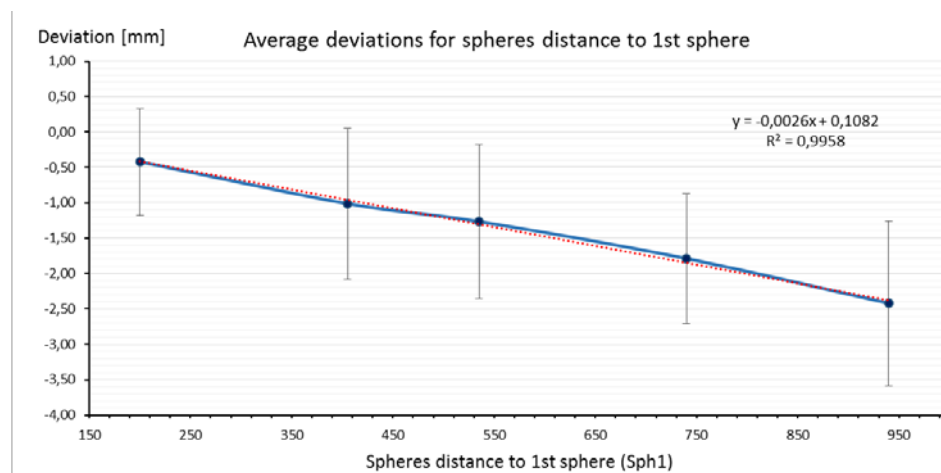
Capítulo 42

Referencia	Distancia	Distancia del punto por Desviación estándar	Número de puntos
Referencia 1	19.1854	0.0000	2885
Referencia 2	19.8555	0.0800	0717
Referencia 3	20.1468	0.4100	0001
Referencia 4	39.8249	0.0400</	

En la figura 9 se muestran dos ejemplos de tablas con los parámetros dimensionales y geométricos obtenidos de los ajustes de nubes de puntos para su posterior análisis. Para estos análisis se pudieron utilizar dos softwares de ingeniería inversa y tratamiento de nubes de puntos disponibles, como fueron 3DReshaper® y Geomagic®. En la investigación se pudo constatar y cuantificar, la diferente información de ajuste que ofrecían ambos programas incluso para la misma nube de puntos, lo que a menudo obligo a realizar tratamientos estadísticos para dar valores medios representativos. Se muestran en la figura 10 dos de las gráficas resumen de estos análisis de resultados.



a



b

Fig. 10. Gráficas de análisis de los datos recopilados. a) Ensayos corta distancia. Distancia media de las desviaciones del diámetro para cilindros exteriores y esferas. Las barras de error representan 2 veces la desviación estándar (2σ) dada por el software durante el ajuste de las nubes de puntos al crear las características de control. Las nubes de puntos a partir de las que se crearon las características de control estaban formadas por unos 2000-4000 puntos para el caso de las esferas y de 10000-14000 para el caso de los cilindros. b) Ensayos de larga distancia. Valor medio de la distancia de los centros de esfera al centro de la esfera 1. Las barras de error representan 2 veces la desviación estándar (2σ) de la variabilidad de la medida en las 25 capturas.

2.5 Trabajos o necesidades futuras

Se podrían resaltar dos trabajos futuros:

- 1- Es necesario avanzar en el ensayo de validación de la otra tecnología que se pretendía: Sensor laser de triangulación montado en Brazo de medir por Coordenadas.
- 2- Redefinición del patrón para luz blanca:

Según se ha comentado anteriormente, el patrón no es el más idóneo para el equipo de luz blanca. En este caso sería muy deseable desarrollar un patrón específico en el que la entidades de referencia pudiesen ser digitalizadas (capturadas) desde distintos ángulos u orientaciones espaciales, de forma que, manteniendo siempre el mismo sistema de

coordinadas entre las distintas capturas, fuese posible reconstruir las entidades a digitalizar con alta precisión.

2.6 Divulgación de los resultados (publicaciones, artículos, ponencias...)

La experiencia y los resultados de la investigación se ha enviado, (por ahora como resumen), al congreso MESIC-2017, organizado por la Sociedad de Ingeniería de Fabricación (7th Manufacturing Engineering Society International Conference, Vigo, Spain, 28-30 June 2017).

En el correspondiente apartado de "Acknowledgements" se hará referencia expresa a la ayuda concedida.

El título, los autores y la referencia del mismo son:

Metrological evaluation of Structured Light 3D Scanning with an optical feature-based gauge,
7th Manufacturing Engineering Society International Conference MESIC-2017,

E. Cuesta, J.M. Suarez-Méndez, S. Martinez-Pellitero, J. Barreiro, B. Alvarez, P. Zapico.

3. MEMORIA ECONÓMICA

Financiación		Personal	Inventariable	Fungible	Otros gastos
IUTA	SV-16-GIJÓN-1.	4300	0	0	0
Otras fuentes	DPI_2012-36642-02-01 INESPO_PRO-GULEM-005		3000 (elementos patrón fibra de carbono y cerámica)	150 (pegamento)	30 (portes)
Estudiante con ayuda a la investigación	Nombre	Juan Manuel Suarez Mendez			
	Tareas	Colaboración en todas las fases del proyecto			
	Período	Julio a Diciembre 2016			

4. OTROS PROYECTOS Y CONTRATOS CON FINANCIACIÓN EXTERNA

Título del proyecto/contrato	Aseguramiento de la calidad y representación del conocimiento en la medición con sistemas portátiles de medir por coordenadas
Referencia	DPI 2012-36642-C02-01
Investigador/a/es principal/es	Eduardo Cuesta Gonzalez
Equipo investigador	Braulio José Alvarez Alvarez, Pablo Luque Rodriguez, Daniel Alvarez Mantaras, Vicente Castro Sanchez, Daniel Gonzalez

	Madruga, Joaquin Barreiro Garcia, Ana Isabel Fernandez Abia, Susana Martinez Pellitero. Agustin Castaño Rivero.
Periodo de vigencia	Duración, desde: 01-01-2013 hasta: 31-12-2015
Entidad financiadora	M.E.C.- DGICyT (Dirección General de Investigación Científica y Técnica)
Cantidad subvencionada	81.900 € (una parte de la anualidad del 2015 permitió construir una versión básica del patrón de características óptico)

Título del proyecto/contrato	Patrón modular de amplio rango con materiales avanzados para calibración de equipos de metrología por coordenadas
Referencia	INESPO_PRO-FGULEM-005
Investigador/a/es principal/es	Joaquín Barreiro Garcia (Univ. Leon)
Equipo investigador	Braulio José Alvarez Alvarez, Daniel Gonzalez Madruga, Susana Martínez Pellitero, Eduardo Cuesta Gonzalez.
Periodo de vigencia	Desde: 03-04-2014 hasta: 31-01-2015
Entidad financiadora	Universidad de León y Fundación General Universidad Empresa de León (FGULEM) Unión Europea - Fondos Feder. INESPO II.
Cantidad subvencionada	3.500 € (una parte de esta cantidad permitió adquirir alguna de las características del patrón óptico)