

PROYECTOS DE INVESTIGACIÓN 2022

INFORME DEL PROYECTO REF. SV-22-GIJON-03

1. Datos del proyecto

Título: Caracterización metrológica de materiales para aplicaciones de escaneo 3D sin contacto

Fechas inicial y final del proyecto: 01/06/2022 - 31/12/2022

Investigador/a Principal: EDUARDO CUESTA GONZÁLEZ

Otros investigadores: VICTOR MANUEL MEANA DÍAZ, SABINO MATEOS DIAZ, PABLO ZAPICO GARCÍA, SARA GIGANTO FERNÁNDEZ, SUSANA MARTÍNEZ PELLITERO

Personal contratado: GERMÁN SUÁREZ ÁLVAREZ

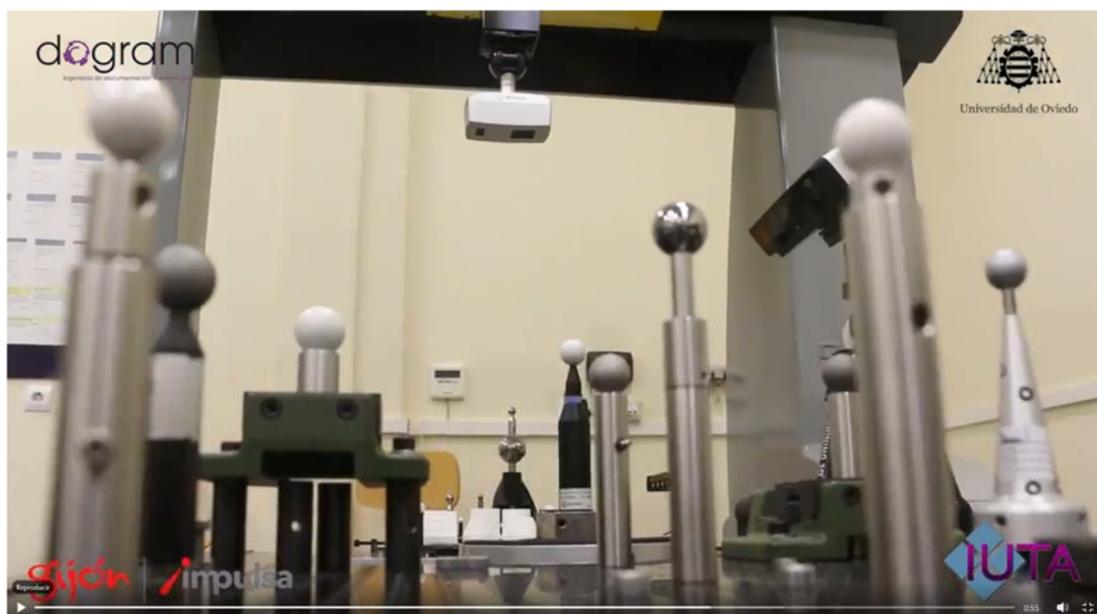
Fechas inicial y final de contratación: 04/07/2022 - 31/12/2022

Empresas o instituciones colaboradoras: ISM3D, S.L., DOGRAM, NANOKER RESEARCH, S.L.

Redes sociales de investigadores y empresas (Linkedin, Twitter, Instagram):

www.ipfresearch.com, www.ism3d.es, www.dogram.es, www.nanoker.com

2. Resumen Gráfico



3. Memoria descriptiva del proyecto

3.1 Resumen ejecutivo

La verificación metrológica mediante equipos ópticos presenta cada vez más interés en la industria. La posibilidad de mejorar estos equipos a partir de procesos de ajuste y calibración es un

objetivo habitual en las más recientes investigaciones. La idea es asegurar las mediciones que se pueden hacer con estas tecnologías sin contacto, extendiendo así su aplicación más allá de las típicas aplicaciones de Ingeniería Inversa.

Este proyecto es una continuación de la línea investigadora comenzada con el proyecto IUTA 2019 y posteriormente IUTA 2021 pero que aporta novedades sustanciales y significativas en lo que respecta a la utilización de nuevos materiales y nuevos equipos. Una vez obtenidos resultados sobre la trazabilidad de medidas obtenidas con equipos 3D sin contacto y de las geometrías óptimas para estas tecnologías, ahora se investigan los mejores materiales para la fabricación de elementos de referencia y patrones de calibración para dichos equipos. La experiencia obtenida previa nos ha permitido ahora plantear, en este proyecto, la caracterización óptica superficial de un artefacto fabricado con múltiples materiales y/o acabados superficiales.

También se ha buscado realizar una comparativa entre distintas tecnologías de medición disponibles (triangulación láser CMM, láser de brazo articulado CMA y luz estructurada) y su precisión metrológica respecto a una referencia, a saber, certificado de calibración de las esferas de medición o calibración interna mediante máquina de medir por coordenadas fijas (CMM). Algunos de estos equipos los han aportado las empresas colaboradoras, mientras que otros han sido aportados por los miembros del equipo de investigación, equipo formado por personal de Uniovi e investigadores de la Universidad de León, con los que se viene colaborando desde hace tiempo, tanto en proyectos I+D+i del Plan Nacional, como en convocatorias anteriores del IUTA. Los recursos existentes en ambos grupos de investigación son complementarios y todos ellos se han puesto al servicio del presente proyecto.

Además, aprovechando la recopilación de datos de diversos equipos y tecnologías, se ha realizado una comparativa sobre los distintos filtros de eliminación de outliers a aplicar sobre las nubes de puntos generadas y cómo estos afectan a los resultados finales de los parámetros. De esta forma es posible adaptar qué filtro será recomendable aplicar en función del material que se escanee y la tecnología con la que se haga.

Para esta comparativa se ha utilizado una colección de 13 esferas de precisión de diferentes diámetros divididas en 4 tipos: metálicas pulidas, metálicas arenadas, metálicas recubiertas y cerámicas.

Además, se cuenta con la colaboración de la empresa DOGRAM Ingeniería de documentación tridimensional S.L. que aporta dos equipos más para la caracterización: un escáner de luz estructurada y un láser de brazo articulado, ambos con una mayor potencia que los disponibles en el laboratorio. También hemos contado con la colaboración de la empresa ISM3D para la calibración y certificación de algunas de las esferas de precisión utilizadas.

3.2 Objetivos iniciales del proyecto y grado de consecución

El objetivo principal de este proyecto ha estado focalizado en la caracterización metrológica de diversos artefactos de precisión, fabricados con diferentes materiales y con diferentes acabados superficiales. Se trataba de identificar su grado de validez e idoneidad como elementos de referencia en aplicaciones de metrología sin contacto e ingeniería inversa. Se ha planteado llevar a cabo la caracterización metrológica mediante equipos de escaneado 3D con y sin contacto. En concreto las mediciones por contacto (en Máquina de Medir por Coordenadas, MMC) de dichos elementos se han utilizado como medidas de referencia dada su alta precisión. Posteriormente se han medido con diversos equipos ópticos, incorporando al proyecto diferentes tecnologías. Puede decirse que este

objetivo principal ha permitido alcanzar, en un completo grado de consecución, los objetivos parciales de interés tecnológico que se habían establecido:

- Determinación del grado de influencia de diferentes materiales y acabados superficiales en la obtención de nubes de puntos mediante diversas técnicas de escaneo 3D.
- Disposición de una geometría unificada de patrón, pero con múltiples materiales, que puede conformar un mapa de propiedades ópticas de diferentes acabados superficiales.
- Evaluación de los distintos equipos de ingeniería inversa que se emplearon a partir de características GD&T con cada uno de los materiales incorporados al patrón.
- Comparación de las capacidades de medida de los equipos empleados para la evaluación metrológica de elementos de precisión con diferentes acabados superficiales.

El proyecto está completamente acabado habiéndose conseguido, por tanto, la caracterización metrológica de las diferentes esferas empleadas en la investigación a partir de haber cuantificado los parámetros definidos. Se puede afirmar, de esta manera, que los datos recogidos en cuanto al número de puntos capturados, las desviaciones en diámetro observadas entre las diferentes esferas, el error de forma de las propias esferas y los valores de desviación estándar de las nubes de puntos (respecto de las esferas de mejor ajuste) han permitido, entre otros, cualificar y cuantificar el grado de influencia de los materiales empleados y comparar las capacidades de los diferentes equipos de medida.

3.3 Tareas realizadas

El proyecto se ha estructurado y planificado de acuerdo con las siguientes actividades o tareas:

- T.1.- Estudios Previos. Tecnologías de digitalizado e Ingeniería Inversa sin contacto. Normativa y procedimientos de calibración de los equipos disponibles. Propuesta de materiales y acabados.
- T.2.- Diseño, fabricación y montaje del patrón multi-materiales.
- T.3.- Calibración del patrón (CMM por contacto) y generación de CAD cuasi-real.
- T.4.- Digitalización de los diferentes materiales del patrón con las tecnologías disponibles.
- T.5.- Generación de resultados. Análisis y Comparativa (ajuste de las nubes de puntos al CAD cuasi-real).

Una vez actualizado el conocimiento relativo a los procesos de inspección sin contacto y a los distintos softwares empleados en cada tecnológica disponible se formó al becario en la normativa de calibración actual (relativa a medición por coordenadas), así como en los procedimientos de cálculo y expresión de incertidumbre de medida en calibración. Posteriormente se procedió al diseño, fabricación y montaje del conjunto de los elementos de precisión que se estudiaron. Se comenzó localizando y recopilando las esferas que serían objeto del experimento, buscándose la mayor variedad de materiales, tamaños y acabados superficiales habituales en la industria tanto metrológica como de fabricación actual. Finalmente se seleccionan 13 esferas de diámetros muy similares (Figura 1), desde 18 mm hasta 30 mm, que se pueden clasificar en 4 tipos: esferas metálicas con pulido espejo (1 y 2), esferas de material cerámico (3, 4, 5 y 6), esferas metálicas con recubrimiento mate (7 y 8) y esferas metálicas arenadas (9, 10, 11, 12 y 13).

Para cada una de las esferas se llevó a cabo una medición por contacto con la Máquina de Medición por Coordenadas (CMM) según norma para determinar, con la menor incertidumbre posible, sus parámetros de referencia: diámetro y error de forma. Cabe destacar en este punto la conveniencia

de realizar una limpieza de la esfera a medir con un paño de microfibra e isopropanol para eliminar cualquier resto de polvo e impurezas que pudiera afectar a los resultados.

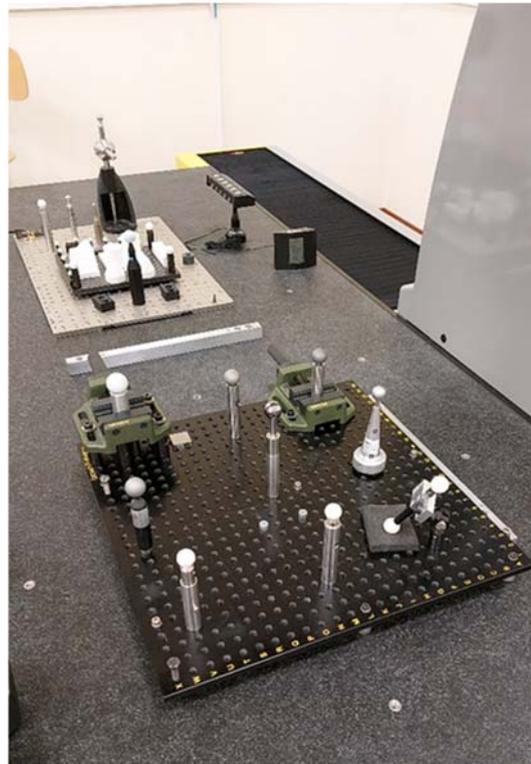


Figura 1. Disposición de esferas patrón multi-materiales en la CMM

Este proceso implicó hacer análisis estadístico usando procedimientos de minimización de errores. Con objeto de analizar posteriormente los distintos equipos, no solo evaluando los elementos de forma individual sino con tolerancias entre ellos, generando un nuevo CAD (CAD cuasi-real). Este CAD se obtiene modificando el anterior, de forma que se ajusten las dimensiones de los elementos y sus distancias, a las reales (medidas por contacto). Esto permite la evaluación de los distintos equipos de ingeniería inversa (hardware + software) mediante la comparativa CAD.

Para las esferas que poseen certificado de calibración de un laboratorio externo, en este caso la empresa colaboradora ISM3D, se toman sus resultados como valor de referencia para el resto del estudio.

A continuación, se llevan a cabo todos los ensayos de validación del patrón empleando las tecnologías ópticas elegidas (sensores laser de triangulación fijos y móviles y escáner de luz estructurada). Se generaron diferentes nubes de puntos cuyos resultados se analizaron desde la perspectiva de diferentes parámetros metrológicos ya mencionados, los diámetros, los errores de forma y las desviaciones típicas alcanzadas. Todos estos datos permitieron crear un mapa de resultados en función del material utilizado en cada elemento y de su acabado superficial pudiendo realizar, además, comparativas entre los equipos ópticos empleados en la experimentación. Se analizó la bondad y calidad (grado de aproximación al valor real) de las nubes de puntos para las entidades independientes, así como para la nube de puntos global, de todas las entidades, respecto al CAD-cuasi real (CAD compare).

Los equipos empleados durante la experimentación (Figura 2) han sido:

- Máquina de medir por coordenadas (CMM), modelo DEA Global Image 091508 disponible en el Laboratorio de Metrología del Departamento de Construcción e Ingeniería de Fabricación. Los palpadores de contacto que se emplean son de la marca Renishaw, modelo SP25.

- Sensor láser con tecnología de punto de intensidad variable integrado en la Máquina de Medir por Coordenadas, modelo HP.L 10.6 de la marca Hexagon Metrology.

- Sensor láser con tecnología de haz de cortina integrado en un brazo de medición por coordenadas (AACMM). El modelo del brazo es el ROMER Sigma 2018 y el sensor es el R-SCAN.

- Escáner de luz estructurada EinScan-SP de la marca Shining 3D.

- Sensor láser Scanner RS6 de Hexagon montado en el brazo de medición por coordenadas Absolute Arm 8525 de Hexagon.

- Escáner de luz estructurada portátil Artec 3D LEO

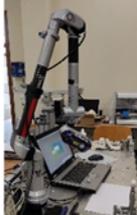
DEA Global Image (CMM)	Laser triangulation Scanner mounted on CMM (LS-CMM)	Laser triangulation Scanner mounted on Coordinate Measuring Arm (LS-CMA)	Articulated arm laser Romer Sigma R-SCAN (ARM-LS 1)	Structured Light scanner (SL)
				
DEA Global Image 091508	HP-L-10.6® from Hexagon Metrology	RS6 Laser Scanner mounted on Absolute Arm 85 from Hexagon Metrology	R-SCAN from Romer Sigma	EinScan-SP from Shining 3D
Dimensions: X900-Y1500-Z800	Data rate: 30,000 pts/s	Data rate: 1,200,000 pts/s Points per line: max. 4000	Data rate: 30 lines/s Max. points per line: 640	White light Distance of points: 0,17 to 0,20 mm Scanning velocity: <1 s
Scanning Probe: Renishaw SP25	Stand-off and DOF: 170 ± 30 mm	Stand-off and DOF: 165 ± 50 mm Min. point spacing: 0.027 mm	Scanning distance: 124 - 222 mm Min. point spacing: 0.100 mm	Min. scanning volume: 30 x 30 x 30 mm Max. scanning volume (turning platform): 200 x 200 x 200 mm (without scanning platform): 1200 x 1200 x 1200 mm
MPE _E [μm] = 2.1 + 0.003 L, L in [mm] MPE _p = 2.1 μm	Lines per second (max.): 53 Hz Laser line width: 24, 60 y 123 mm	Line rate: max. 300 Hz Line width (mid.): 150 mm	Max. laser line length: 110 mm	Acquisition system: 2 Cameras Resolution: 1,3 Mpx (per camera)
Calibration Certificate ENAC according to ISO 10360-2	PForm.Sph.D95%:Tr:ODS (MPL) Probe dispersion value: 34 μm PForm.Sph.1 × 25:Tr:ODS (MPE) Probing form error: 22 μm	PForm.Sph.1 × 25:ODS (MPE) Probing form error: 0.026 mm (2S) L.Dia.5 × 25:Art:ODS (MPL) Articulated location value: 0.064 mm	Probing error (MPE): 0.044 mm	One shot precision: <0.050 mm Working distance: 290 to 480 mm

Figura 2. Equipos empleados durante la experimentación

Para un mejor entendimiento se muestra a continuación (Figura 3) una representación gráfica de la metodología seguida en la experimentación

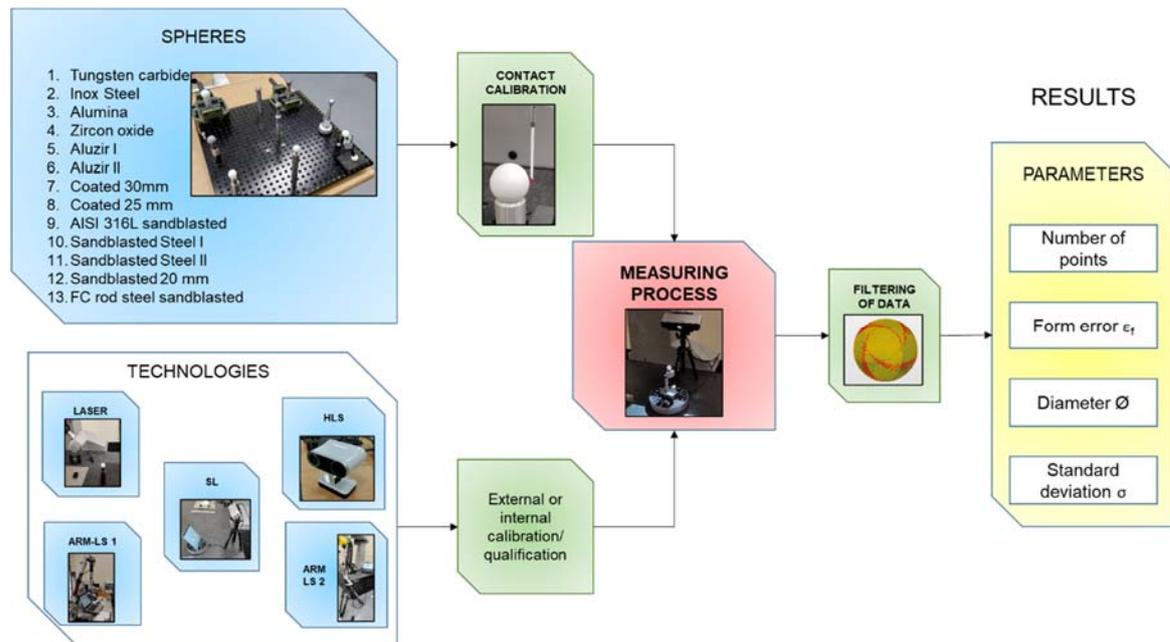


Figura 3. Metodología experimental del proyecto

3.4 Resultados obtenidos

La experimentación ha conllevado la obtención de una importante y extensa cantidad de datos como consecuencia de haber empleado cinco equipos de medición (dos tecnologías: Láser y luz estructurada) sobre un total de 13 elementos de precisión. Además, se han evaluado y cuantificado cuatro parámetros (número de puntos, error de forma, diámetro y desviación estándar) y se han estudiado siete posibilidades de filtrado (filtro sigma) sobre el error de forma obtenido en cada una de las tecnologías utilizadas, por lo que adicionalmente se dispone de información suficiente y relevante para la consecución de los objetivos planteados.

Por esta razón se presentan, únicamente a modo de ejemplo, algunos de los resultados más significativos alcanzados en el proyecto y que permiten obtener la caracterización metrológica de las esferas de precisión empleadas. Además, se han observado durante el desarrollo del estudio otros puntos de interés a destacar, como la cuantificación de la evolución tecnológica en dos equipos de la misma tecnología, pero de diferentes generaciones, y como la imposibilidad de obtener datos en acabados superficiales demasiado brillantes o reflectantes.

En primer lugar, cabe reseñar la importancia de la aplicación de filtros a la nube de puntos obtenida mediante el escaneado. El filtro aplicado funciona de tal forma que rechaza o elimina los puntos más alejados del diámetro medio, es decir, que se sitúan en los extremos de la campana de Gauss de la distribución en función de un múltiplo de veces el valor de sigma. Este filtrado es más restrictivo (en el sentido de que se rechazan cada vez más puntos) a medida que el múltiplo de sigma es más cercano a 0, quedándose con los valores a una distancia menor que el múltiplo de la desviación típica elegido del valor del diámetro medio: Por ejemplo, para un filtro 2σ se rechazarán todos los puntos cuyo diámetro esté fuera del intervalo $(dm - 2\sigma, dm + 2\sigma)$. Un filtro por encima de 6σ dejaría la nube intacta, con prácticamente todos los puntos.

En la siguiente figura (Figura 4) se muestran vistas cenitales de la nube de puntos obtenidas con el sensor láser CMM en un escaneado automatizado con cuatro orientaciones. En ellas se observa el

efecto sobre ellas de la aplicación de los distintos filtros, de menos estricto a más estricto, basados en la desviación típica. En rojo los puntos que se rechazan y en azul los que se toman.

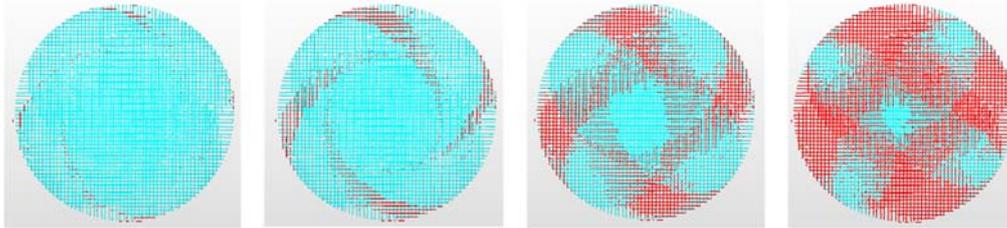


Figura 4. Nubes de puntos obtenidas en escaneado automatizado (CMM) en función de los filtros aplicados

En segundo lugar, señalar la diferencia encontrada en cuanto a capacidad de captura de puntos de los distintos equipos. Por un lado, el número de puntos capturados por el escáner de luz estructurada ha sido muy superior al número de puntos capturados por el sensor láser CMM de punto alternativo e incluso por el sensor láser montado sobre el brazo articulado. Cabe, no obstante, destacar que, debido a su carácter de manejo manual, el número de puntos de este último es más dependiente de la pericia o habilidad del operario, pudiéndose generar superficies de puntos repetidos con mucha facilidad, de ahí la diferencia de la magnitud de la nube de este equipo si se escanea varias veces la misma zona de la esfera. En todo caso, la superioridad de los equipos más modernos en cuanto al volumen de captura de datos se puede observar en la figura 5, donde a modo de ejemplo para la esfera de acero inoxidable AISI 316L tratada superficialmente, el láser RS6 y el equipo propio de luz estructurada son capaces de capturar un mayor número de puntos.

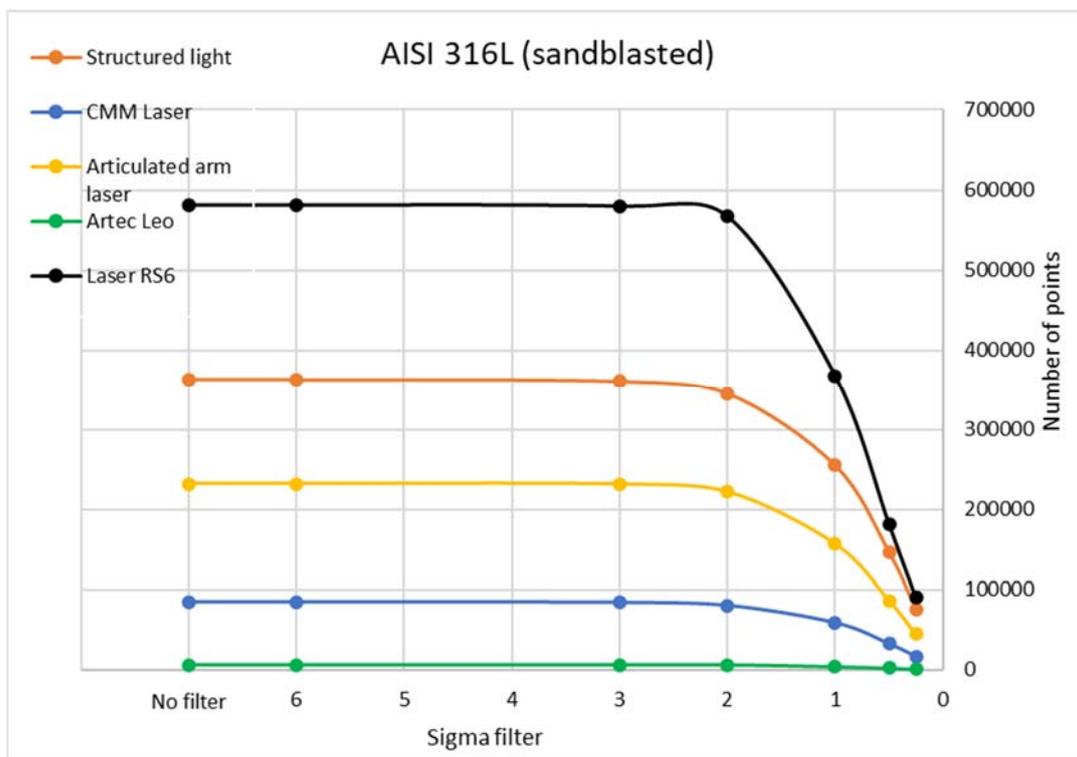


Figura 5. Número de puntos capturados por cada equipo en función del filtro aplicado sobre la esfera arenada de acero AISI 316L y diámetro 25 mm

En tercer lugar, en cuanto a las mediciones realizadas sobre el diámetro de las esferas de precisión se puede observar que, para prácticamente todas las esferas, el filtro es mucho menos influyente que

lo observado en el número de puntos. De hecho, dependiendo de la esfera unos equipos obtienen valores de diámetro superiores e inferiores al nominal en una franja de valor en torno a 0.05 mm, y en algún caso valores muy alejados del nominal (0.35 mm). En la figura 6 se muestran los resultados obtenidos para la esfera de 25,486 mm fabricada en acero recubierto.

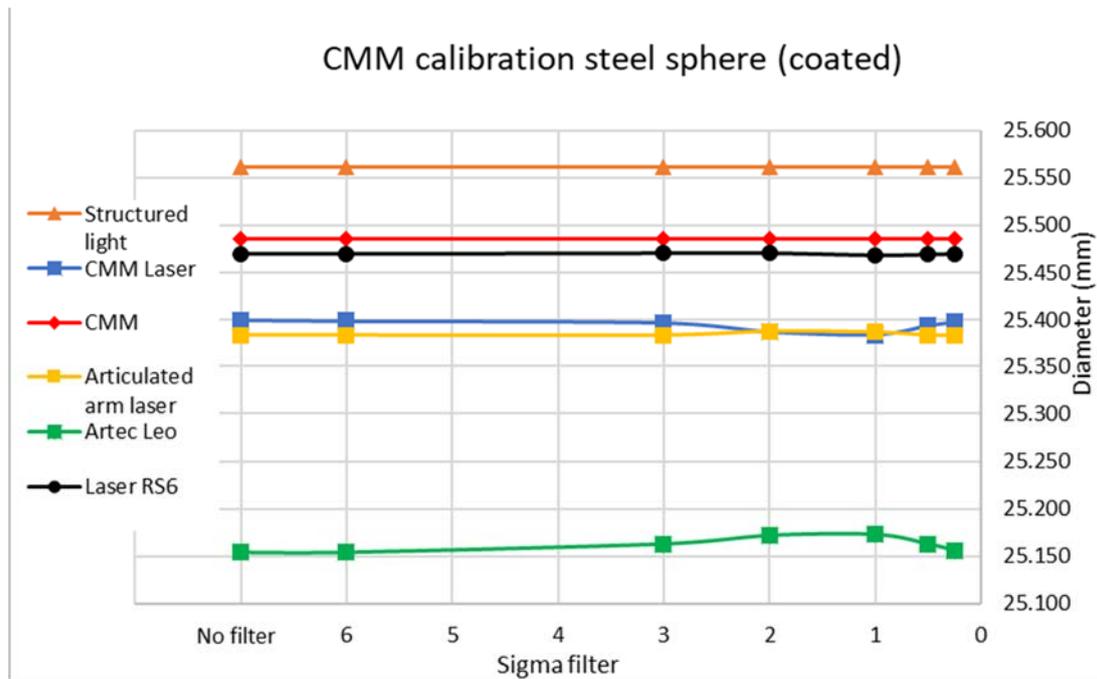


Figura 6. Diámetro obtenido por cada equipo en función del filtro aplicado para la esfera de acero recubierto de 25,486 mm de diámetro.

En cuarto lugar, se realizó un análisis de resultados del error de forma de las nubes obtenidas con los equipos de medición. Este parámetro muestra la distancia existente entre los puntos más alejados, tanto por exceso (diámetro mayor) como por defecto (diámetro menor), dentro de la distribución de cada nube de puntos.

La comparación de los valores de errores de forma de todos los equipos puede verse en la figura 7 que se adjunta a continuación. En esta gráfica se representan todas las tecnologías escaneando los distintos materiales y ordenándolos por acabado superficial. Ya que la gráfica representa el error de forma (definido como desviación entre el máximo y el mínimo diámetro) se puede observar que algunas tecnologías no son capaces de captar puntos sobre la superficie de las esferas con materiales de acabado especular, quedando reflejado en la gráfica como valores de desviación infinita. Una observación destacable es que el sensor Artec Leo, siendo el más novedoso, es el equipo que suministra peores datos en cualquiera de las esferas evaluadas ya sea por tipo de material o por acabado. Sin embargo, cabe señalar que es capaz de captar datos en una de las esferas pulidas espejo. Por otra parte, el equipo Laser RS6 es el que presenta los mejores datos con independencia del tipo de material y del acabado superficial de la esfera. De hecho, es también el equipo que proporciona los valores de error de forma más homogéneos entre todas las esferas. Si el análisis lo hacemos teniendo en cuenta los materiales, debemos señalar que los más favorables para la inspección láser, como son los cerámicos y aceros arenados, el sensor más antiguo (R-Scan) oscila entre 170 y 300 μm de diferencia entre los puntos más extremos de la nube, mientras que el más moderno (Laser RS6) no sobrepasa 85 μm de variación. Además, en la esfera de mayor calidad (Aluzir N^o5) se queda en solo 30 μm de error de forma.

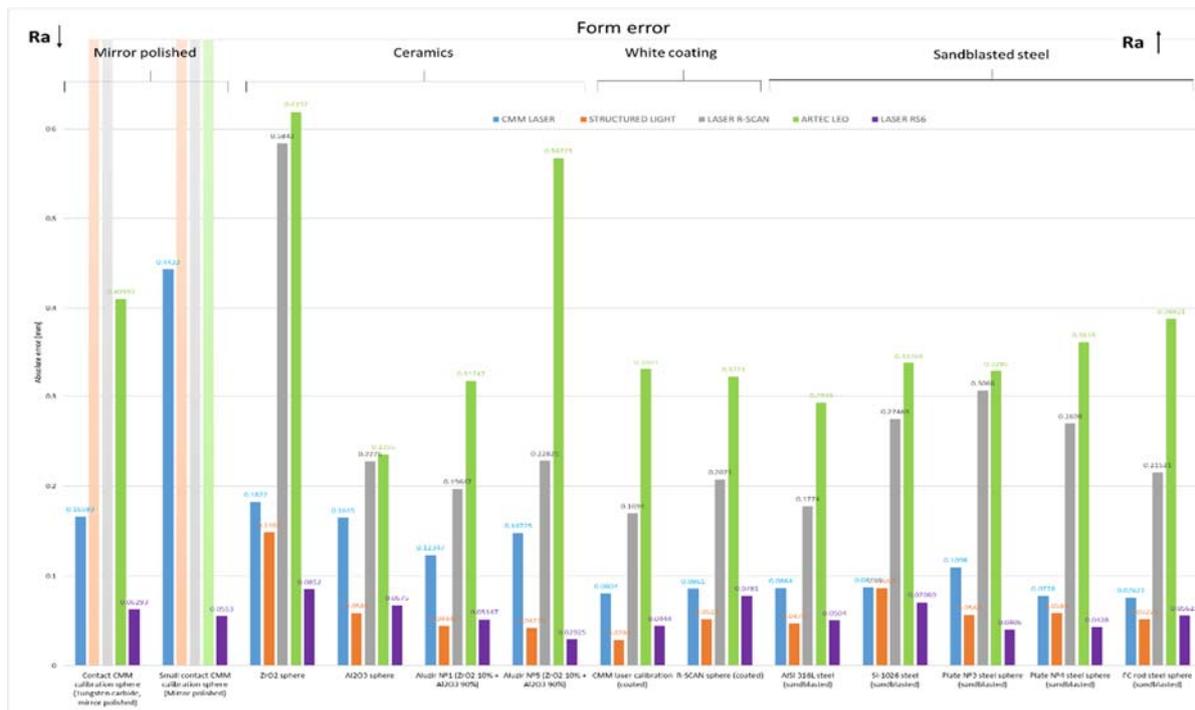


Figura 7. Comparación del error de forma con respecto al diámetro calibrado de todas las esferas obtenidos con todos los equipos

Por último, hay que señalar que también se ha realizado un análisis de la desviación estándar de las nubes de puntos, lo que permite cuantificar cómo de dispersos están los puntos capturados alrededor del diámetro medio de cada nube original. En las figuras siguientes se representan los valores de desviación estándar por tipo de tecnología, los dos equipos de luz estructurada en la figura 8 y los tres equipos láser en la figura 9. En ambos gráficos se representan los valores obtenidos para las diferentes esferas de precisión evaluadas, si bien hay que reseñar que al igual que en la gráfica de error de forma hay equipos, EISCAN y LASER R-SCAN, que muestran valores de desviación estándar en las esferas de acabado especular tendentes a infinito (por no registrar ningún punto).

Si no consideramos entonces las esferas de acabado pulido, que como ya se ha mencionado generan problemas en la captura de puntos, es significativa la diferencia de valores de desviación estándar existente entre los dos equipos basados en tecnología de luz estructurada. El equipo más novedoso, ARTEC 3D LEO, ha registrado un valor medio de desviación estándar entre todas las esferas de 0.089 mm, mientras que el equipo EINSKAN este valor apenas alcanza los 0.016 mm. Por otro lado, también se observan diferencias significativas entre los equipos láser, siendo el RS6 el que registra los mejores valores y el R-SCAN los peores. Entre ambos láseres de tipo cortina se sitúa el láser de punto alternativo (LASER MMC), donde se ve una tendencia más acentuada en la mejora de las nubes capturadas a medida que aumenta la rugosidad superficial del material escaneado. En cualquier caso, los valores de desviación estándar obtenidos mediante esta tecnología en cualquiera de los equipos utilizados son inferiores a los obtenidos mediante luz estructurada. En la aplicación práctica de este sensor, esta pérdida de precisión se compensa con que es el único equipo pensado para automatización del escaneado, tratamiento de la nube y medición, de todos los sensores existentes en el mercado.

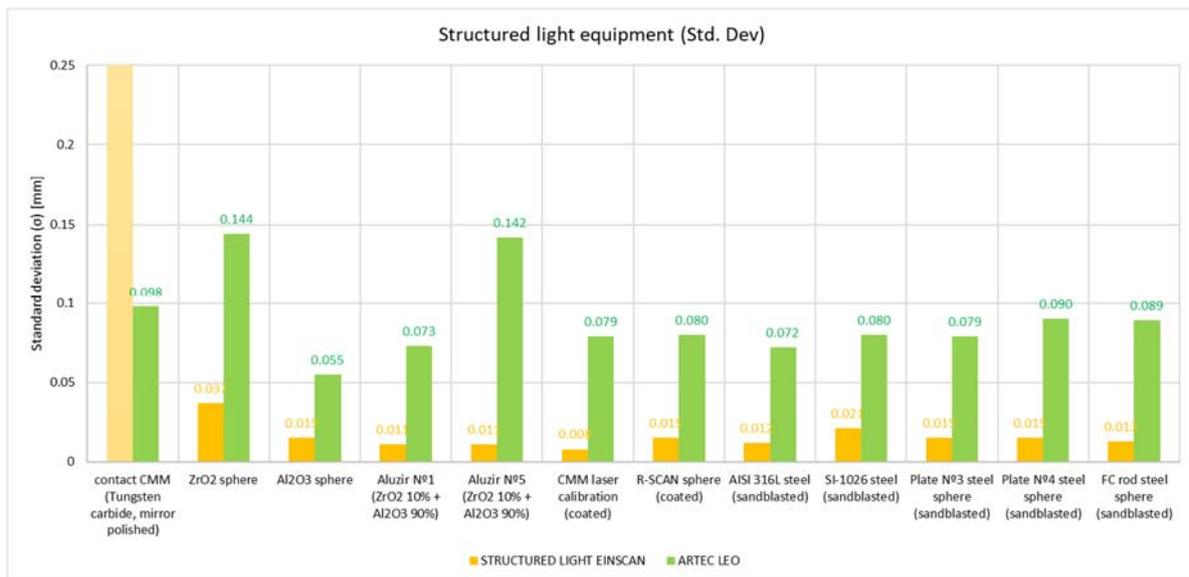


Figura 8. Desviación estándar de las nubes de puntos en bruto obtenidas para cada esfera con los equipos de luz estructurada

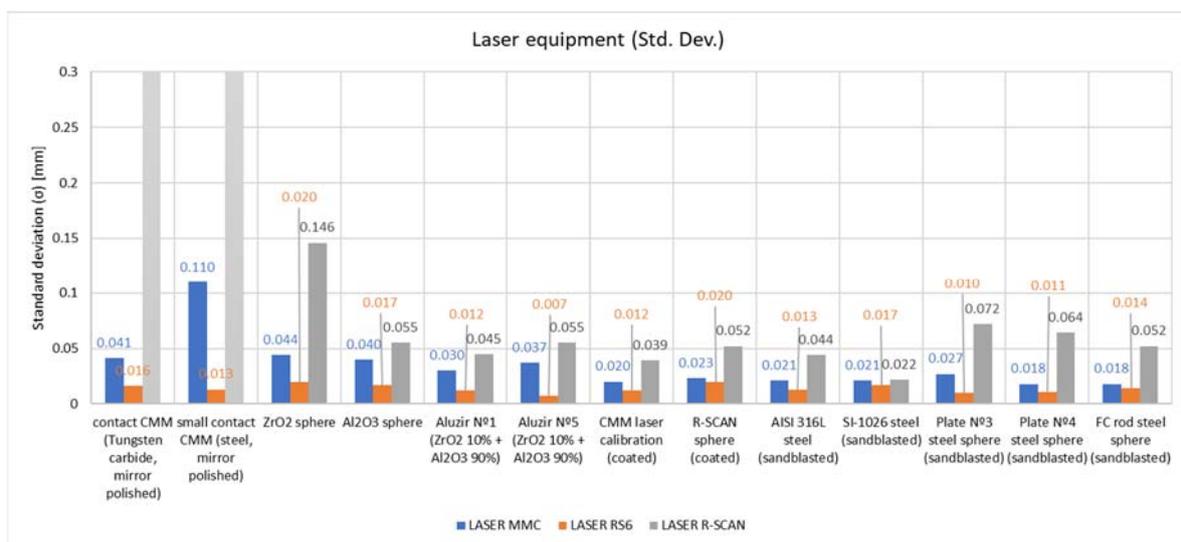


Figura 9. Desviación estándar de las nubes de puntos en bruto obtenidas para cada esfera con los equipos láser

3.5 Trabajos o necesidades futuras

Se puede decir claramente que hay recorrido investigador a la hora de conseguir los mejores elementos de referencia para calibración, verificación y ajuste de equipos ópticos y de ingeniería inversa. Al margen de la posibilidad de extensión de la investigación a otros materiales, una extensión clara de la investigación en trabajar con distintos acabados, sobre todo en lo que respecta a procesos de modificación de calidad superficial, tipos de recubrimientos y forma de aplicación. El añadir nuevos materiales para elementos de referencia resulta muy difícil pues el mercado no provee actualmente de otros diferentes a los aquí incluidos, lo que obligaría a encargar mecanizados (y acabados) específicos con el coste que eso supone, y con la incertidumbre en la consecución final de alta precisión (bajo error de forma) necesario. En lo que respecta a acabado, aprovechando los materiales existentes (p.e. aceros) una línea de investigación futura puede ser el ataque químico controlado, que maximice

la pérdida de brillo sin pérdida de precisión dimensional. Otra línea puede ser el desarrollo, y paralelamente el uso, de técnicas de recubrimiento específicas, que consigan las propiedades ópticas deseadas (mate, blanco o gris, etc.). Tal es el caso de recubrimientos (como BONDERITE®) y/o procesos asociados (electrodeposición, proyección de spray, inmersión, etc.) que apliquen dichos recubrimientos con capa micrométrica de polímeros, Óxido de Titanio, Oxido de Zirconio, etc.

Otro trabajo futuro muy interesante, derivado de esta investigación, es la aplicación de estas esferas como elementos de referencia (dianas) a patrones de mayor tamaño, donde materialicen distancias, cuadraturas, etc. con alta precisión en procedimientos de calibración de equipos fotogramétricos, laser Tracker, distanciómetros laser y similares. Equipos con alcances muy elevados, entre 2 m. y hasta 160 m.

3.6 Divulgación de los resultados

Al igual que en ediciones anteriores, una parte importante del trabajo de investigación está sirviendo de base para la elaboración de un artículo a publicar en una revista indexada (JCR, SCR). Una vez se finalice el artículo se decidirá la revista, si bien entendemos que podría encajar perfectamente en el "scope" de revistas relevantes como "Sensors" (MDPI), de "Optics and Lasers in Engineering" (Elsevier) o de "The International Journal of Advanced Manufacturing Technology" (Springer).

Por otro lado, se ha enviado un resumen al congreso MESIC-2023, organizado por la Sociedad de Ingeniería de Fabricación (10th Manufacturing Engineering Society International Conference, Gijón, Seville, 28-30 June 2023). En el correspondiente apartado de "Acknowledgements" se hará referencia expresa a la ayuda concedida. El título y los autores son:

"Characterisation of the performance of a structured light digitising sensor by using different materials and surface finishes", Pablo Zapico, Eduardo Cuesta, Víctor Meana, Germán Suárez, Sabino Mateos, Pablo Rodríguez.

4. Memoria económica

4.1 Gastos:

Incluir los gastos asociados al proyecto: personal del contratado IUTA u otras personas colaboradoras, materiales utilizados, amortización de equipos durante el proyecto, ...

Concepto	Gasto
Personal (IUTA)	3.882 €
Fungibles (mecanizado de accesorios)	1.200 €
Amortización (CMM y software)	1.500 €
Certificados calibración (externos)	1.800 €
TOTAL GASTOS	8.382 €

4.2 Ingresos:

Incluir la financiación del proyecto: ayuda del IUTA, ingresos aportados por entidades colaboradoras, financiación propia, ...

Entidad/Empresa financiadora Ref. Proyecto/Contrato	Concepto	Ingreso
Ayuda IUTA	Becario (6 meses)	3.882 €
TOTAL INGRESOS		3.882 €

5. Bibliografía

1. E. Cuesta, J.M. Suarez-Mendez, S. Martínez-Pellitero, J. Barreiro, B.J. Alvarez, P. Zapico, *Metrological evaluation of Structured Light 3D scanning system with an optical feature-based Gauge*, *Procedia Manufacturing* 13, 526-533, 2017. (ref. SV-16-GIJON-1-04 y SV-17-GIJON-1-14).
2. Susana Martínez-Pellitero, Eduardo Cuesta, Sara Giganto, Joaquín Barreiro, *New procedure for qualification of structured light 3D scanners using an optical feature-based gauge*, *Optics and Laser in Engineering*, Vol. 110, 193-206, 2018. (ref. SV-17-GIJON-1-14)
3. Sara Giganto; Susana Martínez-Pellitero; Eduardo Cuesta; Víctor M. Meana; Joaquín Barreiro, *Analysis of Modern Optical Inspection Systems for Parts Manufactured by Selective Laser Melting*, *Sensors*, 2020, 20 (11), 3202 (Ref. SV-19-GIJON-1-14)
4. E. Cuesta, S. Giganto, B.J. Alvarez, J. Barreiro, S. Martínez-Pellitero, V. Meana, *Laser line scanner aptitude for the measurement of Selective Laser Melting parts*, *Optics and Lasers in Engineering*, 2021, 138, 106406 (Ref. SV-19-GIJON-1-14)
5. Meana, V., Cuesta, E., Álvarez, B.J., *Testing the Sandblasting Process in the Manufacturing of Reference Spheres for Non-Contact Metrology Applications*, *Materials*, 2021, 14, 5187 (Ref. SV-21-GIJON-1-06)