

PROYECTOS DE INVESTIGACIÓN 2021

INFORME DEL PROYECTO REF. SV-21-GIJON-1-06

1. Datos del proyecto

Título: MODIFICACIÓN DEL ACABADO SUPERFICIAL EN ESFERAS DE PRECISIÓN DE BAJO COSTE PARA SU USO COMO ELEMENTOS DE REFERENCIA EN METROLOGÍA SIN CONTACTO E INGENIERÍA INVERSA

Fechas inicial y final del proyecto: 01/10/21 - 31/12/21

Investigador/a Principal: Víctor Manuel Meana Díaz

Otros investigadores: Eduardo Cuesta González (Univ. Oviedo), Sara Giganto Fernández (Univ. León)

Personal contratado: Pelayo Felgueroso Coto, Juan Valdés Contreras

Fechas inicial y final de contratación: 01/10/21 - 31/12/21

Empresas o instituciones colaboradoras: ISM3D S.L. (INGENIERÍA Y SERVICIOS DE METROLOGÍA TRIDIMENSIONAL S.L.), DOGRAM Ingeniería de documentación tridimensional S.L.

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 objetivo usual de 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.

Con objeto de asegurar las mediciones que se pueden hacer con tecnologías de metrología sin contacto, es necesario utilizar procedimientos de verificación y calibración utilizando artefactos de precisión como elementos de referencia. En este entorno, las necesidades de artefactos de calibración cada vez más precisos, pero también más económicos, son una demanda clara en la industria.

En este trabajo, por tanto, se pretende poner de manifiesto la viabilidad del uso de esferas de precisión de bajo coste como artefactos de referencia en procedimientos de calibración y verificación de equipos metrológicos sin contacto. En concreto, como artefactos de referencia, se utilizaron esferas de acero inoxidable comerciales como las empleadas en la industria del rodamiento. Estas esferas se fabrican, por defecto, con una precisión suficiente para el ámbito de los equipos sin contacto y de ingeniería inversa. Esta precisión, sin embargo, implica un acabado superficial tan bajo que lo imposibilita como patrón óptico. Obviamente, para que este tipo de esferas puedan ser usadas como artefactos patrón, es necesario cambiar su comportamiento óptico, eliminando su alto brillo y modificando su acabado superficial. Este acabado superficial no debe alterar su error de forma hasta el punto de perder su capacidad de ser elemento de referencia. Para ello las esferas han sido sometidas a procesos mecánicos, como el arenado semiautomático y químicos, como el decapado, también de bajo coste. En este trabajo se pretende validar dos procesos, uno mecánico y otro químico, como procesos modificadores del estado superficial de esferas de precisión, con el fin de que estas esferas puedan ser usadas como artefactos de referencia para tareas de ajuste, verificación y/o calibración de sensores ópticos y equipos de ingeniería inversa sin contacto

La experimentación que se lleva a cabo en este proyecto alcanza desde la fabricación de los conjuntos de esferas hasta las evaluaciones de dichas esferas una vez tratadas mecánicamente y químicamente. El equipo que se ha utilizado para validar la experimentación es un sensor de triangulación láser montado en una máquina de medir por coordenadas (CMM). El palpado por contacto en la CMM, de mucha mayor precisión, es el que sirve como equipo para medir la influencia de los tratamientos superficiales que se aplicaron posteriormente en las esferas, contrastando también la influencia de dichos postprocesos, pero ahora con el sensor láser de triangulación. En última instancia se ha comprobado la mejora de la calidad de las nubes de puntos obtenidas por el sensor láser cuando se eliminan brillos que distorsionan y reducen la cantidad y calidad de las nubes de puntos. Los parámetros que se utilizan para el estudio del efecto de los tratamientos en las esferas, tanto en palpado por contacto como en el escaneado láser son, además del número de puntos obtenidos, los diámetros, los errores de forma, y la desviación estándar de la nube sobre la esfera de mejor ajuste.

3.2 Objetivos iniciales del proyecto y grado de consecución

El objetivo principal que se pretende alcanzar es que el proyecto identifique la validez y el grado de idoneidad de tratamientos superficiales de bajo coste sobre bolas de acero inoxidable, también de bajo coste, para su uso como elementos de referencia en aplicaciones de metrología sin contacto e

ingeniería inversa. No obstante, para el alcance de este objetivo principal, el trabajo de investigación nos permitirá alcanzar una serie de objetivos parciales de interés tecnológico, tales como:

- Los efectos de procesos mecánicos, manuales o semiautomáticos, y químicos sobre los parámetros de referencia (errores de forma, diámetros, número de puntos obtenidos y desviación estándar de la nube de puntos sobre la esfera de mejor ajuste).
- La posible influencia de los procesos sobre esferas de distintos diámetros, como elementos de referencia.
- La definición de los parámetros de los procesos, tanto mecánico como químico (tiempo de incidencia, presión, tamaño de abrasivo (arenado), orientación, concentración de la disolución, tiempo de exposición, etc.) que validen dichos tratamientos.
- El establecimiento de una metodología a seguir en las mediciones, tanto por contacto como sin contacto, incluyendo un análisis estadístico de los datos obtenidos.
- La influencia de la aplicación de filtros de los sensores ópticos sobre la calidad de las nubes de puntos que se obtienen.

El proyecto está completamente acabado, los resultados ofrecen mejoras muy notables de la calidad de las nubes de puntos capturadas con el láser, acercándose a los valores reales de las esferas (los medidos por contacto). No obstante, esta mejora difiere según los diámetros y sobre todo según el tipo de postprocesado utilizado. Siendo mejor los resultados del arenado frente al ataque químico. Ya que, según los parámetros y factores concretos utilizados, las esferas tratadas químicamente han presentado un error de forma demasiado elevado para ser utilizadas como esferas de referencia, aun cumpliendo con la característica buscada de ofrecer un número suficiente de puntos en el escaneo láser.

3.3 Tareas realizadas

Para la consecución de los diferentes objetivos planteados anteriormente, el proyecto sigue la planificación establecida inicialmente habiendo desarrollado las siguientes actividades:

1. Estudios previos: Tecnologías de digitalizado e ingeniería inversa. Normativa y procedimientos de calibración. Ha sido una tarea básica y necesaria de aproximación al proyecto. En este paso se actualiza el conocimiento relativo a los procesos de inspección sin contacto y a los distintos softwares empleados. Se lleva a cabo una familiarización con la normativa de calibración actual (relativa a medición por coordenadas), así como con los procedimientos de cálculo y expresión de incertidumbre de medida en calibración.
2. Definición de criterios de medición y metodología de evaluación. Se han diseñado distintos modelos de placas (Figura 1) dotadas de un número suficiente de esferas del mismo diámetro (10 unidades por placa) para evaluar estadísticamente la influencia del proceso. En base a los diseños de las placas de esferas patrón se definirán los criterios a seguir en las mediciones tanto por contacto como sin contacto, estableciendo y registrando todos los parámetros empleados, los elementos utilizados para los ensayos y el procedimiento seguido.

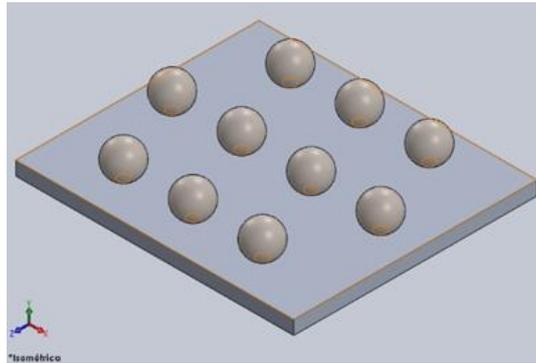


Figura 1. Diseño básico (CAD) de placa de esferas patrón.

3. Fabricación de los conjuntos. Para llevar a cabo la experimentación, se fabrican 6 conjuntos de placas con esferas, cada uno de los cuales consta de una pletina sobre la que se montan 10 esferas del mismo tamaño (tres tamaños diferentes). De esta forma, para la experimentación se dispone de 2 placas con esferas de 10 mm de diámetro, 2 placas con esferas de 18 mm y otras 2 placas con esferas de 25 mm. La disposición de las esferas y el montaje, idéntico en cada placa, facilita su manejo y permite la identificación unívoca de cada esfera en su posición.
4. Medición por contacto y sin contacto de las esferas originales. Las 60 esferas se midieron con la máquina de medir por coordenadas (CMM) obteniendo valores de referencia, tanto dimensionales como geométricos, de alta precisión. Adicionalmente, las 60 esferas se digitalizaron mediante el uso de técnicas de medición sin contacto basadas en el uso de un láser de triangulación, controlando la potencia en tiempo real y de forma automática.
5. Tratamiento superficial de las muestras. La mitad del total de las esferas (10 unidades de $\varnothing 10$ mm, 10 de $\varnothing 18$ mm y 10 de $\varnothing 25$ mm) se someten a un proceso de arenado con proyección de óxido de alúmina. A la otra mitad se les aplica un tratamiento químico, por medio de un baño en ácido. En ambos casos, se modifica el estado y acabado superficial de las esferas obteniendo conjuntos con menos brillo y diferente textura.
6. Medición por contacto y sin contacto de los todos los conjuntos tratados. Medición de todos los conjuntos arenados y de los tratados químicamente. Se han repetido los procesos de medición de las esferas una vez tratadas, haciendo uso de la máquina de medir por coordenadas (por contacto) y mediante el sensor láser de triangulación (sin contacto).
7. Análisis de resultados. Se ha llevado a cabo una comparación de los resultados obtenidos a partir de los conjuntos tratados mediante arenado y los conjuntos que han sido tratados químicamente. Para ello, se han comparado los valores de las medidas y tolerancias obtenidas a partir de las mediciones por contacto, así como de las nubes de puntos obtenidas a través de las mediciones sin contacto.
8. Elaboración de informe técnico y publicación de resultados. Se prepara, finalmente, el informe técnico que recoge la información obtenida durante el trabajo y documenta el proceso llevado a cabo durante la investigación. La documentación se estructura, organiza y archiva para la posible publicación de la experimentación en una revista indexada.

Para la medición por contacto del patrón se empleó la máquina CMM modelo DEA Global Image 091508 montada con el palpador Renishaw SP25 (tabla 1) y controlada a su vez mediante el software PC-DMIS 2018 R2. El palpador usado fue una esfera de 1.5 mm de diámetro de rubí montado sobre el cabezal SP25. La elección de esta punta se debe a que este tamaño de vástago y bola son idóneos para medir los tres tamaños de esferas sin cambiar de palpador y así asegurar una mayor uniformidad de los resultados obtenidos a través de los distintos conjuntos, intentando minimizar así factores externos en las mediciones.

El equipo usado para la medición sin contacto fue el sensor láser de triangulación de Hexagon Metrology, modelo HP-L-10.6® (tabla 1) montado en la Máquina de Medir por Coordenadas Dea Global Image 091508. El software de control en el cual se realizó el programa de medición fue el PC-DMIS 2018 R2. Las mediciones realizadas con el equipo laser tuvieron lugar en el mismo laboratorio que la medición por contacto y a una temperatura controlada de 20°C como indica la norma.

Tabla 1. Equipos usados en la investigación y características.

Máquina de Medir por Coordenadas (CMM)	Sensor Láser de Triangulación montado en Máquina de Medir por Coordenadas
DEA Global Image 091508	HP-L-10.6® de Hexagon Metrology
	
Dimensiones ejes: X: 900 mm Y: 1500 mm Z: 800 mm	Ratio de adquisición: 30000 ptos/s
Palpador: Renishaw SP25	Standoff: 170 ± 30 mm
MPEE [μm] = 2.1 + 0.003 L L en [mm].	Líneas por segundo: 53 Hz Ancho de línea: 24, 60 y 123 mm
Certificado Calibración ENAC según ISO 10360-2	PForm.Sph.D95%:Tr:ODS (MPL) Probe dispersion value: 34 μm PForm.Sph.1x25:Tr:ODS (MPE) Probing form error: 22 μm

Por otro lado, el diseño elegido para la materialización de las placas de ensayo ha sido el de una pletina base de acero inoxidable (AISI 316) sobre el que se han colocado 10 esferas de un mismo diámetro. Para evitar reflejos de la propia placa sobre las esferas, y con anterioridad a la realización de todas las mediciones, se procedió a arenarlas. El sistema elegido para la sujeción de las esferas a las placas fue el de atornillarlas. Las esferas de precisión fueron taladradas usando dos mordazas hemisféricas, de forma que la broca no produjo marcas ni deformaciones permanentes. Posteriormente cada agujero de la esfera fue roscado lo que permitió el montaje (atornillado) de las 10 esferas sobre cada placa. Todas las esferas utilizadas en la experimentación son de precisión, fabricadas en acero inoxidable AISI 316, de calidad grado G100, con una esfericidad menor de 2,5 μm y una rugosidad media aritmética $R_a < 0.1 \mu\text{m}$.

El primer equipo que se usó para la medición de los conjuntos fue la Máquina de Medir por Coordenadas (CMM). Con el fin de obtener los valores de referencia de los parámetros que más tarde se emplearon para realizar las comparativas, se llevó a cabo una medición por contacto de cada uno de los seis conjuntos de esferas. Se empleó un palpador con esfera de rubí de 1,5 mm de diámetro.

Posteriormente, se procedió a realizar las mediciones sin contacto de todos los conjuntos, para lo cual se empleó el equipo de triangulación láser HP-L-10.6 montado sobre la propia CMM. Para llevar a cabo esta tarea hubo que definir previamente el procedimiento de alineación y secuencia de la captura de puntos.

Para una mejor comprensión de la metodología utilizada se acompaña la figura 2.

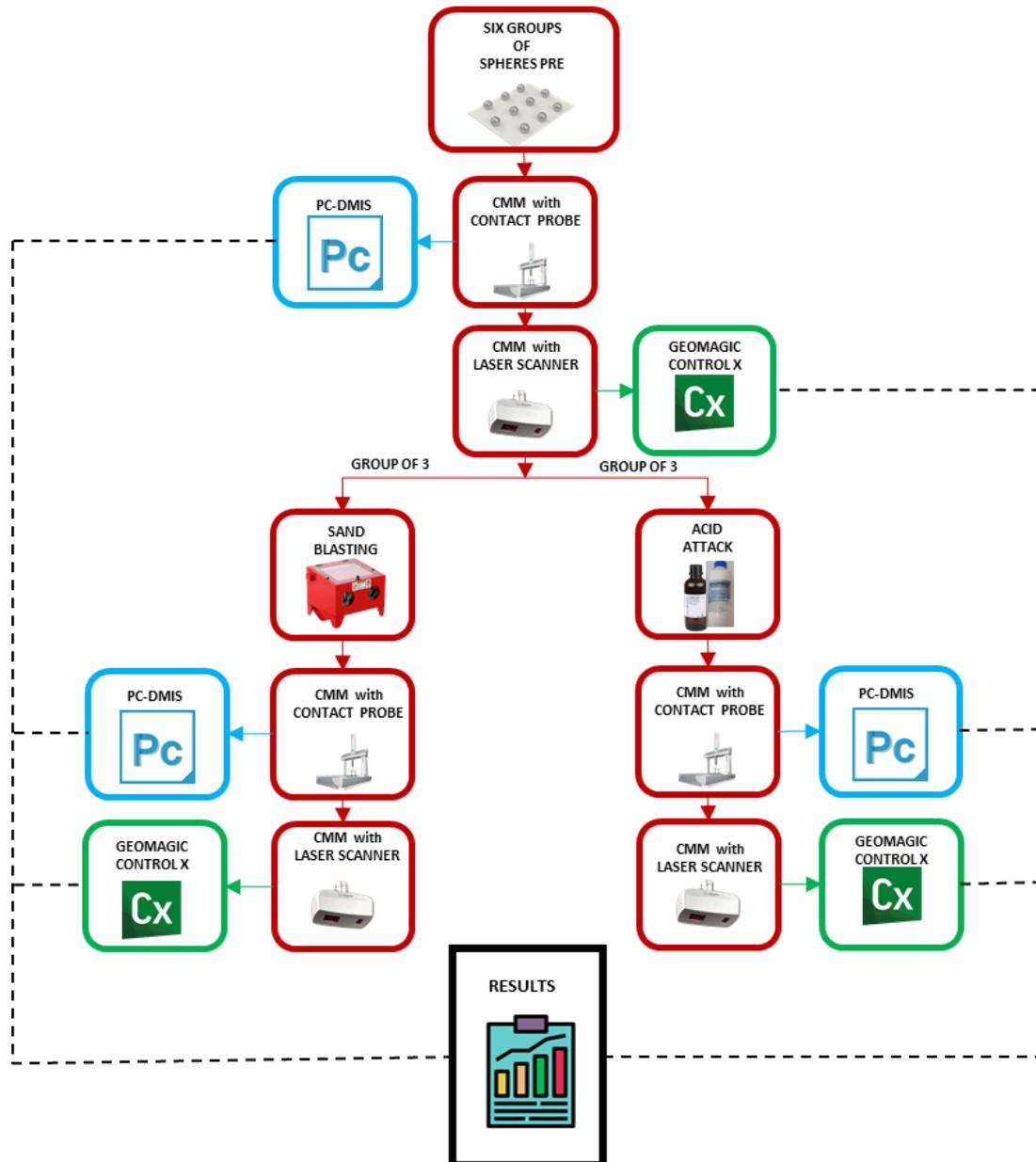


Figura 2. Metodología seguida en el proyecto. Rama izquierda: postprocesado de esferas por arenado. Rama derecha: postprocesado de esferas por ataque químico.

Previo a la obtención de los datos de las nubes de puntos se ha realizado un estudio previo con el fin de determinar el tipo de filtro usado para la creación de las esferas. Por anteriores investigaciones realizadas se sabe que el mejor filtro para la creación de entidades en base a nubes de puntos es el de tipo Sigma o Desviación Estándar. Este filtro descarta los puntos que se encuentran a una distancia superior a la de x veces la desviación estándar de la nube de puntos perteneciente a una entidad.

El estudio del filtro se realizó con la ayuda del software Geomagic Control X. La metodología que se ha usado para la aplicación del filtro tipo Sigma es la siguiente:

- Creación de la entidad sin ningún tipo de filtro.
- Obtención de la desviación estándar de la entidad.
- Multiplicación de la desviación estándar por el factor que se quiera aplicar en ese momento.
- Creación de la nueva entidad aplicando el filtro tipo: Distancia máxima entre puntos, en el cual el valor de la distancia es el calculado anteriormente para la desviación estándar después de multiplicar esta por el factor deseado.

El motivo de esta metodología es debido a que el filtro de desviación estándar que trae por defecto el software no obtiene los resultados que se cabría esperar, como se demostró en otras investigaciones. Es por esto por lo que se aplica el filtro de esta manera.

Para ambas tomas de datos, con y sin contacto, se emplearon diferentes sistemas de sujeción de los conjuntos de placas y esferas, adaptándose en cada caso la solución óptima que permitiese el acceso, o bien del palpador o bien del láser de triangulación, a la geometría esférica de los elementos a medir.

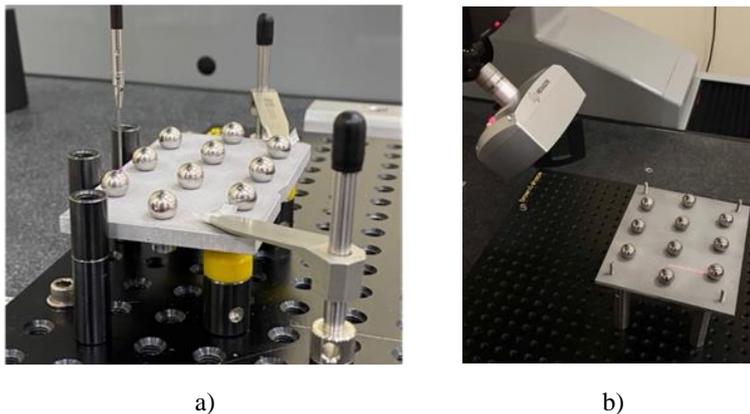


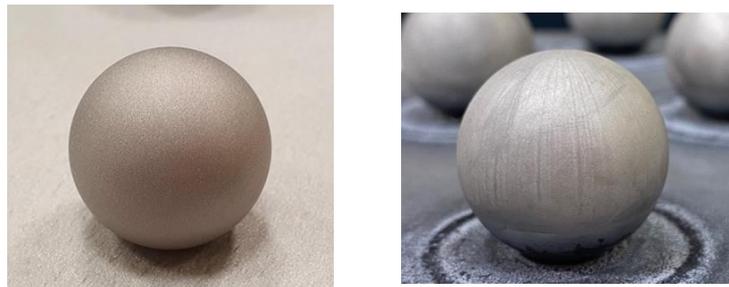
Figura 3. *a) Sujeción con utillaje modular para medición por contacto. b) Sujeción por apoyo simple para medición sin contacto.*

Tal y como estaba previsto, durante el proceso de medición sin contacto de las esferas en su estado original (pre-arenado), se observó la existencia de reflejos producidos por el brillo de la placa base. Estos brillos reducían sustancialmente la calidad de la nube de puntos capturada por el sensor láser.

Con el fin de proceder según la metodología establecida, en este momento, se reparten los conjuntos de placas y esferas en dos grupos de tres placas a fin de someter cada uno de estos grupos a tratamientos superficiales diferentes que doten a las esferas de un acabado mate y que permitan la obtención de nubes de puntos uniformes y cuyo nivel de cubrimiento de las esferas fuese aceptable.

Se realizó, entonces, el tratamiento de arenado de la mitad de las muestras de ensayo utilizando como abrasivo el óxido de alúmina WFA F100. La máquina de chorreado Sablex S-2 utilizada para llevar a cabo el proceso de tratamiento superficial se programó para trabajar a una presión constante de 4 bares, obteniéndose el acabado superficial homogéneo y uniforme como se aprecia en la figura 4 a). Por otro lado, con el mismo objetivo y de manera paralela, la otra mitad de muestras se sometió a un tratamiento químico. Para realizar este proceso, primero se preparó una solución de agua regia (ácido clorhídrico (HCl) al 37% y ácido nítrico (HNO₃) al 65,7%), se le añade pequeñas cantidades de cloruro

férrico (FeCl_3) para minimizar la coloración gris del acero inoxidable. Los conjuntos fueron sumergidos en un recipiente de cristal que contenía la solución, pero de forma que ésta únicamente entraba en contacto las esferas de precisión. Tras una inmersión de 8 minutos fueron retirados y, a continuación, sumergidos en otro recipiente con agua desionizada, a fin de detener la reacción química y retirar el ácido de las esferas. Por último, las esferas se secaron al aire obteniéndose el resultado que se observa en la figura 4 b).



a)

b)

Figura 4. a) Acabado superficial tras arenado. b) Acabado superficial tras tratamiento químico con agua regia

Una vez se completaron los procesos de modificación superficial mediante el tratamiento mecánico de arenado y el tratamiento químico con agua regia, se volvieron a medir todos los conjuntos de esferas tanto por contacto con la Máquina de Medir por Coordenadas (figura 5), como sin contacto con el sensor láser de triangulación (figura 6).

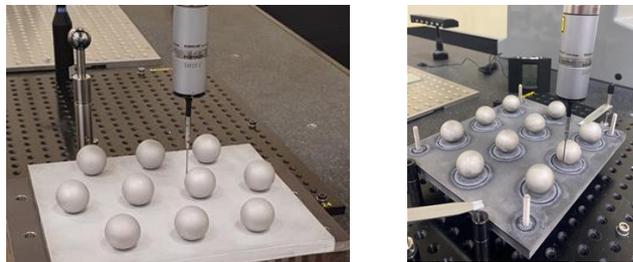


Figura 5. Medidas por contacto de los conjuntos de esferas post-tratamientos.



Figura 6. Medidas sin contacto de los conjuntos de esferas post-tratamientos.

En el procedimiento de medición sin contacto, para las capturas de las esferas, se usaron 5 orientaciones del sensor láser que permitieron generar la nube de puntos. Estas orientaciones fueron suficientes para capturar, al menos, el hemisferio superior de cada una de las esferas. Para el

tratamiento de esta información, que se llevó a cabo con el software Geomagic Control X, ha sido necesario, en primer lugar, la eliminación de aquellos puntos que no pertenecían a las esferas (puntos correspondientes a la placa base y elementos auxiliares) de forma que la nube de puntos a tratar se correspondiera exactamente con la geometría de las esferas. En segundo lugar, se ha procedido al borrado de los puntos por debajo del ecuador de las esferas. Finalmente, a esta nube recortada (semiesfera) se ha aplicado un filtro estándar “2 Sigma” para eliminar puntos espurios, claramente alejados de las esferas y que distorsionarían todas las mediciones.

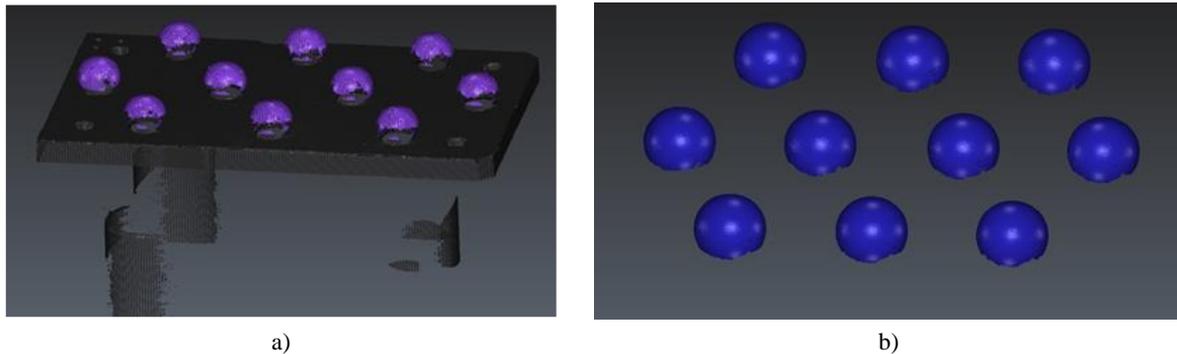


Figura 7. a) Nube de puntos capturada por el sensor láser HP-L-10.6 **b)** Nube de puntos correspondientes a las esferas una vez aplicada limpieza y filtros

3.4 Resultados obtenidos

Una vez realizadas todas las mediciones mediante los sistemas por contacto y sin contacto, sobre las esferas originales y sobre las mismas una vez tratadas mecánicamente y químicamente, se ha procedido al análisis de los resultados obtenidos. La información generada ha permitido, por una parte, comparar los parámetros de diámetro, error de forma de las esferas y desviación estándar a partir de las esferas originales y las tratadas mecánicamente y, por otra parte, comparar los mismos parámetros en las esferas tratadas químicamente.

En las figuras 8 y 9 se muestran las mejoras porcentuales de los valores obtenidos en los tres parámetros en cada uno de los tratamientos superficiales llevados a cabo. Con el equipo láser disponible, se pudieron contrastar dos tipos de mejoras.

Por un lado, hemos podido contrastar la mejora en la densidad y en la cobertura de la nube de puntos. Esta mejora era evidente, ya que la cobertura con esferas originales era muy pobre. De hecho, en algunos casos (esferas de $\varnothing 10$ mm), no se pudieron reconstruir correctamente todas las esferas. En consecuencia, la comparación entre el pre y el post arenado y entre el pre y post baño químico sólo fue posible en todas las esferas cuando se utilizó una ganancia alta (sensibilidad baja del sensor láser).

La segunda mejora conseguida está relacionada con la aproximación dimensional de las mediciones del láser a las mediciones de la MMC (referencia). Entendiendo por mejora la relación (%) entre el parámetro medido por láser respecto al parámetro medido por contacto. Es decir, una mejora del 100% en cualquiera de las medidas significaría que el láser obtiene la misma medida que la MMC por contacto. Así, en las figuras 8 y 9 se muestran, para cada tratamiento, las ratios de mejora obtenidas en los valores de todos los parámetros considerados: diámetro, error de forma y desviación estándar. Las mejoras son sustanciales, aunque no homogéneas, en todo el rango de diámetros.

En los valores referidos a mediciones sin contacto obtenidas en las esferas en un estado posterior al arenado se observa una mejora aún mayor en las esferas grandes, $\varnothing 18$ mm y $\varnothing 25$ mm, donde todas las ratios de mejora son muy elevadas (> 60%) y, en el caso de los diámetros obtenidos, éstos son muy próximos

a los valores de referencia de las esferas. En cuanto al error de forma, la mejora media de los tres tamaños de esferas fue del 63,80%, mientras que, en los datos relativos a la desviación estándar de la nube de puntos, se observó una mejora porcentual media del 59,21% entre los tres diámetros considerados.

Aunque también se han encontrado mejorías tras el proceso de tratamiento con solución de agua regia, se observa que las ratios de mejora de los parámetros son sustancialmente menores que en el caso anterior, encontrando unas mejoras entre el 30% y el 40% en el caso del error de forma y la desviación estándar para las esferas de $\varnothing 18$ mm y $\varnothing 25$ mm e inferiores al 75% para los valores del diámetro en esas mismas medidas.

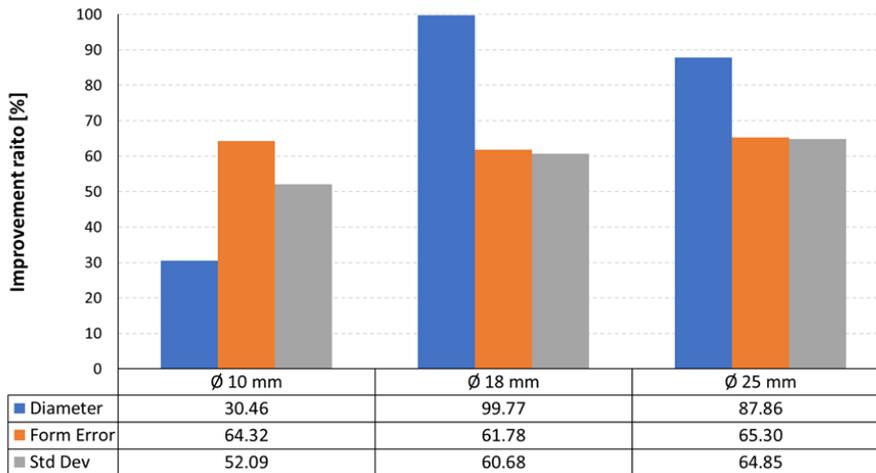


Figura 8. Relación de mejora en la medición sin contacto para los tres parámetros estudiados y para los tres diámetros considerados tras proceso de arenado.

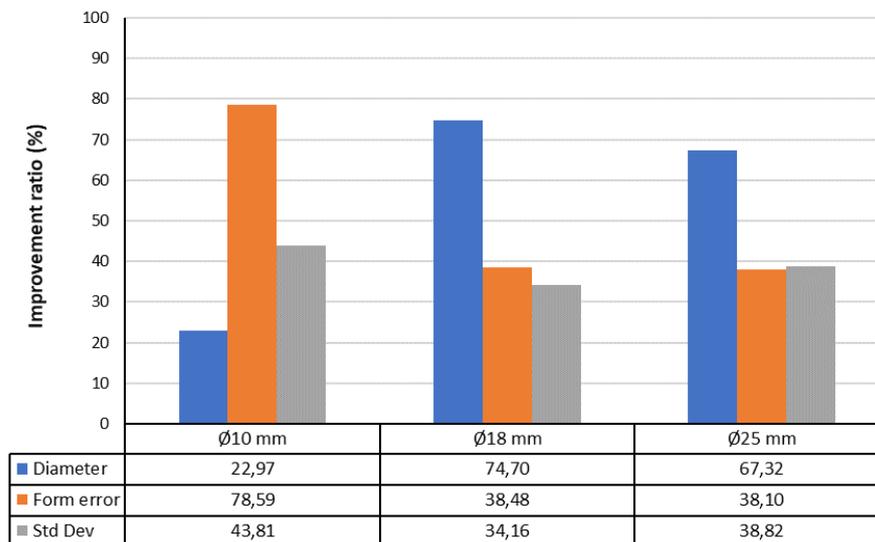
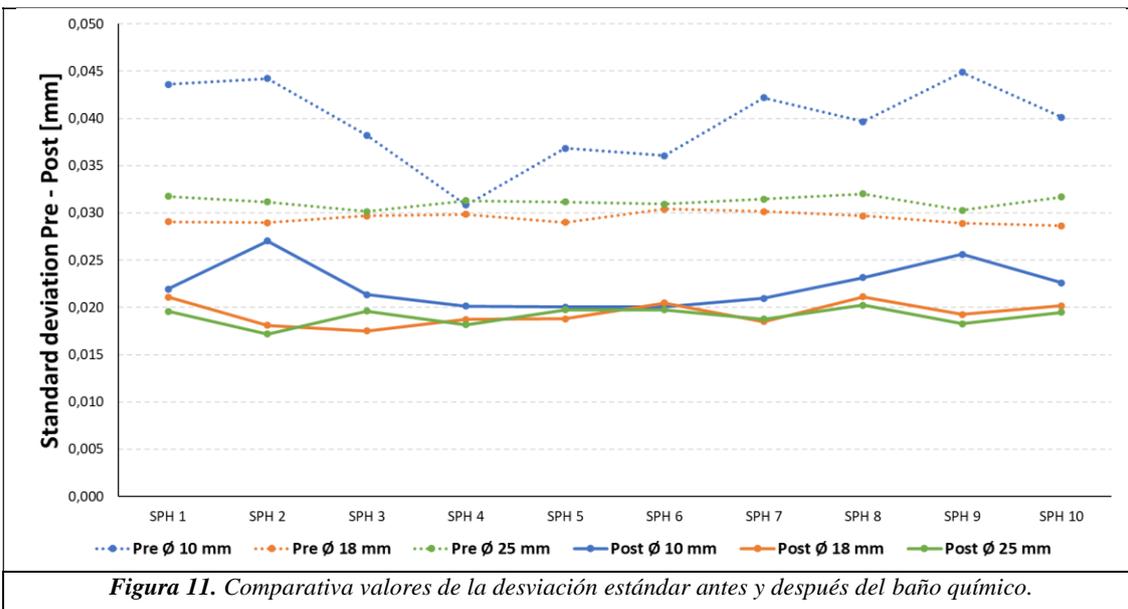
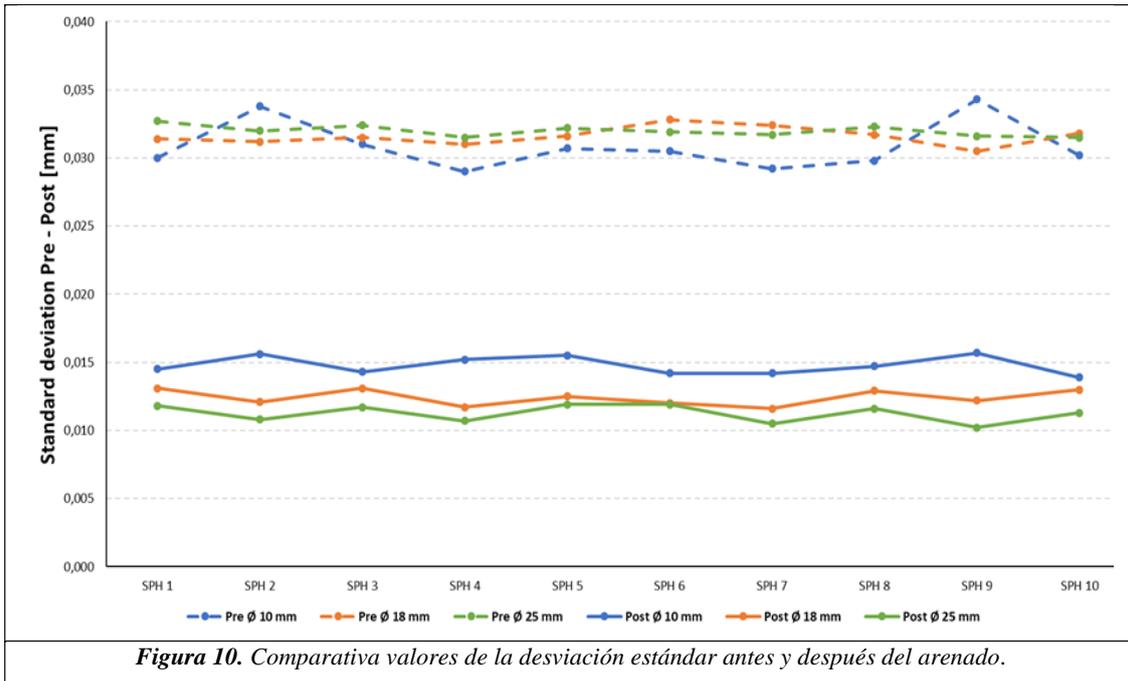


Figura 9. Relación de mejora en la medición sin contacto para los tres parámetros estudiados y para los tres diámetros considerados tras proceso de baño químico.

A modo de resumen, y utilizando el valor de la desviación estándar como medida de la calidad del ajuste de la nube se han elaborado los gráficos de las figuras 10 y 11. En línea discontinua se han incluido las mediciones de desviación estándar en esferas originales, mientras que en línea continua se encuentran las mediciones de desviación estándar de las nubes del láser. En ambos casos se observa una mejora de este parámetro, en los tres tamaños de esferas, si bien es el proceso de arenado el que presenta mejores resultados.



3.5 Trabajos o necesidades futuras

A medida que se iba desarrollando el presente proyecto de investigación han ido apareciendo diversas situaciones en las que ha habido que tomar decisiones sobre los parámetros a utilizar, fundamentalmente en los procesos de eliminación del brillo de las esferas por ataque químico. Una vez establecida una concentración de los componentes del agua regia, que atacasen de forma efectiva al acero inoxidable AISI 316L de las esferas, el proceso resultó ser extremadamente sensible al tiempo, e incluso a la orientación de las esferas en el baño de ácido. Al ser diversos los factores influyentes en los experimentos y pruebas realizadas, y no estando previsto en el alcance de este proyecto, cabría la posibilidad de realizar un nuevo estudio centrado en los resultados que se podrían obtener sobre

esferas de precisión de bajo coste al modificar el tiempo de aplicación (así como la orientación y forma de secado) del tratamiento químico. En este nuevo proyecto se someterían los conjuntos (placa-esferas) a diferentes tiempos de inmersión para determinar el tiempo óptimo en el que se maximiza el número de puntos obtenidos, a través de un sistema de medición con un láser de triangulación, y se minimiza el error de forma causado por la reacción del ácido. |

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. Una vez se finalice el artículo se decidirá la revista, si bien entendemos que podría encajar en el “scope” de "Int. J. of Advanced Manufacturing Technology" (Springer), de "Materials and Manufacturing Processes" (Taylor & Francis), "Materials" (MDPI) y de "Optics and Lasers in Engineering" (Elsevier).

De igual forma, se pretende que la experimentación llevada a cabo y los resultados obtenidos se envíe también (durante el verano del 2022) para su publicación en el próximo Congreso Internacional “Manufacturing Engineering Society International Conference” promovido por la Sociedad de Ingeniería y Fabricación (SIF) y que, dado su carácter bianual, se celebrará al año siguiente (MESIC 2023). En el correspondiente apartado de “Acknowledgements” se hará referencia expresa a la ayuda concedida. |

4. Memoria económica

4.1 Gastos:

CONCEPTO	GASTOS
Personal	4.355,00 €
Fungibles	0,00 €
Amortización	0,00 €
TOTAL GASTOS	4.355,00 €

4.2 Ingresos:

Entidad/Empresa financiadora Ref. Proyecto/Contrato	Personal	TOTAL INGRESOS

5. Bibliografía

1. | Beraldin JA, Mackinnon D, Cournoyer L 2015 Metrological characterization of 3D imaging systems: progress report on standards developments. 17th International Congress of Metrology. EDP Sciences p 13003

2. *Cuesta E, Gonzalez-Madruga D, Alvarez B J, García-Diequez M 2014 Development of a behaviour curve for quality evaluation with optoelectronic profilometers Key Engineering Materials 615 pp 51–57*
3. *Cuesta E, Rico J C, Fernandez P, Blanco D, Valiño G 2009 Influence of roughness on surface scanning by means of a laser stripe system Int J Adv Manuf Technol 43 (11- 12) pp 1157–1166*
4. *ISO 3290-1:2014 Rolling bearings — Balls — Part 1: Steel balls (DIN 5401: 2002-08)*
5. *E. Cuesta, S. Giganto, B.J. Álvarez, J. Barreiro, S. Martínez-Pellitero, V. Meana 2020 Laser line scanner aptitude for the measurement of Selective Laser Melting parts Optics and Lasers in Engineering 138 p 106406*
6. *ISO 10360-2:2009 Geometrical product specifications (GPS) — Acceptance and reverification tests for coordinate measuring machines (CMM) — Part 2: CMMs used for measuring linear dimensions*
7. *ISO 10360-8:2013 Geometrical product specifications (GPS) — Acceptance and reverification tests for coordinate measuring systems (CMS) — Part 8: CMMs with optical distance sensors.*