



m 22

27, 28, 29 DE SEPTIEMBRE DE 2022 (SESIÓN DIVULGATIVA PREVIA 26 SEPTIEMBRE), ÁVILA

Título:

METROLOGÍA DIMENSIONAL PARA LA EVALUACIÓN DE LA CALIDAD INTERNA DE PIEZAS DE ALUMINIO MEDIANTE TOMOGRAFÍA COMPUTARIZADA

Autores:

Ibon Holgado¹, Naiara Ortega^{1,2}, José A. Yagüe-Fabra³, Herminso Villarraga-Gómez⁴

¹CFAA, Parque tecnológico de Bizkaia, 202, 48170 Zamudio, España

²Departamento de Ing. Mecánica, EIB, Plaza Ing. Torres Quevedo 1, 48013 Bilbao, España

³I3A, Universidad de Zaragoza, María de Luna 3, E-50018 Zaragoza, España

⁴Carl Zeiss Industrial Metrology, LLC, Wixom, MI, EE. UU.

D. Ibon Holgado García



Departamento de
Ingeniería de
Diseño y Fabricación
Universidad Zaragoza

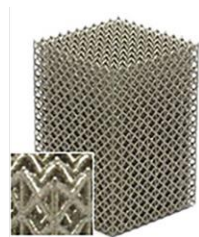
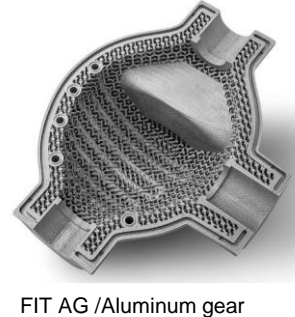
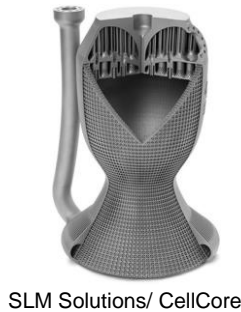
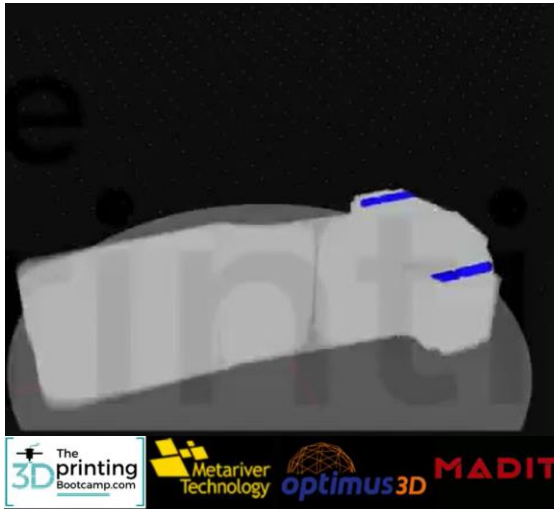
CFAA
Fabrikazio Aeronautiko Aurreratuko Zentroa
Centro de Fabricación Avanzada Aeronáutica

- 1** Fabricación Aditiva (FA)
- 2** Tomografía Computarizada (TC) industrial
- 3** Objetos de referencia para defectología interna en TC
- 4** Propuesta de objeto de referencia
- 5** Resultados y conclusiones

Fabricación Aditiva (FA)

La fabricación aditiva (FA) "es el proceso de unión de materiales para fabricar objetos a partir de los datos de un modelo 3D, normalmente capa sobre capa, a diferencia de las metodologías convencionales de fabricación por sustracción, como el mecanizado".

AlSi10Mg tiene un buen compromiso entre resistencia y densidad, bajo peso y bajo coste



ISO/ASTM 52900 (2021)

Powder bed fusion

Material extrusion

Material jetting

Binder jetting

VAT

Sheet lamination

Directed energy deposition

[1] Xiao, L., & Song, W. (2018). Additively-manufactured functionally graded Ti-6Al-4V lattice structures with high strength under static and dynamic loading: Experiments. *International Journal of Impact Engineering*, 111, 255-272.

Fabricación Aditiva (FA)

Reto crítico para las aplicaciones de fabricación aditiva (FA)

Requerimientos

Fabricación repetible

Sistema FA bien comprendidos

Inspección fiable

Certificación

Características

Microestructuras únicas

Tensión residual

Superficies rugosas

Porosidad

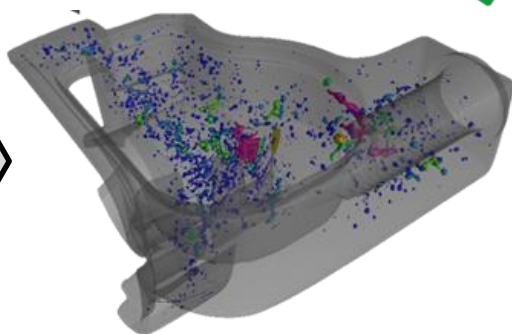
• Diámetro

• Distribución

• Forma

• Volumen

Tomografía computarizada ✓



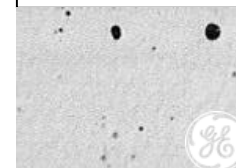
Dos grandes tipos de poros [1]

Falta de fusión



Forma irregular

“Keyhole”

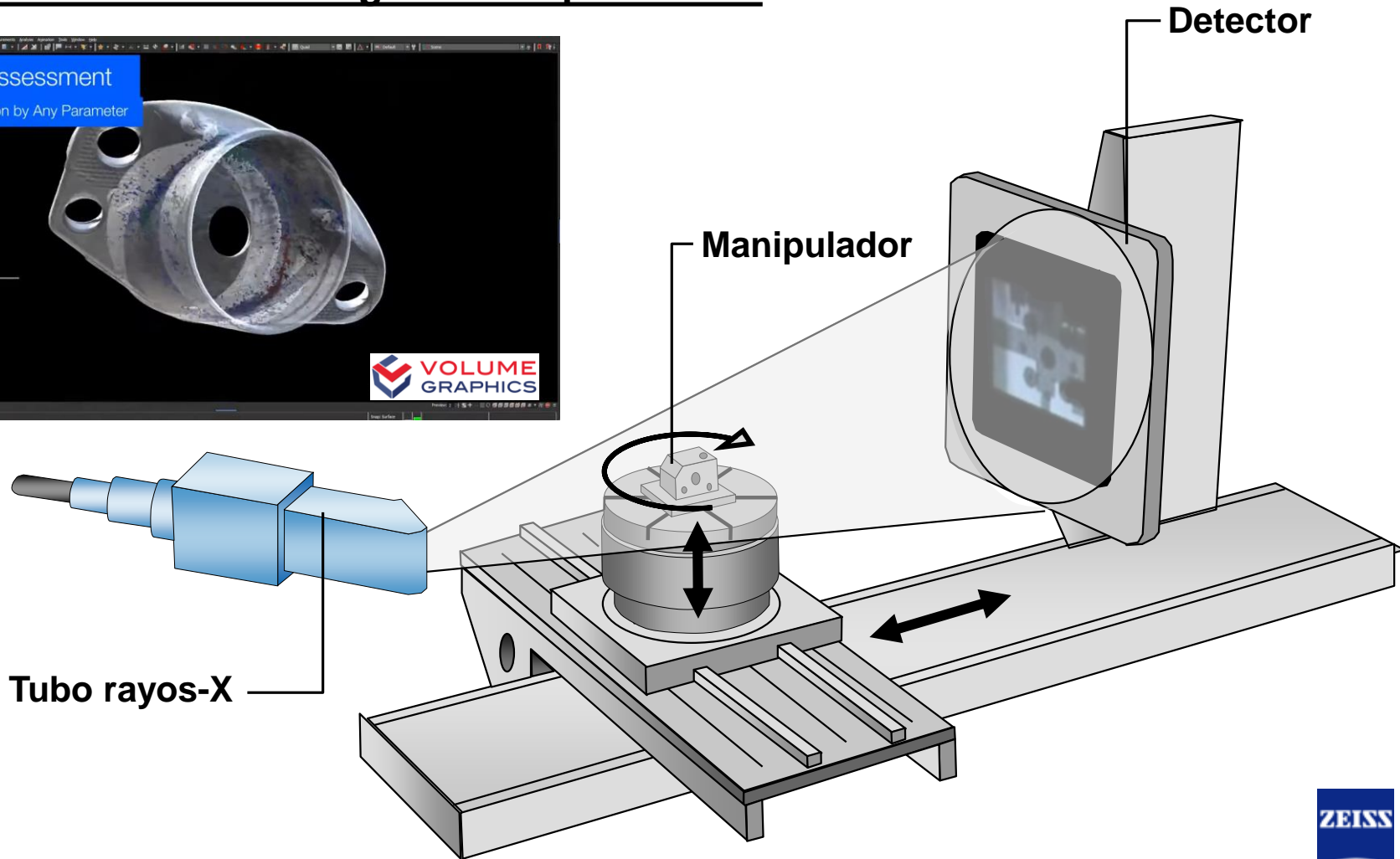
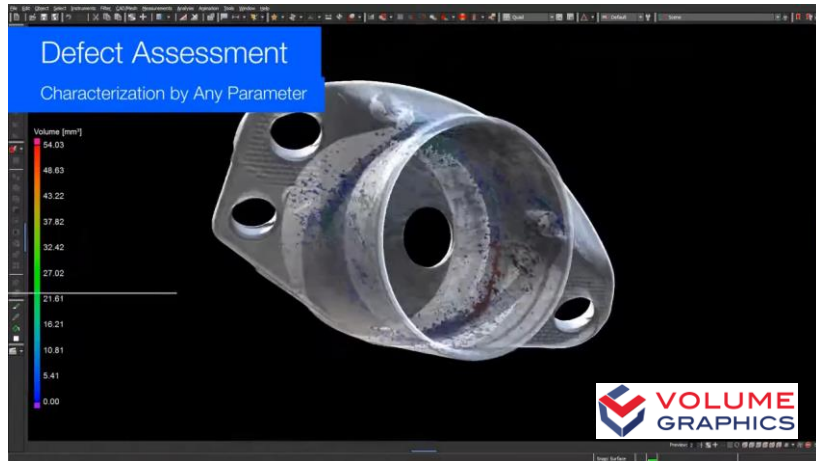


Forma regular

[1] Blakey-Milner, B., Gradl, P., Snedden, G., Brooks, M., Pitot, J., Lopez, E., ... & du Plessis, A. (2021). Metal additive manufacturing in aerospace: A review. *Materials & Design*, 209, 110008.

Tomografía Computarizada (TC) industrial

Equipo industrial de tomografía computarizada



Tomografía Computarizada (TC) industrial

Trazabilidad de las medidas TC → Influencia de numerosos factores

Ambiente

- Temperatura
- Humedad

Equipo TC

- Emisor Rayos-x
- Detector
- Alineamiento



Procesamiento de datos

- Reconstrucción
- Métodos de análisis

Operario

- Experiencia
 - Configuración de los parámetros
- *Este soy yo.

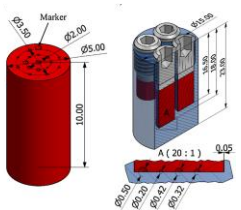
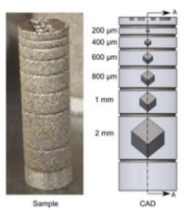

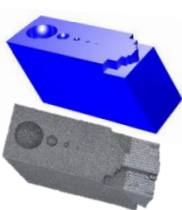

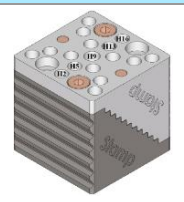

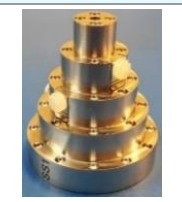
Pieza

- Material
- Geometría
- Rugosidad

La incertidumbre de las mediciones TC son actualmente objeto de una investigación continua.

Objetos de referencia en TC

Objetos de referencia

	Reference object with artificial porosities[1]	Hollow cube artefact[2]	Hole plate[5]	Internal cavities artefact[4]
Patrón				
Material	Aluminio AW6005A	Acero inoxidable	Acero y aluminio	Ti6Al4V y PA
Tamaño(mm)	L10 Ø15 y Ø5 pines. Defectos desde Ø0,5 hasta Ø0,2	L15 Ø4.1. Defectos desde 2×2×2 hasta 0,2×0,2×0,2	6×6×1 o 48×48×8 28 agujeros de Ø4	Máx. dimensión 20. Agujeros desde Ø10 hasta Ø0,250
Patrón	Artificial defect artefacts[3] 	Multi-material hole cube[5] 	Calotte cube[5] 	Stainless steel (SS) global shape artefact[5] 
Material	Aleación 718 y Ti64	PEEK, Cestic, Al y TI	Titanio	Acero inoxidable
Tamaño(mm)	20×20×45 y L30 Ø14. Defectos desde 1,8 hasta 0,1	30×30×30. Múltiples distancias uni/bi direccionales	10×10×10. 5×5 agujeros de Ø8	Múltiples dimensiones. Máx. dimensión 28

Norma y año de publicación	
BS EN 61223-2-6 (2007)	VDI/VDE 2630 1.4 (2011)
VDI/VDE 2630 1.4 (2010)	VDI/VDE 2630 2.1 (2015)
BS EN 16016-1 (2011)	VDI/VDE 2630 1.1 (2016)
BS EN 16016-2 (2011)	VDI/VDE 2630 1.2 (2018)
BS EN 16016-3 (2011)	BS EN 61223-3-5 (2019)
BS EN 16016-4 (2011)	BS EN ISO 15708 (2019)
BS EN 61223-2-6 (2011)	ISO 10360-11 DIS (2021)

VDI 2630 2.1:

Guías Alemanas basadas en ISO15530-3. Esta norma se utiliza para determinar la **incertidumbre de la medición TC utilizando piezas calibradas.**

[1] Hermenek P, Carnignato S. Porosity measurements by X-ray computed tomography: Accuracy evaluation using a calibrated object. *Precis Eng* 2017;49:377–87. <https://doi.org/10.1016/j.precisioneng.2017.03.007>.

[2] Kim, F. H., Pintar, A. L., Moylan, S. P., & Garboczi, E. J. (2019). The influence of X-Ray computed tomography acquisition parameters on image quality and probability of detection of additive manufacturing defects. *Journal of manufacturing science and engineering*, 141(11), 111002.

[3] Lesseur, J., Tranchand, B., Mancier, T., Montauzier, A., Larignon, C., & Perusin, S. (2022). On the use of X-ray microtomography to control artificial defect geometries produced by metal additive manufacturing. *Nondestructive Testing and Evaluation*, 1-20.

[4] Jansson, A., Zekavat, A. R., & Pejryd, L. (2015). Measurement of internal features in additive manufactured components by the use of computed tomography. In *Digital Industrial Radiology and Computed Tomography (DIR 2015)*, Ghent, Belgium, June 22-25, 2015. German Society for Non-Destructive Testing.

[5] Obaton, A. F., Klingaa, C. G., Rivet, C., Mohaghegh, K., Baier, S., Andreasen, L. J., ... & Chiffre, L. (2020). Reference standards for XCT measurements of additively manufactured parts. In 10th Conference on Industrial Computed Tomography (pp. 1-10).

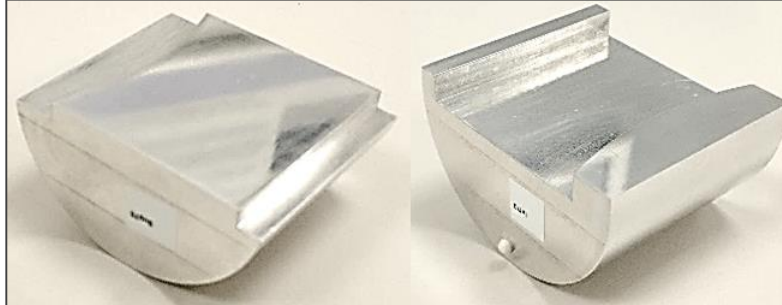
Propuesta de objeto de referencia para defectos internos

Objetivos y características del patrón

Patrón
(ensamblaje)



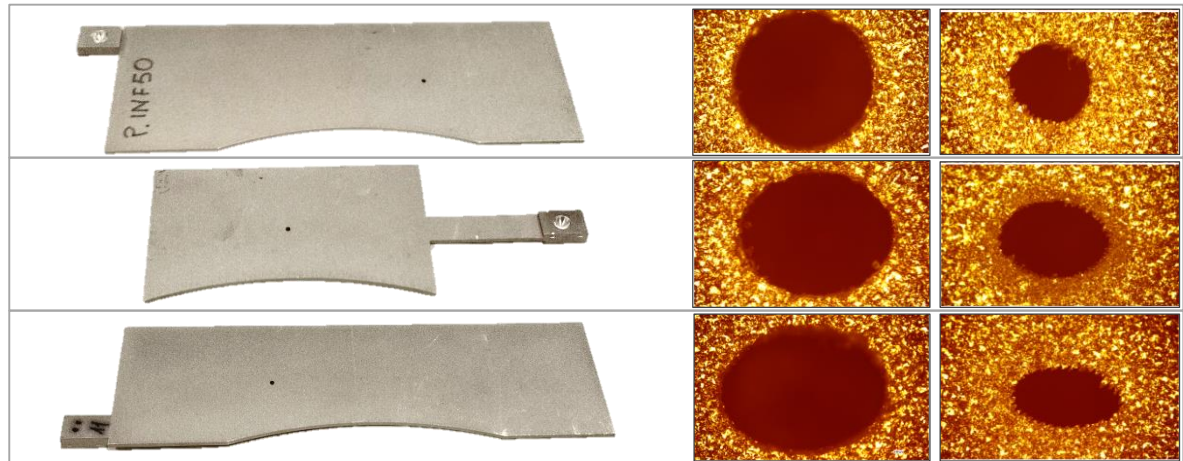
1) Parte exterior para contener los defectos internos



3) Esferas para calibración



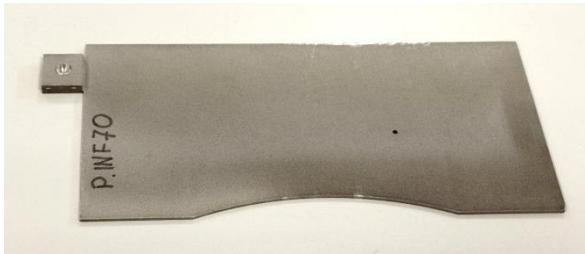
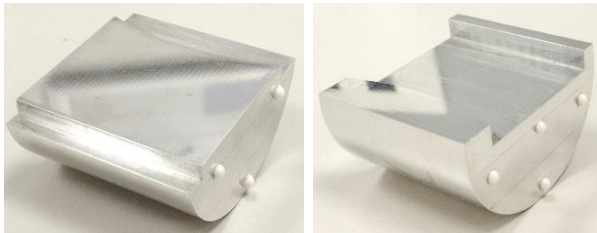
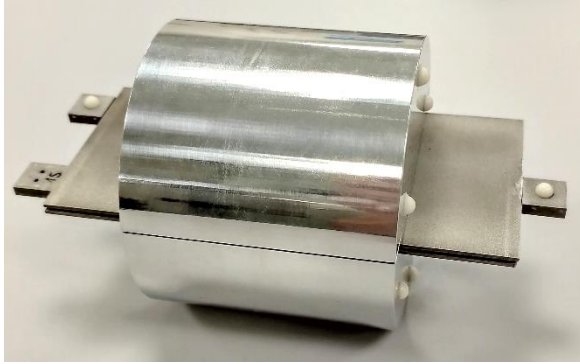
2) Parte interior con defectos



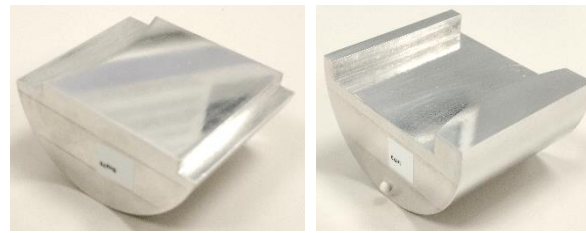
Propuesta de objeto de referencia para defectos internos

Fabricación de los patrones

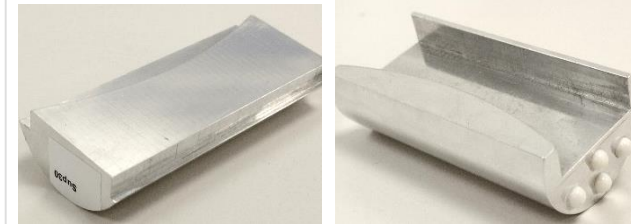
Ø70mm



Ø50mm

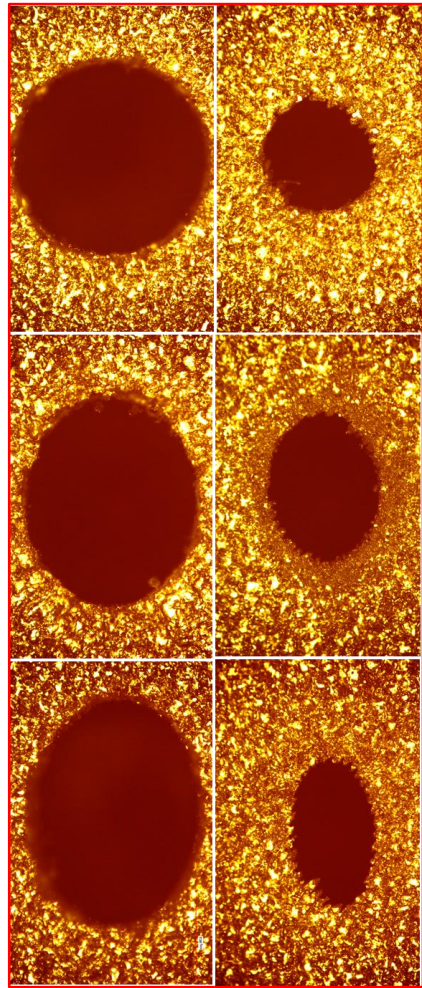


Ø30mm



Propuesta de objeto de referencia para defectos internos

Calibración



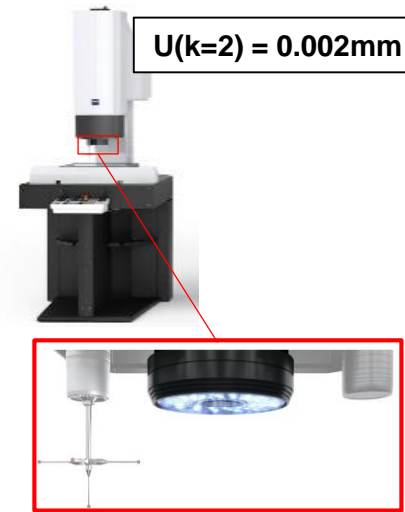
Diámetro

Forma

Volumen



Sensor óptico calibrado (MMC)



$U(k=2) = 0.002\text{mm}$

Balanza electrónica

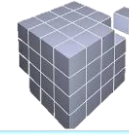


$U(k=2) = 0.082\text{mg}$

Propuesta de objeto de referencia para defectos internos

Calibración

5 Reps.

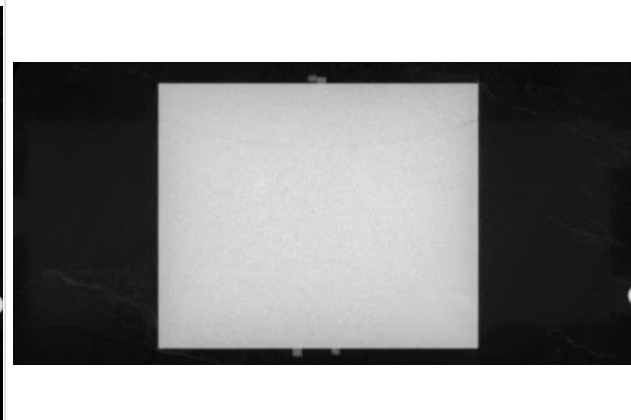
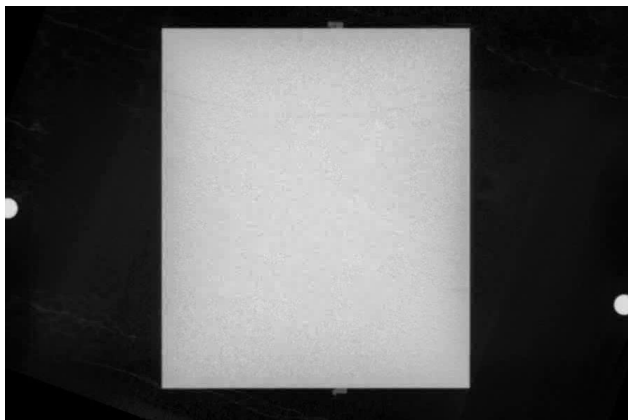
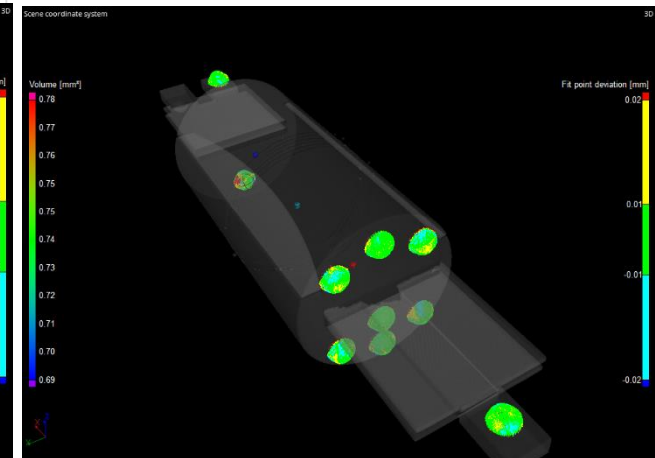
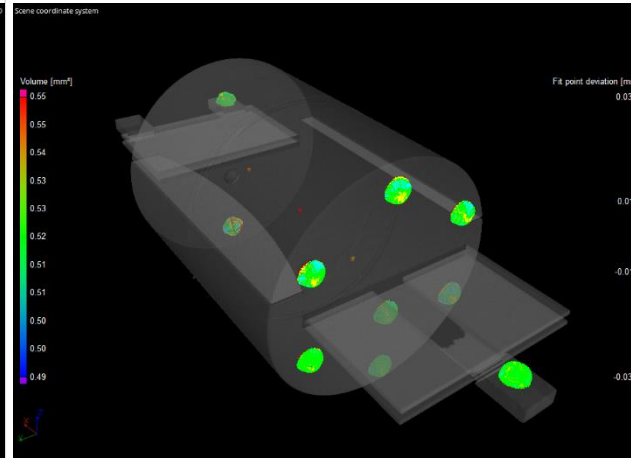
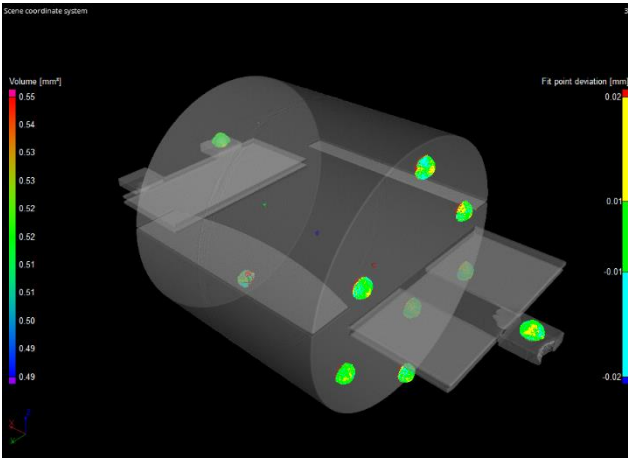


Voxel size 100 μm

∅70mm

∅50mm

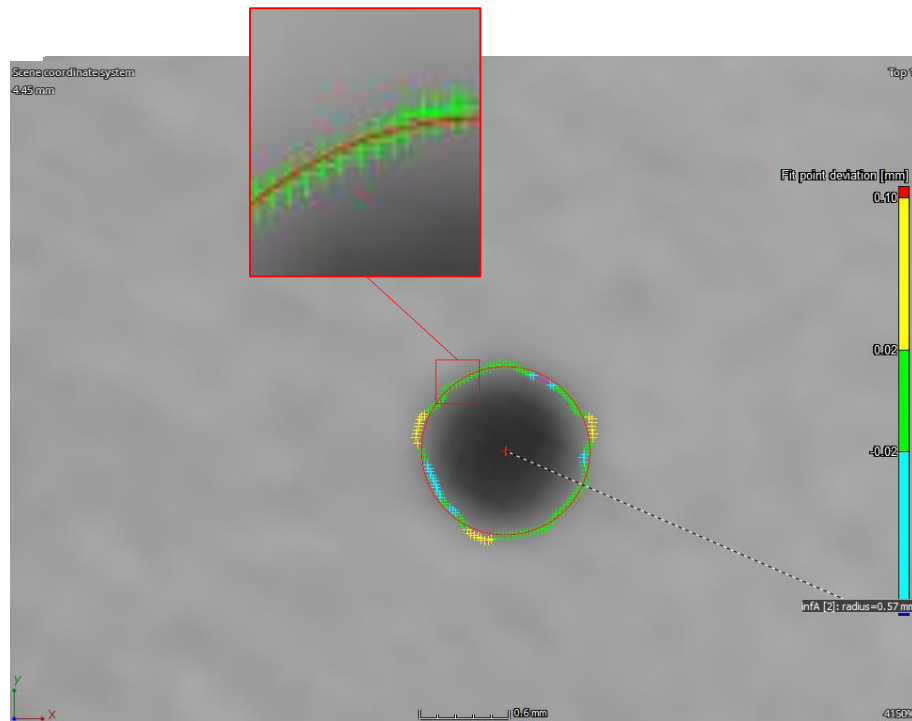
∅30mm



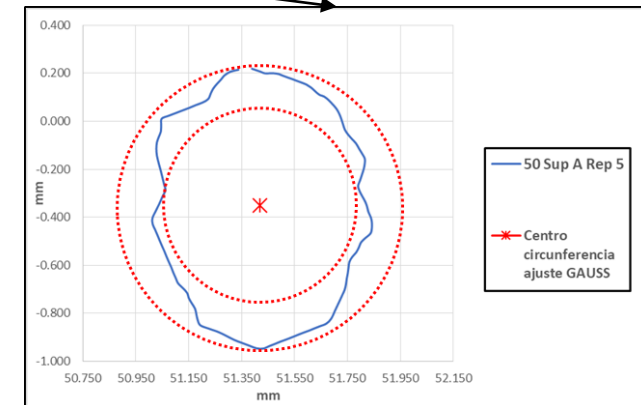
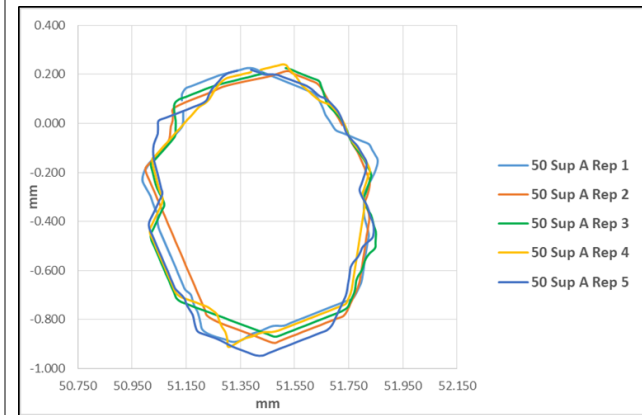
Propuesta de objeto de referencia para defectos internos

Calibración

Proceso medición TC → Diámetro

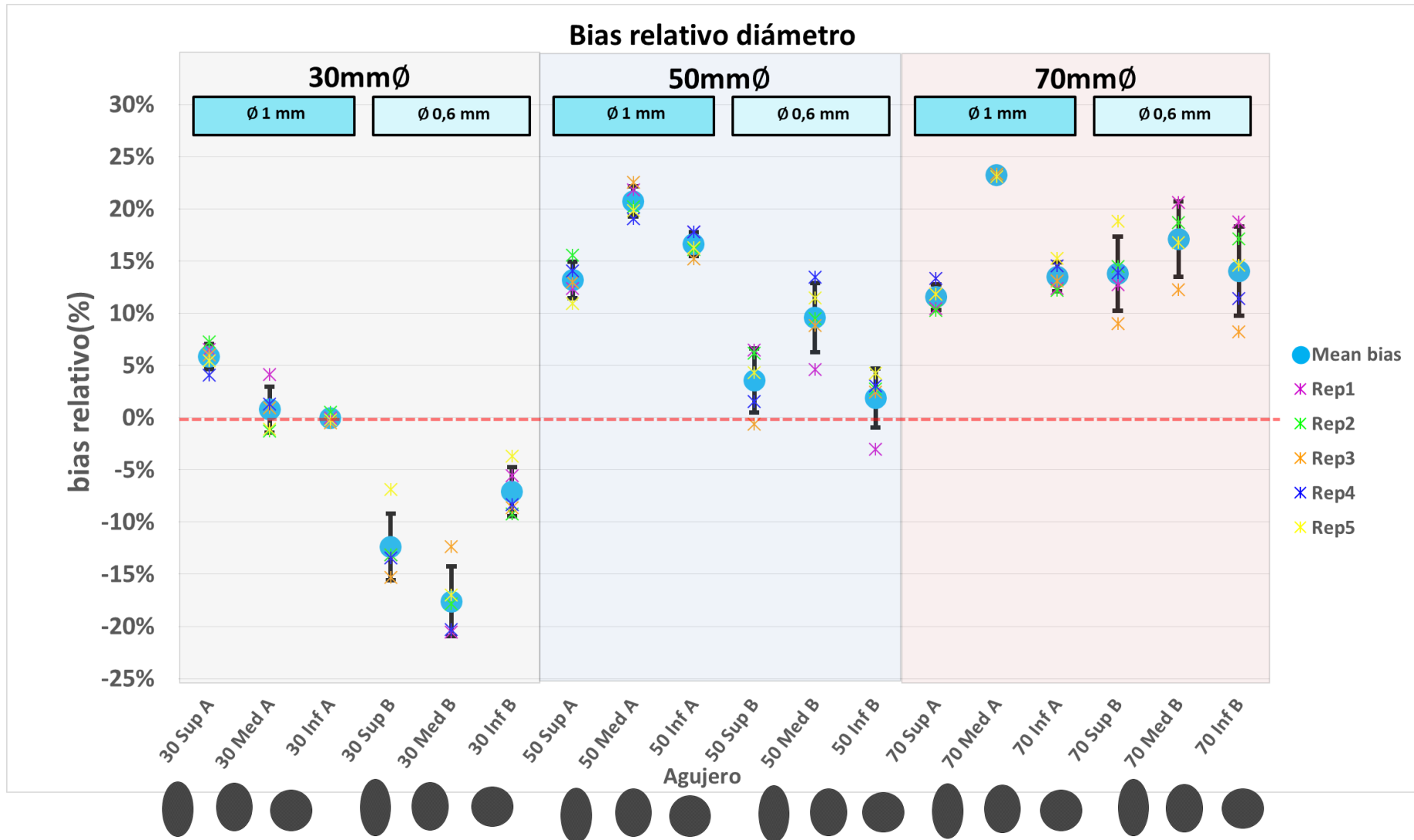


Proceso medición TC → Forma



Resultados y conclusiones

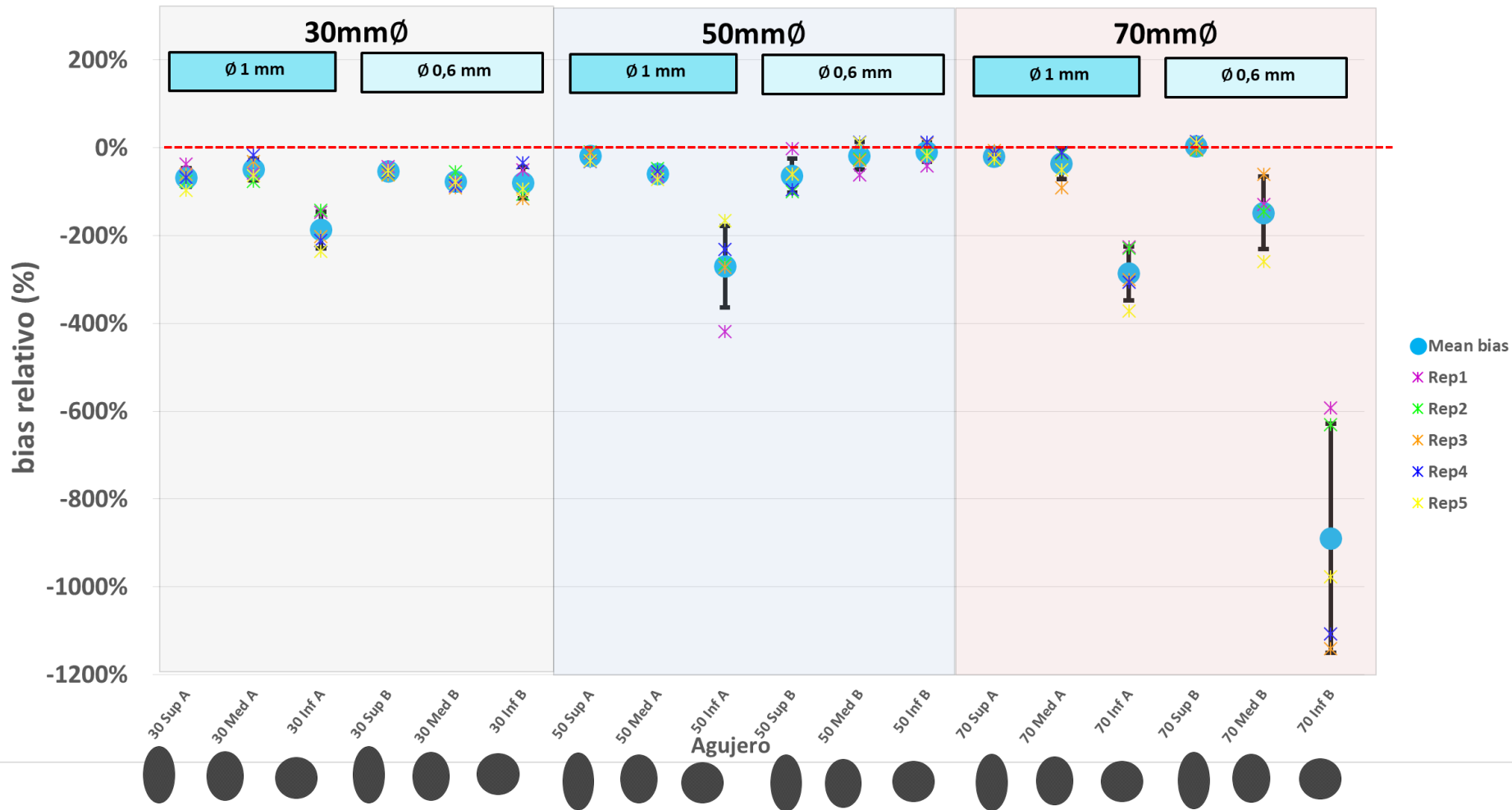
Resultados → Bias → Diámetro



Resultados y conclusiones

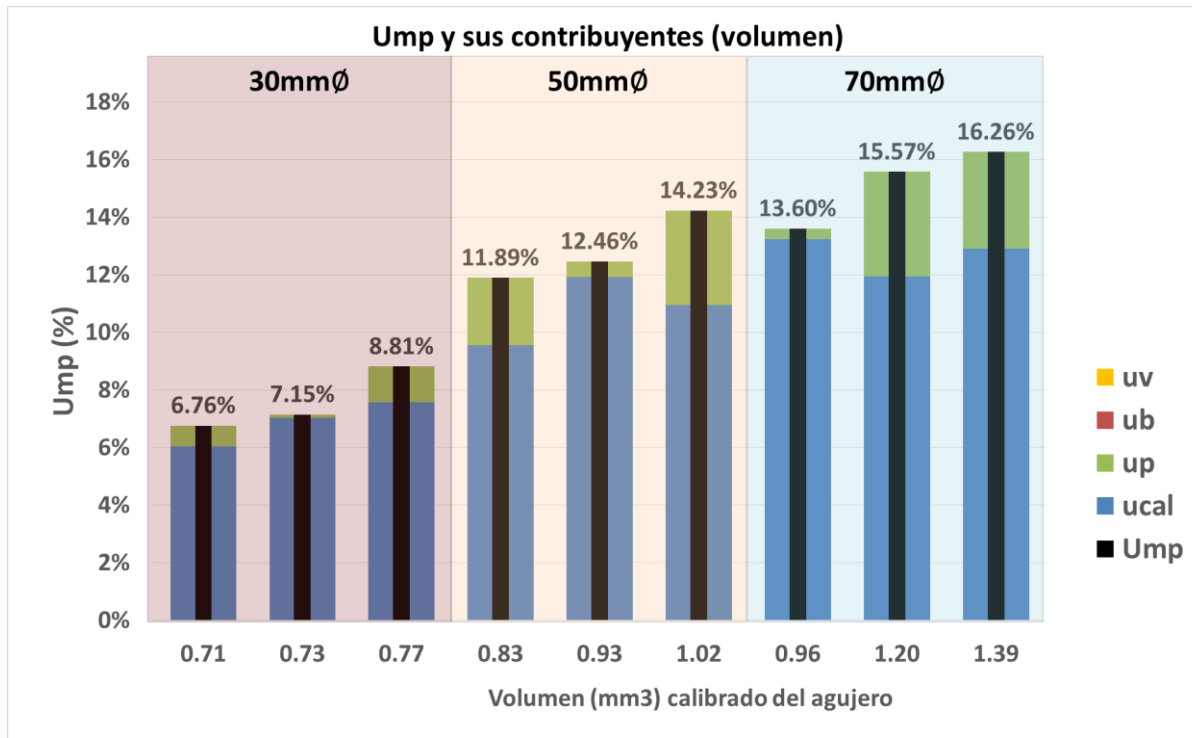
Resultados → Bias → Error de forma

Bias relativo error de forma



Resultados y conclusiones

Resultados → incertidumbre → volumen



	30			50			70		
	30 Sup	30 Med	30 Inf	50 Sup	50 Med	50 Inf	70 Sup	70 Med	70 Inf
u_{cal} (mm)	0.028	0.023	0.028	0.033	0.028	0.034	0.038	0.033	0.036
u_p (mm)	0.011	0.008	0.004	0.007	0.014	0.019	0.015	0.005	0.020
u_b (mm)	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000
u_v (mm)	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000
U_{MP} (k=2) (mm)	0.060	0.049	0.056	0.068	0.063	0.077	0.081	0.066	0.083
Media 5 mediciones TC(mm)	0.683	0.722	0.779	0.547	0.531	0.544	0.520	0.486	0.530
Ump%	8.81%	6.76%	7.15%	12.46%	11.89%	14.23%	15.62%	13.60%	15.57%

Resultados y conclusiones

Conclusiones

- En este trabajo se diseña, fabrica y utiliza un objeto de referencia para evaluar la exactitud de las mediciones de defectos internos mediante TC.
- La corrección del factor de escala resultó eficiente para gran variedad de distancias entre centros de esferas. Sin embargo, el bias fue elevado en los resultados de medición de los diferentes defectos.
- Aunque los valores de incertidumbre proporcionados en el estudio son relativamente altos, el método de medición por TC ha demostrado ser repetible.
- El trabajo futuro deberá centrarse en transferir esta incertidumbre a la medición de los defectos internos de piezas no calibradas de aluminio fabricadas por FA.



Gobierno
de España

Ministerio
de Industria, Comercio
y Turismo



CENTRO ESPAÑOL
DE METROLOGÍA



Junta de
Castilla y León



Ayuntamiento
de **Ávila**
Del Rey · De los Leales · De los Caballeros



m 22

27, 28, 29 DE SEPTIEMBRE DE 2022 (SESIÓN DIVULGATIVA PREVIA 26 SEPTIEMBRE), ÁVILA

¿Preguntas?

Email : ibon.holgado@ehu.eus

D. Ibon Holgado García



Departamento de
Ingeniería de
Diseño y Fabricación
Universidad Zaragoza

CFAA

Fabrikazio Aeronautiko Aurreratuko Zentroa
Centro de Fabricación Avanzada Aeronáutica