

# PROYECTOS DE INVESTIGACIÓN 2015

## MEMORIA DEL PROYECTO Nº 1 (SV-15-GIJÓN-1-01)

### 1. DATOS DEL PROYECTO

**Título:** Desarrollo de procedimiento de verificación y calibración de engranajes con Máquinas de Medir por Coordenadas de alta precisión

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

**Tfno:** 985182136

**E-mail:** ecuesta@uniovi.es

**Otros investigadores:** Braulio Álvarez Álvarez, Jose Manuel Sierra Velasco, Jose Luis Cortizo Rodriguez, Daniel Álvarez Mántaras, Pablo Luque Rodríguez.

**Empresas o instituciones colaboradoras:** Ingeniería y Servicios de Medición Tridimensional, S.L. (ISM3D)

### 2. MEMORIA DESCRIPTIVA DEL PROYECTO

#### **2.1 Resumen ejecutivo**

El proyecto planteado perseguía la elaboración de un procedimiento para verificación y calibración de engranajes mediante Máquinas de Medir por Coordenadas (CMMs) de alta precisión.

Tanto el procedimiento como el desarrollo -matemático e informático- de la aplicación que lo sustente, tienen la finalidad de apoyar las actividades de investigación de una empresa afincada en el parque tecnológico de Gijón: *Ingeniería y Servicios de Metrología tridimensional* (ISM3D, S.L.). Esta empresa es laboratorio acreditado ENAC (Ent. Nacional de Acreditación y Certificación) para el área Dimensional, especializada en calibración de piezas 3D, patrones y utillajes industriales de precisión. El objetivo del proyecto incide precisamente en conseguir una ampliación del alcance del laboratorio obteniendo incertidumbre de calibración de engranajes, iguales o incluso inferiores a los actuales, y todo ello con un coste asumible. La empresa está especialmente interesada en la posibilidad de ofrecer calibraciones ENAC en el área de Engranajes como nuevo alcance de su laboratorio pues debe tenerse en cuenta que actualmente no existe ninguna empresa nacional acreditada ENAC proveedora de servicios de calibración de engranajes (e incluso muy pocas a nivel mundial). Si esta investigación se consigue, los resultados pueden dar lugar a un conocimiento inédito y de alto valor añadido en este ámbito.

A modo de resumen, puede decirse que se ha desarrollado un novedoso procedimiento de calibración de engranajes basado en el uso de "patrón de geometría sustitutoria". Concepto que, cuando se aplica a engranajes, resulta no solo novedoso sino altamente competitivo al eliminar la necesidad de trabajar con engranajes patrón físicos (piezas master), excesivamente caras, que exigen calibración periódica, y que además añaden incertidumbre cuando se utilizan los modelos clásicos de balance y propagación de incertidumbre (GUM, EA-4/02). A cambio la incertidumbre vendrá dada directamente por la variabilidad de la CMM, obtenida por un procedimiento estadístico basado en múltiples medidas sobre inversiones (giros) de la misma pieza a medir, de forma que es la propia máquina la que hace de elemento de referencia.

Para todo el tratamiento de datos, se ha desarrollado un paquete de funciones implementadas en un software libre (R language), que permite la obtención de parámetros de calidad de engranajes a partir de sus mediciones, así como los posteriores análisis estadísticos necesarios. Además se realizaron estudios a fin de obtener las geometrías sustitutorias que mejor se aproximen a un perfil de envolvente dado. Con esos datos se define la geometría sustitutoria, que se materializa luego usando un patrón de superficies canónicas (esferas y cilindros) de alta precisión. En base a este patrón de geometría sustitutoria, se analiza, con mediciones (inversiones) estadísticamente representativas, la

repetibilidad de la CMM. Es lo que se podría llamar un procedimiento de corrección de errores (multiposición espacial, doble giro, etc.), que obtiene una muy buena aproximación de la incertidumbre asociada a la medición del perfil cuasi-envolvente sobre la geometría sustitutoria, en unas condiciones de medición muy similares a las que se usarán durante la verificación del engranaje real posterior. Donde a partir de las diferencias entre el perfil teórico de la envolvente y el perfil real (medido) se calcularán los parámetros de calidad.

Esta metodología valida que el procedimiento empleado en el cálculo de los parámetros de calidad de un engranaje está bajo control de la CMM y le asigna unas incertidumbres a dicha medida. Evitando incluso el uso del patrón de geometría sustitutoria como elemento de referencia asociado a la calibración de un determinado engranaje, además de evitar la necesidad de tener un engranaje patrón para cada tipo de engranaje y/o las calibraciones periódicas pertinentes.

Finalmente, y antes de una auditoria ENAC que certifique este procedimiento, deberán hacerse intercomparaciones con otros laboratorios certificados pudiendo usarse el patrón sustitutivo en ellas, al igual que se usaría un engranaje patrón. Consiguiendo así uno de los objetivos principales del proyecto que es calibrar engranajes en CMM de alta precisión sin necesidad de calibraciones periódicas de un patrón o colección de patrones.

## **2.2 Objetivos iniciales del proyecto y grado de consecución**

Desde el punto de vista del cumplimiento de las actividades previstas, y siempre teniendo en cuenta la dedicación y la problemática (retraso) en la gestión y concesión de la ayuda concedida al proyecto, puede decirse que fue muy satisfactoria, con un buen cumplimiento del cronograma, con actividades que incluso se adelantaron “a coste cero” a los plazos legalmente establecidos.

La complejidad y variabilidad de la tipología de los engranajes hizo necesario un exhaustivo estudio de los parámetros que los definen con el fin de conocer qué ha de obtenerse en su medición y soportar el posterior desarrollo de los programas de inspección, obteniendo los “parámetros de calidad” a partir de los parámetros geométricos. La verificación de engranajes no es solo una tarea compleja por la variabilidad de tipologías y parámetros a controlar, sino también por la forma y dirección del acceso del palpador de la CMM a los puntos de control de los flancos de los dientes.

En nuestro caso se hizo necesario la implementación de una aplicación informática para la obtención de los puntos de los perfiles de las envolventes, así como las direcciones perpendiculares teóricas de palpado. Dirección que es variable en cada punto en función de la geometría de cada diente y de cada engranaje. Esta aplicación se ha desarrollado en el lenguaje de código abierto (Open Source) “R”, que dispone de suficientes librerías para realizar los gráficos y cálculos necesarios, creándose una librería o paquete con funciones propias para el estudio de los datos obtenidos.

Posteriormente, una vez desarrollada la aplicación, se estudiaron diferentes alternativas para realizar la calibración de un determinado engranaje. El método más sencillo – y obvio quizás- sería disponer de un engranaje patrón, con el que realizar una comparativa y así poder asignar incertidumbre, según la filosofía de la ISO 15530-3. Esto se haría en base a un procedimiento que evaluase la diferencia entre el patrón y el engranaje a verificar. Sin embargo en este modelo, a las diferencias encontradas entre ambos con su repetición estadística (incertidumbre tipo A), habría que sumarle cuadráticamente varias incertidumbres (tipo B) como la del propio patrón, la incertidumbre propia de la CMM (con un criterio totalizador por seguridad), la variaciones de temperatura, la división de escala o las debidas a diferencia entre coef. de dilatación de los materiales, etc. Por lo que al añadirlo el resto de contribuciones daría lugar a una incertidumbre global igual o peor que los procedimientos de la competencia (laboratorios acreditados de UK, Alemania, como FENCO, PTB o NewCastle University)

Por ello se decidió utilizar un procedimiento que es habitual para corregir errores de comportamiento metrológico de las CMMs (calibración de CMMs), pero que no es habitual en absoluto en el ámbito de los engranajes: la multiposición.

De este modo se calcula la repetibilidad mediante métodos promediadores que eliminen al máximo todos los errores de CMM en el espacio de trabajo del engranaje; como son el método del doble giro,

el método de volteo, cambio de dirección de palpado (idas y vueltas), con o sin realineamientos, o una combinación de todo ellos, como fue el caso aplicado en esta investigación.

Mediante la utilización de una geometría sustitutiva se evalúa el comportamiento puro de la CMM en el palpado de una superficie o de una curva (pues los escaneados se hacen a altura Z cte.) que se aproxime lo suficiente al perfil teórico de un diente de engranaje.

Incluso aunque la curva maestro, por decirlo así, se separe del perfil teórico de envolvente, se conocen matemáticamente dichas diferencias, por lo que el método sería válido. En este caso la CMM al evaluar el engranaje la CMM tiene que dar dichas diferencias conocidas con gran exactitud con respecto a la geometría sustitutoria.

Incluso aunque la curva maestro (la cuasi-envolvente por decirlo así), se separe del perfil teórico de envolvente, si se conocen matemáticamente dichas diferencias, el método también perfectamente válido. En este caso la CMM al evaluar el engranaje la CMM tiene que dar dichas diferencias conocidas con gran exactitud con respecto a la geometría sustitutoria.

Si la geometría sustitutoria tiene suficiente precisión (menos de 1, 2 o 3 micrómetros en error de forma, rugosidad menor de  $Ra=0,2 \mu\text{m}$ , p.e.), la aproximación o repetibilidad que la CMM consiga midiendo dicha curva es una medida extremadamente buena de la incertidumbre límite que cometería la CMM cuando mida el engranaje real. Eso sí, la citada repetibilidad debe ser a costa de hacer métodos promediadores que eliminen al máximo todos los errores de CMM en el espacio de trabajo del engranaje; como son el método del doble giro, el método de volteo, cambio de dirección de palpado (idas y vueltas), con o sin realineamientos, o una combinación de todo ellos, como fue el caso aplicado en esta investigación.

### **Elección de geometría sustitutoria.**

La geometría que sustituye el perfil de evolvente es una de las tareas más importantes de esta investigación, después de un estudio pormenorizado de diversas geometrías que aunasen en una sola tres requisitos:

- máxima precisión, (elementos tipo cilindros y esferas son los más precisos)
- acercamiento suficiente al perfil de evolvente (habrá unas dimensiones aptas para un diente y un módulo, o como mucho para una gama cercana –geoméricamente hablando- de ellos) y
- mínimo error en su medición (esto es, medir alineando siempre con el mismo elemento independiente de la posición del mismo en el espacio de la CMM).

Se llegó a la geometría que se observa en la imagen de la figura 1. En ella se observan dos cilindros de precisión, uno de diámetro 34.666 mm y otro de diámetro 17,215 mm que representan respectivamente, geometrías de dientes de envolventes de módulo 5, con  $z=20$  dientes y módulo 2,75 con  $z=20$  dientes. Sobre las superficies de estos cilindros, y durante un sector especificado de aproximadamente  $20^\circ$ , se palpan en continuo (scannings de alta densidad) los perfiles que emulan las envolventes de los dientes de los engranajes. La esfera esta solidaria con el cilindro por medio de un vástago de fibra de carbono de diámetro 6 mm, y permite orientar siempre de la misma forma el cilindro con el fin de palpar siempre la misma curva en el espacio independientemente de la posición (giro, volteo o inversión) del cilindro en la CMM. Cada vez que se mueva la pieza, se palpa el cilindro y la esfera. Utilizando solo estos dos elementos para alinear la pieza y construir el perfil a palpar en el espacio con una altísima repetibilidad de posicionamiento.

Con los scannings se captura una gran cantidad de puntos (hasta 200 o más puntos) sobre el perfil del cilindro, realizando idas y vueltas con la misma alineación y en la misma posición (inversión), y luego realizando cambios de posición espacial y volteos de la pieza. De esta forma se valida la variabilidad de la CMM en un perfil muy similar (cuasi-envolvente) al que se utilizaría en el caso de un engranaje real y se corrigen los errores sistemáticos de los ejes. Posteriormente se introducen las coordenadas de los puntos en la aplicación desarrollada para su análisis en cuanto a error radial, desviaciones espaciales, etc. pudiendo obtener también el cálculo de los parámetros de calidad del engranaje según normativa (básicamente ISO 1328-1 de 2013 y su equivalente AGMA 2015-1-A01, y la ISO/TS 10064).

## **2.3 Tareas realizadas**

Las tareas especificadas inicialmente en la solicitud, y cuya programación se han mantenido de forma bastante fiel a lo largo de los meses dedicadas a la ayuda, han sido:

1- Puesta en marcha del proyecto: Estudio de engranajes y parámetros asociados.

Una de las etapas más importantes del proyecto sin duda ha sido la recopilación y estudio de información referente a los parámetros de calidad de engranajes, materializada especialmente en la lectura de normativa. Al llevar a cabo esta primera fase, que supuso un gran esfuerzo inicial, se comprobó que la complejidad que alcanza la fabricación/medición de engranajes como tarea técnica es muy elevada. El abanico que permitía abarcar la definición original del proyecto, en el periodo de tiempo que se planteaba inicialmente de unos seis meses, que posteriormente quedó reducido por el retraso en las adjudicaciones de los proyectos, hubo de reducirse al estudio del perfil del engranaje recto, y a desarrollos previos en el estudio de la hélice y el paso Cabe decir que el contacto inicial, tanto con los elementos básicos que componen un engranaje y los parámetros de calidad, como con los procedimientos para asignación de incertidumbres representa un gran esfuerzo en comparación con el que podría representar la expansión de estos conocimientos ya adquiridos para cubrir un abanico más amplio de tipologías o aplicaciones.

2- Estudios de parámetros de Calidad, métodos y programas de verificación. Medición con CMM.

Una vez establecidas las geometrías y la tipología de distintos tipos de engranajes, junto con la definición de sus parámetros constructivos, referidos no solo al perfil de las envolventes que crea el propio diente, sino también a los diámetros funcionales, espesores, radios de acuerdo, módulos, ángulos, etc. Se definen los parámetros de Calidad de los engranajes, elaborando para ello una aplicación informática, programa sobre un software libre, como es "R". Paralelamente, toma de contacto con el manejo de las CMM disponibles para el proyecto. Programación de las mismas y adecuación a la medición de las geometrías/tipologías de distintos tipos de engranajes (softwares PD-DMIS y Calypso, módulo GearPro disponibles en ISM3D).

3- Propuesta de Procedimiento de calibración

Aquí se contrastaron distintos métodos de calibración con cálculo de incertidumbres, llegando a la conclusión del uso de la medición en multiposición y las inversiones (siendo esta una de las líneas que ISO estableció históricamente para dar trazabilidad mediante la serie ISO 15530) que geometría sustitutoria. De cara a materializar estos procedimientos sobre piezas de precisión, se optó por la utilización de una geometría sustitutoria en lugar de adquirir o fabricar un engranaje patrón. Con la aplicación, se definieron dos patrones sustitutorios basados en el uso de un cilindro de precisión al que se le fijo de forma solidaria una esfera de precisión, para dotar al cilindro de orientación y posicionamiento con máxima repetibilidad. El cilindro fue mecanizado en nuestro taller obteniendo error de forma inferior a 3  $\mu\text{m}$  y una rugosidad de 0,1  $\mu\text{m}$ . Posteriormente se le pego, con un pegamento especial, una barra de fibra de carbono de alto modulo elástico en la zona media, con una esfera de precisión pegada en su extremo opuesto (figuras 1 y 2). En cuanto a la propuesta de calibración de esta etapa, se decidió efectuarla simultáneamente con la etapa 4, relativa al desarrollo de la aplicación, pues fue necesario validar el software y hacer simulaciones reales con los patrones prototipos –de geometría sustitutoria- para validar el método en sí mismo (repetibilidad de la CMM en un mismo cuasi-perfil de envolvente, sobre el cilindro).

4- Desarrollo de aplicación soporte del procedimiento. Programación de la aplicación.

Una vez que se disponía de puntos (coordenadas sobre el diente sustituto), se pudo proceder a graficar las diferencias máximas encontradas y asignar incertidumbres como parte de un procedimiento. En este momento ya se ha elaborado un modelo de propagación de incertidumbres basado en múltiples trayectorias sobre el cilindro (diente) patrón. La aplicación posibilita -y facilita- los cálculos de las incertidumbres típicas y expandidas a partir de las contribuciones consideradas, de las repeticiones realizadas, y de la ley de propagación de varianzas según las indicaciones de la guía GUM, permitiendo la expresión no solo cuantitativa de las incertidumbres implicadas sino también en forma gráfica, como suelen ofrecerse en el ámbito de la calibración.

#### 5- Implantación y pruebas de validación de la aplicación.

Esta etapa se está realizando a lo largo del mes de noviembre y continuará en diciembre. Se han realizado pruebas completas con las dos CMM disponibles y sobre uno de los patrones de geometría substitutoria mencionados (modulo 5, 20 dientes). En una última etapa del proyecto se deberán realizar pruebas de simulación de una situación de calibración real sobre engranajes de una tipología seleccionada, que permitan verificar que el procedimiento es robusto y ofrece los resultados esperados.

#### 6- Elaboración de documento final. Informe de resultados.

Todavía no realizado. Se realizara a lo largo del mes de diciembre con la elaboración de una documentación más detallada del trabajo y de la metodología seguida con objeto de servir como base para un artículo (JCR), congreso de relevancia, etc. que se intentará realizar en el primer trimestre del 2016. Al margen de dicha documentación, Tanto la aplicación ya programa como la propia documentación quedarán a disposición de la empresa, que será la responsable de continuar con la investigación para validar finalmente el procedimiento, posiblemente con intercomparaciones con otros laboratorios, aumentar el alcance de la aplicación, que ahora está limitado a engranajes rectos, etc.

### **2.4 Resultados obtenidos**

El resultado fundamental que se ha obtenido con el presente proyecto es la elaboración de una metodología para verificación y calibración de engranajes con ausencia de patrón de engranajes, basada en utilizar CMM de alta precisión cuyas mediciones están validadas por un procedimiento de multiposición e inversión de medidas estadísticas sobre un patrón de geometría substitutiva. Con esta metodología la empresa colaboradora (ISM3D) podrá continuar la investigación pudiendo conseguir en un futuro cercano ampliar el alcance de su acreditación ENAC para la calibración de engranajes, asumiendo un mercado actualmente no abordado en España.

El conocimiento adquirido por el grupo de investigación (ampliando la formación científico-técnica del becario) también debe considerarse como un objetivo importante conseguido en el proyecto al margen de la propia aplicación desarrollada y del procedimiento asociado, que se dejan a disposición de la empresa para continuar la investigación.

A modo de evidencias sobre la actividad desarrollada, y sin ánimo de abarcarla totalmente (lo que se escapa de este informe), se muestran algunas figuras a continuación para dar idea del trabajo realizado.

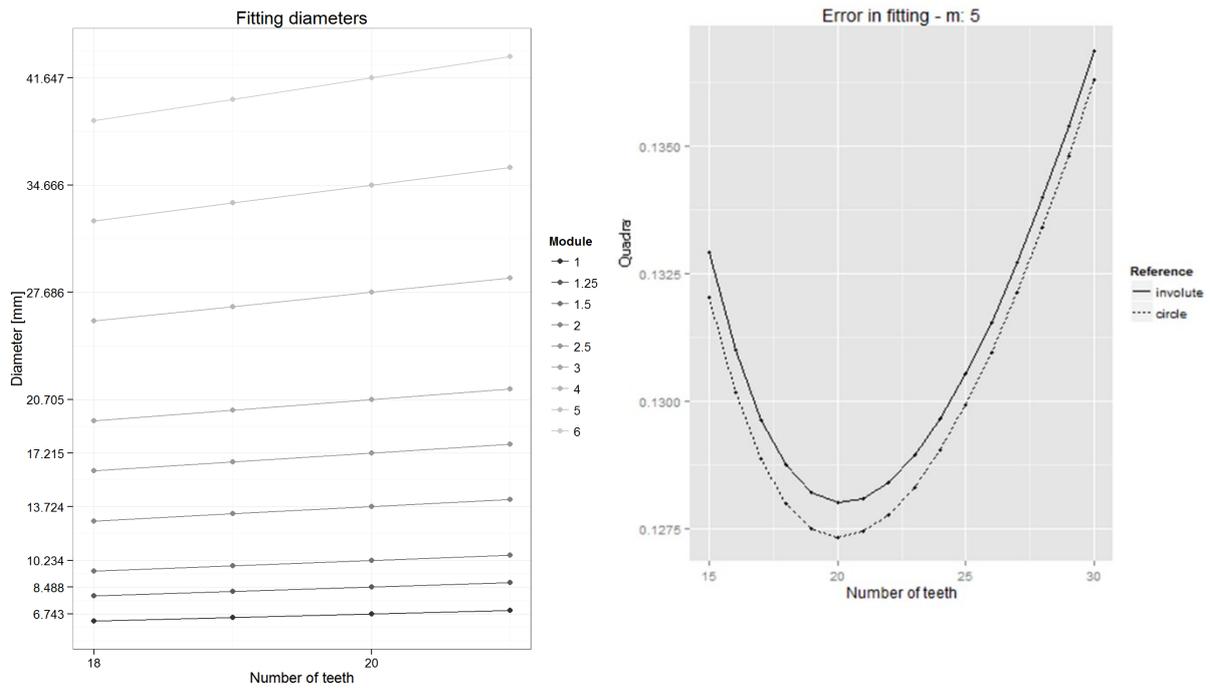


Fig.1.- Gráficos obtenidos por la aplicación desarrollada y utilizados para elección de cilindros patrón de geometría sustitutoria. Se decidió utilizar z=20 dientes y módulos 5 y 2,75 respectivamente.



Fig.2.- Patrones de geometría sustitutoria para dientes de engranajes

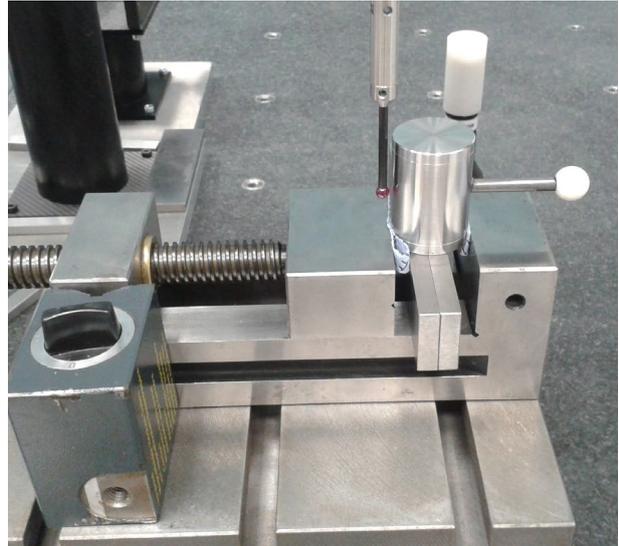
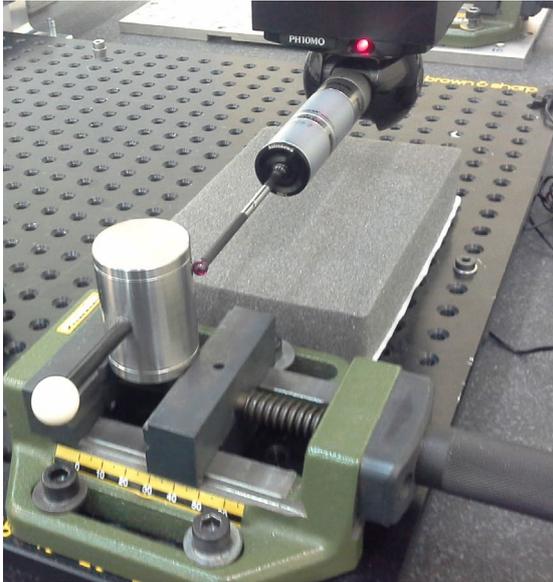


Fig.3. – Palpado en continuo sobre el sector del cilindro para materialización del perfil de cuasi-envolvente. (izq. DEA Gobal en laboratorio de Uniovi, der. ZEISS Prismo en ISM3D)

PC-DMIS CAD++ 2014.1 (Release) - Máquina (Administrador)

ARRANQUE | A2 | SP25M-6BL50 | T1A600 | Z- | Plano de trabajo

Elemento automático [CIR1.1]

Círculo

Propiedades del elemento

Superficie: **CIR1.1**

Centro: I: 0 J: 1 K: 0

Radio: R: 0

T: 0

Propiedades de la medición

Ángulo inicial: 0.0000

Ángulo final: 30.0000

Dirección: CCW

Usar raster: No

Opciones de medición avanzadas

NOMINALES: **QUAD\_MEN**

Análisis: Relativo a: **Tol. 11** **Tol. 12**

| Id | X      | Y     | Z      | I      | J       | K      |
|----|--------|-------|--------|--------|---------|--------|
| 1  | 3.5885 | -16.9 | 0.0000 | 0.2079 | -0.9781 | 0.0000 |
| 2  | 3.6668 | -16.9 | 0.0000 | 0.2119 | -0.9773 | 0.0000 |
| 3  | 3.7551 | -16.9 | 0.0000 | 0.2158 | -0.9764 | 0.0000 |
| 4  | 3.8434 | -16.9 | 0.0000 | 0.2197 | -0.9756 | 0.0000 |
| 5  | 3.9317 | -16.8 | 0.0000 | 0.2237 | -0.9747 | 0.0000 |
| 6  | 3.9997 | -16.8 | 0.0000 | 0.2276 | -0.9738 | 0.0000 |
| 7  | 4.0678 | -16.8 | 0.0000 | 0.2315 | -0.9728 | 0.0000 |
| 8  | 4.0758 | -16.8 | 0.0000 | 0.2354 | -0.9719 | 0.0000 |
| 9  | 4.1437 | -16.8 | 0.0000 | 0.2394 | -0.9709 | 0.0000 |
| 10 | 4.2115 | -16.8 | 0.0000 | 0.2433 | -0.9700 | 0.0000 |
| 11 | 4.2793 | -16.7 | 0.0000 | 0.2472 | -0.9690 | 0.0000 |

Preparado X 192.7713 Y 83.9214 Z 503.3761 DE 0

13:46 19/11/2015

Fig.4. – Programación sobre software de CMM (PC-DMIS) de las trayectorias del perfil de cuasi-envolvente

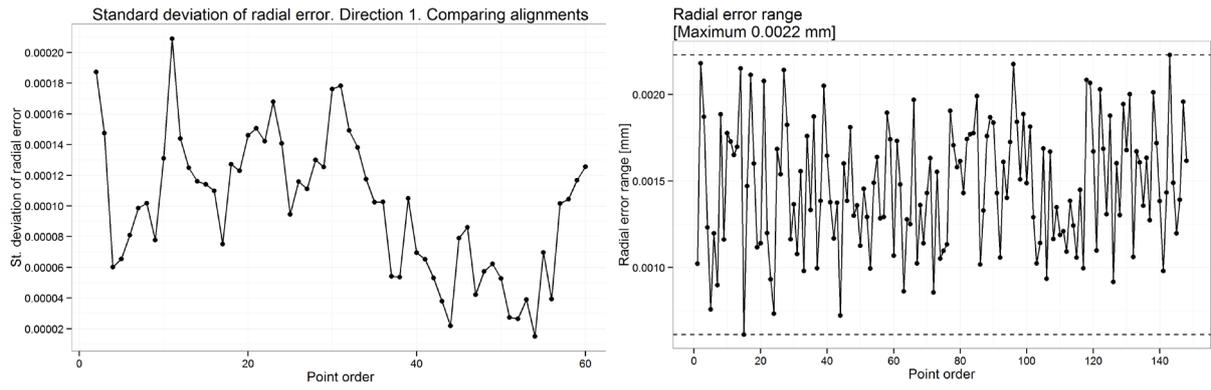


Fig. 5.- Primeros ensayos sobre perfil de cuasi-envolvente. Izq. Desviación estándar en errores radiales entre posicionamientos sobre el mismo perfil (CMM de uniovi. DEA Global). Der. Rango del error radial.

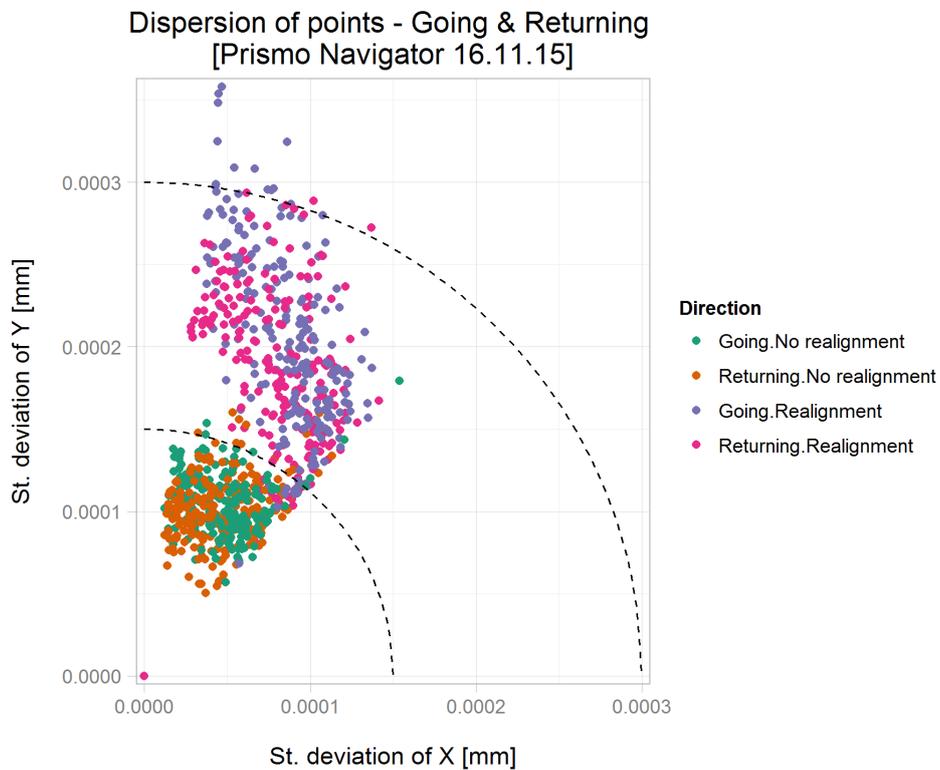


Fig. 6.- Resultados satisfactorios con la CMM Prismo en Scanning, Se reflejan ahí desviaciones típicas en idas y vueltas, tanto para: 1. Medidas con re-alineación, 2. Medidas sin re-alineación

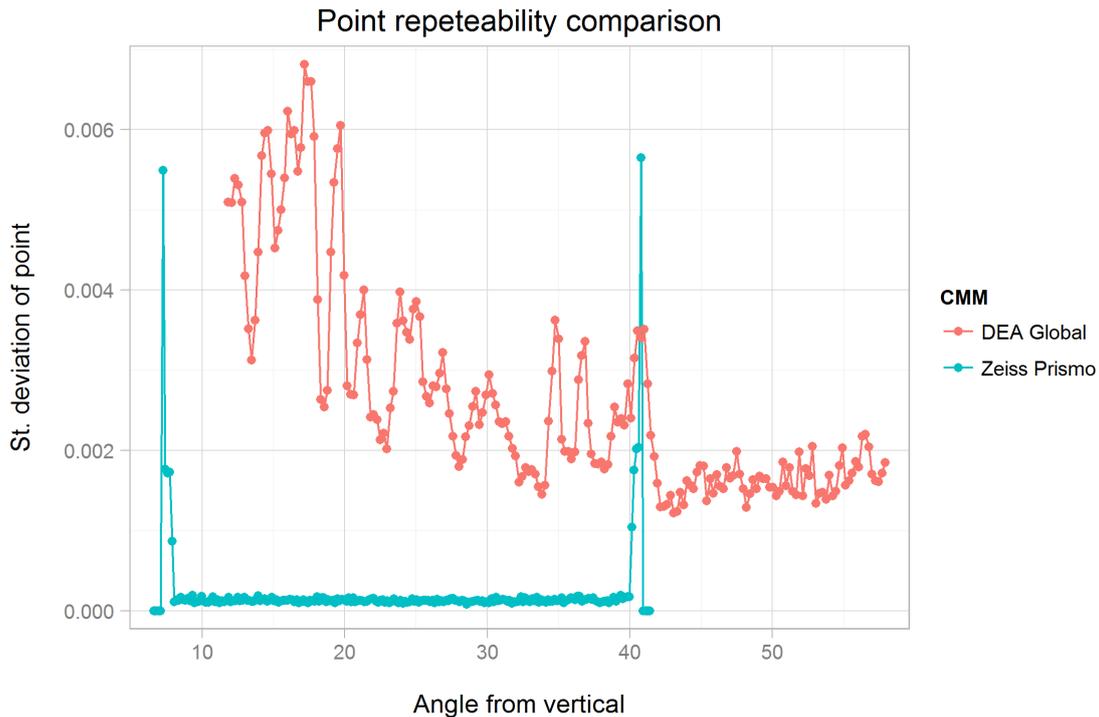


Fig. 7.- Repetibilidad en posicionamiento (al ir variando la longitud de arrollamiento) sobre el perfil de cuasi-envolvente del patrón sustitutorio, La curva azul es la CMM de precisión (Zeiss Prismo), la curva roja corresponde a una CMM de producción (DEA Global Image)

## 2.5 Trabajos o necesidades futuras

Una vez definido el procedimiento de calibración, como trabajo futuro se encuentra la validación de la metodología desarrollada y probada tanto en nuestra CMM (DEA Global Image) como en la CMM de Precisión disponible en la empresa ISM3D (una ZEISS Prismo). Esta validación pasa por:

- Hacer más ensayos con los patrones de geometría sustitutiva (en otras zonas del espacio de trabajo de la CMM, .p.e.)
- Implementar trayectorias para dientes de engranajes helicoidales (en principio se pueden usar los mismos patrones sustitutos, pero trazando scannings helicoidales)
- Materializar y probar otros patrones sustitutos que emulen diferentes tipos de engranajes, módulos, número de dientes, etc. (adaptando su diámetro, p.e. distancia a la esfera para alienación, etc.)
- Hacer intercomparaciones con otros laboratorios certificados.

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

El retraso en las fechas y plazos de la convocatoria han afectado la asignación de personal al proyecto, mermando la investigación y con ello los resultados esperables de la misma. De todas formas, las pruebas y ensayos realizados hasta la fecha ya permiten predecir al menos varios tipos de resultados y/o divulgaciones, que dependerán en parte del interés a futuro de la empresa promotora.

- Se pueden citar en este sentido, publicación en distintas revistas cuya temática permitiría incorporar los resultados de este proyecto, como por ejemplo: Measurement Science & Technology, Precision Engineering, Measurement o International Journal of precision

Engineering. Aunque la debida confidencialidad del desarrollo impide mostrar y/o detallar el algoritmo desarrollado, esto no impedirá centrarse en la metodología, ensayos realizados y resultados obtenidos; Posibilitando así su publicación futura en revista de impacto, congreso Internacional o similar.

- Se ha establecido ya contacto como una entidad colaboradora, gracias a un proyecto de referencia del PTB, dirigido por Dr.-Ing. Karin Kniel, Head of Department "Coordinate Metrology", del Physikalisch-Technische Bundesanstalt (Germany), [karin.kniel@ptb.de](mailto:karin.kniel@ptb.de), con la colaboración del DTU de Dinamarca en que también estudiaron calibración de roscas y engranajes.
- Ampliación del alcance de las posibilidades de calibración de engranajes con CMM de alta precisión por parte de ISM3D. con opción a ampliación del portfolio de empresas interesadas en este sector, como fabricantes de engranajes, p.e.

### 3. MEMORIA ECONÓMICA

| Financiación                            |                              | Personal  | Inventariable                         | Fungible | Otros gastos |
|---|------------------------------|---|---------------------------------------|----------|--------------|
| IUTA                                    | SV-15-GIJÓN-1-01             | 4500  | 0                                     | 0        | 0            |
| Otras fuentes                           | Referencia proyecto/contrato | Empresa ISM3D   | 500<br>(patrón geometría sustitutiva) | 30       | 0            |
| Estudiante con ayuda a la investigación | Nombre                       | Hector Patiño Sanchez                                       |                                       |          |              |
|   | Tareas                       | Colaboración en todas las fases del proyecto                |                                       |          |              |
|   | Período                      | Mayo, Junio, Septiembre, Octubre, Noviembre, Diciembre 2015 |                                       |          |              |

### 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. |
| 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 €  |

|                              |  |
|------------------------------|--|
| Título del proyecto/contrato | Desarrollo y Fabricación de artefactos y utillajes de precisión con incorporación de materiales avanzadas destinados al aseguramiento de Calidad en tecnologías de medición con y sin contacto |
| Referencia                   | FUO-EM-170-15  |

|                                |   |
|--------------------------------|---|
| Investigador/a/es principal/es | Eduardo Cuesta Gonzalez   |
| Equipo investigador            | Agustin Castaño Rivero, Yago Prado Cueto, Braulio Alvarez Alvarez |
| Periodo de vigencia            | Desde: 21/04/2015 hasta: 31/12/2015                               |
| Entidad financiadora           | DSP Industrial, S.L.  |
| Cantidad subvencionada         | 2.137 €   |

|                                |  |
|--------------------------------|--|
| 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)<br>Unión Europea - Fondos Feder. INESPO II. |
| Cantidad subvencionada         | 3.500 €  |