

Establecer una metodología para implementación del escaneo óptico 3D como sistema de verificación en el SENA-CMM aplicado en engranajes

Yamid Reyes^{1,2}; <https://orcid.org/0000-0003-4982-6738> Andrés F. Cifuentes²; <https://orcid.org/0000-0002-2006-3485>

1.-Centro Metalmecánico-Servicio Nacional de Aprendizaje, 2.División de Ingeniería Mecánica-Universidad Nacional de Colombia,

Resumen—Este artículo tiene como objeto establecer una metodología para la implementación de escaneo óptico 3D para la verificación geométrica de engranajes. La metodología corresponde a una investigación experimental con enfoque analítico y descriptivo, desarrollada en cuatro etapas, análisis, diseño, ejecución y evaluación.

El resultado obtenido fue una propuesta metodológica que contribuye a implementar el escaneo óptico tridimensional para engranajes cónicos de diente recto. Se logró desarrollar una línea base para identificar, con la metodología planteada, desviaciones en características geométricas que impactan el servicio del engranaje tales como ruido, calor excesivo, vibraciones, desgaste, entre otros.

Palabras claves: Escáner óptico, verificación de engranaje, control de calidad.

Abstract-- The purpose of this article is to establish a methodology for the implementation of 3D optical scanning for geometric verification of gears. The methodology corresponds to an experimental investigation with an analytical and descriptive focus, developed in four stages, analysis, design, execution and evaluation.

The result was a methodological proposal that contributes to the implementation of three-dimensional optical scanning for straight tooth bevel gears. A baseline may be developed to identify, with the proposed methodology, the deviations in the geometric characteristics that impact the service of the gear such as noise, excessive heat, vibrations, wear, among others.

Key words: Optical scanning, gear inspection, quality control.

I. INTRODUCCIÓN

Los sistemas de escaneo 3D son sistemas ligados a la RE (ingeniería inversa, por sus siglas en inglés) [1]. Los cuales giran alrededor de tres métodos principales: de contacto, de no contacto y destructivo

Diversos procesos pueden ser aplicados durante el desarrollo de elementos; escanear, procesar nubes de puntos y comparar con el prototipo digital (CAD) con algunas de las aplicaciones aplicables desde el punto de vista del control de calidad.

Por otro lado, es posible la reconstrucción de geometrías o la inspección de elementos sometidos a algún mecanismo de desgaste. Esto con el fin de aproximarse al uso de herramientas para la ejecución de modelos de mantenimiento proactivo.

Para las aplicaciones de control de calidad se dispone de la

inspección con base al modelo digital con herramientas CAD. El proceso de manufactura consta de la generación de trayectorias de corte que son postprocesadas y ejecutadas en máquina de control numérico multiejes; posteriormente, con el modelo geométrico y nube de puntos son validadas las características geométricas y dimensionales[2].

Ilustración 1. Flujo de trabajo RE



Por otra parte, escanear es un proceso que requiere software y hardware, ambos poseen múltiples opciones, y en las últimas décadas ha incrementado la disponibilidad y reducido costos de proceso. Teniendo en cuenta estas tendencias y la apropiación poca fortalecida, este artículo implementa el escáner 3D T-SCAN CS+ óptico como un sistema de verificación en el Centro Metalmecánico del Servicio Nacional de Aprendizaje – SENA, aplicado en un engranaje (piñón) metálico cónico de diente recto.

II. JUSTIFICACIÓN

En los procesos de fabricación de engranajes es común el ajuste post maquinado para suavizar y perfeccionar las superficies de los dientes. El propósito del ajuste es mejorar el desempeño del elemento en los aspectos dinámicos del mecanismo. Los recursos invertidos en procesos de ajuste no son controlables debido a su connotación de proceso manual.

Por medio de una ejecución del proceso de maquinado más eficiente, es posible minimizar los defectos que deben corregirse por medio de ajuste manual.

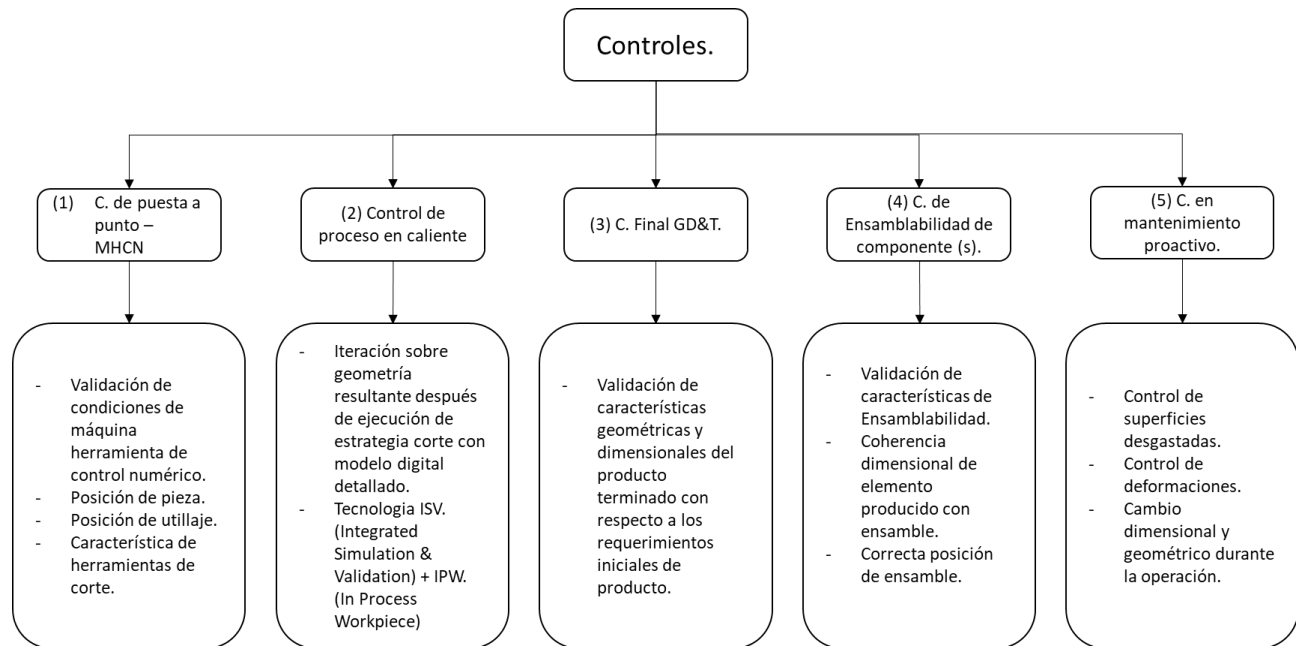
Los métodos actuales de inspección carecen de capacidad para determinar la forma precisa de los dientes de un piñón durante la fabricación o después de ella. Es necesario desarrollar métodos que permitan hacer control sobre el producto en proceso y terminado, que facilite la corrección de los parámetros de manufactura sobre la ejecución del proceso.

En elementos de gran tamaño, los métodos convencionales no son suficientes para el control GD&T (Tolerancias Geométricas

y Dimensionales, por sus siglas en inglés). La forma y posición de los dientes de un engrane no son suficientes para validar la calidad del elemento.

Los métodos convencionales son aplicados normalmente después de la ejecución de los procesos de fabricación. En caso de presentarse una contingencia durante el proceso, este no se ve reflejado sino hasta la ejecución completa. Como resultado, el elemento puede ser no conforme – no recuperable o en un mejor escenario no conforme – recuperable. En los dos casos, existe pérdida de tiempo y por ende un costo no programado.

Ilustración 2. Fases de controles dimensionales.



Fuente:

III. MATERIALES Y MÉTODOS

La metodología, Ilustración 1, está enfocada a analizar, a través de un sistema de adquisición de datos, las características geométricas tridimensionales de un engranaje cónico diente recto para posteriormente procesar los datos y obtener una nube de puntos. La nube de puntos se filtra y únicamente los puntos útiles son tomados para generar la geometría CAD 3D real del engranaje cónico diente recto. Por último, mediante comparación entre el modelo CAD ideal y el CAD real, se verifica o evalúa la desviación local según requerimientos.

Para lo anterior conviene dar a conocer los principios de funcionamiento del escaneo tridimensional, sus capacidades, ventajas y desventajas, sin dejar de lado los equipos necesarios para ejecutar el escaneo.

A. Contacto y no contacto

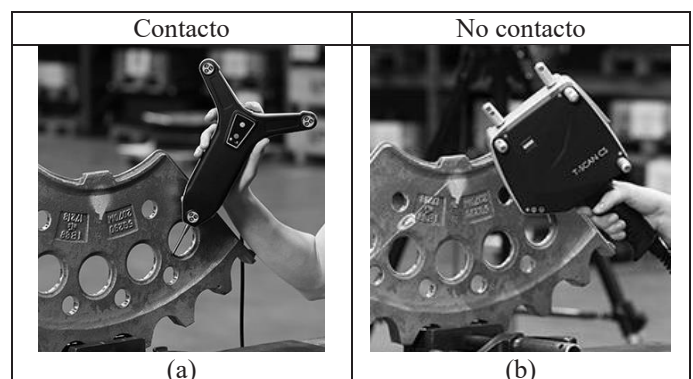
Los métodos de contacto y de no contacto son los dos métodos más usados. El de contacto posee palpador dispuesto en máquina o dispositivo y de manera análoga o computarizada toca el componente y almacena la nube de puntos, Ilustración 3a. Alta precisión, capacidad de medir ranuras profundas e insensibilidad al color o transparencia son algunas ventajas; la baja tasa de recolección de datos y la deformación de objetos

Las acciones de metrología conllevan a una pausa del proceso productivo. En términos económicos, la medición de una pieza es un gasto necesario para el control de las especificaciones de un producto. Sin embargo, nos es viable interrumpir los procesos de fabricación para mover la pieza de trabajo y efectuar mediciones. Se precisan métodos y tecnologías que permitan realizar mediciones de forma flexible y en tiempos reducidos.

suaves con el palpador.

El método de no contacto, Ilustración 3b, puede capturar puntos mediante fuentes como luz, sonido o campos magnéticos. Las ventajas son el no contacto físico, la rápida digitalización e identificación de colores y las desventajas son la limitación en superficies transparentes o reflectivas.

Ilustración 3. Aparatos para escaneo por contacto y no contacto.



Fuente: Adaptado de [3]

B. Hardware

Se dispone de un escáner de mano de láser ZEISS T-SCAN y escáner de palpado ZEISS T-POINT con cámara de seguimiento para referenciamiento dinámico ZEISS T-TRACK CS+.[3]

Ilustración 4. Escáner óptico de mano ZEISS T-SCAN CS



Fuente: Autor

Por el momento, el sistema de escaneo por no contacto, puntualmente por láser de diodos, será el usado. En la Ilustración 4 se observa la manera de sujetar el escáner de mano y los pines para que el sistema de seguimiento identifique la posición en el espacio de trabajo.

Tabla 1. Especificaciones técnicas del escáner de mano ZEISS T-SCAN CS

Característica	Definición
Profundidad de medición	+/- 50mm
Ancho de línea	Hasta 125mm
Distancia media de trabajo	150mm
Frecuencia de línea	Hasta 330 Hz
Velocidad de datos	210.000 puntos/segundo
Peso	1110 g
Distancia media entre puntos	0.075 mm
Puntos por línea	1312
Tipo de láser	Diodo
Clase de láser	2 M
Longitud de onda	658 nm

Fuente: Adaptado de [4]

La Tabla 1 resume las principales características técnicas propias del escáner de mano disponible, un valor a resaltar es la resolución o distancia media entre puntos, 75 μ m, este valor es funcional para el tipo de geometría a verificar

Por otra parte, el sistema de seguimiento que permanece estático y cuyo campo de acción, según la Tabla 2, está entre 2 y 4

metros, es decir, si el componente que se está escaneando se ubica entre 0 y 2 metros del sistema de seguimiento, el componente no se podría procesar porque los puntos tomados por el escáner de mano no están siendo referenciados, lo mismo si la distancia supera los 4 metros.

Ilustración 5. Sistema de seguimiento ZEISS T-TRACKER CS+ sobre trípode y orientado hacia zona de medición



Fuente: Autor

La ubicación del sistema de seguimiento se requiere, preferiblemente, contra una pared o en una esquina para que el espacio subutilizado sea mínimo (Ilustración 5).

Tabla 2. Especificaciones técnicas del sistema de seguimiento ZEISS T-TRACKER CS+

Característica	Definición
Distancia de medición: objeto-cámara	2 - 4 m
Medición de volumen	6.3 m3
Campo de visión	Hasta 2466x2178xx
Tasa de medición	Hasta 4kHz
Peso	18.5 kg
Dimensiones	1150x180x150mm
PC	Portátil o de escritorio

Fuente: Adaptado de [3]

C. Software

El programa dedicado para la recolección de datos y visualización en tiempo real de la posición del escáner de mano y los puntos escaneados (piñón) respecto a un sistema coordinado establecido es ZEISS colin3D. Este programa permite identificar la desviación global medida de manera cuantitativa.

Sin embargo, para medir la desviación local se usa el NX 10 de Siemens y el módulo de ingeniería inversa.

IV. DESARROLLO EXPERIMENTAL

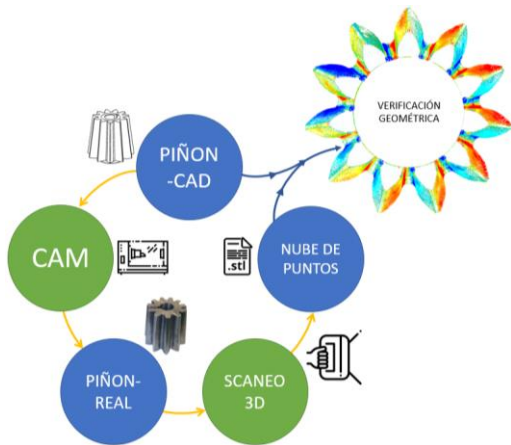
A. Caso de estudio: Medición piñón cónico diente recto

1) Planteamiento del problema

La geometría ideal es obtenida mediante relaciones geométricas, esto es visualizado en plataforma CAD, a su vez es base para la programación con CAM. De lo anterior y con el uso de máquinas herramientas se obtiene la geometría de un piñón cónico con once dientes rectos.

Una vez fabricado el piñón, se debe verificar la geometría obtenida del mecanizado; la geometría de comparación es el CAD ideal.

Ilustración 6 Ciclo de trabajo implementado



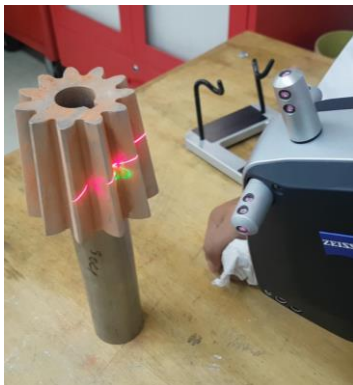
Fuente: Autor

Por consiguiente, una geometría real es requerida. La propuesta aquí presentada es realizar un escaneo tridimensional del piñón para obtener una nube de puntos o malla poligonal y evidenciar las posibles desviaciones geométricas.

2) Preparación óptica de objeto

El objeto es recubierto con capa de talco, garantizando un recubrimiento total y homogéneo, con el fin de que el láser tenga una superficie de incidencia opaca.

Ilustración 7. Piñón con capa de talco siendo escaneado



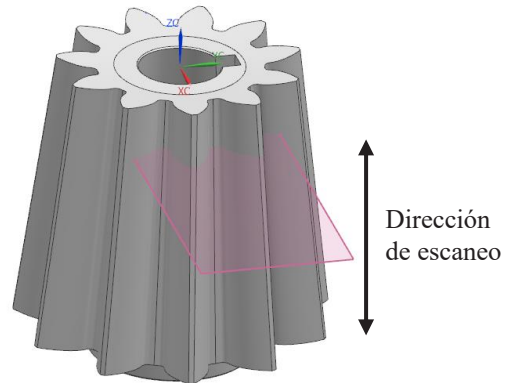
Fuente: Autor

Existen múltiples técnicas para obtener una superficie opaca, entre ellas está, pintura en aerosol, revelador (usado en tintas penetrantes), capas poliméricas.

3) Estrategia de escaneo

Seguir la longitud de la acanaladura del diente, también conocido como vano, es la estrategia identificada para escanear de manera rápida y sin omisión de detalles.

Ilustración 8. Dirección de escaneo a lo largo del vano

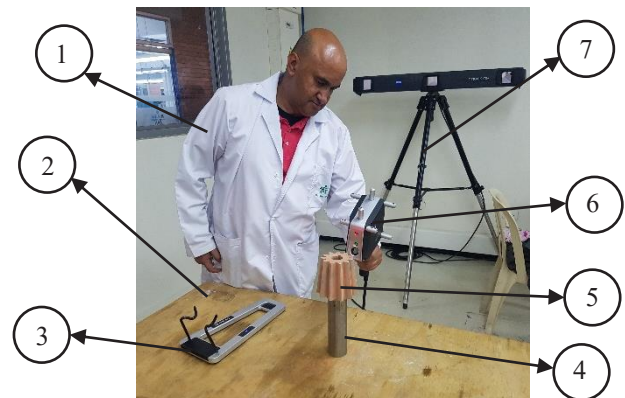


Fuente: Autor

Este movimiento de sube y baja debe repetirse sobre los 11 vanos, el movimiento debe ser suave y controlado a una distancia entre la pieza y el escáner de mano cercana a los 150mm. De igual manera, el operario debe girar junto al escáner, alrededor del piñón; el piñón permanece en la misma posición durante todo el proceso de escaneo.

En la Ilustración 9 se identifican varios componentes fundamentales en el proceso de escaneo como los son: la persona quien opera y ejecuta los movimientos de sube y baja del escáner (1), mesa de trabajo (2), soporte para el escáner de mano (3), soporte para la pieza de trabajo (4), Piñón cónico con capa de talco (5), escáner de mano T-SCAN CS (6) y sistema de seguimiento T-TRACK CS+ (7).

Ilustración 9. Ejecución estrategia escaneo

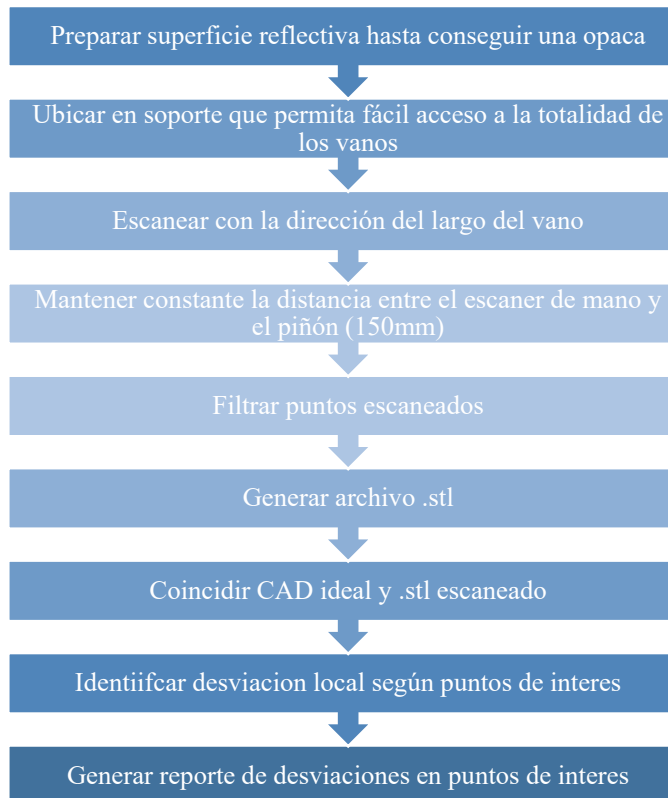


Fuente: Autor

V. RESULTADOS

La propuesta metodológica, planteada en la Ilustración 1, para el escaneo 3D de un engranaje cónico metálico diente recto es:

Tabla 3. Propuesta metodológica para implementación del escaneo óptico 3D como sistema de verificación de engranajes



La preparación del montaje no requiere de preparación alguna sobre la parte. El elemento puede ser escaneado en cualquier posición siempre y cuando sea posible barrer su superficie con el láser. La posición de la nube de puntos no influye posteriormente en los análisis.

El volumen de trabajo del dispositivo permite el escaneo de varios elementos en simultáneo, lo que permite reducir el tiempo de escaneo y agilizar el procedimiento de análisis geométrico. Discusión de resultados

La inspección de geometrías especiales presentes en los engranajes se ha ejecutado en máquinas especialmente diseñadas para tal tarea, la verificación por palpado ha sido el método usado con mayor frecuencia en la industria, protocolos y rutinas de funcionamiento están plenamente establecidas para cada configuración del engranaje cilíndrico diente recto y diente helicoidal, al igual sin fines y coronas. Sin embargo, para engranajes especiales como pueden ser cónicos e hipoidales su verificación en países como Colombia no es aplicado por limitaciones tecnológicas.

Considerando lo anterior y en aras de la tecnificación de la industria de fabricación y verificación de engranajes se adapta tecnología de escaneo 3D realizado en sectores como los aeronáuticos, de construcción civil y mecánica. Por consiguiente, extrapolar el escaneo no exclusivamente como herramienta de ingeniería inversa, sino como herramienta para verificación geométrica de engranajes puede llegar a ser una alternativa industrial viable, considerando que la propuesta metodológica aquí planteada toma un sistema de escaneo genérico y lo potencia como herramienta de verificación de engranajes cónicos, con potencial de implementación en engranajes hipoidales.

En la práctica experimental los inconvenientes o temas no previstos son de gran retroalimentación para proyectos futuros. En este caso se evidenció que el peso del escáner de mano puede llegar a ser incomodo después de cierto tiempo de operación del mismo y esto de paso afecta el movimiento suave de la estrategia de barrido, haciendo que la nube de puntos sea perturbada. Como ya es conocida la “limpieza” de elementos escaneados no deseados, como mesa, soportes, entre otras, se torna tediosa, la ventaja de este tipo de sistemas es la visualización en tiempo real de los puntos tomados. Por último, a pesar de la flexibilidad del escáner láser, existen zonas en las que no es posible realizar barridos. El agujero del eje no es tomado por el láser. Sin embargo, es posible determinar el centro del piñón con los puntos que definen la arista del agujero.

RECONOCIMIENTOS

Especial reconocimiento a Industrias RAMFE por disponer el piñón cónico diente recto en las instalaciones del SENA- Centro Metalmecánico y permitir su verificación.

REFERENCIAS

- [1] V. H. Raja and K. J. Fernandes, *Reverse Engineering: An Industrial Perspective*. 2009.
- [2] W. Wang, *Reverse Engineering: Technology of reinvention*. 2011.
- [3] “ZEISS T-SCAN 3D Digitization / Laser Scanning Intuitive data capture with a hand-held laser scanner.” ZEISS, p. 4, 2017.
- [4] “ZEISS T-SCAN Digitalización 3D / Escaneo láser Captura intuitiva de datos con un escáner láser manual ZEISS T-SCAN.”.