

Implementación del escaneo óptico 3D como sistema de verificación en el SENA-CMM aplicado en piñones

Yamid G. Reyes F.

Centro Metalmecánico- Distrito Capital
Servicio Nacional de Aprendizaje- SENA
<https://orcid.org/0000-0003-4982-6738>

Andres F. Cifuentes G.

Universidad Nacional de Colombia
<https://orcid.org/0000-0002-2006-3485>

Resumen— Se muestra un análisis dimensional y geométrico de piñón cónico implementando metodología alternativa para medición de desviaciones. En primera, instancia se efectúa un escaneo óptico para adquirir la nube de puntos, posteriormente la nube se procesa generando geometrías experimentales para contrastar con la geometría ideal y analizar las desviaciones geométricas y dimensionales del piñón.

La nube de puntos fue generada con escáner de mano laser ZEISS T-SCAN y escaneo por palpado ZEISS T-POINT con cámara de seguimiento para referenciamiento dinámico ZEISS T-TRACK CS+. Para el procesamiento de información se utilizó el software CAD/CAM/CAE NX 11.0 Siemens PLM.

Al implementar este método indirecto de metrología y análisis GD&T (Tolerancias Geométricas & Dimensionales), se obtiene como resultado, un mapeo de las desviaciones dimensionales de la superficie maquinada, contrastada con la composición ideal del elemento en un 90% dentro de las tolerancias permitidas.

Palabras claves: Escáner óptico, Escáner de palpado, GD&T, metrología de engranajes.

Abstract: A dimensional and geometric analysis of the conical pinion is shown implementing an alternative methodology to measure deviations. In the first instance, an optical scan is performed to acquire the point cloud, later cloud is processed generating experimental geometries to contrast with the ideal geometry and analyze the geometric and dimensional deviations of the pinion.

The point cloud was generated with the ZEISS T-SCAN handheld laser scanner and ZEISS T-POINT probing scanning with tracking camera for ZEISS T-TRACK CS + dynamic referencing. CAD / CAM / CAE NX 11.0 Siemens PLM software was used for information processing.

By implementing this indirect method of metrology and GD&T analysis (Geometric & Dimensional Tolerances), the result is a mapping of the dimensional deviations of the

machined surface, contrasted with the ideal composition of the element by 90% within tolerances.

Keywords: Optic scanner, probing scanning, GD&T, gear metrology.

I. INTRODUCTION

Tradicionalmente, el desarrollo de un producto inicia con la recopilación de las especificaciones del cliente, usuarios u otros interesados; las cuales son traducidas a requerimientos funcionales por medio de metodologías de diseño (Diseño Axiomático, Diseño robusto, DIPP, etc.). Posteriormente los procesos convencionales de desarrollo se centran en entornos digitales en donde el principal insumo es el prototipo virtual del producto [1].

Por otro lado, los procesos tradicionales para la creación de un producto obedecen a una validación funcional del prototipo por medio de sistemas CAE (Computer Aided Engineering), dejando de lado cualquier validación con respecto a las tolerancias geométricas y dimensionales (GD&T) del producto.

Las Validaciones GD&T (Geometric Dimensional and Tolerances) por lo regular son determinadas luego de la fabricación de las piezas, lo cual representa un elevado riesgo en el caso de no cumplirse alguna condición de este aspecto [2]. Por lo regular estos aspectos son detallados en planos que luego son interpretados y ejecutados por personal capacitado, lo que da cabida al error humano y posteriormente un fallo en el proceso.

Controlar las tolerancias geométricas y dimensionales de un producto sin que este se haya fabricado, puede disminuir el riesgo de reprocesos costosos, además de proveer insumos más fiables para el diseño de procesos que garanticen de mejor forma las tolerancias en una pieza.

Las labores para el control de calidad son ejecutadas convencionalmente al finalizar un proceso, una vez se empieza la fabricación del elemento. Durante el proceso de diseño, desde el modelo conceptual hasta las fases de diseño de detalle, no se acostumbra a inspeccionar características de los prototipos con excepción de las validaciones en sistemas CAE.

A. Diseño, producción y verificación de piñones

El diseño de productos o sistemas mecánicos debe ser considerado un proceso, cuya consecución de tareas debe ser revisada, validada y aprobada para garantizar la calidad de los resultados.

Aunque la naturaleza del diseño sea la de un proceso altamente iterativo, en términos productivos, no es viable para una organización someter sus procesos de desarrollo a ensayo y error.

Para minimizar el riesgo de errores en la información que define el diseño, se ahonda en el análisis de forma de los prototipos digitales CAD (Diseño Asistido por Computador), por medio de la digitalización del elemento físico, o los demás elementos que componen el sistema mecánico.

Durante el desarrollo de productos, las etapas de fabricación son las más cruciales desde el punto de vista de la calidad. Es en este punto en donde se materializa la información de ingeniería y se expone el producto a fallos no previstos.

Es común, de acuerdo con las normas de calidad vigentes que, el control de calidad se efectúe sobre un elemento tangible. Para determinar la calidad del proceso en etapas tempranas es necesario validar la fiabilidad de la información que define el proceso.

Para el caso de los procesos por arranque de viruta efectuados por medio de máquinas herramientas de control numérico, se hace necesario validar la geometría procesada por el software CAM (Manufactura Asistida por Computador). El resultado de este procesamiento son mallas poligonales, las cuales aportan información abundante sobre un resultado del proceso de mecanizado.

En la secuencia mostrada en la Figura 1, es el desarrollo de un proceso de mecanizado. Todos los modelos son del tipo malla poligonal y fueron procesados por medio de software CAM.

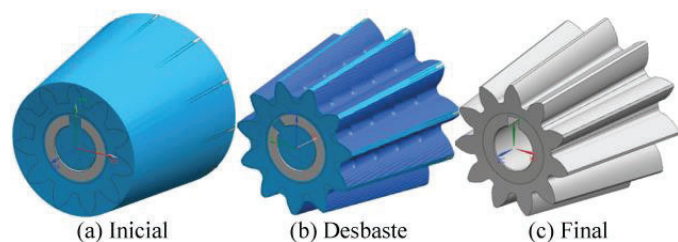


Figura 1. Pieza de trabajo en Proceso

B. Metodología de ingeniería inversa.

Un escáner laser Zeiss -T-SCAN es usado para la extracción de una nube de puntos la cual es exportada con extensión de archivo (.stl). La técnica utilizada para la toma de puntos se basa en cubrir con un haz laser la totalidad del elemento.

Para la digitalización del piñón mantiene en suspensión la pieza por medio de un montaje para capturar la totalidad de la geometría. La malla poligonal resultante, puede verse alterada por efectos de la luz reflejada sobre la superficie de la pieza. Para esto el ambiente es controlado asegurando un entorno a 60 lúmenes sobre la pieza.

Una vez se ha logrado una buena toma del elemento, esta información es procesada por medio de CAD. La reconstrucción de la geometría espacial de la pieza es un proceso manual realizado con la herramienta CAD, lo cual está siempre expuesta a errores humanos [3]. Es posible detectar las desviaciones geométricas y dimensionales entre el producto real y modelo digital, analizando las diferencias entre los nodos de la maya poligonal y las superficies generadas por el sistema CAD.

A partir del punto en donde se digitaliza el producto, el proceso de desarrollo de piezas es tratado únicamente en un entorno digital. Fases posteriores a la digitalización son analizadas por medio de técnicas similares para verificar la correcta ejecución de los procesos de fabricación y ensamble.

Considerando la importancia del diseño, producción y verificación del piñón al igual que las posibilidades que la ingeniería inversa dispone este trabajo experimental implementa una metodología de escaneo óptico 3D como sistema alternativo de verificación de piñón, permitiendo controlar la calidad en un entorno de desarrollo digital; por medio del cual se determinan las tolerancias geométricas y dimensionales del producto final. Inicialmente se adquiere una nube de puntos para digitalizar el piñón. Luego se procesa la nube de puntos con software CAD con el fin de hacerlo compatible para comparación. Finalmente se establecen las diferencias geométricas y dimensionales para establecer tolerancias del perfil del diente de piñón. Se aplican tecnologías propias de la ingeniería inversa, en donde se superponen mallas poligonales y prototipos digitales para analizar las desviaciones resultantes de cada proceso de maquinado sobre las cavidades del molde que formaría el elemento.

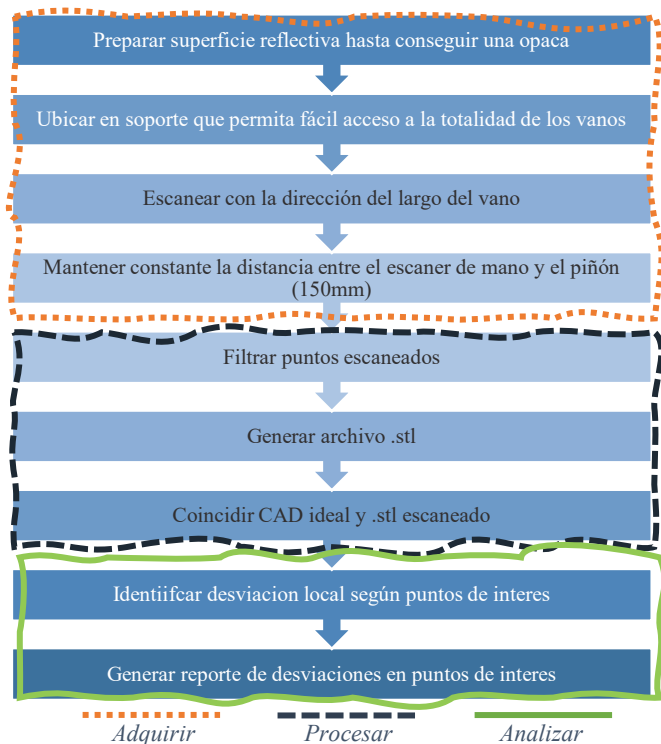
II. MATERIALES Y METODOS.

En la versión anterior de esta publicación [4], se planteó y ejecutó parcialmente la metodología, según la Tabla 1, la fase adquirir. Esta sección presenta los materiales y métodos implementados para las fases de procesar y analizar.

A. Adquisición de nube de puntos.

La triangulación es un enfoque común. En este método, un punto giratorio o una línea de luz de una fuente de luz de alta intensidad, a menudo un láser, es desviada por un espejo giratorio hacia la superficie del objeto. La precisión de los sistemas de triangulación láser es muy buena, siempre que el láser esté cerca del objeto. La precisión disminuye linealmente a medida que aumenta la distancia debido a problemas de medición con ángulos pequeños. Otra variación sobre un tema es el uso de enfoques de medición sin contacto para "rastrear" ubicaciones en un objeto en movimiento. Nuevamente, hay muchas variedades de tecnología. Los rastreadores láser requieren la fijación de marcadores reflectantes al objeto en movimiento. Este enfoque se usa a menudo para una alineación precisa de la planta y la maquinaria a grandes distancias. Los diodos emisores de luz (LED) se pueden unir al objeto en movimiento y las cámaras pueden seguir su posición mediante enfoques de triangulación.

Tabla 1. Metodología para implementación del escaneo óptico 3D como sistema de verificación de piñón.



B. Adquisición de nube de puntos.

La triangulación es un enfoque común. En este método, un punto giratorio o una línea de luz de una fuente de luz de alta intensidad, a menudo un láser, es desviada por un espejo giratorio hacia la superficie del objeto. La precisión de los sistemas de triangulación láser es muy buena, siempre que el láser esté cerca del objeto. La precisión disminuye linealmente a medida que aumenta la distancia debido a problemas de medición con ángulos pequeños. Otra variación sobre un tema es el uso de enfoques de medición sin contacto para "rastrear" ubicaciones en un objeto en movimiento. Nuevamente, hay muchas variedades de tecnología. Los rastreadores láser requieren la fijación de marcadores reflectantes al objeto en movimiento. Este enfoque se usa a menudo para una alineación precisa de la planta y la maquinaria a grandes distancias. Los diodos emisores de luz (LED) se pueden unir al objeto en movimiento y las cámaras pueden seguir su posición mediante enfoques de triangulación.

Los dispositivos de medición adecuados para la adquisición de datos se utilizan para generar datos sin procesar, generalmente un archivo de datos de nube de puntos.

La nube de puntos es un conjunto de puntos 3D o coordenadas de datos que aparecen como una nube o clúster. Las nubes de puntos no se pueden usar directamente en la mayoría de las aplicaciones de ingeniería hasta que se convierten a un formato adecuado, como una malla poligonal, modelos de superficie B-spline racional no uniforme (NURBS, B-splines racionales no uniformes) o modelos de diseño asistido por

computadora (CAD), como entrada; para diseño, modelado y medición a través de un proceso denominado ingeniería inversa.

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.

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

C. 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 omitir detalles.

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 figura 2 se observan componentes fundamentales en el proceso de escaneo: la persona quien opera y ejecuta los movimientos de sube y baja del escáner, mesa de trabajo, soporte para el escáner de mano, soporte para la pieza de trabajo, Piñón cónico con capa de talco, escáner de mano T-SCAN CS y sistema de seguimiento T-TRACK CS+.



Figura 2. Ejecución escaneo

Una vez se ha recopilado varias vistas de un objeto, se genera una nube de puntos, el siguiente paso para el escáner T-SCAN es reconstruir una malla que moldea la superficie del objeto, para conectar los puntos de la nube.

D. Análisis GD&T de modelos digitales.

Al comparar los datos de la nube de puntos (recopilados al escanear la pieza) con el modelo CAD, se puede generar un mapa de desviación comparativo, generalmente codificado por colores. Las desviaciones entre el modelo ideal CAD y la nube de puntos está asociada con las desviaciones del proceso de manufactura y por ende una diferencia en la geometría resultante.

Por otro lado, la ingeniería inversa es un esfuerzo de alta tecnología basado en datos y en hechos. Todas las conclusiones se basan en datos medidos y resultados probados. La reconstrucción de formas partiendo de una nube de puntos, se considera una aproximación al concepto de diseño. El método de escaneo es capaz de representar los defectos en términos geométricos y dimensionales. Esta condición debe ser idealizada por medio de herramientas CAX, proceso asistido por computador (CAD/CAM/CAE) para formular de manera ideal el concepto original de diseño e ingeniería.

III. RESULTADOS

La nube de puntos fue generada con escáner de mano laser ZEISS T-SCAN y escaneo por palpado ZEISS T-POINT con cámara de seguimiento para referenciamiento dinámico ZEISS T-TRACK CS+. Para el procesamiento de información se utilizó el software CAD/CAM/CAE NX Siemens 11.0 PLM. En la Figura 3, se muestra la malla generada en una extensión de archivo STL. La aproximación de este modelo tiene una incertidumbre de ± 0.03 mm en todas sus superficies.

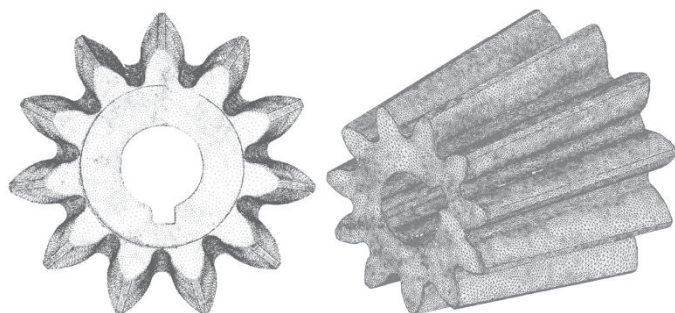


Figura 3. Malla poligonal de Piñón

Una vez procesada la información por medio de las herramientas “Deviation Gauge” de NX Siemens PLM (Gestión del ciclo de vida del producto) son apreciables los defectos en la fabricación del producto, visualizados mediante el análisis geométrico espacial entre malla poligonal y prototipo digital. En la Figura 4 y Tabla 2, se aprecian las diferencias geométricas entre la malla poligonal (Amarillo) y la geometría ideal de la parte de referencia (Gris).

El procesamiento de datos se basa en determinar la distancia mínima entre un punto de la malla poligonal con respecto a la superficie descrita por una función en el espacio. Debido a la densidad de puntos, es necesario establecer parámetros de entrada para la generación de los mapas de desviación.

Estos parámetros dependen de gran medida de la capacidad computacional instalada y el costo asociado. Para este ejercicio se realizaron muestreos en la superficie cada 0.497 mm y 5°, el total de muestras procesadas fue de 16420 Figura 5. Esto corresponde al valor inicial del análisis GD&T posterior, cuyo valor clave es la cantidad de puntos que están dentro de tolerancia.

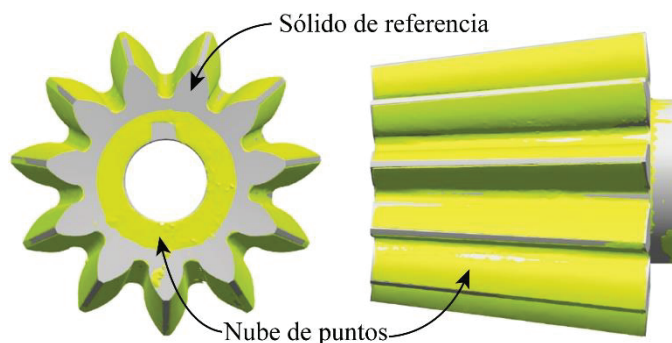


Figura 4. Superposición de malla poligonal y modelo CAD

Para este caso, el 84.17% de los puntos están dentro del rango ± 0.3 mm, el cual es modificado por medio de ajustes entre el modelo y la malla para mejorar el empalme y obtener datos con mayor fiabilidad Figura 6.

Error Reporting		
	Number	Percentage
Total Samples	16420	100.00
Inside Inner Tolerance	62	0.38
Inside Outer Tolerance	13820	84.17
Out of Tolerance	2600	15.83

Figura 5. Reporte de error - Deviation Gauge.

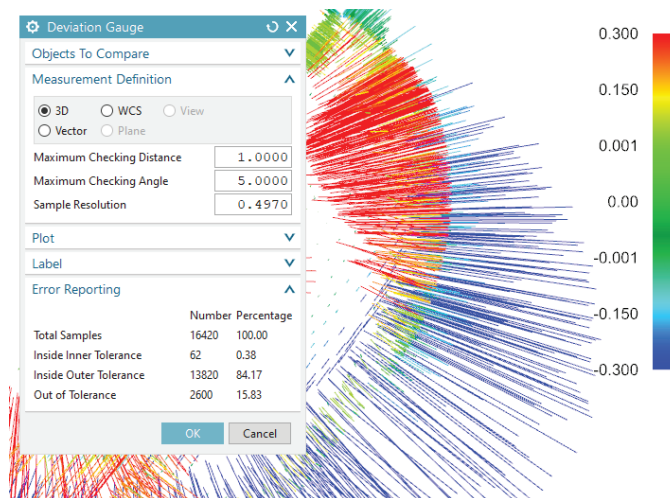


Figura 6. Reglaje de herramienta Deviation Gauge.

La columna “izquierdo” en la Tabla 2 se observa un comportamiento general cíclico en donde las desviaciones van desde el mínimo valor a máximo, diente 4, a medida que se avanza en los dientes. Lo mismo sucede con la columna “derecho” donde el valor máximo de desviación está en el diente 10, relacionando la Figura 7 con la Tabla 2 se observa que los dientes están opuestos en el diámetro.

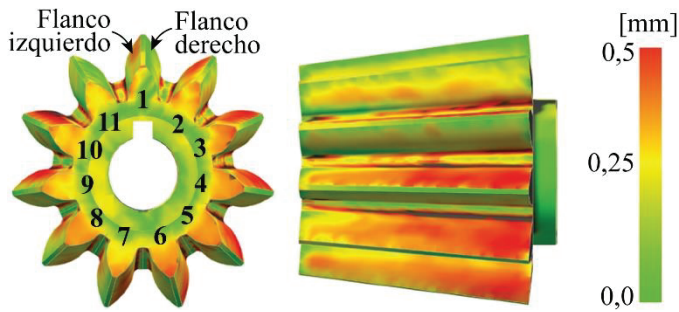


Figura 7. Desviaciones geométricas de piñón

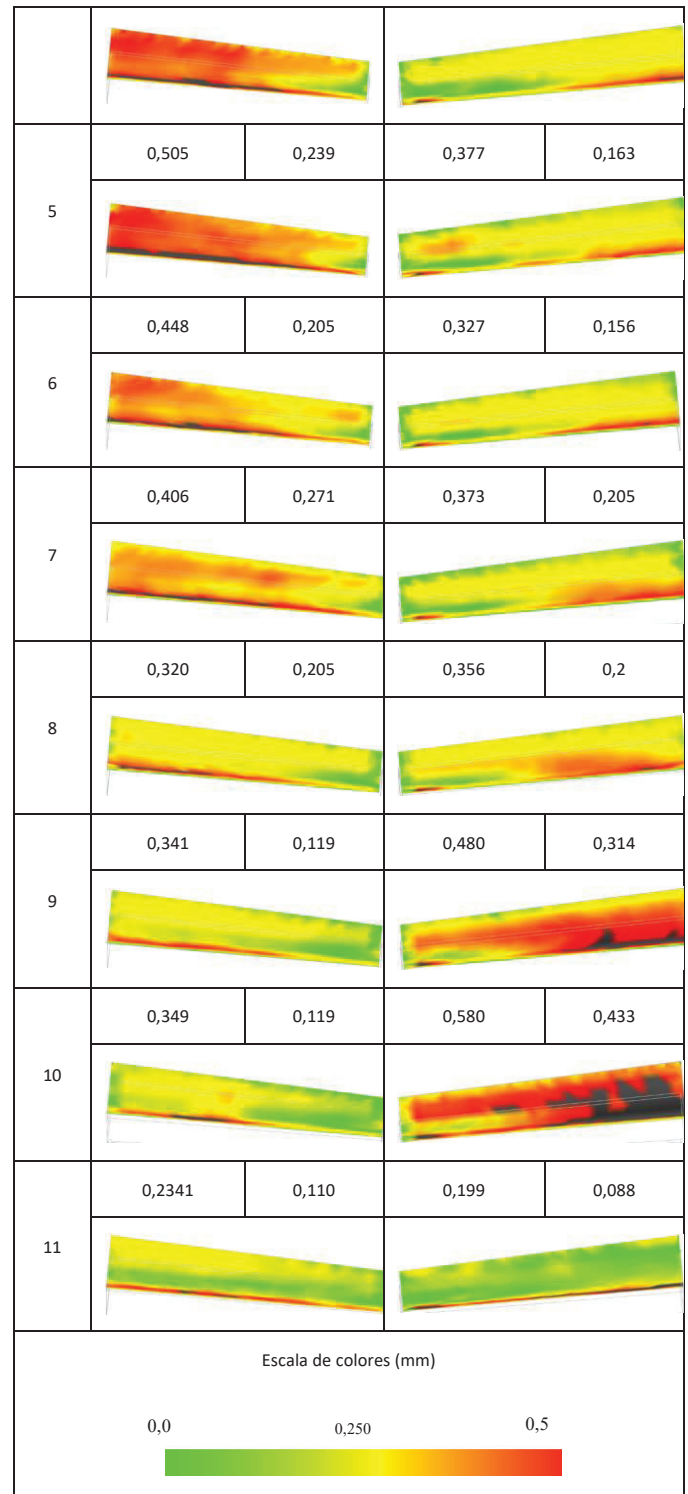
La geometría ideal es obtenida mediante relaciones geométricas, esto es visualizado en plataforma CAD, a su vez es base para la programación con CAM. De lo anterior y con el uso de máquinas herramientas se obtiene la geometría de un piñón cónico con once dientes rectos.

Una vez es fabricado el piñón se requiere verificar la geometría resultante obtenida en el proceso de mecanizado, la geometría de referencia es el modelo CAD.

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

Tabla 2. Valores y mapa de colores para desviaciones de flancos

Número de diente	Flanco			
	Izquierdo		Derecho	
	Desviación máxima	Desviación mínima	Desviación máxima	Desviación mínima
1	0,392	0,139	0,190	0,293
2	0,440	0,219	0,370	0,184
3	0,496	0,249	0,368	0,161
4	0,518	0,162	0,264	0,173



IV. CONCLUSIONES.

El actual trabajo implementó experimentalmente un escaneo óptico 3D como sistema de verificación aplicado a piñón. Se adquirieron los puntos con el escáner óptico. Luego se procesó la nube de puntos. Por último, se analizaron los modelos 3D y se identificaron diferencias geométricas y dimensionales.

piñón como elemento mecánico se analizó el perfil del y se evidenciaron desviaciones positivas, es decir, exceso serial. Las desviaciones máximas son del orden de 0,5mm. iere decir que la tolerancia para el perfil del engranaje es o décimas de milímetro.

viable implementar sistemas de escaneo como alternativa ógica de engranajes, pero es necesario identificar orias óptimas considerando las primitivas de diseño del ara minimizar el número de puntos a procesar. Por otra o es exclusivo el uso de esta metodología para piñones, ible implementarla en otros elementos mecánicos y rías en general adecuando a las necesidades específicas.

uda a los ingenieros a tomar decisiones o conclusiones s en datos limitados. La media estadística de longitud en edición dimensional parcial junto con otros parámetros ticos, como el límite superior, el límite inferior y la ión estándar, proporcionan información valiosa en la inación de la forma geométrica parcial.

RECONOCIMIENTOS

Los autores ofrecen reconocimientos a la empresa Industrias RAMFE por permitir la fabricación del piñón con los desarrollos y diseños de su departamento de ingeniería. Este proyecto es soportado parcialmente por el Centro Metalmecánico del SENA mediante las convocatorias internas.

REFERENCIAS

- [1] J. M. G. C. Ferreira, "Integrated product and tooling development via reverse engineering methodologies and rapid prototyping techniques," pp. 79–89, 2000.
- [2] I. T. S. Phillips, K. D. Costa, R. I. T. V Chambers, and R. Hill, "United States Patent [19]," no. May 1993, 1994.
- [3] J. Rasmussen, "Human errors. A taxonomy for describing human malfunction in industrial installations," *J. ocupational Accid.*, vol. 4, pp. 311–333, 1982.
- [4] A. F. Reyes-Florez, Yamid Gonzalo; Cifuentes, "Establecer una metodología para implementación del escaneo óptico 3D como sistema de verificación en el SENA-CMM aplicado en engranajes," *METALNNova*, vol. 1, no. 1, pp. 5–9, 2018.