

PROCEDIMIENTO DE CONTROL DE CALIDAD A UN PRODUCTO
MICROMECHANIZADO

DIEGO ANDRES PACHON LOPEZ.

UNIVERSIDAD SANTO TOMÁS
FACULTAD DE INGENIERÍA MECÁNICA
BOGOTÁ D. C.

2023

PROCEDIMIENTO DE CONTROL DE CALIDAD A UN PRODUCTO
MICROMECHANIZADO

DIEGO ANDRES PACHON LOPEZ

Director

Ingeniero. Jorge Andrés García Barbosa

UNIVERSIDAD SANTO TOMÁS
FACULTAD DE INGENIERÍA MECÁNICA
BOGOTÁ D.C
2023

AGRADECIMIENTO

Durante el desarrollo de este proyecto, quiero agradecer a mis padres, Claudia y Francisco, quienes han sido indispensables a lo largo de mi vida y especialmente por su motivación. Me he beneficiado durante muchos años del apoyo de mis familiares, abuelos, padrinos y mi hermana.

También, estoy muy agradecido con el ingeniero Jorge Barbosa, por los conocimientos, compartidos, el tiempo dedicado, sus consejos. Sus ideas y recomendaciones hacen parte de este proyecto. Gracias al ingeniero por su asesoría, tiempo y dedicación.

CONTENIDO

RESUMEN.....	1
1 INTRODUCCIÓN	2
2 OBJETIVOS.....	4
2.1 OBJETIVO GENERAL	4
2.2 OBJETIVOS ESPECÍFICOS	4
3 MARCO TEORICO.....	5
3.1 DEFINICIÓN DE MICRO PRODUCTO	5
3.2 DEFINICIÓN DE MICRO MANUFACTURA.....	6
3.3 GENERALIDADES DE ENGRANAJES (Dimensiones).....	6
3.4 TOLERANCIAS EN LA MICROFABRICACIÓN.....	6
3.5 NORMAS DE CALIDAD PARA LA FABRICACION DEL ENGRANAJE.....	11
4 TECNOLOGIAS UTILIZADAS EN CONTROL DE CALIDAD DE PRODUCTOS MICROMECHANIZADOS	15
4.1 CLASIFICACIÓN DE TECNOLGIAS PARA PROCESOS DE MICRO MANUFACTURA	15
4.2 PRODUCTOS OBTENIDOS POR MICRO PROCESOS DE MANUFACTURA 17	
4.3 MICRO PRODUCTOS EN COLOMBIA.....	19
4.4 CARACTERÍSTICAS A CONTROLAR EN PRODUCTOS MICRO MANUFACTURADOS.....	21
4.5 PRINCIPALES TECNOLOGÍAS UTILIZADAS EN CONTROL DE CALIDAD EN ESCALAS MICROMÉTRICAS	22
4.5.1 Perfilómetro de palpador (Stylus profilometry).....	22
4.5.2 Perfilometría óptica (Optical profilometry)	23
4.5.3 Microscopia confocal (Confocal microscopy).....	23
4.5.4 Interferómetro (Interferometers)	24
4.5.5 Microscopia de sonda de barrido (Scanning probe microscopy).....	25
4.5.6 Microscopio electrónico de barrido (Scanning electron microscopy).....	26
4.5.7 Microscopia de fuerza atómica (Atomic force microscopy).....	26
4.5.8 Medición de coordenadas (Coordinate metrology).....	27

4.5.9	Microscopio digital (Microscope Digital).	28
4.5.10	Resumen de las tecnologías identificadas para control de calidad de micro productos.	29
5	PROCESO DE FABRICACIÓN DE MICROENGRANAJE.	30
5.1	MODELO CAD DE MICROENGRANAJE.	30
5.2	PLANIFICACIÓN DEL PROCESO DE MANUFACTURA	31
5.2.1	Código de fabricación:	32
5.3	Montaje experimental.	34
6	CONTROL DE CALIDAD A MICROENGRANAJE DE LA USTA	35
6.1	Técnica de caracterización utilizada.	35
6.1.1	Microscopio digital.	35
6.1.2	Calibración de microscopio electrónico	36
6.1.3	Técnica de medición por medio de software CAD.	38
6.2	Normas para control de calidad de engranajes.	39
6.3	Caracterización de la calidad del engranaje	41
6.3.1	Diámetros (Diameter).	42
6.3.2	Desviación radial (radial Runout)	43
6.3.3	Espesor del diente (Tooth thickness).	44
6.3.4	Paso / inclinación (pitch)	45
6.3.5	Evaluación de control de calidad.	46
7	CONCLUSIONES	47
	REFERENCIAS	48
	ANEXO A Hoja de proceso manufactura microengraje	51
	ANEXO B Código CNC	52
	ANEXO C: Procedimiento control de calidad	57

RESUMEN

Se realizó una recopilación de las tecnologías disponibles a nivel mundial para la fabricación de microcomponentes. Posteriormente se determinaron las variables a controlar en el proceso en función del tipo de producto y sus respectivas normas. Se efectuó un listado de las principales tecnologías de caracterización para el control de calidad de microproductos. Se llevó a cabo un caso de estudio de un microengranaje, el cual se diseñó y fabricó en la Universidad Santo Tomás mediante el proceso de micromecanizado y se determinó los parámetros a controlar en la fabricación de dicho elemento, mediante el uso del microscopio óptico se realiza su control de calidad. De acuerdo con una consulta hecha en las bases de datos del DANE y la Cámara de Comercio de Bogotá, se identificaron las tecnologías de micro fabricación empleadas en Colombia y los productos que se realizan con dichos procesos, estableciendo que en Colombia no se han desarrollado suficientes industrias con las tecnologías para la realización de micropiezas al igual que su control de Calidad.

Palabras clave: Microproductos, micromecanizado, control de calidad, caracterización.

1 INTRODUCCIÓN

El término de micromanufactura se refiere a la fabricación de productos y componentes con dimensiones diminutas, por lo general, para ser considerado una micropieza, el producto final debe tener un tamaño inferior a 10 milímetros, con tolerancias dentro del rango de 0,1 a 10 micrómetros [1]. En el mundo moderno se están utilizando componentes más pequeños y precisos, usando una variedad de tecnologías innovadoras de microfabricación, enfocándose en un estricto control de calidad. Los sectores de la industria que están a la vanguardia en este tipo de fabricación son el automotriz (los inyectores en el motor de combustión cada vez son más pequeños y buscan un mayor rendimiento debido a una regulación ambiental más estricta) [2], la electrónica (los circuitos integrados, los relés y conectores), en la medicina (las cirugías de mínima invasión requiere el uso de instrumentos como endoscopios y cateterismos), en la biotecnología, la necesidad de manipular células y genes exige el uso de microdispositivos [3].

Para la microfabricación de productos se puede encontrar cinco microprocesos. Dentro de cada categoría, existen varios métodos de fabricación, que usan, tecnologías, equipos, materiales, procesos, herramientas y estrategias organizativas diferentes. Los cinco procesos generales de microfabricación son: El Conformado, el sustractivo, el aditivo, de unión e híbrido. Dentro de la categoría del proceso sustractivo se pueden encontrar procesos como el micromecanizado, que es un proceso con de arranque de viruta.

Los procesos de microfabricación en la industria colombiana son muy incipientes y poco desarrollados, ya que no se cuenta con la suficiente tecnología para el proceso micromanufactura y tampoco para el control calidad de las micropiezas, con la información obtenida del DANE y Cámara y comercio de Bogotá [4].

El control de calidad de las micropiezas es un proceso fundamental que garantiza la fiabilidad, la funcionalidad y el rendimiento de estos pequeños componentes. Dado su tamaño en miniatura, se emplean técnicas y equipos especializados para realizar

inspecciones precisas. Existen varios métodos utilizados en el control de calidad de micro-piezas, los cuales se mencionarán más adelante.

2 OBJETIVOS

2.1 OBJETIVO GENERAL

Implementar un procedimiento de control de calidad a un producto micro mecanizado.

2.2 OBJETIVOS ESPECÍFICOS

1. Identificar las tecnologías utilizadas actualmente para el control de calidad de productos micro mecanizados.
2. Fabricar un microcomponente mediante el micro mecanizado por arranque de viruta, haciendo uso de los recursos disponibles de la Universidad Santo Tomás.
3. Realizar un procedimiento de control de calidad en el producto mecanizado por medio de tecnologías disponibles en el medio industrial y académico de Bogotá.

3 MARCO TEORICO

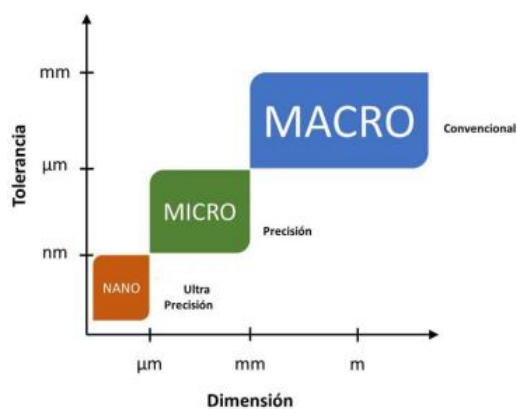
3.1 DEFINICIÓN DE MICRO PRODUCTO

A finales de la década de los cincuenta, el físico Richard Feynman publicó un estudio titulado “*There is plenty of room at the bottom*”, en el que preveía una gran revolución de las tecnologías de miniaturización, inspirado en el funcionamiento de los sistemas biológicos y su capacidad de ejecutar funciones complejas y almacenar gran cantidad de información a nivel microscópico [5].

El uso de piezas micro fabricadas fue iniciado por la industria de los semiconductores. Las invenciones del transistor que reemplazó los tubos de vacío y el circuito integrado en las décadas de 1940 y 1950 dieron lugar a una tendencia a la miniaturización en la electrónica. A medida que mejoraron las técnicas de micro fabricación, se construyeron circuitos integrados más pequeños y complejos, lo que permitió construir microchips potentes [6].

En la Figura 1, se observa que las dimensiones de una pieza de micro producto están en el rango o escala de los milímetros hasta las micras (μm) y las tolerancias están en el rango de las micras (μm) hasta los nanómetros.

Figura 1. Dimensiones de microproductos.



Fuente: [6]

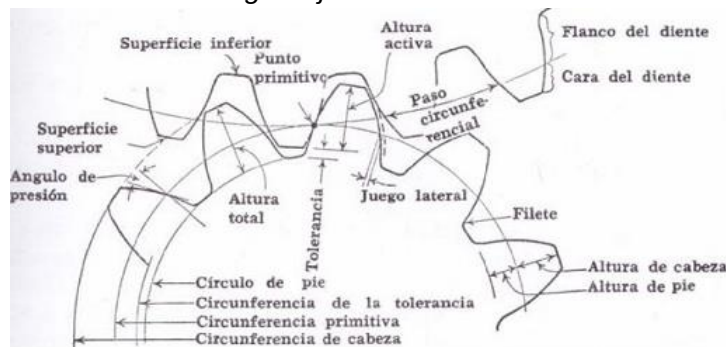
3.2 DEFINICIÓN DE MICRO MANUFACTURA

El micromecanizado es el proceso de creación de estructuras microscópicas a escala de micras o más pequeñas. Históricamente, los primeros procesos de micromecanizado se utilizaron para crear circuitos integrados, también conocidos como "fabricación de semiconductores". Durante las últimas dos décadas, los métodos de micromecanizado se han reutilizado, adaptado o ampliado. Las pantallas planas y las células solares utilizan tecnología similar. La miniaturización de diversos dispositivos plantea desafíos en muchas áreas de la ciencia y la ingeniería: física, química, ciencia de materiales, informática, ingeniería de ultraprecisión, procesos de fabricación y diseño de dispositivos. También ha dado lugar a diversos tipos de investigación interdisciplinaria [7].

3.3 GENERALIDADES DE ENGRANAJES (Dimensiones).

Los engranajes rectos tienen geometrías muy interesantes en diseño y fabricación que proporciona relación de velocidad constante entre ellos. Por otro lado, el uso de engranajes está limitado por las limitaciones de velocidad que pueden crear y, en algunos casos, los engranajes pueden hacer ruido si no están bien lubricados o funcionan a altas velocidades. La forma geométrica de los engranajes es principalmente el perfil del diente, el paso, el apéndice del diente, el módulo, el paso y el diámetro exterior. Como se observa en la 0

Figura 2. Geometría de los engranajes.



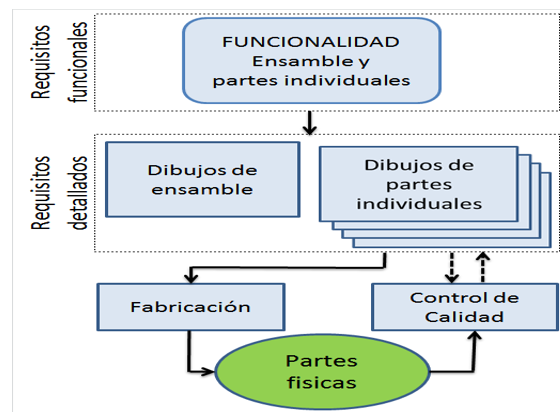
Fuente: [7].

3.4 TOLERANCIAS EN LA MICROFABRICACIÓN

La tolerancia es importante para los pasos de fabricación posteriores y el rendimiento del producto resultante. Las especificaciones suelen estar acompañadas con tolerancias que indican las desviaciones máximas de una forma geométrica ideal, de esta manera rigen la funcionalidad del componente (por ejemplo, capacidad, acoplamiento, deslizamiento y rodadura, clasificación de carga y diferentes acabados superficiales). Finalmente, las

tolerancias se utilizan junto con el control de calidad final del componente para determinar si el producto cumple con las especificaciones o no. Este sistema está muy bien establecido en la fabricación convencional, hay varias normas ISO [8]. Que regulan este campo en términos de especificaciones geométricas de productos. El diseñador de micropiezas debe tener la capacidad de establecer tolerancias significativas es de suma importancia en los pasos posteriores de fabricación y los costos de las piezas.

Figura 3. Conexión entre especificación, fabricación y control de calidad.



Fuente: [8]

La tolerancia se puede definir según la norma ISO 286 [9] (tolerancia (T) es la diferencia entre las medidas máximas y mínimas permitidas). Esto quiere decir a menor sea la zona de tolerancia, menores serán las variaciones permitidas y, menor la libertad en términos de desviación de la superficie Figura 3.

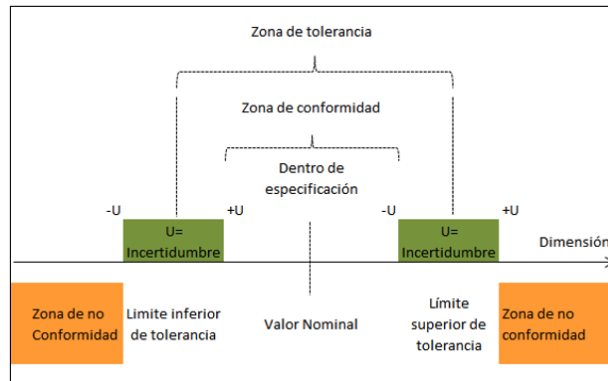
Para poder verificar la tolerancia del producto en la escala μm , donde la incertidumbre de medición debe estar determinada y extremadamente baja, la precisión, exactitud, variación del proceso debe tener una alta capacidad de medición similar o menor requerida.

De acuerdo con la norma ISO 14253, la incertidumbre media (U) debe restarse de la tolerancia (T) para establecer la determinada zona de conformidad, si la relación U/T es cercana a 1, entonces existe una zona de conformidad muy pequeña y la consecuencia es un intervalo de variación permisible muy pequeño para los procesos de fabricación.

También la regla de oro del fabricante de calibradores, expresa que si $U/T < 0,1$ esta en un lado seguro [3]. La fabricación micro μ , U/T casi nunca está en ese nivel. Es mucho más

probable que sea $0,5 < U/T < 0.1$ por supuesto, el caso de verificación se vuelva crítica
Figura 4

Figura 4. Tolerancia dimensional a escala simétrica micro.



Fuente: [3]

Hay métodos, procedimientos e instrumentación que se pueden aplicar de tal manera que los resultados sean significativos y útiles. Aplicables en calidad y control de procesos. Las condiciones de medición básica incluyen:

- Capacidad de medir dimensiones críticas en los requisitos de escala μm o incluso nm con respecto a la resolución de instrumentos, trazabilidad, incertidumbres de medición.
- Capacidad de medir y/o cambiar dimensiones en varios ordenes de magnitud con respecto al rango de medición y resolución, principio de medición.
- Posibilidad de verificar las tolerancias del producto en la escala de μm . La incertidumbre debe ser extremadamente baja.
- Precisión/ exactitud/ variación del proceso muy alta capacidad de medir similar o menor requerida.

La norma ISO286 establece regir las funciones mecánicas de los elementos de construcción, como capacidad de acoplamiento, la capacidad de desplazamiento y rodadura, etc. Como se sabe la norma ISO 286 [9]. Contiene unas tolerancias observar Tabla 1 de valores de tolerancia es las cuales establece que todos los tamaños inferiores a $3 mm$, se agrupan en una categoría.

La siguiente observación está relacionada con el hecho de que los valores de tolerancia estén por debajo de $10 \mu m$ dominan aproximadamente el 50% de tolerancia, (valores IT).

Incluso se puede ver que algunos de estos están en el nivel nm . En el otro extremo de la escala, una tolerancia de $1mm$ en dimensiones de $3mm$ tampoco parece práctica.

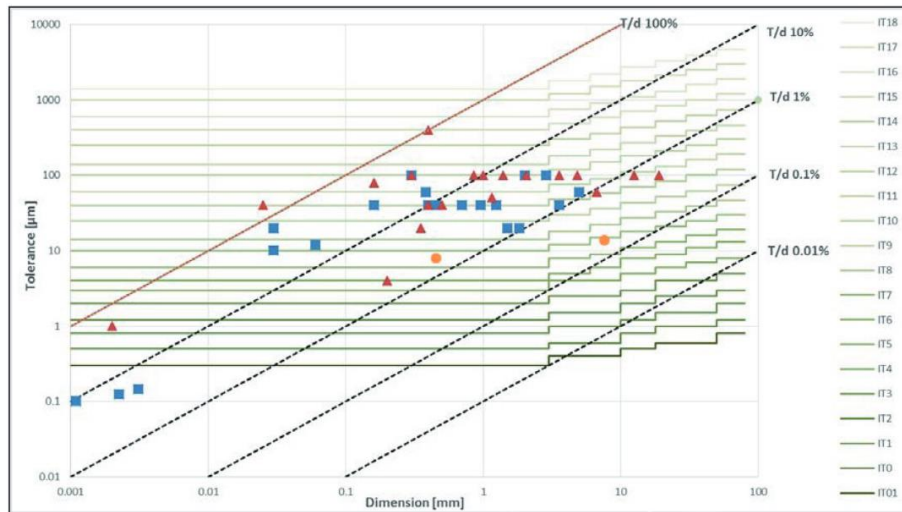
También a pequeña escala entran en acción los efectos del tamaño, estos principios y estándares no pueden recomendarse para establecer tolerancias relacionadas con la función a esta escala. Sin embargo, tanto las tolerancias dimensionales, tolerancias geométricas, así como los estándares de textura superficial son extremadamente útiles para definir y controlar los procesos de fabricación y establecer un sistema de aseguramiento de la calidad.

Tabla 1 Valores de tolerancias estándar según ISO286[9], para dimensiones nominales inferiores a 50mm y grados de tolerancias.

Dimensión nominal en (mm)	CALIDADES																			
	IT 01	IT 0	IT 1	IT 2	IT 3	IT 4	IT 5	IT 6	IT 7	IT 8	IT 9	IT 10	IT 11	IT 12	IT 13	IT 14	IT 15	IT 16	IT 17	IT 18
	Valores de tolerancia estándar (µm)													Valores de tolerancia estándar (mm)						
d ≤ 3	0.3	0.5	0.8	1.2	2	3	4	6	10	14	25	40	60	0.1	0.14	0.25	0.4	0.6	1	1.4
3 < d ≤ 6	0.4	0.6	1	1.5	2.5	4	5	8	12	18	30	48	75	0.12	0.18	0.3	0.48	0.75	1.2	1.8
6 < d ≤ 10	0.4	0.6	1	1.5	2.5	4	6	9	15	22	36	58	90	0.15	0.22	0.36	0.58	0.9	1.5	2.2
10 < d ≤ 18	0.5	0.8	1.2	2	3	5	8	11	18	27	43	70	110	0.18	0.27	0.43	0.7	1.1	1.8	2.7
18 < d ≤ 30	0.6	1	1.5	2.5	4	6	9	13	21	33	52	84	130	0.21	0.33	0.52	0.84	1.3	2.1	3.3
30 < d ≤ 50	0.6	1	1.5	2.5	4	7	11	16	25	39	62	100	160	0.25	0.39	0.62	1	1.6	2.5	3.9
50 < d ≤ 80	0.8	1.2	2	3	5	8	13	19	30	46	74	120	190	0.3	0.46	0.74	1.2	1.9	3	4.6
Aplicaciones	Ultraprecisión		Calibres y piezas de gran precisión				Piezas y elementos destinados a Ajustar							Piezas y elementos que no han de ajustar						

Fuente: [3]

Figura 5. Tolerancias vs dimensiones.



Fuente: [3]

- Los puntos cuadrados azules son para piezas de polímero.
- Los puntos triangulares rojos son para piezas de metal.
- Los puntos circulares naranjas son para componentes cerámicos.
- Las líneas verdes muestran los valores de tolerancia para diferentes rangos de dimensiones en el estándar ISO 286.
- Mientras que los diferentes tonos de verde representan diferentes grados de tolerancia.
- Las líneas discontinuas son gráficos de contorno para la relación Tolerancia/dimensión.

La Figura 5 ofrece una visión detallada de la recopilación de información a micro escala sobre diversos productos y sus tolerancias dimensionales asociadas, abarcando un periodo de 15 años. Esta recopilación se basa en las mejores prácticas adoptadas por numerosas empresas y diseñadores [3], demostrando así que las tolerancias se establecen con base en la experiencia acumulada.

La norma ISO 286 [9]. Está representada por líneas verdes sólidas. Los grados de tolerancia (diferenciados por tonos verdes degradados) expresan la magnitud de tolerancia para un cierto intervalo de dimensión. Un número de grado más alto, por ejemplo, IT18, se relaciona con un mayor valor de tolerancia para la misma dimensión. Los grados más bajos corresponden a valores de tolerancia absolutos más pequeños. Solo hay una categoría de tolerancia cuando la dimensión es inferior a 3 mm Figura 5

Las tolerancias y dimensiones de casos prácticos se trazan mediante puntos triangulares (rojos) para piezas metálicas, puntos cuadrados (azules) para piezas de plástico y puntos circulares (naranjas) para piezas cerámicas T/d .

Las relaciones (tolerancia/dimensión) se indican mediante líneas discontinuas para ilustrar si las tolerancias escalan al mismo ritmo que las dimensiones. Cuando la relación T/d es superior al 100%, la tolerancia no es práctica, aunque en la realidad existen algunos casos.

la dimensión es inferior a 1mm , para la mayoría de los casos, la tolerancia está por encima del 10% de las dimensiones. En cambio, cuando la dimensión es superior a 1mm , las tolerancias descienden hasta apenas el 1% de sus dimensiones. Para los componentes con dimensión T/d crítica de más de 10mm , la tolerancia es aún menor en el sentido o relación T/d . Sin embargo, corresponden a números de grados de calidad más altos del estándar.

Cuando las dimensiones están por debajo de $10\mu\text{m}$, las tolerancias se limitan al nivel correspondiente a los números de grado muy bajos del estándar o incluso más allá del estándar, mientras que la relación no cae de manera similar.

Esto permite que la tolerancia se puede expresar como una dimensión, por lo tanto, permite la verificación desde el punto de vista metrológico dimensional, La relación T/d esta ligeramente debajo del 1%

3.5 NORMAS DE CALIDAD PARA LA FABRICACION DEL ENGRANAJE

El control de calidad de los engranajes, es determinado por los fabricantes y diseñadores, para generar un grado de calidad establecido, tiene que cumplir ciertas tolerancias al momento de la fabricación y así poder definir la calidad de los engranajes.

Se nombran algunas normas útiles para la fabricación de engranajes, por lo cual no hay una norma que defina exactamente cómo tiene que realizar una máquina la medición de engranajes, por ese motivo existen grandes variaciones de resultados cuando se utilizan equipos de medición diferentes, la información que se encuentra, son recopilaciones y definiciones cortas, las cuales se van a nombrar.

- ISO 1328-1-2013 “Definición y valores permisibles de desviación relevantes a los flancos de los engranajes”. La ISO 1328 dicen que un sistema de exactitud permitiente a los flancos correspondiente de los engranajes.

Señala las disfunciones apropiadas para los parámetros de tolerancias del diente del engranaje, la estructura del sistema de la precisión del engranaje y los valores permitidos de desviación totales del perfil y las desviaciones totales de las hélices.

- ISO 1328-2-1997 “Definición y los valores admisibles de desviación relevantes para la desviación radial compuesta e información de excentricidad”
Esta parte de la ISO 1328 Establece un sistema de precisión que es relevante para desviaciones compuestas radiales de los engranajes.

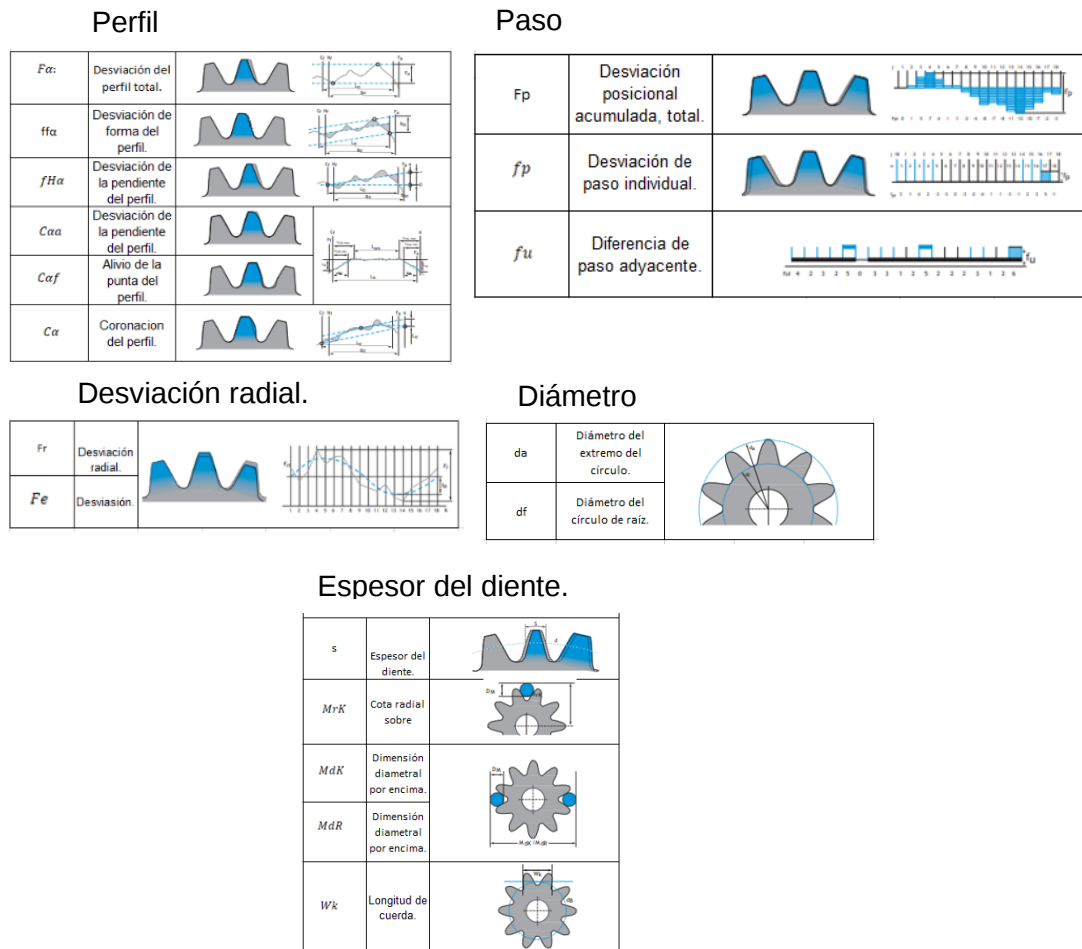
Lo cual determina los términos de exactitud de los dientes de engranajes, la estructura del sistema de precisión del engranaje y el valor admisibles. Por lo cual también el sistema de precisión compuesto radial tiene diferentes rangos de grados que los rangos elementales en ISO 1328-1. Los rangos de diámetro y modulo para la desviaciones y desviaciones radiales de los materiales compuestos también son diferentes.

- AGMA 915-1-02. Prácticas de inspección-parte 1: Engranaje cilíndricos- Mediciones tangenciales”. Las mediciones tangenciales en los flancos de engranajes cilíndricos de involución individuales, es decir medición de paso, perfil, helenice ya características tangenciales compuestas.
- AGMA 915-2-A05 “Practicas de inspección- Parte 2: Engranajes cilíndricos mediciones radiales”. Inspección pertinente a las desviaciones radiales compuestas. Es decir, mediciones referidas al método de flanco.
- AGMA 915-3-A99 “Practicas de inspección- Discos, distancia entre centros y paralelismo”. Esta información proporciona los valores recomendados para las desviaciones dimensionales en los discos, distancias entre centros y paralelismo de los ejes de los engranajes.

- AGMA 10064-5-A-06” Código de prácticas de inspección-parte 5: recomendaciones relativas a las evaluaciones de instrumentos de medida de engranaje.”. La información provee información adicional y ejemplos para apoyar la implementación de ANSI / AGMA ISO18653. Proporciona procedimiento de evaluación y calibración de procesos de medición para el espesor del diente, hélice, paso, excentricidad y altura del diente.
- DIN 5480-5480-1 “Conexiones ranuras envolventes basadas en diámetros de referencia.
- DIN 3960-1976-10 “Términos y parámetros para engranajes rectos (engranajes cilíndricos) y pares de engranajes rectos (pares de engranajes cilíndricos) con engranajes helicoidales.

La norma ISO 1328-1 se implementa para la metrología de los engranajes, hace referencia a tolerancias de las mediciones analíticas, también tiene una segunda versión de la ISO 1328-2 lo que permite las medidas funcionales, aspectos a tener en cuenta en la Figura 6

Figura 6. Aspectos para tener en cuenta norma ISO.



Fuente: [9].

4 TECNOLOGIAS UTILIZADAS EN CONTROL DE CALIDAD DE PRODUCTOS MICROMECHANIZADOS

4.1 CLASIFICACIÓN DE TECNOLOGIAS PARA PROCESOS DE MICRO MANUFACTURA

Los métodos de microfabricación para materiales plásticos y no plásticos se pueden agrupar en cinco grandes categorías. Dentro de cada categoría, existen varios métodos de fabricación; sin embargo, sólo algunos de estos métodos se pueden utilizar con materiales plásticos (Figura 7).

Proceso de Conformado: Los métodos que incluyen microfundición, moldeo por micro inyección y estampado junto con procesos de microformación como extrusión, forjado, doblado, embutición profunda, conformación incremental, conformación súper plástica e hidroconformación. Para todos los plásticos se pueden utilizar dos procesos de microconformado (estampado y extrusión). La microfundición es para resinas termoendurecibles y el moldeo por microinyección es para termoplásticos.

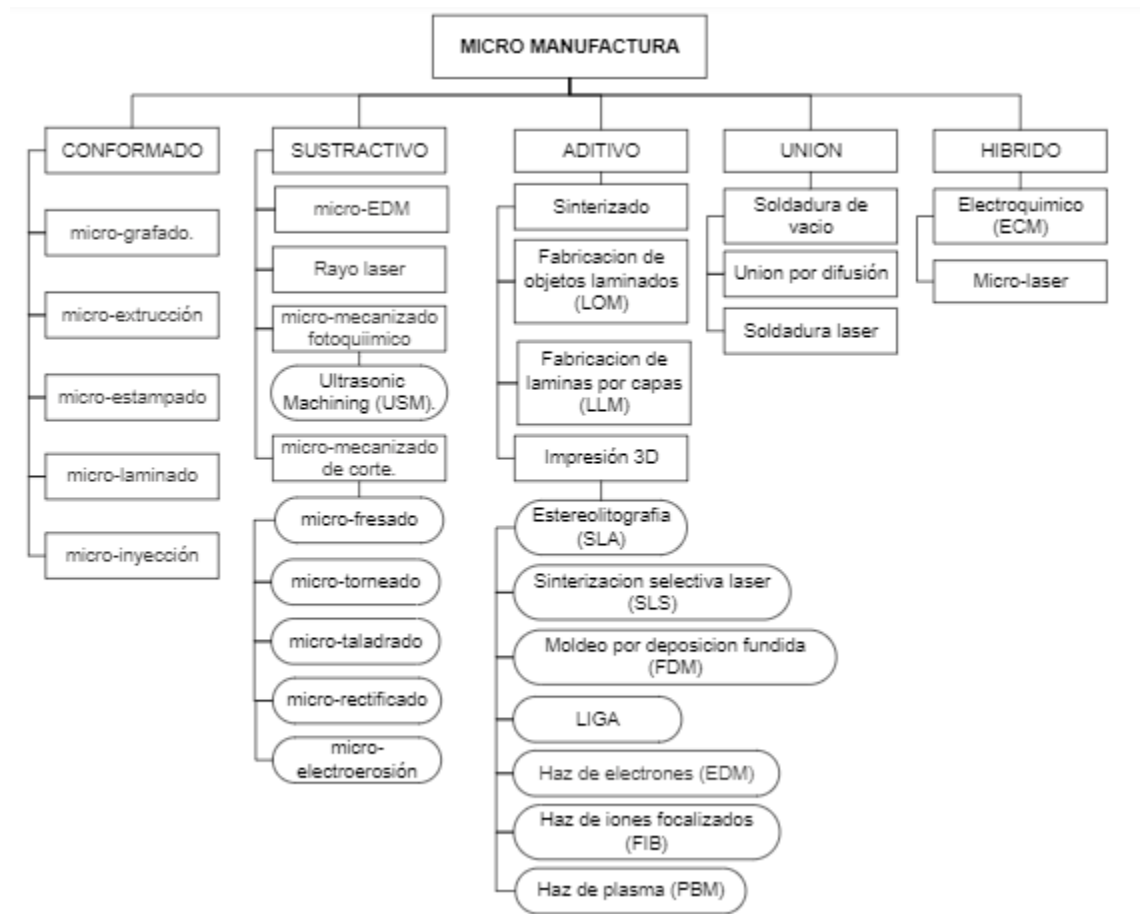
Proceso Sustractivo: incluye procesos de corte micromecánicos como fresado, torneado, esmerilado y pulido. Esta categoría también cubre el mecanizado por microerosión eléctrica (microerosión), el mecanizado por rayo láser, el mecanizado por haz de electrones y el mecanizado fotoquímico. Para los plásticos, sólo se utilizan el fresado y el torneado (tipos de procesos de corte micromecánicos) y el mecanizado con rayo láser.

Proceso Aditivo (AM): es más que la impresión 3D. Esta categoría incluye recubrimiento de superficies con deposición química de vapor (CVD) o deposición física de vapor (PVD), procesos de escritura directa como impresión por chorro de tinta y láser, fotoelectroformación y LIGA, acrónimo alemán de litografía, galvanoplastia y moldeado. Para la microfabricación de plásticos se utiliza principalmente la impresión 3D.

Los procesos de unión: Incluyen ensamblaje micromecánico, soldadura láser, soldadura al vacío y unión. Sólo los dos primeros procesos se utilizan para microfabricar plásticos.

Los procesos híbridos: Van desde el mecanizado electroquímico microláser (ECM) y LIGA hasta la deposición de formas y el mecanizado láser, la fabricación electroquímica (EFAB) y el microconformado asistido por láser. La combinación de micromecanizado y fundición también forman parte de esta categoría de microfabricación. Sin embargo, ninguno de estos procesos se utiliza para fabricar piezas de plástico pequeñas[10].

Figura 7. Clasificación de tecnologías de micromanufactura.



Fuente: [Autor].

Como se mencionó anteriormente hay distintas técnicas para la fabricación de micropiezas. A través del tiempo se ha logrado alcanzar muchas ventajas.

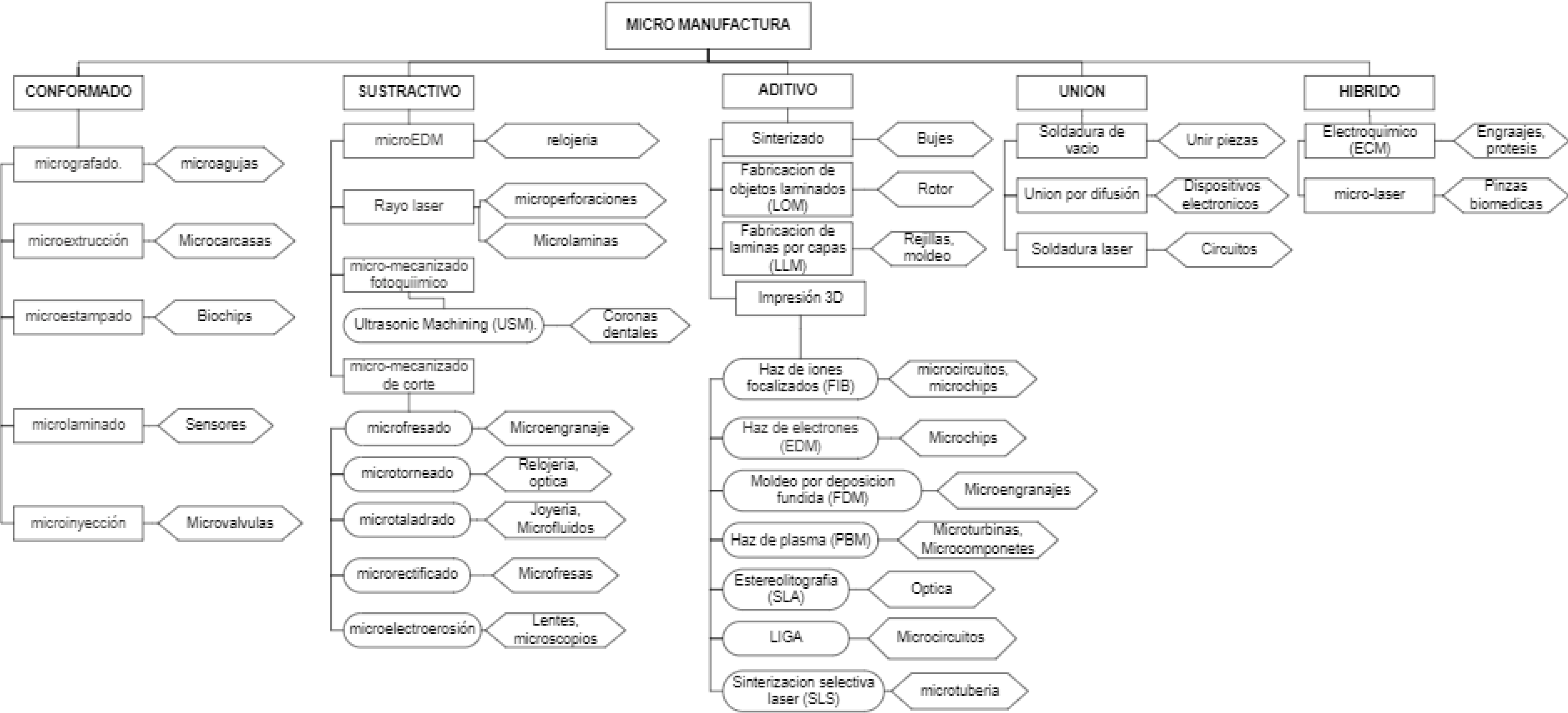
- Reducción de energía y consumo de materiales durante la fabricación.
- Ligereza y portabilidad.
- Dispositivos de gran sensibilidad con funcionamiento más selectivo.

- Aplicaciones menos invasivas.
- Mejorar relación costo/ funcionalidad.

4.2 PRODUCTOS OBTENIDOS POR MICRO PROCESOS DE MANUFACTURA

Los procesos de micro manufactura no solo son una parte integral de la ingeniería, si no también abre nuevas puertas para la investigación y el desarrollo en una amplia variedad de campos. Figura 8 se puede ver los productos de estos procesos y su impacto en la ingeniería de precisión y la innovación de la tecnología.

Figura 8. Productos de micromanufactura.



Fuente: [Autor].

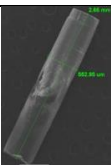
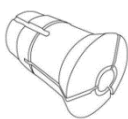
4.3 MICRO PRODUCTOS EN COLOMBIA

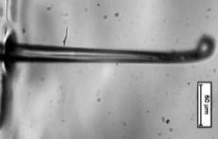
Los procesos de microfabricación en la industria colombiana son muy incipientes y poco desarrollados. Según el DANE y la Cámara de comercio, empresas dedicadas a fabricación de componentes y tableros electrónicos, dedicadas a la fabricación de instrumentos ópticos y equipo fotográfico, hay empresas dedicadas a fabricación de aparatos electrónicos [4]. Algunas universidades han realizado trabajos de investigación y desarrollo de prototipos como microagujas empleando las técnicas de fotolitografía, fabricación de implantes oftalmológicos, desarrollo de prototipos para inyección de piezas y micropiezas de plásticos, fabricación de un microsensor.

De acuerdo a lo encontrado en Colombia todavía no se han apropiado la gran mayoría de los microproductos existentes mostrados en la Figura 8

La Tabla 2 muestra algunos de los procesos de micromanufactura que se encuentran en Colombia. los productos que más se realizan en las empresas son del sector biomédico y se encuentran en ciudades principalmente como Bogotá y Medellín.

Tabla 2 Micro-Productos en la industria colombiana y universidades.

Imagen	Tecnología	Ciudad	Industria	Producto
	Microtorno.	Bogotá	Universidad de los Andes	Implantes óseos
	Microfresado	Bogotá	Universidad Santo Tomás	Microengranaje
	Centro de mecanizado	Bogotá	Universidad Nacional	Implantes dentales
	Centro de mecanizado	Bogotá	Universidad del Norte	Implantes dentales

	Microtorno	Bogotá	IMETI	Implantes dentales
	Centro de mecanizado	Bogotá- Bucaramanga	Medimplantes	Biomedicina
	Centro de mecanizado	Bogotá	Titanium Implant	Implantes dentales
	Fotolitografía	Bogotá	Universidad de los Andes	Microchips
	Centro de mecanizado	Medellín	Industrias médicas Sam Pedro	Ortopedia
	Fotolitografía	Cota	HOYA lens Colombia	Óptica
	HSC Sprint	Bogotá	Laboratorio Optico aliens	Óptica
	Centro de mecanizado	Bogotá	ORTOMAC	Biomedicina
	Centro de mecanizado	Medellín	AA- Innvacion medicinal industrial	Odontología
	Fotolitografía	Medellín	Universidad Nacional de Medellín	Biomedicina

	Torno numérico	Bogotá	ITAL LENT- LENTES DE CONTACTO	Óptica
---	-------------------	--------	-------------------------------------	--------

Fuente: [Autor].

4.4 CARACTERÍSTICAS A CONTROLAR EN PRODUCTOS MICRO MANUFACTURADOS

Dependiendo del proceso se requiere controlar características geométricas planas y volumétricas. Superficiales como rugosidad. Es importante controlar las características del producto, ya sea por su montaje o funcionamiento.

Con base a la Figura 8 hay distintos productos de micromanufactura, estas características son importantes para determinar la calidad del producto o cualquier pieza, para garantizar la precisión de estas dimensiones, forma geométrica y calidad superficial. Las características se pueden controlar con tolerancias de forma, rectitud, planicidad, cilindridad, paralelismo, inclinación y entre otras. También existen normas que se usa para cumplir dichos parámetros, como se puede observar en la Tabla 3 hay distintos productos que se controlan estas características, en el siguiente capítulo se va hablar sobre las tolerancias, normas y que tecnologías hay para controlar estas características.

Tabla 3 Productos micro manufacturados con sus características a controlar.

Proceso	Producto	Forma	Características
Micrografado	Micro grapas	2D	Bidimensionales
Microfresado	Micro engranajes	3D	Bidimensionales, rugosidad
LIGA	Tarjetas electrónicas	2D	Bidimensionales
Microlaser	Biomedicina	3D	Bidimensionales, rugosidad,
Microinyección	Carcasas biomédicas	3D	Bidimensionales, rugosidad, tridimensionales
Microtorneado	Ejes, relojería.	3D	Bidimensionales,
Haz de plasma	Micro tuberías	3D	Bidimensionales, tridimensionales
Microlaminado	Biochips	2D	Bidimensionales
MicroEDM	Relojería	3D,2D	Bidimensionales, rugosidad
Micromecanizado fotoquímico	Coronas dentales	3D,2D	Bidimensionales,

Microrectificado	Microfresas	3D	Bidimensionales
Microelectroerosion	Lentes	2D,3D	Bidimensionales, tridimensionales
Sinterizado	Bujes	3D	Bidimensionales, rugosidad, tridimensionales
LOM	Rotor	3D	Bidimensionales, tridimensionales
SLS	Microtubería	3D	Bidimensionales, tridimensionales, rugosidad
SLA	Óptica	2D	Bidimensionales.

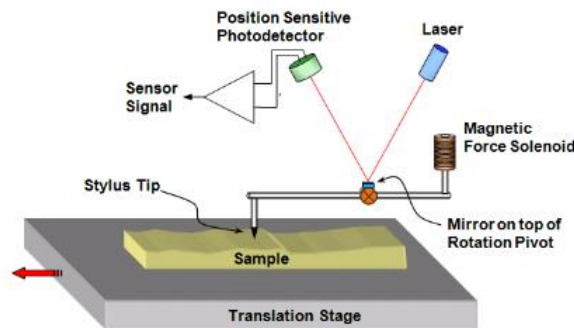
Fuente: [Autor].

4.5 PRINCIPALES TECNOLOGÍAS UTILIZADAS EN CONTROL DE CALIDAD EN ESCALAS MICROMÉTRICAS

4.5.1 Perfilómetro de palpador (*Stylus profilometry*).

Los perfilómetros de palpador son utilizados en longitudes de onda de luz para determinar con precisión la altura física, basado en contacto que pone en la punta de su aguja en contacto directo con la superficie de medición y traza la ruta deseada para mirar la topografía de la superficie, Esta tecnología es usada principalmente para medir alturas de los escalones y los tamaños de las características de la muestra que se han moldeado en la superficie [11]. En la Figura 9 el lápiz típicamente se proporciona con una punta de 60° o 90° y una punta en el rango de $1 - 10 \mu m$ [12] este tipo de medición tiene un tiempo de requerido para lograr una medición de área de dos horas.

Figura 9. Diagrama perfilometro

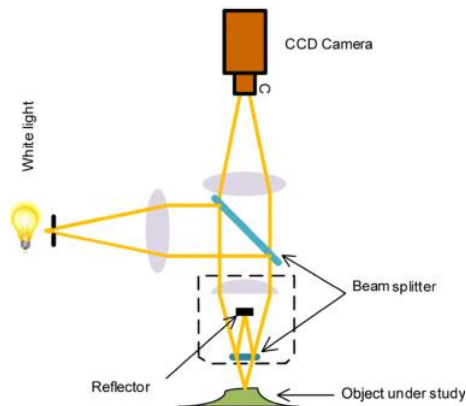


Fuente: [13]

4.5.2 Perfilometría óptica (*Optical profilometry*)

La perfilometría óptica consta de dos partes, un detector y una plataforma, donde se utiliza luz, esta técnica consiste en dirigir la luz hasta que se detecta la superficie en 3D, esto incluye interferencia óptica, apertura confocal, enfoque y detección de fase, y la proyección de un patrón en la imagen óptica[14]. La luz de la lámpara del perfilador se divide en dos caminos por un divisor de haz donde un camino se dirige hacia a la superficie y el otro camino se dirige hacia el espejo de referencia. Los reflejos de estos caminos se recombinan y se proyectan en un detector de matriz, la diferencia en el camino de los haces recombinados es del orden de unas épocas longitudes de onda, lo que conduce a una menor interferencia. La resolución vertical se puede obtener el orden de varios angstroms y la resolución lateral depende del objetivo y oscila entre 0.3 – 8 micras Figura 10[15].

Figura 10. Principio de funcionamiento



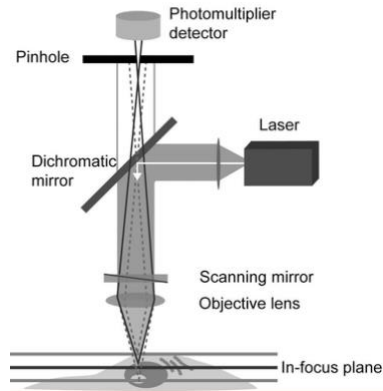
Fuente: [16].

4.5.3 Microscopia confocal (*Confocal microscopy*)

La microscopia confocal, consiste en producir imágenes nítidas de una muestra, pudiendo reconstruir una estructura tridimensional a partir de imágenes a diferentes profundidades dentro de un objeto grueso. Esta técnica permite producir imágenes de la morfología de la superficie [17]. La configuración, se colca un orificio de alfiler frente a una fuente de luz de arco de circonio para proporcionar un punto de luz enfocado en la muestra por un lente objetivo. El segundo lente enfoca el punto de muestra iluminado en el segundo agujero de alfiler frente al detector. Este sistema de doble enfoque rechaza los rayos desenfocados de la muestra iluminada, para que no lleguen al detector, que era un fotomultiplicador de bajo

ruido, tiene una trayectoria en x,y para escanear la muestra a través del punto de iluminación [18].Figura 11

Figura 11. Microscopia confocal



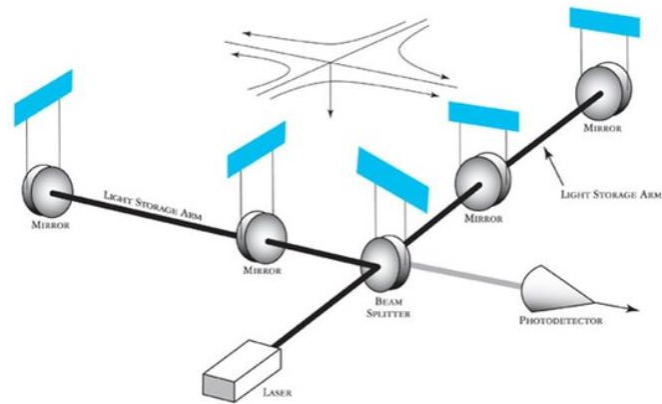
Fuente: [19]

4.5.4 Interferómetro (Interferometers)

Un interferómetro es un instrumento diseñado para hacer mediciones con una gran precisión, este consiste en tomar un haz de luz y dividirlo en dos a lo que se le llama divisor de haz. Permitiendo medir el patrón de interferencia de una fuente de luz específica en una superficie durante el escaneo en dirección vertical, luego de esto la superficie se puede reconstruir digitalmente [18].

Este dispositivo óptico se puede hacer con distintos tipos de radiación, por lo general el funcionamiento de comienza con un haz de entrada, lo divide en dos haces separados con algún tipo de divisor de haz Figura 12 (espejo principalmente transitorio) [20], simplemente expone algunos haces a algunas influencias externas (por ejemplo, algunos cambios de longitud o cambios en el índice de refracción en un medio transparente) y recombina los haces en otro divisor de haz. La potencia o la forma especial de haz resultante se utiliza para la medición [21].

Figura 12. Interferómetro[22].

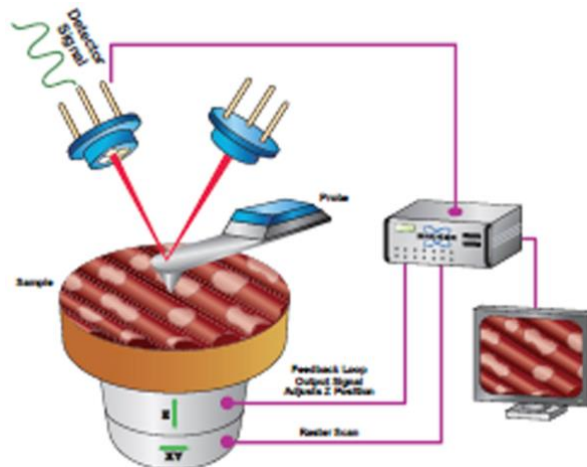


Fuente: [22]

4.5.5 Microscopia de sonda de barrido (*Scanning probe microscopy*)

La microscopia de sonda de barrido puede captar imágenes que varían entre $100\mu\text{m}$ a 10m , con esta tecnología las superficies se pueden mapear con resoluciones atómicas, obteniendo las estructuras de las superficies cristalinas, defectos, distribución de puntos, absorciones y defectos estructurales[23]. Esto puede detectar directamente varias señales en el espacio real Figura 13 con resolución atómica o a nano escala, lo que proporciona información sobre las propiedades electrónicas, vibratorias, ópticas, magnéticas, bioquímicas y mecánicas[24].

Figura 13. Microscopia de sonda de barrido[25].

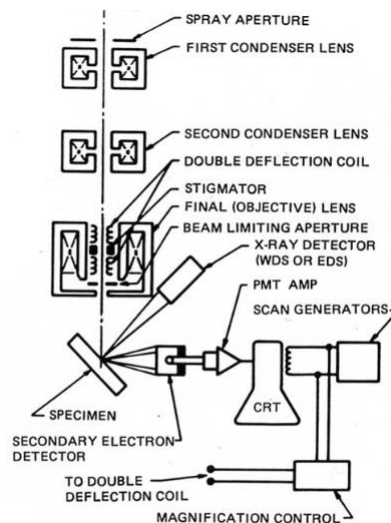


Fuente: [25]

4.5.6 Microscopio electrónico de barrido (*Scanning electron microscopy*)

El microscopio electrónico de barrido consiste en el barrido de un haz de electrones sobre la muestra, estos interactúan con la muestra y detectores produciendo varias señales que son capaces de caracterizar las propiedades físicas y químicas, la topografía y la composición de la superficie de la muestra[26], [27]. Los rayos x tiene energías que caracterizan elementos específicos contenidos en las capas superiores de la superficie, el instrumento se puede utilizar para medir eficazmente, estas energías espectro metro de rayos x dispersivo. Figura 14 Dicha tecnología puede lograr ampliaciones de imagen de $100\times$ a $10000\times$, resolución de hasta $2nm$, gran profundidad de campo, larga distancia de trabajos de elementos capacidad de análisis y efectos mínimos de difracción, la información obtenida es inherente 2D y no se puede extraer información de altura[27].

Figura 14. Microscopio electronico de barrido[28].



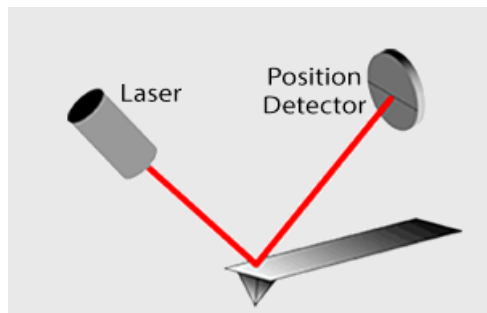
Fuente: [28]

4.5.7 Microscopia de fuerza atómica (*Atomic force microscopy*).

La microscopia de fuerza atómica consiste en una sonda que interactúa con la muestra, mientras se monitorea mediante un rayo láser, este es seguido por un fotodetector sensible a la posición que detecta la sonda, esta tecnología permite obtener imágenes de cualquier tipo de superficies, desde polímeros, cerámicas, compuestos, vidrio y muestra biológicas. [29].

Las principales aplicaciones de uso de AFM, con un rango de nano-escala y sub-nano-escala, esta tecnología es aplicada principalmente para, ciencia y tecnología, tribología (Interacción de superficies y fricción), química superficial, química y polímeros, Materiales de almacenamiento de energía, materiales piezoeléctricos y ferroeléctricos, esta técnica es muy poderosa para la investigación y la I+D+i, en todas sus formas posibles. También es usado para la industria aeroespacial y la automotriz para el desarrollo de los materiales, la aplicación es usado para formas en 2D Y 3D Figura 15.

Figura 15. Microscopia de fuerza atómica[30].



Fuente: [30]

4.5.8 Medición de coordenadas (*Coordinate metrology*).

La medición de coordenadas es utilizada para los diseñadores, ingenieros, y fabricantes de metrología de coordenadas para medir con precisión las características de los componentes mecánicos. Las máquinas de medición por coordenadas (CMM) pueden hacer comparaciones de componentes a lo largo de fabricación o incluso pronósticos, si un sistema propuesto es adecuado para el propósito mediante el modelado de coordenadas de pieza de trabajo específico.[31].

La medición por coordenadas mide puntos únicos en la superficie de la muestra o escanea una superficie seleccionada para recopilar los datos continuamente a medida que se mueve la punta del lápiz óptico pasando por la pieza, la punta del palpador en contacto con la superficie suele ser una bola de rubí sintético, las dimensiones del diámetro están en el rango $0.5mm - 10mm$. [12]

Los últimos años, se han desarrollado (CMM) más pequeñas para permitir mediciones de 3D de características nanométrica; típicamente con rango de precisión Figura 16

Figura 16. Medición por coordenadas



Fuente: [32]

4.5.9 Microscopio digital (*Microscope Digital*).

Se caracteriza por estar equipado con una cámara digital que permite captura imágenes de la muestra, estas imágenes pueden ser visualizadas en tiempo real en una pantalla transmitida a un ordenador Figura 17.

El microscopio digital, la cámara está situada en el lugar ocular, lo que quiere decir que en general los microscopios digitales no permiten observar la muestra con los ojos, existen distintos microscopios, que permite digitalizar la imagen de la muestra, permite configurar la resolución [33].

Las aplicaciones son relacionas con el control de calidad de materiales, medidas. También en la parte de investigación científica, las imágenes que se pueden obtener son en 2D, no genera en 3D [34].

Figura 17. Microscopio electrónico [35].



Fuente: [35]

4.5.10 Resumen de las tecnologías identificadas para control de calidad de micro productos.

La clasificación de las tecnologías de calidad se hace inicialmente, una investigación exhaustiva sobre las técnicas disponibles de la metrología de microproductos, en el cual encuentran instrumentos de medida y montajes, como se puede observar en la Tabla 4.

Tabla 4 Tecnologías con sus respectivas características a medir.

Tecnología	Características
Perfilómetro palpador	Bidimensionales
Perfilometría Óptica	Bidimensionales, tridimensionales.
Microscopia confocal	Bidimensionales
Interferómetro	Bidimensionales
Microscopia sonda de barrido	Bidimensionales, tridimensionales.
Microscopia electrónica de barrido	Estructuras cristalinas, Bidimensionales.
Microscopia de fuerza atómica	Bidimensionales, estructuras cristalinas
Medición de coordenadas	Bidimensionales, rugosidad, tridimensionales
Microscopio digital	estructuras cristalinas, bidimensionales

Fuente: [Autor]

5 PROCESO DE FABRICACIÓN DE MICROENGRANAJE.

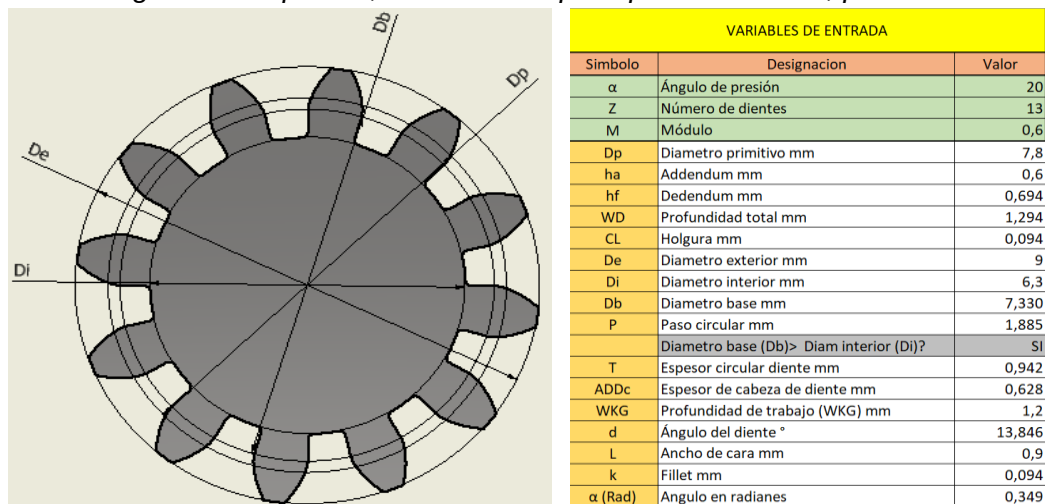
El proceso de fabricación del micronegraje es un reto para lograr los criterios de calidad deseados, este capítulo describe el proceso implementado para la manufactura de un microengranaje. En la primera parte se diseña el modelo CAD con sus respectivas características geométricas. Se determinará con qué tipo de máquina se desea realizar este producto, se enseña la hoja de proceso, donde se indica las condiciones de corte y el orden a operar. Por último, se realizó el montaje para la manufactura en torno tipo suizo.

5.1 MODELO CAD DE MICROENGRANAJE

El modelo del microengranaje se realizó en el software Inventor donde se define la geometría del producto, con engranajes rectos están dirigidos por diferentes medidas como es el diámetro base, que para el caso de estudio es el más importante, ya que es el punto donde nace la curva de involuta y crece hasta el diámetro externo. Cuya función es limitar el dimensionamiento del diente, también se encuentra el diámetro de raíz donde nace el addendum o también conocido como el flanco, así mismo se tiene el radio de cabeza que es la diferencia entre el dedendum y el addendum, por último, se tienen el diámetro primitivo que es la generación de contacto tangencial entre los dientes de los engranajes.

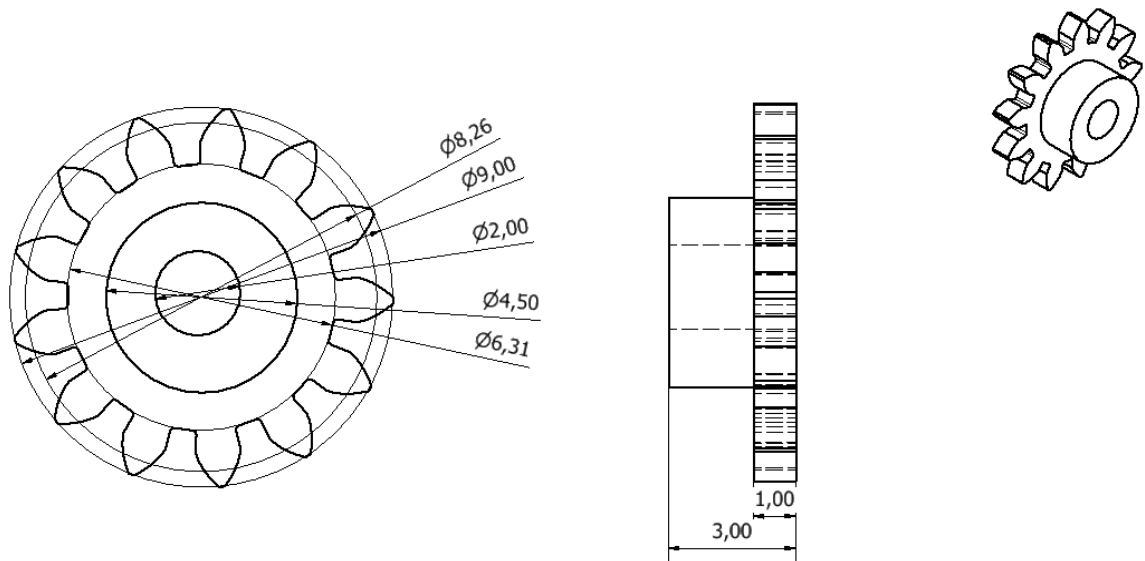
Estos parámetros se generaron por dos aplicativos Excel junto con Inventor, para dando a conocer el ángulo de presión, el numero de dientes y el módulo. El aplicativo de Excel nos determina los principales diámetros, addendum, el paso, el espesor del diente ver Figura 18. Ya teniendo los datos procedemos a realizar el CAD son sus respectivas medidas observar Figura 19.

Figura 18. Izquierda, dimensiones principales. Derecha, parámetros.



Fuente: [Autor]

Figura 19. Modelo CAD y plano



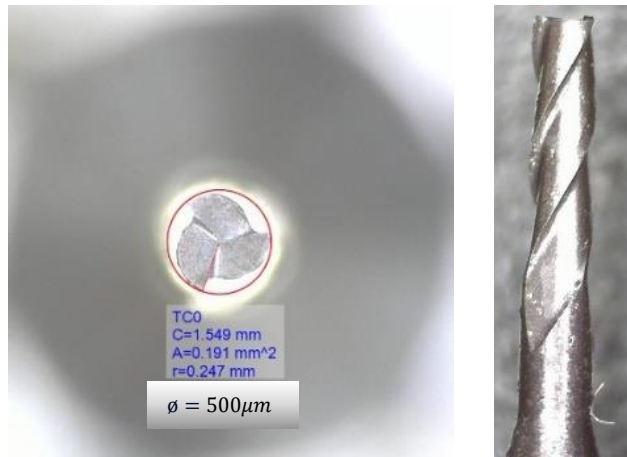
Fuente: [Autor]

5.2 PLANIFICACIÓN DEL PROCESO DE MANUFACTURA

Para la planificación del microengranje se inició preparando la materia prima, con las características apropiadas para fijarlo en el torno suizo, posteriormente se posiciona la herramienta con la materia prima, lo que permitió el proceso de manufactura del refrentado y demás proceso como se evidencia en Figura 21 dicha operación mencionada, se procede a la elaboración de la hoja de proceso, describiendo los pasos para la fabricación con su respectivas velocidades de corte, avance y herramienta a utilizar. A continuación, muestra la hoja de proceso. Anexo A.

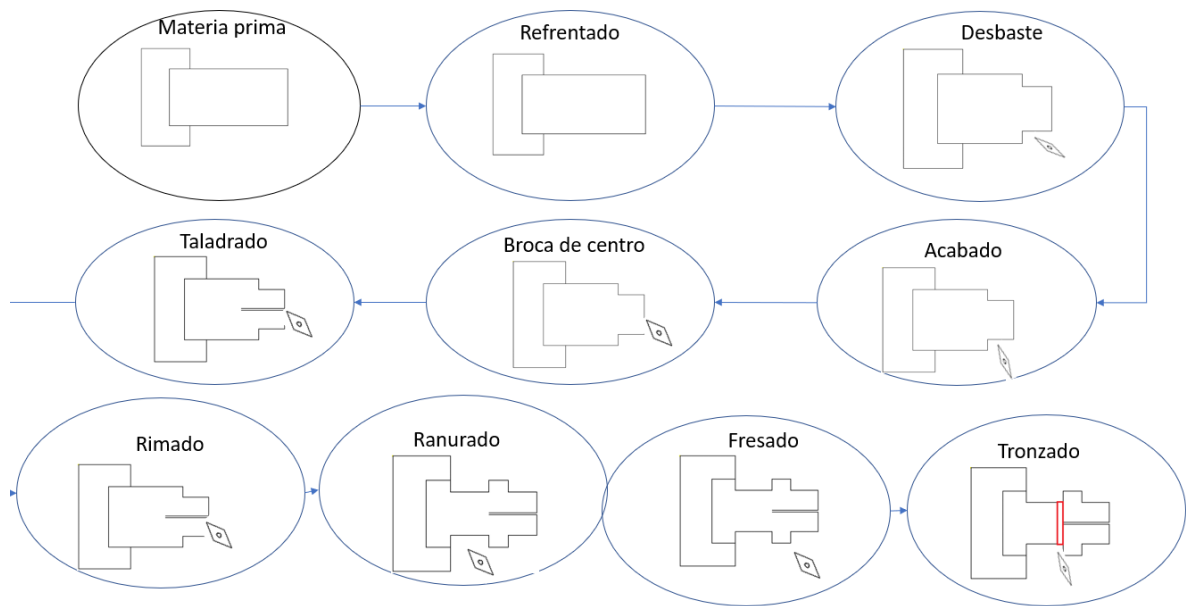
Se usa una herramienta para el tallado de los dientes, se utilizó una micro fresa marca ISCAR ref. EC-A3 005-015C de tres filos de corte y un diámetro de $500\ \mu\text{m}$ mostrada en la Figura 20.

Figura 20. Micro-fresa $500\ \mu\text{m}$ de diámetro con tres filos de corte.



Fuente: [Autor]

Figura 21. Diagrama de planificación de proceso



Fuente: [Autor]

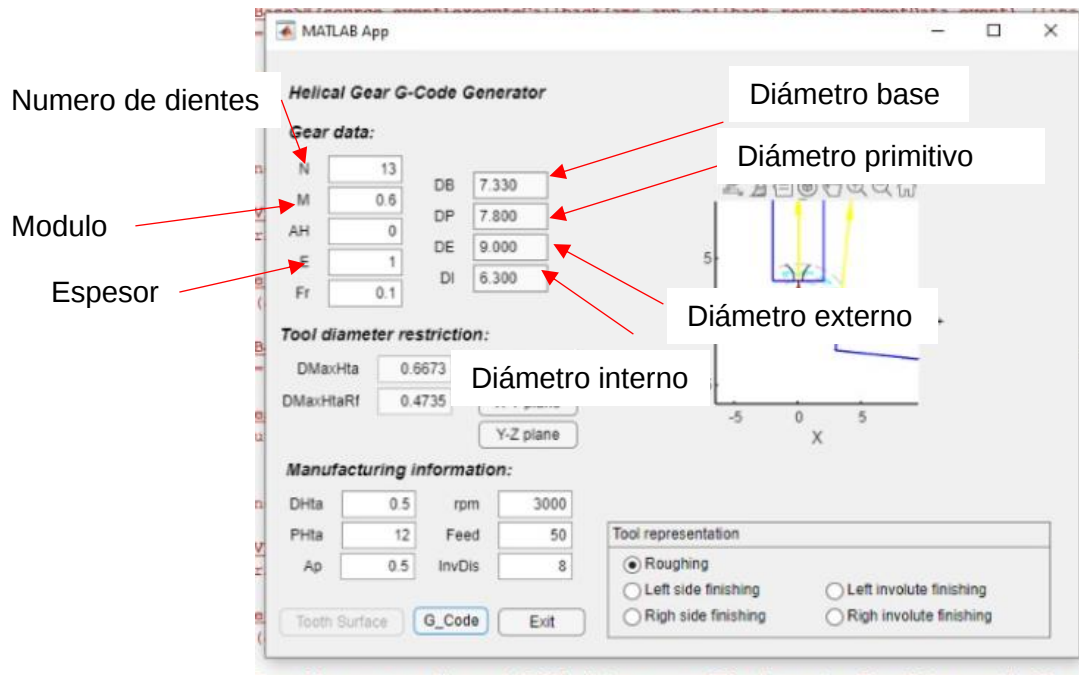
5.2.1 Código de fabricación:

La programación del torno suizo Polygim Diamond 20 CSB se llevó a cabo utilizando la herramienta MathLab para la generación del código G en el sistema CNC. Este proceso incluyó la inserción de datos clave del engranaje, como el número de dientes, módulo y espesor, con el fin de obtener el tallado preciso del perfil de los dientes, como se ilustra en la Figura 22.

El desarrollo de esta aplicación fue realizado por el grupo GEAMEC, y el programa del código G correspondiente se detalla en el anexo B. Este código G se ajusta a la geometría

específica de la pieza, teniendo en cuenta las configuraciones del microengranaje y sus características particulares

Figura 22. Aplicativo Math Lab.



Fuente: [Autor]

Se puede evidenciar un fragmento del código realizado, con la herramienta Math Lab

```

N80(FRESADODEDIENTES)
G54G19G98G50S3=2000
G43.1
M92
G28U0
G28V0
M5
M90
T0808
G0Y0
G97M103S3=1500
#100=13
#101=0
#102=27.6923
N10#101=#101+1

```

(DESBASTE)

G0C-96.069

G0Z1X22.500

G0X8.600

5.3 Montaje experimental.

Se fabricó un micro engranaje de módulo de 0,6 y trece dientes (Figura 23 Derecha), de diámetro externo de 9 mm, La manufactura se realizó por medio de torneado y microfresado en un torno tipo suizo Polygim Ref. 20CSB. El material que se uso es latón.

Figura 23. Izquierda, microengranaje. Derecha, microengranaje de módulo 0.6.

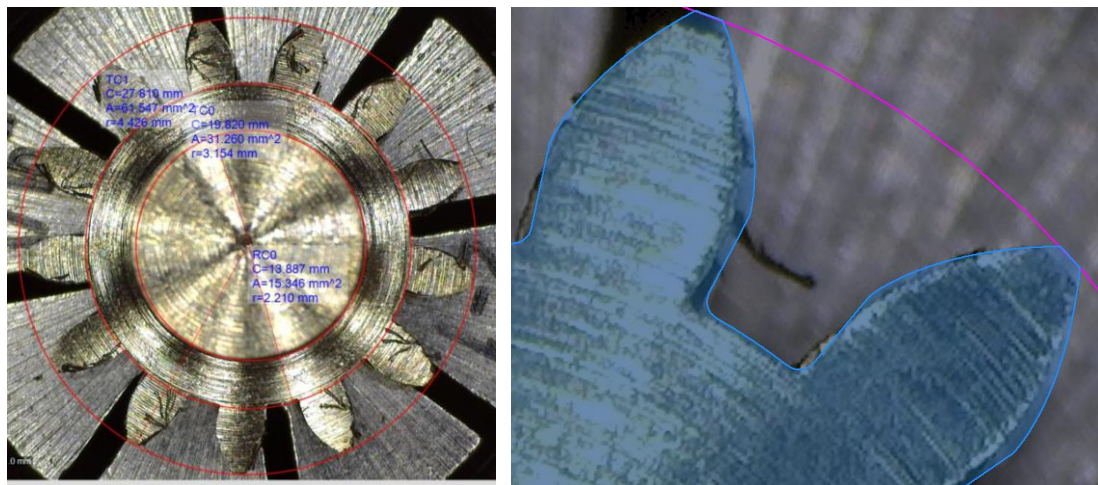


Fuente: [Autor]

6 CONTROL DE CALIDAD A MICROENGRANAJE DE LA USTA

Se seleccionó el microengranaje fabricado, para la caracterización de mediciones, es un proceso crítico que no se debe pasar en alto. Garantizar la calidad y precisión de estos componentes es esencial para el éxito de cualquier aplicación en la que utilice y poder cumplir con las normas establecidas. En la Figura 24 se observa que en el lado izquierda se realizó las medidas con microscopio digital y en la derecha con el software Inventor, en el cual se ve a detalle las intersecciones de los dientes.

Figura 24. Imagen izquierda medidas tomadas en microscopio, derecha medidas software inventor



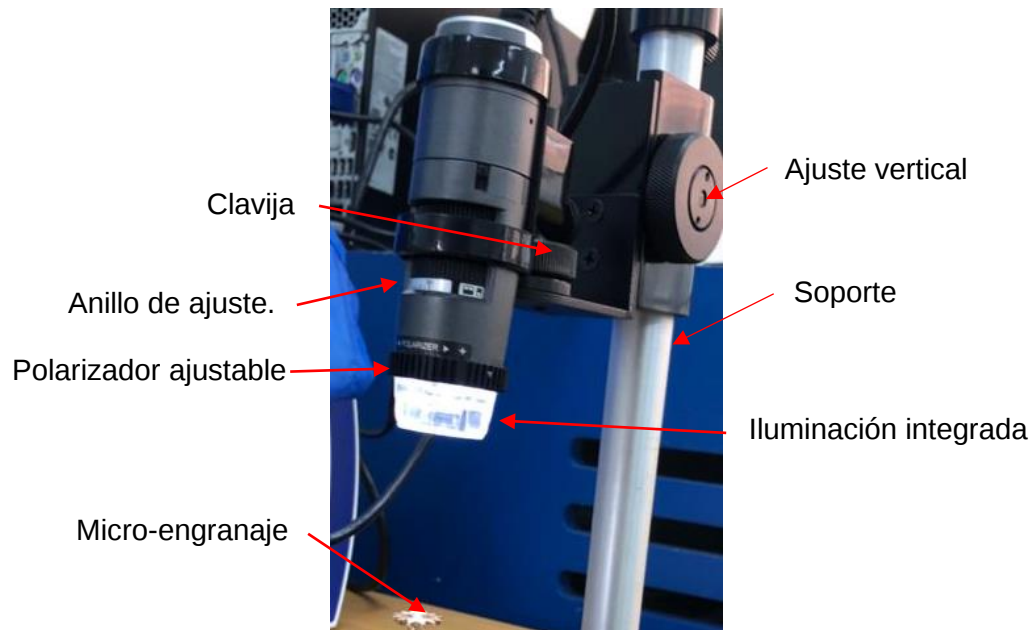
Fuente: [Autor]

6.1 Técnica de caracterización utilizada.

6.1.1 Microscopio digital

Se uso un microscopio digital marca Dino-lite Ref.AM7915MTZ, con un rango de aumento entre 10 y 220 X, y resolución de 2592 x 1944 pixeles, 30 fps (fotogramas por segundo), el cual lo soporta una clavija tipo bola y la cavidad le permite girar 45 grados. Contiene un ajuste fino que se desliza de arriba hacia abajo. Observar Figura 25.

Figura 25. Microscopio, Dino Lite. Universidad Santo Tomás.



Fuente: [Autor]

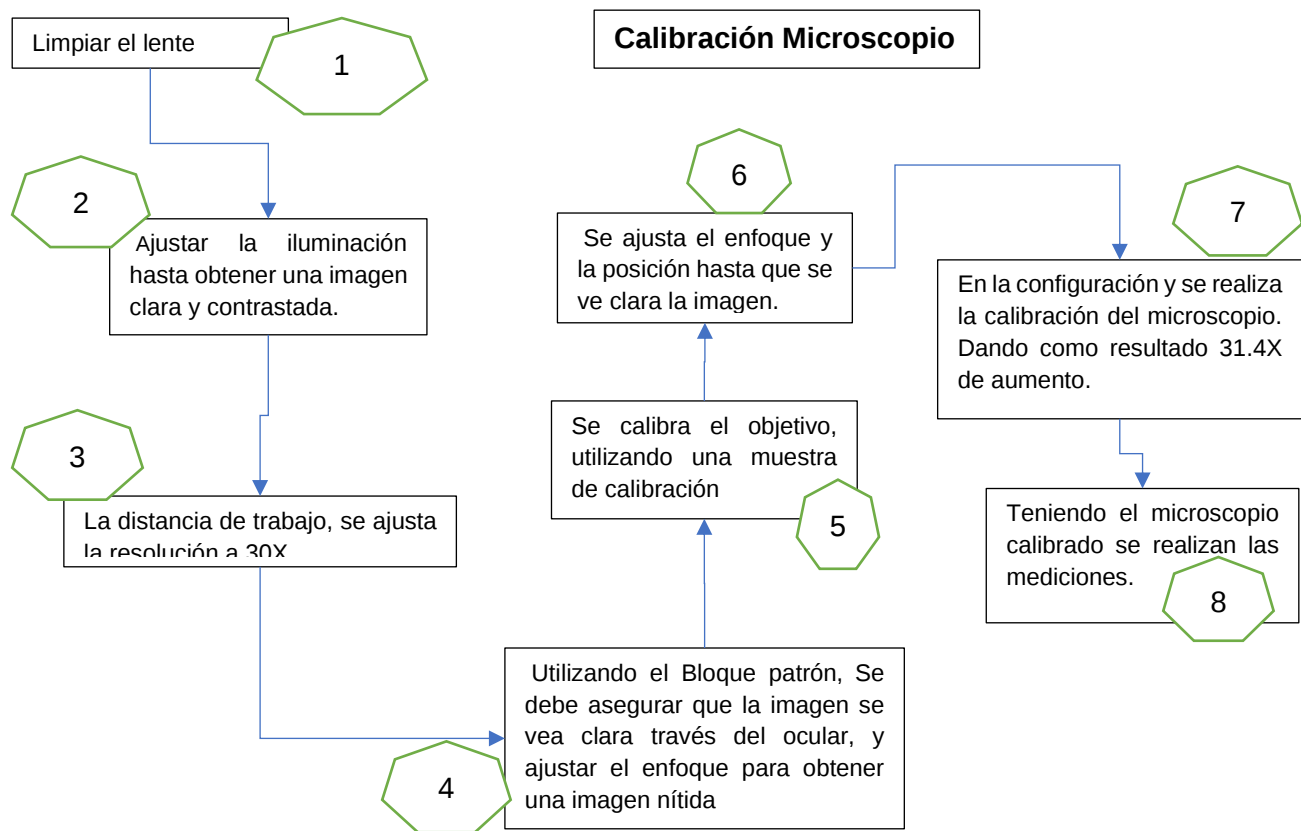
6.1.2 Calibración de microscopio electrónico

La calibración busca comparar los datos obtenidos por un instrumento de medición, con la medida correspondiente de un patrón de referencia de mayor precisión, El objetivo de calibrar es asegurar y mantener el buen funcionamiento del equipo, responder a los requisitos establecidos en las normas de calidad, asegurar la fiabilidad y trazabilidad de las medidas. Pasos por seguir para calibrar el microscopio óptico de forma correcta observar Figura 26. Para la Calibración del microscopio Electrónico Dino Lite, se usaron dos bloques patrón de la marca Mitutoyo, de 7.7 mm y 10.3 mm , ver Figura 27

Pasos:

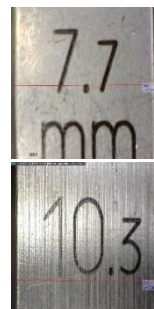
1. Se selecciona una imagen nítida.
2. En la opción de ajustes se toma una imagen
3. Después se procede a tomar dicha medida con la resolución del microscopio.
4. Ya el microscopio queda calibrado y se procede hacer dichas mediciones.

Figura 26. Calibración microscopio



Fuente: [Autor]

Figura 27. Izquierda pieza calibrada con un rango 31,4. Derecha: arriba de 7,7mm, Derecha de 10,3mm.



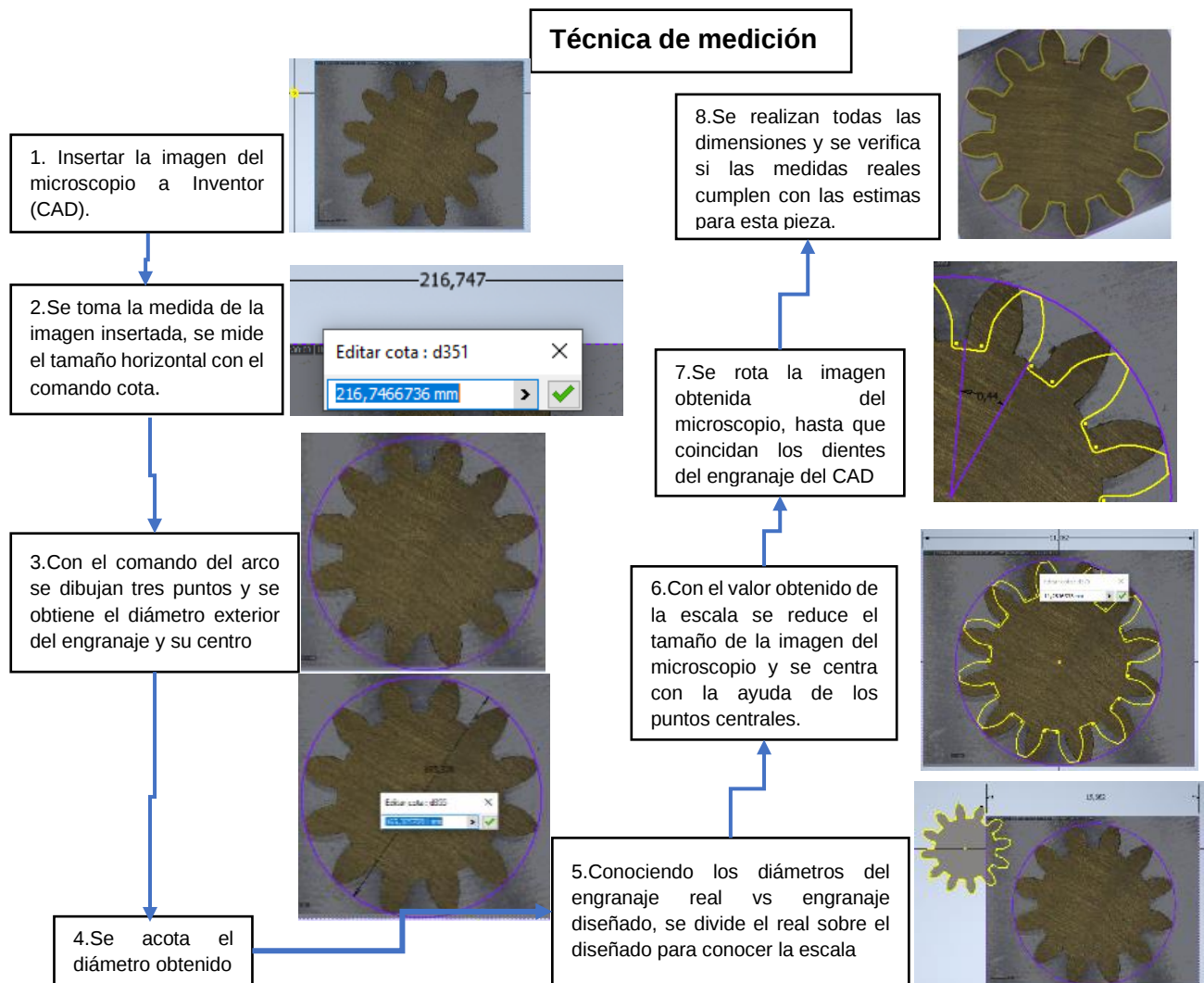
Fuente: [Autor]

6.1.3 Técnica de medición por medio de software CAD.

El software CAD implementado es inventor, esta herramienta se utiliza para agregar la imagen obtenida del microscopio y compararla con la imagen diseñada con el CAD. Los pasos para verificar las dimensiones reales se muestran en la Figura 28.

Para la técnica de medición en el CAD se inserta la imagen, después se toma la medida de la imagen, con el comando arco se seleccionan tres dientes en el diámetro externo, luego teniendo es medida que nos arroja el CAD, se divide con la medida de la imagen y así tenemos la escala. Para rotarlo se toma la distancia del engranaje del CAD con la imagen, se selecciona el comando girar y se gira dicha medida que arrojo como resultado.

Figura 28. Pasos para la medición del micro engranaje.



Fuente: [Autor]

6.2 Normas para control de calidad de engranajes.

Conociendo los parámetros de medidas, se puede dar un grado de calidad a los engranajes 3 al 12, siendo 3 el de mayor calidad y 12 siendo de menor calidad, los resultados pueden variar ya que se generan errores con la herramienta, la dimensión de la pieza, puede causar pérdidas geométricas, teniendo claros los parámetros se llega a determinar el grado de calidad requerido, para el diseño, el pre calculo depende de múltiples factores, si existen recomendaciones dependiendo de la aplicación se puede evidenciar en la Tabla 5 ISO.

Tabla 5 Grados de calidad según norma ISO.

APLICACIÓN	NUMERO DE CALIDAD (ISO)
Accionamiento de tambor mezclador de cemento	12
Horno de cemento	12-10
Impulsores de laminadoras de acero	12-10
Cosechadoras de granos	12-10
Grúas	12-10
Prensas de punzonado	12-10
Transportador de mina	12-10
Máquina para fabricar cajas de papel	9-11
Mecanismo de medidores de gas	10-8
Taladro pequeño	8-10
Lavadora de ropa	9-6
Prensa de impresión	8-6
Mecanismo de calculo	7-6
Transmisión automotriz	7-6
Accionamiento de antena de radar	7-5
Accionamiento de propulsión marina	10-5
Accionamiento de motor de avión	3-7
Giroscopio	4-2

Fuente: [9]

La calidad se establece conociendo el módulo, el diámetro y las medidas de variación que se obtienen en la Tabla 6, como es evidente, cuanto más grande es el engranaje mayor va a ser la calidad y sus tolerancias.

Tabla 6 Gados de tolerancia según la norma.ISO-1328.

Reference diameter d mm	Normal module m_n mm	Accuracy grade									
		4	5	6	7	8	9	10	11	12	
		F_1'' μm									
$5 \leq d \leq 20$	$0,2 \leq m_n \leq 0,5$	7,5	11	15	21	30	42	60	85	120	
	$0,5 < m_n \leq 0,8$	8,0	12	16	23	33	46	66	93	131	
	$0,8 < m_n \leq 1,0$	9,0	12	18	25	35	50	70	100	141	
	$1,0 < m_n \leq 1,5$	10	14	19	27	38	54	76	108	153	
	$1,5 < m_n \leq 2,5$	11	16	22	32	45	63	89	126	179	
	$2,5 < m_n \leq 4,0$	14	20	28	39	56	79	112	158	223	

Fuente: [9]

En el caso que el módulo no esté en las tablas, se puede emplear la fórmula que determina el grado de calidad de cada parámetro. Para bajar o subir el grado se puede hacer uso de un 0, sustituyendo el valor Q por el valor de calidad que se requiere hallar y multiplicar por el parámetro. Lo mismo sería multiplicar el $\sqrt{2}$ para subir un grado y dividir para bajar un grado.

Ecuación 1

$$Fi = (3,2m_n + 1,01\sqrt{d} + 6,2)$$

$$2^{0,5(Q-5)}$$

Los valores de las ecuaciones deben ser redondeados

- Si es mayor de $10 \mu m$, se redondea al número entero más cercano.
- Si es menor a $10 \mu m$, pero mayor a $5 \mu m$, se redondea a $0,5 \mu m$ más cercanos.
- Si es menor de $5 \mu m$, se redondea a $0,1 \mu m$ más cercanos.

Se usa la respectiva Q para obtener el valor de fi y una estimación precisa de la calidad deseada de 11,247, como anterior mente se menciona si es mayor a $10 \mu m$, se otorga una calidad de 11. Con el valor Q podremos saber cuál es la calidad mínima más precisa dando como resultado 8,71499, el engranaje tiene un rango de calidad entre 9 y 11.

6.3 Caracterización de la calidad del engranaje

Se realiza con el software Inventor, bajo los parámetros establecidos de la norma mencionada anteriormente, en el proceso de medición, se hicieron las siguientes medidas evidenciadas en la Tabla 7.

Tabla 7 Parámetros a evaluar.

Mediciones que se pueden realizar con microscopio óptico			
Características		SI	NO
Perfil (Profile)	f α		
	ff α		
	fH α		
	C α a		
	C α f		
	C α		
Helice (Propeller)	F β		
	ff β		
	fh β		
	C β I		
	C β II		
	c β		
Paso (Pitch)	Fp		
	Fp		

	fu		
Desviación radial (Radial deviation)	Fr		
	fe		
Diámetro (Diameter)	da		
	df		
Espesor del diente (Tooth thickness)	s		
	Mrk		
	Mdk		
	MdR		
	Wk		

Fuente: [Autor]

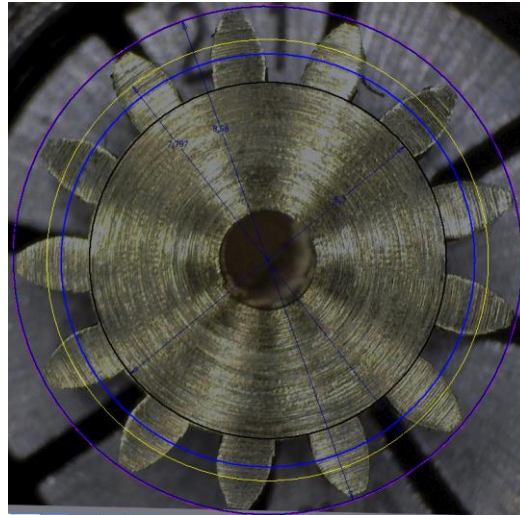
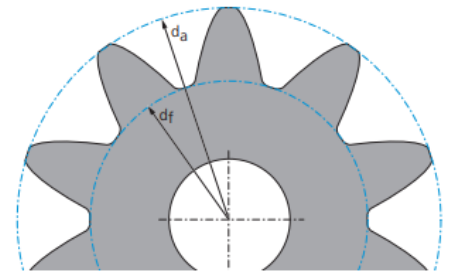
Algunas mediciones no se pueden realizar por este método, ya que no se tiene la tecnología adecuada para encontrar dichos parámetros, como el perfil del diente (ffa, Caa, Caf, Ca), este parámetro es muy importante al momento de evaluar la calidad. La hélice ($F\beta, ff\beta, fh\beta, C\beta I, C\beta II, C\beta$), tiene el ángulo del diente, presenta una geometría compleja al momento de realizar la medición, los otros parámetros se realizan con su respectivo análisis.

6.3.1 Diámetros (Diameter).

La metrología realizada por medio de Inventor es un método de medición que nos permite comparar las medidas calculadas con las reales, según los resultados de los diámetros como se puede evidenciar en la Figura 29 permite ver los parámetros que se cumplieron como en el diámetro exterior y el diámetro base.

Figura 29. Mediciones del diámetro.

Símbolo	Símbolos	Valor	Medidas	Desviación	Calidad
De	Diametro exterior mm	9	8,98	0,02	2
Di	Diametro interior mm	4,5	4,48	0,166	2
Db	Diametro base mm	7,330	7,300	0,030	1
Dp	Diametro primitivo mm	7,8	7,797	0,003	1



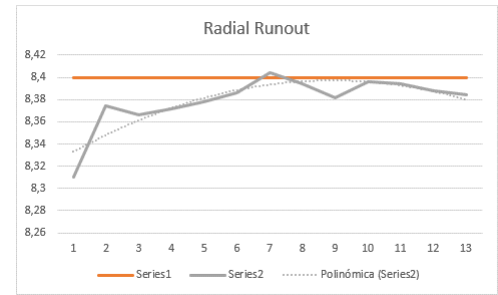
Fuente: [Autor]

6.3.2 Desviación radial (*radial Runout*)

Es la imperfección que se obtiene al girar el engranaje, idealmente debe ser redondo, en el cual se puede ver en la Figura 30, que el engranaje no es talmente redondo tiene una variación de los dientes respecto a otros, se considera que es ovalado debido al material y repercute negativamente a la calidad de 4.

Figura 30. Datos de runnout y la gráfica.

Numero de dientes (i)	Radio-i	De	Ddi	Fri
1	4,155	8,4	8,31	0,09
2	4,187	8,4	8,374	0,026
3	4,183	8,4	8,366	0,034
4	4,186	8,4	8,372	0,028
5	4,189	8,4	8,378	0,022
6	4,193	8,4	8,386	0,014
7	4,202	8,4	8,404	-0,004
8	4,197	8,4	8,394	0,006
9	4,191	8,4	8,382	0,018
10	4,198	8,4	8,396	0,004
11	4,197	8,4	8,394	0,006
12	4,194	8,4	8,388	0,012
13	4,192	8,4	8,384	0,016



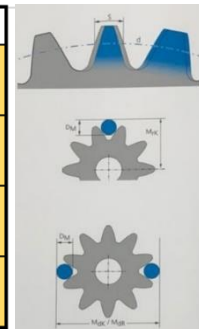
Fuente: [Autor]

6.3.3 Espesor del diente (Tooth thickness).

Los datos obtenidos del espesor de diente cumplen con los estándares de calidad de precisión del micro engranaje, ya que la diferencia de los cálculos obtenidos con las medidas reales varía un poco de 0 a 6, por lo tanto, está en los rangos de calidad de tolerancia entre (1-3).

Figura 31. Datos de los dientes.

Símbolo	Símbolos	Valor	Medidas	Desviación	Calidad
WK	Logitud de cuerda	3,534	3,534	0	1
Mdk/Mdr	Diametro dimesional	8,98	8,98	0	1
Mrk	Diemsion radial de paso	4,551	4,551	0,000	1
S	Grosor del diente	0,94	0,934	0,006	3

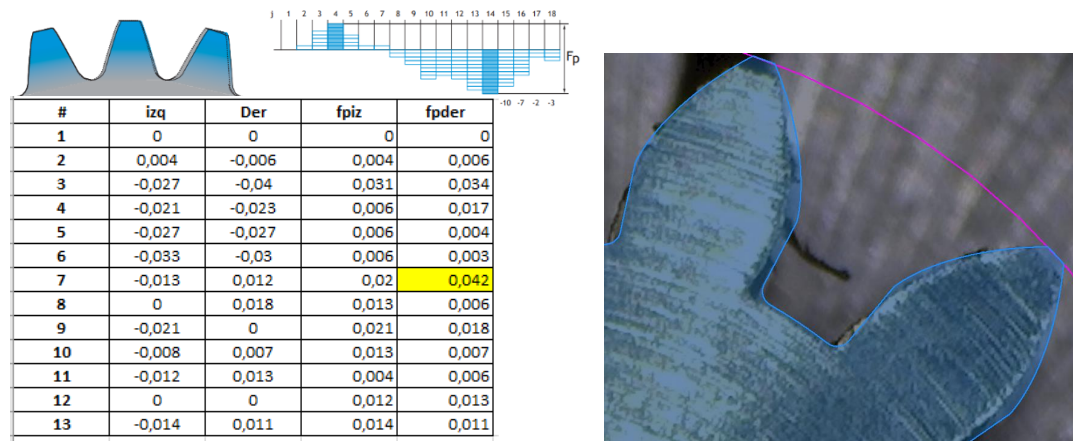


Fuente: [Autor]

6.3.4 Paso / inclinación (pitch)

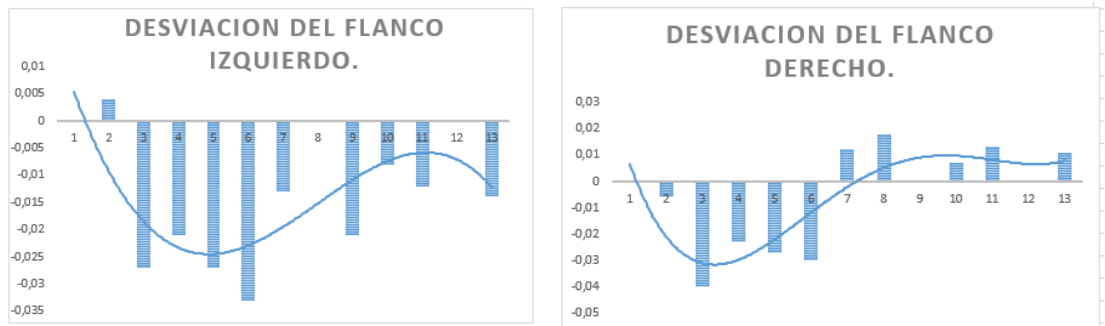
Como se puede observar, el proceso de acabado de los flancos y el valle del engranaje manufacturados por la geometría del aplicativo de Excel, se puede identificar que la mayoría de los dientes tienen desviación en los dos flancos, en la Figura 32 muestra el tercer y cuarto diente izquierdo se ve una desviación mayor y en el flanco derecho se ve una desviación igual.

Figura 32. Datos obtenidos del paso.



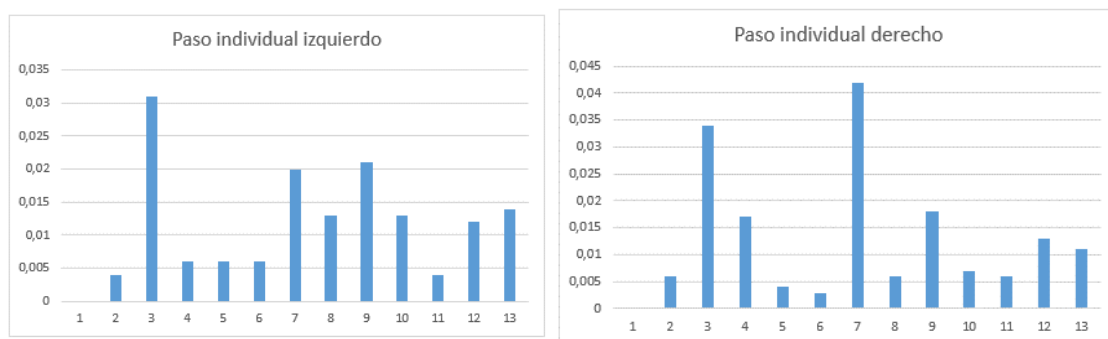
Fuente: [Autor]

Figura 33. Grafica de la desviación de los flancos izquierdo y derecho.



Fuente: [Autor]

Figura 34. Grafica de la desviación de cada paso izquierdo y derecho.



Fuente: [Autor]

Como se mencionó anteriormente la norma determina que los engranajes por encima de 7 son engranajes con poca calidad para aplicaciones de muy baja precisión según los resultados anteriores, el proceso de manufactura de la pieza está por encima de la medida nominal.

6.3.5 Evaluación de control de calidad.

- Se verifica la geometría del micro engranaje de dientes rectos, con métodos de CAD y microscopio electrónico.
- Al comparar los resultados de la metrología del micro engranaje hay alteraciones mínimas en la geometría por el material y la compensación de la micro herramienta.
- La manufactura del micro engranaje en la universidad Santo Tomás, en el torno suizo, se puede llegar a una calidad de ISO grado 6, siendo esto engranajes funcionales, de baja precisión.
- Si se contara con equipos de medición con mayor precisión, se lograría obtener mejores resultados en las mediciones, la geometría de la pieza, el espesor, la superficialidad.
- Es necesario usar maquinas especializadas para la metrología de micro engranajes, ya que los métodos usados no posibilitan generar un informe completo sobre la calidad de la pieza.
- La manufactura de los micro engranajes de dientes rectos con micro herramienta se puede presentar algunas desviaciones geométricas y dimensionales.

7 CONCLUSIONES

- Las variables para un control de calidad de productos micro manufacturados principalmente son las Bidimensionales, tridimensionales, rugosidad, estructuras cristalinas.
- Las tecnologías de caracterización aplicables a procesos de control de calidad en el medio académico e industrial. En Bogotá y en general Colombia no se encuentra a la vanguardia en comparación con países altamente industrializados.
- Se planifico y se ejecutó el montaje experimental con herramientas estándar para el maquinado del micro engranaje de dientes rectos, con recursos de la Universidad Santo Tomas.
- Es necesario utilizar maquinas especializadas para la metrología de micro engranajes, ya que la Universidad Santo Tomas no cuenta con tecnología que posibilitan generar un informe completo sobre la calidad del mismo.
- La manufactura del micro engranaje en la universidad Santo Tomás, en el torno suizo, se puede llegar a una calidad de ISO grado 6, siendo esto engranajes funcionales, de baja precisión. Ya que no se tiene la tecnología deseada para generar el control de calidad correspondiente.

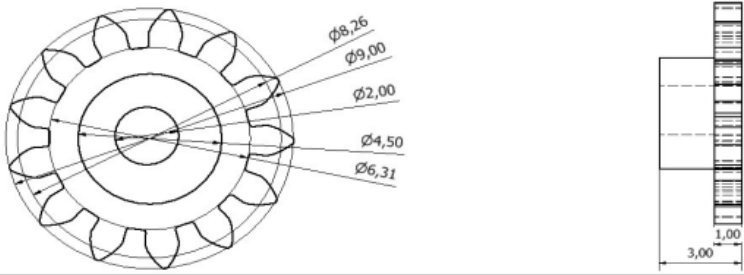
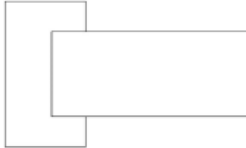
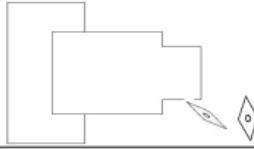
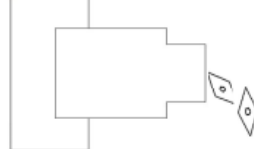
REFERENCIAS

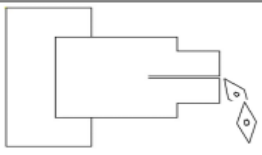
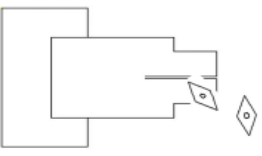
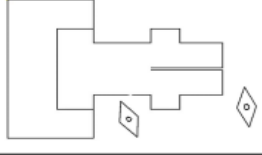
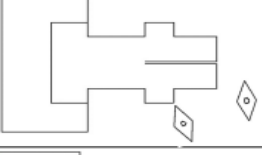
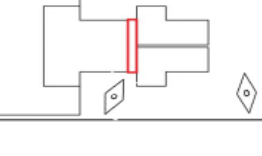
- [1] A. R. Razali and Y. Qin, "A review on micro-manufacturing, micro-forming and their key issues," *Procedia Eng*, vol. 53, pp. 665–672, 2013, doi: 10.1016/j.proeng.2013.02.086.
- [2] T. De Maestría *et al.*, "UNIVERSIDAD DEL NORTE DEPARTAMENTO DE INGENIERÍA MECÁNICA MICRO-HERRAMIENTAS PARA MICRO-MECANIZADO DE MATERIALES BIOCOMPATIBLES".
- [3] H. N. Hansen, Y. ; Zhang, and A. Islam, "Tolerances in micro manufacturing," 2023.
- [4] "DANE - Inicio." Accessed: Sep. 14, 2023. [Online]. Available: <https://www.dane.gov.co/>
- [5] "Microfabricación: una tendencia de futuro | izaro.com." Accessed: Sep. 05, 2023. [Online]. Available: <https://www.izaro.com/microfabricacion-una-tendencia-de-futuro/c-1297432449/>
- [6] "¿Qué es la microfabricación?" Accessed: Sep. 05, 2023. [Online]. Available: <https://quesignificado.org/que-es-la-microfabricacion/>
- [7] "What does micromanufacturing mean?" Accessed: Aug. 26, 2023. [Online]. Available: <https://www.definitions.net/definition/micromanufacturing>
- [8] "¿Qué son las normas ISO? | GlobalSuite Solutions." Accessed: Jun. 07, 2023. [Online]. Available: <https://www.globalsuitesolutions.com/es/que-son-normas-iso/>
- [9] "DS/EN ISO 286-1:2013 - Webshop Dansk Standard." Accessed: Jun. 07, 2023. [Online]. Available: <https://webshop.ds.dk/standard/M269337/ds-en-iso-286-1-2013>
- [10] "Micro Manufacturing Methods and Applications - BMF : BMF Boston Micro Fabrication." Accessed: Aug. 26, 2023. [Online]. Available: <https://bmf3d.com/blog/micro-manufacturing-methods-and-applications/>
- [11] M. Merola, A. Ruggiero, J. S. De Mattia, and S. Affatato, "On the tribological behavior of retrieved hip femoral heads affected by metallic debris. A comparative investigation by stylus and optical profilometer for a new roughness measurement protocol," *Measurement (Lond)*, vol. 90, pp. 365–371, Aug. 2016, doi: 10.1016/j.measurement.2016.05.003.
- [12] H. N. Hansen, K. Carneiro, H. Haitjema, and L. De Chiffre, "Dimensional Micro and Nano Metrology," *CIRP Annals*, vol. 55, no. 2, pp. 721–743, Jan. 2006, doi: 10.1016/J.CIRP.2006.10.005.
- [13] "Stylus profilometer - About Tribology." Accessed: Sep. 14, 2023. [Online]. Available: <https://www.tribonet.org/wiki/stylus-profilometera-stylus-profilometer-is-a-contact-based-profilometer-that-brings-its-stylus-tip-into-direct-contact-with-the-measuring-surface-and-traces-the-desired-path-to-determine-the-topograp/>

- [14] S. P. Kari, L. Advisors, D. S. Jaakko, and S. D. S. J. Kiihamäki, "COPPER THERMOCOMPRESSSION FOR MEMS ENCAPSULATION", Accessed: Jun. 12, 2023. [Online]. Available: www.aalto.fi
- [15] A. Bakhtazad and S. Chowdhury, "An evaluation of optical profilometry techniques for CMUT characterization," *Microsystem Technologies*, vol. 25, no. 9, pp. 3627–3642, Sep. 2019, doi: 10.1007/S00542-019-04377-4.
- [16] "Optical Profilometer - About Tribology." Accessed: Sep. 14, 2023. [Online]. Available: <https://www.tribonet.org/wiki/optical-profilometer/>
- [17] K. E. Ramohlola, E. I. Iwuoha, M. J. Hato, and K. D. Modibane, "Instrumental Techniques for Characterization of Molybdenum Disulphide Nanostructures," 2020, doi: 10.1155/2020/8896698.
- [18] A. D. Elliott, "Confocal Microscopy: Principles and Modern Practices," *Curr Protoc Cytom*, vol. 92, no. 1, p. e68, Mar. 2020, doi: 10.1002/CPCY.68.
- [19] A. D. Elliott, "Confocal Microscopy: Principles and Modern Practices," *Curr Protoc Cytom*, vol. 92, no. 1, p. e68, Mar. 2020, doi: 10.1002/CPCY.68.
- [20] D. Brabazon, "Nanocharacterization Techniques for Dental Implant Development," *Emerging Nanotechnologies in Dentistry: Processes, Materials and Applications*, pp. 307–331, Nov. 2011, doi: 10.1016/B978-1-4557-7862-1.00018-3.
- [21] A. Labeyrie, "Stellar Interferometry Methods," *Annu Rev Astron Astrophys*, vol. 16, no. 1, pp. 77–102, Sep. 1978, doi: 10.1146/ANNUREV.AA.16.090178.000453.
- [22] "What is an Interferometer? | LIGO Lab | Caltech." Accessed: Sep. 14, 2023. [Online]. Available: <https://www.ligo.caltech.edu/page/what-is-interferometer>
- [23] "Scanning Probe Microscopy: The Lab on a Tip - Ernst Meyer, Hans J. Hug, Roland Bennewitz - Google Libros." Accessed: Jun. 12, 2023. [Online]. Available: https://books.google.com.co/books/about/Scanning_Probe_Microscopy.html?id=Jqf6oAEACAAJ&redir_esc=y
- [24] J. Gomez-Herrero, "Scanning Probe Microscopy".
- [25] "What is an SPM? | Bruker." Accessed: Sep. 14, 2023. [Online]. Available: <https://www.bruker.com/en/products-and-solutions/microscopes/materials-afm/what-is-an-spm.html>
- [26] Y. Li, "ELECTROSPINNING OPTIMIZATION FOR FABRICATION OF FLEXIBLE TRANSPARENT ELECTRODES," 2019.
- [27] "[PDF] Dimensional Metrology in Micro Manufacturing - Free Download PDF." Accessed: Jun. 12, 2023. [Online]. Available: <https://silo.tips/download/dimensional-metrology-in-micro-manufacturing>
- [28] "SEM_schematic.JPG.jpg (687×810)." Accessed: Sep. 14, 2023. [Online]. Available: https://d32ogoqmya1dw8.cloudfront.net/images/research_education/geochemsheets/techniques/SEM_schematic.JPG.jpg

- [29] R. Ohmann, "Atomic Force Microscopy," 2022, Accessed: Jun. 12, 2023. [Online]. Available: www.nanosurf.com
- [30] "Atomic Force Microscopy - Nanoscience Instruments." Accessed: Sep. 14, 2023. [Online]. Available: <https://www.nanoscience.com/techniques/atomic-force-microscopy/>
- [31] N. Senin, S. Catalucci, M. Moretti, and R. K. Leach, "Statistical point cloud model to investigate measurement uncertainty in coordinate metrology," *Precis Eng*, vol. 70, pp. 44–62, Jul. 2021, doi: 10.1016/j.precisioneng.2021.01.008.
- [32] "What is Coordinate Metrology? | Eley Metrology," <https://eyleymet.com/>, Accessed: Sep. 14, 2023. [Online]. Available: <https://eyleymet.com/2020/09/14/what-is-coordinate-metrology/>
- [33] S. Antinozzi and F. Fiorillo, "OPTIMIZED CONFIGURATIONS FOR MICRO-PHOTOGRAMMETRIC SURVEYING ADAPTABLE TO MACRO OPTICS AND DIGITAL MICROSCOPE", doi: 10.5194/isprs-archives-XLVI-2-W1-2022-25-2022.
- [34] "El microscopio digital - Mundo Microscopio." Accessed: Aug. 13, 2023. [Online]. Available: <https://www.mundomicroscopio.com/microscopio-digital/>
- [35] "Uso del microscopio digital en la ciencia - Microscopio USB Digital." Accessed: Sep. 14, 2023. [Online]. Available: <https://usbmicroscopiodigital.com.mx/blog/consejos/uso-del-microscopio-digital-en-la-ciencia/>

ANEXO A Hoja de proceso manufactura microengraje

		UNIVERSIDAD SANTO TOMÁS DIVISIÓN DE INGENIERÍAS FACULTAD DE INGENIERÍA MECÁNICA PROYECTO DE GRADO						
Procesos de Manufactura		Hoja de Proceso				Fecha: 30/11/2023		
						Maquina: Torno suizo polygim 20 CSB		
						N° de pieza: 1		
Escala 1:1	Material Laton	DIMENSION MICROENGRANAJE				Microengranaje		
								
SUB FASE	OPER.	DESIGNACION	CROQUIS	UTIL	VC (mm/min)	F(mm/rev)	Ap(mm)	T(s)
1	1,1	Manteria prima		Copa	-	-	-	-
	1,2	Refrentado		Bu	2000	0,1	0,2	6,14
2	2,0	Desbaste		Bu	2000	0,05	0,6	29,8
3	3,0	Acabado		Bu	4000	0,03	0,05	11,62
4	4,0	Broca de centro		Bu	2000	0,03	0,05	45,15

5	5,0	Taladrado		Bu	2000	0,03	0,05	90,8
6	6,0	Rimado		Bu	2000	0,03	0,05	90,8
7	7,0	Ranurado		Bu	2000	0,05	0,05	17,98
8	8,0	Fresado		Bu	1500	0,05	0,5	1830
9	9,0	Tronzado		Bu	2000	0,05	0,3	21,4

Fuente: [Autor]
ANEXO B Código CNC

N10(REFRENTADO)

G54G40G99G50S1=2000

G43.1

G28U0

G28V0

T0303

G0Y0

G96M3S1=60

G0Z0

G0X20

G1X-1F0.1

G1Z-1

G0X20

N20(DESBASTE)

G54G40G99G50S1=2000

G43.1

G28U0

G28V0

T0303

G0Y0

G96M3S1=40

G0X20Z-1

G71U0.6R0.5F0.05

G71P21Q22U0.3W0.1

N21G1X4.5

G1Z3

G1X9

G1Z6

N22G1X20

N30(ACABADO)

G21G99G50S1=4000

G43.1

G28U0

G28V0

T0404
G0Y0
G96M3S1=50
G0X7Z-1
G41
G70P21Q22F0.03
G40

N40(BROCADECENTRO)
G54G40G99G50S1=2000
G43.1
G28U0
G28V0
T1313
G0Y0
X0
G97M3S1=2500
G0Z-1
G1Z3F0.03
G1Z-20

N50(TALADRADO)
G54G40G99G50S1=2000
G43.1
G28U0
G28V0
T1414
G0Y0
G97M3S1=3000
G0Z-1
G0X0
G1Z5F0.03
G1Z-20
G0X21

N60(RIMADO)
G54G40G99G50S1=2000
G43.1
G28U0
G28V0
T1616
G0Y0

G97M3S1=600
G0Z-1
G0X0
G1Z4F0.03
G1Z-20
G0X21

N70(RANURADO)
G54G99G50S1=2000
G43.1
G28U0
G28V0
T0101
G96M3S1=60
G0Y0
G0X10
Z6
G75R0.5F0.05
G75X5P0.5

N80(FRESADODEDIENTE
S)
G54G19G98G50S3=2000
G43.1
M92
G28U0
G28V0
M5
M90
T0808
G0Y0
G97M103S3=1500
#100=13
#101=0
#102=27.6923
N10#101=#101+1

(DESBASTE)

G0C-96.069
G0Z1X22.500
G0X8.600

G1Z4C-96.069F50
 G0X13.000
 G0C-96.069
 G0Z1
 G0X8.200
 G1Z4C-96.069F50
 G0X13.000
 G0C-96.069
 G0Z1
 G0X7.800
 G1Z4C-96.069F50
 G0X13.000
 G0Z1
 G0X7.4
 G1Z4C-96.069
 G0X13.000
 G0Z1
 G0X7
 G1Z4C-96.069
 G0X13.000
 G0Z1
 G0X6.6
 G1Z4C-96.069
 G0X13.000
 G0Z1
 G0X6.3
 G1Z4C-96.069
 G0X13.000
 G0Z1
 G0X49

(ACABADOFLANCOIZQUIE
 RDO)

G0C-90.000
 G0Y0.250Z4
 G0X6.31
 G1Z1C-90.000F50
 G0X9

(ACABADOFLANCODERE
 CHO)

G0C-102.1382
 G0Y-0.250Z1
 G0X6.31
 G1Z4C-102.138F50
 G0X9

(ACABADO INVOLUTA
 IZQUIERDA)

G0 C-84.897
 G0 Y0.576 Z1
 G0 X6.83
 G1 Z4 C-84.897 F50
 G0 X13
 G0 C-79.793
 G0 Y0.903 Z1
 G0 X6.83
 G1 Z4 C-79.793 F50
 G0 X13
 G0 C-74.690
 G0 Y1.229 Z1
 G0 X6.83
 G1 Z4 C-74.690 F50
 G0 X13
 G0 C-69.587
 G0 Y1.556 Z1
 G0 X6.83
 G1 Z4 C-69.587 F50
 G0 X13
 G0 C-64.484
 G0 Y1.882 Z1
 G0 X6.83
 G1 Z4 C-64.484 F50
 G0 X13
 G0 C-59.380
 G0 Y2.209 Z1
 G0 X6.83
 G1 Z4 C-59.380 F50
 G0 X13
 G0 C-54.277

G0 Y2.535 Z1
 G0 X6.83
 G1 Z4 C-54.277 F50
 G0 X13
 G0 C-49.174
 G0 Y2.861 Z1
 G0 X6.83
 G1 Z4 C-49.174 F50
 G0 X13

(ACABADO INVOLUTA
 DERECHA)

G0 C-106.221
 G0 Y-0.511 Z4
 G0 X6.83
 G1 Z1 C-106.221 F50
 G0 X13
 G0 C-110.303
 G0 Y-0.772 Z4
 G0 X6.83
 G1 Z1 C-110.303 F50
 G0 X13
 G0 C-114.386
 G0 Y-1.033 Z4
 G0 X6.83
 G1 Z1 C-114.386 F50
 G0 X13
 G0 C-118.469
 G0 Y-1.295 Z4
 G0 X6.83
 G1 Z1 C-118.469 F50
 G0 X13
 G0 C-122.551
 G0 Y-1.556 Z4
 G0 X6.83
 G1 Z1 C-122.551 F50
 G0 X13
 G0 C-126.634
 G0 Y-1.817 Z4
 G0 X6.83
 G1 Z1 C-126.634 F50

G0 X13
 G0 C-130.717
 G0 Y-2.078 Z4
 G0 X6.83
 G1 Z1 C-130.717 F50
 G0 X13
 G0 C-134.799
 G0 Y-2.339 Z4
 G0 X6.83
 G1 Z1 C-134.799 F50
 G0 X13
 G0 C-138.882
 G0 Y-2.600 Z4
 G0 X6.83
 G1 Z1 C-138.882 F50
 G0 X13
 G0 C-142.965
 G0 Y-2.861 Z4
 G0 X6.83
 G1 Z1 C-142.965 F50
 G0 X13

N90(TRONZADO)
 G54G40G99G50S1=2000
 G43.1
 G28U0
 G28V0
 T0101
 G96M3S1=60
 G0Y0
 X20
 Z29
 G75R0.5F0.05
 G75X14P0.5
 Z8
 X18.1
 G1Z9X16
 X20
 G75R0.5F0.05
 G75X-P0.5
 X50
 M5

M30
%

	PROCEDIMIENTO: Medición con software Inventor PROCESO: Control de calidad	Versión: 1
		Fecha: 17/01/2024
		Código: 2219289

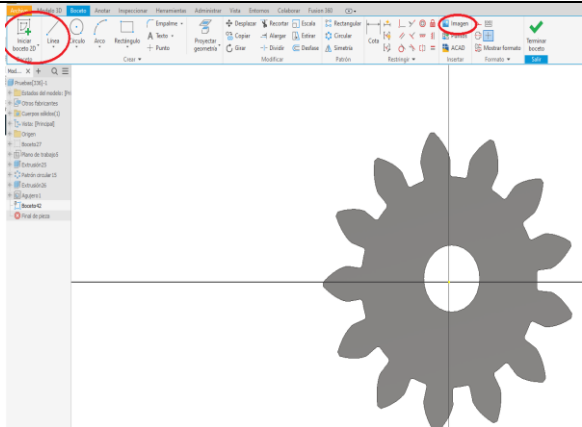
ANEXO C: Procedimiento control de calidad

1. OBJETIVO: Dar a conocer el paso a paso de control de calidad implementado el Software Inventor

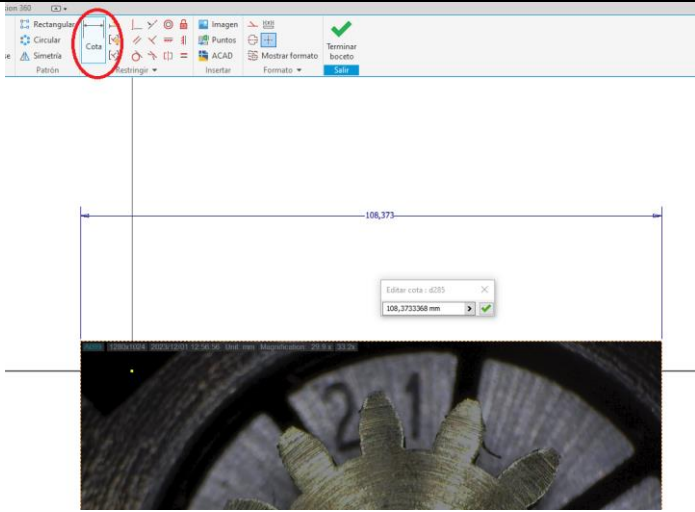
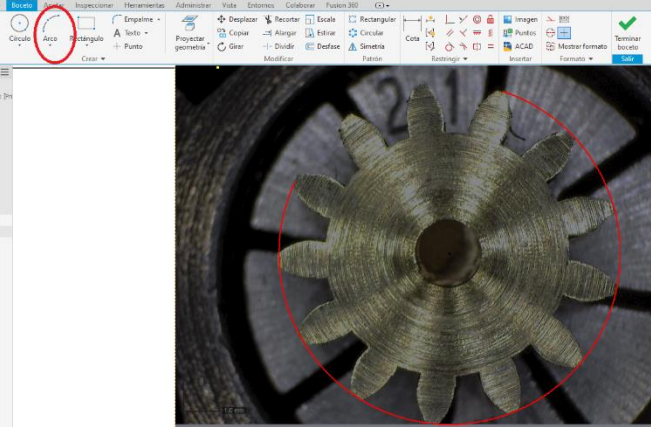
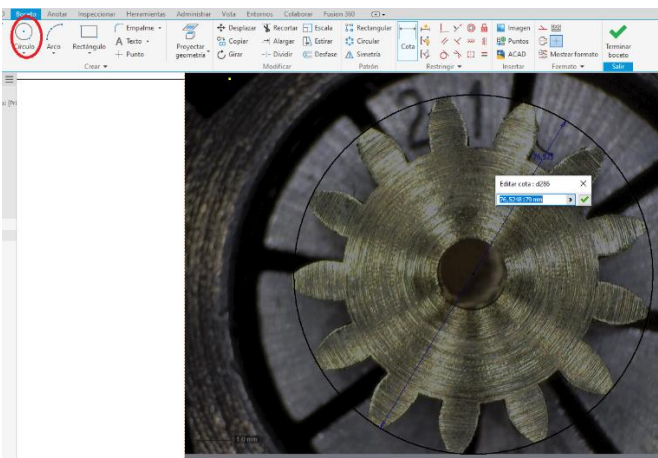
2. ALCANCE: Para los estudiantes de ingenierías, que puedan realizar mediciones con Inventor.

3. DEFINICIONES: Control de calidad, Micro producto

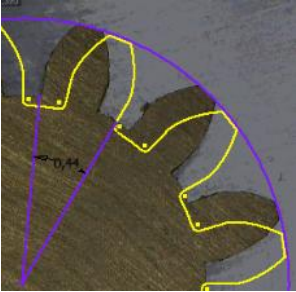
5. CONTENIDO:

N .	DESCRIPCIÓN	EVIDENCIA	OBSERVACIONES
1 .	Tener la imagen		Seleccionar la imagen más nítida
2 .	Insertar la imagen en Inventor de la pieza diseñada		Primero se inicia el boceto en 2D y después se procede a insertar la imagen

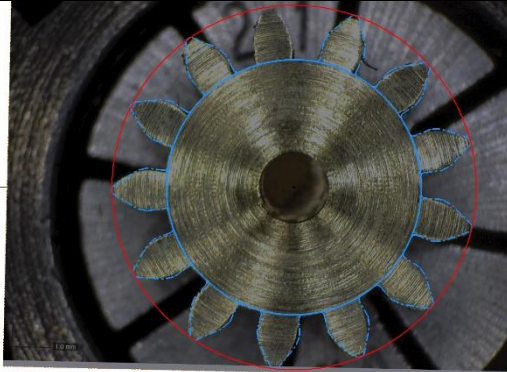
	PROCEDIMIENTO: Medición con software Inventor		Versión: 1
	PROCESO: Control de calidad		Fecha:17/01/2024
			Código: 2219289

3	Se inserta la imagen y se acota		Con el comando cota se toma la medida
4	Generación del arco		Con el comando arco se seleccionan tres puntos de los dientes más detallados.
5	Generación del círculo		Ya conociendo el centro con el comando arco, procedemos a poner un círculo en el mismo centro del arco, después

	PROCEDIMIENTO: Medición con software Inventor PROCESO: Control de calidad	Versión: 1
		Fecha: 17/01/2024
		Código: 2219289

			se toma la medida.
6	Obtención de la escala		Teniendo la medida del círculo de la imagen, se divide con el diámetro interior del CAD, después se pone el resultado en la cota general de la imagen.
7	Rotación		Con el comando girar, se selecciona el centro y se gira a la medida que esta desfasada.

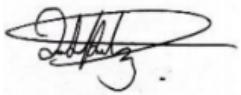
	PROCEDIMIENTO: Medición con software Inventor PROCESO: Control de calidad	Versión: 1
		Fecha: 17/01/2024
		Código: 2219289

8	Resultado		Después se procede a realizar todas las mediciones posibles
---	-----------	--	---

7. CONTROL DE CAMBIOS:

FECHA	VERSIÓN DEL DOCUMENTO QUE MODIFICA	VERSIÓN ACTUAL DEL DOCUMENTO	MOTIVO DE LA MODIFICACIÓN

8. ELABORÓ, REVISÓ Y APROBÓ:

Elaboró: Diego Pachon	Revisó:	Aprobó:
Cargo: Estudiante de ingeniería mecánica	Cargo:	Cargo:
	Firma:	Firma:
Firma:	Fecha:	Fecha:
Fecha: 17/01/2023		

	PROCEDIMIENTO: Medición con software Inventor PROCESO: Control de calidad	Versión: 1
		Fecha: 17/01/2024
		Código: 2219289