

Diseño Mecánico de Engranajes de Dientes Rectos: Método del Arco Envolvente y Modelado 3D

Carlos Pazmiño Cujilí
Danny Vázquez Rodríguez
Francisco Daquilema Sánchez
Manuel Íñiguez Chávez
Wilme Barco Cedeño
Jonny Galarza Campuzano





© Carlos Pazmiño Cujíli
Danny Vázquez Rodríguez
Francisco Daquilema Sánchez
Manuel Íñiguez Chávez
Wilme Barco Cedeño
Jonny Galarza Campuzano

© Editorial Grupo Compás, 2025
Guayaquil, Ecuador
www.grupocompas.com
<http://repositorio.grupocompas.com>

Primera edición, 2025

ISBN: 978-9942-53-128-5

Distribución online

🔓 Acceso abierto

Cita

Pazmiño, C., Vázquez, D., Daquilema, F., Íñiguez, M., Barco, W., Galarza, J. (2025) Diseño Mecánico de Engranajes de Dientes Rectos: Método del Arco Envolvente y Modelado 3D. Editorial Grupo Compás

Este libro ha sido debidamente examinado y valorado en la modalidad doble par ciego con fin de garantizar la calidad de la publicación. El copyright estimula la creatividad, defiende la diversidad en el ámbito de las ideas y el conocimiento, promueve la libre expresión y favorece una cultura viva. Quedan rigurosamente prohibidas, bajo las sanciones en las leyes, la producción o almacenamiento total o parcial de la presente publicación, incluyendo el diseño de la portada, así como la transmisión de la misma por cualquiera de sus medios, tanto si es electrónico, como químico, mecánico, óptico, de grabación o bien de fotocopia, sin la autorización de los titulares del copyright.

Este libro, sin lugar a dudas, está dedicado a mis mejores alumnos y, especialmente, a quienes incluso antes de haber nacido ya eran mi motor e inspiración: mis hijos. Mi propósito de ser formador nace de ese don irrefutable que hoy queda plasmado en este primer testimonio para ellos. En segundo lugar, lo dedico también a cada uno de los lectores, pues mi vocación se resume en una sola frase: “Aun en silencio te seguiré enseñando.”

Prologo

El presente libro nace como una necesidad académica y práctica dentro del campo del diseño mecánico y la formación técnica. Surge a partir de tres guías desarrolladas con el objetivo de facilitar el aprendizaje del diseño de engranajes de dientes rectos, aplicando tanto fundamentos teóricos como procedimientos gráficos y de modelado en 3D.

La obra se estructura en tres etapas consecutivas:

- Diseño técnico del perfil de un diente recto mediante el método del arco envolvente.
- Diseño de un sólido 3D como base para el entallado de un piñón.
- Diseño completo de un engranaje de dientes rectos a partir del perfil y del sólido previamente elaborados.

Cada sección integra no solo instrucciones detalladas, sino también fundamentos teóricos, materiales y herramientas, normas de seguridad y actividades experimentales. De esta manera, el lector encontrará una ruta progresiva que va desde la concepción bidimensional hasta la obtención de un modelo tridimensional completo, aplicable tanto en el ámbito académico como en la práctica profesional.

Este libro no pretende ser únicamente un manual técnico, sino también una invitación a comprender los engranajes como elementos vitales de la ingeniería mecánica. La claridad metodológica, el rigor técnico y la orientación didáctica buscan apoyar a estudiantes, docentes y profesionales interesados en fortalecer sus competencias en diseño CAD aplicado a la mecánica.

Finalmente, este trabajo constituye mi primer aporte editorial como formador. Está inspirado en mis alumnos, quienes han sido siempre mi motor, y en mis hijos, quienes me han recordado cada día que enseñar es también una forma de trascender.

Contenido

Prologo	iii
Contenido.....	1
Guía práctica para el diseño mecánico del perfil de dientes rectos en un piñón, mediante el método del arco envolvente - Guía N°-1	3
Guía práctica para el diseño mecánico de un sólido 3D que servirá como base para el entallado de un piñón de dientes rectos - Guía N°-2.....	13
Guía práctica para el diseño mecánico de un engranaje de dientes rectos a partir del perfil y sólido 3D elaborados con la técnica del arco envolvente - Guía N°- 3	25
Conclusión general del libro.....	44
Anexos.....	48
Anexo 1	48
<i>Hoja de cálculo de Excel - parámetros técnicos</i>	48
Anexo 2.....	48
<i>Ejercicio 1-Corona dentada</i>	48
Anexo 3.....	49
<i>Ejercicio 2 - Piñón con leva</i>	49
Anexo 4.....	50
<i>Rúbrica de calificación de la práctica - Guía N°1</i>	50
Anexo 5.....	51
<i>Rúbrica de Evaluación - Guía Práctica N°2 y Tarea Experimental (3D).....</i>	51
Anexo 6.....	52



Guía práctica para el diseño mecánico del perfil de dientes rectos en un piñón, mediante el método del arco envolvente - Guía N°-1

Unidades 1-4

Duración de la práctica: 4 horas

Número de horas autónomas: 8

horas

1. Objetivo general.

Diseñar el tallado de un engranaje de dientes rectos mediante el método del arco envolvente, aplicando principios de geometría, normativas técnicas y uso de software de diseño asistido por computadora (CAD).

2. Objetivos específicos.

- 2.1. Establecer los principios geométricos en la construcción de un diente recto aplicando la técnica del arco envolvente.
- 2.2. Crear la sección del arco envolvente aplicando el punto de control geométrico, construyendo el perfil completo de un diente utilizando comandos CAD específicos.
- 2.3. Construir el tallado completo del piñón a partir del diente diseñado, verificando la precisión geométrica y técnica del engranaje resultante.

3. Fundamento teórico.

Los engranajes de dientes rectos son elementos mecánicos fundamentales para la transmisión de movimiento y potencia entre ejes paralelos. Su diseño se basa en normas internacionales (International Organization for Standardization (ISO). (2007). ISO 21771, 2007), las cuales establecen parámetros como el diámetro primitivo, diámetro exterior, diámetro interior y ángulo de presión estándar (generalmente 20°).

El método del arco envolvente constituye una alternativa gráfica al método de la involuta, en el cual el perfil del diente se genera a partir de un arco definido *geométricamente* desde un punto de control ("X"). Este método permite obtener un perfil aproximado de la involuta que puede aplicarse en procesos de enseñanza, prototipado y diseño preliminar (ACC-GROUP-CONSORTIUM, 2023)

Principales conceptos técnicos:

- **Diámetro primitivo (dp):** circunferencia donde se establece la relación de transmisión. Es representado con una línea de "simetría" - trazo largo punto - trazo largo (— — —)
- **Ángulo de presión (α):** ángulo entre la línea de acción y la tangente al círculo primitivo (20° estándar).
- **Matriz polar:** herramienta de réplica para conformar el engranaje completo a partir de un único diente.

4. Materiales, equipos, herramientas y maquinarias.

- 4.1. Hoja de cálculo de Excel. [Ver Anexo 1](#)
- 4.2. Computador con software AutoCAD (o equivalente CAD).

•Características De Computadora Requisitos Mínimos:

- Procesador (CPU): Intel Core i5 (8^a gen o superior) / AMD Ryzen 5 (serie 3000 o superior).
- Memoria RAM: 8 GB.
- Tarjeta gráfica (GPU): Integrada (Intel UHD 620 o AMD Radeon Vega 8) o dedicada básica (NVIDIA MX250, GTX 1050).

- Almacenamiento: SSD de 256 GB
- Pantalla: 14" o mayor, resolución mínima 1920x1080.
- Sistema operativo: Windows 10/11 (64 bits).

Características de equipo ideal:

- Procesador (CPU): Intel Core i7 (10^a gen o superior) / AMD Ryzen 7 (serie 4000 o superior).
- Memoria RAM: 16 GB (expandible a 32 GB si es posible).
- Tarjeta gráfica (GPU): Dedicada de gama media-alta (NVIDIA RTX 3050/3060 o AMD Radeon RX 6600M).
- Almacenamiento: SSD de 512 GB o más (mejor si tiene una ranura extra para expansión).
- Pantalla: 15.6" FHD (1920x1080) IPS o superior (puede ser 4K si trabajas en detalle).
- Sistema operativo: Windows 10/11 Pro (64 bits).
- NOTA: Software Windows - NO MAC

- 4.2. Software AutoCAD - ([tutorial de instalación](#)) ([Instalar](#)).
- 4.3. Archivo DWG del perfil del diente recto (Guía N.^o1).
- 4.4. Archivo DWG del sólido 3D tipo torta (Guía N.^o2).
- 4.5. Manual de normas ISO/AGMA de engranajes.
- 4.6. Calculadora científica.
- 4.7. Elementos de dibujo técnico (escuadra, compás, transportador) en caso de práctica manual.

5. Normas de Seguridad.

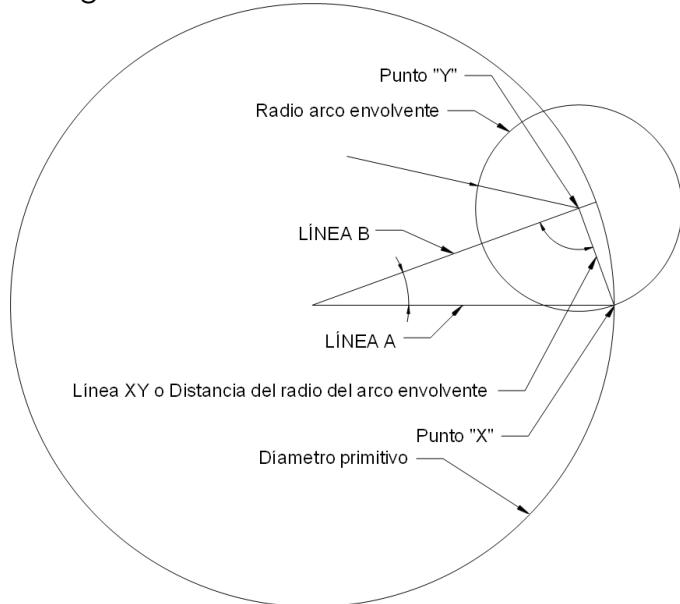
- 5.1.** Utilizar siempre software CAD con licencia vigente, registrado como estudiante haciendo uso de su correo institucional. (clic)
- 5.2.** Mantener una postura ergonómica frente al computador para evitar fatiga muscular.
- 5.3.** Realizar pausas activas cada 45 minutos para prevenir cansancio visual y mental.
- 5.4.** Ajustar correctamente la iluminación de la estación de trabajo, evitando reflejos en la pantalla.
- 5.5.** Guardar el archivo con frecuencia para evitar pérdida de información en caso de fallos eléctricos o del sistema.
- 5.6.** En el taller mecánico, utilizar siempre los equipos de protección personal (EPP) correspondientes: guantes, gafas, protectores auditivos y ropa de trabajo.
- 5.7.** Cumplir con las normas de seguridad industrial establecidas por la institución.

6. Instrucciones para el desarrollo de la práctica.

Haciendo uso de la hoja de cálculo de Excel digite el “módulo y número de dientes”; objeta los datos completos para la práctica. Ver anexo 1.

Figura 1

Paso 1: Diseño de la geometría base del diente recto.



Nota, La figura 1 es la representación gráfica de la construcción del diámetro primitivo, radios de referencia y punto "X", que constituye el origen geométrico del método del arco envolvente. Autoría propia.

6.1. Paso 1: Establecer la geometría base del diente recto.

Diseñar en sentido derecha - izquierda - contrario a las manecillas del reloj



- Crear el diámetro primitivo.
- Trazar un radio - línea horizontal sobre el eje X (Línea A) - hacia la derecha. Use comando ortogonal - (Fn + F8). Ver figura 1.
- Identificar el punto "X" en la intersección entre diámetro primitivo y Línea A. Verifique la exactitud de intersección de ambos elementos.
- Desde el centro del Dp, trazar la "Línea B" con un ángulo de 20°.
- Desde "X", crear línea perpendicular a Línea B → encontrando el punto "Y".
- Punto "Y" = es el centro del "radio de arco envolvente".
- **Nota:** todos los elementos deben coincidir con "X".

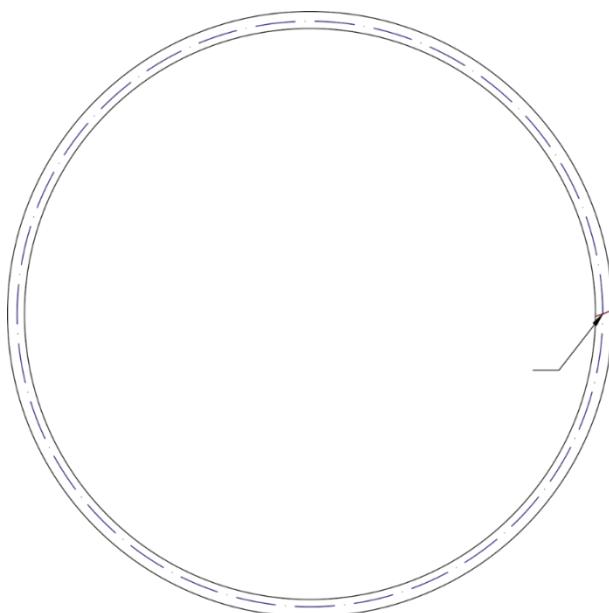
6.2. Paso 2: Diagramar la sección del arco envolvente. Ver figura 2.

- Eliminar líneas auxiliares → mantener círculo primitivo y arco envolvente.
- Trazar diámetro exterior.
- Diseñar diámetro interior.
- Cortar exceso del arco envolvente - entre los diámetros exterior e interior.
- Conservar solo la sección del arco envolvente. Ver figura 2.

Nota: conservar "X" como referencia crítica con extrema precisión.

Figura 2

Paso 2: Diseño de la sección del arco envolvente.



Nota, Elaboración del arco envolvente limitado por los diámetros exterior e interior, manteniendo el punto "X" como referencia crítica para el perfil del diente. Autoría propia

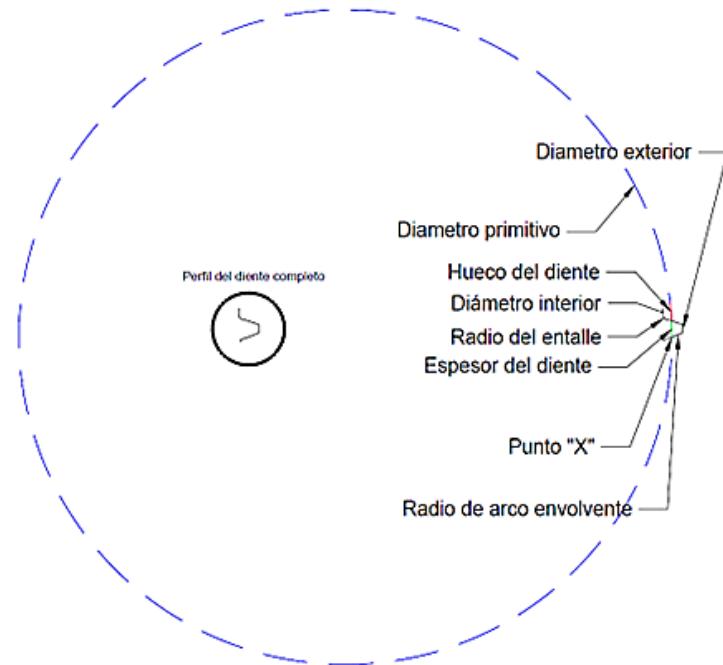
6.3. **Paso 3:** Diseñar el perfil completo de un diente (6 elementos).

- En el inferior del arco envolvente trazar el radio del entalle - usar comando Tan, Tan, Radio y cortar excesos de líneas - usar comando "RR"(RECORTA)

- Unir radio de entalle con arco envolvente (polilínea).
- “ARCO” - Definir espesor del diente con comando ARCO (Inicio-Centro-Longitud) desde “X”; aplicar zoom para extrema precisión en “X”
- Copiar simétricamente polilínea creada (Arco envolvente + radio del entalle) - usar comando SIMETRÍA respecto al centro del engranaje.
- Diseñar hueco del diente con mismo método usado para el espesor - “ARCO”. Con precaución comprobar que el hueco es de mayor dimensión que el espesor.
- Copiar nueva sección - usar comando “Simetría”.
- Unir los 6 elementos en una sola polilínea → diente completo.
- Contabilizar los 6 elementos que conforman un “Perfil del diente completo”

Figura 3

Paso 3: Construcción del perfil completo de un diente recto.



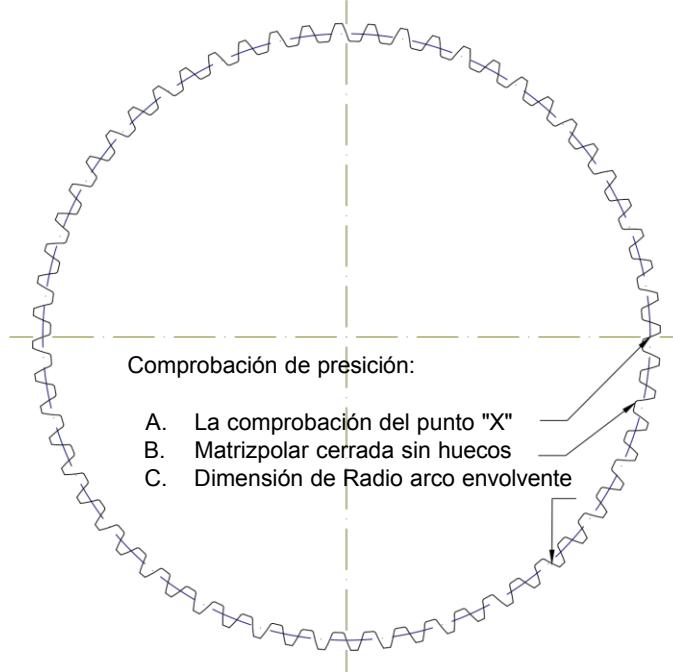
Nota, Perfil de diente generado a partir de la unión de seis elementos geométricos: arco envolvente, radio del entalle y simetrías correspondientes. Autoría propia

6.4. **Paso 4:** Replicar - perfil del diente completo de acuerdo al número de dientes.

- Aplicar comando MATRIZPOLAR.
- Seleccionar el diente completo - “polilínea de 6 elementos” - enter.
- Dar clic en el centro del engranaje = centro del diámetro primitivo Dp.
- Escribir el número de dientes en el cuadro de dialogo.
- Verificar que matriz no sea asociativa antes de salir. - dar Esc.
- Comprobar exactitud del cierre geométrico, sin huecos.
- Haga 2 copias como mínimo del perfil completo para su posterior utilización en la Guía N°3.

Figura 4

Paso 4: Conformación del engranaje completo mediante matriz polar.



Nota, Repetición del diente diseñado a través de una matriz polar, obteniendo el engranaje de dientes rectos completo según el número de dientes requerido. Autoría propia

7. Evaluación del Aprendizaje.

7.1. Identifica la normativa INEN de dibujo mecánico y la aplica de manera adecuada.

7.2. Genera modelos con herramientas paramétricas mediante el uso de Software

7.3. Precisión en la definición del punto "X"

7.4. Correcta construcción de la sección del arco envolvente.

7.5. Generación de la matriz polar y engranaje completo.

8. Conclusiones.

El método del arco envolvente permite comprender de manera gráfica la geometría de un engranaje de dientes rectos.

La precisión en el punto "X" es crítica para garantizar la exactitud geométrica.

La aplicación de comandos CAD facilita la generación rápida y repetitiva del perfil completo del engranaje.

9. Recomendaciones.

Haga uso de los tutoriales Playlists completo [clic](#) - (ACC-GROUP-CONSORTIUM, 2023).

Practicar varias veces las instrucciones de la guía 1 antes de utilizar guía 2.

Conservar copias de seguridad en distintas versiones del archivo.

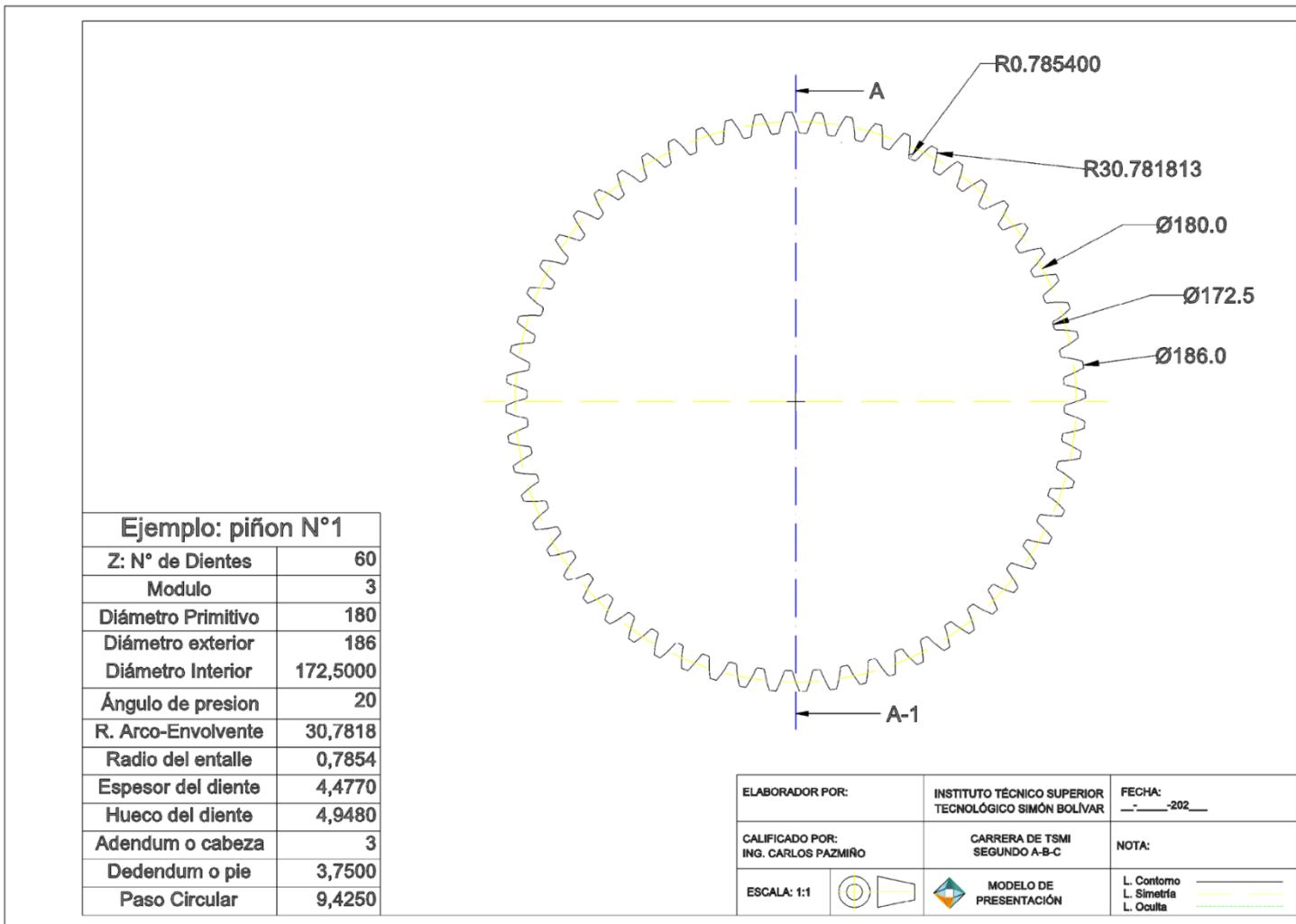
Revisar las normas ISO y AGMA antes de aplicar el método a engranajes de uso real (Instituto Ecuatoriano de Normalización, 1987).

Recordar dejar copias de todos los perfiles y diseños, se necesitará al finalizar la guía N°3, dado que se va acotar todos los datos del piñón tanto en la vista frontal como la vista lateral como en la SECCION A-A1.

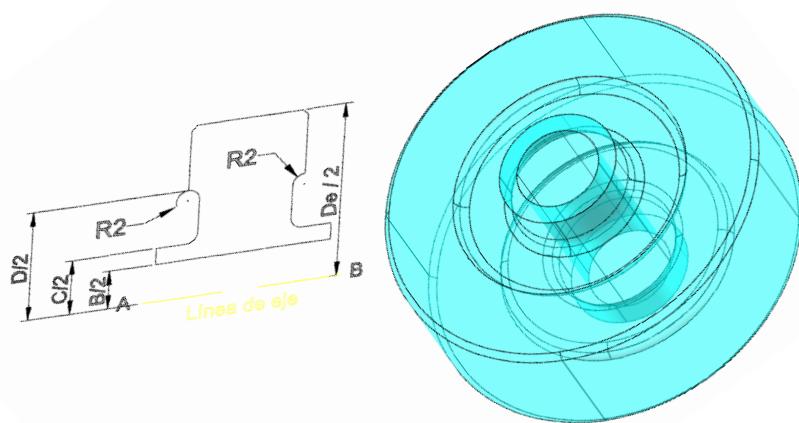
10. Tarea experimental y autónoma individual - GUIA N°1

Haciendo uso de la plantilla en Excel de "Cálculo de engranajes de dientes rectos", Diseñar un engranaje de 30 dientes con módulo $m = 2 \text{ mm}$, diámetro primitivo $d = 60 \text{ mm}$, y ángulo de presión estándar 20° , aplicando los pasos de la guía en AutoCAD. Exportar el archivo en formato .DWG y entregar junto con un reporte en PDF.

Figura 5



Ejemplo de trabajo terminado Guía N°1



Guía N° 2

Guía práctica para el diseño mecánico de un sólido 3D que servirá como base para el entallado de un piñón de dientes rectos - Guía N°-2

Unidades 1-4

Duración de la práctica: 4 horas

Número de horas autónomas: 8

1. Objetivo general.

Diseñar un sólido en 3D (forma de torta) que sirva como base para el posterior entallado del perfil de dientes rectos de un piñón 3D, desarrollando las habilidades técnicas en el modelado tridimensional de piezas mecánicas en AutoCAD.

2. Objetivos específicos.

- 2.1. Dibujar la vista lateral de un piñón de dientes rectos en 2D como base del sólido en 3D.
- 2.2. Construir por medio de los comandos Unir y Contorno una área cerrada y precisa en AutoCAD (Región), con el fin de generar posteriormente un sólido tridimensional mediante el comando Revolución.
- 2.3. Crear el sólido resultante a la posición adecuada para posteriores operaciones de troquelado y entallado, usando el eje de rotación A - B.

3. Fundamento Teórico.

El modelado 3D en ingeniería mecánica permite representar con precisión piezas y mecanismos antes de su fabricación. En el caso de los piñones, el primer paso en CAD es generar un sólido base o torta, a partir del cual se entallará el perfil de los dientes (ACC-GROUP-CONSORTIUM, 2023).

- 3.1. **Vista lateral:** representa la geometría inicial del engranaje en sección.

- 3.2. **Polilíneas y contornos:** aseguran superficies cerradas necesarias para operaciones 3D (Castell Cebolla, C., & Santoro Recio, J., 2019)
- 3.3. **Revolución:** genera un sólido rotando un perfil alrededor de un eje.
- 3.4. **Rotación 3D:** permite orientar la pieza en el espacio según los ejes coordenados (Autodesk Inc., 2025).

Estas herramientas se basan en la geometría descriptiva y la normativa técnica ISO y AGMA, garantizando exactitud en el diseño (International Organization for Standardization (ISO). (2007). ISO 21771, 2007).

4. Materiales, Equipos, Herramientas y Maquinarias.

- 4.1. Hoja de cálculo de Excel. Ver Anexo 1
- 4.2. Computador con AutoCAD 3D (o software CAD equivalente).
- 4.3. Plantilla Excel de cálculo de engranajes de dientes rectos.
- 4.4. Manual de Casillas de Elementos de Máquinas.[Descargar aquí](#)
- 4.5. Dispositivos de almacenamiento para respaldo de archivos.

5. Normas de Seguridad.

- 5.1.** Utilizar siempre software CAD con licencia vigente, registrado como estudiante haciendo uso de su correo institucional. [clic](#)
- 5.2.** Mantener una postura ergonómica frente al computador para evitar fatiga muscular.
- 5.3.** Realizar pausas activas cada 45 minutos para prevenir cansancio visual y mental.
- 5.4.** Ajustar correctamente la iluminación de la estación de trabajo, evitando reflejos en la pantalla.

5.5. Guardar el archivo con frecuencia para evitar pérdida de información en caso de fallos eléctricos o del sistema.

5.6. En el taller mecánico, utilizar siempre los equipos de protección personal (EPP) correspondientes: guantes, gafas, protectores auditivos y ropa de trabajo.

5.7. Cumplir con las normas de seguridad industrial establecidas por la institución.

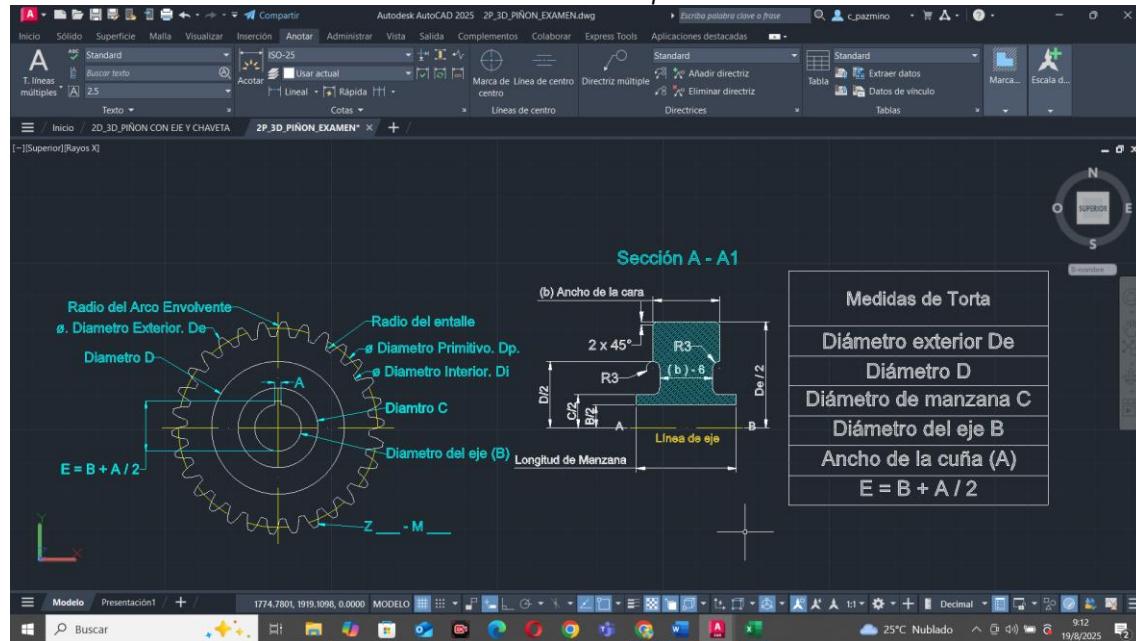
6. Instrucciones para el desarrollo de la práctica.

6.1. Paso 1: Diseño de la vista lateral - dimensiones requeridas para posterior entallado de piñón o engranaje. **Hacer clic en = (TABLA DE EXCEL).**

- Con los datos de diámetros calculados en Excel, trazar la silueta de la vista lateral del piñón.
- Considerar radios y espesores desde el centro del eje (Línea de eje A - B) hasta el diámetro exterior.
- Basarse en el [Manual de Casillas](#) para valores mecánicos de referencia (A. L. CASILLAS)
- Representar toda la geometría (Sección A - A1) a partir de la línea de centro. Línea A-B, ver figura 6 y 7

Figura 6

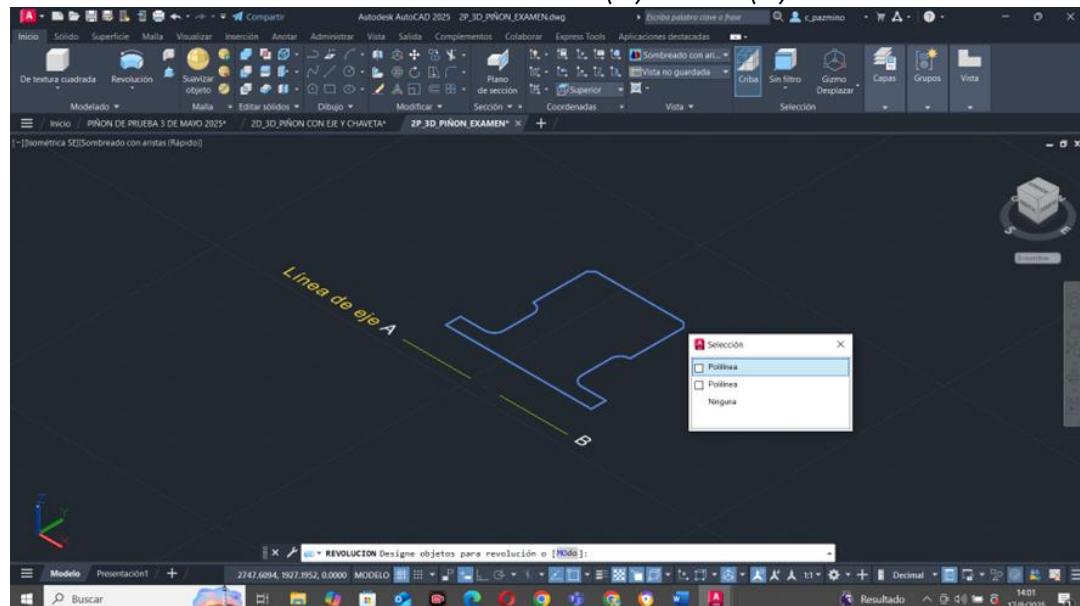
Paso 1: Diseño de la vista lateral - antes de aplicar Extrusión - revolución.



Nota, Representación gráfica de la construcción de torta en su primer paso. Autoría propia

Figura 7

Paso 2: Vista Isométrica SE- Uso comandos (1) Unir + (2) Contorno



Nota, Aplicación de comando Unir y Contorno, generando un sólido desde una polilínea, la línea A-B representa el eje o punto centro del eje. Autoría propia

- Cálculo de datos técnicos. Haciendo uso de las tablas 1 y 2 se puede obtener aritméticamente todos los datos necesarios; mientras que para mayor facilidad puede hacer uso del [Archivo de Excel](#) como una herramienta digital.

Tabla 1

Parámetros y fórmulas de cálculo para engranajes de dientes rectos

Parámetro	Descripción	Fórmula / Valor Típico
Módulo (m)	Es la relación entre el diámetro primitivo y el número de dientes.	$m = \frac{D}{z}$
Número de dientes (Z)	Cantidad de dientes del piñón.	Dado o definido según el diseño.
Diámetro primitivo (D_p)	Diámetro del círculo de paso donde se engranan los dientes.	$D_p = m \times z$
Diámetro exterior (D_e)	Diámetro máximo del piñón, en la punta de los dientes.	$D_e = D_p + 2 \times m$
Diámetro interior (D_i)	Diámetro de fondo de los dientes (círculo de raíz).	$D_i = D_p - 2,5 \times m$
Addendum (h_a)	Altura del diente sobre el círculo primitivo.	Modulo (m)
Dedendum (h_e)	Altura del diente bajo el círculo primitivo.	$h_e = 1,25 \times m$
Altura total del diente (h)	Suma de addendum y dedendum.	$h = 2,167 \times m$
Cabeza del diente	Parte entre el círculo exterior y el círculo primitivo.	Altura (L ₁) = m

Parámetro	Descripción	Fórmula / Valor Típico
Pie del diente	Parte entre el círculo primitivo y el círculo interior.	Altura (L_2) = $1,167 \times m$
Espesor del diente en círculo primitivo (s)	Espesor real del diente sobre el círculo primitivo.	$S = p_c \times 19/40$
Espacio entre dientes (hueco)	Hueco entre dientes sobre el círculo primitivo.	$w = p_c \times 21/40$ / $w = \pi \times m \times 21/40$
Paso circular (p_c)	Longitud de arco entre dos puntos equivalentes de dientes adyacentes, medida sobre el círculo primitivo.	$p_c = \pi \times m$
Ángulo de presión (α)	Ángulo normal en el punto de contacto entre los dientes. Estándar:	Estándar 20°
Radio del entalle (r)	Radio de curvatura aplicado en la base del diente de engranajes para suavizar la unión entre el flanco del diente y el fondo del espacio entre dientes.	$r = \frac{(\pi \times m)}{12}$
Radio del arco envolvente (R_e)	Es el radio de un arco de círculo que aproxima el perfil real (involuta) del diente de un engranaje o piñón para facilitar su construcción o análisis.	$R_e = \text{Seno } 20^\circ \times (D_p \div 2)$

Nota. La tabla muestra los parámetros fundamentales en el diseño de engranajes de dientes rectos, con sus fórmulas típicas según normas ISO 21771:2007 y AGMA 2001-B88. Algunas expresiones, como el radio del arco envolvente, corresponden a construcciones gráficas aproximadas de uso didáctico. Autoría propia.

- Ancho de la cara del diente.

Regla de diseño (engranajes rectos)

No hay una “fórmula única” normativa; se usa una proporción con el módulo:

$$b = k \times m$$

Donde **b** es el ancho de cara, m el módulo y k un coeficiente de diseño.

Valores típicos para piñones de dientes rectos:

- Servicio ligero / prototipos: $k \approx 8$ $b \approx 8m$
- Servicio estándar (muy común): $k \approx 10$ $b \approx 10m$
- Servicio pesado / alta carga: $k \approx 12$ $b \approx 12m$ (a veces hasta 16)

Tabla 2

Ancho de la cara del diente (b) Tabla rápida (referencia)

Módulo mm	k = 8	k = 10	k = 12
	$b = 8m$ (ligero)	$b = 10m$ (típico)	$b = 12m$ (pesado)
2	16 mm	20 mm	24 mm
3	24 mm	30 mm	36 mm
4	32 mm	40 mm	48 mm
5	40 mm	50 mm	60 mm
6	48 mm	60 mm	72 mm

Notas útiles

- Evitar anchos excesivos si el piñón es pequeño: crecen las desalineaciones y cargas de borde. Muchas guías prácticas limitan b a $\approx (1/3)$ del diámetro primitivo del piñón como verificación rápida.
- ISO 6336/AGMA tratan b como variable de diseño que se optimiza con resistencia a flexión/contacto, rigidez del soporte y alineación. **La regla ($b=10m$) es un punto de partida excelente para la mayoría de los casos.** Autoría propia.

6.2. Paso 2: Utilizar comandos (1) Unir + (2) Contorno

- Recordar dejar copias de todos los perfiles y diseños, se necesitará al finalizar la guía N°3, dado que se va acotar todos los datos del piñón tanto en la vista frontal como la vista lateral como en la SECCION A - A1.

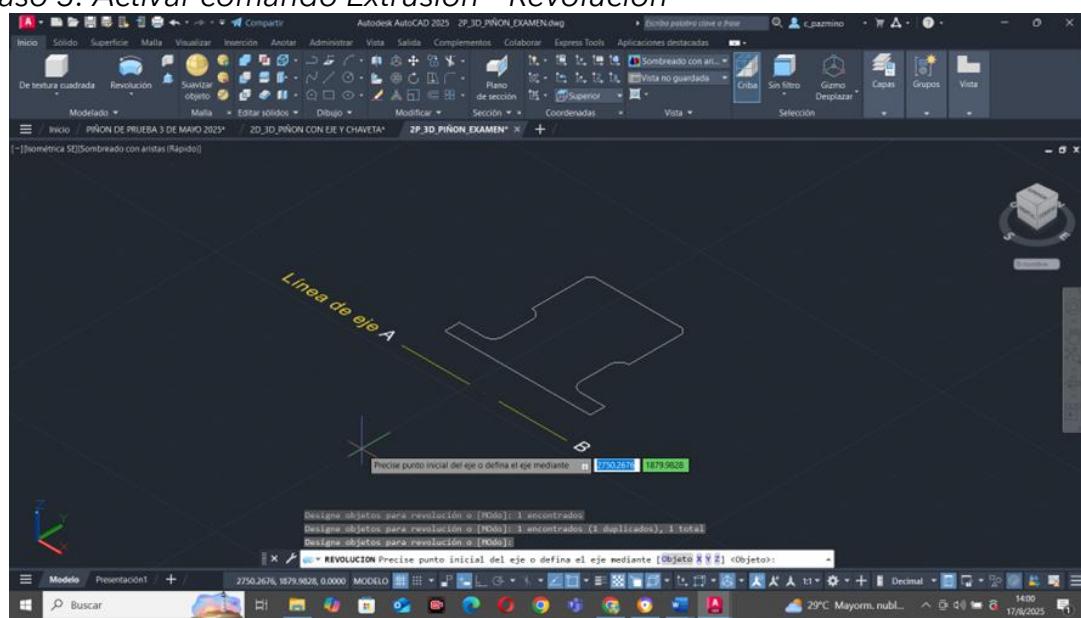
- Seleccionar **Unir** y crear una polilínea única (todas las líneas deben aparecer en azul).
- Seleccionar **Contorno**, aceptar el cuadro de diálogo, ubicar el mouse dentro de la polilínea y presionar Enter. Ver figura 7

6.3. Paso 3: Comando Extrusión - Revolución.

- Cambiar a vista Isométrica SE (Sureste). Ver figura 7.
- Activar Revolución, seleccionar el contorno creado y presionar Enter.
- Definir el eje de revolución seleccionando punto inicial (A) y final (B).
- Escribir 360° para crear un sólido completo. Ver figura 8 y 9.

Figura 8

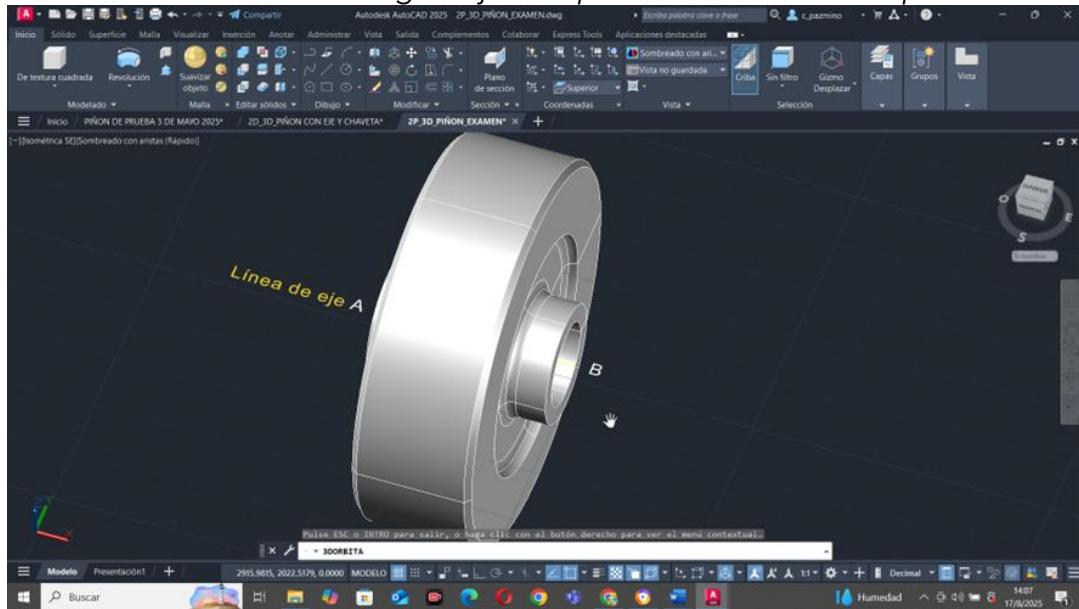
Paso 3: Activar comando Extrusión - Revolución



Nota, Verificar antes de aplicar Extrusión - Revolución que los comandos unir y contorno estén bien realizados. Autoría propia

Figura 9

Paso 3: Conformación del engranaje completo mediante matriz polar.



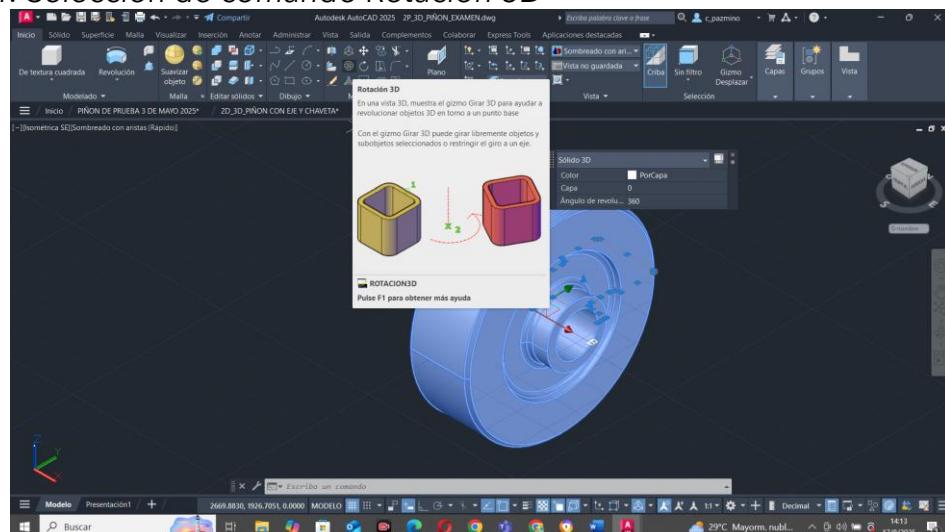
Nota, Al seleccionar los puntos A y B como inicio y fin del eje central antes de salir compruebe los grados que necesite, en este caso 360° es el ejemplo.
Autoría propia.

6.4. Paso 4: Rotar el sólido a conveniencia.

- El sólido generado aparecerá en vista frontal, por lo que debe rotarse 90° en el eje Y. Ver figura 10.

Figura 10

Paso 4: Selección de comando Rotación 3D

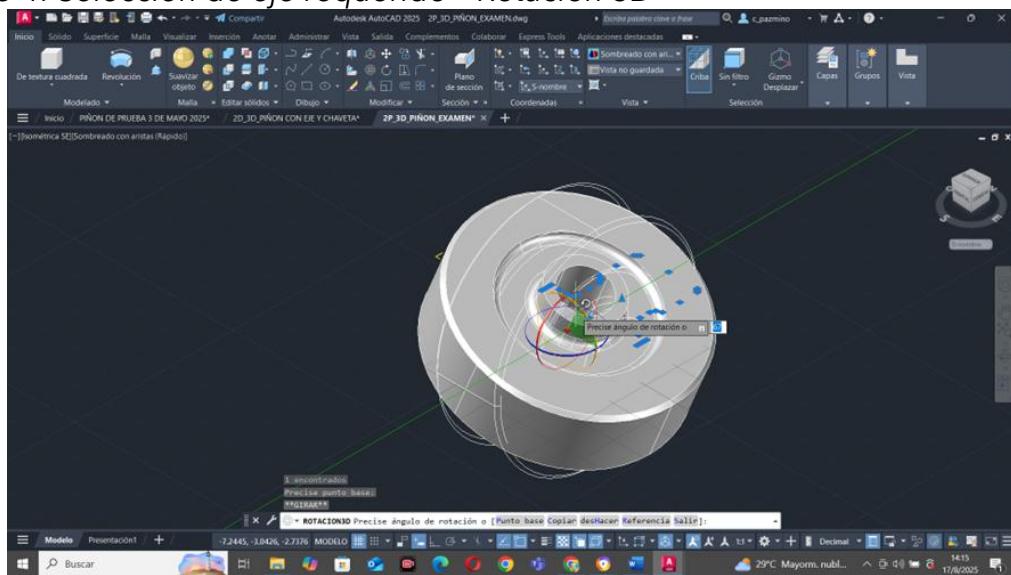


Nota, Seleccione el objeto permita que se torne azul y active comando Rotación 3D. Autoría Propia.

- Seleccionar el sólido → comando Rotación 3D → seleccionar eje Y (eje verde en AutoCAD). Ver figura 11.

Figura 11

Paso 4: Selección de eje requerido - Rotación 3D

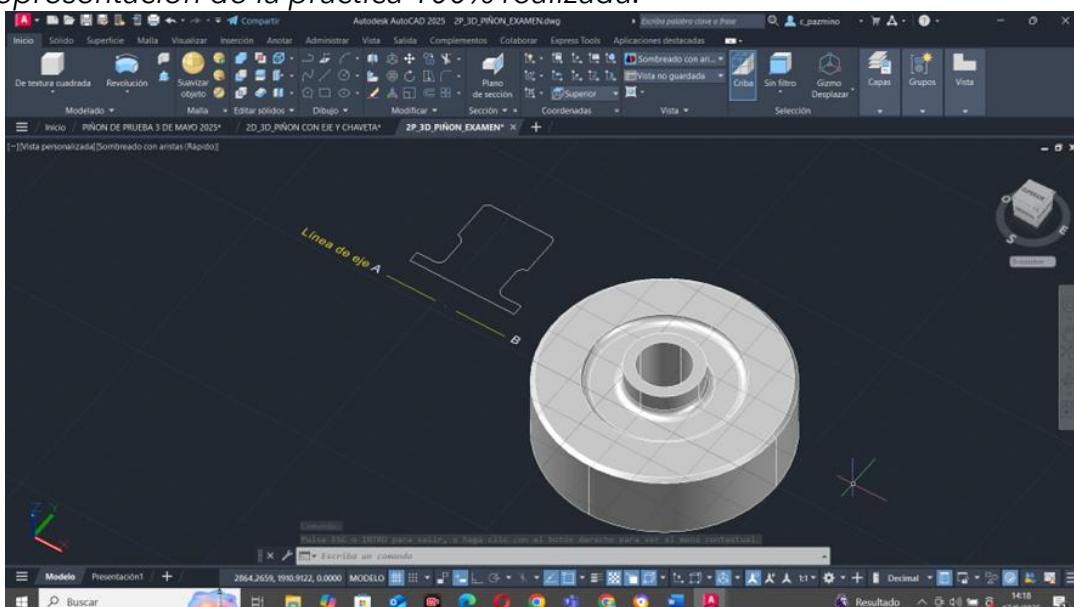


Nota, Comprobar el cuadro de dialogo y escriba el N° de grados deseados. Autoría Propia

- Escribir 90° (o el ángulo requerido).

Figura 12

Representación de la practica 100% realizada.



Nota, Comprobar que el diseño realizado sea una torta o sólido 3D para un posterior entallado de un piñón de dientes rectos en 3D. Autoría propia.

- Comprobar exactitud del cierre geométrico. Ver figura 12.

7. Evaluación del Aprendizaje.

7.1. Identifica la normativa INEN de dibujo mecánico y la aplica de manera adecuada.

7.2. Hace uso de los comandos de CAD aplicados al diseño mecánico, desarrollando la inteligencia espacial y la capacidad de abstracción necesarias para la representación tridimensional de piezas.

7.3. Genera planos con vistas normalizadas y su respectiva representación y acotación.

8. Conclusiones.

El método del arco envolvente permite comprender de manera gráfica la geometría de un engranaje de dientes rectos.

La precisión en el punto "X" es crítica para garantizar la exactitud geométrica.

La aplicación de comandos CAD facilita la generación rápida y repetitiva del perfil completo del engranaje.

9. Recomendaciones.

Haga uso de los tutoriales Playlists completo [clic](#) - (ACC-GROUP-CONSORTIUM, 2023).

Practicar varias veces las instrucciones de la guía 1 + guía 2 antes de utilizar guía 3.

Conservar copias de seguridad en distintas versiones del archivo.

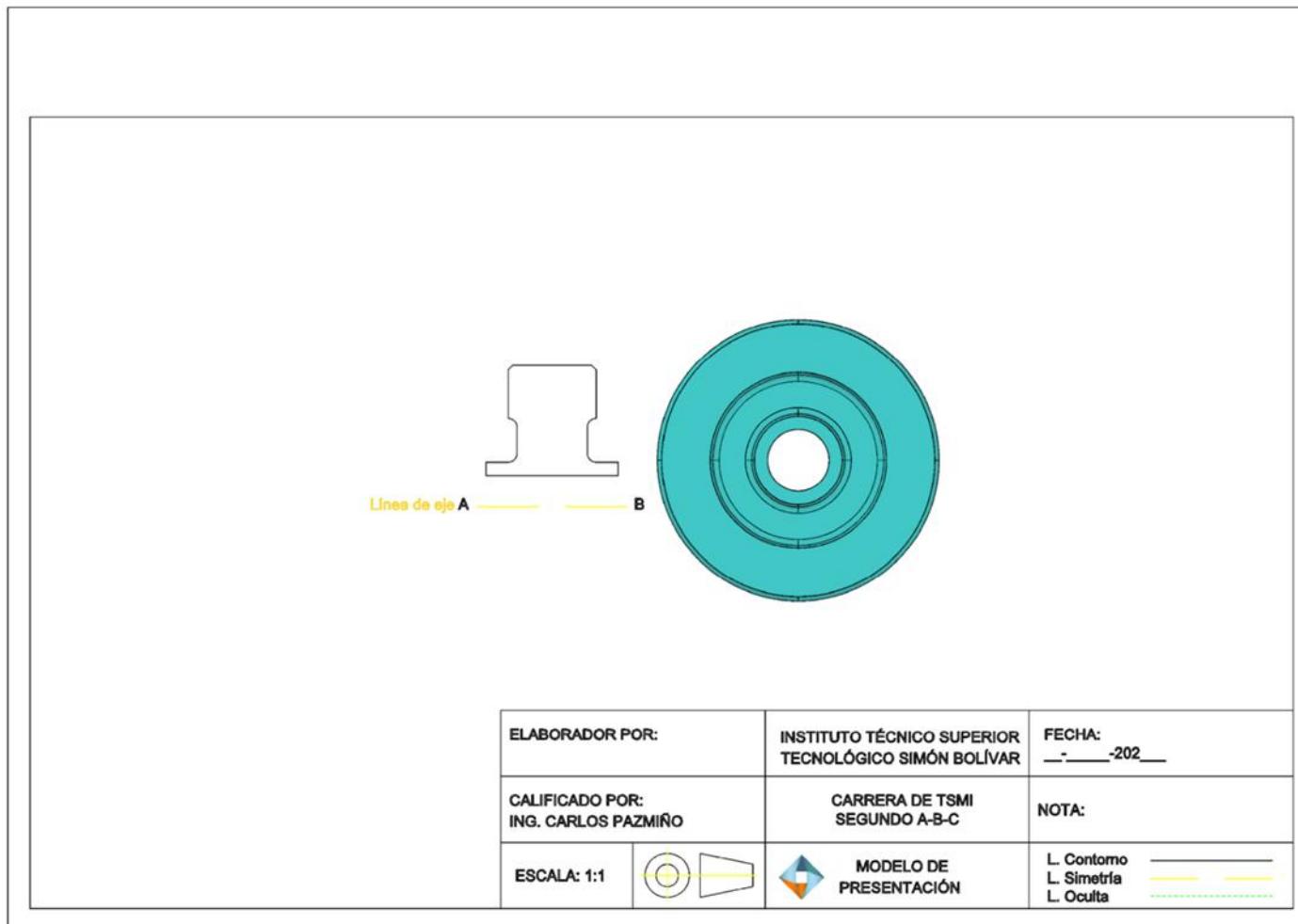
Revisar las normas ISO y AGMA antes de aplicar el método a engranajes de uso real (Instituto Ecuatoriano de Normalización, 1987).

Recordar dejar copias de todos los perfiles y diseños, se necesitará al finalizar la guía N°3, dado que se va acotar todos los datos del piñón tanto en la vista frontal como la vista lateral como en la SECCION A-A1.

10. Tarea experimental y autónoma individual - GUIA N°2

Haciendo uso de la plantilla en Excel de "Cálculo de engranajes de dientes rectos", Continuar con el diseño de la Guia 1- Diseño de un engranaje de 30 dientes con módulo $m = 2$ mm, diámetro primitivo $d = 60$ mm, y ángulo de presión estándar 20° , aplicando los pasos de la guía en AutoCAD - en la pestaña (b) Ancho de la cara de la hoja de Excel - verificar y aplicar los datos del ancho de la cara ($b = k \times m$), para la vista frontal y el uso de Extrusión - revolución.

Exportar el archivo en formato .DWG y entregar junto con un reporte en PDF.

Figura 13*Ejemplo de tarea Guía práctica N°2*



**Guía práctica para el diseño mecánico de un engranaje de dientes rectos
a partir del perfil y sólido 3D elaborados con la técnica del arco
envolvente - Guía N°- 3**

Unidades 1-4

Duración de la práctica: 4 horas

Número de horas autónomas: 8

1. Objetivo general.

Construir un engranaje de dientes rectos completo, a partir del perfil de diente generado con la técnica del arco envolvente y del sólido base tridimensional previamente elaborado, aplicando herramientas de diseño asistido por computadora (CAD 2D y 3D).

2. Objetivos específicos.

2.1. Dibujar vistas técnicas del engranaje recto (frontal y lateral) con sus cotas principales.

2.2. Crear sólidos en 3D mediante los comandos Unir, Contorno, Extruir y Sólido Diferencia, con el fin de tallar la superficie correspondiente de los dientes en el sólido base 3D.

2.3. Diseñar el chavetero y el eje de acuerdo con requerimientos mecánicos.

2.4. Seleccionar el área del engranaje para su presentación e impresión en formato CAD y PDF con rotulado institucional y tabla de datos.

3. Fundamento teórico.

El diseño de engranajes de dientes rectos en 3D permite no solo visualizar el mecanismo, sino también preparar prototipos digitales que pueden llevarse a manufacturar mediante mecanizado CNC o impresión 3D.

Los comandos Extrusión, Contorno y Diferencia de sólidos de AutoCAD constituyen herramientas fundamentales para modelar geometrías complejas. En este caso, se aplica un proceso de troquelado virtual: una corona de corte (sólido de entallado) se resta del sólido base (torta), obteniéndose así los dientes finales del piñón según la norma (International Organization for Standardization (ISO). (2007). ISO 21771, 2007).

3.1. Parámetros técnicos clave:

- Diámetro exterior (De).
- Diámetro primitivo (Dp).
- Diámetro interior (Di).
- Radio del entalle y del arco envolvente.
- Medidas del chavetero y eje.
- Ancho de cara (longitud axial del engranaje) -

4. Materiales, equipos, herramientas y maquinarias.

4.1. Computador con software AutoCAD 3D - Inventor - SolidWord.

4.2. Archivo DWG del perfil del diente recto (Guía N.º1).

4.3. Archivo DWG del sólido 3D tipo torta (Guía N.º2).

4.4. Manual de normas ISO/AGMA de engranajes.

4.5. Calculadora científica.

5. Normas de Seguridad.

5.1. Utilizar siempre software CAD con licencia vigente, registrado como estudiante haciendo uso de su correo institucional. ([clic](#)).

5.2. Mantener una postura ergonómica frente al computador para evitar fatiga muscular.

5.3. Realizar pausas activas cada 45 minutos para prevenir cansancio visual y mental.

5.4. Ajustar correctamente la iluminación de la estación de trabajo, evitando reflejos en la pantalla.

5.5. Guardar el archivo con frecuencia para evitar pérdida de información en caso de fallos eléctricos o del sistema.

5.6. En el taller mecánico, utilizar siempre los equipos de protección personal (EPP) correspondientes: guantes, gafas, protectores auditivos y ropa de trabajo.

5.7. Cumplir con las normas de seguridad industrial establecidas por la institución.

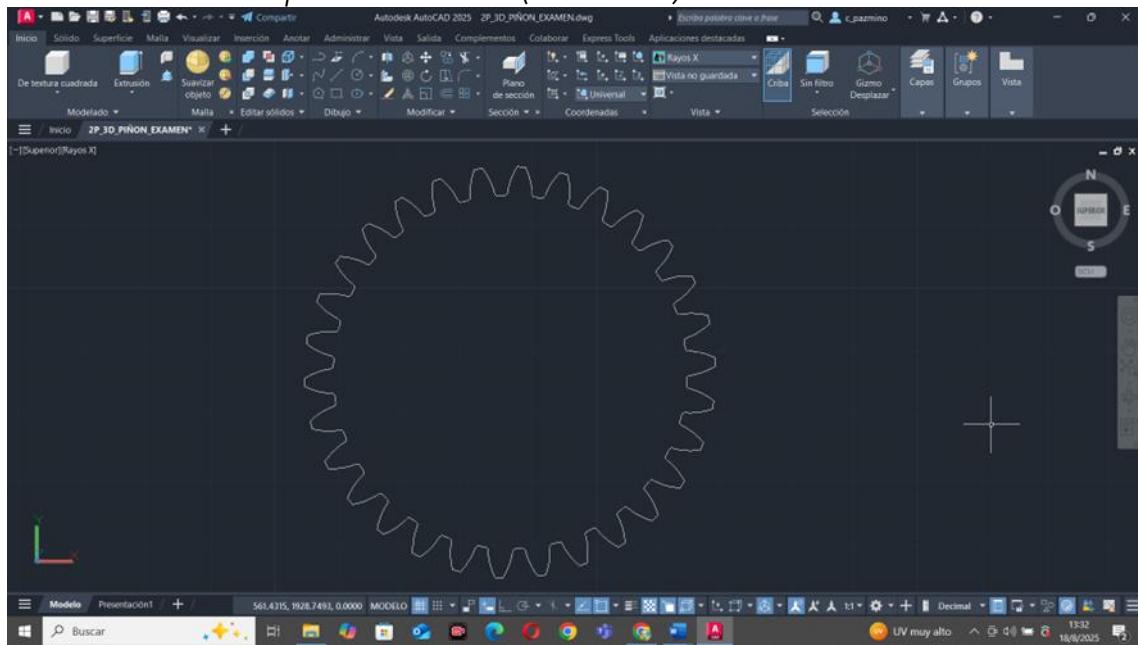
6. Instrucciones para el desarrollo de la práctica.

6.1. Paso 1: Tomar el diseño del perfil del diente (Guía N.º1). Ver figura 14.

- Realizar dos copias en un nuevo archivo DWG.
- La copia N.º1 servirá para la vista frontal acotada con todas las medidas: De, Dp, Di, radios, diámetros auxiliares y detalles mecánicos en 2D.
- La copia N.º2 se usará para el troquelado, eliminando líneas innecesarias y dejando solo el perfil del diente replicado por matriz polar.

Figura 14

Paso 1: Diseño del perfil del diente (Guía N.º1).



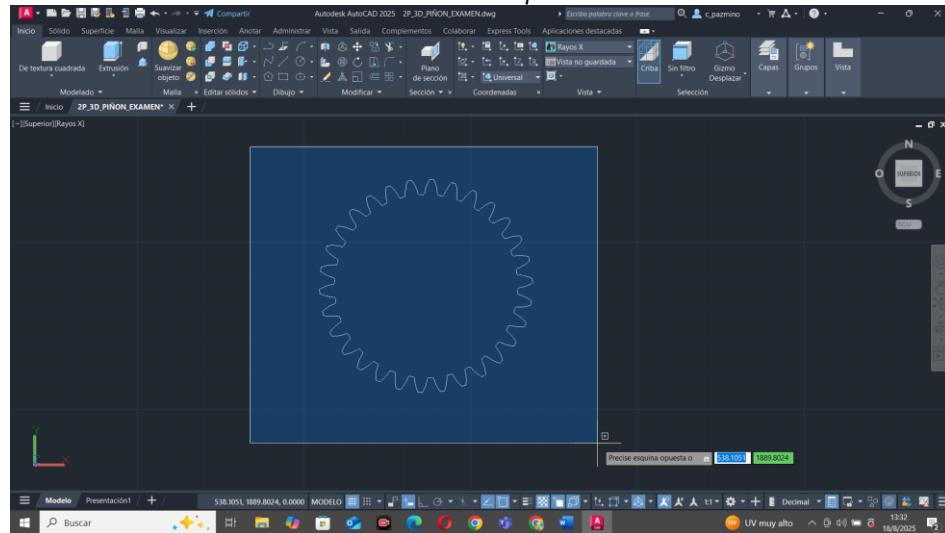
Nota, la figura 14 nos ilustra el resultado de la guía 1: Diseño mecánico del perfil de dientes rectos en un piñón, mediante el método del arco envolvente. Autoría propia.

6.2. **Paso 2.** Comandos Unir + Contorno.

- Activar Unir → seleccionar todo el perfil → Enter. Ver figuras 15 y 16.
- Cambiar a vista isométrica SE. Trazar un círculo concéntrico con diámetro = $D_e + 40$ unidades. Ver figura 17.
- Activar Contorno → aceptar → seleccionar centro del engranaje → Enter. Repetir en el área entre el diente y la circunferencia externa.
- Nota: conservar "X" como referencia crítica.

Figura 15

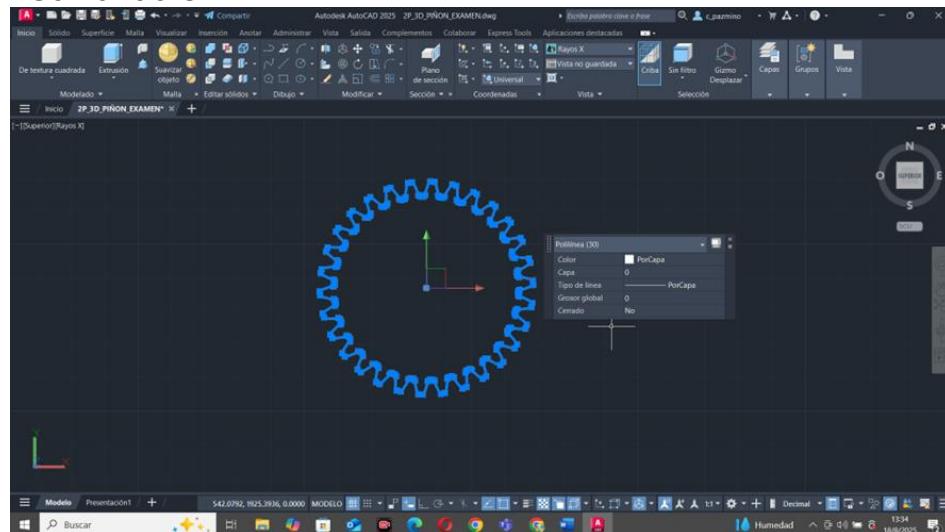
Paso 2: Activar Unir → seleccionar todo el perfil → Enter.



Nota, comprobar que al seleccionar no queden espacios o huecos, de tal manera que con el comando Unir se pueda crear una polilínea. Autoría propia

Figura 16

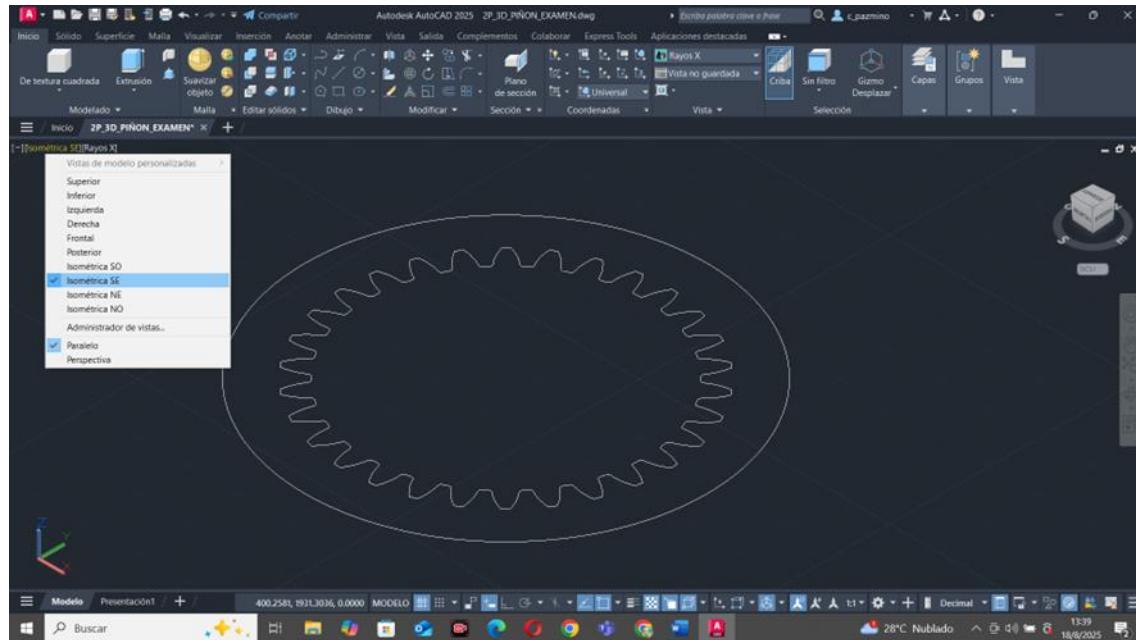
Paso 2: Comando Unir



Nota, si todos los pasos de la Guía 1 fueron bien realizados los elementos quedaran unidos generando una polilínea. Autoría propia

Figura 17

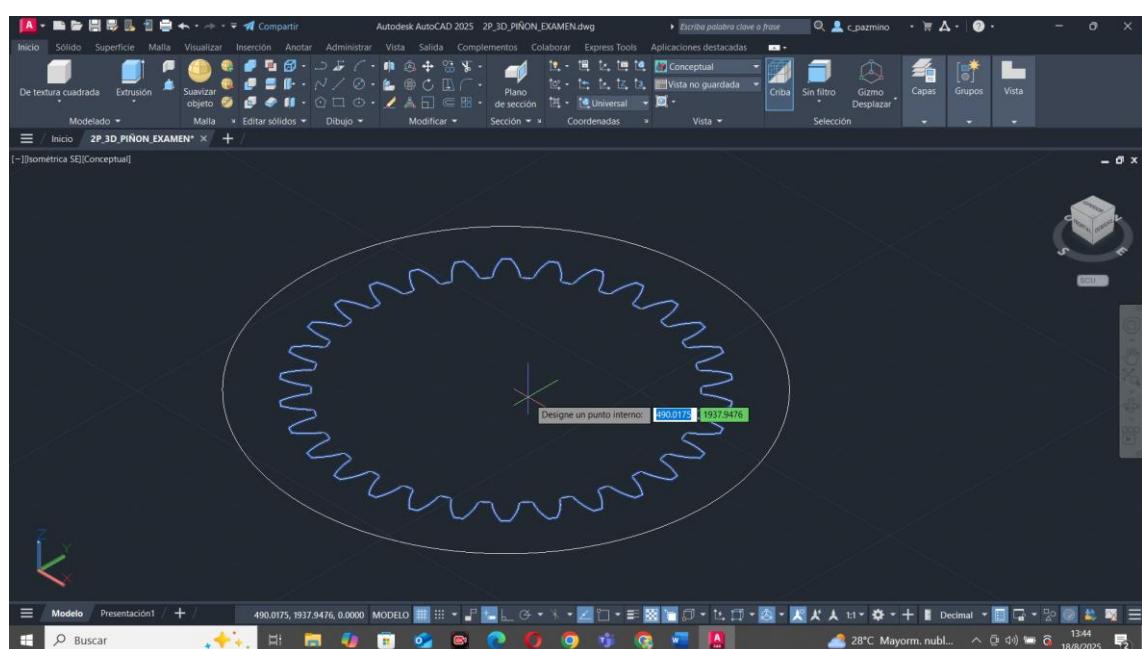
Paso 2: Vista isométrica SE. Círculo concéntrico con diámetro = $De + 40$ unidades



6.3. **Paso 3.** Comando Extruir - Crear Sólidos.

Figura 18

Paso 3: Selección del perfil del diente y extruir con una altura superior a la manzana



Nota, la altura de extorsión debe de ser mayor a la pieza a troquelar permitiendo tener mayor holgura y presión del diseño final

- **Reconocer que se generarán dos sólidos:**

- Sólido N.º1 = cilindro externo.
- Sólido N.º2 = entallado de dientes.
- Seleccionar y Extruir el perfil del diente con una altura superior a la longitud de la manzana. Ver figura 19.

Figura 19

Paso 3: Extrusión del perfil del diente con una altura superior a la manzana

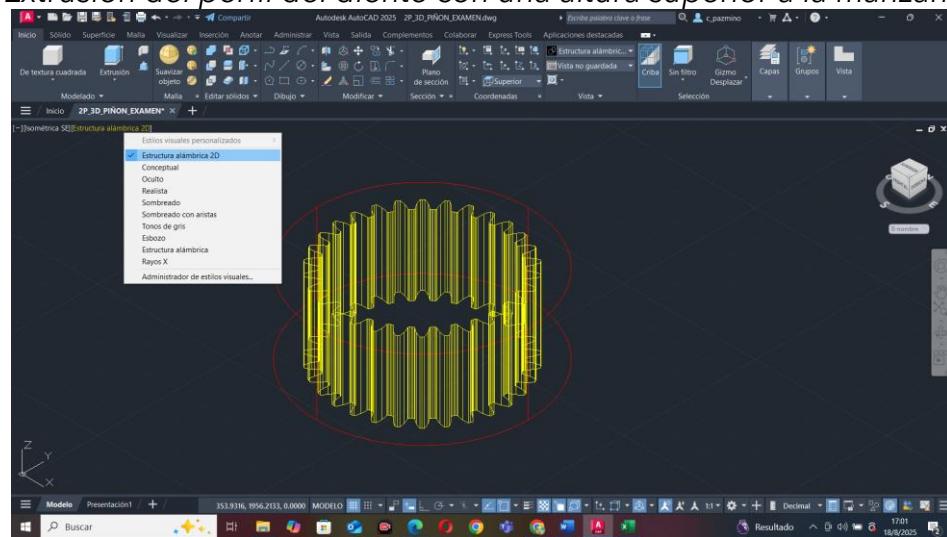
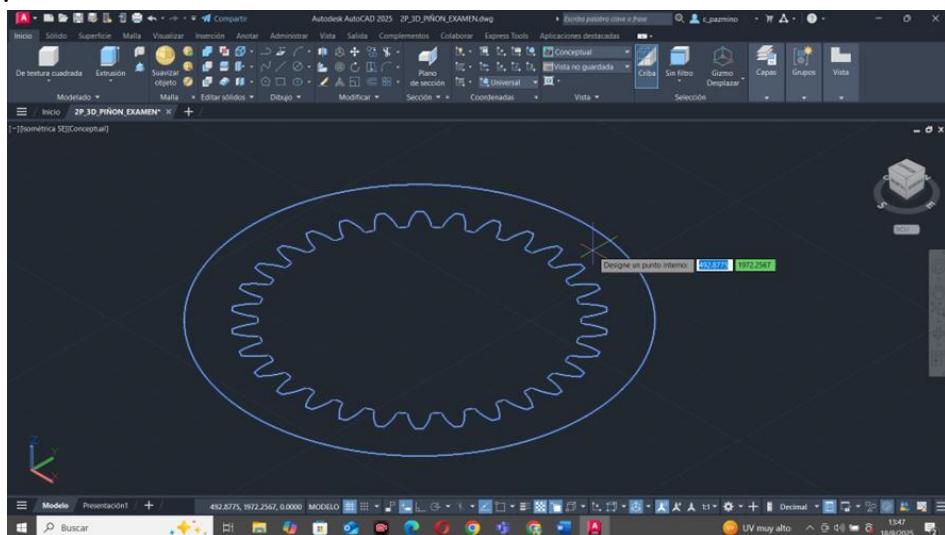


Figura 20

Selección y Extrusión del círculo exterior con la misma altura del perfil del diente.



Nota, la altura de extorsión debe de ser mayor a la pieza a troquelar permitiendo tener mayor holgura y presión del diseño final

- Seleccione y extruya el círculo exterior con la misma altura. Ver figura 20 y 21.
- Cambiar a visualización rayos X → aplicar Sólido Diferencia: seleccionar el sólido exterior, Enter, luego el sólido de los dientes → Enter. Ver figura 22.
- Resultado = "Corona de troquelado". Ver figura 23.

Figura 21

Extrusión de corona de troquelado

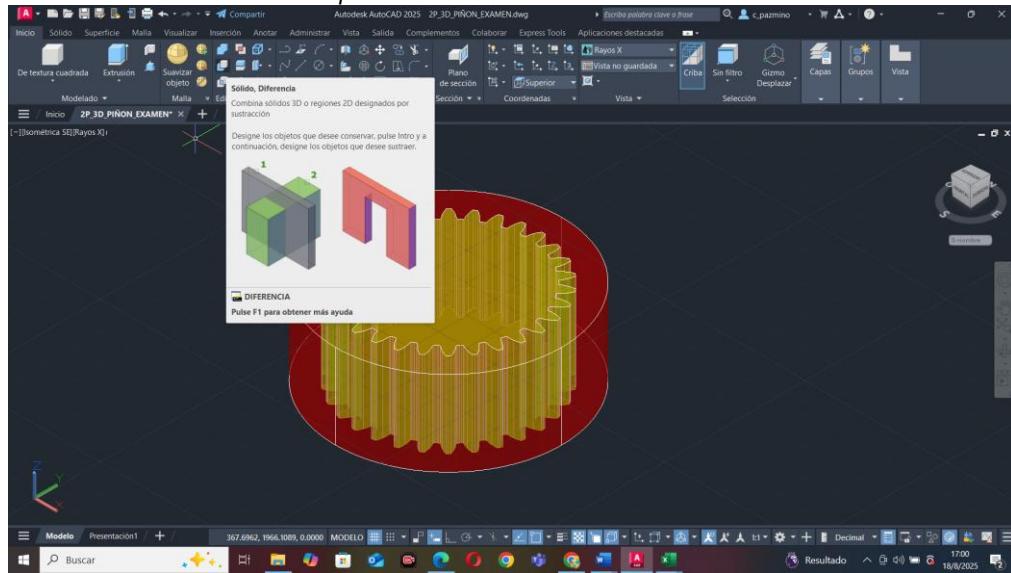
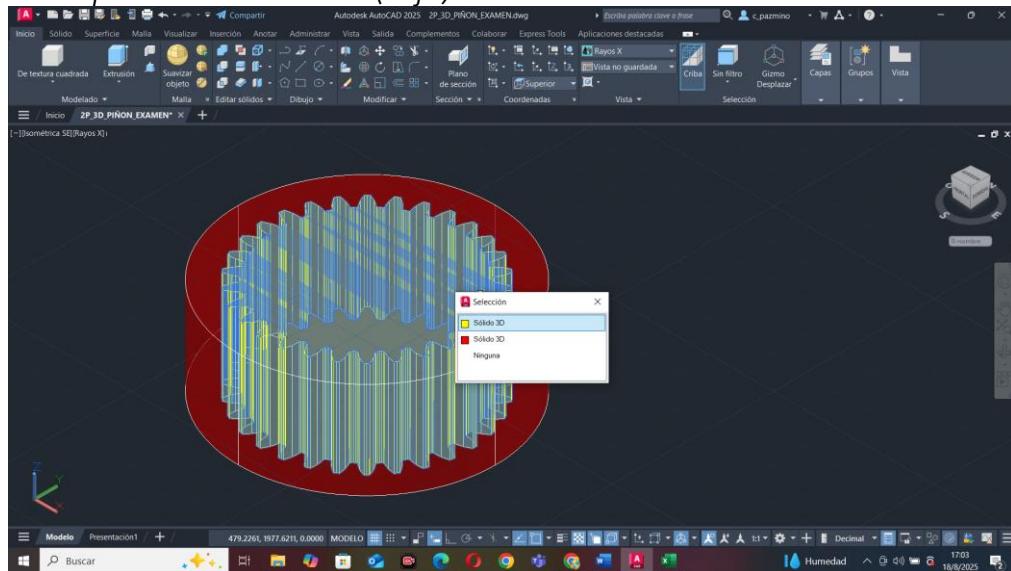


Figura 22

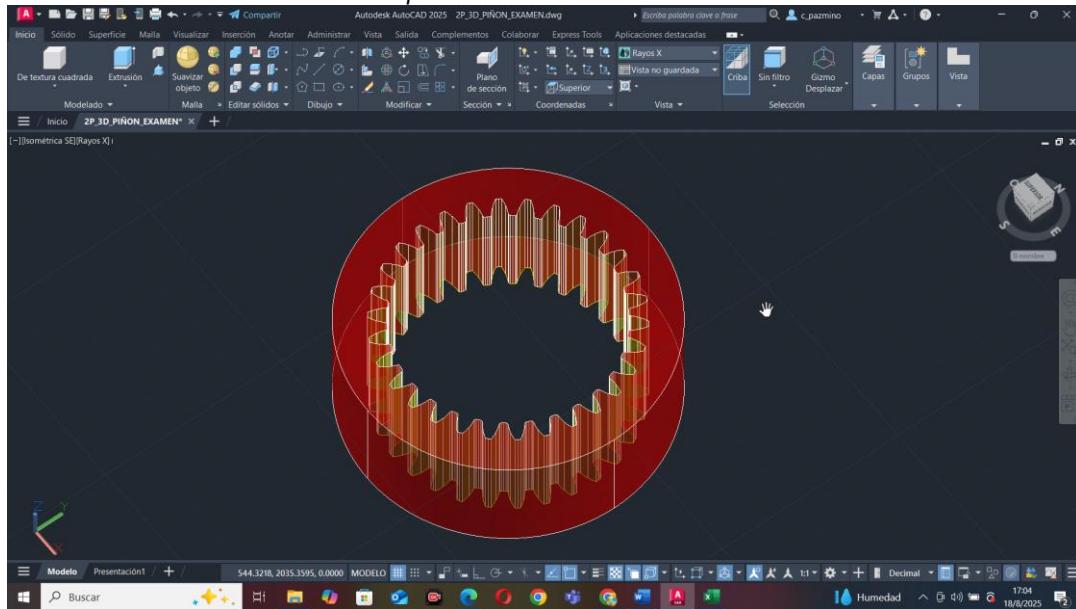
Selección primaria de corona (roja) en comando sólido diferencia



Nota, es primordial seleccionar primero aquel objeto que se requiere dejar y luego enter.

Figura 23

Ilustración de “Corona de troquelado”.

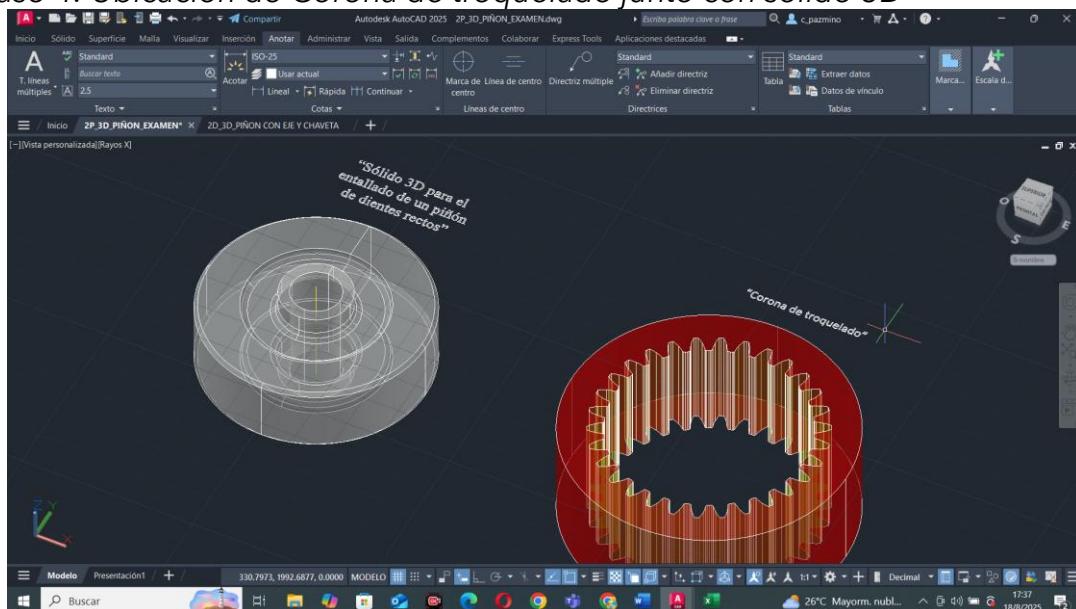


6.4. **Paso 4.** Tallado de dientes.

- Copiar la “Corona de troquelado” y superponerla en el centro del sólido 3D base (Guía N.º2). Ver figura 24 y 25.

Figura 24

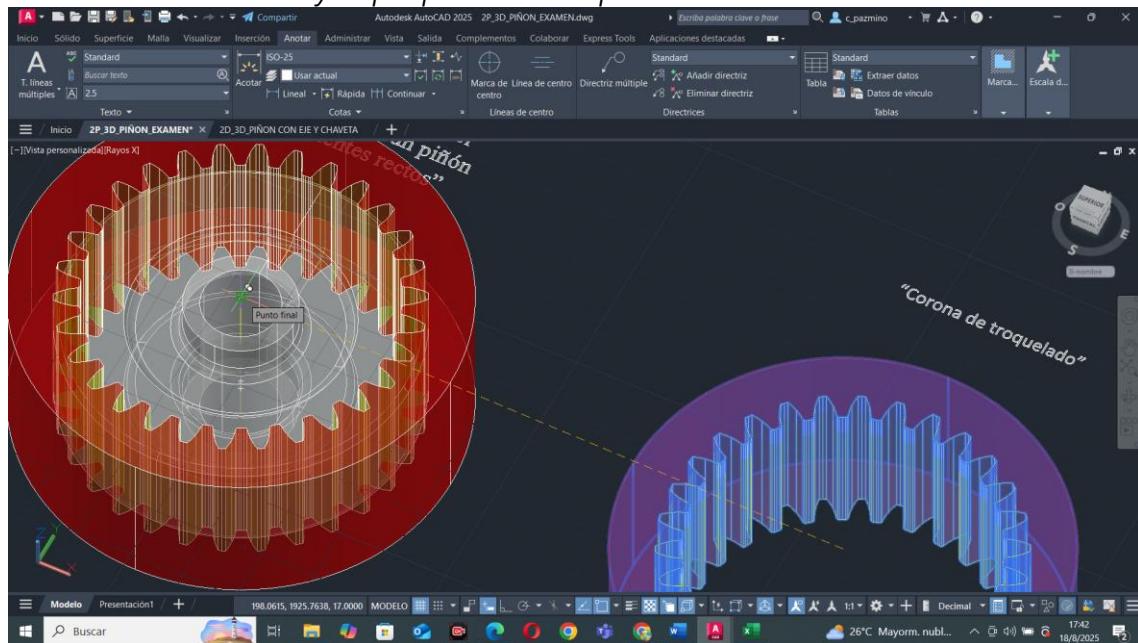
Paso 4: Ubicación de Corona de troquelado junto con sólido 3D



Nota, es pertinente ubicar ambas piezas en vista isométrica SE

Figura 25

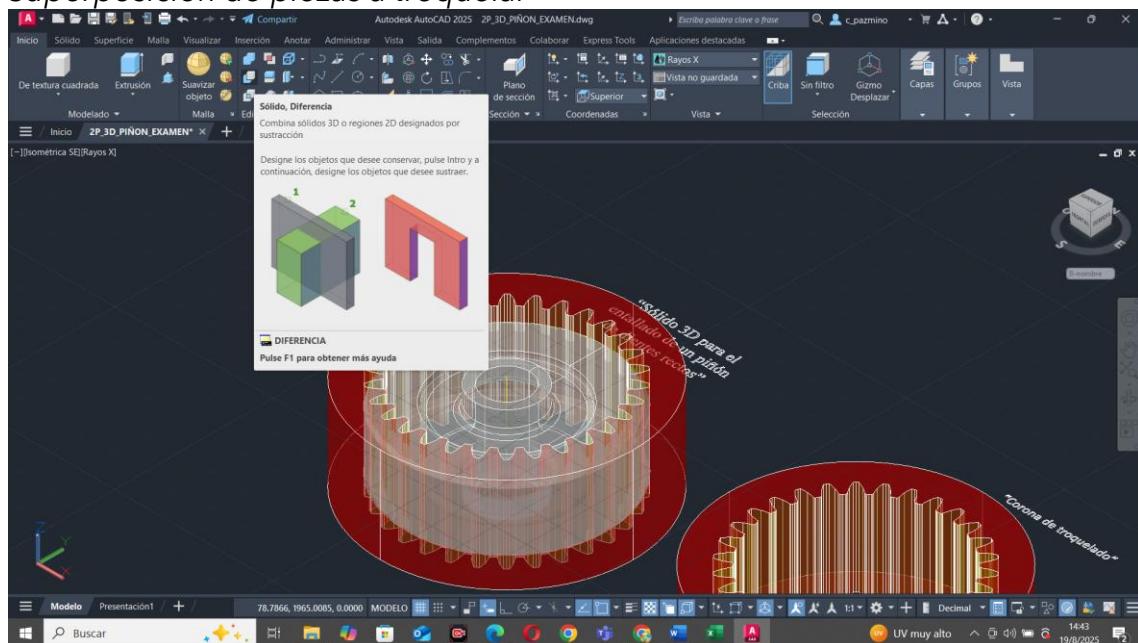
Selección de centros y superposición de piezas concéntricas



Nota, Es pertinente la selección correcta y precisa de cada centro para la correcta diferencia de sólidos

Figura 26

Superposición de piezas a troquelar



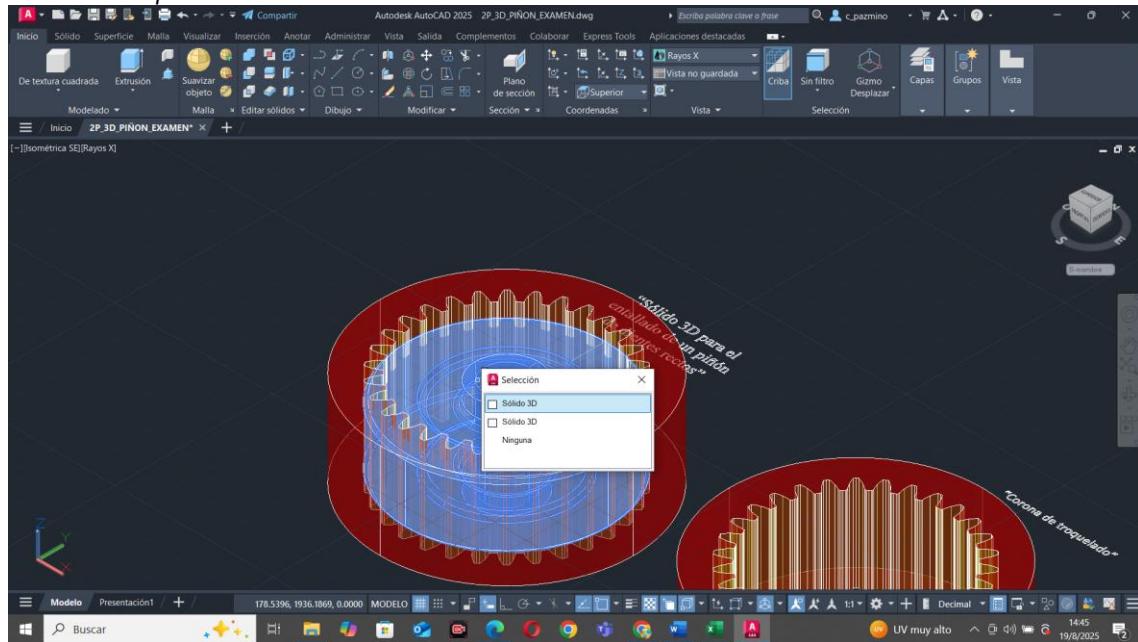
Nota, al seleccionar la "Corona de troquelado" haga una copia de sección por seguridad

- Aplicar Sólido Diferencia: seleccionar el sólido base → Enter → seleccionar la corona → Enter. Ver figura 27.

- Resultado = piñón con dientes entallados. Ver figura 28.

Figura 27

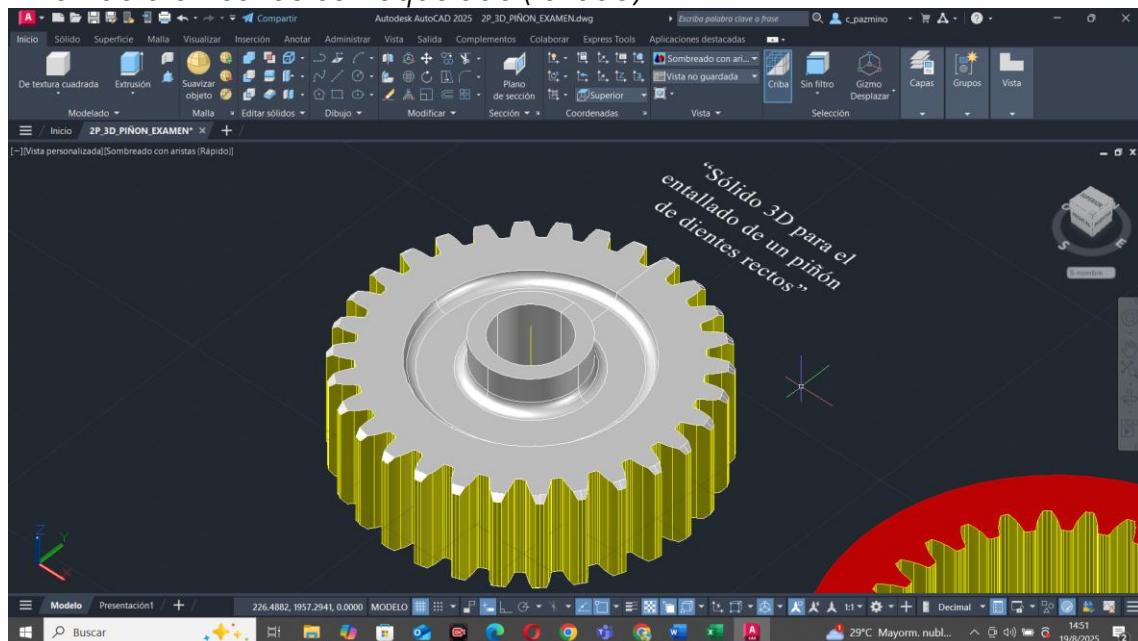
Selección primaria de sólido 3D en comando sólido diferencia



Nota, es primordial seleccionar primero aquel objeto que se requiere dejar y luego enter.

Figura 28

Piñón de dientes rectos troquelado (tallado)



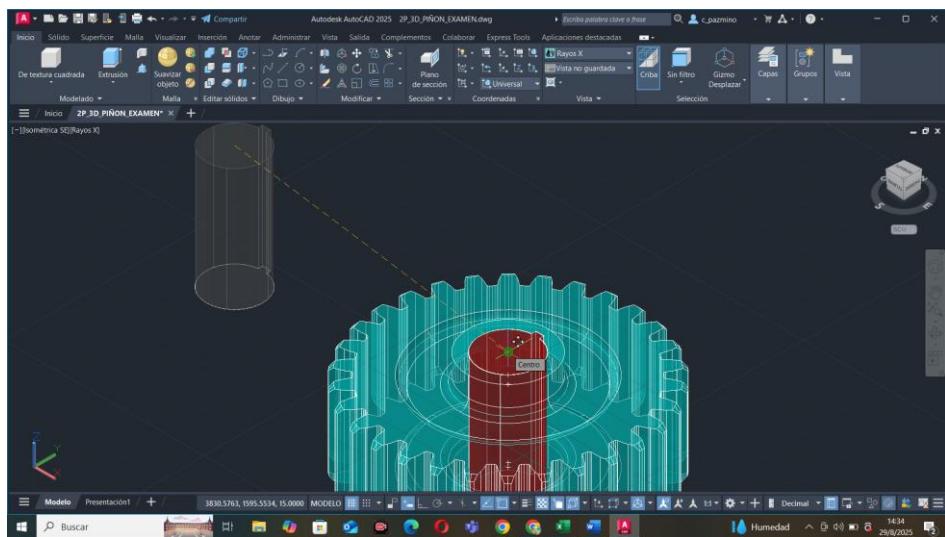
Nota, la figura 28 representa el tallado de los dientes en un plano 3D en la vista isométrica SE, autoría propia.

6.5. **Paso 5.** Diseño de chavetero y eje.

- Diseñar el diámetro del eje con la caja de chaveta correspondiente.
- Repetir el procedimiento empleado en pasos anteriores comandos - Unir, Contorno, Extruir y Diferencia para modelar la ranura. Figura 30

Figura 29

Superponer eje con chavera para crear ranura de chavetero.



6.6. **Paso 6.** Rotación y presentación.

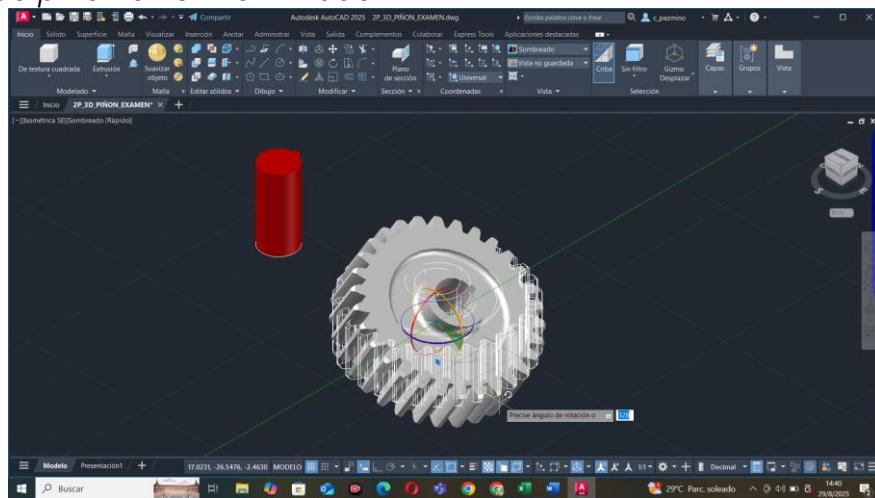
- Rotar el sólido 45° sobre el eje Y con Rotación 3D.
- Observar el sólido final en vista isométrica.

6.7. **Paso 7.** Acotación y presentación final. Ver figura 30.

- Acotar todos los parámetros geométricos en la vista frontal.
- Incluir tabla de datos del engranaje.
- Presentar archivo DWG con rotulado institucional.

Figura 30

Rotación de piñón en 3D terminado



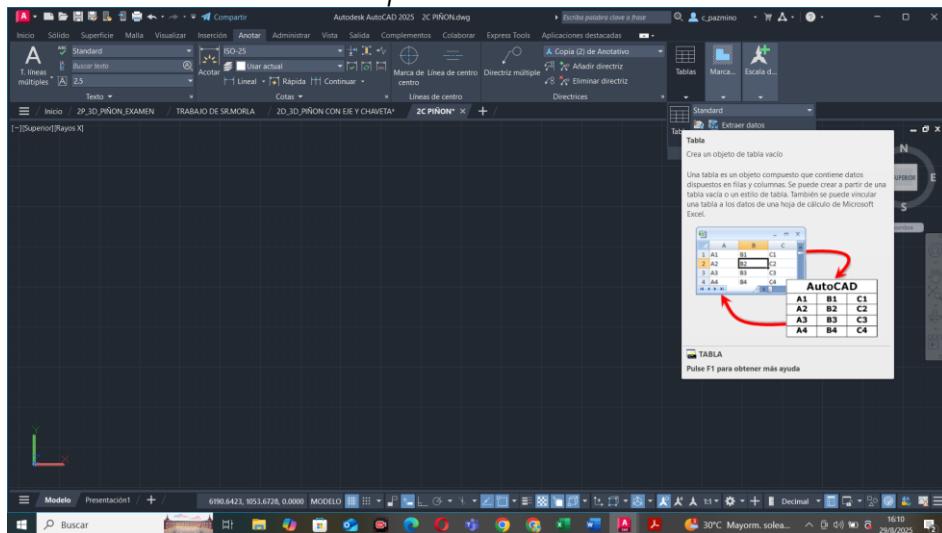
Nota, La rotación en 3D se la realiza de acuerdo a la conveniencia a la mejor presentación

6.8. Paso 8. Diseñar tabla de datos.

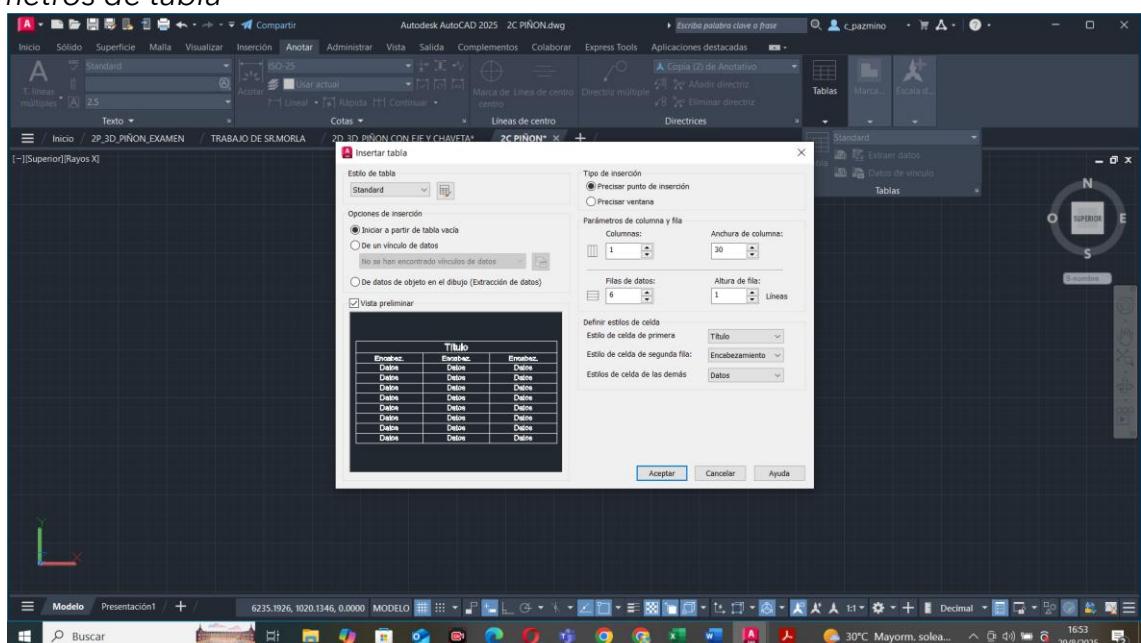
- Haga uso del menú y accione la pestaña Anotar y activar como se ve en la figura 31.
- Una vez seleccionado Tabla llenar los parámetros de acuerdo a los requerimientos de cada ejercicio y el tamaño proporcional al formato elegido. Ver figura 32.
- Rellenar los datos haciendo doble clic dentro de cada celda. Ver figura 33.

Figura 31

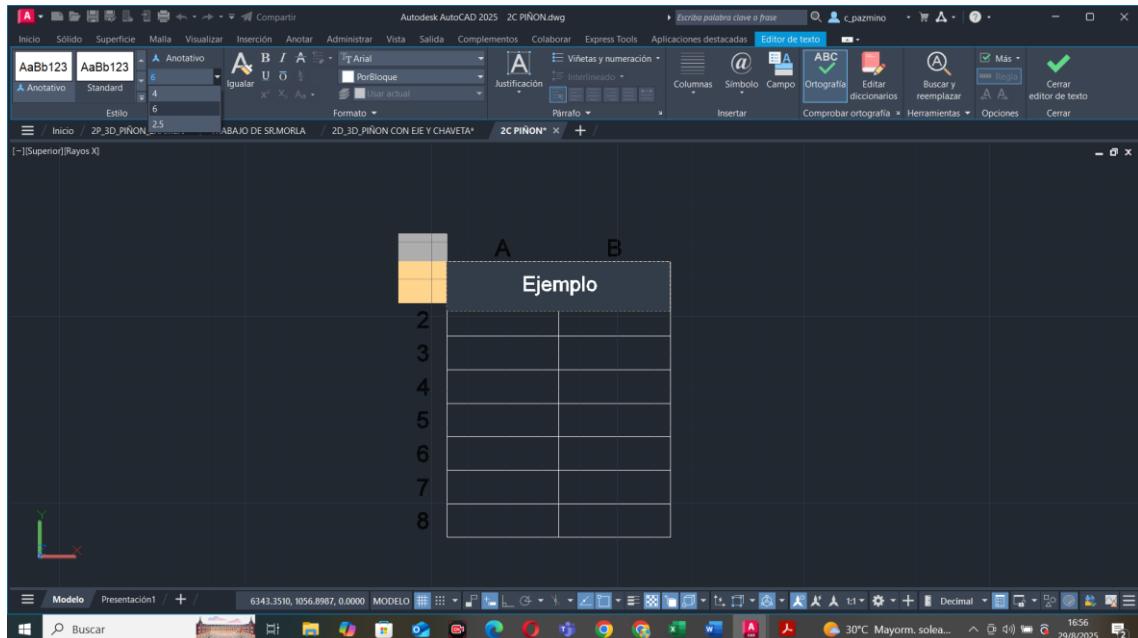
Activación de comando Anotar para crear tabla de datos

**Figura 32**

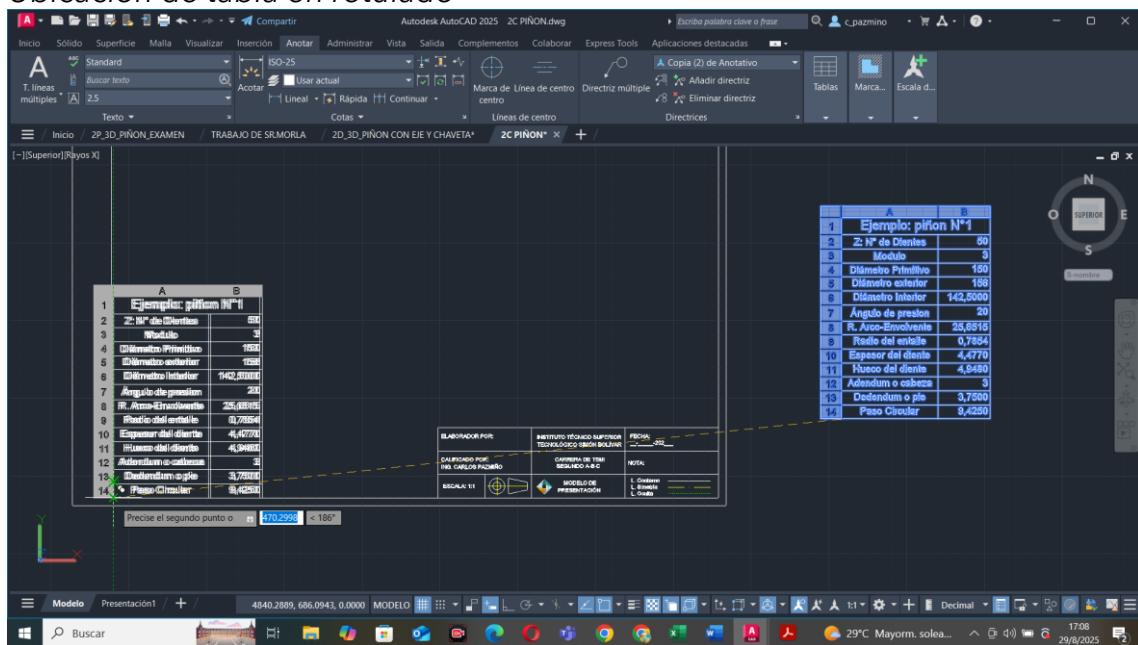
Parámetros de tabla



Nota, los parámetros de la tabla deben de ser adaptados de acuerdo a cada ejercicio.

Figura 33*Digitar datos en celdas de tabla**Nota, Parametrice el tamaño de la letra*

- Una vez todos los datos han sido editados en la tabla, seleccione dicha tabla - cope la selección y pegar en la esquina correspondiente a conveniencia del diseño y presentación. Ver figura 34.

Figura 34*Ubicación de tabla en rotulado*

6.9. Representación de Planos de despiece, conjunto.

- Una vez diseñado el perfil del diente Guía N°1 y la sección A-A1 se procederá a crear el plano del despiece.
- Desplazar la copia de la representación del entallado y Sección A-1 para acotar respectivamente en el rotulado junto con la tabla. Ver figura 35.
- Haciendo uso de los datos de la tabla de Excel realizar todos los diámetros, espesores y detalles para la acotación y representación técnica respectiva. Ver figura 36.
- Dejar listo el plano y diseño para hacer la posterior impresión en PDF.

Figura 35

Iniciar la Representación de Planos de despiece, conjunto.

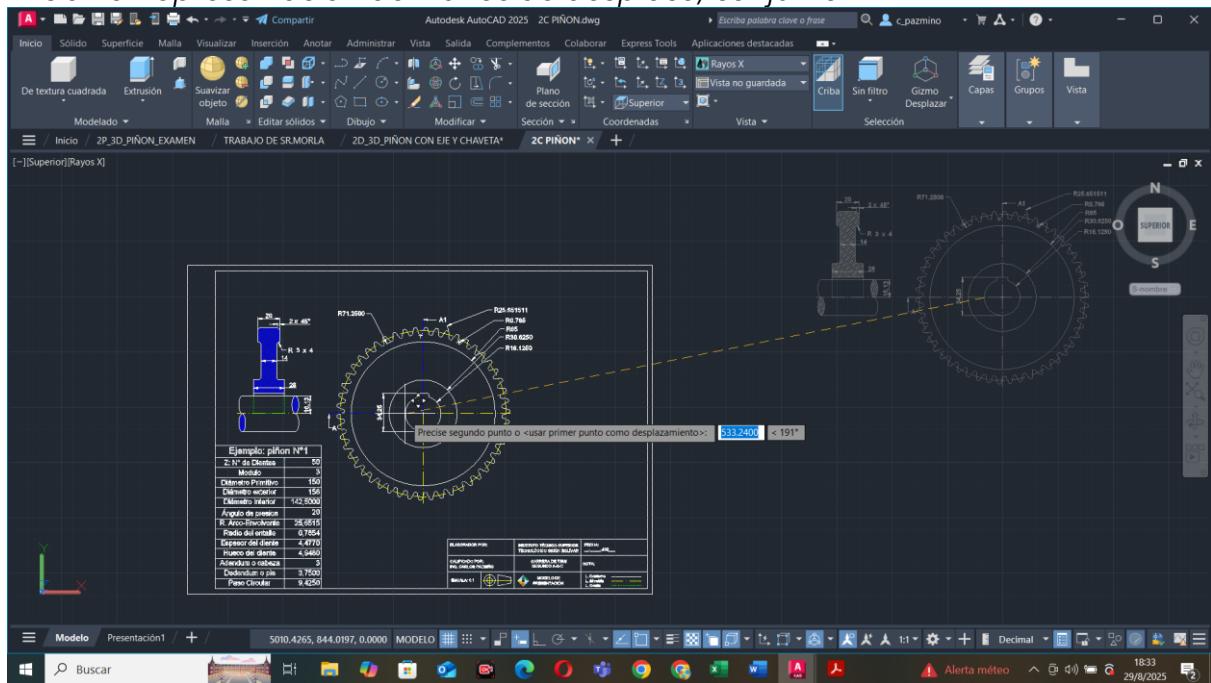
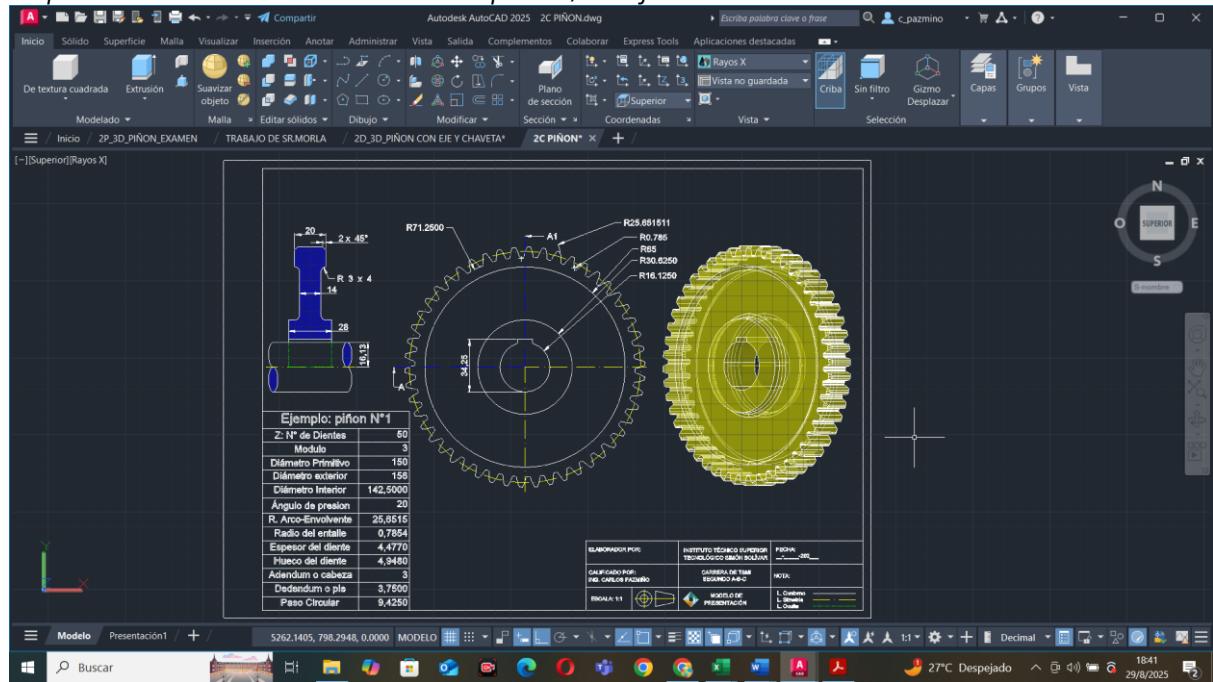


Figura 36

Representación de Planos de despiece, conjunto incluido isométrico 3D

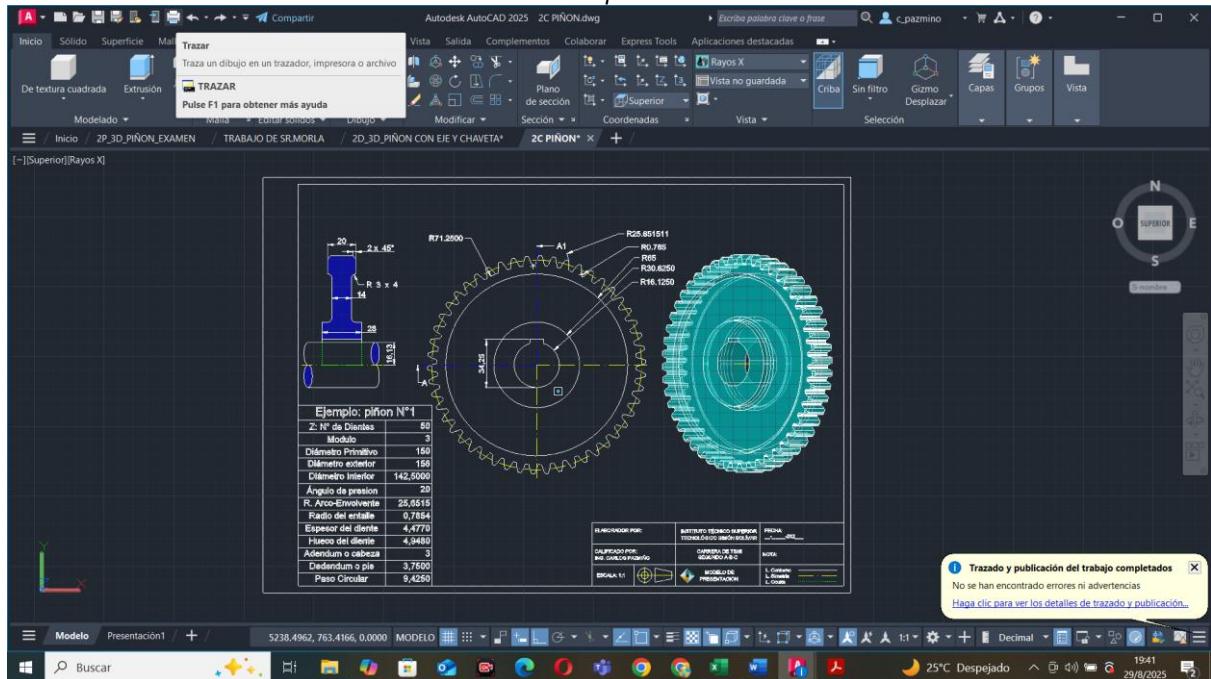


6.10. Formato de Impresión en PDF.

- Activar el comando Trazar - Modelo en icono impresora, ver figura 37.
 - Actualizar parámetros según sea el caso y formato a trabajar, ver figura 38.

Figura 37

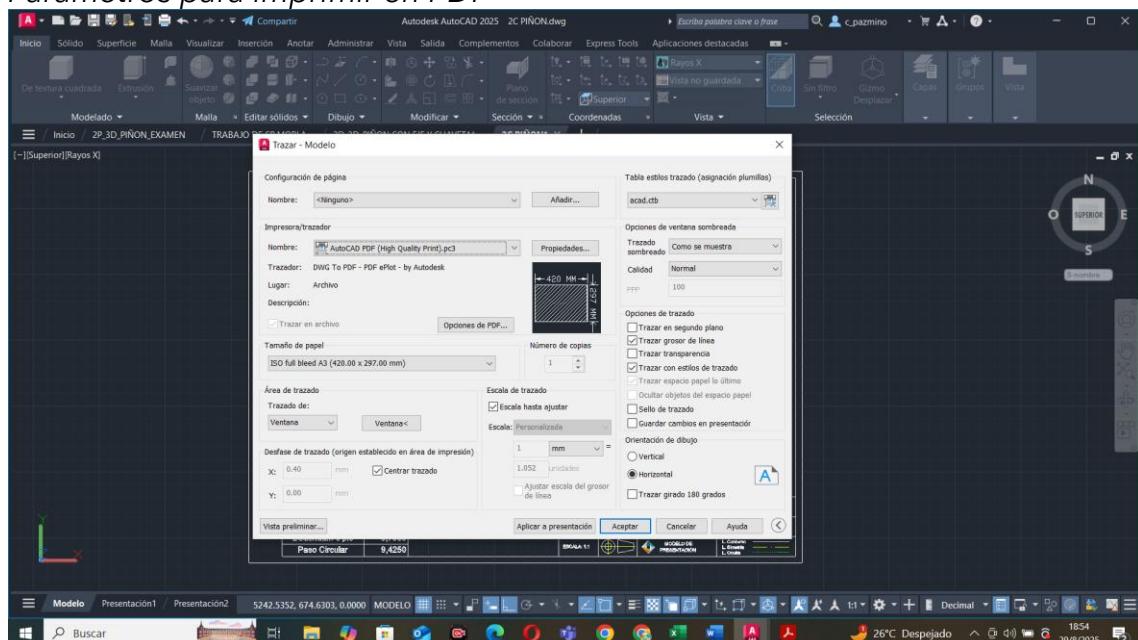
Parámetros - Trazar - Modelo en icono impresora



Nota, comprobar que el diseño no tenga errores antes de avanzar

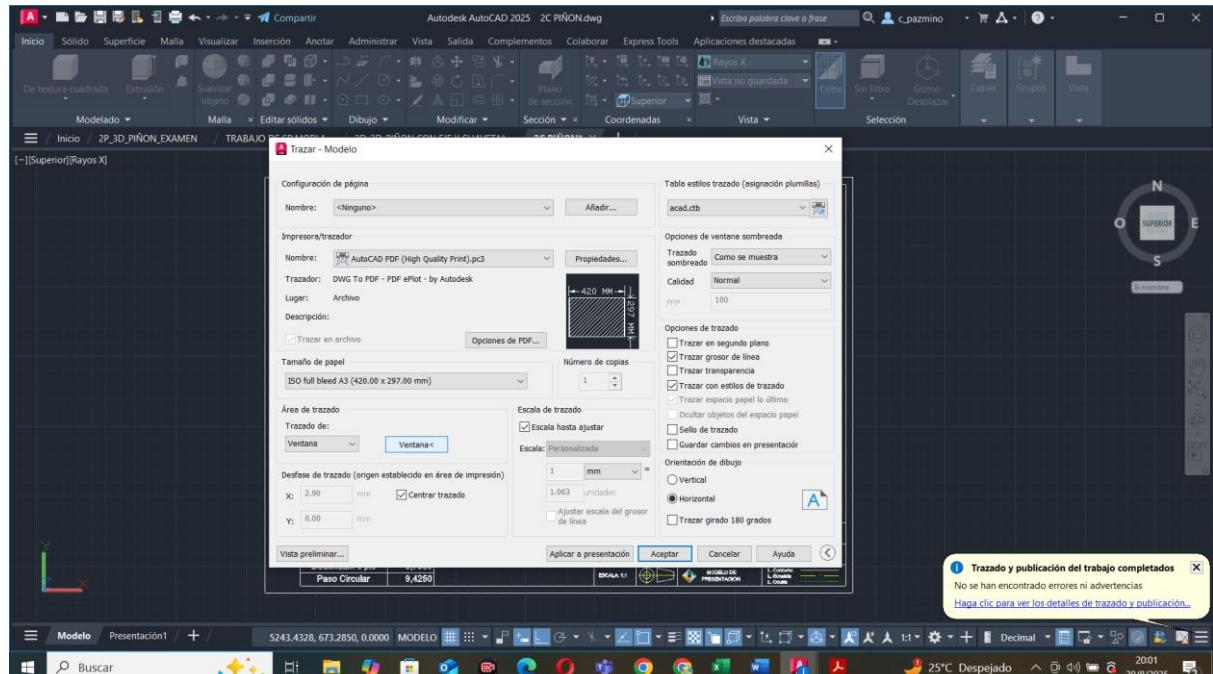
Figura 38

Parámetros para imprimir en PDF



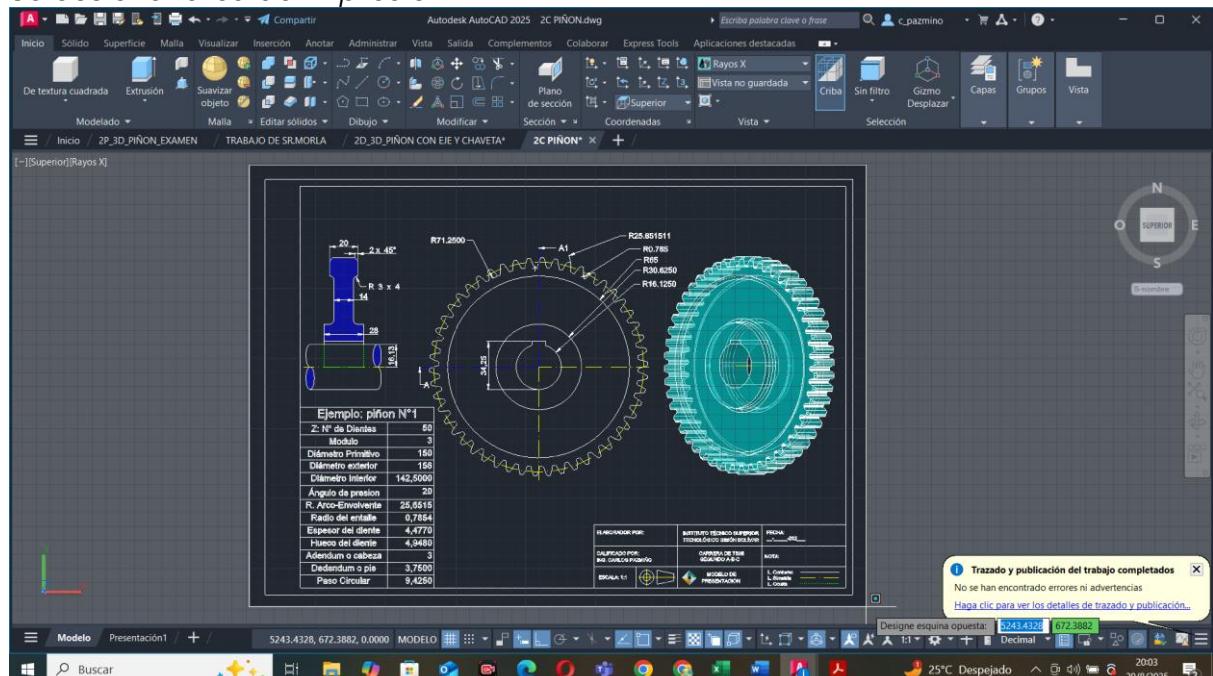
Nota, comprobar medidas del diseño y actualizar cada uno de los parámetros de la imagen 36

- Seleccionar el icono ventana como se muestra en la figura 39.

Figura 39*Selección de ícono ventana*

Nota, comprobar que todos los parámetros estén correctamente definidos.

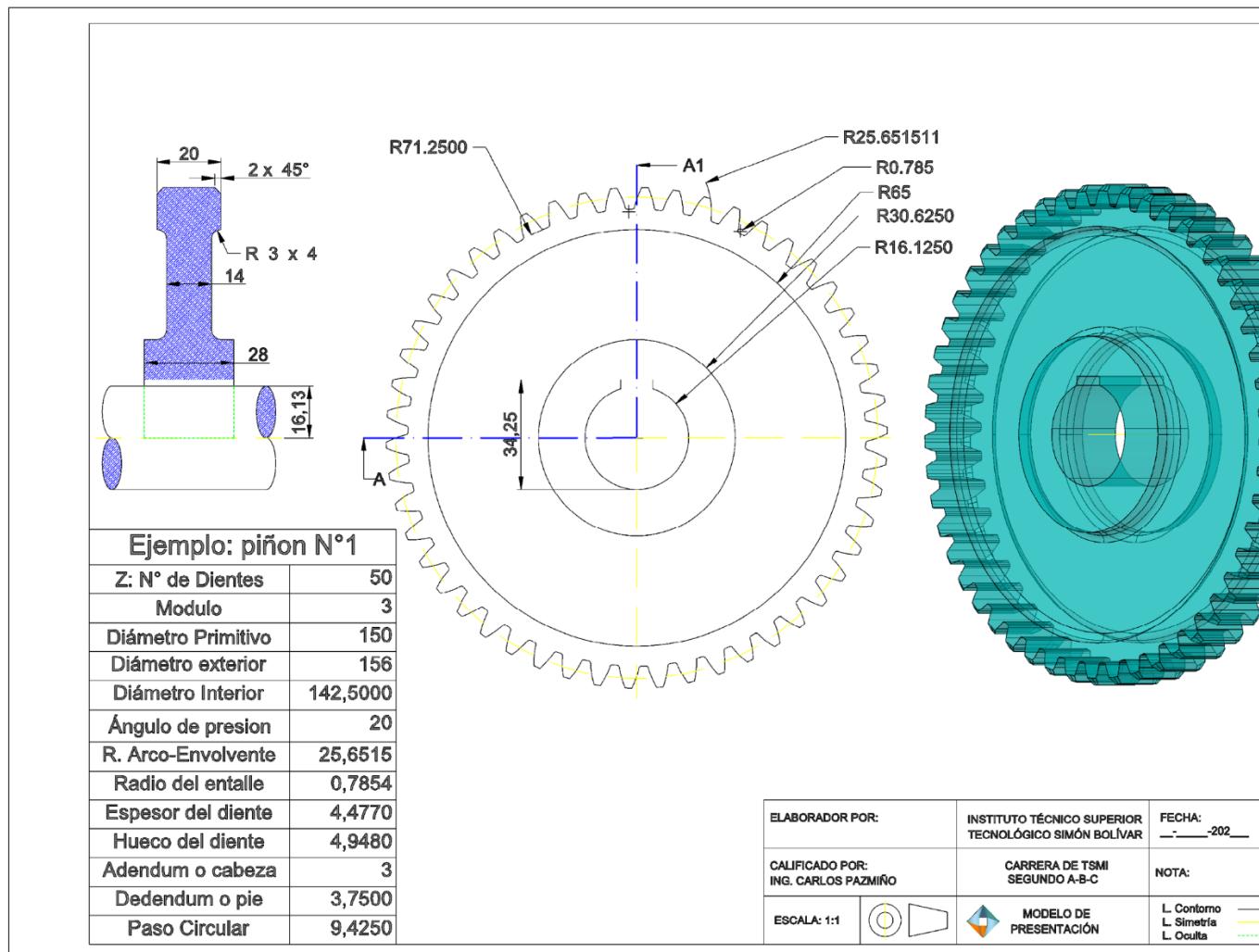
- Seleccionar el área de impresión, ver figura 40.

Figura 40*Seleccionar área de impresión*

Nota, comprobar que el plano a imprimir este totalmente en el interior del área seleccionada.

Figura 41

Modelo de presentación Guía N°3 terminada



7. Evaluación del aprendizaje.

7.1. Identifica la normativa INEN de dibujo mecánico y la aplica de manera adecuada. 15%.

7.2. Genera modelos con herramientas paramétricas mediante el uso de Software. 25%.

7.3. Ensambla mecanismos funcionales y ejecuta simulaciones apoyado con un programa CAD-CAE. 30%.

7.4. Genera planos con vistas normalizadas y su respectiva representación y acotación. 30%.

8. Recomendaciones.

Haga uso de los tutoriales Playlists completo clic - (ACC-GROUP-CONSORTIUM, 2023).

Practicar varias veces las instrucciones de las 3 guías perfeccionando la técnica.

Conservar copias de seguridad en distintas versiones del archivo.

Revisar las normas ISO y AGMA antes de aplicar el método a engranajes de uso real (Instituto Ecuatoriano de Normalización, 1987).

La generación de planos con vistas normalizadas y su respectiva representación y acotación contribuye al desarrollo de habilidades técnicas, favoreciendo el crecimiento de la inteligencia espacial y abstracta, lo que a su vez potencia el pensamiento crítico y la capacidad de resolución de problemas en el ámbito del diseño mecánico.

9. Tarea experimental y autónoma individual - GUIA N°3

Haciendo uso de la plantilla en Excel de "Cálculo de engranajes de dientes rectos", Continuar con el diseño de la Guia 1 + 2 y 3 - Diseño de un engranaje de 30 dientes con módulo $m = 2$ mm, diámetro primitivo $d = 60$ mm, y ángulo de presión estándar 20° , aplicando los pasos de la guía en AutoCAD - en la pestaña (b) Ancho de la cara de la hoja de Excel - verificar y aplicar los datos del ancho de la cara ($b = k \times m$), para la vista frontal y el uso de Extrusión - revolución.

Exportar el archivo en formato .DWG y entregar junto con un reporte en PDF.

Conclusión general del libro.

El diseño de engranajes de dientes rectos constituye un pilar fundamental en la ingeniería mecánica. A través de esta obra, se presenta una metodología progresiva que parte del diseño bidimensional del perfil del diente mediante el método del arco envolvente, avanza hacia la construcción de un sólido 3D y culmina con el diseño completo del engranaje.

La integración de fundamentos teóricos, procedimientos prácticos en AutoCAD y actividades de aprendizaje permite al estudiante comprender tanto la lógica geométrica como la aplicación real en la industria.

Este primer esfuerzo editorial busca convertirse en un recurso didáctico y técnico que inspire a nuevas generaciones de ingenieros y técnicos, fortaleciendo la enseñanza del diseño mecánico con herramientas modernas y rigurosas.

11. Bibliografía.

- A. L. CASILLAS. (s.f.). Maquinas Cálculo de taller.
<https://es.scribd.com/doc/74715435/A-L-Casillas-Maquinas-Calculos-De-Taller>
- ACC-GROUP-CONSORTIUM. (11 de mayo de 2023). Playlist Introducion AutoCAD. (I. C. Mgs., Ed.)
<https://www.youtube.com/watch?v=VE4h2JNcvPY&list=PLcGkozBE8hA3K0epzp7eMwn7KbVrAl85y>
- American Gear Manufacturers Association (AGMA). . (1988). Fundamental Rating Factors and Calculation Methods for Involute Spur and Helical Gear Teeth. <https://www.agma.org>
- American Gear Manufacturers Association (AGMA). (2015). Fundamental Rating Factors and Calculation Methods for Involute Spur and Helical Gear Teeth (ANSI/AGMA 2001-D04). <https://www.agma.org>
- Autodesk Inc. (2025). AutoCAD 2025. (A. Inc., Ed.)
<https://latinoamerica.autodesk.com>
- Autodesk. (2023). AutoCAD User Guide. Autodesk Inc.
<https://help.autodesk.com/view/ACD/2023/ENU/>
- Autodesk. Inc. (2025). (P. ©. Inc., Ed.)
https://latinoamerica.autodesk.com/?mktvar002=afc_latam_nmpi_ppc&AID=13955714&PID=8299320&gclid=31a537ef753314568ff351acdf a6d199&gclsrc=3p.ds&ds_rl=1232455&ds_rl=1232461&ds_rl=123389 6&&cjevent=31a537ef753

Budynas, R. G., & Nisbett, J. K. (2020). Diseño en ingeniería mecánica de Shigley (11.a ed.).

<https://bibliotecadigital.espol.edu.ec/library/publication/diseno-en-ingenieria-mecanica-de-shigley>

Castell Cebolla, C., & Santoro Recio, J. (2019). AutoCAD 2019. Curso práctico. (Ediciones de la U, Ed.) <https://uteca.unemi.edu.ec/info/autocad-2019-curso-practico-03403420>

Consejo profesional de arquitectura y urbanismo CPAU. (2019). CATALOGO

DE LA BIBLIOTECA CPAU.

<https://cpau.opac.com.ar/pergamo/opac.php?a=bsqSi&p=1&o=&trSi&multiple=AUTOCAD&op=and>

Gella Marín, R. M. (2016). Desarrollo de trayectorias para mecanizado y verificación de engranajes (Tesis doctoral, Universidad de Zaragoza). (R. Zaguán., Ed.) <https://zaguán.unizar.es/record/135010?ln=es>

Instituto Ecuatoriano de Normalización (INEN). (1989). Código de dibujo técnico-mecánico (CPE) INEN 003:1989).

<https://es.scribd.com/document/818583632/Codigo-de-dibujo-tecnico-mecanico-INEN-1-75>

Instituto Ecuatoriano de Normalización. (1987). Código de dibujo mecánico. <https://es.slideshare.net/slideshow/codigo-de-dibujo-tcnico-mecnico/234271426>

International Organization for Standardization (ISO). (2007). ISO 21771. (2007). Gears – Cylindrical involute gears and gear pairs. <https://cdn.standards.iteh.ai/samples/35989/c111016bffe54887b665e>

5ad4e57f241/ISO-21771-2007.pdf

International Organization for Standardization (ISO). (2016). ISO 6336-1: Calculation of load capacity of spur and helical gears.

<https://www.iso.org/standard/63819.html>

Norton, R. L. (2019). Diseño de maquinaria: síntesis y análisis de máquinas y mecanismos (6.a ed.). (Pearson., Ed.)

<https://bibliotecadigital.espol.edu.ec/library/publication/diseno-de-maquinaria-sintesis-y-analisis-de-maquinas-y-mecanismos-1631573745>

Anexos.

Anexo 1

Hoja de cálculo de Excel - parámetros técnicos

Datos de torta		MOTRIZ (1)	CONDUCIDA (1)	Carlos Pazmíño: Esta columna "G" solo debe de usarse cuando el ejercicio conste de un matrínio; es decir un piñón motriz + una rueda conducida en el mismo plano
Diámetro D	73,95		20	
Diámetro C	52,80		28	
Diámetro B (EJE)	34		3	
Ancho de la cuña (A)	10			
E = B + A/2	38			
(b) Ancho de la cara	Ver Formulas			
Longitud de la manzana	. = b + 10 mm			
		MOTRIZ (1)	CONDUCIDA (1)	
Dc	Distacia entre centros	(Dp + dp) / 2		42
Dp	Diametro Primitivo	Z * M		84,00
De	Diametro Exterior	Dp + 2 * M		90,00
Di	Diametro Interior	Dp - (Dedendum * 2) = Dp - (2,5 x m)		76,50
		< Angulo de presion		-7,5
		Seno 20° = (Re) / Rp		20
	Radio de Arco envolvente	Re = Seno 20° x (Dp ÷ 2) 0.34202014	14,364845880000000	0,0000000000
S	Espesor de diente	Pc * 19/40		4,477
r	Radio del entalle	(3,1416 * M) / 12		0,7854
Z	Numero de dientes		28	0
	< Angulo entre dientes	360° / N° Dientes	12,85714286	#DIV/0!
W	Hueco del diente	Pc * 21/40 = 3,1416 * M * 21/40	4,94802	4,94802
a	Addendum o Cabeza	Modulo	3	3
b	Dedendum o pie	1,25 * M	3,75	3,75
M	Modulo		3	3
Pc	Paso circular	3,1416 * M	9,425	9,425
Pc	Paso circular	S + W	9,425	9,425

Para mayor información:

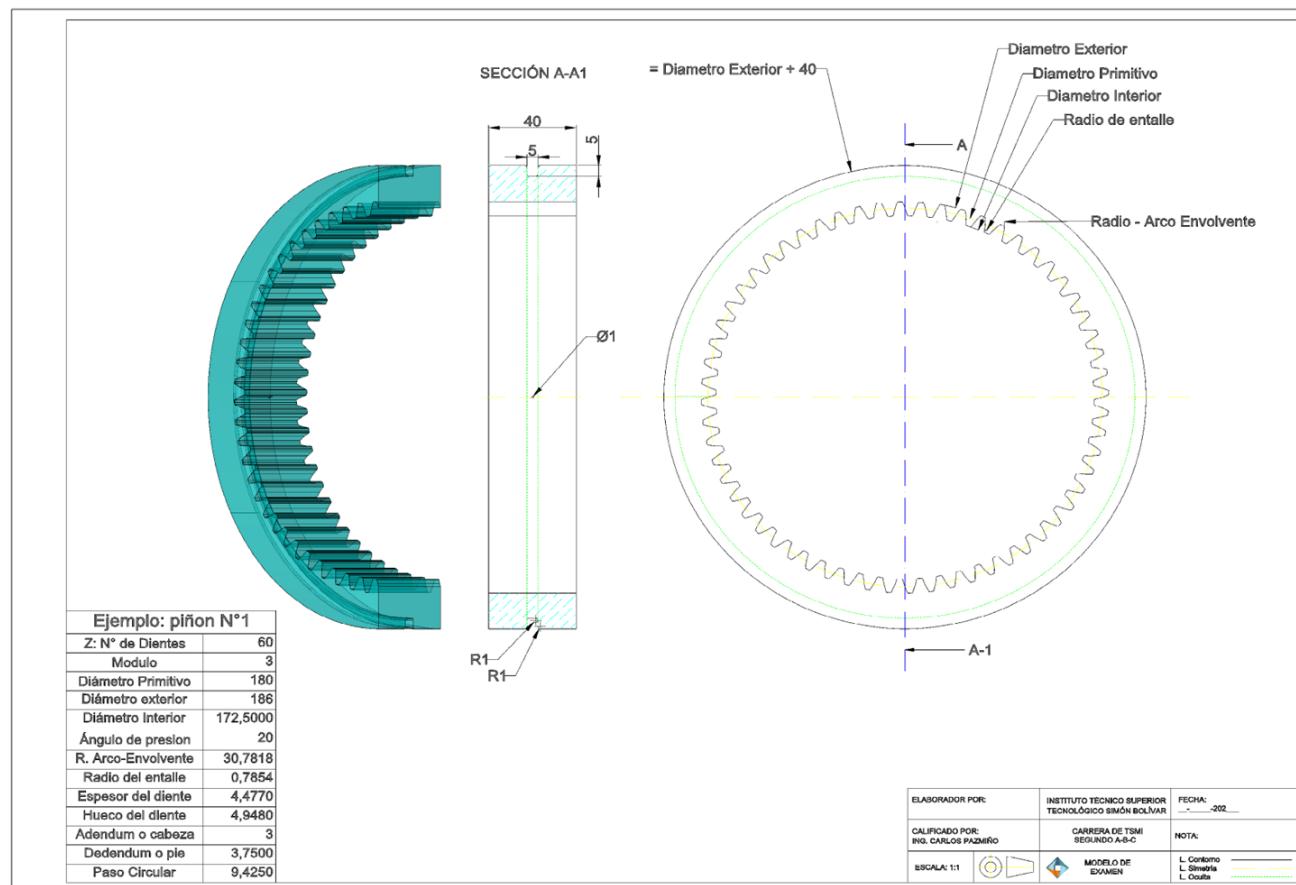
Casillas, A. L. (1998). Máquinas: Cálculos de Taller (92^a ed.). Ediciones Omega, tomado de.

<https://es.scribd.com/doc/74715435/A-L-Casillas-Maquinas-Calculos-De-Taller>.

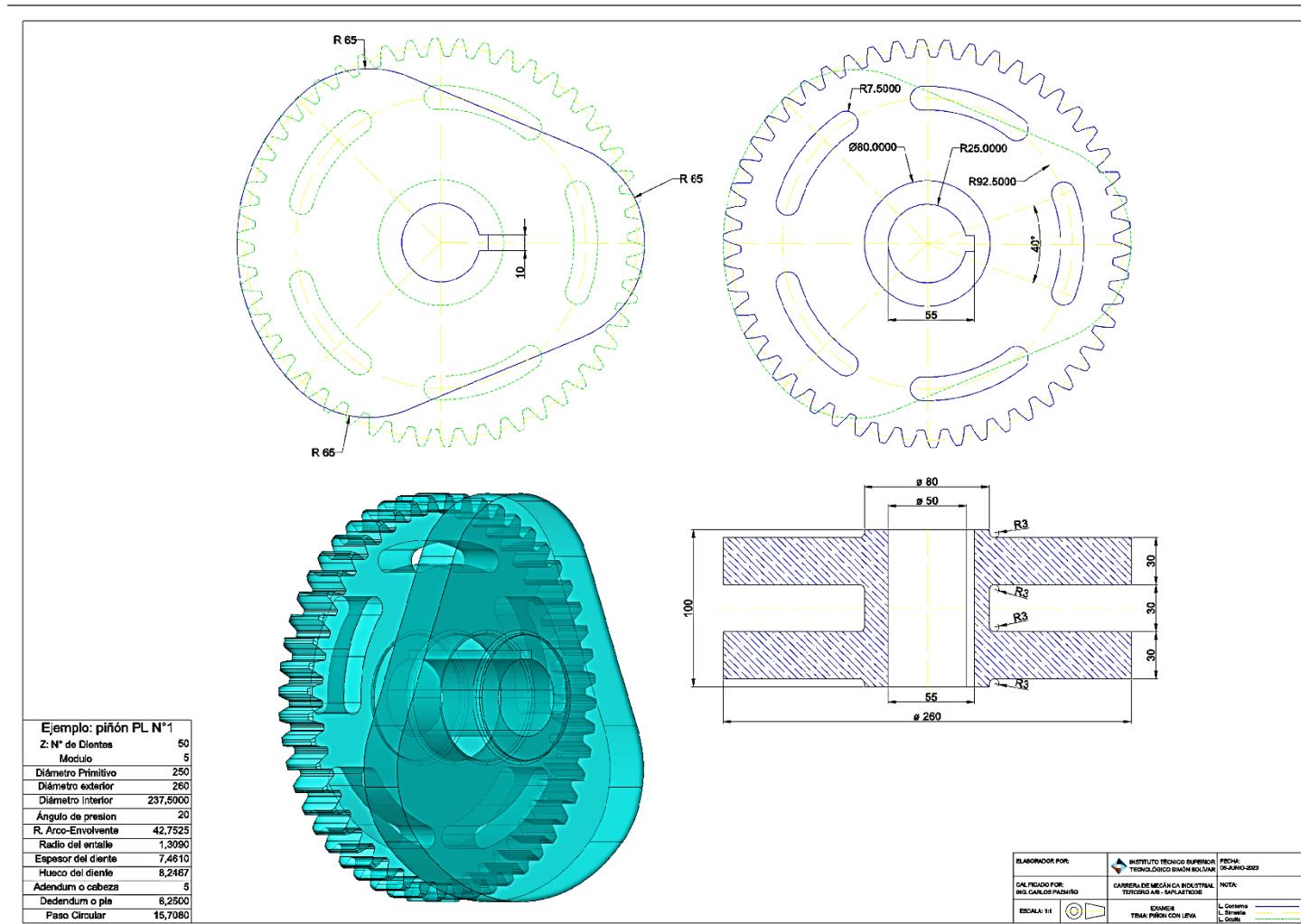
Nota. El Anexo 1 muestra la herramienta elaborada en hoja de cálculo de Excel, la cual permite calcular automáticamente todos los datos al ingresar el módulo y el número de dientes. Recuperado de [Google Drive](https://www.google.com/drive)

Anexo 2

Ejercicio 1-Corona dentada



Anexo 3



Ejercicio 2 - Piñón con leva

Anexo 4

Rúbrica de calificación de la práctica - Guía N°1

Criterio	Excelente (2.5 pts)	Bueno (2.0 pts)	Aceptable (1.5 pts)	Deficiente (1.0 pt)	Peso o Máx
Geometría base del diente (Paso 1)	Establece correctamente el diámetro primitivo, radios y puntos "X" y "Y" con total precisión. Construye con exactitud la sección del arco y perfil completo del diente (6 elementos), usando correctamente comandos CAD.	Construcción adecuada con leves imprecisiones.	Construcción con varios errores, pero mantiene coherencia general.	No logra establecer la geometría base ni puntos de referencia.	2.5
Perfil del diente y arco envolvente (Pasos 2 y 3)	Genera el engranaje con matriz polar exacta, número correcto de dientes y cierre preciso.	Construcción completa con pequeños errores en cortes o simetría.	Construcción parcial con errores en uniones o referencias.	No logra representar el perfil del diente de manera coherente.	2.5
Conformación del engranaje completo (Paso 4)	Entrega completa del engranaje de 60 dientes ($m = 3, d = 60 \text{ mm}$) en CAD y PDF, ordenado y bien presentado.	Engranaje completo con mínimos errores de cierre o número.	Engranaje incompleto o con fallas en matriz.	No logra conformar el engranaje completo.	2.5
Tarea experimental y presentación	Entrega correcta, aunque con detalles de orden o nomenclatura.	Entrega parcial o con errores importantes.	No entrega o entrega incompleta y desordenada.	2.5	

Nota. La tabla presenta la rúbrica de evaluación para la guía práctica y tarea experimental sobre el diseño técnico de un engranaje de dientes rectos mediante el método del arco envolvente. Los niveles de desempeño están ponderados de manera que la calificación máxima sea 10 puntos, distribuidos en cuatro criterios principales.

Anexo 5

Rúbrica de Evaluación - Guía Práctica N°2 y Tarea Experimental (3D)

Criterio	Excelente (2.5 pts)	Bueno (2.0 pts)	Aceptable (1.5 pts)	Deficiente (1.0 pt)	Peso o Máx
Diseño de la vista lateral (Paso 1)	Representa con precisión la silueta del piñón tomando correctamente los diámetros y espesores desde el eje central.	Silueta bien construida, con mínimos errores de dimensión o detalle.	Presenta la vista lateral incompleta o con varios errores en medidas.	No logra representar la vista lateral de manera coherente.	2.5
Aplicación de comandos Unir + Contorno (Paso 2)	Genera polilínea cerrada y contorno válido al 100%, sin errores.	Aplica los comandos correctamente con leves errores de cierre.	Logra un contorno parcial, con segmentos abiertos o inconsistentes.	No consigue generar un contorno válido.	2.5
Modelado 3D con Revolución (Paso 3)	Crea un sólido completo mediante revolución 360°, correctamente orientado al eje definido.	Realiza la revolución con éxito, pero con pequeños errores de selección o ángulo.	Revolución incompleta o con defectos de forma.	No logra generar el sólido en 3D.	2.5
Rotación y presentación del sólido (Paso 4 + tarea autónoma)	Rota el sólido en el eje Y con exactitud (90°), presenta el modelo final	Rota y presenta el sólido con detalles menores de	Presenta el sólido con errores de rotación o sin exportación completa.	No rota ni presenta el sólido de forma adecuada.	2.5

ordenado y documentado en CAD y render.

orientación o formato.

Nota. La tabla presenta la rúbrica de evaluación para la guía práctica y tarea experimental sobre el diseño técnico de una torta en 3D - previo diseño de entallado y engranaje de dientes rectos 3D.

Anexo 6

Rúbrica de calificación de la práctica - Guía N°3

Criterio	Excelente (2.5 pts)	Bueno (2.0 pts)	Aceptable (1.5 pts)	Deficiente (1.0 pt)	Peso Máx.
Geometría base del diente (Paso 1)	Establece correctamente el diámetro primitivo, radios y puntos "X" y "Y" con total precisión.	Construcción adecuada con leves imprecisiones.	Construcción con varios errores, pero mantiene coherencia general.	No logra establecer la geometría base ni puntos de referencia.	2.5
Perfil del diente y arco envolvente (Pasos 2 y 3)	Construye con exactitud la sección del arco y perfil completo del diente (6 elementos), usando correctamente comandos CAD.	Construcción completa con pequeños errores en cortes o simetría.	Construcción parcial con errores en uniones o referencias.	No logra representar el perfil del diente de manera coherente.	2.5
Conformación del engranaje completo (Paso 4)	Genera el engranaje con matriz polar exacta, número correcto de dientes y cierre preciso.	Engranaje completo con mínimos errores de cierre o número.	Engranaje incompleto o con fallas en matriz.	No logra conformar el engranaje completo.	2.5

**Tarea
experimental
autónoma y
presentación**

	Entrega completa del engranaje de 60 dientes ($m = 3, d = 60 \text{ mm}$) en CAD y PDF, ordenado y bien presentado.	Entrega correcta, aunque con detalles de orden o nomenclatura.	Entrega parcial o con errores importantes.	No entrega o entrega incompleta y desordenada.	2.5
--	---	--	--	--	-----

Nota. La tabla presenta la rúbrica de evaluación para la guía práctica y tarea experimental sobre el diseño técnico de un engranaje de dientes rectos mediante el método del arco envolvente. Los niveles de desempeño están ponderados de manera que la calificación máxima sea 10 puntos, distribuidos en cuatro criterios principales.

Anexo 7

Instrumento de recolección de datos para investigación pedagógica

Título del instrumento: Encuesta sobre aprendizaje y aplicación del diseño de engranajes de dientes rectos mediante el método del arco envolvente y modelado 3D

Objetivo del instrumento:

Recolectar información de los estudiantes sobre el proceso de aprendizaje, la utilidad de las guías prácticas y el desarrollo de competencias en diseño mecánico y uso de herramientas CAD, con el fin de generar datos para artículos científicos e innovaciones pedagógicas.

Población objetivo:

Estudiantes que utilicen las tres guías prácticas del libro en asignaturas de diseño mecánico o afines.

Metodología de aplicación:

Modalidad: Virtual (Google Forms) o impresa.

Momento de aplicación: Al finalizar las tres guías prácticas.

Tiempo estimado: 10 a 15 minutos.

Cuestionario:

Sección A. Datos generales

Edad:	<input type="checkbox"/> 10 - 15	<input type="checkbox"/> 16 - 20	<input type="checkbox"/> 21 - 25	<input type="checkbox"/> 26 - 30	<input type="checkbox"/> 31 - 35	<input type="checkbox"/> 36 - 40	<input type="checkbox"/> 41 - 45	<input type="checkbox"/> mayor a 46
-------	----------------------------------	----------------------------------	----------------------------------	----------------------------------	----------------------------------	----------------------------------	----------------------------------	-------------------------------------

Sexo:	<input type="checkbox"/> Femenino	<input type="checkbox"/> Masculino	<input type="checkbox"/> Prefiero no decirlo					
-------	-----------------------------------	------------------------------------	--	--	--	--	--	--

Ciclo o semestre que cursa:								
-----------------------------	--	--	--	--	--	--	--	--

Sexo:	<input type="checkbox"/> Femenino	<input type="checkbox"/> Masculino	<input type="checkbox"/> Prefiero no decirlo					
-------	-----------------------------------	------------------------------------	--	--	--	--	--	--

Experiencia previa en AutoCAD:	<input type="checkbox"/> Ninguna	<input type="checkbox"/> Básica	<input type="checkbox"/> Intermedia	<input type="checkbox"/> Avanzada					
--------------------------------	----------------------------------	---------------------------------	-------------------------------------	-----------------------------------	--	--	--	--	--

Sección B. Percepción sobre las guías prácticas

5. La claridad de las instrucciones fue:	<input type="checkbox"/> Excelente	<input type="checkbox"/> Buena	<input type="checkbox"/> Regular	<input type="checkbox"/> Deficiente					
--	------------------------------------	--------------------------------	----------------------------------	-------------------------------------	--	--	--	--	--

6. Los pasos explicados en cada guía me permitieron lograr los resultados esperados:	<input type="checkbox"/> Sí	<input type="checkbox"/> Parcialmente	<input type="checkbox"/> No						
--	-----------------------------	---------------------------------------	-----------------------------	--	--	--	--	--	--

7. ¿Cuál guía consideró más difícil? (marque una)

Guía N.º1: Diseño del perfil del diente

Guía N.º2: Diseño del sólido 3D

Guía N.º3: Diseño del engranaje completo

8. La aplicación de AutoCAD en estas prácticas mejoró mi comprensión del diseño mecánico:	<input type="checkbox"/> Sí	<input type="checkbox"/> No
Sección C. Impacto en el aprendizaje		
9. He desarrollado competencias en:		
<input type="checkbox"/> Diseño geométrico de engranajes		
<input type="checkbox"/> Modelado 3D en AutoCAD		
<input type="checkbox"/> Análisis crítico del diseño mecánico		
<input type="checkbox"/> Trabajo autónomo en proyectos de ingeniería		
10. Califique en una escala del 1 al 5 el nivel de innovación pedagógica que representa este libro.		
(1 = Nada innovador, 5 = Muy innovador).		
Sección D. Sugerencias del estudiante		
11. ¿Qué recomendaría para mejorar futuras versiones del libro?		
12. ¿Qué otros temas de diseño mecánico le gustarían ver en nuevas guías o libros? _____		

Anexo 7. Instrumento de recolección de datos para la evaluación del aprendizaje y la innovación pedagógica en el diseño de engranajes de dientes rectos. Fuente: Elaboración propia (2025)

Anexo 8

Tabla para reporte de resultados de la encuesta sobre aprendizaje y aplicación del diseño de engranajes de dientes rectos

Sección	Pregunta	Opciones de respuesta	Resultados (n)	Porcentaje (%)
A. Datos generales	Edad	10-15 / 16-20 / 21-25 / ... Femenino /		
A. Datos generales	Sexo	Masculino / Prefiero no decirlo		
A. Datos generales	Experiencia previa en AutoCAD	Ninguna / Básica / Intermedia / Avanzada		
B. Percepción	Claridad de las instrucciones	Excelente / Buena / Regular / Deficiente		
B. Percepción	Pasos permitieron lograr resultados	Sí / Parcialmente / No		
B. Percepción	Guía más difícil	Guía 1 / Guía 2 / Guía 3		
B. Percepción	AutoCAD mejoró comprensión	Sí / No		
C. Impacto	Competencias desarrolladas	(selección múltiple)		
C. Impacto	Nivel de innovación pedagógica (1-5)	Escala Likert		
D. Sugerencias	Recomendaciones	Respuesta abierta	–	–
D. Sugerencias	Nuevos temas de interés	Respuesta abierta	–	–

Anexo 8. Tabla de resultados de la encuesta aplicada a estudiantes sobre aprendizaje y aplicación del diseño de engranajes de dientes rectos mediante el método del arco envolvente y modelado 3D. Fuente: Elaboración propia (2025).

Reseña del libro.

El Diseño Mecánico de Engranajes de Dientes Rectos: Método del Arco Envolvente y Modelado 3D constituye una propuesta didáctica e innovadora orientada a estudiantes, docentes y profesionales de la mecánica industrial. A través de tres guías prácticas estructuradas progresivamente, el lector aprenderá a:

- Diseñar el perfil de un diente recto mediante el método del arco envolvente.
- Construir un sólido 3D como base para el entallado de engranajes.
- Integrar ambos procesos para obtener un engranaje completo con representación técnica y vistas normalizadas.

Cada capítulo incluye fundamentos teóricos, procedimientos paso a paso en AutoCAD, normas de seguridad, rúbricas de evaluación y anexos visuales que garantizan la aplicabilidad en entornos de aprendizaje y en la práctica profesional.

Este libro no solo transmite conocimiento técnico, sino que también fomenta el desarrollo de la inteligencia espacial y abstracta, el pensamiento crítico y la resolución de problemas, competencias esenciales en la formación de un tecnólogo o ingeniero mecánico.

Mensaje de los autores.

La acumulación de experiencias a lo largo de más de veinte años en la industria, unida a la vocación por la enseñanza y la formación profesional, ha constituido el pilar fundamental de esta obra. Cada paso recorrido en talleres, aulas y laboratorios se ha transformado en aprendizaje vivo, en conocimiento práctico y en reflexión crítica.

Este libro nace del deseo compartido de plasmar e inmortalizar ese bagaje del saber, no solo como un testimonio de la práctica profesional, sino como un legado para las nuevas generaciones de tecnólogos e ingenieros mecánicos. Con él, buscamos tender un puente entre la experiencia acumulada y la innovación pedagógica, contribuyendo a que los estudiantes desarrollen competencias técnicas, pensamiento crítico y la pasión por el diseño mecánico que ha marcado nuestras propias trayectorias.

ISBN: 978-9942-53-128-5



9 789942 531285

A standard 1D barcode representing the ISBN 978-9942-53-128-5. The barcode is composed of vertical black lines of varying widths on a white background. Below the barcode, the numbers 9 789942 531285 are printed in a small, black, sans-serif font.

Compás
capacitación e investigación