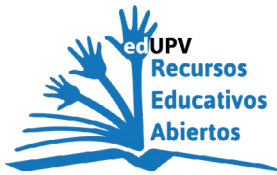


Alejandro Rodríguez Ortega
Sandra Munera Picazo
Isabel Seguí Verdú
Francisco Albert Gil
Nuria Aleixos Borrás

Modelado con Inventor

Del boceto al modelo



http://tiny.cc/edUPV_rea

Colección Académica http://tiny.cc/edUPV_aca

Para referenciar esta publicación utilice la siguiente cita:

Rodríguez Ortega, Alejandro; Munera Picazo, Sandra; Seguí Verdú, Isabel; Albert Gil, Francisco; Aleixos Borrás, Nuria (2025). *Modelado con Inventor. Del boceto al modelo*. edUPV. <https://doi.org/10.4995/REA.2025.610302>

Autoría

Alejandro Rodríguez Ortega
Sandra Munera Picazo
Isabel Seguí Verdú
Francisco Albert Gil
Nuria Aleixos Borrás

Edición

2025, edUPV
Ref.: 6103_02_01_01

© de los textos y las imágenes: sus autores

ISBN: 978-84-1396-367-9

DOI: <https://doi.org/10.4995/REA.2025.610302>

Si el lector detecta algún error en el libro o bien quiere contactar con los autores, puede enviar un correo a edicion@editorial.upv.es



Modelado con Inventor. Del boceto al modelo / edUPV

Se permite la reutilización de los contenidos mediante la copia, distribución, exhibición y representación de la obra, así como la generación de obras derivadas siempre que se reconozca la autoría y se cite con la información bibliográfica completa. No se permite el uso comercial y las obras derivadas deberán distribuirse bajo la misma licencia que regula la obra original.

Autores

Alejandro Rodríguez Ortega

Profesor del Departamento de Ingeniería Gráfica de la UPV. Imparte asignaturas de Expresión Gráfica, Ingeniería Gráfica, Realidad Virtual y Diseño Gráfico. Su investigación se centra en el desarrollo de soluciones basadas en visión por computador, fotogrametría y tecnologías LiDAR, así como en el análisis de imágenes médicas y agroalimentarias. También trabaja en el diseño de herramientas computacionales aplicadas al aprendizaje automático y al tratamiento de imágenes hiperespectrales. Es autor de 20 publicaciones en revistas científicas JCR, 5 capítulos de libro y más de 40 contribuciones en congresos nacionales e internacionales.

Sandra Munera Picazo

Profesora del Departamento de Ingeniería Gráfica de la UPV, donde desarrolla su labor docente en el ámbito de la expresión gráfica aplicada a la ingeniería. Su actividad investigadora se centra en el área de la Agroingeniería, con especial interés en la aplicación de tecnologías ópticas, entre las que destacan la imagen hiperespectral y la espectroscopia, para la evaluación no destructiva de la calidad de productos agroalimentarios. Ha participado en 4 proyectos de investigación de ámbito nacional y en múltiples contratos con empresas. Es autora de 26 artículos científicos publicados en revistas JCR, 5 capítulos de libro, 10 artículos de divulgación y más de 50 contribuciones en congresos nacionales e internacionales.

Isabel Seguí Verdú

Profesora Asociada del Departamento de Ingeniería Gráfica de la UPV, con más de 25 años de experiencia profesional en el sector tecnológico, liderando proyectos de desarrollo digital, gestión de infraestructuras e innovación industrial en empresas como IBM, Vodafone, ONO, Sothis y Tissat. Doctora en Ingeniería por la UPV, imparte docencia en titulaciones de grado en asignaturas de Expresión Gráfica, empleando metodologías activas y herramientas CAD. Es autora de varios apuntes docentes y ha presentado ponencias en congresos nacionales e internacionales sobre innovación educativa y tecnologías aplicadas a la enseñanza. Su investigación se centra en el diseño ergonómico de tecnologías asistidas, interfaces hombre-máquina, inteligencia artificial aplicada y percepción del usuario, participando en proyectos de investigación competitivos y programas institucionales de acompañamiento al estudiantado.

Francisco Albert Gil

Profesor del Departamento de Ingeniería Gráfica en la UPV. Experiencia docente desde 2003, en Expresión Gráfica, Ingeniería Gráfica, CAD y Presentación de producto. Sus líneas de investigación se centran en Reconocimiento de bocetos e interfaces naturales, Desarrollo de habilidades espaciales mediante nuevas tecnologías, Visión por computador, Análisis de imagen, Reconocimiento de patrones y Grupos de simetría. Ha participado como investigador en 9 proyectos financiados en convocatorias públicas, cuenta con más de 20 publicaciones en revistas indexadas en JCR y dos Registros de la Propiedad Intelectual derivados de la Investigación. Ha dirigido más de 40 proyectos de fin de grado y máster.

Nuria Aleixos Borrás

Catedrática de Universidad en el Departamento de Ingeniería Gráfica de la UPV, con más de 25 años de experiencia en docencia universitaria en las áreas de Expresión Gráfica, Ingeniería Gráfica, Aplicaciones industriales del modelado de sólidos y CAD. Con seis proyectos del plan nacional y uno de cooperación internacional como investigadora principal, su actividad investigadora se centra en el desarrollo de sistemas de visión artificial para la inspección en línea de productos hortofrutícolas, sistemas de imagen hiperespectral, agricultura de precisión mediante LiDAR y Fotogrametría, interfaces naturales y calidad en modelos CAD. Cuenta con más de 50 publicaciones en revistas indexadas en JCR, 10 capítulos de libro de alcance internacional, tres patentes y dos registros de software, y más de 100 contribuciones en congresos nacionales e internacionales.

Resumen

Modelado con Inventor, del boceto al modelo es una guía clara y estructurada para aprender a crear modelos 3D de calidad con Autodesk Inventor 2025. Más que un simple manual de software, este libro enfatiza las buenas prácticas y la intención de diseño, fundamentales para obtener modelos eficientes, fáciles de modificar y adaptables a nuevas necesidades.

A lo largo de siete capítulos, presenta el entorno de trabajo y un flujo de modelado recomendado, profundiza en la creación de bocetos y operaciones de modelado —desde extrusiones y revoluciones hasta bobinas, barridos o mezclas de secciones— y aborda operaciones de acabado, copias, patrones y herramientas de trabajo esenciales.

Incluye además una rúbrica para autoevaluar el aprendizaje y un conjunto de piezas propuestas para practicar, convirtiéndolo en un recurso valioso tanto para estudiantes de ingeniería como para profesionales que buscan perfeccionar sus competencias en modelado 3D.

Prólogo

En el contexto actual de la ingeniería y el diseño, la capacidad de convertir ideas en modelos 3D de calidad se ha convertido en una competencia fundamental. Este libro no pretende ser solo un manual de Autodesk Inventor, sino una guía clara y bien estructurada orientada tanto para estudiantes de ingeniería como a profesionales del diseño. Aquí no solo se aprende a cómo modelar, sino a comprender por qué cada decisión de diseño importa. A lo largo del libro, se descubren buenas prácticas, lógica e intención de diseño, conceptos a menudo ausentes en la mayoría de los tutoriales. Porque no se trata solo de crear modelos, sino de crear diseños eficientes, fáciles de modificar y versátiles a nuevas necesidades. Basado en la versión Autodesk Inventor 2025, este manual pretende proporcionar el conocimiento para sacarle el máximo partido al proceso de modelado, transformando la forma de trabajar.

Índice

1. Entorno de la aplicación y flujo de trabajo.....	1
1.1. Creación de un archivo de pieza.....	1
1.2. Entorno y personalización	2
1.3. Flujo de trabajo genérico para la creación de piezas.....	3
2. Bocetos.....	5
2.1. Dibujo del boceto	5
2.2. Restricciones del boceto.....	6
2.2.1. Restricciones de alineación	9
2.2.2. Restricción de simetría. Proyección de ejes y planos	11
2.2.3. Restricción de tangencia	14
3. Operaciones de creación	15
3.1. Extrusión.....	15
3.1.1. Bocetos avanzados	23
3.1.2. Buenas prácticas	27
3.2. Revolución	31
3.2.1. Buenas prácticas	32
3.3. Solevación.....	39
3.4. Barrido.....	43
3.5. Bobina	47
3.6. Nervio	50
3.7. Modificación de bocetos y operaciones	55
4. Operaciones de modificación	57
4.1. Agujeros.....	59
4.1.1. Visualización del interior del modelo.....	63
4.2. Chaflanes.....	64
4.3. Empalmes o redondeos	65

4.4. Vaciado.....	66
4.5. Rosca.....	69
4.6. Buenas prácticas en operaciones de modificación.....	70
5. Operaciones de copia	73
5.1. Simetría.....	73
5.2. Patrones	75
5.2.1. Rectangular	75
5.2.2. Circular	76
6. Operaciones de trabajo.....	79
6.1. Planos inclinados y planos desfasados.....	80
6.1.1. Terminaciones “Hasta” y “Siguiete”	86
6.2. Plano normal a eje a través de punto	88
6.3. Planos tangentes a superficies	90
7. Rúbrica para comprobar la calidad de los modelos.....	93
8. Creando modelos	95

Entorno de la aplicación y flujo de trabajo

1.1. Creación de un archivo de pieza

Para acceder al entorno de modelado de Autodesk Inventor se deberá crear un nuevo archivo de pieza de cualquiera de las múltiples formas que permite Inventor (Figura 1.1).

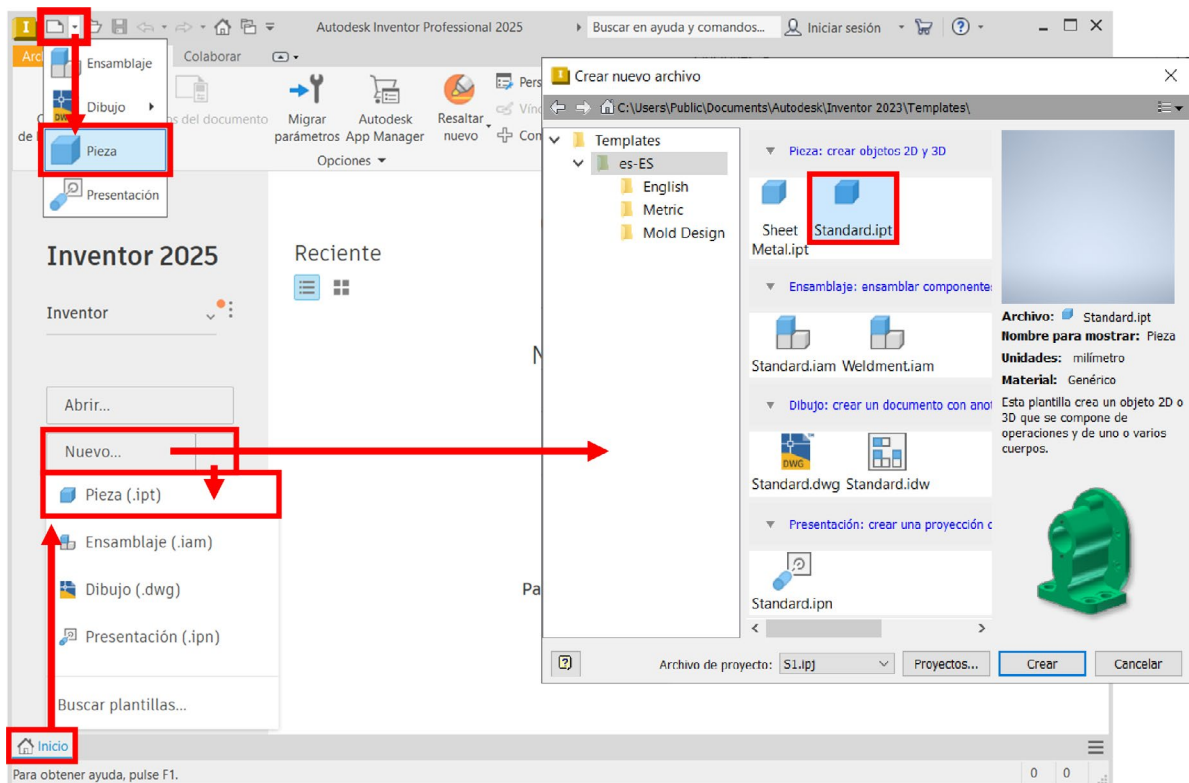


Figura 1.1. Creación de nuevo archivo.

1.2. Entorno y personalización

Una vez creado el nuevo archivo, aparecerá en la parte superior la cinta de opciones con las pestañas de herramientas. A la izquierda, el árbol del modelo o *Navegador*, con los elementos del sistema de referencia (planos, ejes y origen) y, posteriormente, se irán añadiendo las operaciones de modelado que se vayan realizando. A la derecha, estará el cubo de vistas y las diferentes herramientas para visualizar el modelo en la ventana gráfica. Cada archivo abierto tendrá una pestaña en la parte inferior. Todo ello puede verse en la Figura 1.2.

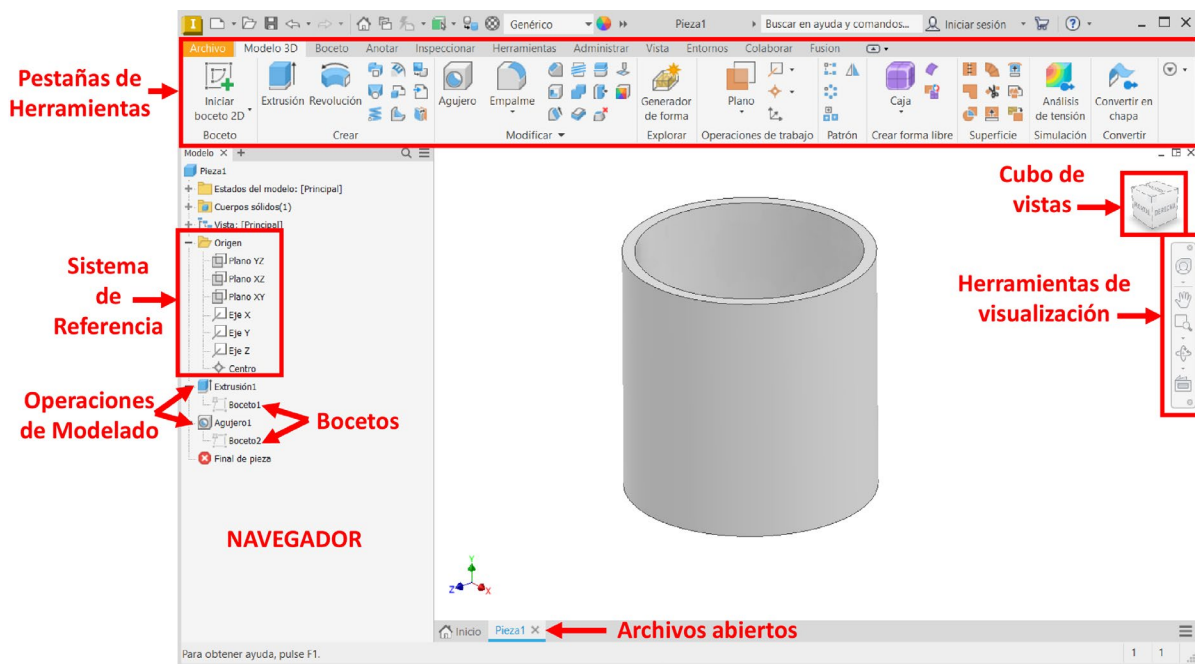


Figura 1.2. Entorno de la aplicación.

En la pestaña *Vista*, se puede personalizar el entorno (Figura 1.3), permitiendo activar o desactivar la visualización de determinadas herramientas.

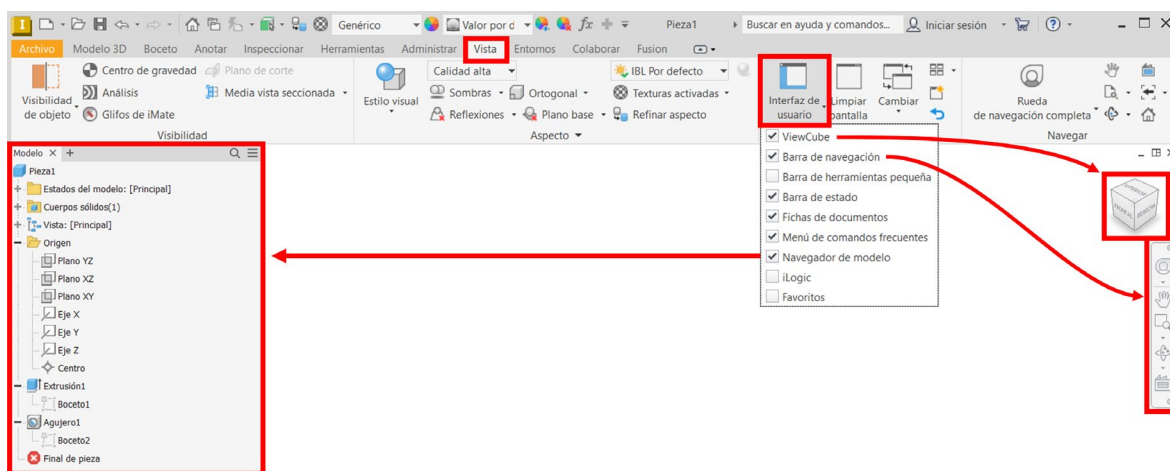


Figura 1.3. Personalización del entorno.

Para moverse por el espacio del modelo (desplazar, girar, zoom) se emplean las herramientas de navegación y la rueda del ratón:



Figura 1.4. Herramientas de navegación.

1.3. Flujo de trabajo genérico para la creación de piezas

El flujo de trabajo habitual para generar piezas es el siguiente (Figura 1.5):

Iniciar (crear) boceto 2D y seleccionar el plano para el boceto.

Realizar (dibujar, restringir y acotar) el boceto 2D.

Realizar la operación de modelado 3D (añadir o quitar "material").

Repetir el ciclo (volver al paso 1).

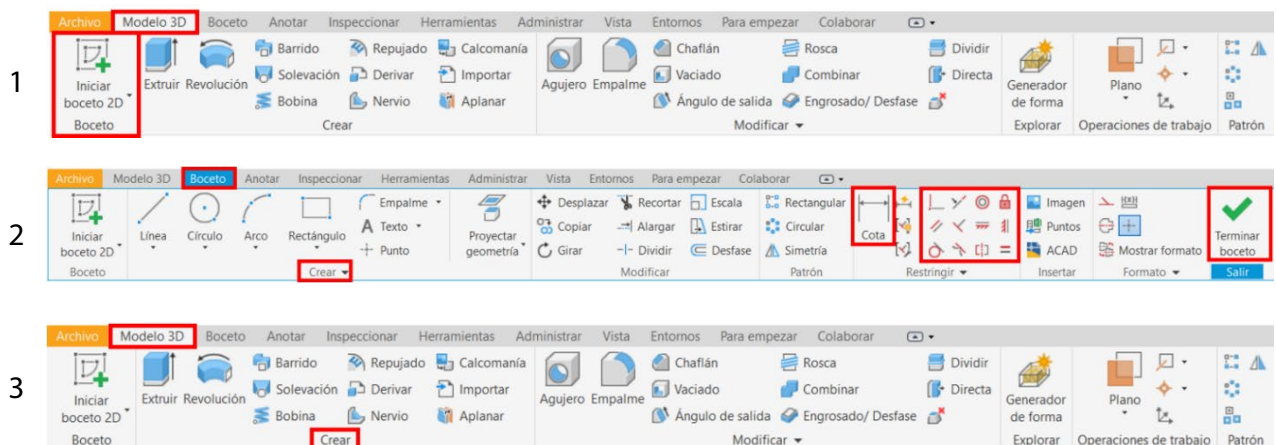


Figura 1.5. Flujo de trabajo para generar piezas.

En algunas operaciones de modelado sencillas no es necesario crear un boceto, mientras que en algunas operaciones complejas (fuera del alcance de este libro) se debe crear más de un boceto.

2

Bocetos

2.1. Dibujo del boceto

Para crear el boceto inicial, se debe pulsar la opción *Iniciar boceto 2D* y, a continuación, seleccionar el plano del sistema de referencia en el que se va a dibujar (los planos se muestran en la ventana gráfica al pulsar *Iniciar boceto 2D* al empezar el modelado de una pieza, y están siempre en la carpeta *Origen* del *Navegador*) (Figura 2.1). El plano del boceto se coloca paralelo a la pantalla para visualizarlo en verdadera magnitud.

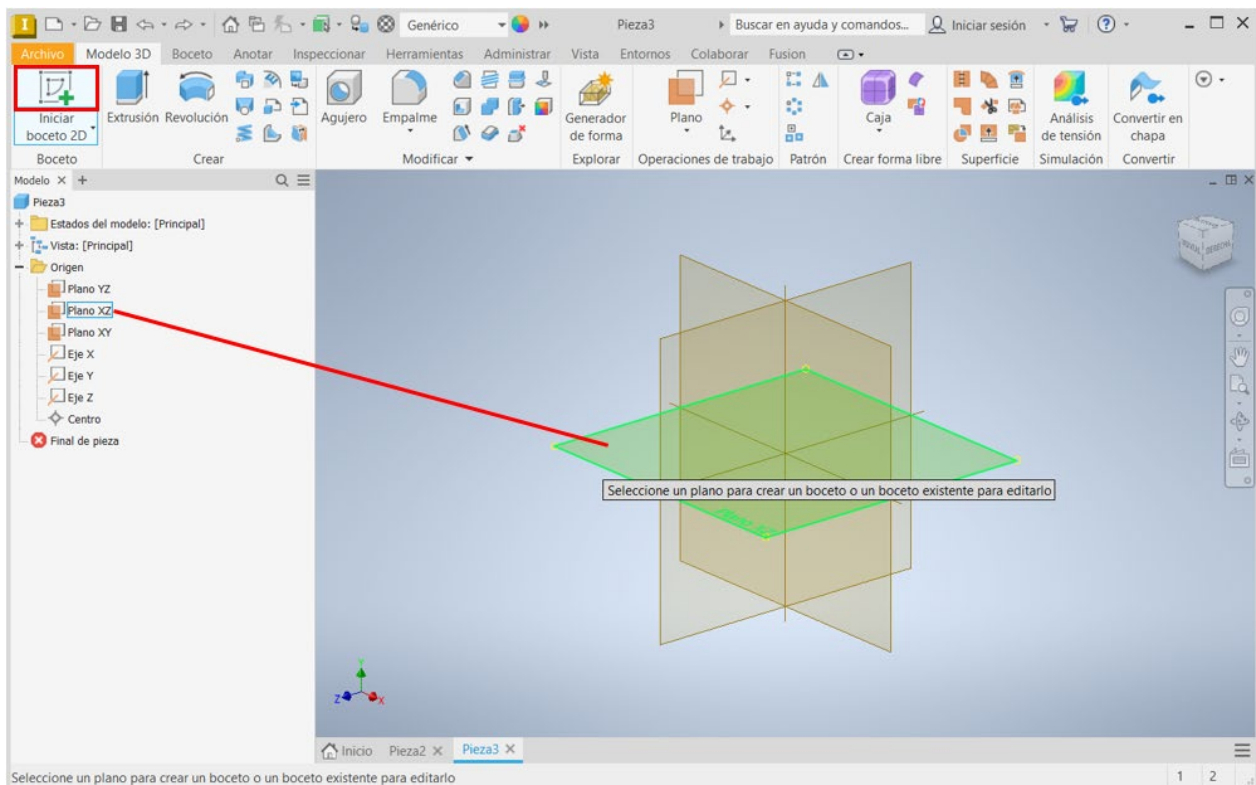


Figura 2.1. Selección del plano del boceto.



Es muy importante seleccionar el plano del boceto inicial correctamente para que la pieza quede correctamente orientada (tal como está en los planos dados para modelarla).

Una vez seleccionado el plano en el que se realizará el boceto, se entra en el modo *Boceto* y la cinta de opciones pasa a la pestaña *Boceto*, donde se muestran todas las herramientas para bocetar (Figura 2.2). Las entidades básicas para dibujar bocetos son la *Línea recta*, el *Círculo* y el *Rectángulo*.

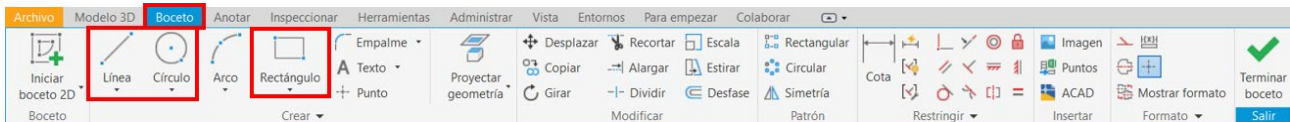


Figura 2.2. Principales herramientas de bocetado.

Dentro del modo *Boceto*, hay que saber que:

- Al pulsar ESC se suelta la herramienta actual (ya sea de dibujo, modificación, acotación, restricción, etc.) y se pasa a la herramienta de selección.
- Formas de seleccionar:
 - Pulsar sobre una entidad (*Recta*, *Círculo*, *Arco*...) una a una.
 - Pulsar en espacio vacío y arrastrar sin soltar de izquierda a derecha: selecciona las entidades que estén completamente dentro.
 - Pulsar en espacio vacío y arrastrar sin soltar de derecha a izquierda: selecciona las entidades que estén completa o parcialmente dentro.
 - Si se mantiene pulsada la tecla MAYUS (con cualquiera de las tres formas anteriores de seleccionar), se añade o se quita a la selección.
- Se pueden borrar las entidades seleccionadas con la tecla SUPR.

La opción *Terminar boceto* pasa al modo *Modelo 3D* (Figura 2.3).

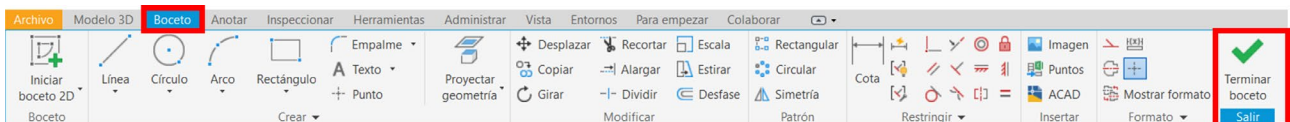











Figura 2.3. Pestaña de *Terminar boceto* para comenzar a modelar.

2.2. Restricciones del boceto

Existen dos tipos de restricciones: las geométricas y las dimensionales.

- **Restricciones geométricas:** permiten definir posiciones y orientaciones relativas entre las entidades del boceto, de forma que permanecen invariantes ante cualquier eventual modificación. Por ejemplo, cuando una línea es paralela o perpendicular a otra, esta

relación permanecerá invariante siempre, a menos que explícitamente se quiera romper esta relación.

- **Coincidencia**  : alinea un punto con un segmento de otra geometría.
- **Colineal**  : sitúa en la misma línea dos segmentos.
- **Concéntrica**  : hace que dos círculos tengan el mismo centro.
- **Paralela**  : hace que dos segmentos sean paralelos entre sí.
- **Perpendicular**  : hace que dos segmentos formen ángulos rectos entre sí.
- **Horizontal y vertical**  : obliga a líneas a situarse paralelos al eje X o al Y, respectivamente.
- **Tangente**  : restringe curvas para que sean tangentes a otras.
- **Simétrico**  : restringe líneas para que sean simétricas con respecto a una línea designada.
- **Igualdad**  : hace que rectas o círculos tengan el mismo tamaño.
- **Restricciones dimensionales o cotas:** se utilizan para controlar el tamaño y la posición de los elementos en el boceto. Las cotas no se deben utilizar en sustitución de restricciones geométricas, esto es, si alguna entidad del boceto coincide con otra en un punto, no se debe usar una cota de 0 entre ellas, sino una restricción de *Coincidencia*. Por otro lado, si dos rectas son perpendiculares entre sí, deberá usarse la restricción geométrica de *Perpendicularidad* en lugar de la cota de 90°.

En Inventor no existen diferentes herramientas para cotas lineales, angulares, radios... sino que existe una herramienta "para todo" que acota en función de las entidades seleccionadas. En caso de que existan varias posibilidades (por ejemplo, radios y diámetros en arcos o círculos, o cotas vertical, horizontal o alineada en segmentos de recta) se puede elegir el tipo de cota deseado pulsando el botón derecho antes de confirmar dónde se quiera colocar la cota, apareciendo un menú contextual junto al puntero que permitirá elegir el tipo de cota.

Una vez colocada la cota deseada, es posible modificar su posición con la herramienta de selección.

En la Figura 2.4 se muestra la ubicación de la herramienta de acotación y de las restricciones.

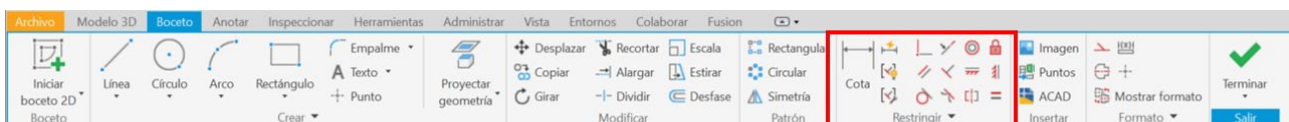


Figura 2.4. Herramientas de acotación y restricción dentro de *Boceto*.

Cada entidad que se dibuja añade grados de libertad (gdl) (cada grado de libertad se puede considerar como una "posibilidad" de movimiento):

- Punto: 2 gdl (los grados de libertad son las coordenadas del punto. Por ejemplo, si un punto está en el plano XY, se puede desplazar en la dirección del eje X y/o en la dirección del eje Y).
- Recta: 4 gdl (que podrían ser tanto las coordenadas de los dos puntos como las coordenadas de uno de ellos con la longitud y ángulo del segmento que une ambos puntos).
- Círculo: 3 gdl (las coordenadas del centro del círculo + el diámetro o el radio).

El número de grados de libertad se muestra en la parte inferior derecha de la ventana como "x cotas necesarias" (Figura 2.5).

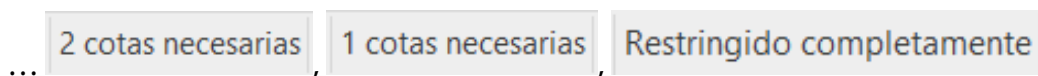


Figura 2.5. Grados de libertad mostrados.

Cada vez que se aplican restricciones o se añaden cotas se reducen los grados de libertad. Algunas restricciones se pueden añadir automáticamente, por ejemplo, al dibujar una recta en dirección cercana a la horizontal, la vertical, la paralela o la perpendicular a otra recta.

El objetivo es que los bocetos queden restringidos completa y correctamente. Para que la restricción sea correcta, es fundamental seguir el esquema de acotación de la pieza:

- Se deben emplear solo las cotas indicadas en la definición de la pieza.
- Cada cota se debe emplear solo una vez.
- No se deben emplear cotas para sustituir a restricciones.
- Si se cambian valores de cotas se deben mantener paralelismo, tangencia, simetría...

Se puede activar o desactivar la visualización de todas las restricciones con las teclas F8 y F9, respectivamente, o desde uno de los botones situados en la parte inferior de la ventana en modo boceto (Figura 2.6). Las restricciones se pueden seleccionar y suprimir como cualquier entidad de dibujo.



Figura 2.6. Visualización de las restricciones en el boceto.

2.2.1. Restricciones de alineación

En el ejemplo siguiente se muestra cómo realizar un boceto totalmente restringido con un rectángulo con un semicírculo centrado en el lado superior (Figura 2.7). En él se verá cómo la edición del dibujo provoca la pérdida de restricciones que habrá que restablecer:

1. *Dibujar y Acotar* las dos entidades necesarias (el círculo con radio). Aunque se debe situar el origen centrado en el lado inferior, debido a que no es necesario para lo que se pretende mostrar en este ejemplo y simplificarlo, se ha situado el origen en la esquina inferior izquierda del rectángulo (punto rojo). El boceto está totalmente restringido, pero presenta más de un contorno y hay que recortar las partes sobrantes.
2. Al *Recortar* entidades se pierden referencias empleadas en las restricciones y hay 3 gdl.
3. Moviendo entidades con el ratón se ve qué restricciones faltan: las alineaciones del centro del semicírculo y los dos segmentos en que ha quedado partido el lado superior.
4. La restricción de *Colinealidad* (entre los dos segmentos del lado superior) elimina 1 gdl.
5. Con la restricción de *Coincidencia* (para el centro del semicírculo con uno de los segmentos del lado superior) se elimina otro gdl.
6. La restricción de *Igualdad* para los dos segmentos superiores termina de restringir el boceto dejándolo perfectamente simétrico. Más adelante, se empleará la restricción de *Simetría* para conseguir el mismo objetivo.

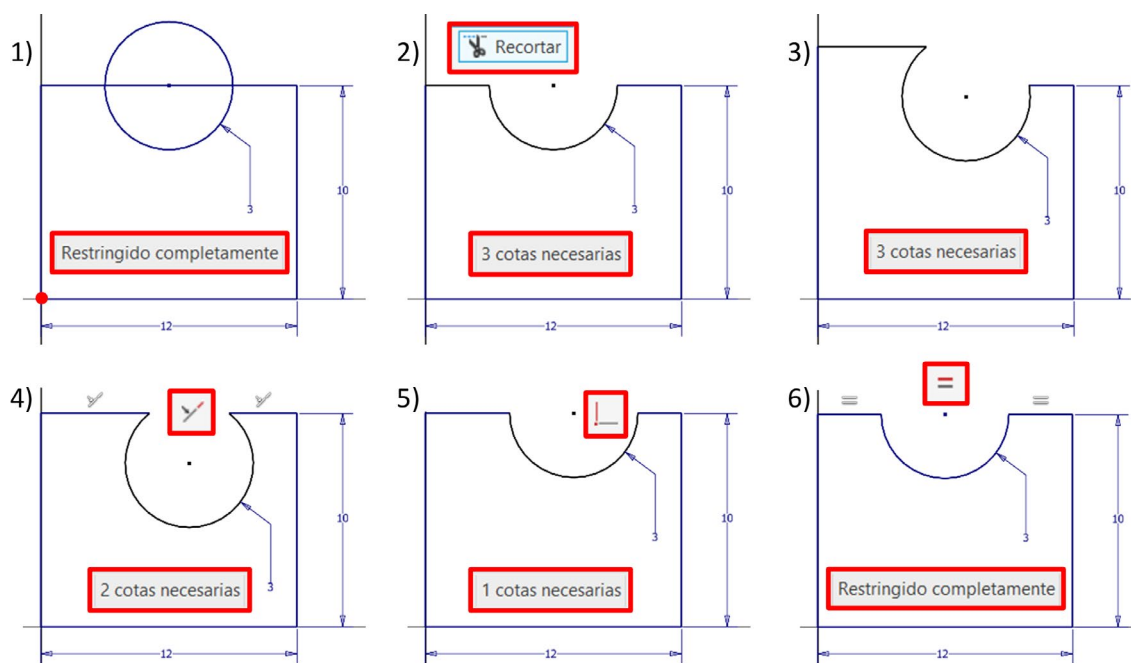


Figura 2.7. Restricción total del boceto con rectángulo y semicírculo centrado en un lado.

Con las herramientas de dibujo de *Rectángulo* se pueden dibujar rectángulos que ya incorporan las restricciones de paralelismo y perpendicularidad, pero en el ejemplo siguiente, se muestra cómo manipular un boceto ya existente, en el que se han dibujado 4 segmentos

de recta consecutivos, para conseguir un rectángulo con los lados situados en direcciones horizontal y vertical (Figura 2.8).

Una posible secuencia (hay más combinaciones válidas) sería la que se ilustra a continuación:

1. Inicialmente hay 10 gdl (10 cotas necesarias): las coordenadas de los 5 puntos dibujados. Los segmentos de recta no se han dibujado en horizontal o vertical, ni en direcciones cercanas a las perpendiculares o paralelas entre sí, para que Inventor no deduzca automáticamente ninguna restricción.
2. Se aplican 2 restricciones de *Perpendicularidad* entre lados vecinos y 1 restricción de *Paralelismo* entre lados opuestos y los gdl se reducen a 7 (las restricciones eliminan 3 gdl correspondientes a los ángulos de 3 segmentos o lados del rectángulo).
3. Con la restricción de *Coincidencia* entre los puntos extremos se cierra el contorno y se suprimen 2 gdl (las 2 coordenadas de uno de ellos).
4. Mediante 2 cotas alineadas con lados del rectángulo se eliminan otros 2 gdl (inicialmente, al acotar un lado, se sitúa la cota en dirección horizontal o vertical, según se desplace el ratón. Para situar la cota alineada con el lado, se debe pulsar el botón derecho del ratón y elegir la opción *Alineada*).

En este momento, el dibujo es un rectángulo perfectamente restringido (ya no puede variar su forma ni dimensiones) pero está "suelto" en el plano y se fija tanto en posición como en orientación con las siguientes restricciones:

1. Al hacer coincidir 1 vértice con el origen del sistema de referencia ya queda solo 1 gdl: ese vértice está fijo, pero el rectángulo puede girar alrededor suyo.
2. Con una restricción de dirección *Horizontal* o *Vertical* para uno de los lados se termina de restringir.

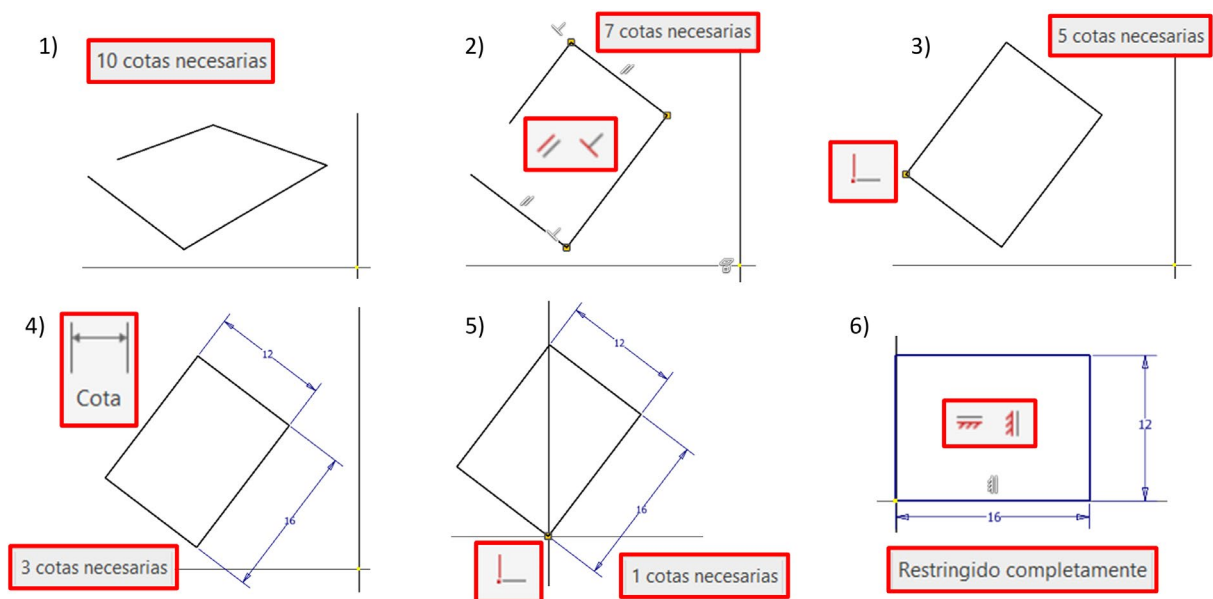


Figura 2.8. Restricción total del boceto con rectángulo.



Las restricciones de posición y orientación del rectángulo se han realizado en los últimos pasos para mostrar que son unas restricciones “especiales” ya que no afectan ni a la forma ni a las dimensiones, pero siempre se realizan al inicio, situando un vértice o centro en el origen del sistema de referencia y dibujando una primera línea recta horizontal o vertical (excepto si es un círculo que no necesita ser orientado).

Como se ha indicado anteriormente, con la tecla F8 se muestran todas las restricciones y con F9 se ocultan. Al seleccionar una restricción se muestran las entidades que relaciona (Figura 2.9) y, con la tecla SUPR, se puede eliminar.

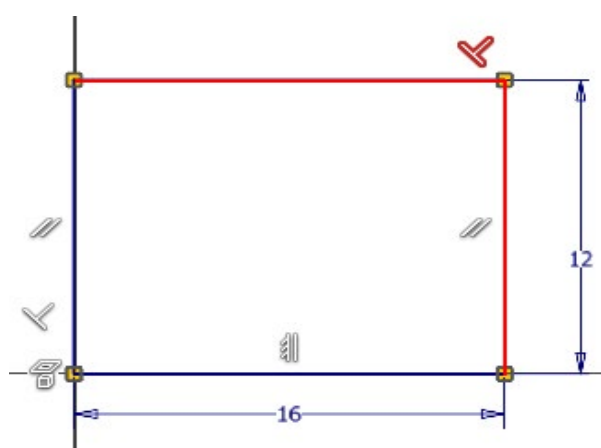


Figura 2.9. Restricciones aplicadas en el boceto.

2.2.2. Restricción de simetría. Proyección de ejes y planos

Al entrar en modo *Boceto*, Inventor solo proporciona inicialmente un punto de referencia (que es la proyección ortogonal del origen del sistema de referencia 3D sobre el plano del boceto). Ese punto es el que se está utilizando para fijar la posición de las entidades dibujadas y que no queden “seltas” sobre el plano.

Sin embargo, se puede proyectar (con la herramienta *Proyectar geometría*) sobre el boceto cualquier elemento del sistema de referencia (planos, ejes o incluso el mismo origen, en caso de haberlo borrado por error) y también elementos (vértices, aristas y caras) pertenecientes a la pieza que se está realizando, para utilizarlos como referencia (Figura 2.10).

En esta sección, las líneas proyectadas se utilizarán como referencia y, por tanto, se definirán como *Líneas de construcción* (líneas auxiliares que no definen contornos) y como *Ejes*, porque serán utilizados como ejes de simetría. Para ello, se deberán seleccionar y activar ambas opciones (Figura 2.10).

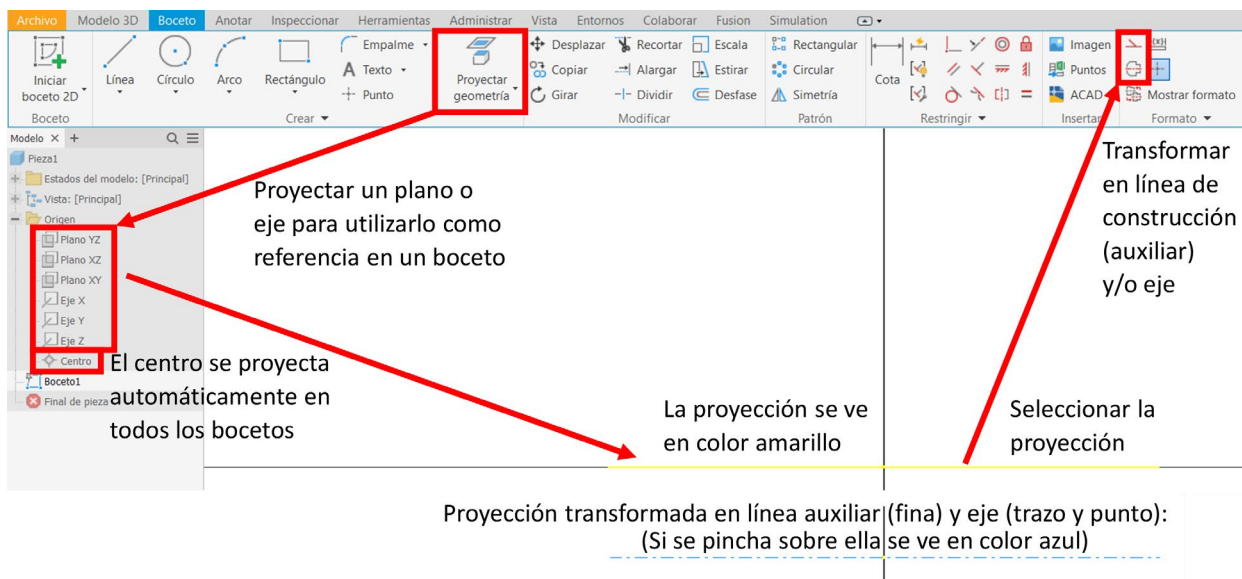



Figura 2.10. Proyección del plano utilizando *Proyectar geometría* y convertirlo en *Eje de simetría* o *Línea de Construcción*.

En la Figura 2.11 se puede ver cómo se visualizan las líneas según su tipo. Desde arriba a abajo: línea normal (gruesa continua), línea de construcción (fina a puntos), eje (gruesa a trazo y punto) y línea de construcción + eje (fina a trazo y punto).

 *El color depende de otros aspectos como si están restringidas, seleccionadas o son proyectadas.*

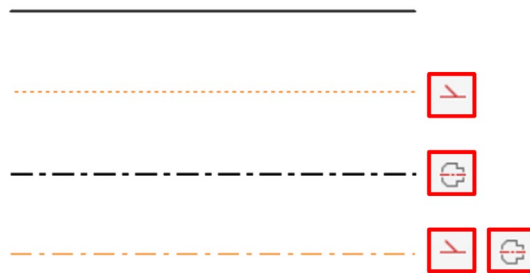


Figura 2.11. Tipos de línea.

En el ejemplo siguiente se realiza un trapecio isósceles totalmente restringido utilizando (además de restricciones vistas anteriormente) la proyección de ejes y la restricción de simetría (Figura 2.12):

1. Se ha dibujado un cuadrilátero sin acotar. Los segmentos de recta no se han dibujado en horizontal o vertical, ni en direcciones cercanas a las perpendiculares o paralelas entre sí, para que Inventor no deduzca automáticamente ninguna restricción. Hay 8 gdl correspondientes a los 4 vértices del cuadrilátero.
2. Con la restricción de *Coincidencia* aplicada al punto central de un segmento respecto al origen se reducen 2 gdl.

3. Con la restricción *Horizontal* (o *Vertical* si la vista está girada en pantalla) se elimina otro gdl al indicar la dirección del lado inferior.
4. Con la restricción *Paralelo* del lado superior respecto al lado inferior (se indica la dirección del lado superior) se reduce otro gdl y quedan 4.
5. Para poder aplicar la restricción de *Simetría*, se debe *Proyectar geometría* (en este caso el eje vertical) y seleccionarlo para convertirlo en *Línea de construcción* y *Eje*.
6. Ahora ya se puede aplicar la restricción de *Simetría* pulsando en primer lugar sobre los lados izquierdo y derecho del cuadrilátero y, a continuación, sobre el eje.



Para situar simétricamente más pares de entidades respecto al mismo eje, basta con pulsar sobre cada par de entidades sin volver a pulsar sobre el eje, pero para situar simétricamente entidades respecto a otro eje, habrá que volver a seleccionar la restricción de Simetría antes de repetir el proceso.

7. Por último, se acota la base, la altura y el ángulo de la base con uno de los lados vecinos. Cualquier modificación de los valores de cotas seguirá manteniendo un trapecio isósceles.

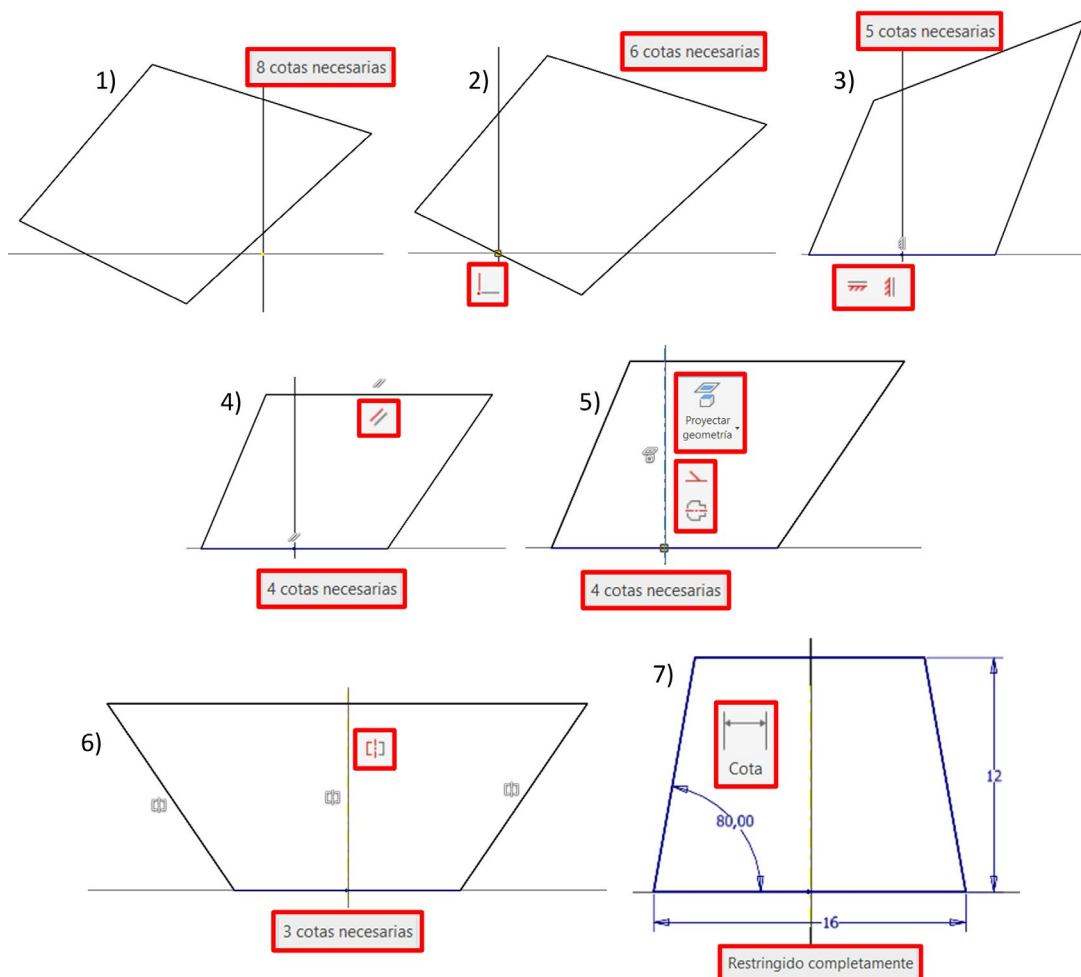


Figura 2.12. Restricción total del boceto con trapecio isósceles.

2.2.3. Restricción de tangencia

En el ejemplo siguiente se realiza un boceto simétrico, con forma de mecanismo de cadena y piñón, empleando dos círculos de diferente diámetro y rectas tangentes a ambos (Figura 2.13).

1. Se ha *Proyectado la geometría* del eje horizontal y convertido a *Línea de construcción* y *Eje*. Se han dibujado los dos círculos (uno centrado en el origen y otro con el centro sobre el eje) y acotado los diámetros y la distancia entre los centros. No hay ningún gdl.
2. Se han dibujado dos segmentos de recta exteriores a ambos círculos. Están los 8 gdl correspondientes a los 4 puntos extremos. En este caso los segmentos son totalmente exteriores, pero se podrían haber dibujado desde un punto exterior directamente hasta el círculo del otro lado para que Inventor detecte automáticamente la restricción de *Tangencia*.
3. Con la restricción de *Tangencia*, se han hecho las rectas tangentes a los círculos. Cada restricción elimina 1 gdl y quedan 4 (cada gdl restante se puede ver como lo que sobresale cada segmento de cada círculo).
4. Se han *Recortado* las partes sobrantes.



Al aplicar la restricción de Tangencia se debe tener mucho cuidado porque los segmentos rectos nunca van a terminar justamente en el punto de tangencia, aunque lo parezca, y siempre se deberá Recortar o Alargar haciendo zoom si es necesario.

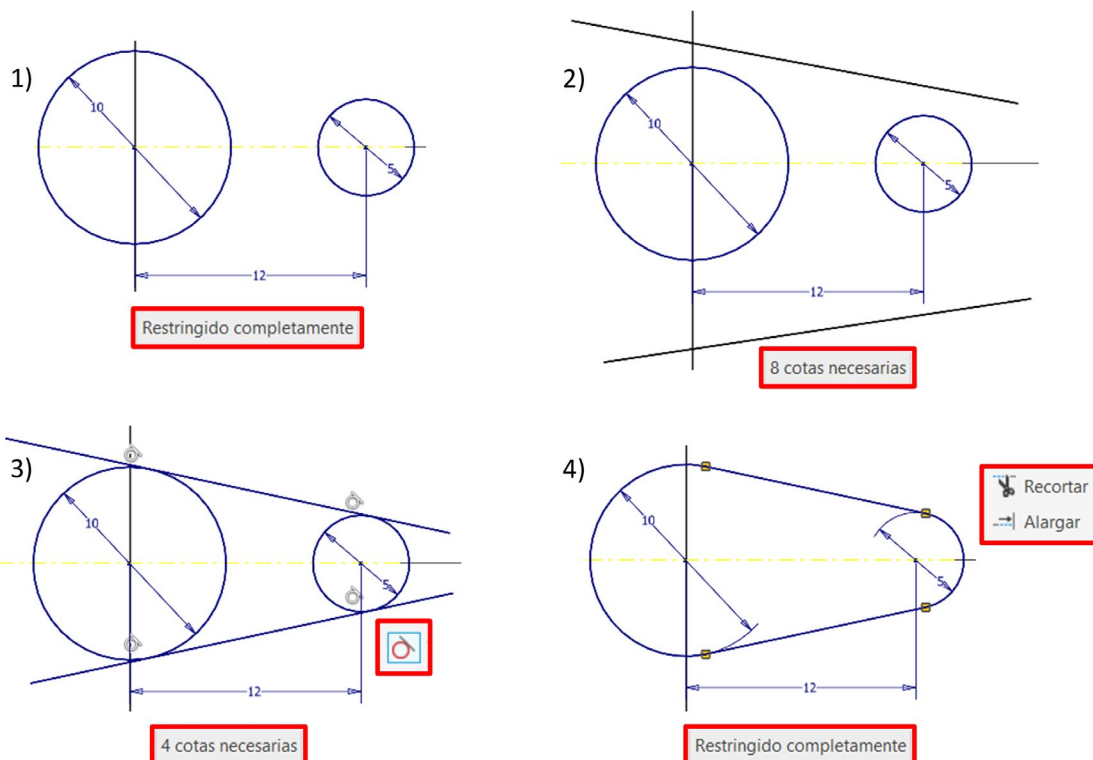


Figura 2.13. Restricción total del boceto con forma de mecanismo de cadena y piñón.

Operaciones de creación

3.1. Extrusión

La operación básica para crear “material” 3D a partir del contorno dibujado en un boceto es la *Extrusión* (Figura 3.1), que genera un volumen 3D perpendicularmente al plano del boceto.

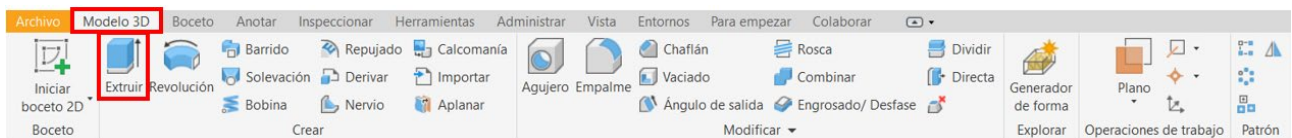


Figura 3.1. Pestaña de *Extruir* dentro de las herramientas de *Modelo 3D*.

Parámetros a introducir cuando se genera una extrusión (Figura 3.2):

- **Perfil:** boceto con un contorno cerrado, sin cruces ni islas (otros contornos internos). Si está bien realizado, se detecta automáticamente y no hay que seleccionarlo.
- **Sentido:** hacia qué lado del boceto va la extrusión (o hacia ambos lados de forma *Simétrica*).
- **Extensión:** hasta dónde llega la extrusión: *Distancia / Pasante* (atraviesa todo el material) / *Hasta* (indicar una superficie límite) / *Siguiente* (hasta que llegue al material).
- **Booleano:** *Unión* (añadir material) / *Diferencia* (o *Corte*: quitar material) / *Intersección* (dejar solo la parte coincidente con el material existente).



- Si la pieza va a ser simétrica respecto al plano del boceto, se debe elegir la opción *Simétrica* para mantenerla centrada respecto al sistema de referencia. Mantener la pieza centrada simplifica la realización de bocetos y operaciones posteriores.
- La primera extrusión no puede ser *Pasante* ni *Siguiente*, porque ambas necesitan que haya material para tomar como referencia, pero sí podría ser *Hasta*, porque se podría hacer hasta un plano auxiliar (ver Sección 6. Operaciones de trabajo).
- De igual modo, la primera extrusión solo puede ser de *Unión*, porque no se puede quitar material ni intersectar con material.

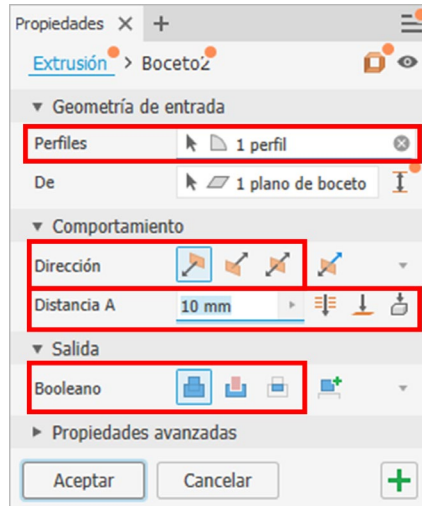


Figura 3.2. Ventana emergente para introducir los parámetros de la extrusión.

Una vez se ha realizado alguna operación de modelado, si se vuelve a *Iniciar boceto 2D*, ya no se mostrarán en el área gráfica los planos del sistema de referencia, se deben seleccionar en el *Navegador*, pero lo más habitual es que los planos para los nuevos bocetos sean caras planas de la pieza como muestra la Figura 3.3.

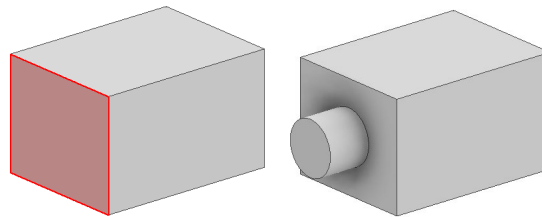


Figura 3.3. Selección del plano sobre la cara plana de una pieza para generar un nuevo boceto.

Ejemplo de pieza con entidades concéntricas

La siguiente pieza (Figura 3.4) tiene dos planos de simetría y los dos círculos que definen el arco son concéntricos.

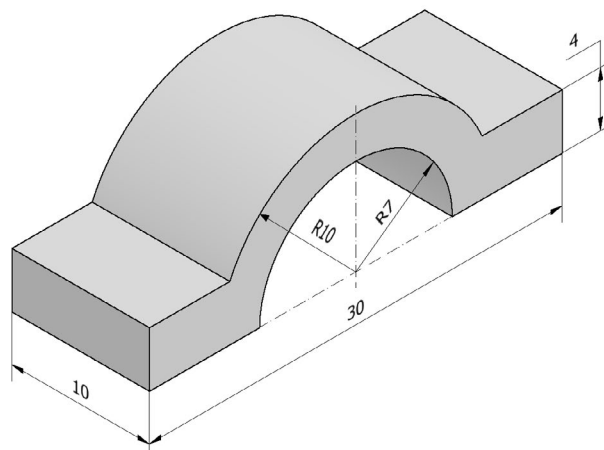


Figura 3.4. Pieza con concetricidad.

Una posible secuencia de pasos para realizar el boceto es la siguiente (Figura 3.5):

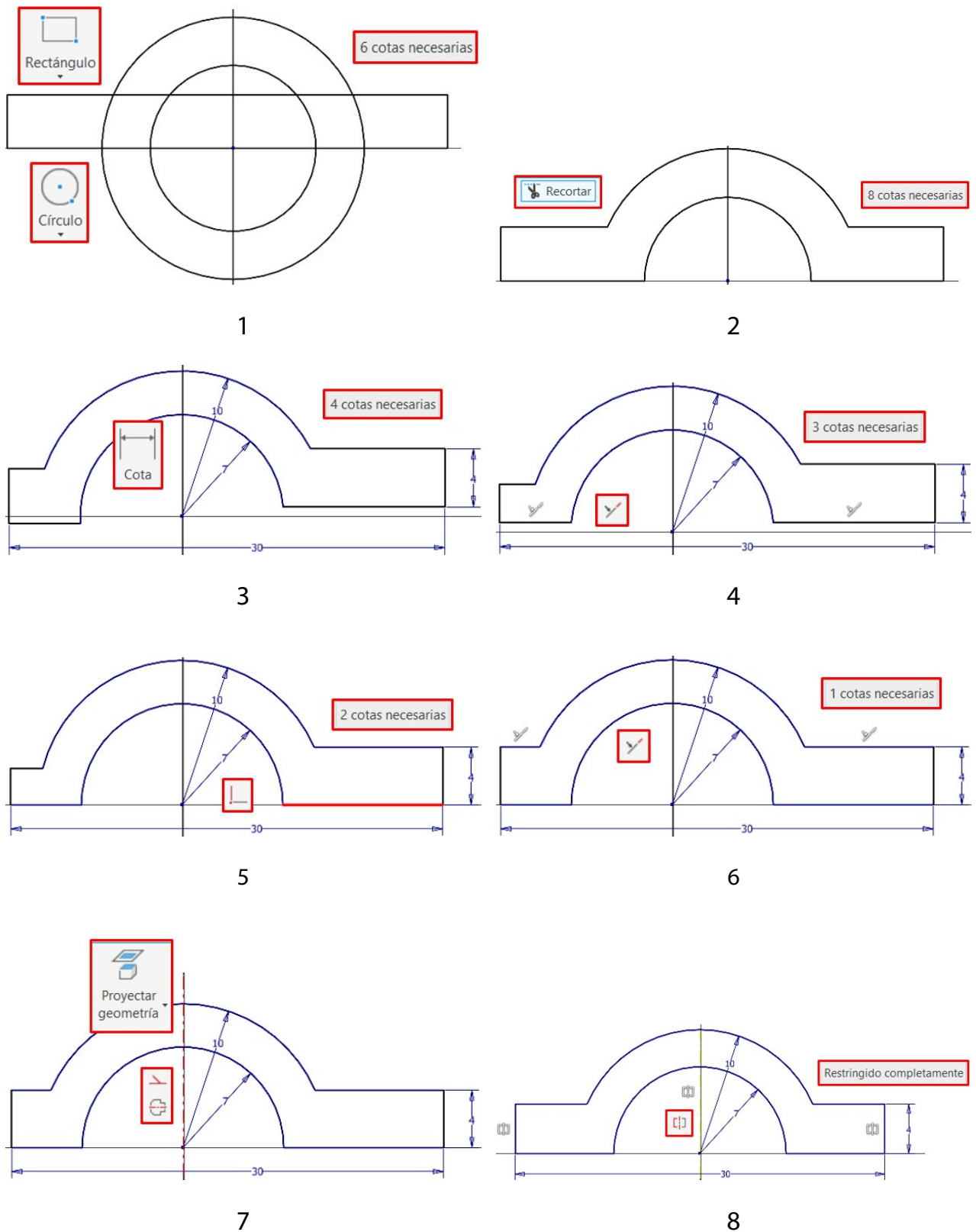


Figura 3.5. Resolución paso a paso pieza con concentricidad.

1. Realizar el dibujo de un *Rectángulo* y dos *Círculos* concéntricos, situando el centro de los círculos en el origen. Hay 6 gdl (radios de los círculos, coordenadas de un vértice del rectángulo y ancho y alto del rectángulo).
2. Al *Recortar* las partes sobrantes aparecen 2 gdl más porque pierden la alineación los dos segmentos en que se dividen los lados horizontales superior e inferior del rectángulo.
3. Poniendo las 4 cotas se reducen a 4 los gdl.
4. Mediante la restricción de *Alineación* de los dos segmentos en que se ha dividido el lado horizontal inferior del rectángulo se quedan 3 gdl.
5. Con la restricción de *Coincidencia* de uno de los segmentos horizontales inferiores con el origen se reducen a 2 los gdl.
6. Mediante la restricción *Alineación* de los dos segmentos en que se ha dividido el lado horizontal superior del rectángulo se queda solo 1 gdl.
7. Con *Proyectar geometría* del eje vertical y su conversión a *Línea de construcción* y *Eje*, se deja el boceto preparado para aplicar las restricciones de *Simetría*.
8. Mediante la restricción de *Simetría* de los dos segmentos verticales extremos respecto al eje de simetría vertical, se queda el boceto restringido completamente.



En este ejemplo de solución se ha realizado al final la proyección del eje justo antes de aplicar la restricción de Simetría, pero cuando los bocetos son simétricos, la primera operación del boceto suele ser la proyección del eje o ejes de simetría.

Para comprobar que la pieza continúa siendo simétrica se debería editar el boceto, modificando el ancho y el alto de la base.

Base con tangencias

La siguiente pieza (Figura 3.6) tiene tres planos de simetría.

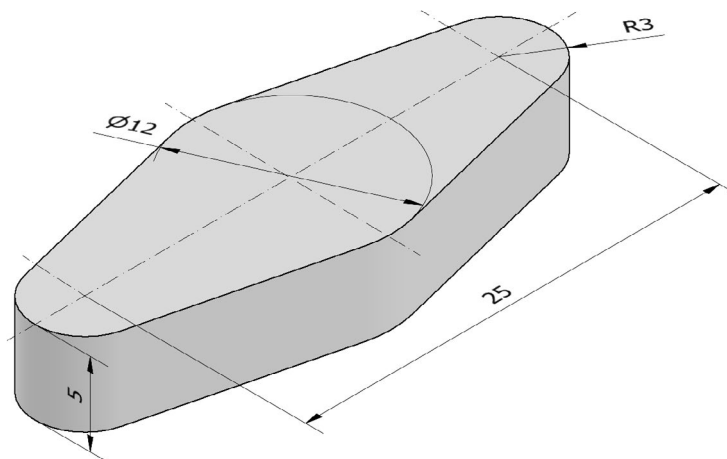


Figura 3.6. Pieza con tangencias.

Una posible secuencia de pasos para realizar el boceto es la siguiente Figura 3.7:

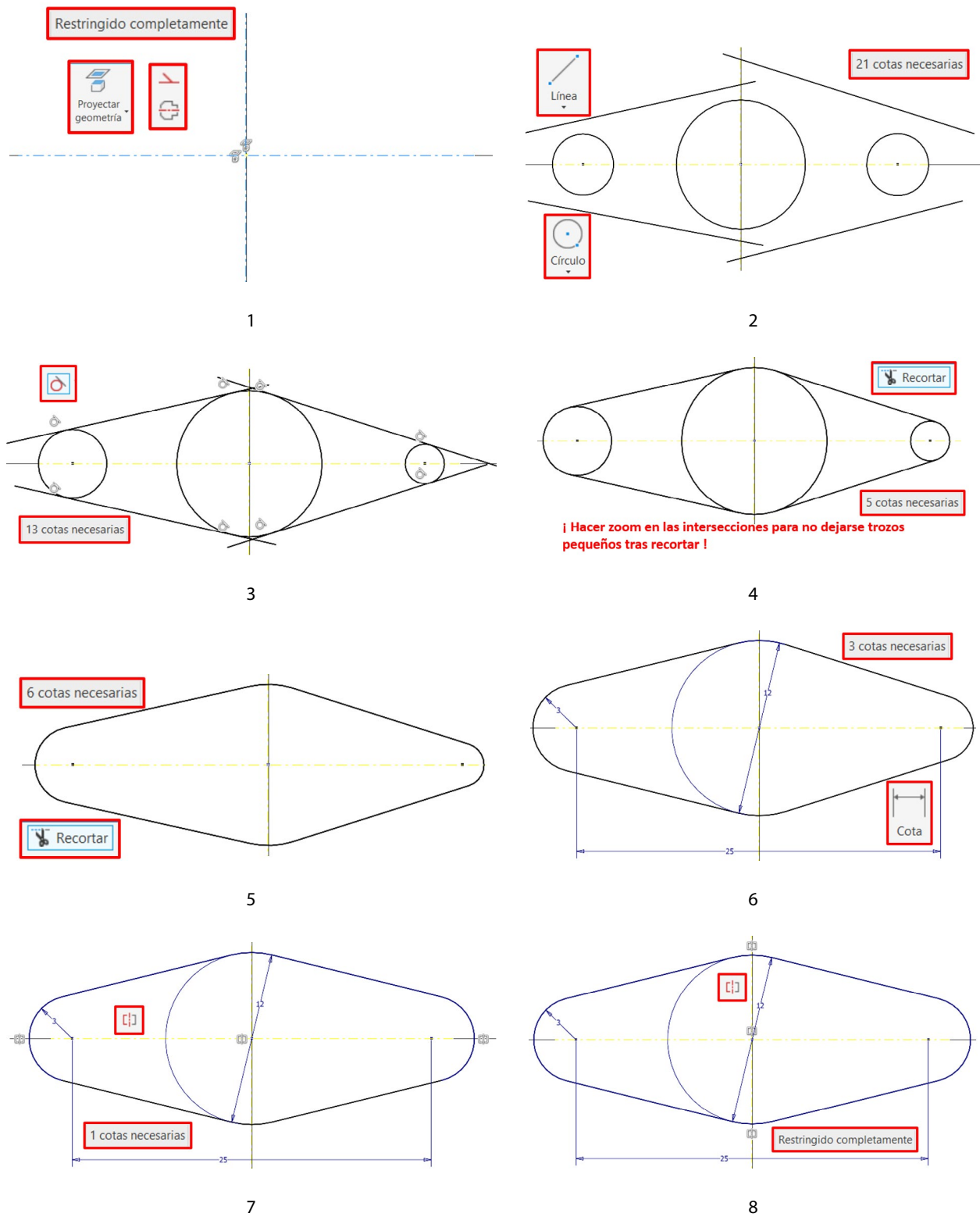


Figura 3.7. Resolución paso a paso pieza con tangencias.

1. Como el boceto tiene dos planos de simetría se empieza con *Proyectar geometría* del eje vertical y del eje horizontal, seguido de su conversión a *Línea de construcción* y *Eje*, se deja el boceto preparado para aplicar las restricciones de *Simetría*.
2. Dibujar los tres *Círculos* (uno centrado en el origen y los otros dos con el centro sobre el eje horizontal) y los 4 segmentos de recta exteriores a ambos círculos. En este caso los segmentos son totalmente exteriores, pero se podrían haber dibujado desde puntos exteriores al círculo central directamente hasta los círculos laterales para que Inventor detecte automáticamente la restricción de *Tangencia* (se empezaría con 4 gdl menos y con 4 recortes de rectas ya hechos).
3. Se ha aplicado la restricción de *Tangencia* a cada segmento recto respecto a dos circunferencias, con lo que se restringen 8 gdl.
4. Se han *Recortado* las partes que sobresalen de los segmentos rectos. Hay que tener mucho cuidado porque puede que haya que hacer zoom para no dejarse trozos pequeños y puede que también sea necesario *Alargar* algún segmento que se haya quedado corto y no llegue al punto de tangencia. Al *Recortar* 2 extremos de 4 segmentos se reducen 8 gdl.
5. Se han *Recortado* las partes sobrantes de los círculos. Se ha incrementado 1 gdl porque el círculo central se ha partido en 2 y ya no bastaría con una cota para definir su radio o diámetro, sino que se necesitarían 2.
6. Se han puesto las 3 cotas y pasan de 6 a 3 los gdl.
7. Mediante la restricción de *Simetría* de los dos círculos extremos respecto al eje de simetría vertical, se reducen 2 gdl (el radio será el mismo y la distancia de los centros al origen será la misma).
8. Mediante la restricción de *Simetría* de los dos arcos en que ha quedado dividido el círculo central respecto al eje de simetría horizontal queda el boceto restringido completamente.

Para comprobar que la pieza continúa siendo simétrica se debería editar el boceto, modificando el radio de uno de los extremos, la distancia entre los centros extremos y el diámetro central.

Pieza con cuatro extrusiones

La siguiente pieza (Figura 3.8) tiene un plano de simetría y se realiza empleando cuatro extrusiones.

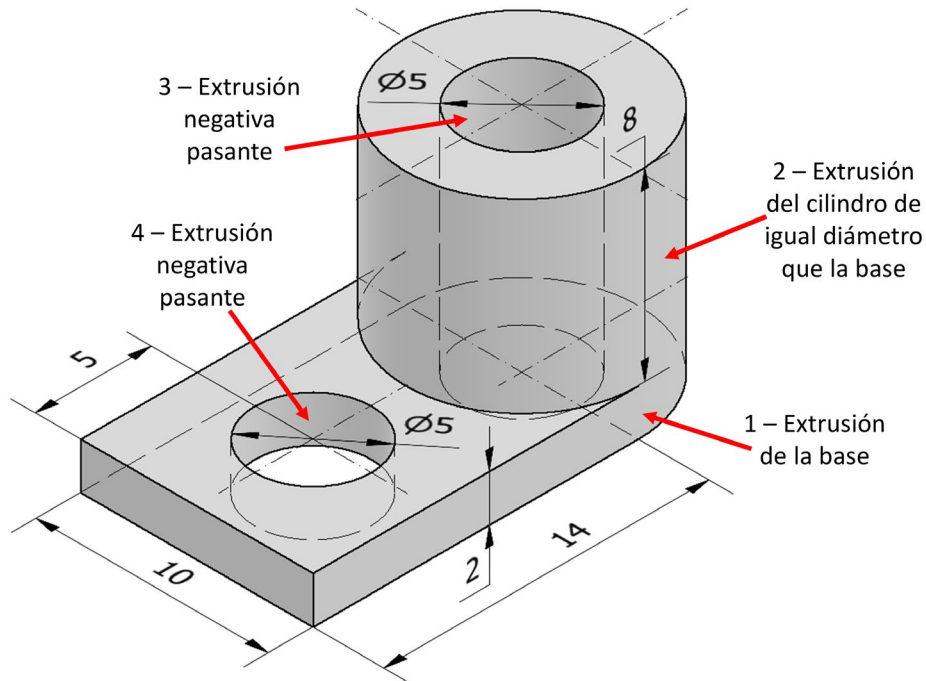


Figura 3.8. Pieza con cuatro extrusiones.

1. EXTRUSIÓN. Boceto situado sobre el plano horizontal. Colocar el centro del arco en el centro de los planos de origen. Hay que tener en cuenta que el boceto debe ser simétrico y que se pueden perder restricciones como tangencias y perpendicularidades (Figura 3.9).

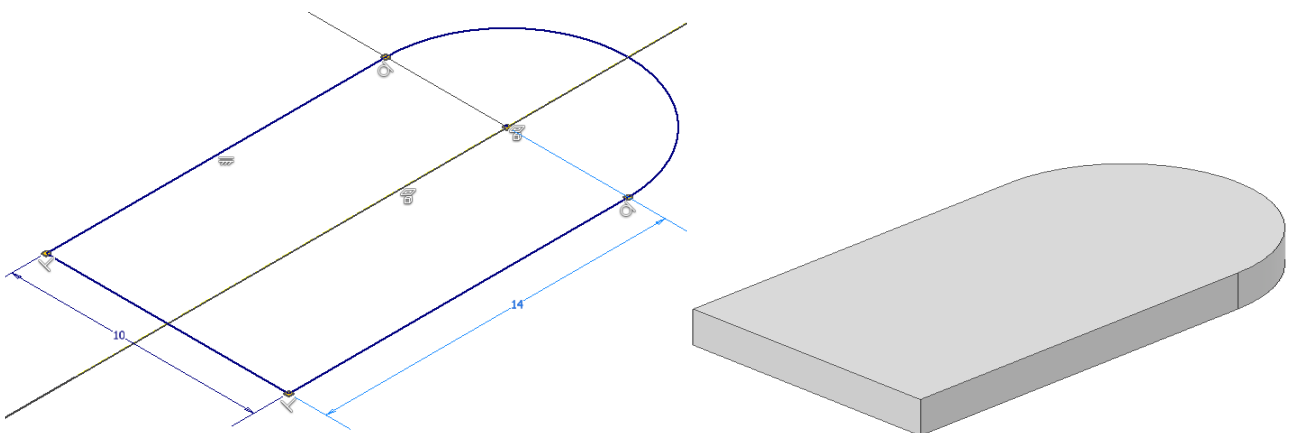


Figura 3.9. Primera extrusión.

2. EXTRUSIÓN. Boceto situado en la cara superior (no se vuelve a acotar el diámetro sino que se emplean restricciones de *Coincidencia* con el semicírculo de la base, concretamente con uno de los puntos de tangencia de la base) (Figura 3.10).

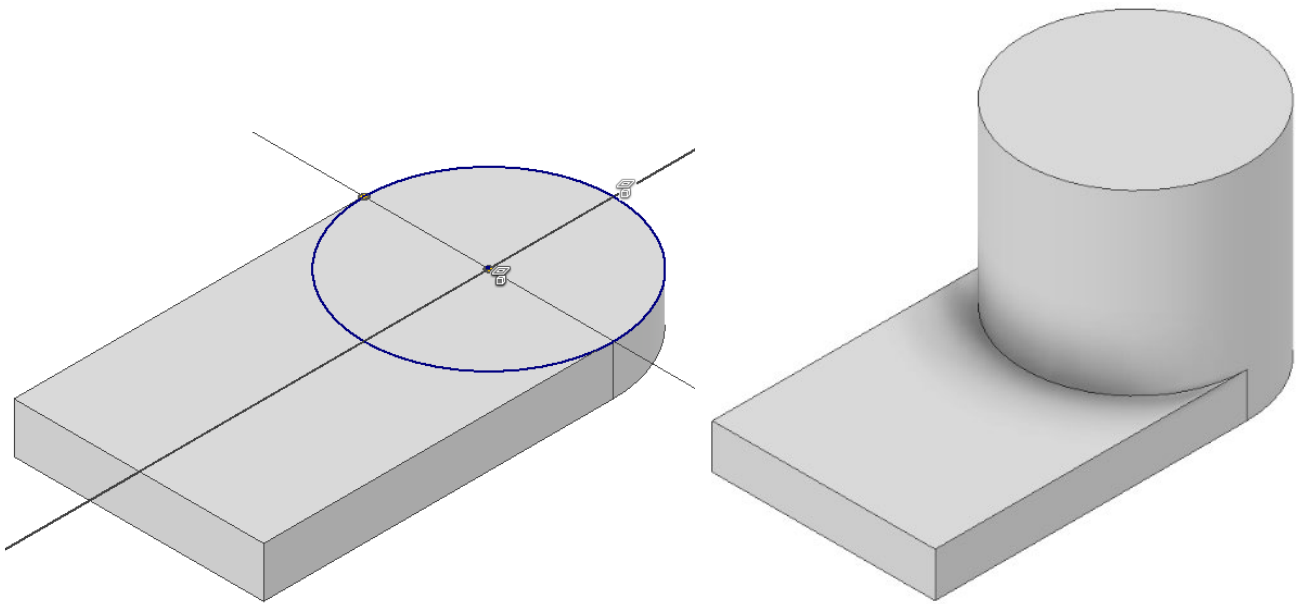


Figura 3.10. Segunda extrusión.

3. EXTRUSIÓN DE CORTE. Boceto situado en la cara superior de la parte cilíndrica. Boceto con circunferencia con centro coincidente (concéntrica) con la base superior del cilindro macizo. Extrusión pasante (Figura 3.11).

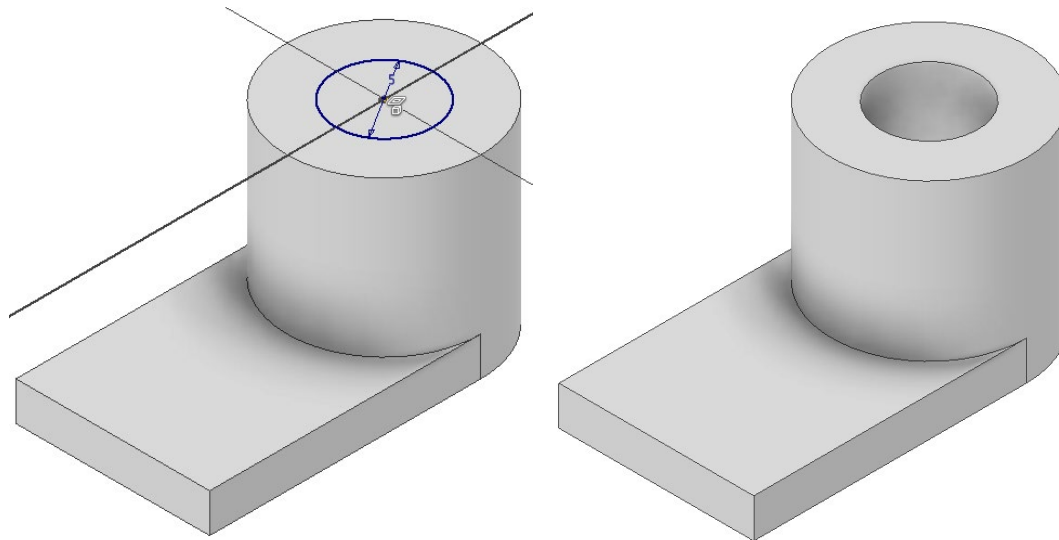


Figura 3.11. Tercera extrusión.

4. EXTRUSIÓN DE CORTE. Boceto situado en la cara superior de la base. Boceto con circunferencia con centro situado sobre eje de simetría. Extrusión pasante (Figura 3.12).

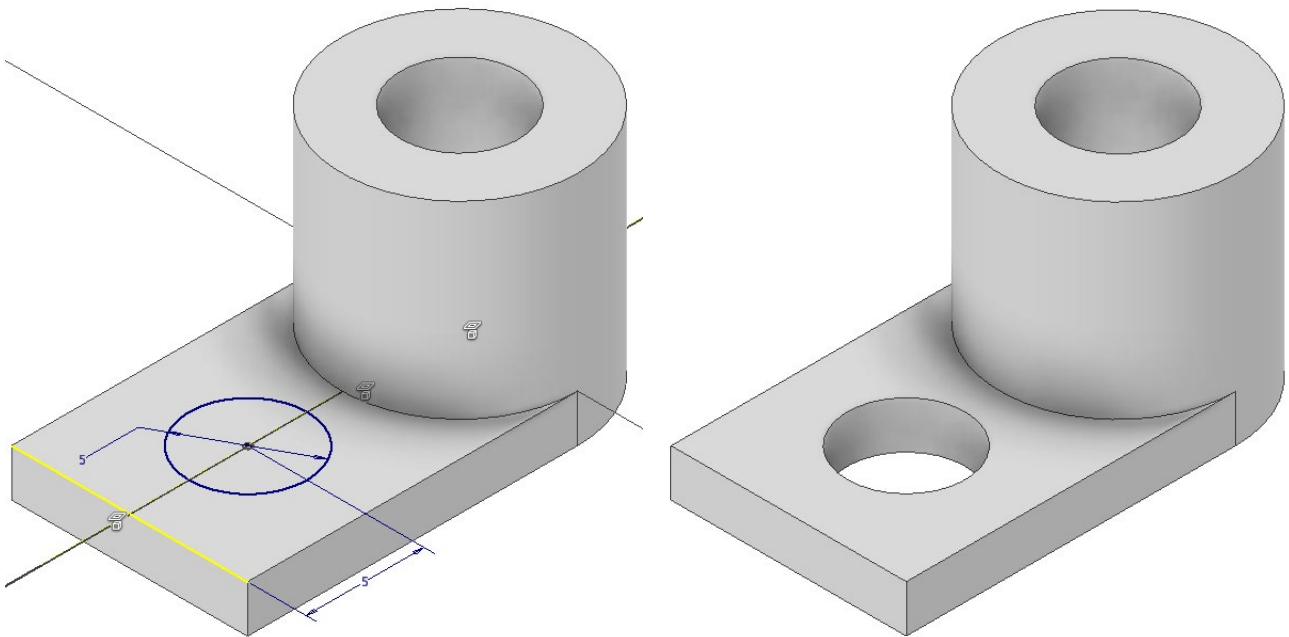


Figura 3.12. Cuarta extrusión.



Editar el boceto inicial, probar a modificar la anchura de la base y ver que el cilindro superior ajusta automáticamente su diámetro al de la base y el agujero de la base continúa centrado.

3.1.1. Bocetos avanzados

Se pueden trasladar a los bocetos diversas formas para acotar grosores uniformes en los planos de piezas. Para ello se empleará, en unos casos, la herramienta *Desfase* en *Boceto* y, en otros, la utilización de *Líneas de construcción*, pero sin que sean ejes (Figura 3.13).

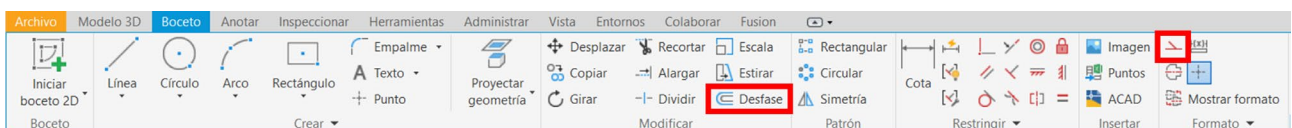


Figura 3.13. Pestañas de *Desfase* y *Líneas de Construcción* en la barra de herramientas de *Boceto*.

Ejemplo de desfase

La herramienta *Desfase* de los *Bocetos* permite generar entidades equidistantes, por ejemplo, rectas paralelas o círculos concéntricos, pero no solo entidades individuales, sino también contornos completos formados por diversas entidades.

En la pieza de la Figura 3.14 con "forma de vaso", existen dos cotas marcadas referidas al grosor: el grosor de la base (5 mm) y el de los laterales (2 mm). El grosor de la base se va a definir mediante

un *Plano de trabajo con Desfase* (ver Sección 6. Operaciones de trabajo), mientras que el grosor de los laterales se va a definir mediante un *Desfase* en el boceto.

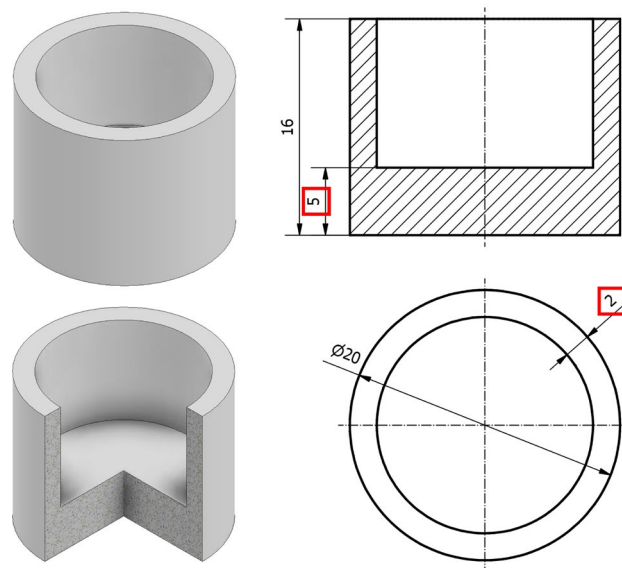


Figura 3.14. Pieza realizada con *Desfase*.

Para realizar la pieza se partirá de un boceto con un círculo de 20 mm de diámetro centrado en el origen, con el que se creará un cilindro mediante una extrusión de 16 mm. Solo faltará otra extrusión (en este caso negativa) para vaciar la parte interior.

Para seguir el esquema de acotación de la pieza, en lugar de realizar la extrusión negativa desde la cara superior del cilindro hacia abajo, se realizará un plano de trabajo mediante *Desfase* de la cara inferior del cilindro para realizar una extrusión pasante hacia arriba. La cota empleada será la de 5 mm necesaria para crear el plano de trabajo (en este caso, en sentido negativo) (Figura 3.15).

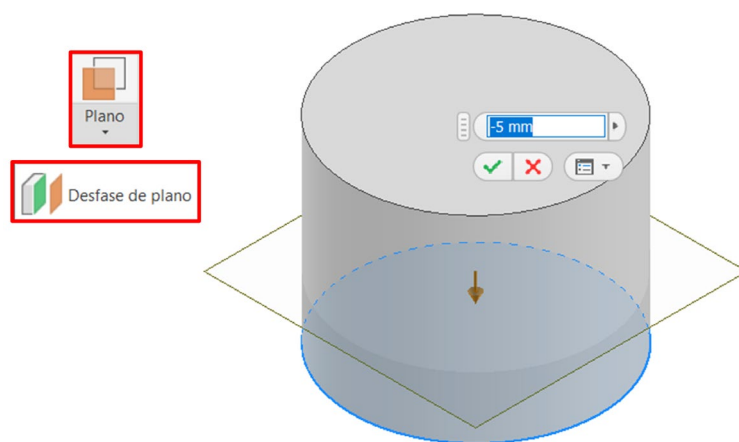


Figura 3.15. Selección *Desfase de plano*.

Al realizar el boceto en el plano auxiliar, en lugar de dibujar un círculo, se proyecta el contorno de la extrusión anterior y con la herramienta *Desfase*, sobre el contorno proyectado, desplazando el puntero del ratón hacia dentro aparece otro círculo. Al pulsar con el botón izquierdo del ratón se debe indicar la cota del espesor (2 mm). Para tener solo el círculo desfasado y que Inventor lo seleccione automáticamente, se pasa el círculo proyectado (color amarillo) a *Línea de construcción* (línea a puntos) pero sin ser eje de simetría ni de revolución. Por último, se crea la *Extrusión de corte pasante* en sentido hacia arriba (Figura 3.16).

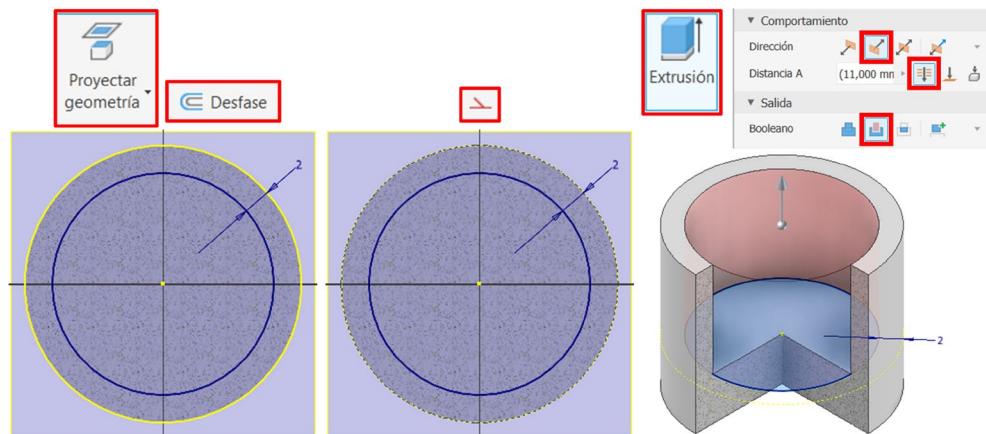


Figura 3.16. Realización de *Desfase* y *Extrusión* para eliminar material .

Líneas de construcción

La propiedad de *Construcción* se usa también cuando se necesita aplicar ciertas restricciones, pero, por la forma del boceto, no se pueden aplicar directamente a la geometría creada.

En el ejemplo de la Figura 3.17, el espesor de las tres partes debe ser igual, pero no existen líneas del boceto a las que aplicar esta restricción de igualdad. Así pues, se pueden dibujar líneas con la propiedad de *Construcción* (auxiliares) en cada una de las tres partes, de modo que al ser auxiliares no definen contorno, pero sí permiten que se les apliquen restricciones para ajustar el boceto.

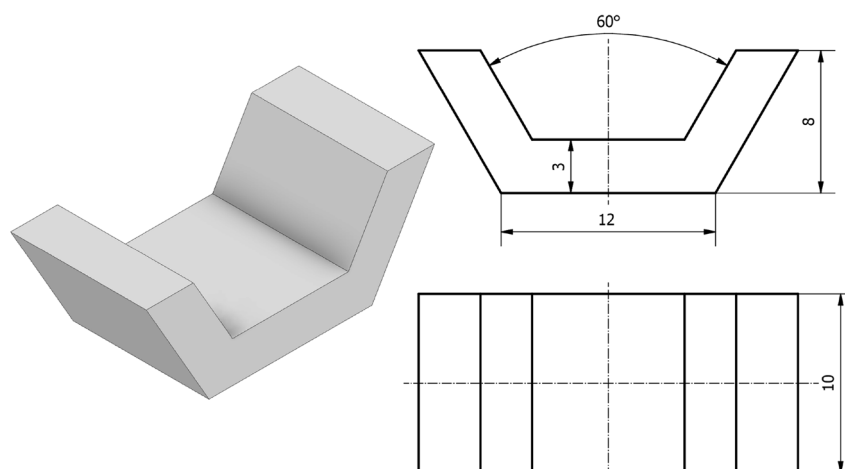


Figura 3.17. Pieza realizada con *Líneas de construcción*.

Es conveniente dibujar el boceto con cuidado para que se detecten paralelismos y alineaciones entre rectas y no tener que poner las restricciones de *Paralelismo* manualmente. Sin embargo, sí que será necesario proyectar el eje vertical y añadir las restricciones de *Simetría*, así como la restricción de *Coincidencia* de la parte inferior con el origen (Figura 3.18).

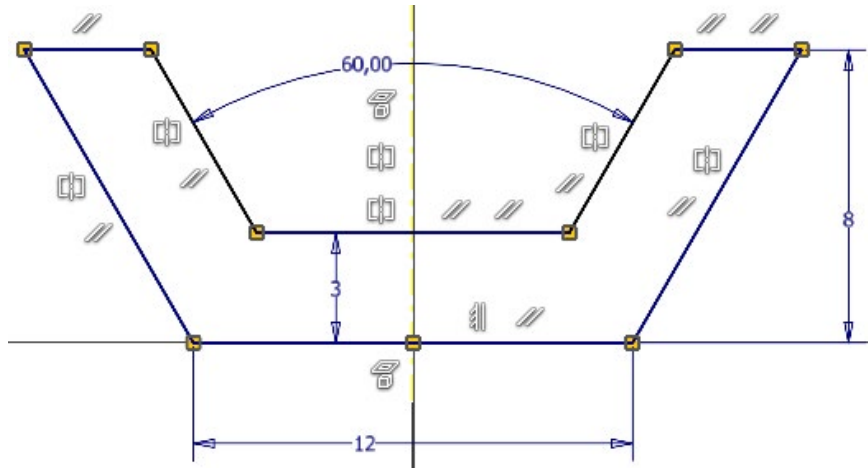


Figura 3.18. Boceto de la pieza con eje de simetría proyectado .

Para mantener igual el espesor de las paredes de esta pieza, se han creado dos *Líneas de construcción* perpendiculares al contorno en la parte central (la que está acotada) y la parte izquierda (o la derecha, pero no las dos porque son simétricas y con una basta). Para que las líneas estén fijas y no añadan grados de libertad se deberán empezar desde un punto extremo o medio (punto verde). Estas líneas se deben hacer *Líneas de construcción* y aplicarles la restricción de igualdad (Figura 3.19).

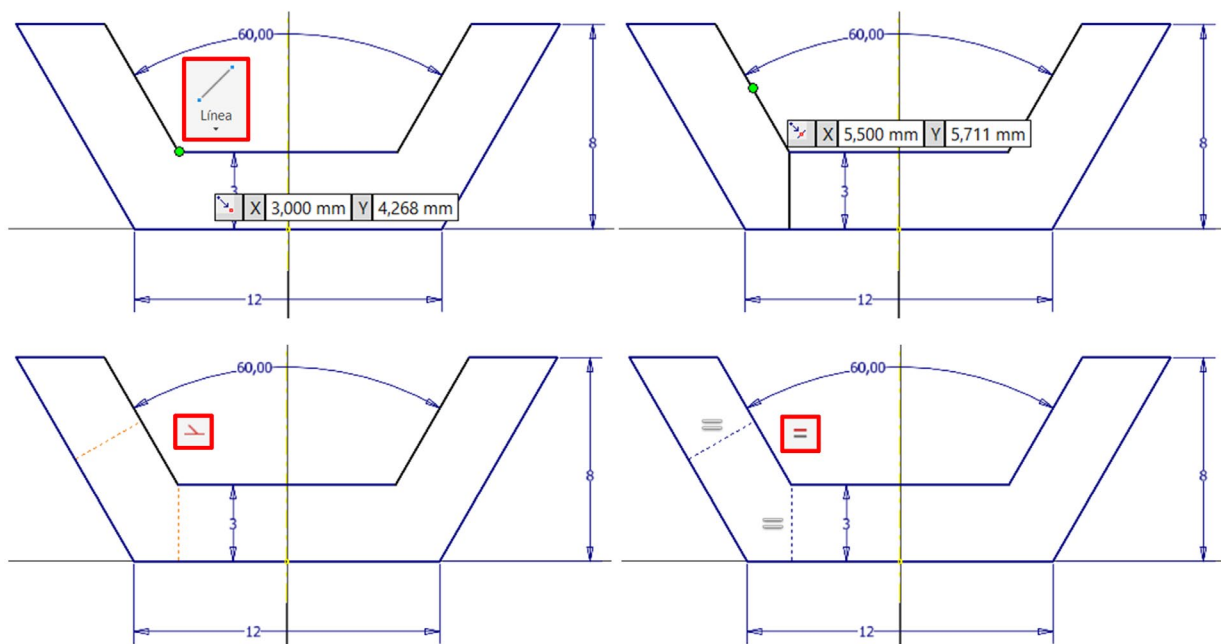


Figura 3.19. Boceto con *Líneas de construcción*.

Para finalizar, solo queda realizar la *Extrusión simétrica* de 10 mm (Figura 3.20).

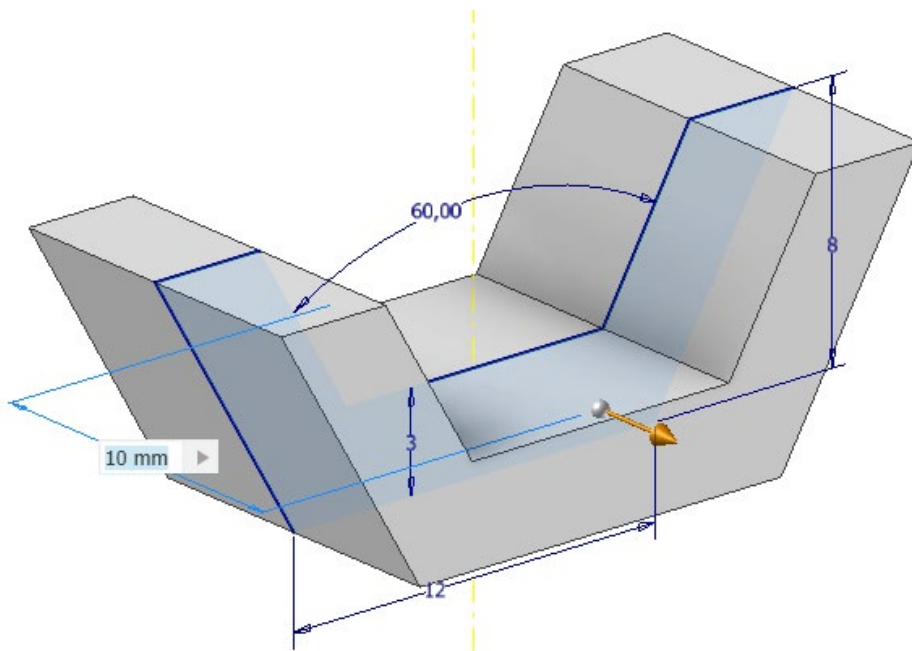
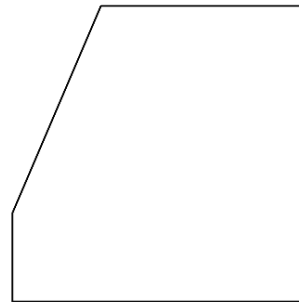
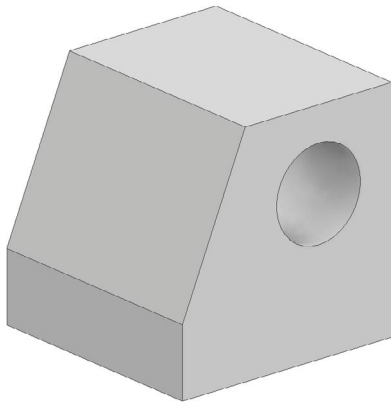


Figura 3.20. Realización de *Extrusión*.

3.1.2. Buenas prácticas

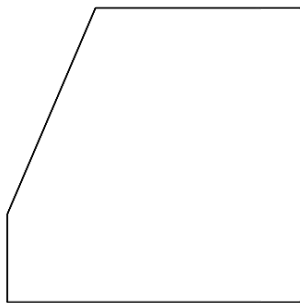
Los conceptos descritos en esta sección son esenciales para capturar la intención de diseño y generar modelos CAD de calidad, que sean fácilmente modificables en fases posteriores sin perder dicha intención de diseño, es decir, si hay partes simétricas o partes con transiciones suaves (tangentes) o agujeros/cortes pasantes, caras perpendiculares o paralelas, dimensiones comunes entre diferentes partes, etc., que siga manteniéndose tras las modificaciones.

1. Los bocetos deben estar compuestos por entidades geométricas que definan un contorno, esto es, una cadena de entidades (líneas, arcos, etc.) cerrada y que no contenga cruces (Figura 3.21):
 - Si el contorno está abierto (1) se genera un modelo de superficie en lugar de uno sólido.
 - Si el contorno contiene cruces o líneas que lo atraviesan (2) las operaciones de modelado no pueden saber automáticamente cuál es el contorno que tienen que emplear porque hay ambigüedad y, en algunos casos, pueden dar problemas y figuras incorrectas. Aunque Inventor sí permite tener “islas” (contornos interiores dentro del contorno cerrado) (3), las operaciones de modelado tampoco pueden saber automáticamente cuál es el contorno que tienen que emplear y no es recomendable complicar el boceto, es preferible que haya diferentes operaciones que se puedan modificar por separado.
 - Por otra parte, tampoco hay que simplificar los contornos más de lo necesario (4).

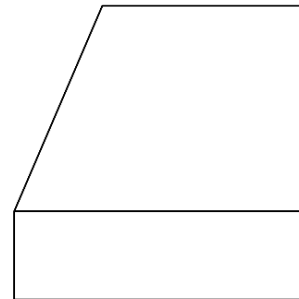


Pieza a modelar. Se deben realizar 2 operaciones

Boceto correcto para realizar la extrusión principal



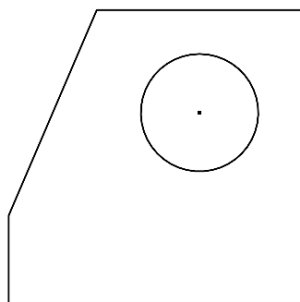
(1)



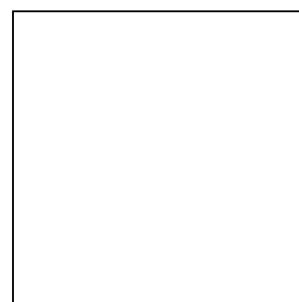
(2)

Boceto abierto. (**Incorrecto:** se debe cerrar para que la extrusión genere un sólido, no una superficie)

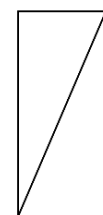
Boceto con una línea intermedia que lo cruza. (**Incorrecto:** la línea se debe eliminar para que no haya ambigüedad)



(3)



(4)



Boceto con "isla". (**Incorrecto:** la parte circular se debe dejar para una operación posterior)

Bocetos para realizar la extrusión principal en 2 operaciones. (**Incorrecto:** realizar solo 1 extrusión, no se deben multiplicar las extrusiones poniendo y quitando material)

Figura 3.21. Creación correcta del boceto.

2. Un boceto se considera bien realizado si está totalmente definido, esto es, hay un mensaje de "Restringido completamente" en la esquina inferior derecha de la ventana de la aplicación y se mantiene el esquema de acotación de la pieza. Esto permite que cuando se realicen modificaciones, se conserve la intención de diseño con la que se modeló. Para ello:
- Se deben emplear solo las cotas indicadas en la definición de la pieza. Estas son las dimensiones importantes y, por tanto, aquellas cuyo valor es susceptible de modificarse para realizar cambios o ajustes en la pieza, por lo que deben estar fácilmente accesibles y no tener que cambiarlas como combinación de otras cotas.
 - En el caso de las operaciones de modelado, puede ser difícil utilizar las mismas cotas si la acotación de la pieza no se ha realizado orientada al modelado (algo que no sucede en los ejemplos de este libro) y, en ese caso, se permite cambiar una cota por otra equivalente para la operación de modelado.
 - Cada cota se debe emplear solo una vez. Si después de haber empleado las cotas siguen quedando grados de libertad, puede ser por causas como:
 - Al *Recortar*, se han perdido referencias entre entidades que se deben volver a establecer con restricciones como *Colinealidad* de rectas o *Coincidencia* entre punto y recta.
 - Faltan restricciones como, por ejemplo, *Simetría* o *Igualdad*. Nunca se deben emplear cotas para sustituir a restricciones.
 - En las restricciones de *Tangencia* hay que *Recortar* o *Alargar* entidades para que finalicen justo en el punto de tangencia, que no lo sobrepasen ni se queden cortas.
 - Se debe aprovechar una parte ya modelada proyectándola y empleando una restricción de *Coincidencia*.
 - Si se cambian valores de cotas:
 - Se debe mantener paralelismo, perpendicularidad, tangencia, simetría...
 - Las entidades que tienen dimensiones comunes entre diferentes bocetos deben seguir con la misma dimensión. Si es necesario modificar el valor en dos bocetos, es porque se ha repetido la cota (como se ha indicado anteriormente, se debe aprovechar una parte ya modelada proyectándola y empleando una restricción de *Coincidencia*).
 - Si la pieza es simétrica respecto a planos perpendiculares al plano del boceto, se debe centrar simétricamente el boceto:
 - Círculo: situar su centro en el origen.
 - Rectángulo: dibujar el *Rectángulo* empleando la opción *Centro de dos puntos* y situar su centro en el origen.
 - Otros contornos: proyectar los ejes y emplear la restricción de *Simetría* (Figura 3.22).

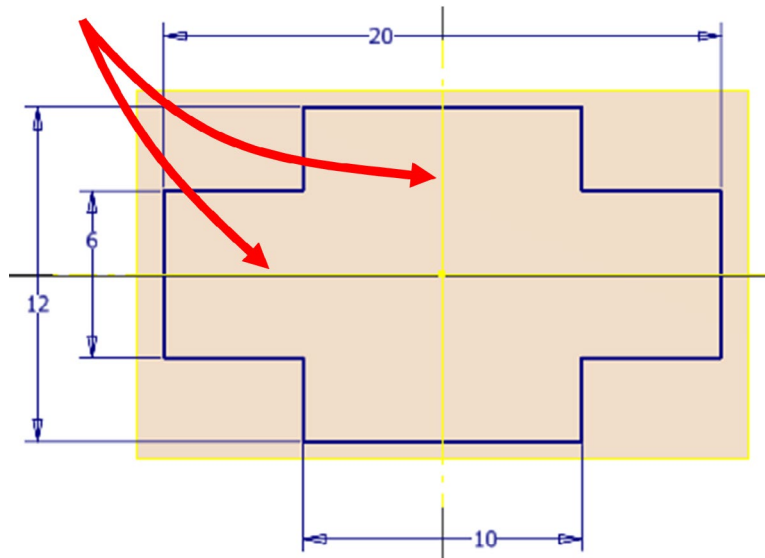


Figura 3.22. Proyección de ejes para restringir la pieza de forma simétrica.

3. Cuando ya se ha realizado la operación de *Extrusión*, emplear la opción de terminación adecuada (*Distancia, Pasante, Hasta, Siguiete*) (Figura 3.23).

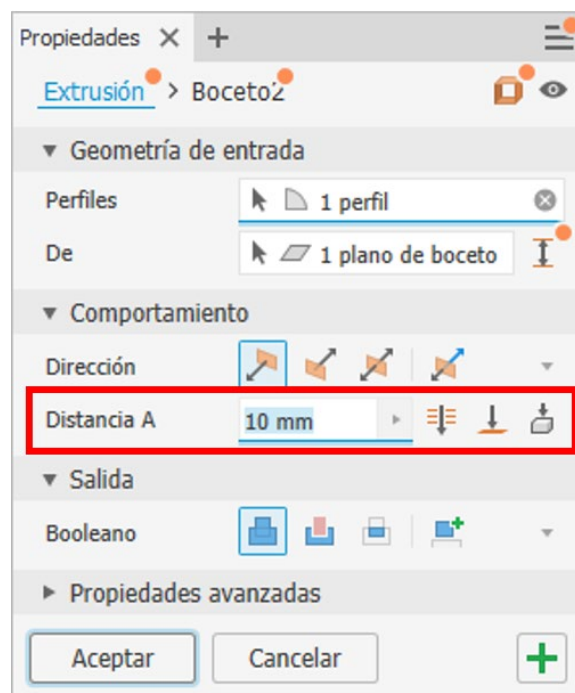


Figura 3.23. Terminación adecuada de la *Extrusión*.

4. Emplear *Extrusión simétrica* (Figura 3.24) si la pieza es simétrica respecto al plano del boceto.

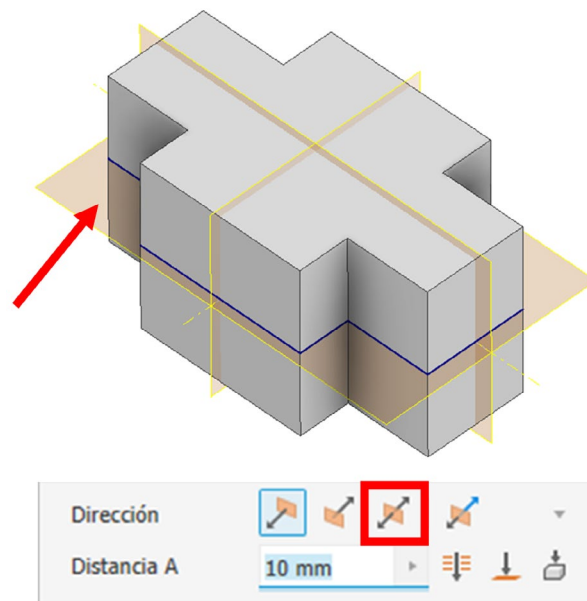


Figura 3.24. Selección extrusión *Simétrica* en la ventana emergente de *Extrusión*.

3.2. Revolución

La operación de *Revolución* (Figura 3.25) genera geometría 3D haciendo girar, respecto a un eje de revolución dibujado en un boceto, el contorno dibujado en el mismo boceto.

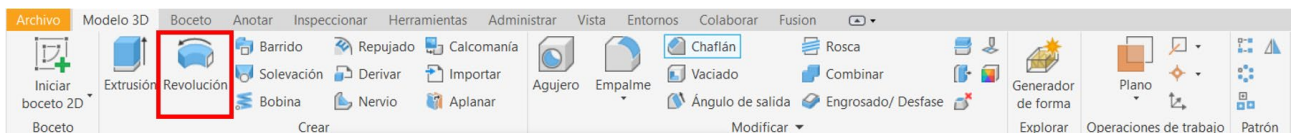


Figura 3.25. Pestaña de *Revolución* dentro de las herramientas de *Modelo 3D*.

Como norma general para crear revoluciones:

- El boceto debe tener un eje de revolución proyectado (preferiblemente) o dibujado. Debe tener la propiedad de *Eje*, pero NO la de *Línea de construcción*, puesto que el eje forma parte del contorno cerrándolo.
- El boceto debe tener solo la mitad del contorno en uno de los lados (no importa cuál) de dicho eje, que genera toda la geometría de revolución al girar 360°.
- Como las cotas que se emplean en estas piezas suelen ser de diámetro, la forma de acotar una cota diametral en el boceto es seleccionando la arista deseada (también puede ser un vértice) y a continuación la línea de *Eje*. Se creará una cota de diámetro que abarcará la dimensión completa, aunque no tenga apoyo en el lado opuesto de la arista seleccionada ("diámetro lineal" o "cota perdida").



Aunque las perspectivas de las piezas de revolución pueden estar cortadas para ver la parte interior de las piezas, en todos los ejemplos las revoluciones son completas (360°).

3.2.1. Buenas prácticas

- Usar siempre bocetos simples con más de una operación de *Revolución*: uno para la revolución maciza y otro para la revolución interior que eliminará material (Figura 3.26). Además de ahorrar tiempo a la hora de definir el boceto completamente, al tener las operaciones por separado en el árbol del modelo, las modificaciones son más simples y por tanto más flexibles y rápidas.

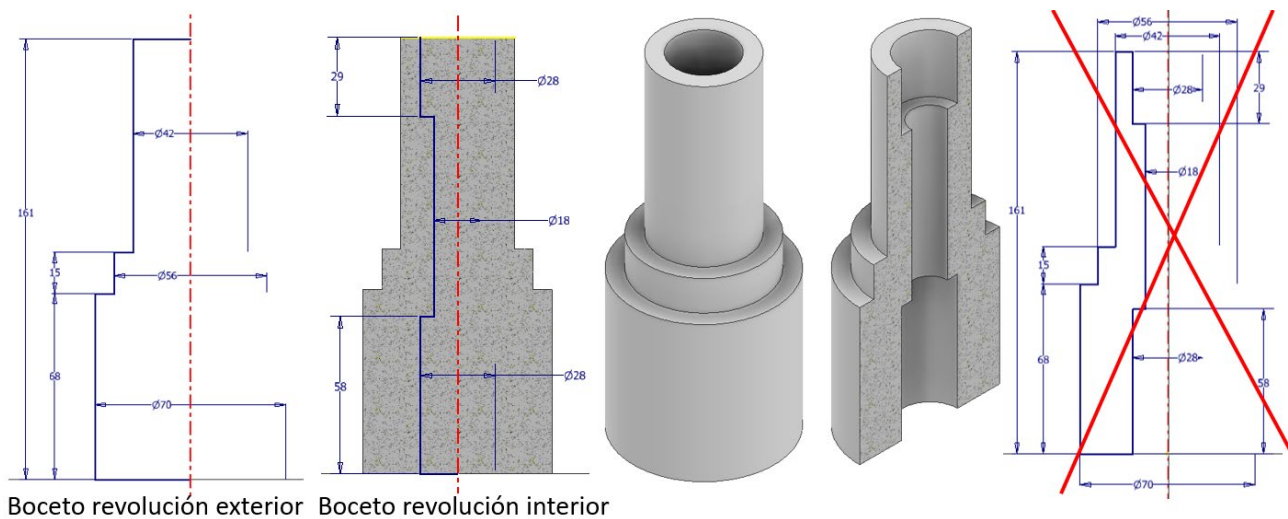
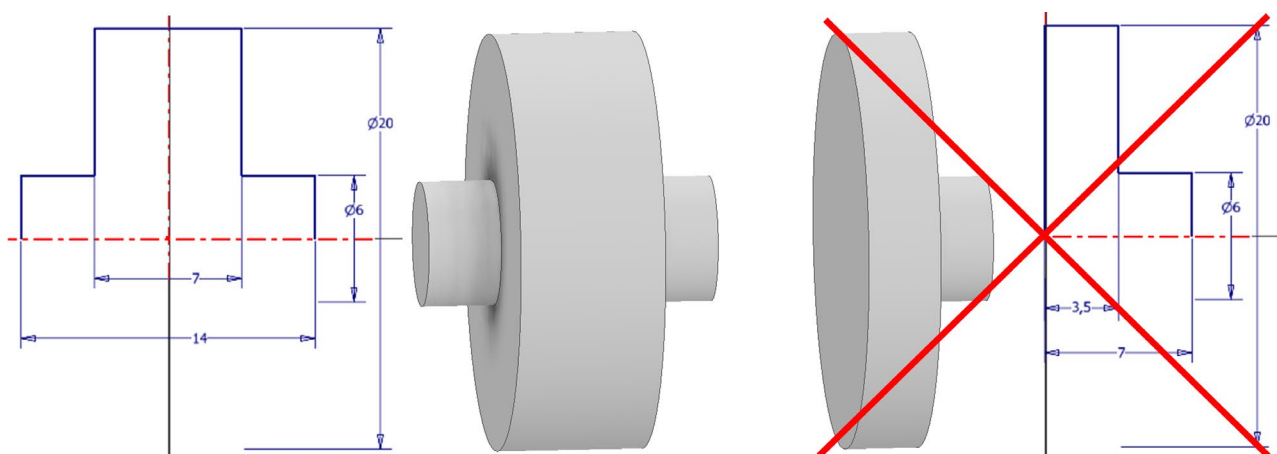


Figura 3.26. Ejecución correcta para pieza con *Revolución* y eliminación de material.

- En los bocetos de revolución se dibuja solo a un lado del *Eje* de revolución, pero si el boceto tiene además un eje de simetría, se dibujan las dos partes simétricas en el boceto, NO se debe hacer solo media pieza con *Revolución* y el resto con la operación de modelado 3D de *Simetría* (Figura 3.27).



- Para realizar un cilindro aislado, emplear una operación de *Extrusión*. Pero para realizar una serie de cilindros apilados emplear una operación de *Revolución*, NO realizar sucesivas operaciones de *Extrusión* o *Agujero* (si los cilindros son interiores) (Figura 3.28).

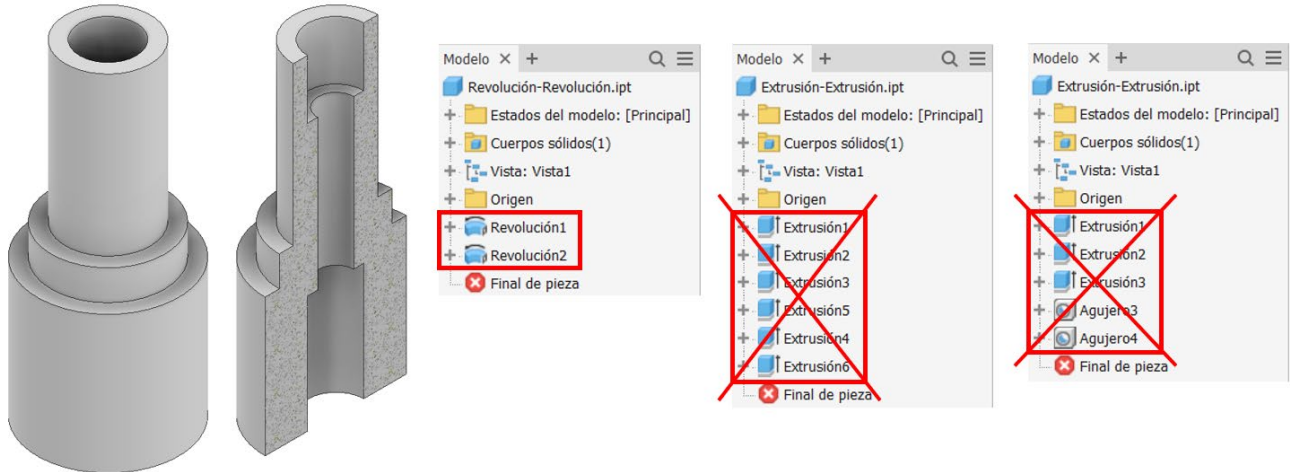


Figura 3.28. Ejecución correcta para pieza con cilindros sucesivos.

Revolución básica

Para la siguiente pieza de revolución (Figura 3.29) se empleará el boceto de abajo a la derecha con:

- Eje de revolución proyectado.
- Contorno solo a un lado del eje.
- Acotación de diámetros respecto al eje.

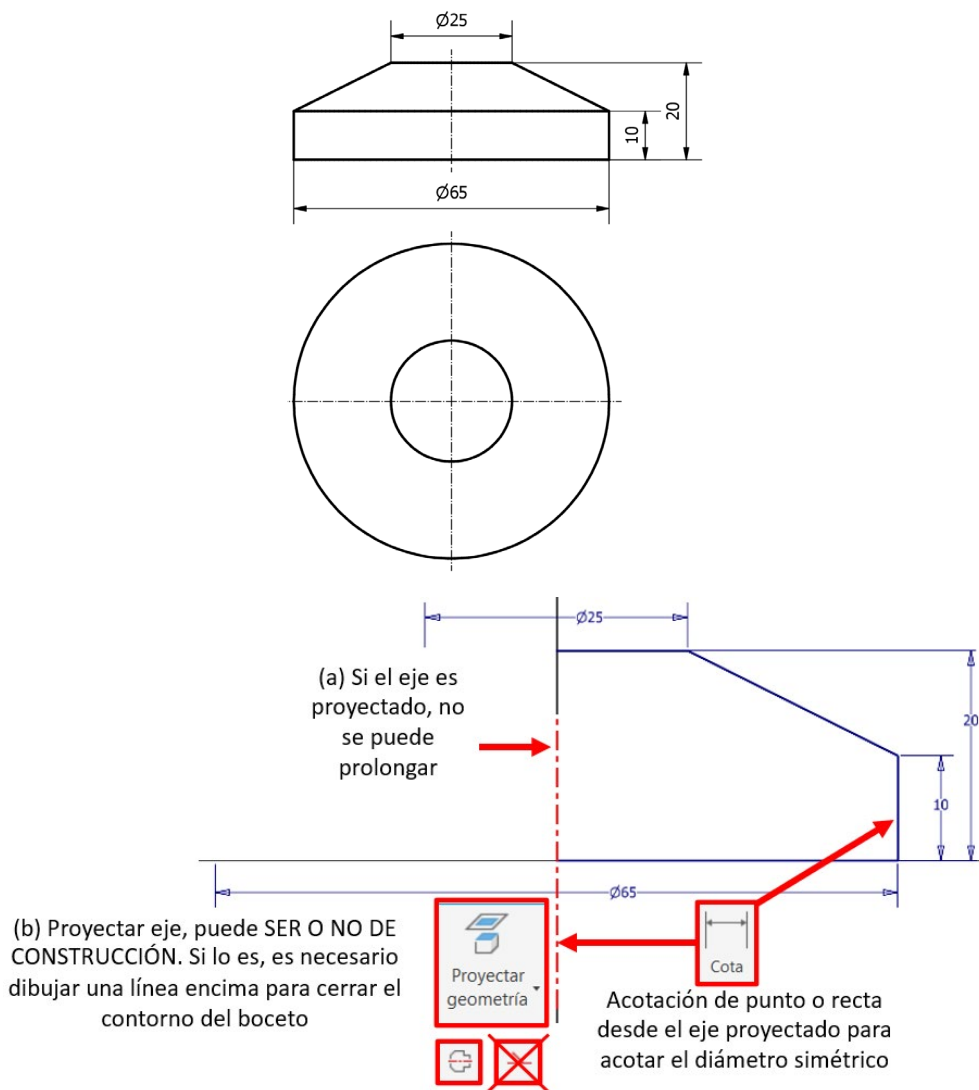


Figura 3.29. Pieza de revolución básica.



- (a) Cuando se proyecta algo que hará de Eje, este no se puede prolongar, ya que tiene el mismo tamaño que la entidad de referencia. En caso de que se solape con otras entidades y no seamos capaces de seleccionarlo para colocar las cotas de diámetro (recordemos que tenemos solo medio perfil), para seleccionarlo basta con esperar con el ratón encima del eje (sin pulsar) y aparecerá una flechita con opciones de entidades detectadas en esa zona.
- (b) En las revoluciones se recomienda que el boceto esté cerrado, ya que en caso de que el barrido circular no sea de 360° se crearía una superficie en lugar de un sólido. Esto se consigue de dos formas, o proyectando como Eje pero sin la propiedad de Construcción activada, o dibujando una línea de geometría encima para cerrar el perfil.

En la operación de *Revolución* no hay que indicar ningún parámetro, porque el ángulo de 360° ("Revolución completa") ya está activado por defecto, hay un único contorno cerrado y un único eje (Figura 3.30).

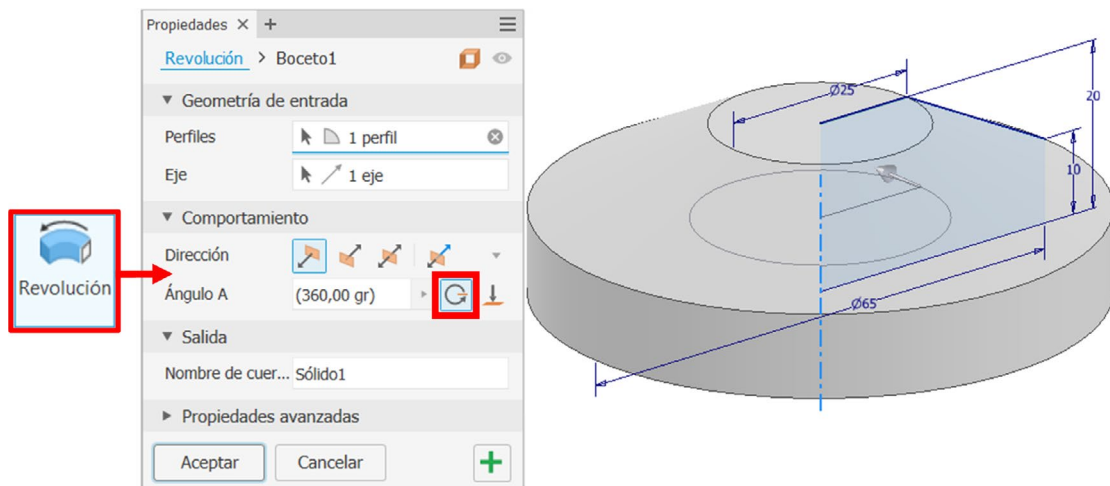


Figura 3.30. Realización de la operación de *Revolución*.

Revolución exterior + revolución interior (de corte)

Para a siguiente pieza de revolución se creará primero una *Revolución* exterior y luego una interior eliminando material (corte de revolución) tal como muestra la Figura 3.31.

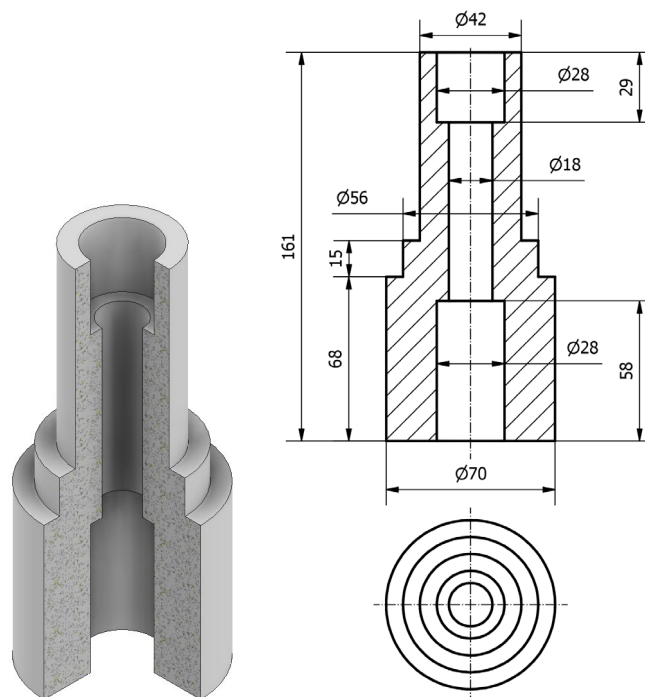


Figura 3.31. Pieza con revolución interior y exterior.



Para mayor similitud con los bocetos a realizar, se han situado todas las cotas en el alzado. Las cotas correspondientes a la parte interior se han situado todas a la derecha de la pieza.

Para el exterior se realizan el boceto y la operación de *Revolución* igual que en el ejemplo anterior (Figura 3.32)

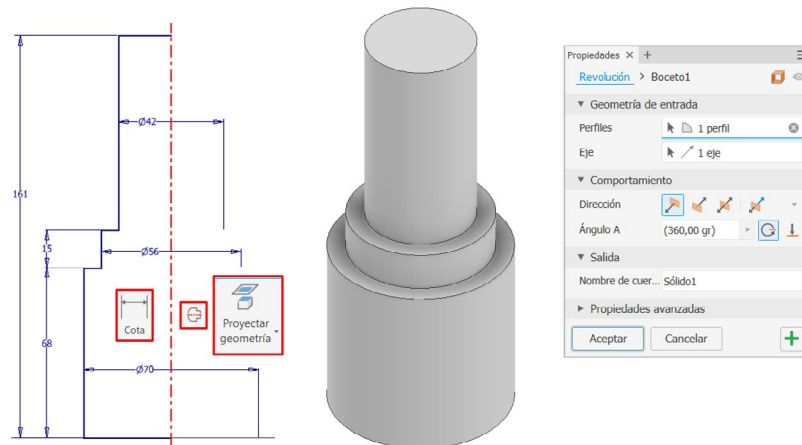


Figura 3.32. Realización *Revolución* exterior.

Las diferencias existentes para realizar la parte interior (Figura 3.33) son las siguientes:

- Al realizar el boceto, se debe activar el botón de la parte inferior *Plano de Corte* (o pulsar F7) para poder ver lo que se está dibujando.
- Además del *Eje*, proyectar la cara superior y la cara inferior de la revolución exterior (líneas amarillas continuas, sin convertir a eje ni a línea de construcción) para que formen parte del contorno y no sea necesario dibujarlas.
- La operación de *Revolución* es de eliminación de material (*Corte*).

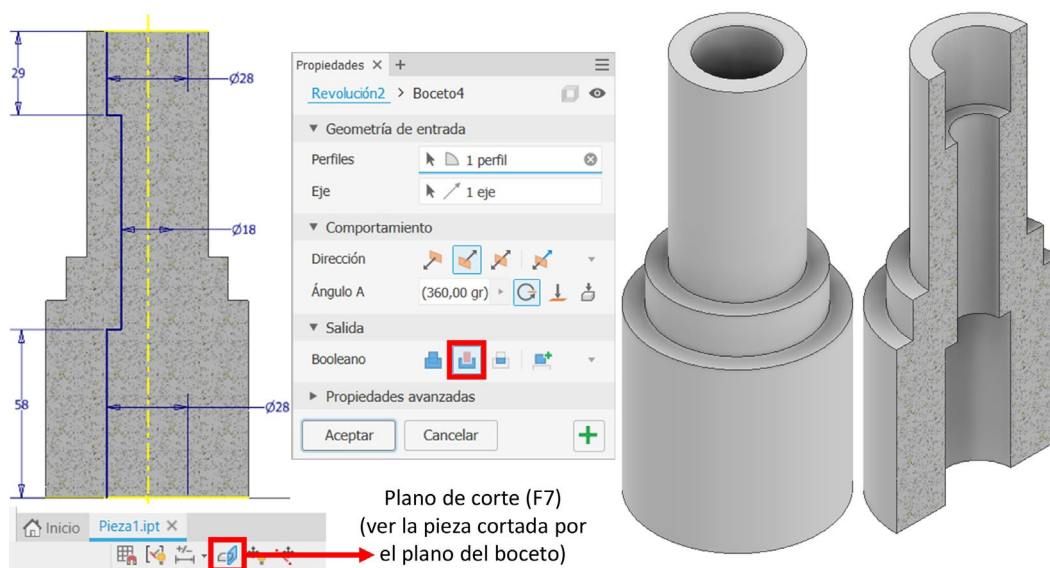


Figura 3.33. Realización *Revolución* interior.

Revolución de un perfil simétrico

Para modelar la siguiente pieza simétrica (Figura 3.34) se debe utilizar una única operación de *Revolución*. La pieza tiene un eje de revolución horizontal y un eje de simetría vertical.

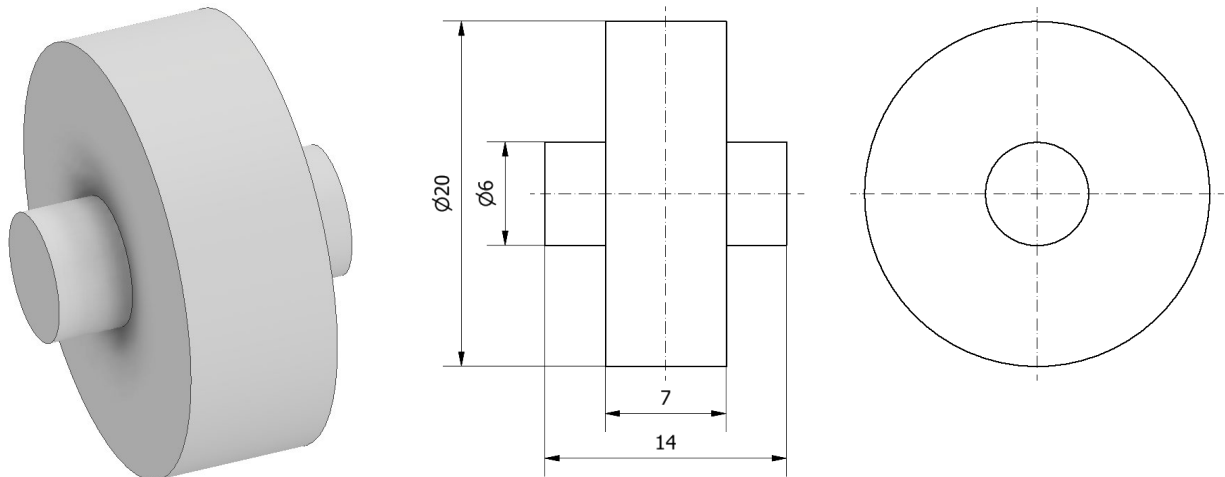


Figura 3.34. Pieza simétrica con *Revolución*.

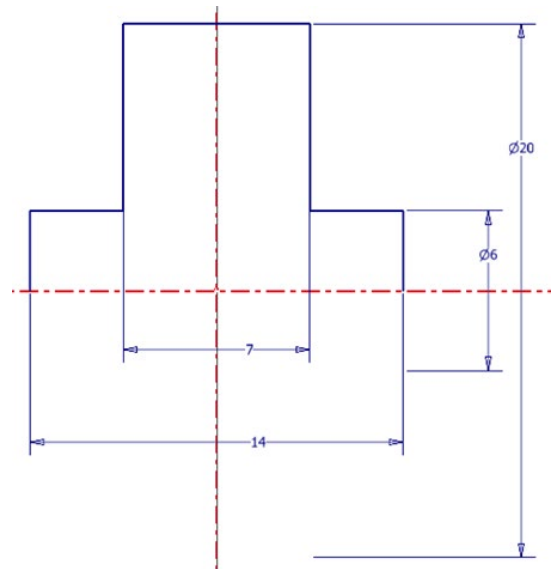
El boceto a realizar es el de la derecha:

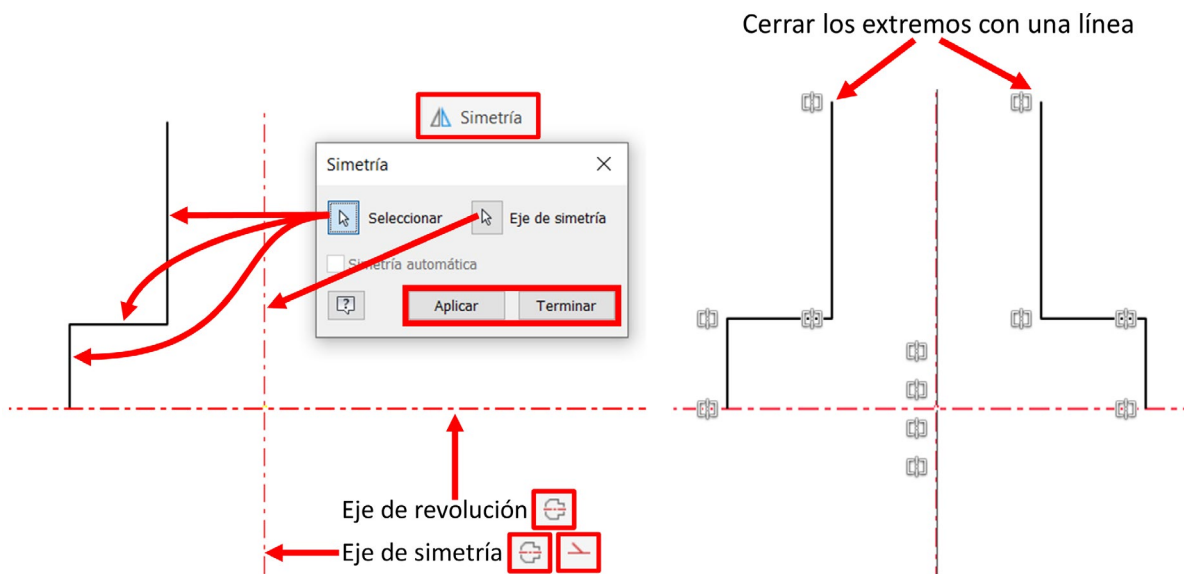
Al igual que en el resto de las revoluciones, se debe dibujar el contorno solo a un lado del eje de revolución, pero no se debe partir el boceto simétrico por la mitad para emplear la operación de *Simetría* en el modelo, sino que hay que dibujar el boceto a los dos lados del eje de simetría.

Tanto el eje de simetría como el de revolución deben ser *Ejes*, pero mientras que el eje de revolución es parte del contorno y NO debe ser *Línea de construcción*, el eje de simetría no es parte del contorno y SÍ debe ser *Línea de construcción*.

Se puede emplear la operación de *Simetría* en el *Boceto* para realizar la parte simétrica procediendo de la siguiente forma:

- Proyectar ambos ejes haciendo línea de construcción SOLO el eje de simetría.
- Dibujar las líneas del contorno de un lado del eje de simetría.
- Aplicar *Simetría* (seleccionar primero todas las líneas y después el eje) para obtener la parte al otro lado del eje de simetría.
- Cerrar la parte de arriba (la de abajo está cerrada por el eje de revolución).





La operación de *Simetría* en el Boceto, además de dibujar la parte simétrica, aplica todas las restricciones de *Simetría* necesarias (en la imagen de la derecha, una por cada vértice de las líneas).

El resultado es el mismo que dibujar ambos lados e ir aplicando restricciones de *Simetría*, pero es más rápido.

Por último, realizar la operación de *Revolución* completa. Como hay más de un eje dentro del boceto (el de revolución y el de simetría), se deberá seleccionar un eje de forma explícita. En este caso, el eje de revolución es el horizontal (Figura 3.35).

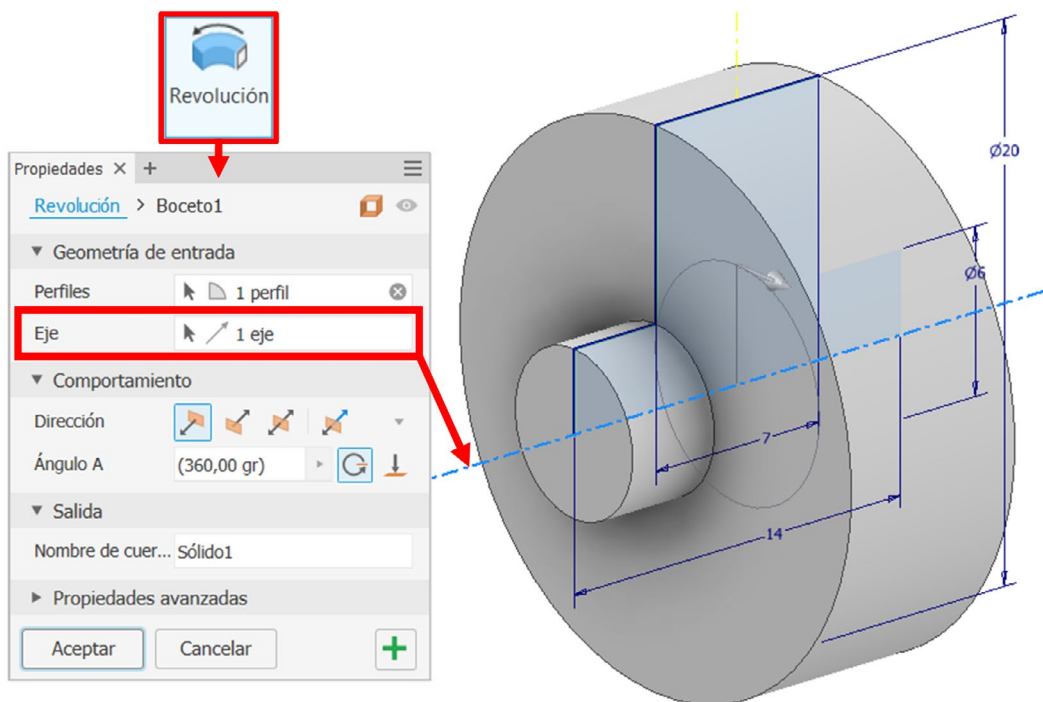


Figura 3.35. Realización *Revolución*.

3.3. Solevación

La operación de *Solevación* (Figura 3.36) es una mezcla de secciones, de modo que se pueden crear formas complejas con diferentes bocetos (paralelos o no), y que la aplicación interpola para generar geometría entre ellos según los parámetros configurados en la operación. El número de bocetos debe ser \geq dos.

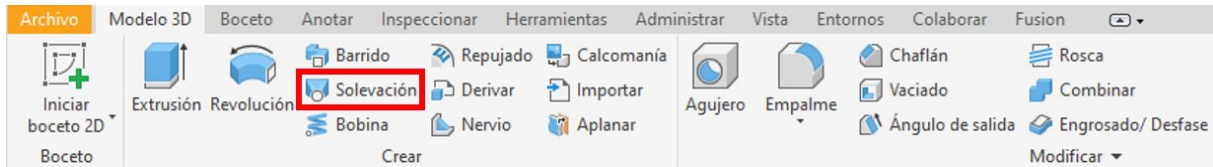


Figura 3.36. Pestaña de *Solevación* dentro de las herramientas de *Modelo 3D*.

Para iniciarnos en esta función, se ilustra el modelado de una taza a partir de tres bocetos paralelos entre sí y a una determinada distancia uno de otro. Los bocetos son un *Cuadrado*, un *Hexágono* y un *Círculo*. El orden de creación de los bocetos no importa, ya que cuando ejecutemos la operación de *Solevación*, nos pedirá que seleccionemos los bocetos para la mezcla, y es ahí donde los seleccionaremos uno a uno en el orden deseado.

Para este ejemplo, se ha creado el *Cuadrado* en uno de los planos de origen, luego se ha creado un *Plano* de trabajo paralelo (*Desfase*) (ver también *Sección 6. Operaciones de trabajo*) a dicho plano a una distancia de 20 mm, donde se ha dibujado un *Hexágono*, y por último, se ha dibujado un *Círculo* en un tercer boceto en otro *Plano* con desfase 30 mm de este último (Figura 3.37).

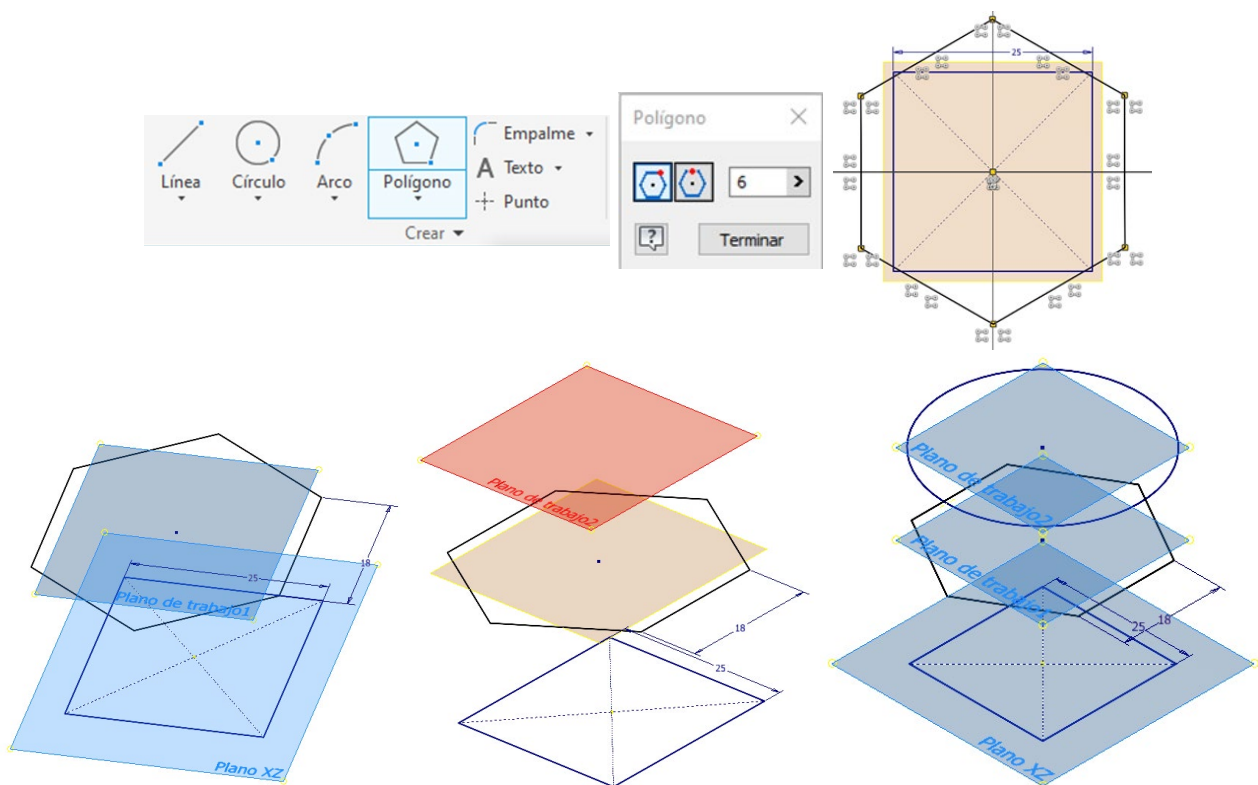


Figura 3.37. Proceso de creación de bocetos.

La interpolación entre los dos primeros bocetos es única (recta) (Figura 3.38), sin embargo, una vez seleccionados los tres bocetos en el orden deseado, ya se aprecia la interpolación suave (líneas verdes de la Figura de la izquierda), obteniéndose la forma que muestra la Figura 3.39. Si la forma obtenida no es la deseada, se pueden modificar los bocetos a nuestro antojo. En este caso, únicamente modificaremos el *Cuadrado*, reduciendo sus dimensiones, con lo que obtendremos una geometría más parecida a una taza (Figura 3.40).

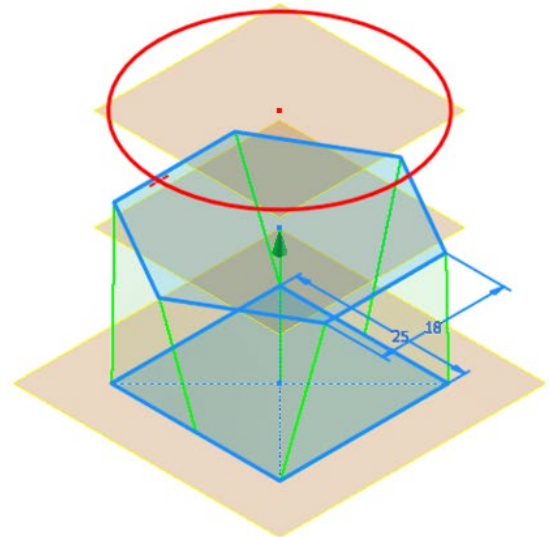
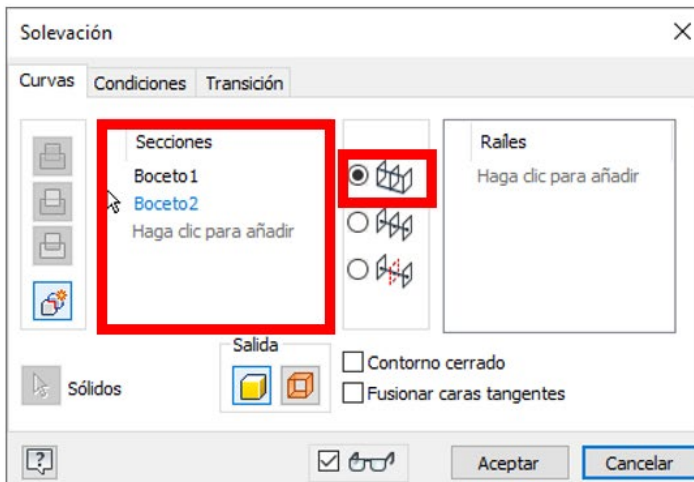


Figura 3.38. Interpolación recta entre los dos primeros bocetos.

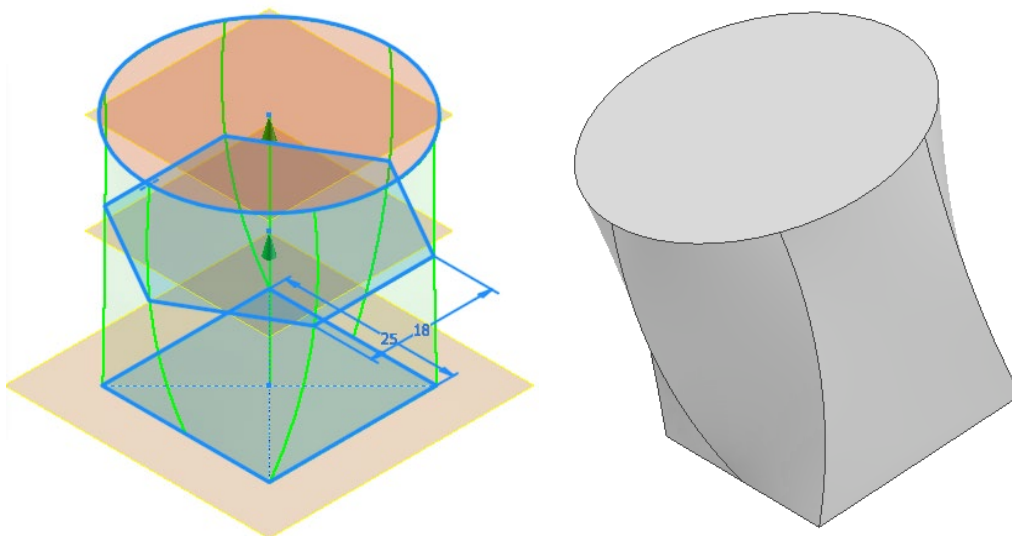


Figura 3.39. Interpolación suave con todos los bocetos.

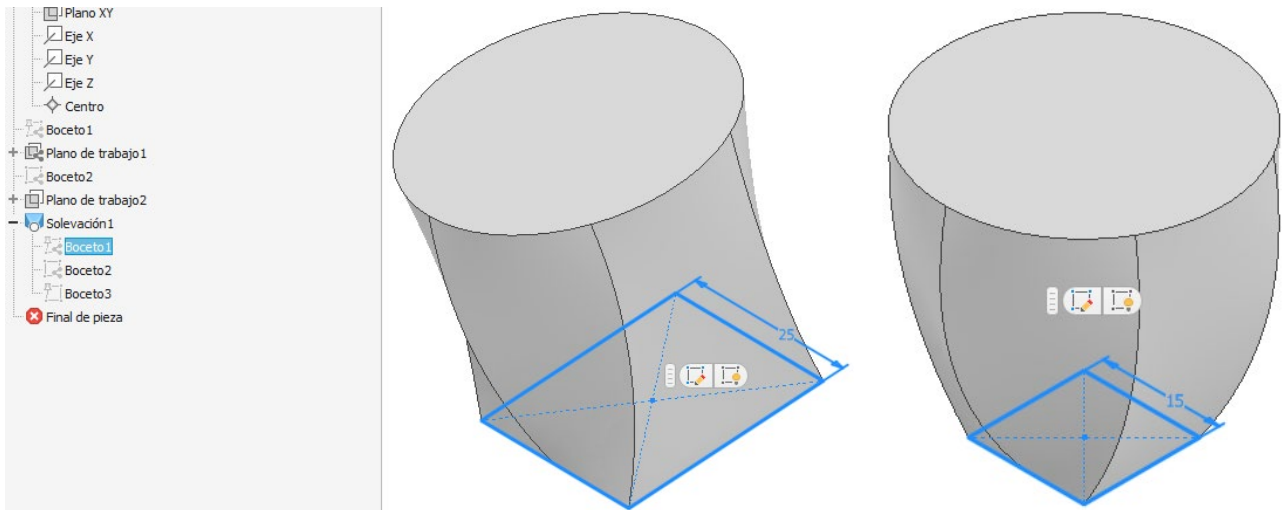


Figura 3.40. Modificación de bocetos.



La operación de *Solevación* también tiene otros parámetros interesantes, como el generar un sólido o superficie, o dar unas condiciones para el primer y último boceto de la mezcla relativo a la condición de dirección (libre o con restricción de dirección en un determinado ángulo), tal como se muestra en las Figuras 3.41 y 3.42.

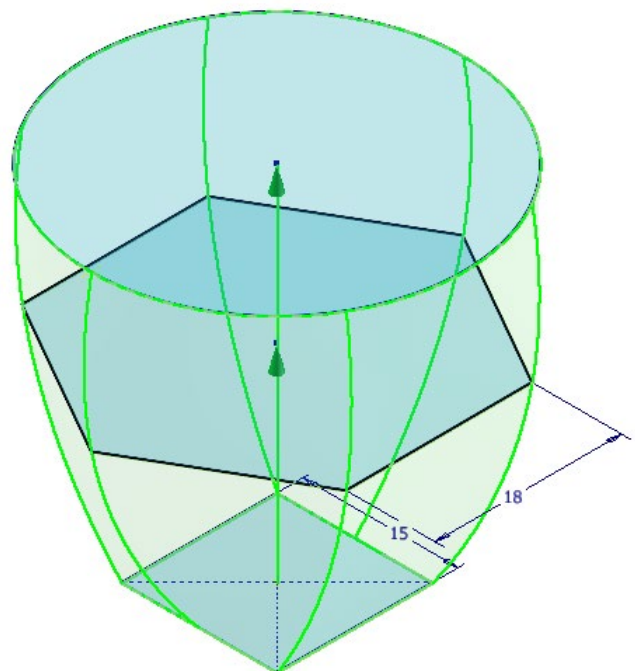
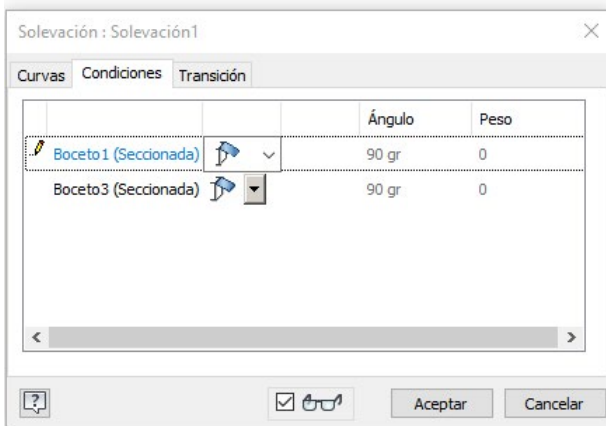


Figura 3.41. Condición de dirección libre.

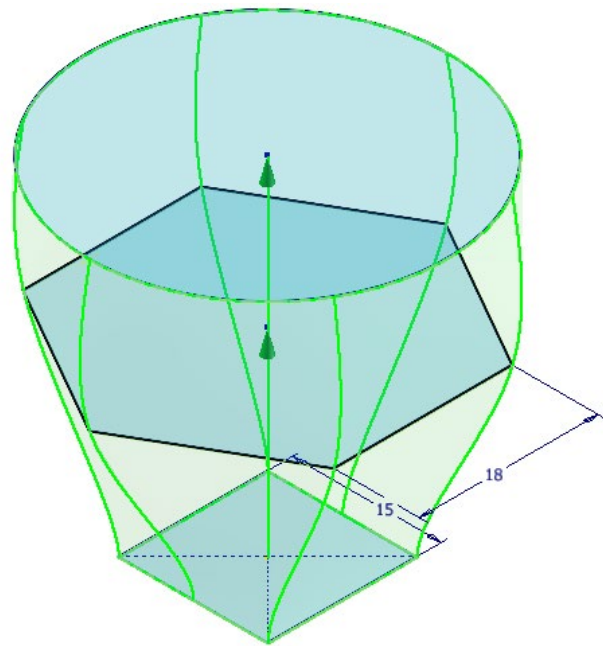
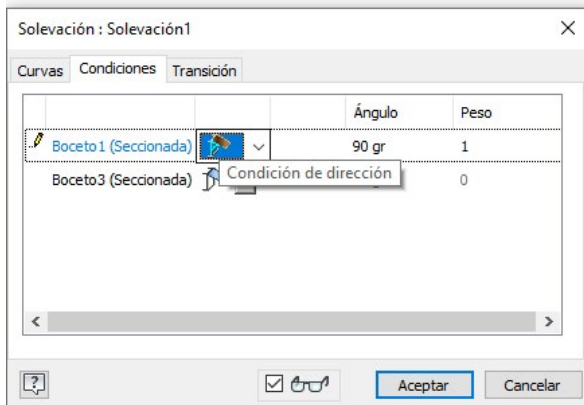


Figura 3.42. Condición de dirección para el boceto inicial.

Si activamos la opción de *Contorno cerrado*, el resultado es el que muestra la Figura 3.43, donde se aprecia que la mezcla termina en el boceto inicial donde comenzó.

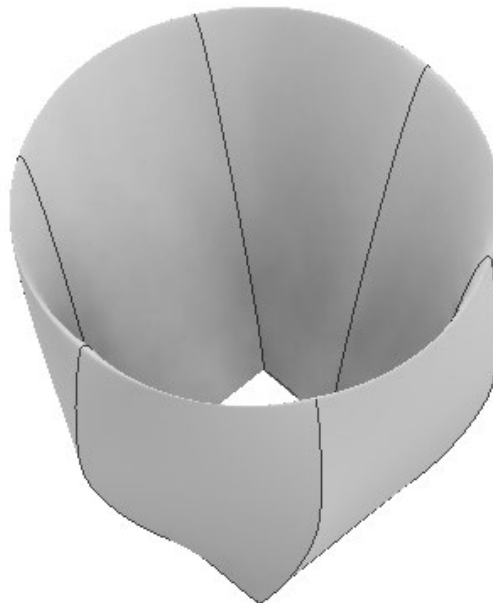


Figura 3.43. Opción *Contorno cerrado*.

Para continuar con la taza, asumiremos los parámetros por defecto y, finalmente, crearemos un vaciado (ver también *Sección 4. Operaciones de modificación*) seleccionando para eliminar la cara superior (Figura 3.44).

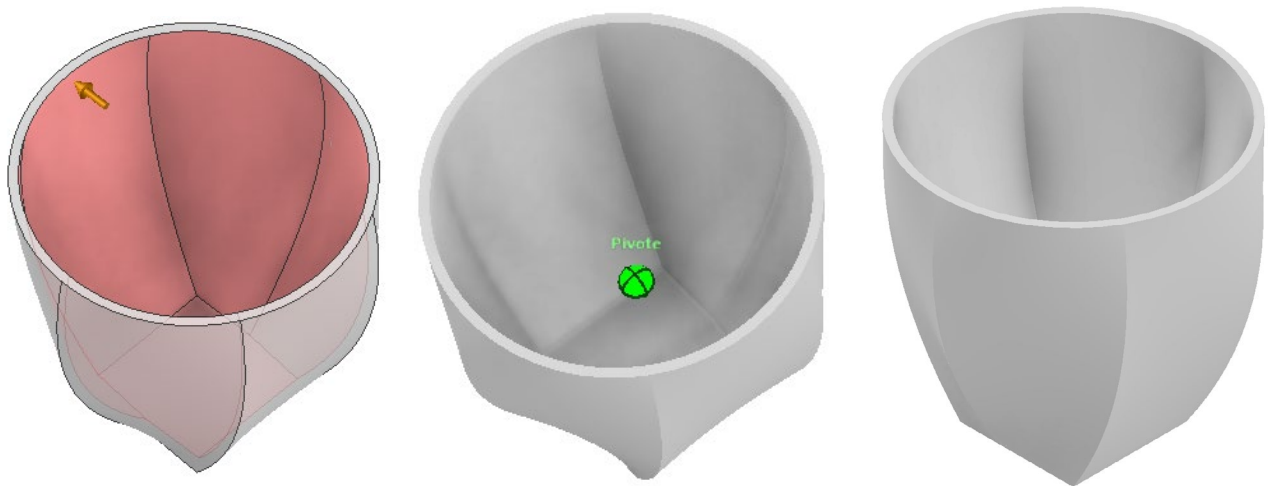


Figura 3.44. Vaciado eliminando la cara superior.



La Solevación puede trabajar mezclando bocetos realizados en planos paralelos entre sí (como en los ejemplos que se han ilustrado) o en planos con una disposición diferente. También permite introducir una trayectoria para la mezcla, en este caso se necesitaría un boceto extra que seleccionaríamos en la ventana de Railes de la pestaña Curvas.

3.4. Barrido

La operación de *Barrido* (Figura 3.45) genera geometría a partir de dos bocetos (secciones), un boceto será la trayectoria del barrido, y el otro será la forma o sección que barrerá dicha trayectoria. A partir de ahora nos referiremos a estos dos bocetos como trayectoria y sección. La trayectoria puede ser abierta o cerrada (punto inicial coincidente con el punto final). La sección también, pero cuando es abierta se genera una superficie en lugar de un sólido.

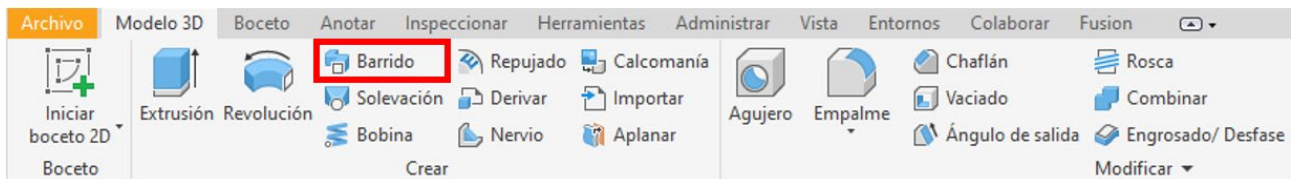


Figura 3.45. Pestaña de *Barrido* dentro de las herramientas de *Modelo 3D*.

Vamos a ilustrar su funcionamiento mediante dos ejemplos. En el primer ejemplo utilizaremos un modelo anterior (caja con bordes redondeados), al que le vamos a generar un ribete alrededor. Para el boceto de la sección (Figura 3.46) se usará uno de los dos planos de origen verticales, donde dibujaremos un *Círculo* con centro en una esquina que previamente hemos proyectado en el plano del boceto. Una vez terminado dicho boceto, procederemos a dibujar el boceto de la trayectoria (Figura 3.47). Para ello, elegiremos como plano del boceto la cara superior de la caja, y luego proyectaremos dicha cara en el plano del boceto, de modo que ya tenemos la trayectoria creada.

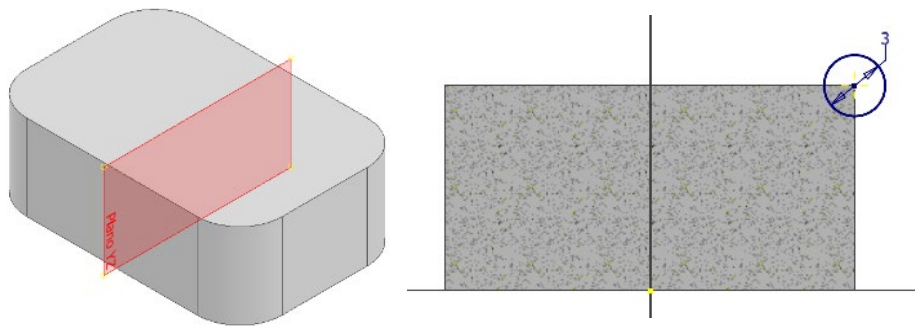


Figura 3.46. Realización boceto de sección.

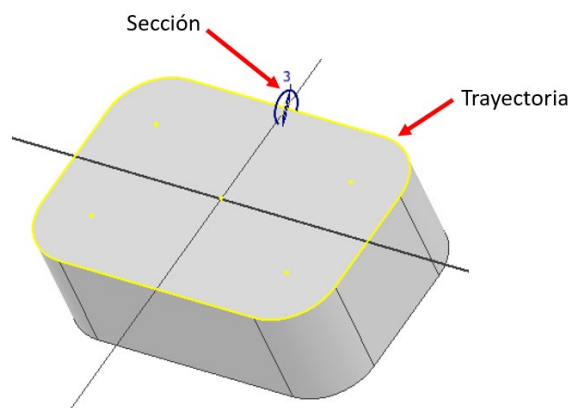


Figura 3.47. Realización boceto de trayectoria.

Una vez creados los dos bocetos, da igual el orden, ejecutaremos la opción de *Barrido* (Figura 3.48), y seleccionaremos la sección (boceto que contiene al círculo), la trayectoria (boceto que contiene las 4 rectas y los 4 arcos que limitan la tapa superior de la caja), la opción de *Barrido* para que la sección recorra la trayectoria siempre perpendicular a la normal de la trayectoria en cada punto de esta, y añadiremos material al modelo.

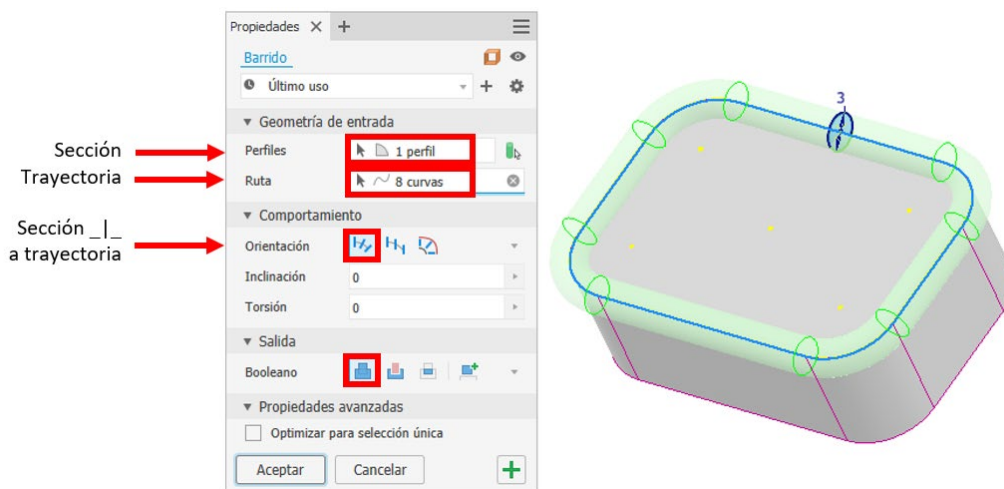


Figura 3.48. Realización de *Barrido*.

El resultado si se añade material o se elimina es el de la Figura 3.49.



Figura 3.49. Adición (izquierda) o eliminación (derecha) de material.

En este ejemplo hemos visto cómo crear un barrido con una trayectoria cerrada y una sección también cerrada. En el siguiente ejemplo vamos a crear un barrido con una trayectoria abierta y una sección cerrada. Para ello vamos a utilizar la taza creada previamente con la *Solevación* para añadirle un asa y que quede tal como muestra la Figura 3.50.

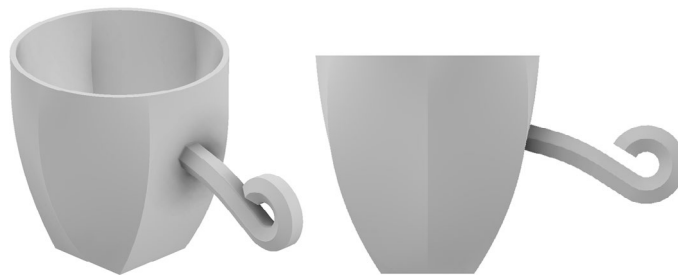


Figura 3.50. Ejemplo de *Barrido* con trayectoria abierta.

En primer lugar, necesitamos un plano para el boceto, tanto para la sección como para la trayectoria. Para la sección, que vamos a crear hexagonal, crearemos un plano que pase por 3 puntos (Figura 3.51) (ver también *Sección 6. Operaciones de trabajo*).

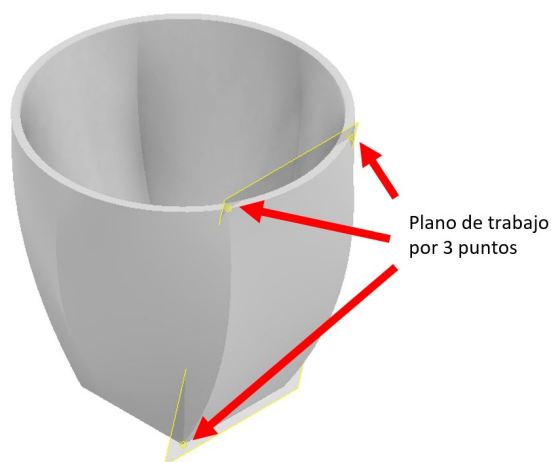


Figura 3.51. Creación de plano que pasa por 3 puntos.

Posteriormente, crearemos un plano tangente a superficie y paralelo a plano (ver también *Sección 6. Operaciones de trabajo*), de la forma que se indica a continuación en la Figura 3.52, con lo que ya tenemos creado el plano del boceto de la sección.

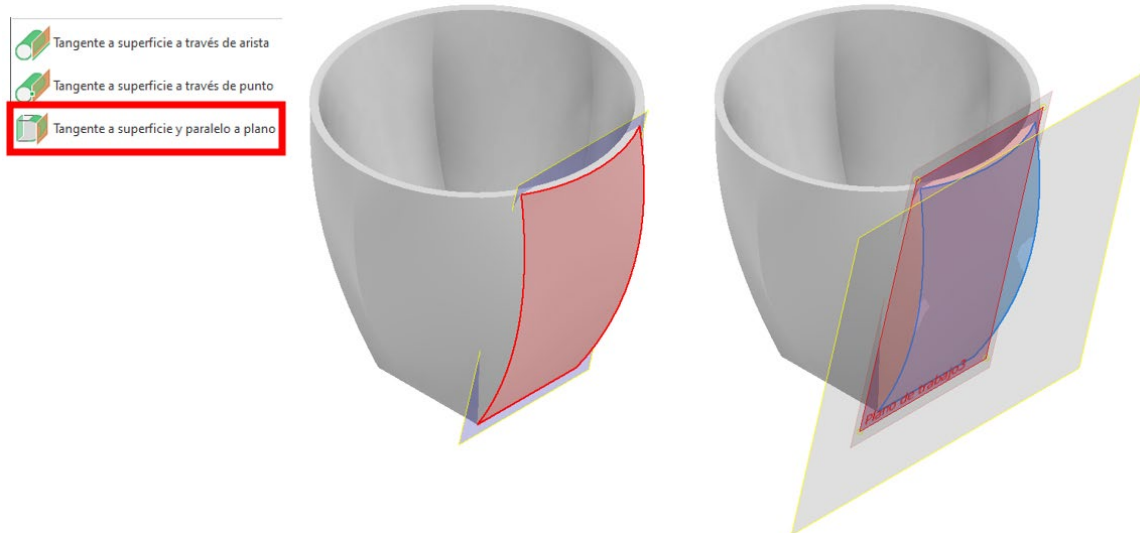


Figura 3.52. Creación de plano tangente a superficie y paralelo a plano.

Podemos crear ahora el hexágono que será la sección del asa. Para ello seleccionaremos el plano tangente creado como plano del boceto y procederemos a crear un *Polígono* regular de 6 lados centrado en la taza (Figura 3.53).

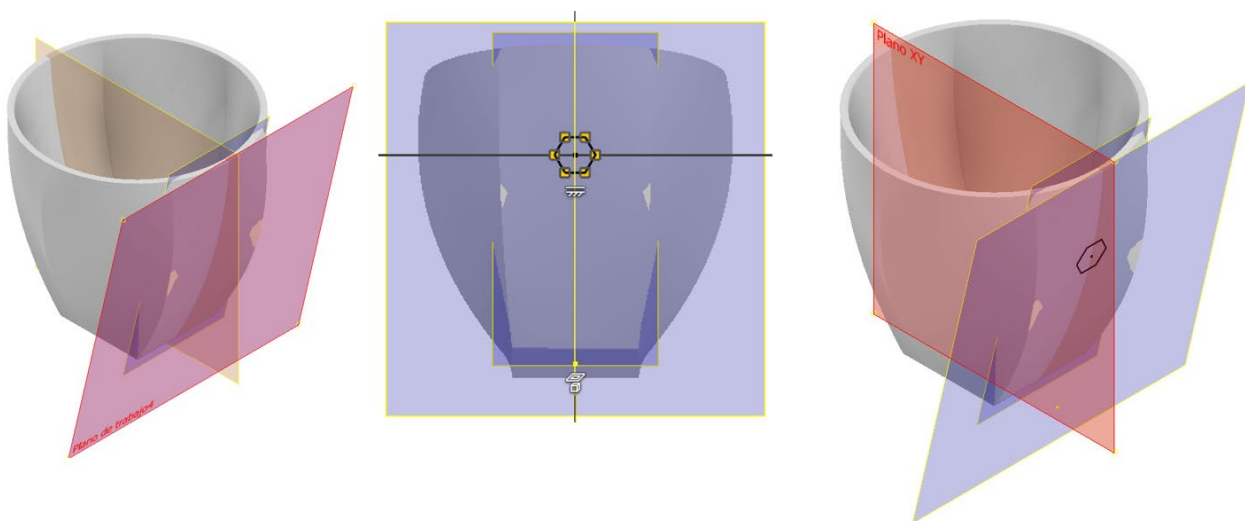


Figura 3.53. Creación del boceto de la sección.

Para el boceto de la trayectoria, seleccionaremos ahora el plano de origen vertical que está centrado en la taza y es perpendicular al plano tangente de la sección hexagonal. Como hemos elegido un plano de boceto interior, eliminaremos de la visualización la mitad anterior de la taza (F7) para que el plano del boceto no quede oculto.

Para el barrido, seleccionaremos como perfil la sección del boceto que contiene el hexágono, y para la ruta seleccionaremos el boceto que contiene la trayectoria (especie de tirabuzón) (Figura 3.54).

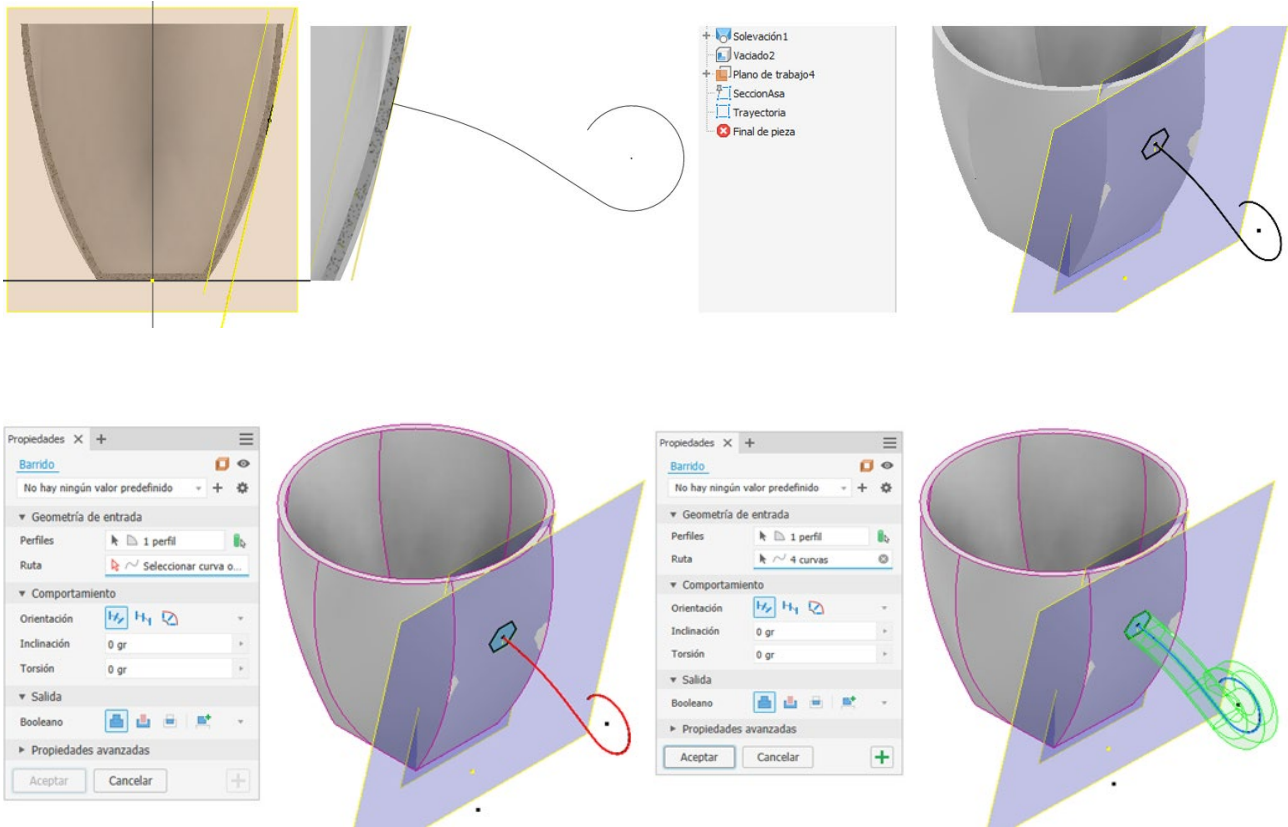


Figura 3.54. Creación del boceto de la trayectoria y realización del *Barrido*.

3.5. Bobina

La operación de *Bobina* (Figura 3.55) genera geometría a partir de un único boceto, obteniendo como resultado un barrido helicoidal.

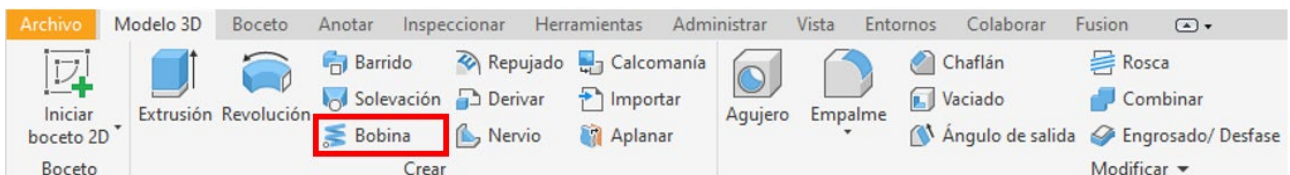


Figura 3.55. Pestaña de *Bobina* dentro de las herramientas de *Modelo 3D*.

El boceto contendrá una línea de eje, que actuará de eje de la trayectoria helicoidal, y una sección con la forma deseada. Supongamos el siguiente boceto dibujado en uno de los planos verticales de origen (Figura 3.56), donde la línea de eje se ha creado sobre uno de los planos verticales de origen (previamente proyectado), y un *Círculo* con su centro en el plano de origen horizontal.

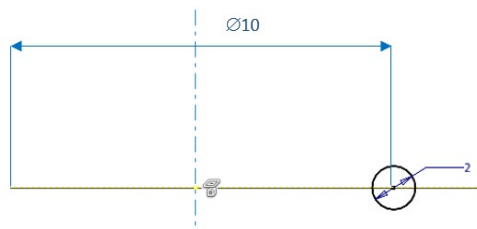




Figura 3.56. Boceto.

Una vez creado el boceto, ejecutamos la operación de *Bobina* (Figura 3.49). Esta función permite configurar varios parámetros, como son la dirección del eje  que coje automáticamente del boceto detectado (o seleccionado), si la curva de la trayectoria helicoidal la queremos configurar como *Altura* y *paso* de la helicoide o como *Paso* y *número de revoluciones* (Figura 3.57) o si es a derechas o izquierdas .

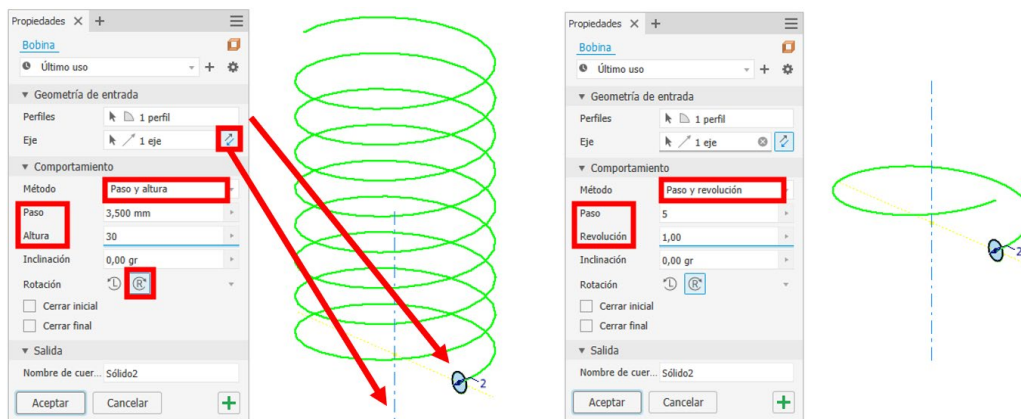


Figura 3.57. Realización de *Bobina*. Curva de la trayectoria como *Altura* y *paso* (izquierda) o *Paso* y *número de revoluciones* (derecha).

También permite crear material en dirección de una espiral o una helicoide troncocónica (Figura 3.58) introduciendo un valor de ángulo, que puede ser positivo o negativo dependiendo de si queremos mayor abertura arriba o abajo.

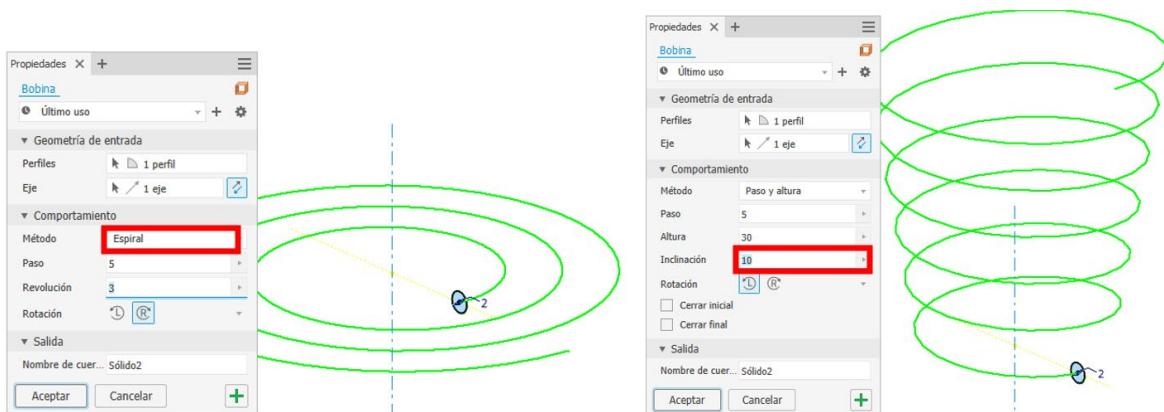


Figura 3.58. Realización de *Bobina*. Creación de material en dirección de una espiral (izquierda) o una helicoide troncocónica (derecha).

El caso es que, configurando la bobina con los parámetros iniciales, tenemos la pieza que muestra la Figura 3.59.



Figura 3.59. Pieza realizada con *Bobina*.

Como se puede observar, este muelle o resorte modelado plantea el problema de inestabilidad en sus extremos. Si nos fijamos en otros muelles, por ejemplo, en amortiguadores para vehículos, estos tienen ambos extremos planos (Figura 3.60).



Figura 3.60. Ejemplo de amortiguadores para vehículos con extremos planos.

Esta configuración la podemos obtener de la siguiente manera, donde se ha configurado el extremo inicial (en color rojo) para que los primeros 180° de recorrido, estén sobre un plano horizontal y los siguientes 90° sean de transición, de modo que a partir de ahí comienza la primera espira (vuelta) útil. Lo mismo se ha configurado para el extremo final (color verde). En la Figura 3.61 se presentan dos vistas diferentes del mismo muelle para que se aprecie mejor el resultado.

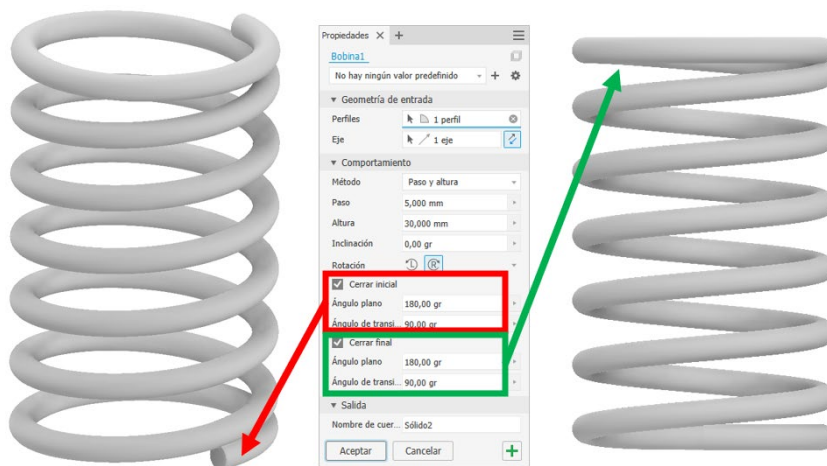


Figura 3.61. Muelle con extremos planos.

La misma configuración se puede realizar para bobinas troncocónicas. En la Figura 3.62 se muestran dos vistas de esta geometría con extremos planos.

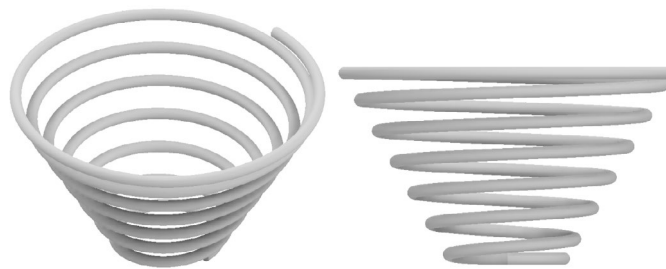


Figura 3.62. Bobina troncocónica con extremos planos.



Hay que tener cuidado con la configuración del ángulo plano y las transiciones, ya que si se eligen valores altos o incompatibles, no se puede generar la geometría.

3.6. Nervio

La operación de *Nervio* (Figura 3.63) consiste en añadir material al modelo cuya función será de refuerzo. Normalmente la forma del nervio suele ser triangular, pero el perfil del nervio puede tener cualquier forma.

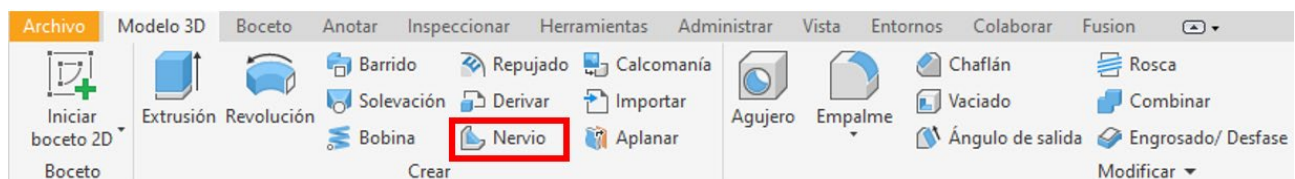


Figura 3.63. Pestaña de *Nervio* dentro de las herramientas de *Modelo 3D*.

Supongamos que en la pieza siguiente (Figura 3.64) se quiere reforzar la sujeción del tetón central a la base mediante un nervio. Para ello se debe coger un plano central para crear un boceto que contenga el perfil del nervio. En este caso, como la pieza se ha modelado centrada en los planos de origen, cogeremos uno de los dos planos verticales (aquel donde queramos el nervio).

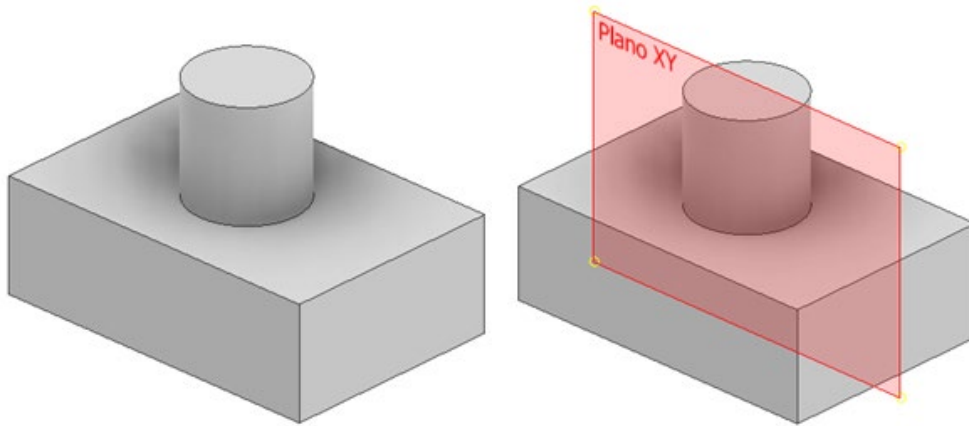


Figura 3.64. Pieza con tetón central a reforzar.

En los casos en los que el plano del boceto queda en el interior del modelo, se hace necesario visualizar dicho plano sin material delante que oculte lo que se está dibujando. Para ello, utilizaremos el icono de bajo de la ventana del modelo o la tecla de función F7. Además, es recomendable para dibujar el perfil del nervio, que previamente proyectemos la intersección de todas las caras del modelo con el plano del boceto. Esto se hace con la opción *Proyectar aristas de corte* del menú *Boceto*, con la opción de *Construcción* activada, ya que no formarán parte del perfil del nervio (Figura 3.65).

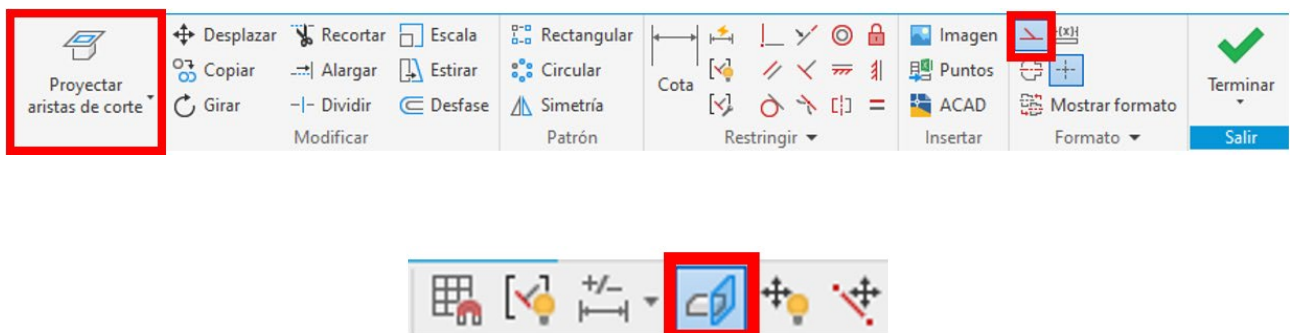


Figura 3.65. Proyección de aristas de corte (superficies del modelo con el plano del boceto) y Visualización del boceto sin ocultación.

Ahora se creará el boceto del nervio ya que esta operación requiere de *Boceto*. Únicamente bastará una *Línea* que apoye en la base y el tetón central para dibujar el perfil del nervio (Figura 3.66). De las dos cotas posibles, ya que el extremo derecho de la línea es colineal en el vértice derecho de la base, se ha elegido la de ángulo.

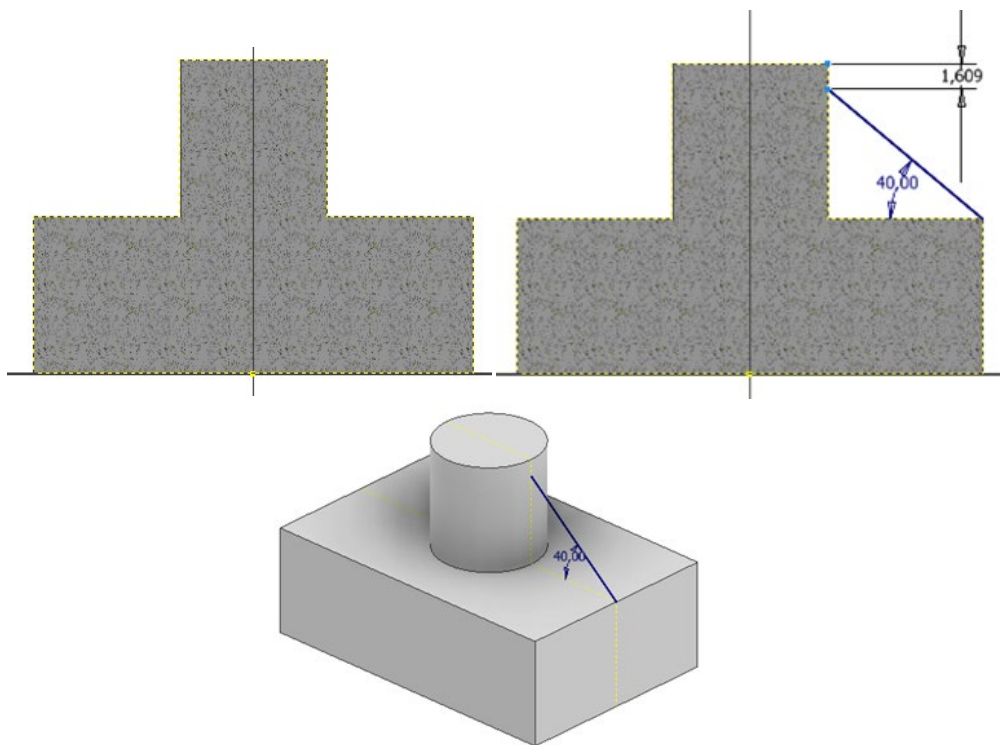


Figura 3.66. Boceto del nervio.

Una vez creado el boceto procederemos a crear dicho nervio (Figura 3.67). Las opciones más comunes son las enmarcadas en rojo, donde, con un espesor de 1 mm (*Grosor*), se creará una pared vertical que comenzará en la línea inclinada 40° y se extenderá infinitamente hasta interceptar con el modelo. El grosor se ha configurado a ambos lados del plano del boceto y se ha marcado la opción de *Nervio completo*. Además, se ha configurado en la pestaña *Forma* marcando la dirección donde se encuentra el objeto (esto depende de en qué dirección se haya dibujado el perfil del nervio, en este caso la línea inclinada, ya que es la dirección de la normal al perfil) y extendiendo el perfil completamente.

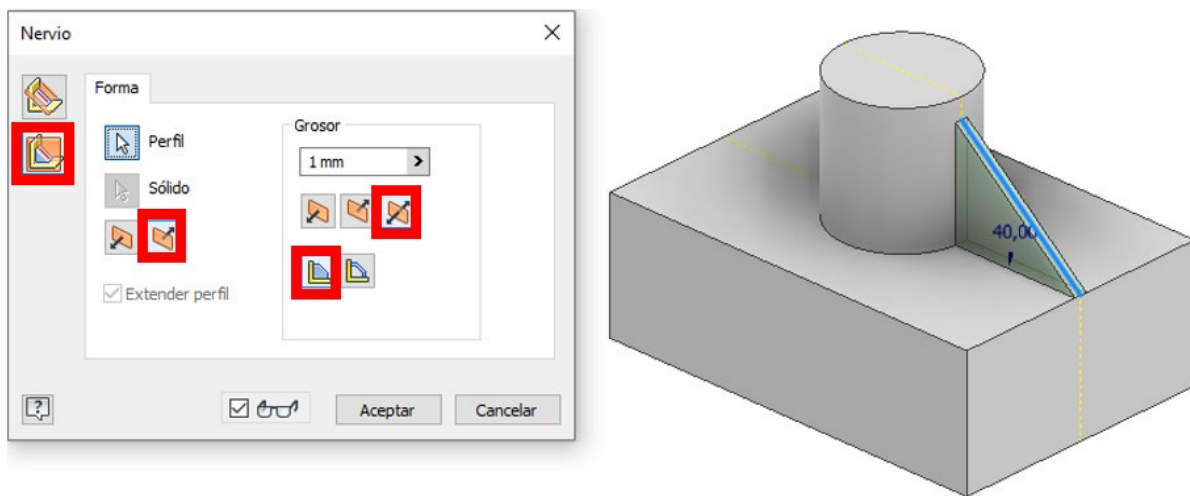


Figura 3.67. Creación más común del nervio.

En el caso de no querer el refuerzo completo sino un tirante, se marcará la opción resaltada en la Figura 3.68.

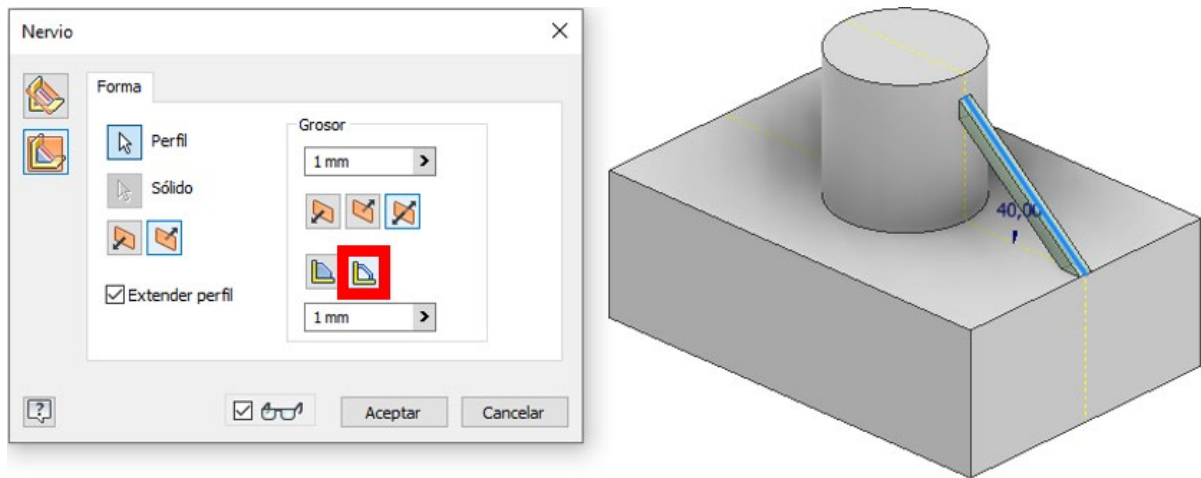


Figura 3.68. Configuración de un tirante de refuerzo.

Muchas veces, nos encontramos que los nervios tienen que realizarse de extremo a extremo, esto es, sin cotas necesarias, ya que los extremos de la línea coinciden con la proyección de aristas de corte realizada previamente (Figura 3.69).

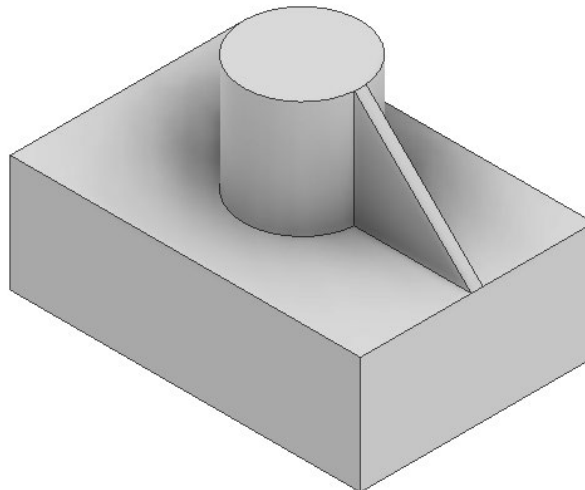


Figura 3.69. Nervio de extremo a extremo.

En este ejemplo tenemos un hándicap, y es que el extremo superior del nervio que coincide con el tetón central, lo hace terminando en una cara plana pero circular. Esto implica que cuando se genera el grosor, al extender el ancho del perfil hasta interceptar la pieza, hay partes del nervio que nunca la interceptan en el extremo que descansa sobre el tetón, imposibilitándose la creación del nervio. Esto se ilustra en la Figura 3.70, donde se ve que al generarse el grosor (líneas rojas de puntos), estas sí intersectan con la cara plana vertical de la base, sin embargo, al ser la cara

superior circular, los extremos del nervio se extienden infinitamente en busca de la pieza en la dirección de las flechas, y nunca la encuentran.

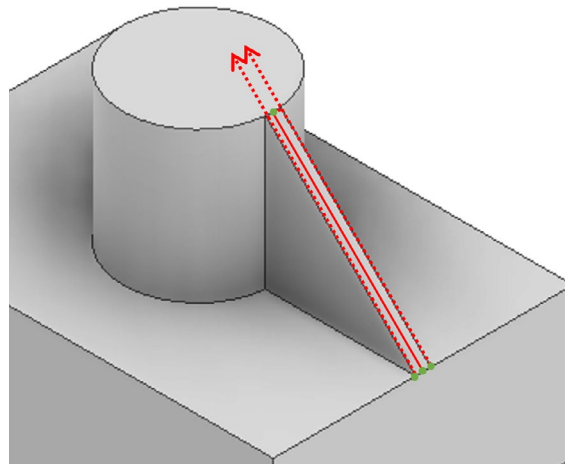


Figura 3.70. Los extremos del nervio no encuentran la base circular.

La solución, cuando nos encontramos con estos casos, es la creación de una línea adicional como la que se muestra en el boceto de la Figura 3.71. Así nos aseguramos de que, al extender el nervio, siempre intercepta la pieza y puede crearse.

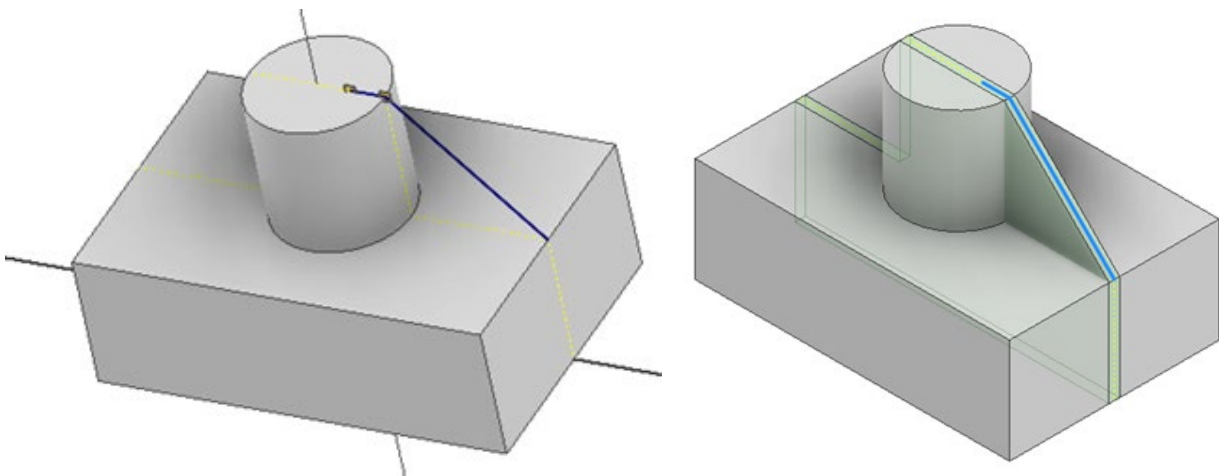


Figura 3.71. Creación de línea para interceptar base circular.



La operación de Nervio suele dar algún problema si no se controla bien cómo resuelve la aplicación. En caso de que haya problema, muchas veces no avisa y directamente no se previsualiza nada aunque tengamos la opción de previsualización (gafas) activada.

3.7. Modificación de bocetos y operaciones

Si una vez creada la geometría, hay necesidad de modificarla, ya sea el *Boceto* o la *Operación*, se puede hacer seleccionándola con el botón izquierdo del ratón sobre el árbol de modelo, y con el botón derecho acceder al menú contextual y seleccionar la opción *Editar boceto* o *Editar operación* (Figura 3.72).

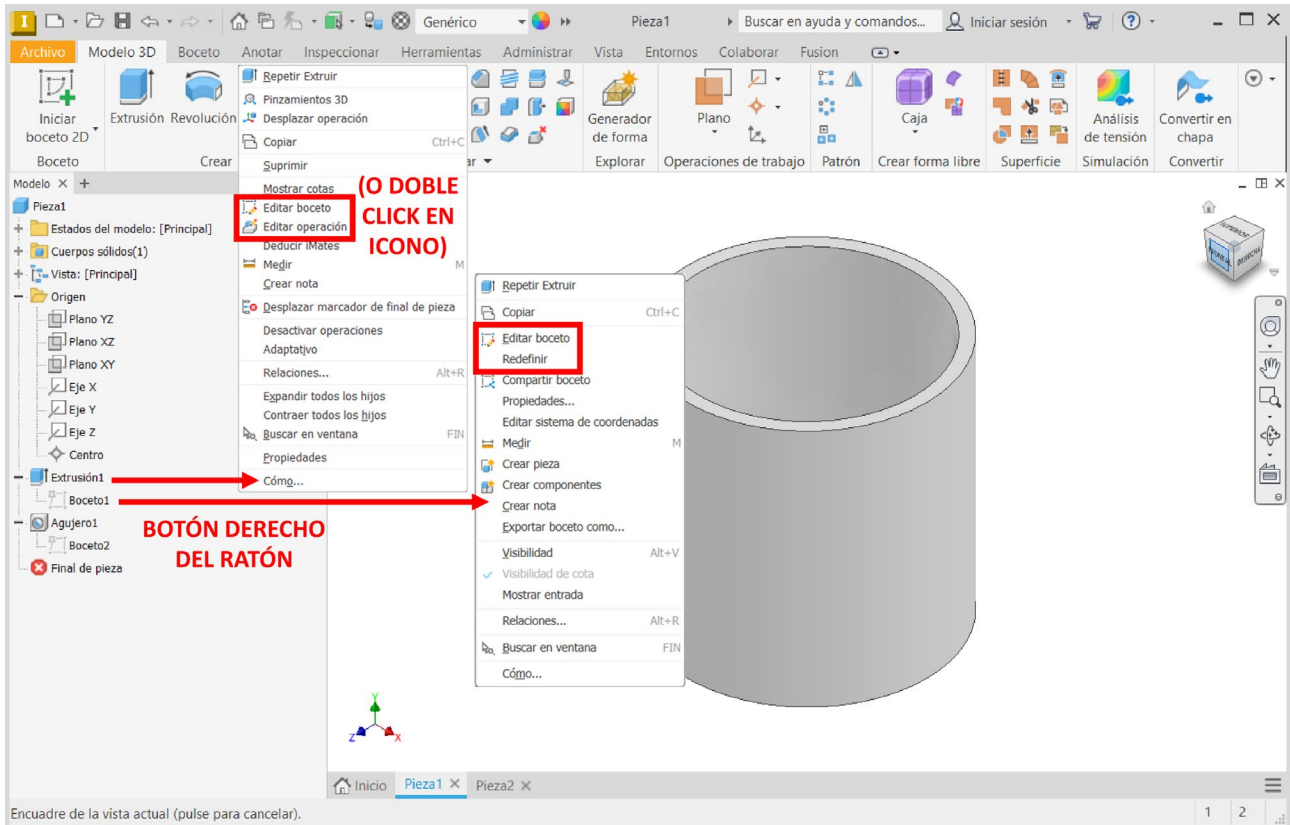


Figura 3.72. Menú para *Editar boceto* y *Editar operación*.



En el caso de los bocetos, además, se puede seleccionar otro plano para situarlo, en lugar del elegido inicialmente, mediante la opción Redefinir. No es nada habitual cambiar el plano en el que se sitúa un boceto, pero es útil en el caso de haber situado la pieza con una orientación incorrecta por una mala selección de plano inicial.

4

Operaciones de modificación

Algunas de las operaciones de modificación más habituales son *Agujeros*, *Chaflanes* y *Empalmes* (o redondeos) (Figura 4.1). Aunque también están otras como el *Vaciado* o la creación de una *Rosca*.

Las herramientas *Empalme* y *Chaflán* no necesitan bocetos, mientras que la herramienta *Agujero* solo necesita un boceto cuando el agujero no es concéntrico a otros elementos circulares. En este caso se utiliza la herramienta *Punto*, para indicar los centros de los agujeros.

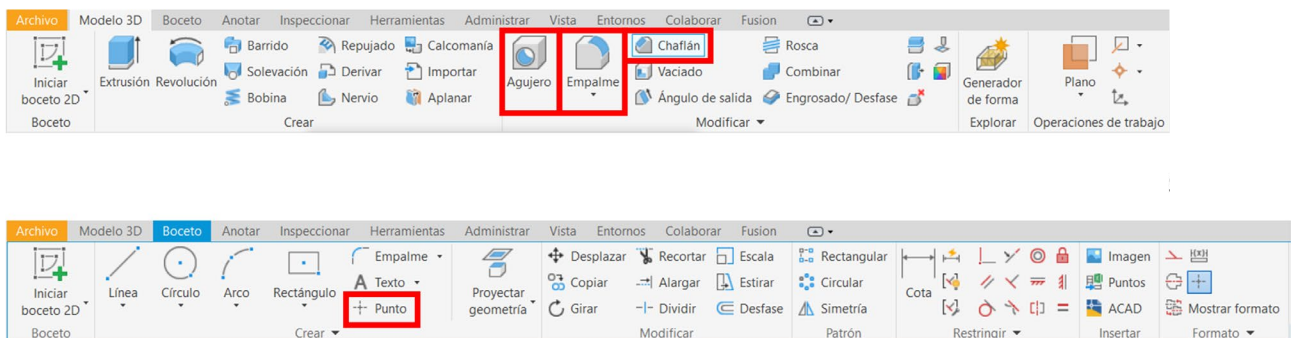


Figura 4.1. Pestañas de las operaciones de *Agujero*, *Chaflán* y *Empalme* dentro de las herramientas de *Modelo 3D* y del *Punto* dentro de las herramientas de *Boceto*.

Para ejemplificar el uso de estas operaciones se utilizarán dos piezas, pieza base (Figura 4.2) y pieza superior (Figura 4.3) que pueden unirse mediante tornillos (Figura 4.4).

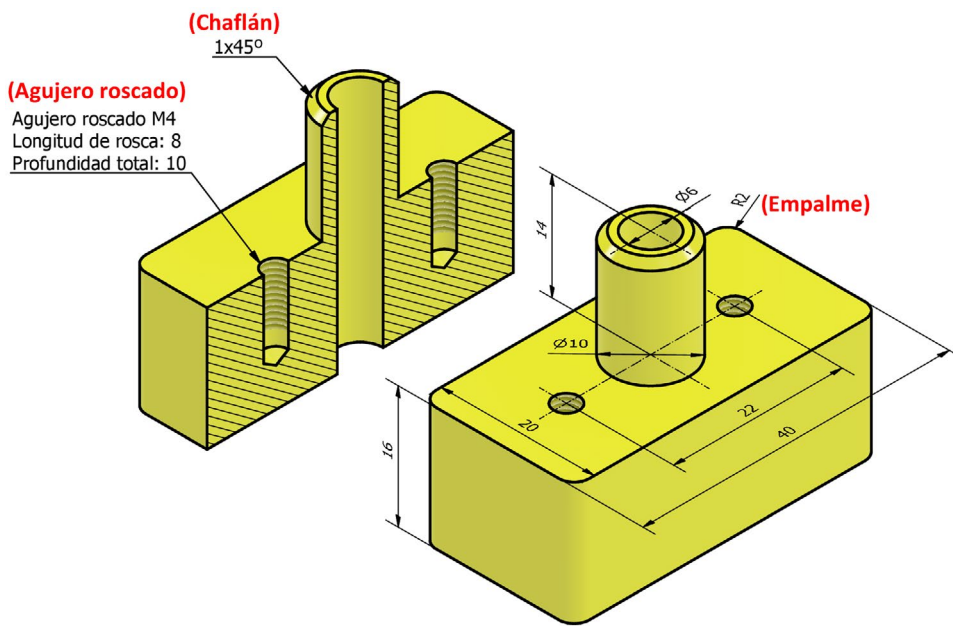


Figura 4.2. Pieza base.

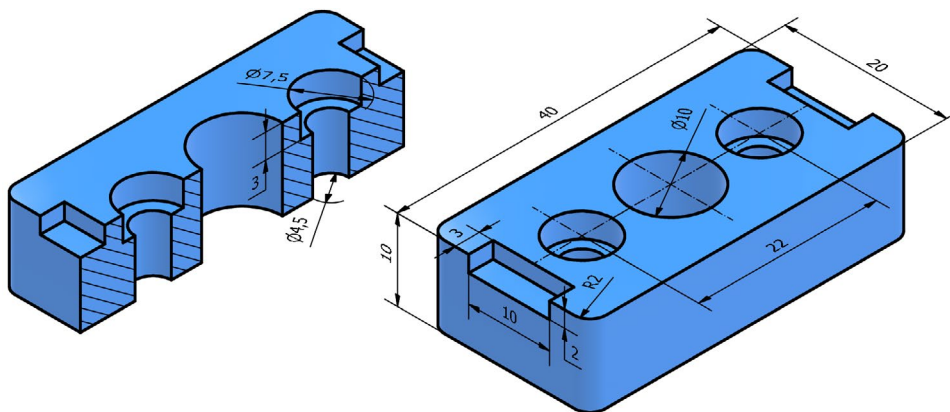


Figura 4.3. Pieza superior.

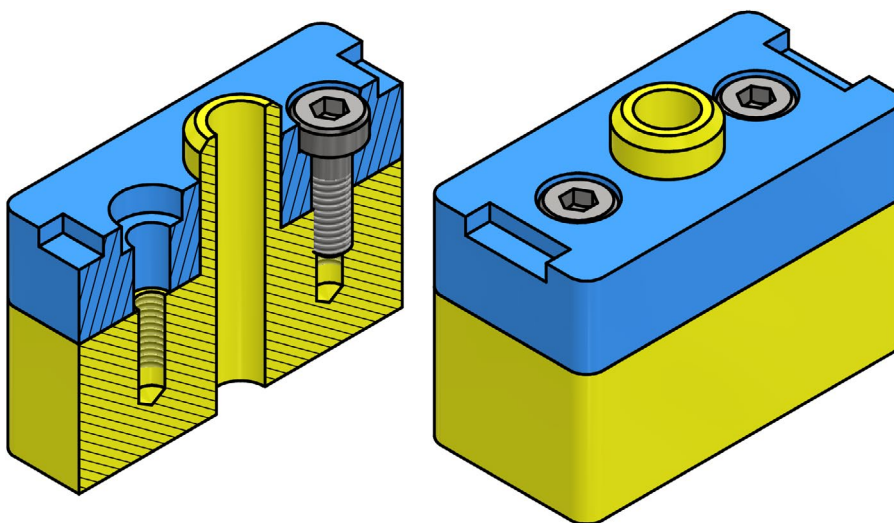


Figura 4.4. Unión de las dos piezas mediante tornillos.

4.1. Agujeros

Los *Agujeros* son operaciones que funcionan igual que un taladro: siempre son agujeros cilíndricos, pueden ser ciegos o pasantes, pueden ir o no roscados, y pueden tener o no asiento para alojar la cabeza de un tornillo.

Agujero pasante

Para realizar este agujero se partirá de la "Pieza superior" (Figura 4.3) con una única extrusión para crear una caja de 40 x 20 x 10 mm centrada en el origen.

Para hacer el agujero se debe crear primero un *Boceto* en la cara superior y situar un *Punto* (no un *Círculo*) en el centro (coincidiendo con el origen) (Figura 4.5).

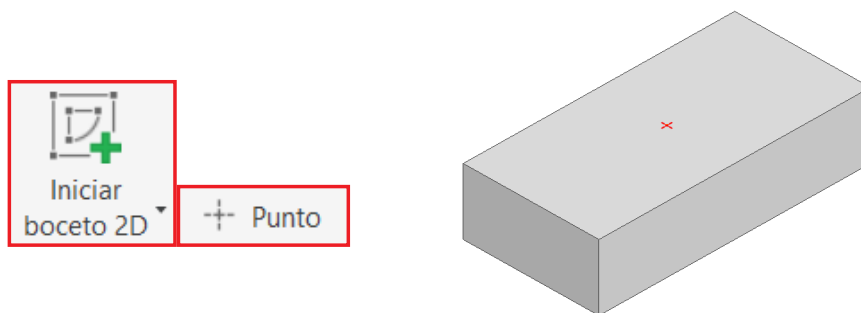
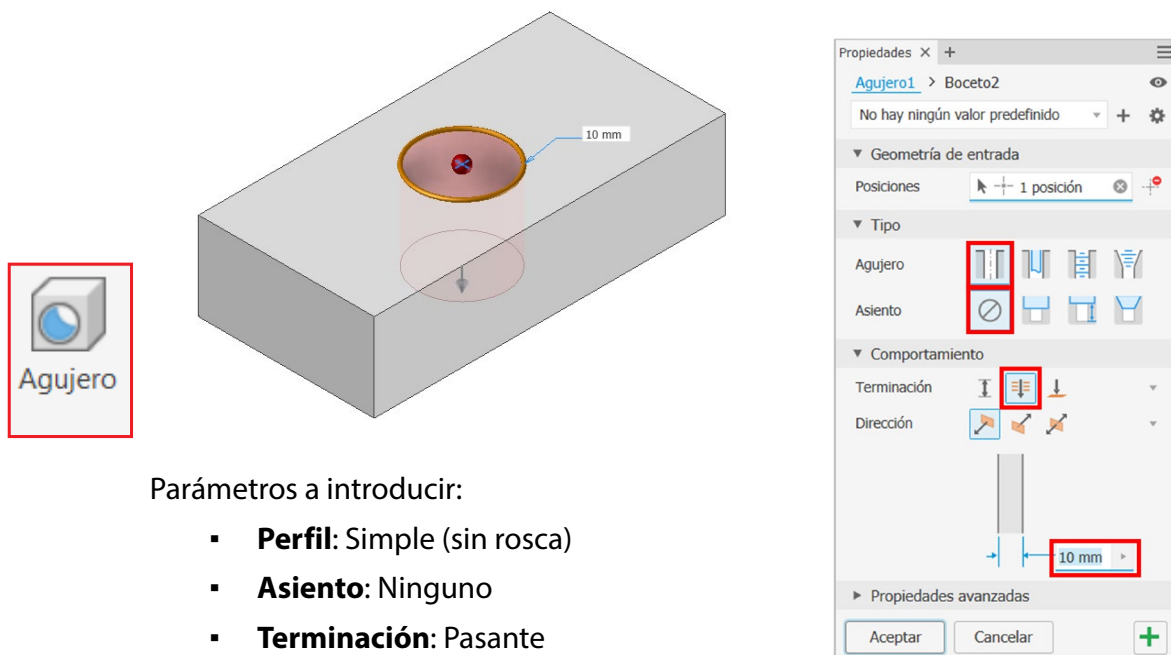


Figura 4.5. Boceto del agujero mediante un *Punto*.

La operación de *Agujero* creará agujeros iguales en todos los puntos que se hayan definido en el boceto (en este caso, solo 1). Se deben seleccionar los parámetros correspondientes (Figura 4.6).



Parámetros a introducir:

- **Perfil:** Simple (sin rosca)
- **Asiento:** Ninguno
- **Terminación:** Pasante
- **Diámetro:** 10 mm

Figura 4.6. Realización *Agujero* simple pasante.

Agujero concéntrico

Para realizar este agujero se partirá de la "Pieza base" (Figura 4.2), realizada con una extrusión de un *Rectángulo* para crear una caja de 40 x 20 x 16 mm centrada en el origen seguida de una extrusión de un *Círculo* para crear un cilindro de diámetro 10 mm y altura 14 mm centrada en la cara superior de la caja.

Si el agujero es concéntrico a una parte circular, no es necesario crear *Boceto*, sino que hay que emplear la operación de *Agujero* directamente pulsando en primer lugar en la superficie plana (1) en la que se realizará el agujero y, a continuación, en el contorno circular (2) al cual es concéntrico el agujero (Figuras 4.7 y 4.8).

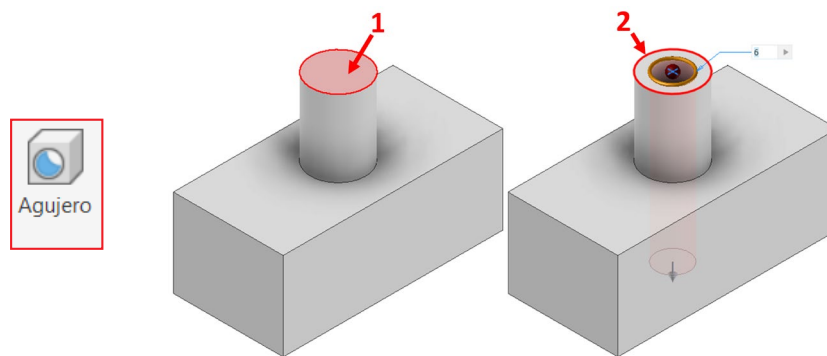


Figura 4.7. Agujero concéntrico a contorno circular.

Parámetros a introducir (solo cambia el diámetro respecto al caso anterior):

- **Perfil:** Simple (sin rosca)
- **Asiento:** Ninguno
- **Terminación:** Pasante
- **Diámetro:** 6 mm



Si no permite seleccionar la superficie plana, hay que pulsar el botón indicado con la flecha.

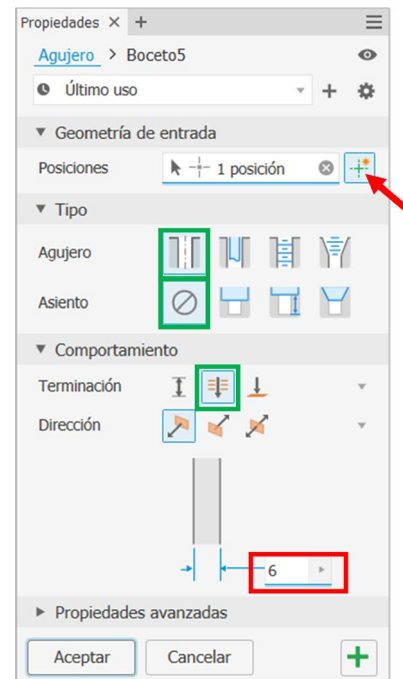


Figura 4.8. Realización *Agujero* concéntrico simple pasante.

Agujero con asiento cilíndrico

Para realizar este tipo de agujero se continuará con la "Pieza superior" (Figura 4.3).

En este ejemplo se deben situar dos puntos sobre el eje horizontal y separados 22 mm entre sí, simétricamente respecto al eje vertical, para generar los dos agujeros (Figura 4.9).

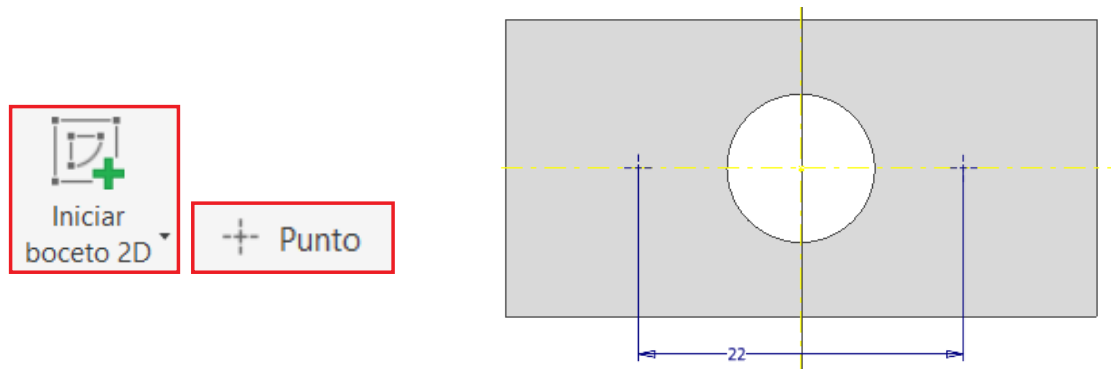
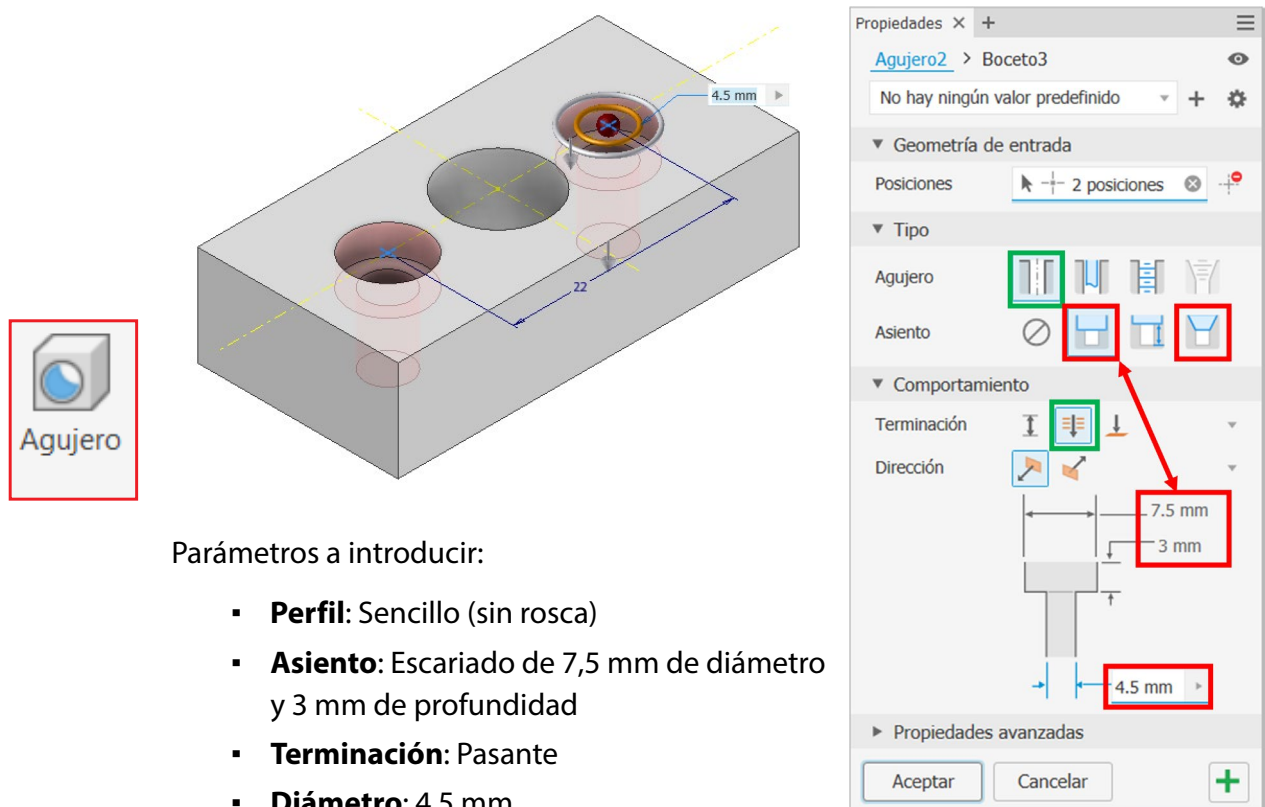


Figura 4.9. Boceto de *Puntos* para agujeros con asiento.

La diferencia de estos agujeros respecto a los anteriores, además del diámetro, es que tienen un asiento cilíndrico para alojar cabezas de tornillos (Figura 4.10).



Parámetros a introducir:

- **Perfil:** Sencillo (sin rosca)
- **Asiento:** Escariado de 7,5 mm de diámetro y 3 mm de profundidad
- **Terminación:** Pasante
- **Diámetro:** 4,5 mm

Figura 4.10. Realización *Agujero* pasante con asiento cilíndrico.



Existe otro tipo de asiento muy utilizado que es el *Avellanado*

Agujero ciego roscado

Para realizar este tipo de agujero se continuará con la "Pieza base" (Figura 4.2).

Al igual que en el ejemplo anterior, se deben situar dos puntos sobre el eje horizontal y separados 22 mm entre sí, simétricamente respecto al eje vertical, para generar los dos agujeros (Figura 4.11).

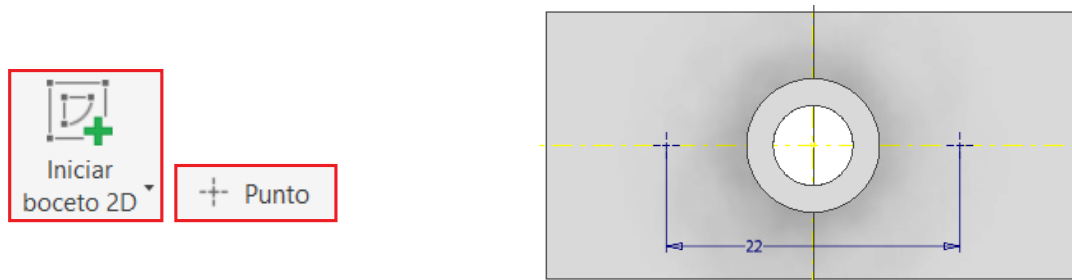


Figura 4.11. Boceto de *Puntos* para agujeros ciegos roscados.

Las características diferenciales de estos agujeros es que son roscados y ciegos. Para la rosca se debe indicar el tipo (siempre *Métrico ISO*), el diámetro y la longitud de rosca (que podría ser *Profundidad completa* en el caso de que llegara hasta el final del agujero). Al ser ciegos, también se debe indicar la profundidad total del agujero. La forma cónica del extremo inferior no hay que dimensionarla, puesto que es resultado de taladrar con una broca con punta (Figura 4.12).

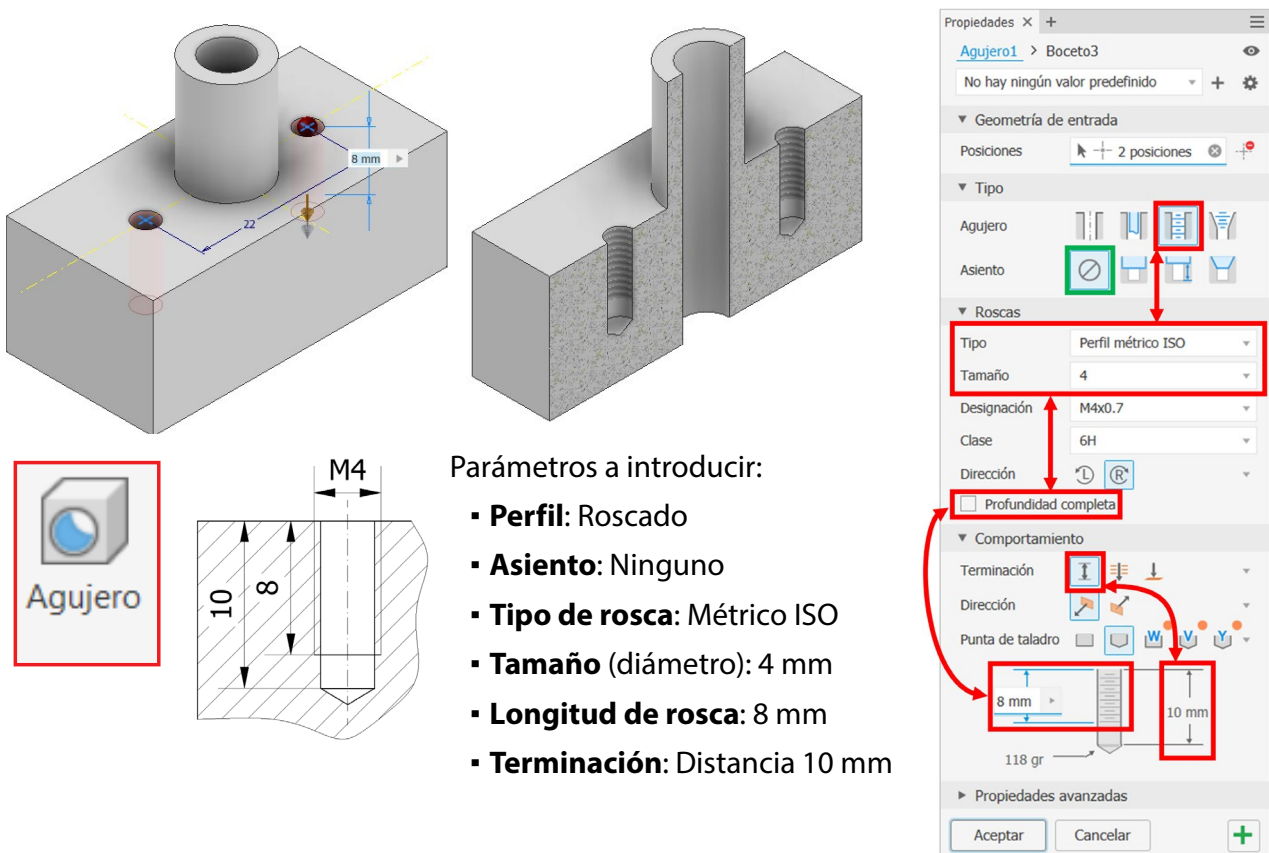


Figura 4.12. Realización *Agujero* ciego roscado.

4.1.1. Visualización del interior del modelo

Cuando se realizan agujeros, como cualquier otra función de corte, es recomendable comprobar si el resultado es el esperado y, para ello, es necesario ver el interior de la pieza.

Dentro de la pestaña *Vista*, están las opciones de mostrar la pieza cortada por planos (normalmente realizar *Media vista seccionada*). Se debe seleccionar el plano o planos que cortan a la pieza (en el *Navegador* o sobre el modelo 3D). Con la flecha naranja se puede desplazar el plano y, pulsando el símbolo de verificación verde, dejar la vista cortada. Con la opción *Suprimir vista en sección* se vuelve a visualizar la pieza sin cortar (Figura 4.13).

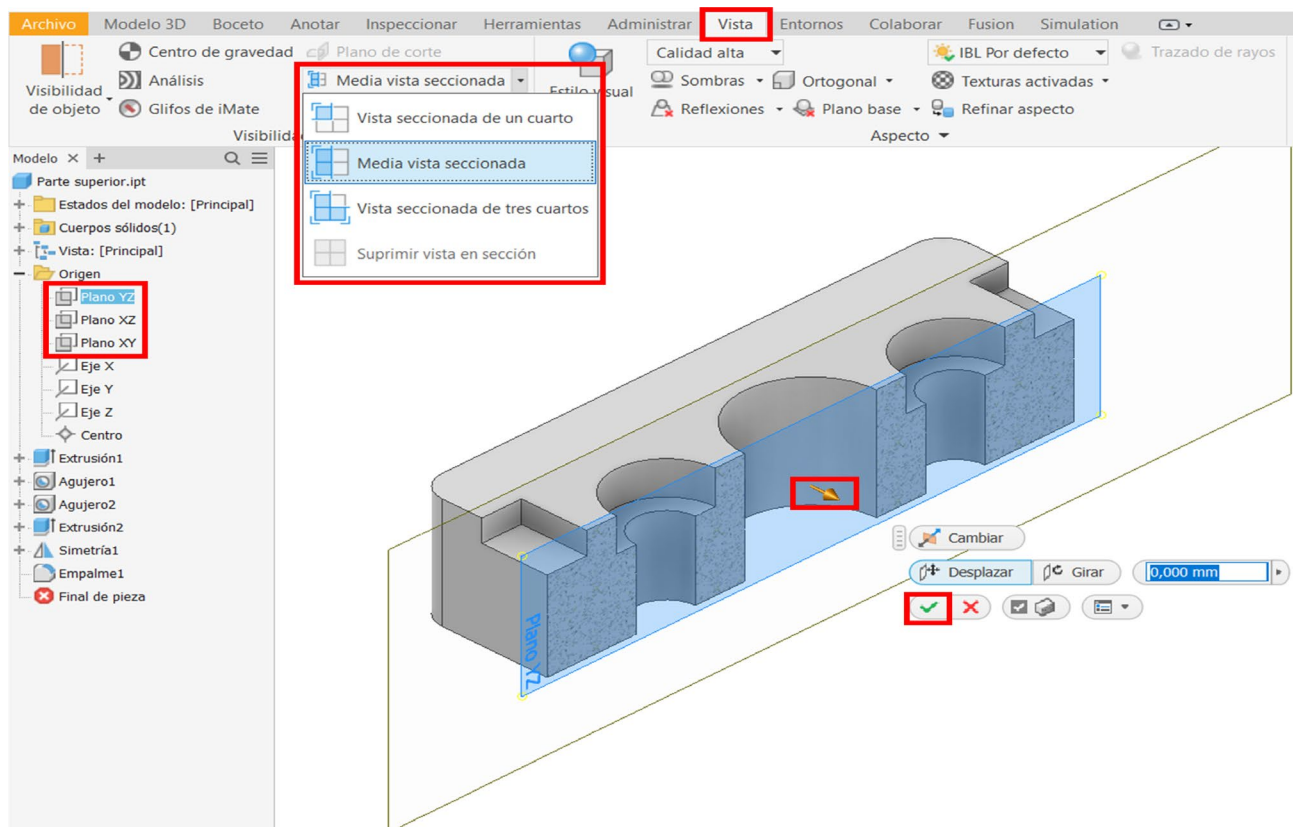


Figura 4.13. Tipos de vista y selección del plano de corte.



Si se utilizan las opciones de visualizar la pieza cortada, al guardar el archivo muestra un mensaje "La representación de vista de diseño actual está bloqueada y los cambios realizados en la representación no se guardarán". Para solucionar el problema, se debe pulsar el botón derecho del ratón en el *Navegador*, sobre "Vista: [Principal]" y seleccionar la opción "Nuevo" (Figura 4.14).

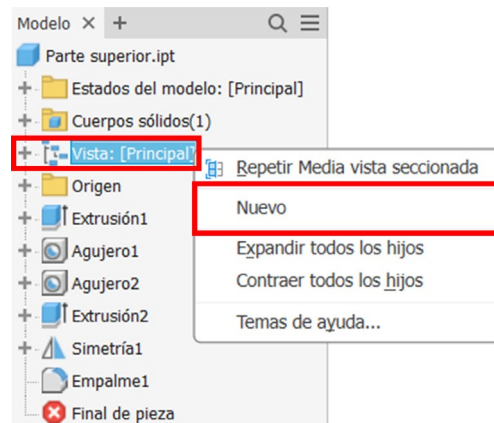


Figura 4.14. Solución al problema de guardado de archivo cuando se bloquea la vista actual del modelo.

4.2. Chaflanes

Los chaflanes no necesitan boceto previo, ya que actúan directamente sobre entidades ya existentes. Son operaciones de acabado y se recomienda realizarlas al final, quedando en las últimas posiciones del árbol del modelo. Algunas de sus utilidades son “matar” o suavizar cantos para eliminar bordes afilados, facilitar la entrada de unos elementos dentro de otros o preparar soldaduras.

En el ejemplo que muestra la Figura 4.13 se realizará la operación de *Simetría* con la “Pieza base” (Figura 4.2) para facilitar la entrada del elemento cilíndrico central en el agujero pasante central de la “Pieza superior” (Figura 4.3).

Los chaflanes más habituales son los que se realizan entre dos caras perpendiculares y forman 45° con ambas (como en este caso). Se deberán seleccionar las aristas a achaflanar sobre el modelo 3D e indicar la distancia del *Chaflán* (en este ejemplo 1 mm) (Figura 4.15).



Al realizar el plano de la pieza, este empalme se acota como “1x45°”. La parte eliminada mide, sobre la cara cilíndrica y sobre la cara plana 1 mm (catetos de un triángulo rectángulo) mientras que la nueva superficie tronco-cónica creada por el Chaflán (color rosado en la Figura inferior) sería la hipotenusa de dicho triángulo.

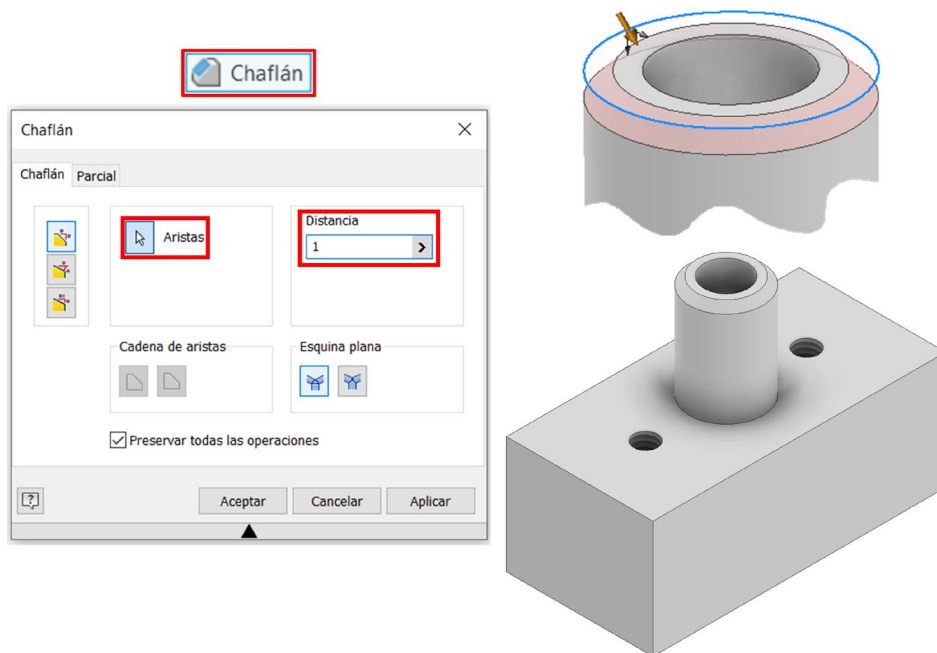


Figura 4.15. Realización de *Chaflán*.

4.3. Empalmes o redondeos

Al igual que los chaflanes, los empalmes o redondeos no necesitan *Boceto* previo, ya que actúan directamente sobre entidades ya existentes. También son operaciones de acabado y se recomienda realizarlas al final, quedando en las últimas posiciones del árbol del modelo. Algunas de sus utilidades son “matar” o suavizar cantos, evitar puntos de tensión, mejorar la apariencia o evitar que se acumule suciedad en rincones.

En el ejemplo que muestra la Figura 4.16 se realizará la operación de *Empalme* tanto con la “Pieza base” (Figura 4.2) como con la “Pieza superior” (Figura 4.3) para suavizar las aristas verticales.

Se deberán seleccionar las aristas a redondear sobre el modelo 3D e indicar el radio del *Empalme* (en este ejemplo 2 mm) (Figura 4.16).

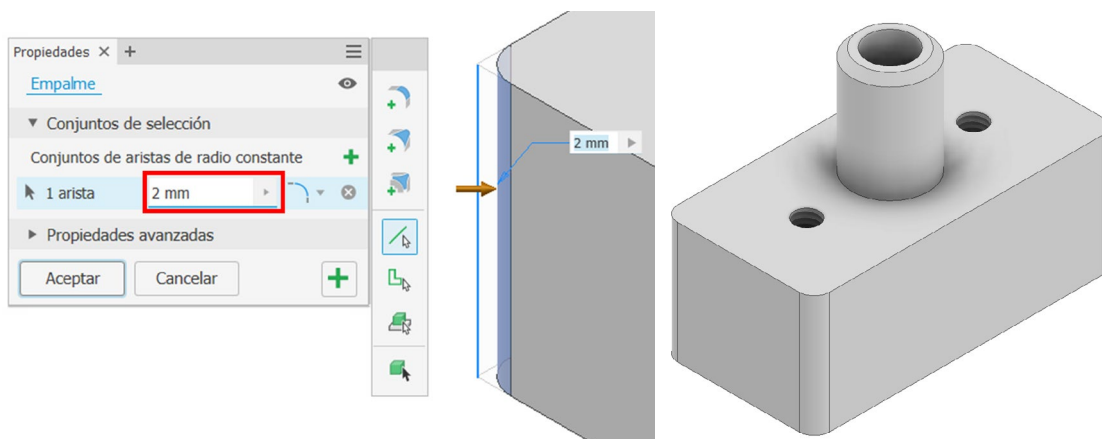


Figura 4.16. Realización de *Empalme*.

4.4. Vaciado

La operación de *Vaciado* (Figura 4.17), llamada *cáscara* o *shell* en otras aplicaciones de modelado, consiste en eliminar todo el interior de la pieza (todo lo que se haya modelado hasta el momento), dejando un espesor constante de todo su exterior. Es como quedarnos solo con la "cáscara" del objeto, siendo dicha cáscara más gruesa o fina dependiendo del espesor que configuremos en la ventana de edición.

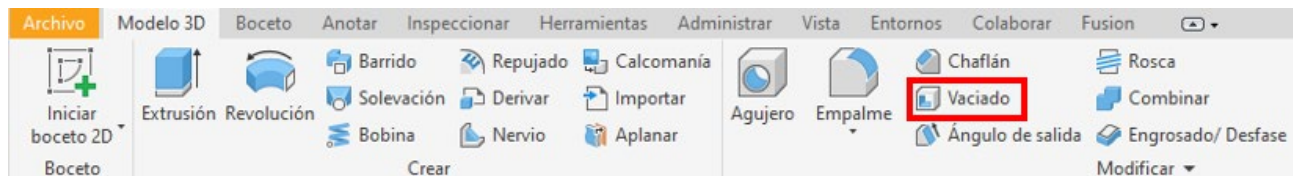


Figura 4.17. Pestaña de *Vaciado* dentro de las herramientas de *Modelo 3D*.

Veamos el efecto de un vaciado en la siguiente pieza (Figura 4.18), modelada mediante una *Extrusión* del boceto que la acompaña.

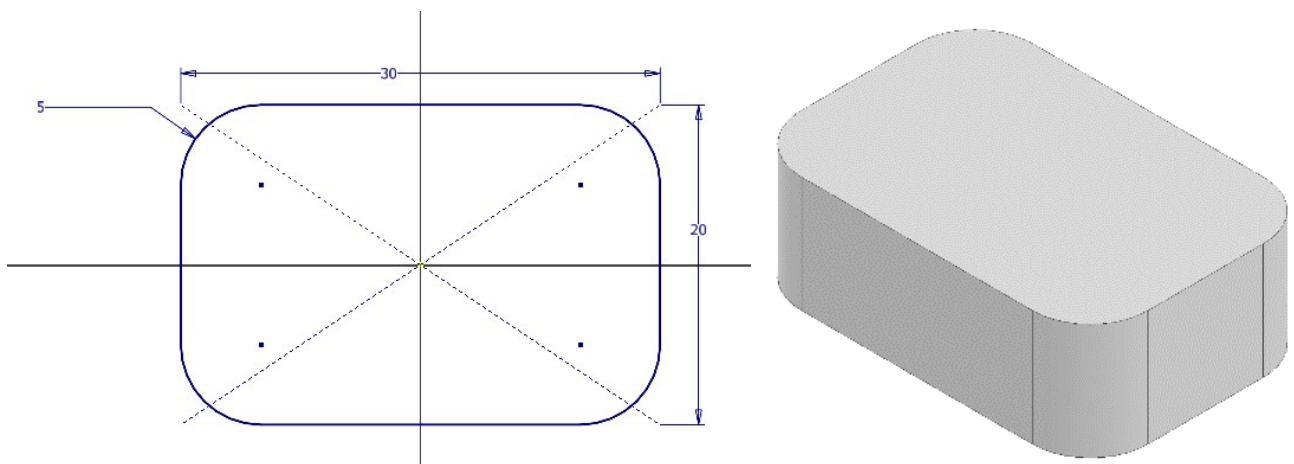


Figura 4.18. Pieza a vaciar.

Cuando se realiza un vaciado, automáticamente se realiza un *offset* de todas las superficies del objeto en la dirección de las normales de dichas superficies, según configuremos los parámetros. Hay tres posibilidades: hacia dentro del objeto, hacia fuera del objeto, o a ambos lados, repartiéndose en este último caso el grosor a partes iguales hacia el interior y el exterior. En este ejemplo el *offset* se ha configurado hacia el interior, quedando el exterior del objeto del mismo tamaño. En la Figura 4.19 se puede observar que el interior está vacío (pieza hueca) y el espesor de todas las superficies (cáscara) es el mismo.

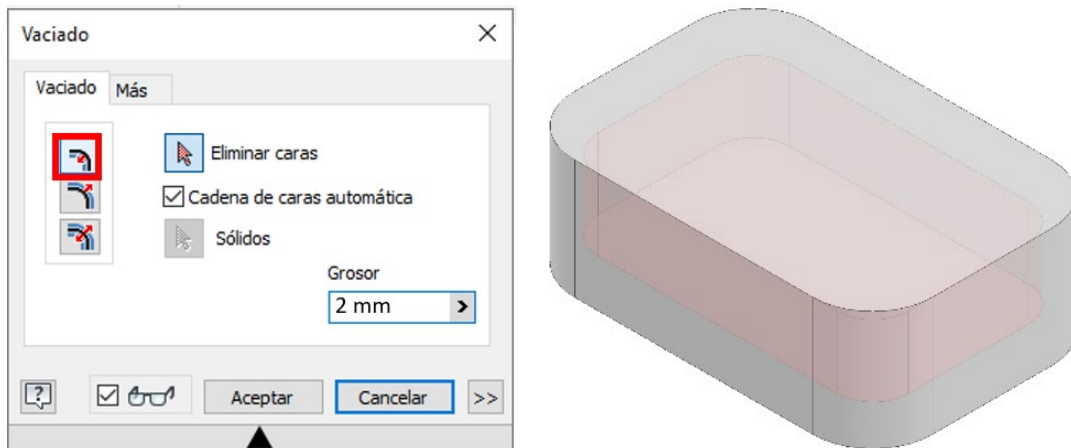


Figura 4.19. Vaciado hacia el interior del objeto.

El resultado si cortamos la pieza transversal o longitudinalmente sería el que muestra la Figura 4.20.

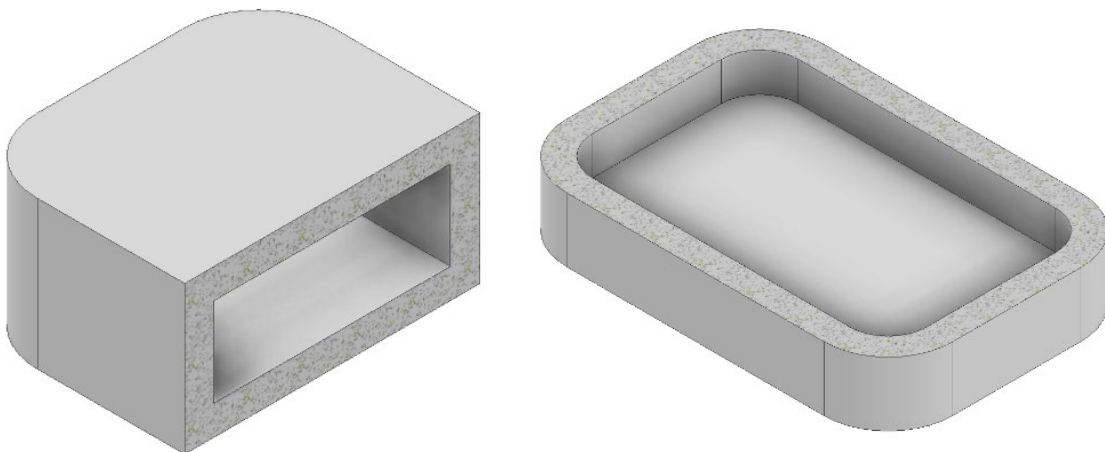


Figura 4.20. Pieza cerrada totalmente hueca.

La opción de *Eliminar caras* permite seleccionar caras que no participarán en el *offset*, eliminándolas del modelo y permitiendo así crear una pieza hueca abierta. Si eliminamos la cara superior, el resultado es la caja que se muestra en el centro de la Figura 4.21 (abierta por arriba). Cuando eliminamos caras, normalmente vamos una a una, con la excepción de cuando queremos quitar varias a la vez que son tangentes entre sí, cosa que podemos hacer automáticamente activando la opción *Cadena de caras automática*, y que se ha hecho para eliminar todas las paredes verticales a la vez con una única selección. En la Figura 4.21 derecha se han eliminado todas las paredes, quedando únicamente el *offset* de la cara inferior.

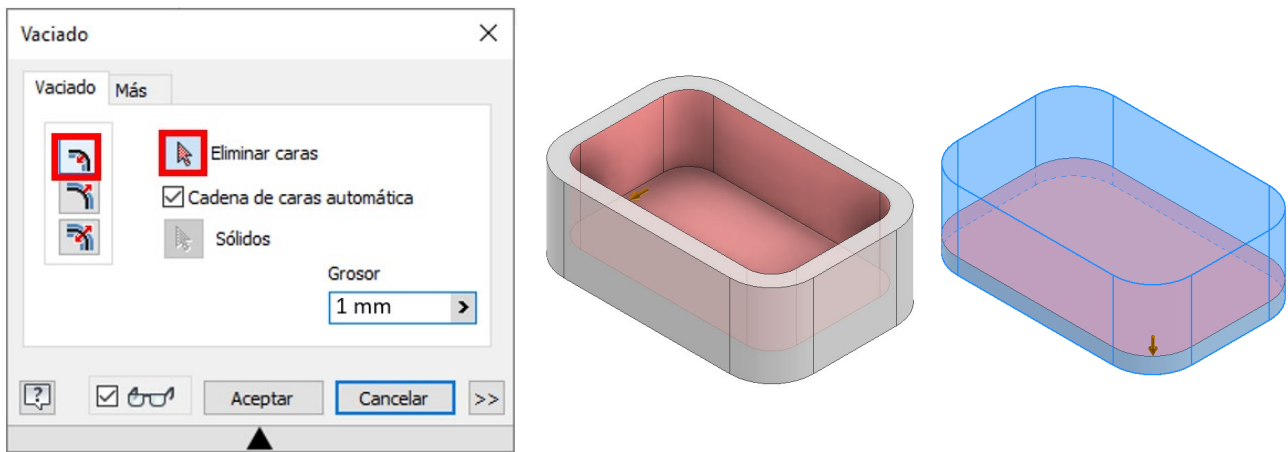


Figura 4.21. Eliminación de caras.

En el siguiente ejemplo (Figura 4.22) se muestra un prisma rectangular al que se le ha realizado el vaciado de 1 mm de grosor y eliminado la cara superior y la pared frontal más larga (izquierda), y luego, eliminado una de las paredes cortas (derecha).

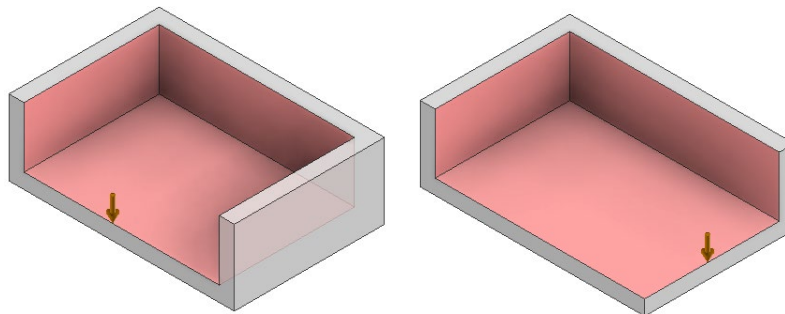


Figura 4.22. Prisma rectangular con vaciado y eliminado de caras.

En este otro ejemplo (Figura 4.23), la pieza consiste en un prisma rectangular con un agujero central. Si la vaciamos sin eliminar caras, tenemos el resultado de la izquierda, esto es, todas las caras de la pieza experimentan un *offset* quedando hueca por dentro. Si eliminamos la cara superior, el resultado que obtendremos será el de la Figura central. Si, además, eliminamos la cara inferior, quedan dos formas inconexas como se muestra en la Figura de la derecha.

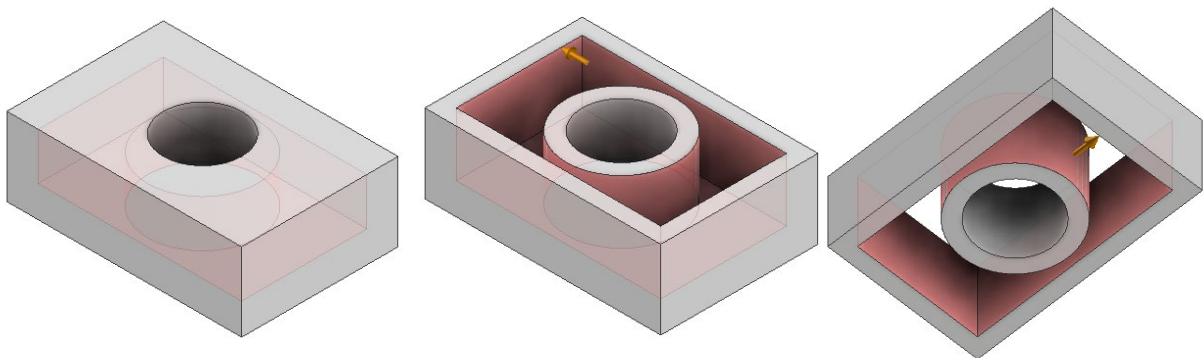


Figura 4.23. Prisma rectangular con agujero central.



El Vaciado es recomendable hacerlo al inicio en el árbol del modelo (Navegador del modelo en Inventor), ya que si se hace al final suele haber problema con las operaciones de acabado como chaflanes y redondeos. Como norma general, solo se puede realizar un vaciado en el modelo.

4.5. Rosca

La operación de *Rosca* (Figura 4.24) no necesita ningún boceto, únicamente nos pide una superficie del modelo para aplicar esta operación de rosca. Esta rosca no afecta a la geometría, es una textura que se aplica en la zona deseada. Esto se conoce comúnmente como *cosmética de rosca*. La rosca puede ser macho o hembra, aunque las roscas hembras normalmente suelen ir asociadas a la operación *Agujero*.

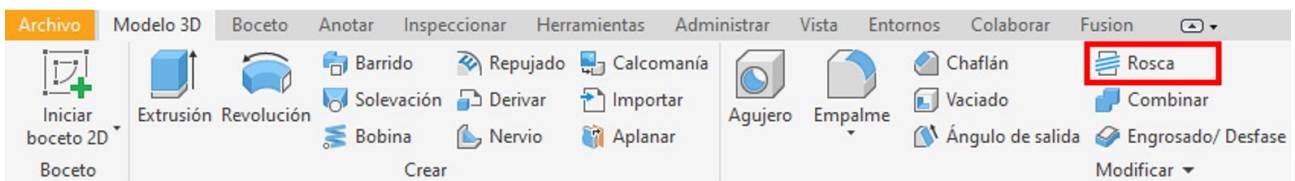


Figura 4.24. Pestaña de *Rosca* dentro de las herramientas de *Modelo 3D*.

En este caso ilustraremos el caso de rosca macho (rosca exterior). A modo de ejemplo de funcionamiento de esta operación, vamos a colocar una rosca en una superficie de una pieza que contiene una base prismática y un tetón cilíndrico central. Para ello seleccionaremos la superficie cilíndrica de dicho tetón (Figura 4.25).

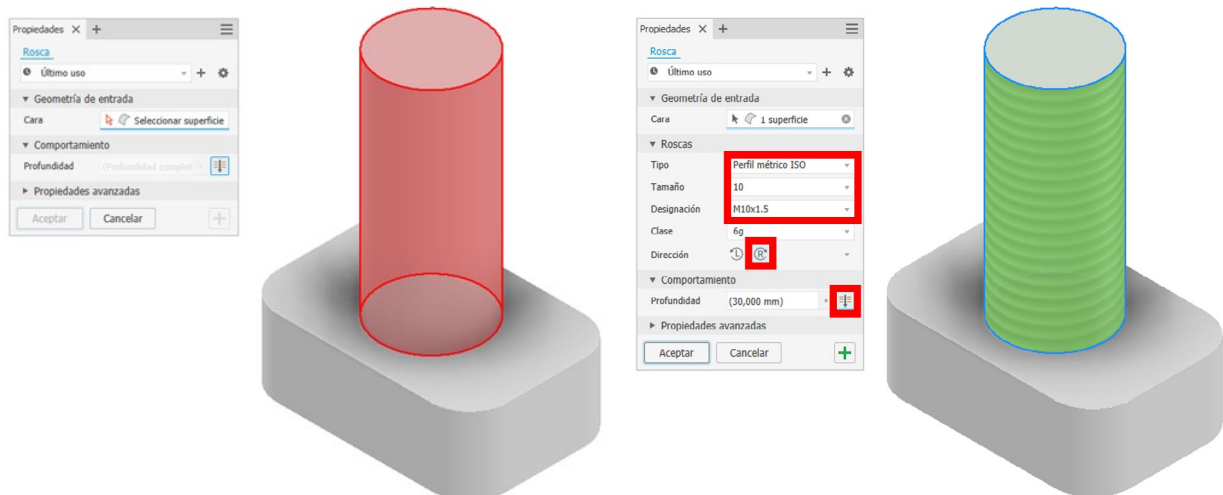


Figura 4.25. Realización de rosca.

Automáticamente nos aparece la opción de *Tipo de rosca* (elegiremos *Perfil métrico ISO*) sacándonos por defecto el diámetro detectado en el tetón. Finalmente configuraremos rosca a derechas y rosca completa, lo que creará una cosmética de rosca en toda la superficie cilíndrica del tetón.

Si por el contrario queremos la rosca desde arriba hacia abajo una longitud de rosca concreta, entonces elegiremos la cara circular superior del tetón, y configuraremos la longitud de rosca con el valor deseado (Figura 4.26).

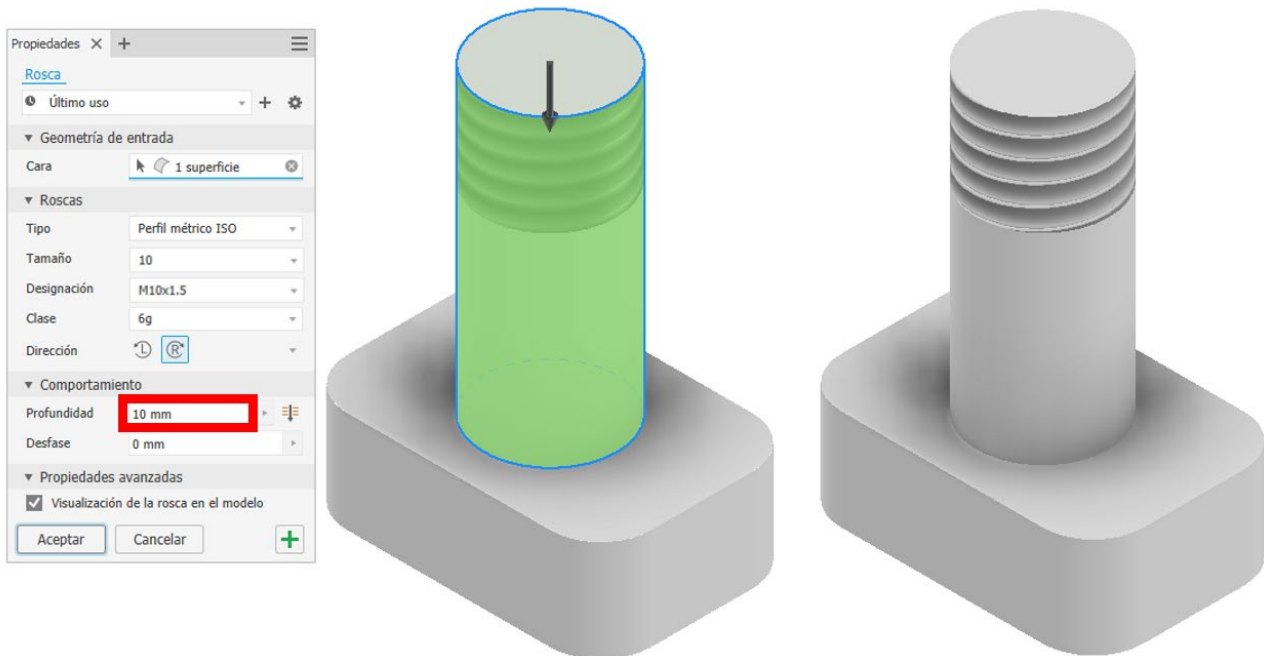


Figura 4.26. Selección de profundidad.

4.6. Buenas prácticas en operaciones de modificación

- En la Figura 4.27 se muestra el árbol del modelo (en el *Navegador*) realizado para modelar una pieza. En él se han indicado (en rojo) correcciones de errores habituales:
 - Generalmente, primero se deben realizar las operaciones de añadir material y después las de quitar material (extrusiones negativas, agujeros...). Son las llamadas operaciones *core* o que forman parte estructural del modelo.
 - Del mismo modo, normalmente las operaciones de *Nervio*, *Empalme* y *Chablán* se deben realizar al final, ya que son operaciones de acabado (también llamadas *void*), y que si se realizan al principio pueden complicar las modificaciones posteriores por tomarse, de forma indeseada, como referencia de operaciones posteriores.
 - El *Vaciado* es recomendable hacerlo al inicio en el árbol del modelo ya que si se hace al final suele haber problema con las operaciones de acabado como nervios, chaflanes y redondeos, ya que estos suelen tener dimensiones pequeñas, con lo que el offset no se puede realizar.
 - No se deben crear *Bocetos* que no se vayan a usar.

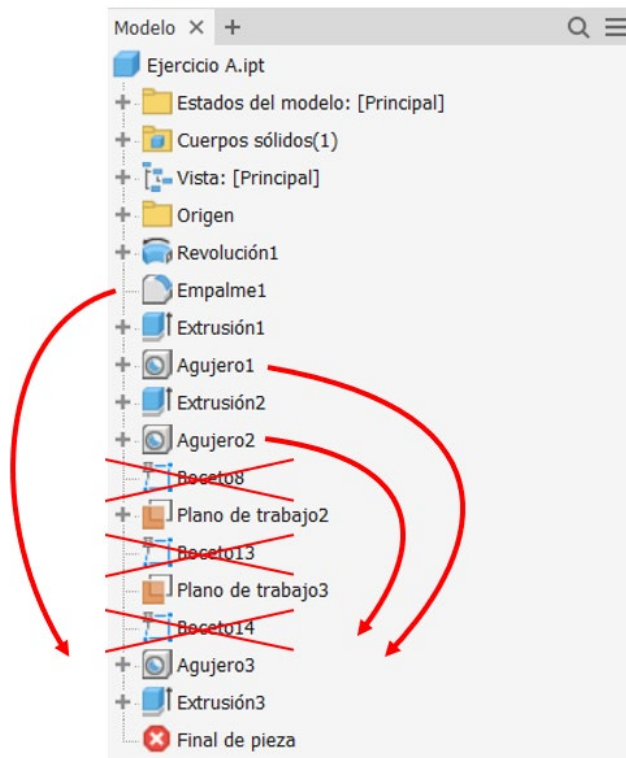


Figura 4.27. Árbol del modelo con errores.

- El boceto inicial debe estar ubicado en el plano adecuado para que la pieza quede bien orientada (Figura 4.28) (debe ser la posición de funcionamiento y la perspectiva que aporte más información).

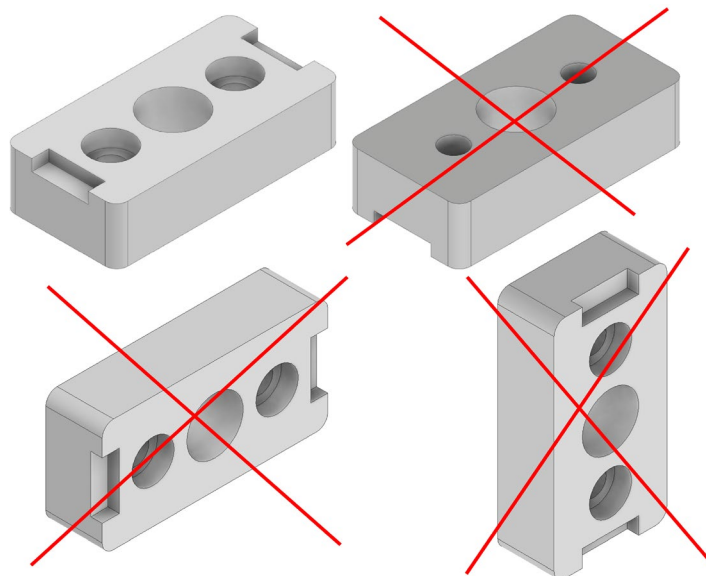


Figura 4.28. Orientación correcta del boceto.

- Los elementos que tengan función de “matar cantos” como *Empalme* o *Chaflán* se realizan con operaciones de modelado, NUNCA en el boceto.

5

Operaciones de copia

5.1. Simetría

La operación de *Simetría* (Figura 5.1) copia operaciones del modelo como extrusiones, agujeros, etc., con respecto a un plano de simetría, generando una copia reflejada.

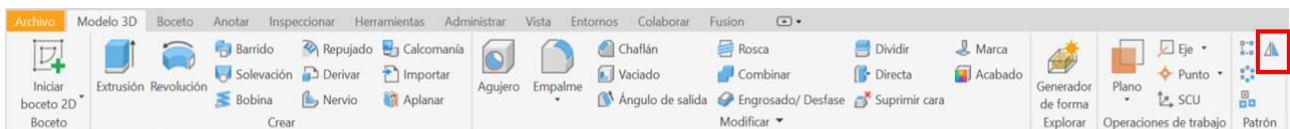


Figura 5.1. Pestaña de *Simetría* dentro de las herramientas de *Modelo 3D*.

La operación de *Simetría* se debe aplicar cuando exista una o varias partes aisladas en el modelo 3D que tengan sus correspondientes partes simétricas. Nunca se utilizará para realizar la extrusión de la mitad de un boceto simétrico y obtener la otra parte mediante la operación de *Simetría* (Figura 5.2).

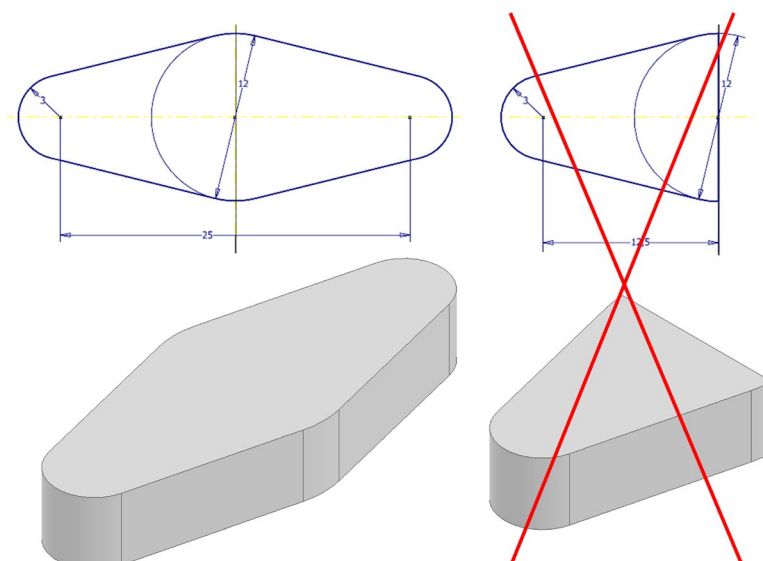


Figura 5.2. Uso incorrecto de la herramienta *Simetría*.

En este ejemplo se realizará la operación de *Simetría* con la Figura 4.3 de la *Sección 4*.

En primer lugar, con una *Extrusión* negativa (o de corte) se realizará una ranura rectangular de 3 x 10 mm y 2 mm de profundidad centrada en un lado (Figura 5.3).

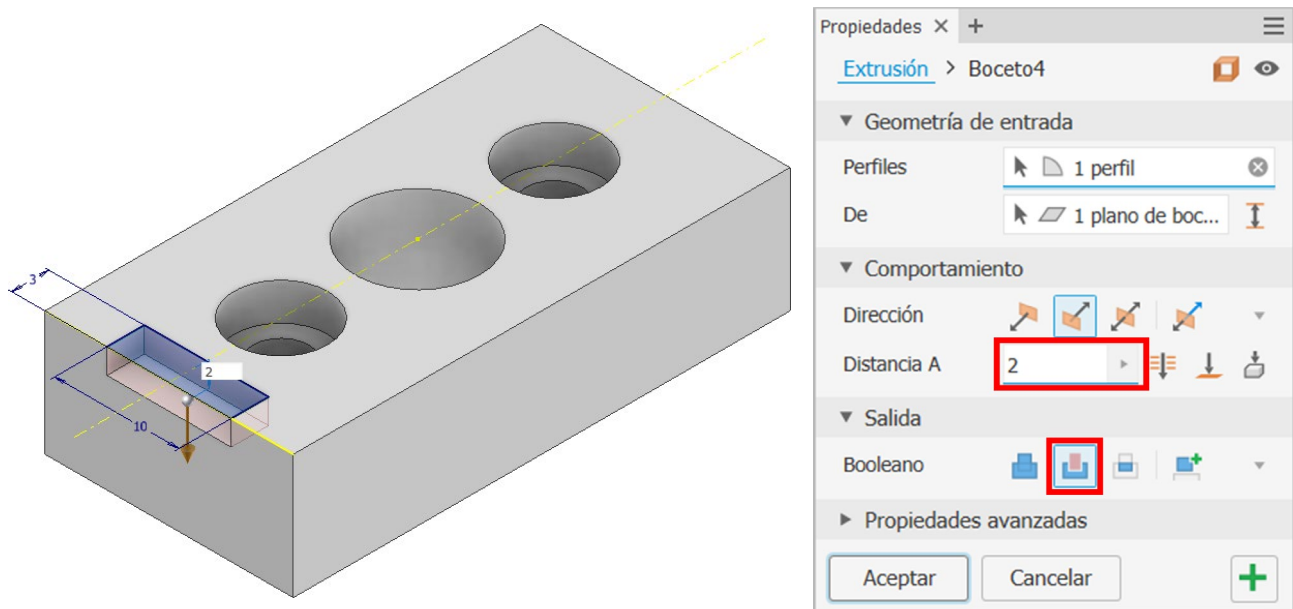


Figura 5.3. Realización *Extrusión* para ranura rectangular.

Con la operación de *Simetría* se deberán seleccionar en primer lugar las operaciones a replicar (sobre el modelo 3D o en el *Navegador* de modelo) y después el plano de simetría (en el modelo 3D, en el *Navegador* de modelo o en la misma ventana de opciones). En este ejemplo solo se aplica a la última extrusión y el plano de simetría es el XY (Figura 5.4).

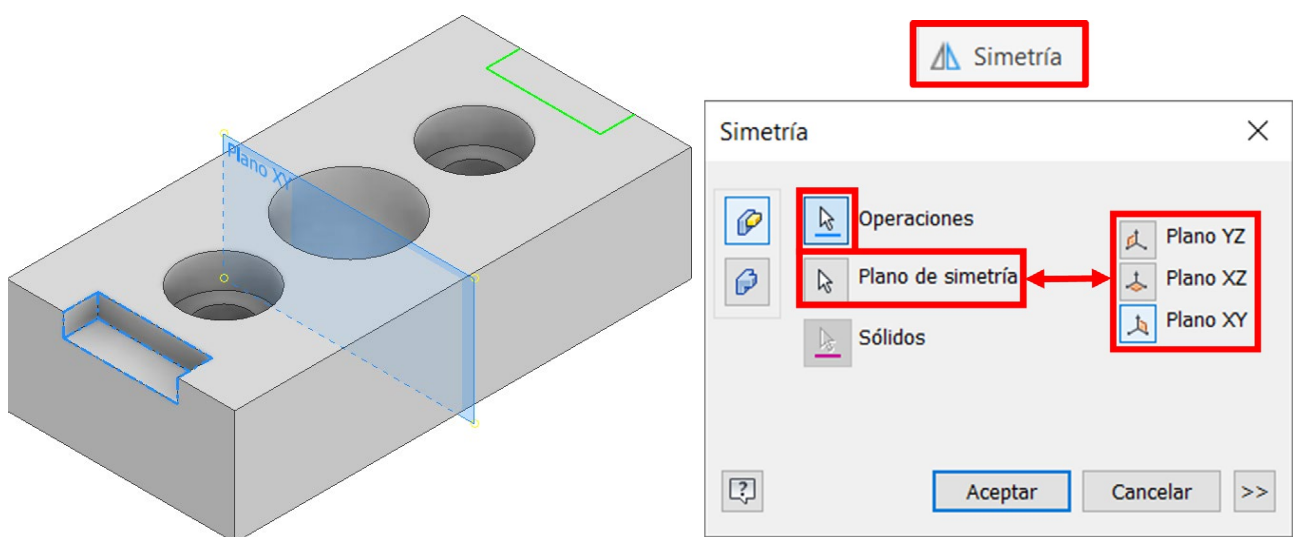


Figura 5.4. Realización de *Simetría*.

5.2. Patrones

Las operaciones de *Patrón* realizan copias idénticas de elementos ya creados con operaciones de modelado previas (es decir, no se crean todos los elementos a la vez, se crea primero uno y luego se copia tantas veces como se quiera). Generalmente, las copias repetitivas pueden seguir una disposición en forma de matriz de filas y columnas (patrón rectangular) o una disposición polar (patrón circular).

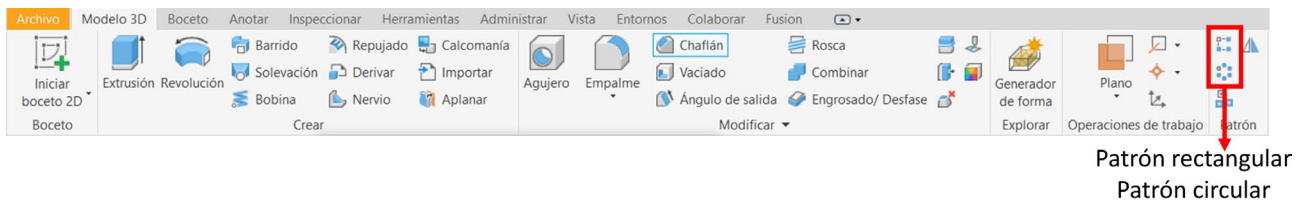
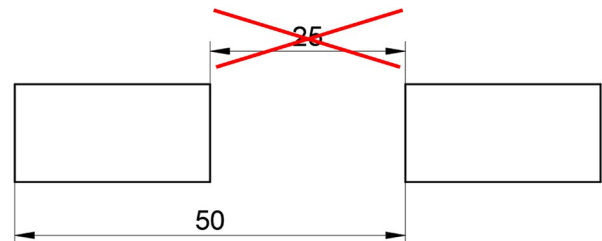


Figura 5.5. Patrón de operaciones.

5.2.1. Rectangular

Para realizar un *Patrón rectangular* se necesita seleccionar dos direcciones (si se indica solo una dirección, se situarán únicamente repeticiones de forma lineal). Para indicar las direcciones se pueden elegir ejes del sistema de referencia, aristas, o planos (en cuyo caso la dirección es la normal de dicho plano). También se debe indicar el sentido o si se van a realizar las copias en los dos sentidos.

Los otros parámetros a indicar son el número de repeticiones y la separación entre ellas, que puede ser la separación total desde la primera a la última (*Distancia*) o de una hasta la siguiente (*Espaciado*). Las separaciones se toman como se indica en la Figura de la derecha.



A modo de ejemplo se va a modelar la siguiente pieza (Figura 5.6) que contiene un patrón rectangular de 3 x 3 agujeros pasantes:

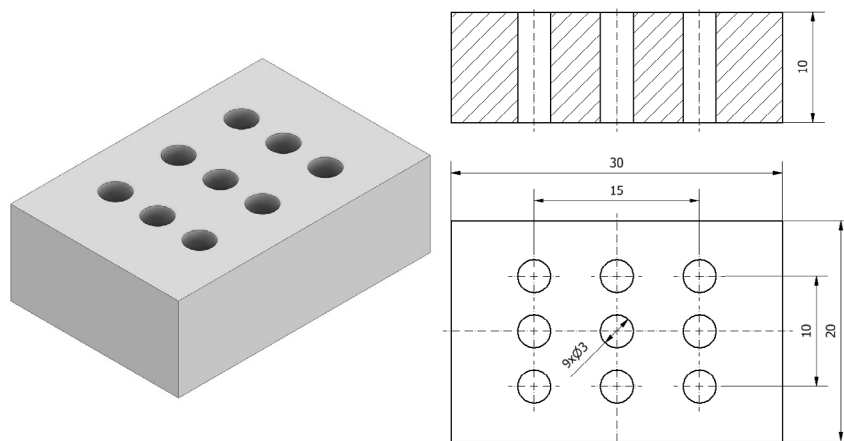


Figura 5.6. Pieza con Patrón rectangular.

Antes del patrón rectangular, se deberá realizar un *Boceto* con un *Rectángulo* centrado de 30 x 20 mm y extruirlo 10 mm formando una caja. A continuación, se creará un *Agujero* pasante centrado de 3 mm diámetro.

En la operación de *Patrón* se elegirán los siguientes parámetros (Figura 5.7):

- Operaciones: el agujero central (se puede seleccionar en el *Navegador* o en el modelo 3D).
- Direcciones: dos aristas de la cara superior de la caja.
- Número de repeticiones: 3 (en ambas direcciones).
- Como se parte del elemento central, las repeticiones se situarán en los dos sentidos.
- Como las cotas indicadas van del primer al último elemento, se seleccionará el parámetro *Distancia* y se indicarán las distancias de 15 mm y 10 mm.

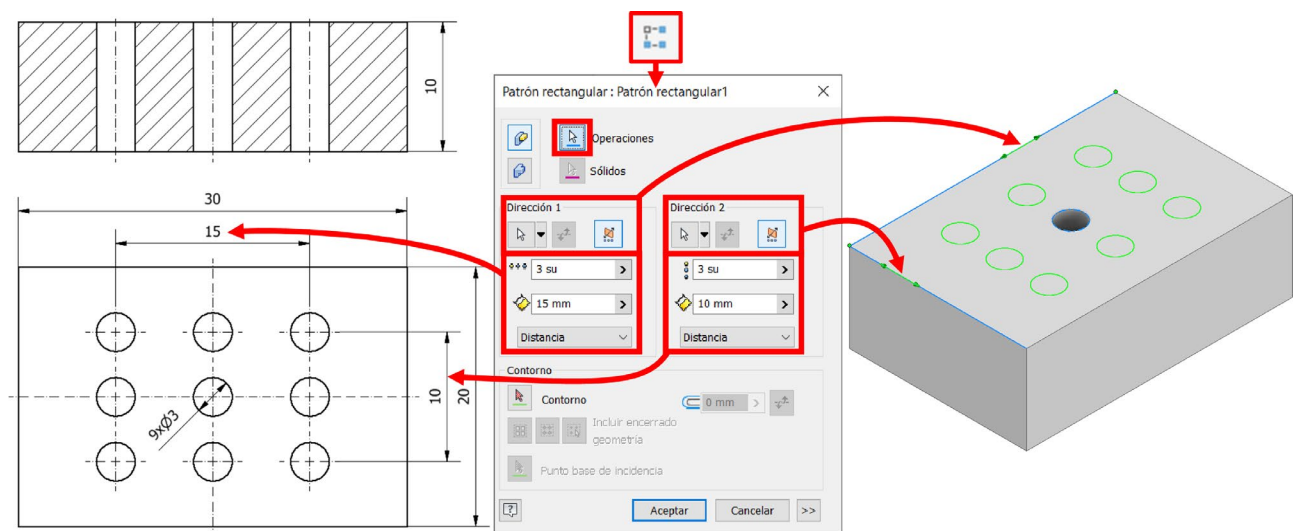


Figura 5.7. Realización *Patrón rectangular*.

5.2.2. Circular

Para realizar un *Patrón circular*, también llamado *Patrón polar*, hay que seleccionar un eje de revolución, que puede ser un eje del sistema de referencia, una arista o una superficie circular (utilizará el eje de dicha superficie).

También se debe indicar el número de repeticiones, el ángulo que ocupan y, si el ángulo no es de 360°, el sentido en el que se van a situar, o si se van a realizar las copias en los dos sentidos.

Además, hay que indicar si los elementos a repetir se van girando o si tienen la misma orientación.

A modo de ejemplo se va a modelar la siguiente pieza (Figura 5.8) que contiene un patrón circular de 6 agujeros pasantes.

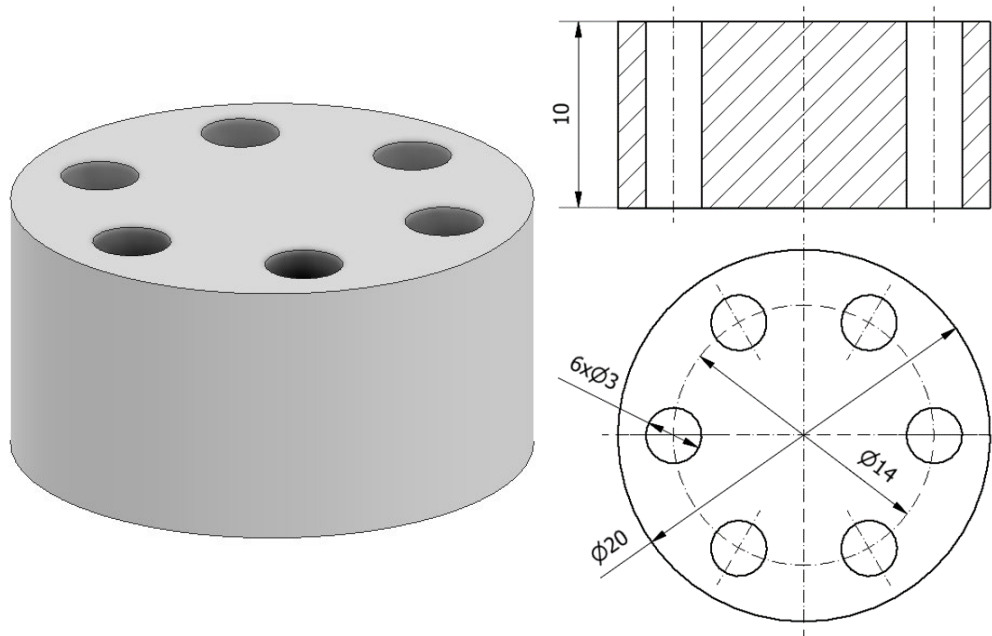


Figura 5.8. Pieza con Patrón circular.

Antes del patrón circular, se deberá realizar un Boceto con un Círculo centrado de 20 mm de diámetro y extruirlo 10 mm formando un cilindro (Figura 5.9).

A continuación, se creará un Agujero pasante de 3 mm diámetro. Este primer agujero se posicionará tal como está indicado en la acotación de la pieza: dibujando en un Boceto un Círculo (que debe ser línea auxiliar) en el que situar el punto (el punto también debe pertenecer al eje de simetría horizontal) (Figura 5.9).

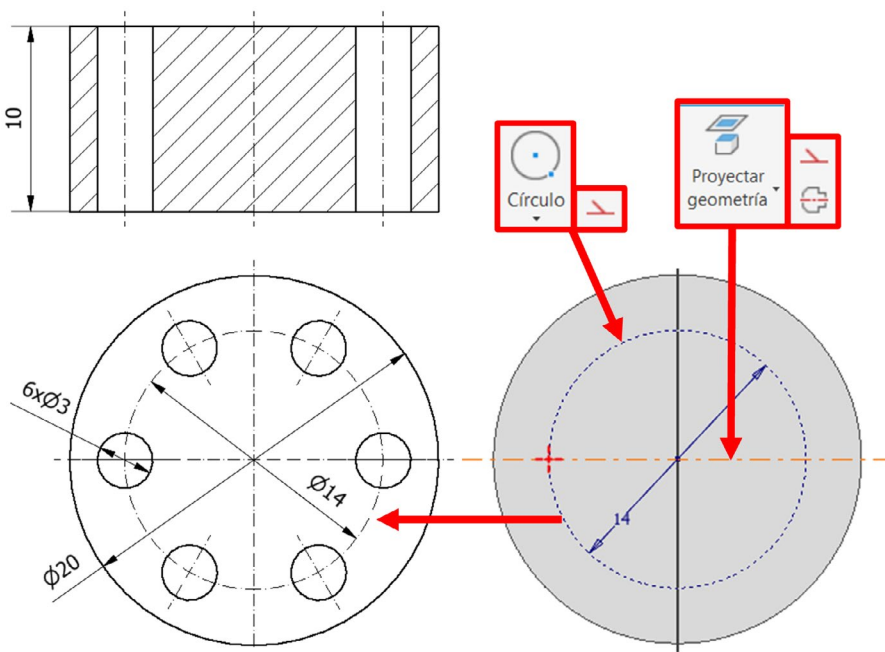


Figura 5.9. Boceto Agujero.

En la operación de *Patrón* se elegirán los siguientes parámetros (Figura 5.10):

- Operaciones: el agujero realizado (seleccionar en el *Navegador* o en el modelo 3D).
- Eje: seleccionar la superficie cilíndrica (o el eje vertical en el sistema de referencia).
- Número de repeticiones: 6.
- Ángulo: 360°.
- Como es un agujero circular, no importa si la orientación se mantiene o se gira.

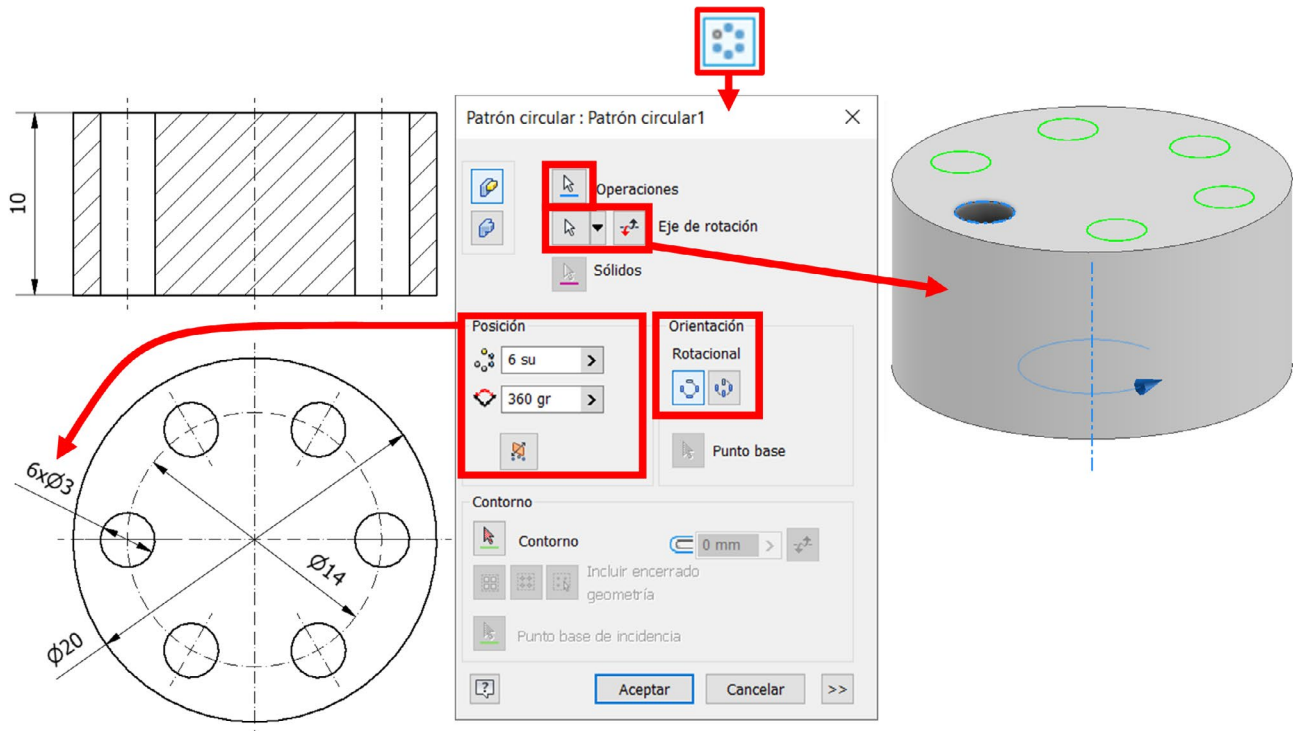


Figura 5.10. Realización *Patrón circular*.

6

Operaciones de trabajo

Para crear la pieza de la Figura 6.1, no existe en el árbol del modelo ningún plano que permita realizar extrusiones en la dirección del saliente cilíndrico inclinado, por otra parte, la profundidad del agujero del saliente no puede ser *Pasante* porque atravesaría la base de la pieza y tampoco puede ser por *Distancia* porque, si se modifica la longitud del saliente, el agujero puede quedarse corto o pasarse.

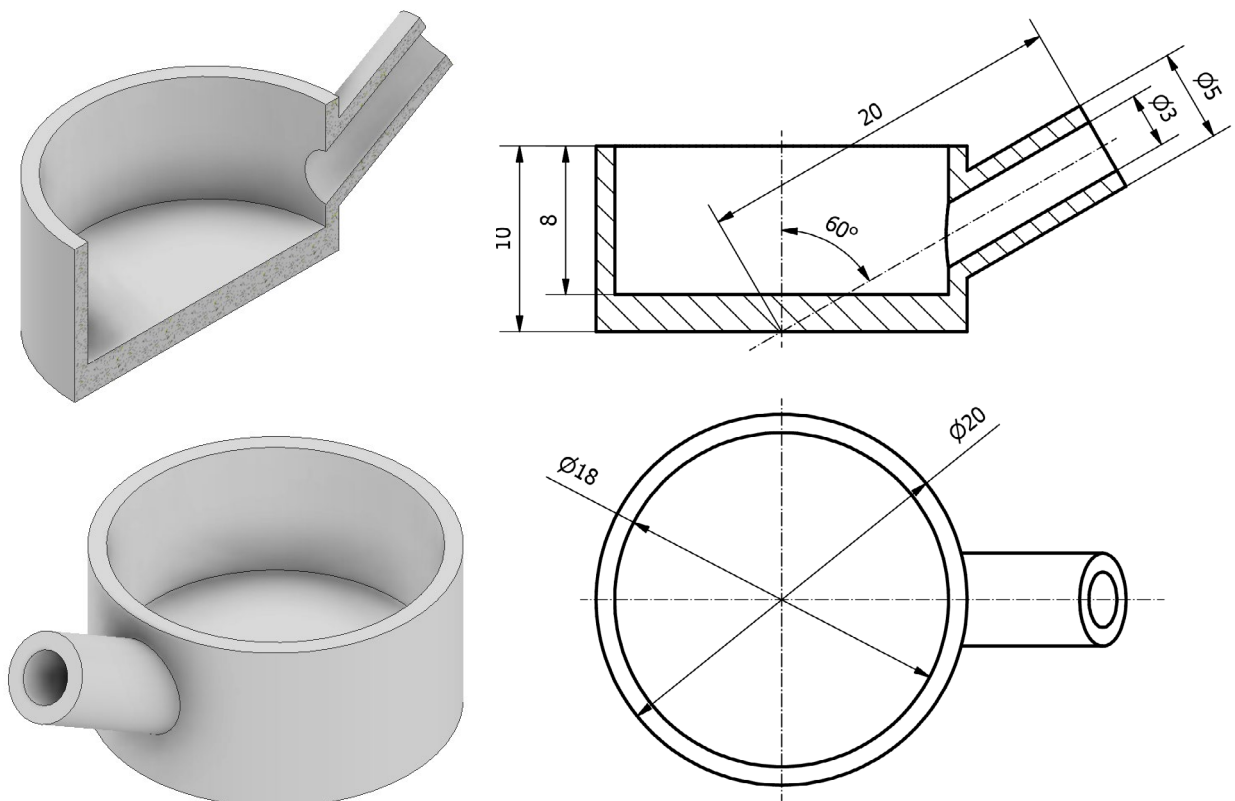


Figura 6.1. Pieza creada utilizando planos auxiliares.

Este problema se resuelve mediante la creación de *Planos de trabajo* (o auxiliares) para usarlos como planos de boceto y el uso de terminaciones (en *Extrusión* y *Agujero*) capaces de limitar la extensión con caras o superficies de la pieza modelada (Figura 6.2).

Además de Planos, también existen Ejes y Puntos de trabajo, cuya principal función es ayudar a definir algunos tipos de Planos de trabajo.

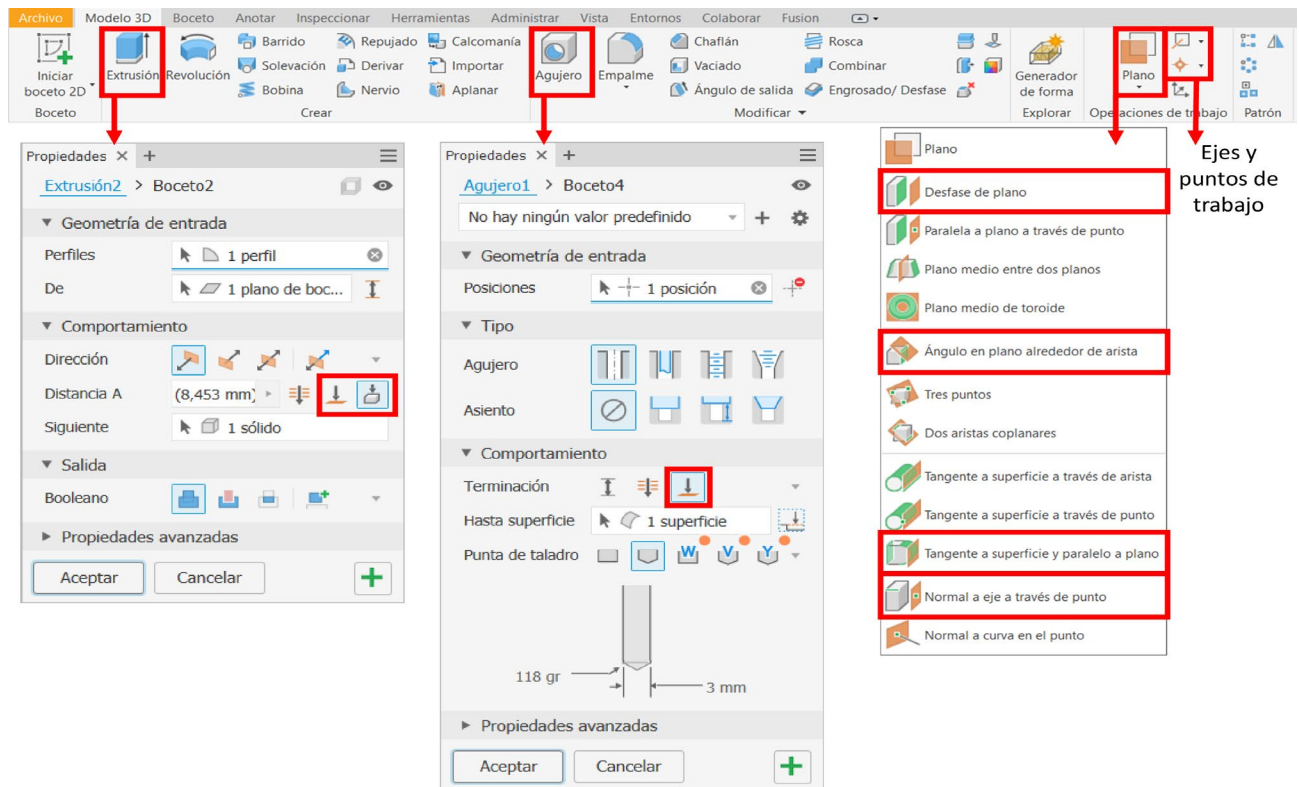


Figura 6.2. Pestaña de *Planos auxiliares* en la barra de herramientas de *Modelo 3D* y terminaciones en *Extrusión* y *Agujero*.

6.1. Planos inclinados y planos desfasados

En este apartado, se partirá de la pieza anterior extruyendo un boceto con un *Círculo* de 20 mm de diámetro centrado en el origen para crear un cilindro de altura 10 mm. Este ejemplo demuestra la importancia que tiene situar las piezas bien centradas y orientadas para poder aprovechar los planos y ejes del sistema de referencia.

En la Figura 6.3 se muestra la secuencia a seguir para obtener el plano de trabajo (o auxiliar) necesario para realizar el boceto de la parte inclinada:

1. En primer lugar, se realizará un giro del plano vertical proyectante (línea roja en la figura) respecto al eje horizontal proyectante (punto rojo en la figura). Como se puede ver en la figura, el ángulo indicado es de 60° , sin embargo, ese ángulo se refiere a la dirección en la

que se va a extruir el boceto, no al plano en el que se realiza el boceto, que es perpendicular, por tanto, el ángulo a girar no es de 60° , sino el complementario: 30° . Del signo del ángulo dependerá el sentido en el que se realiza el giro.

2. A continuación, se debe obtener el *Plano desfasado*. El signo del valor del desfase indicará hacia qué lado se obtendrá el *Plano desfasado*, por lo que se deberá elegir para que el plano quede situado al lado correcto.

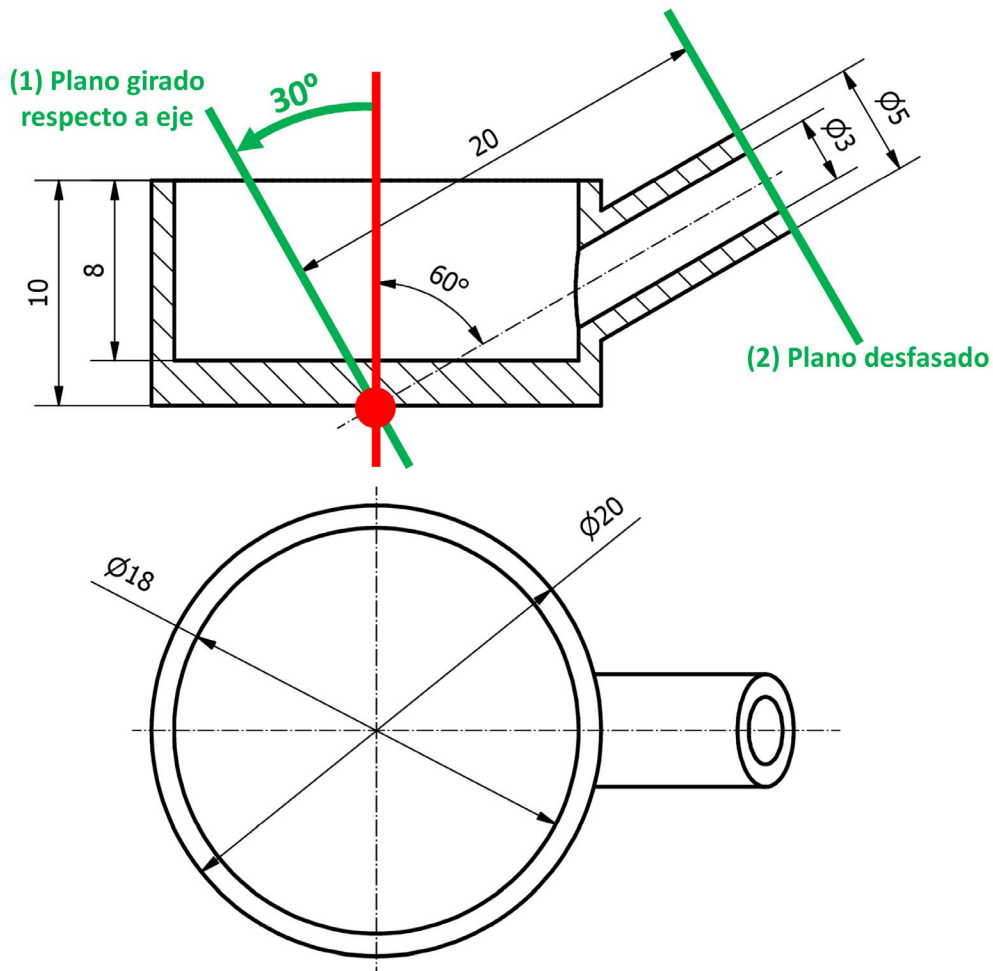


Figura 6.3. Secuencia para obtener el plano de trabajo.

Plano auxiliar inclinado

Aunque no es necesario (porque los planos y ejes se pueden seleccionar en el *Navegador*) se ha activado la visualización del plano y del eje necesarios para obtener el plano auxiliar inclinado (Figura 6.4). Para ello, se debe pulsar con el botón derecho del ratón sobre el plano o eje en el *Navegador* y activar la opción *Visibilidad*.

Con la opción de plano de trabajo *Ángulo en plano alrededor de arista* se deben seleccionar (sin importar el orden) el plano y el eje (en el *Navegador* o en el modelo 3D) e indicar un ángulo de 30° , en este caso, positivo.

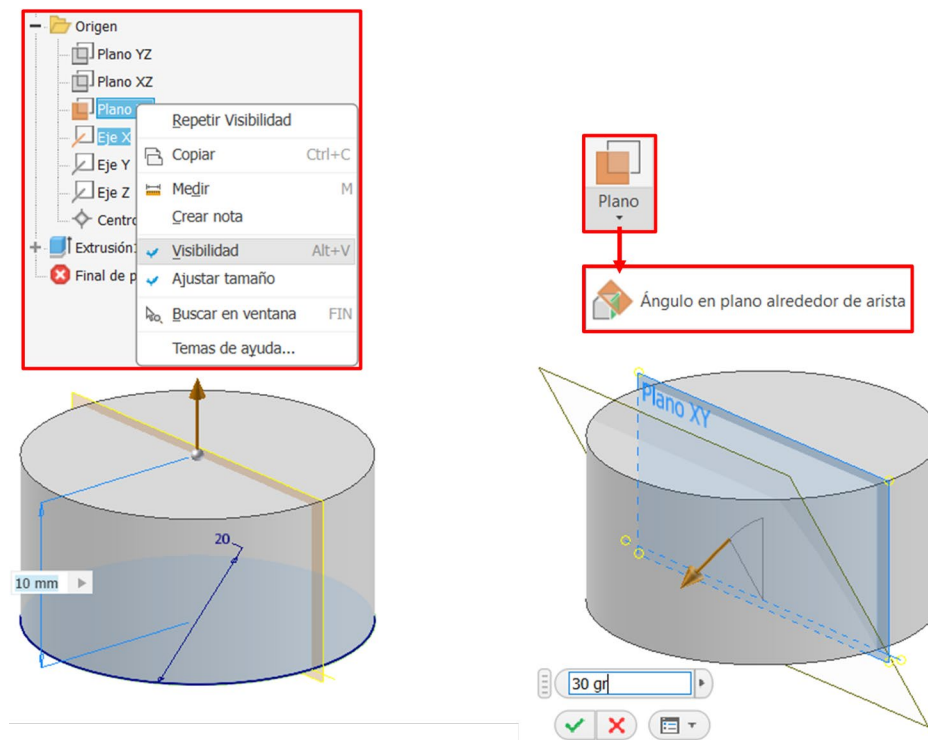


Figura 6.4. Selección de plano auxiliar inclinado.

Plano auxiliar desfasado

Con la opción de plano de trabajo *Desfase de plano* se debe seleccionar el plano obtenido anteriormente e indicar un desfase de 20 mm, en este caso, negativo (Figura 6.5).

En el árbol del modelo, en el *Navegador*, quedará reflejada la obtención de los planos de trabajo igual que las operaciones de modelado y los bocetos.

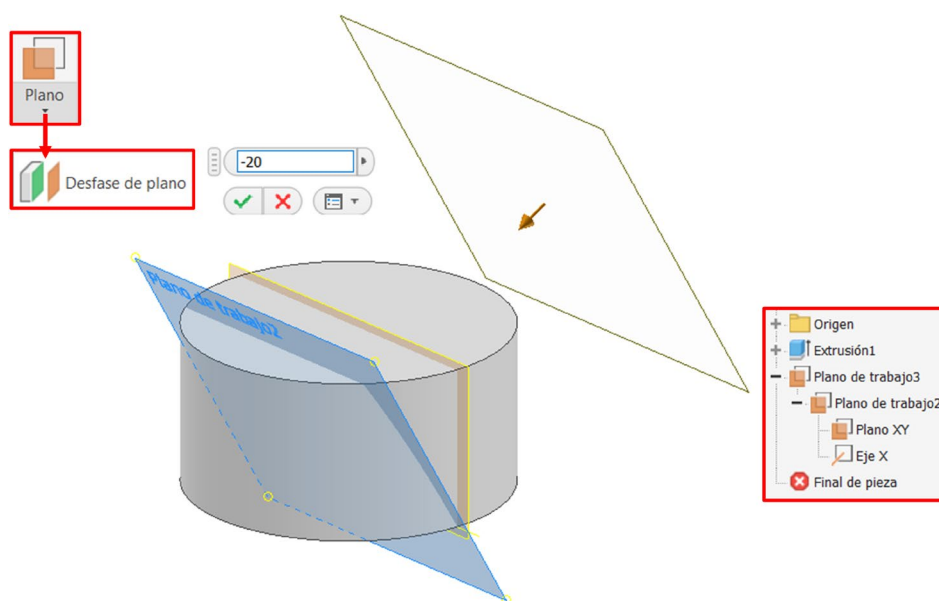


Figura 6.5. Selección de plano auxiliar desfasado.

Este último plano es el que se elegirá como plano de boceto para el círculo que se extruirá en dirección a la base circular para crear el saliente cilíndrico.

En este ejemplo se realiza un desfase de plano para modelar la siguiente pieza (Figura 6.6).

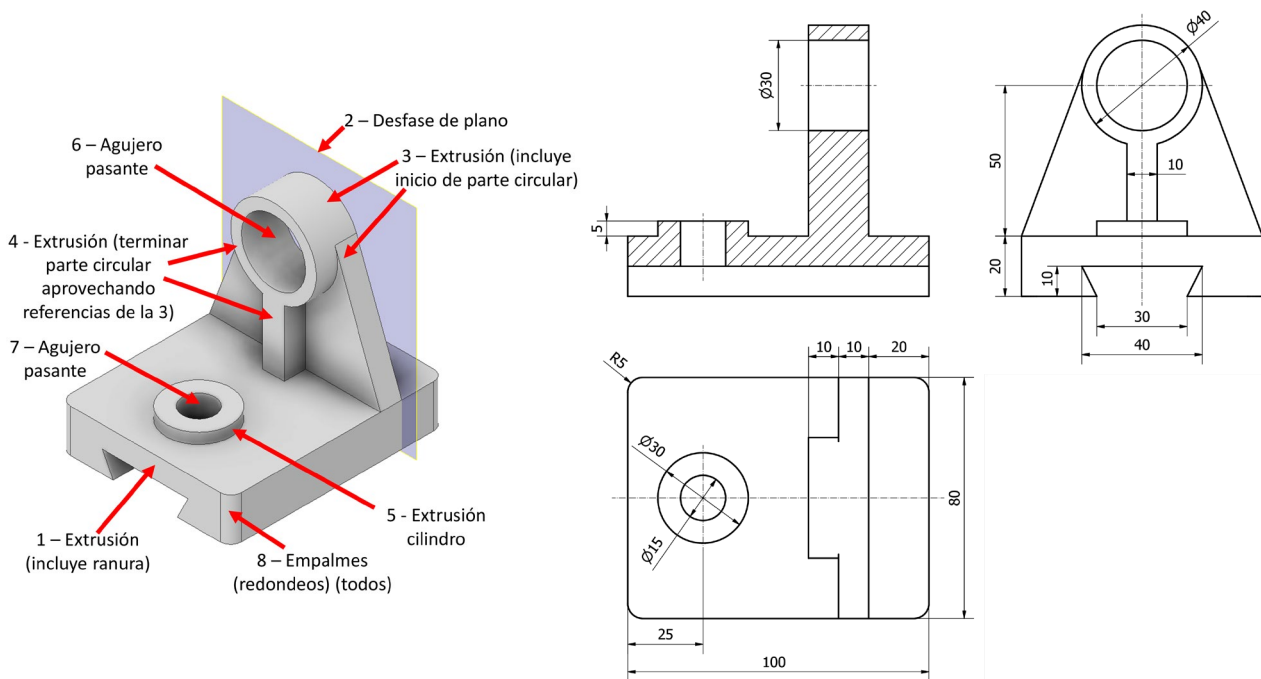


Figura 6.6. Pieza con Plano desfasado.

Paso 1. EXTRUSIÓN. Boceto situado sobre el plano de perfil y centrado porque el boceto es simétrico. Sin embargo, no es necesario que la extrusión sea simétrica porque la pieza completa no es simétrica respecto al plano del boceto (Figura 6.7).

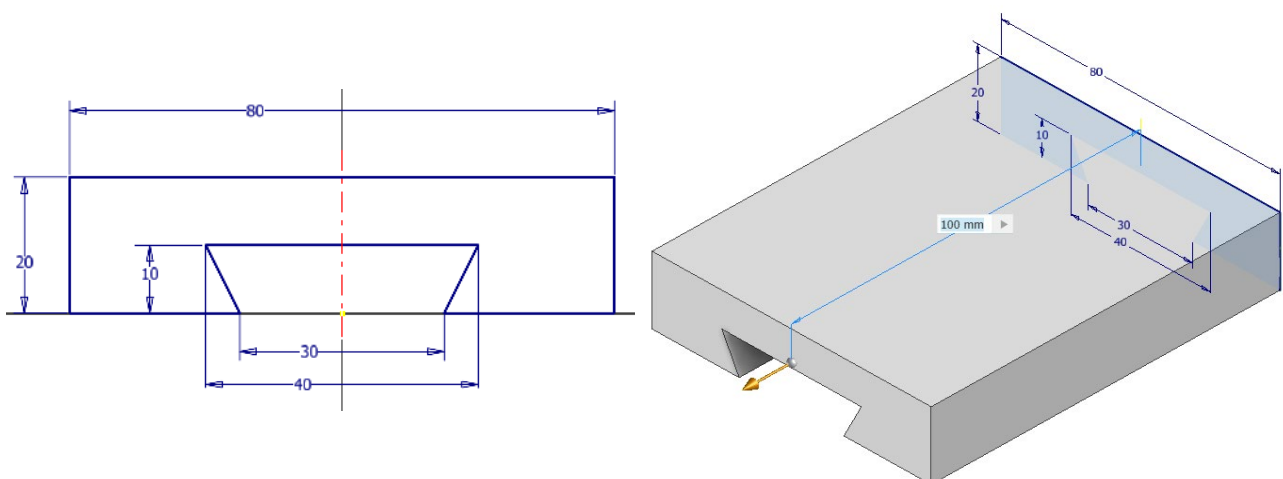


Figura 6.7. Primer boceto y Extrusión.

Paso 2. PLANO DE TRABAJO. Desfasado 20 mm (en sentido negativo) desde la cara trasera derecha (Figura 6.8).

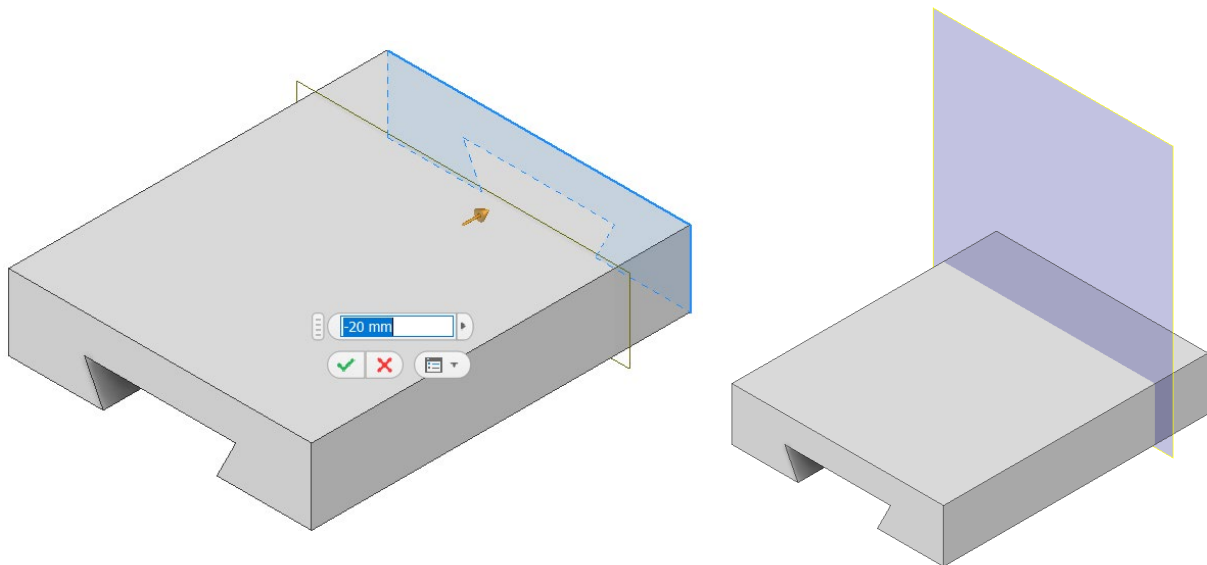
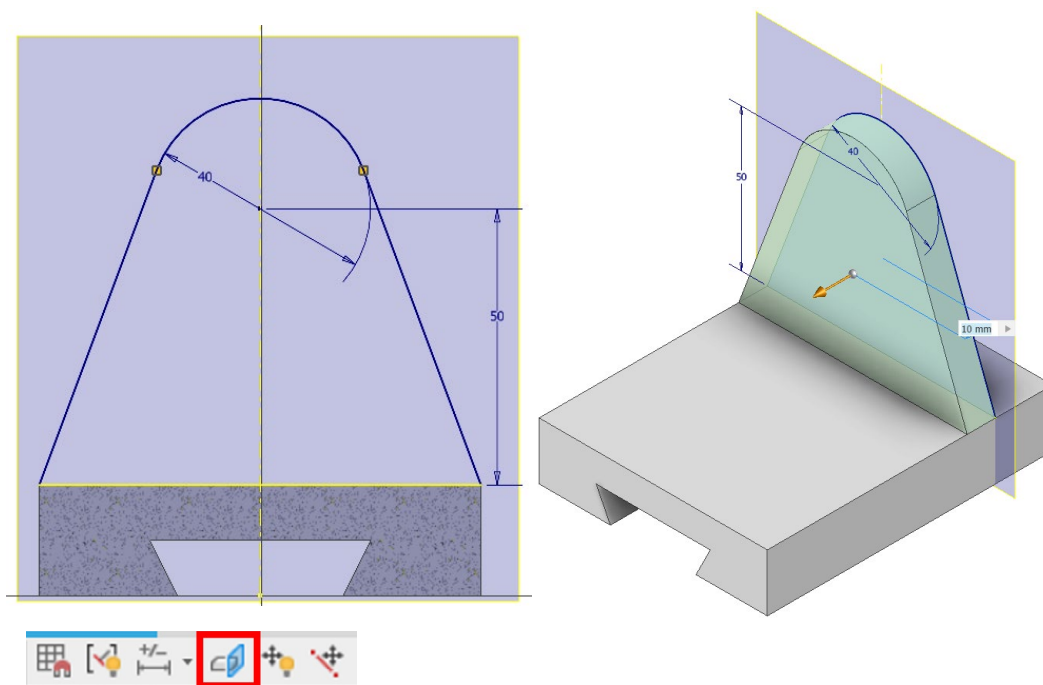


Figura 6.8. Creación Plano de trabajo.

Paso 3. EXTRUSIÓN. Boceto situado sobre el plano auxiliar. Boceto simétrico. Proyectar sobre el boceto la cara superior de la base para cerrar el cortorno (línea amarilla) ajustado perfectamente a la base (Figura 6.9).



La línea amarilla (proyección de la cara superior de la base) se ve mejor si se visualiza la base cortada por el plano del boceto pulsando F7 o el botón de la parte inferior resaltado:

Figura 6.9. Segundo boceto y Extrusión.

Paso 4. EXTRUSIÓN. Boceto situado a continuación de la extrusión anterior. Proyectar de nuevo sobre el boceto la cara superior de la base (línea amarilla). No se vuelve a acotar el diámetro sino que se emplean restricciones de *Coincidencia* con el semicírculo de la extrusión anterior (Figura 6.10).

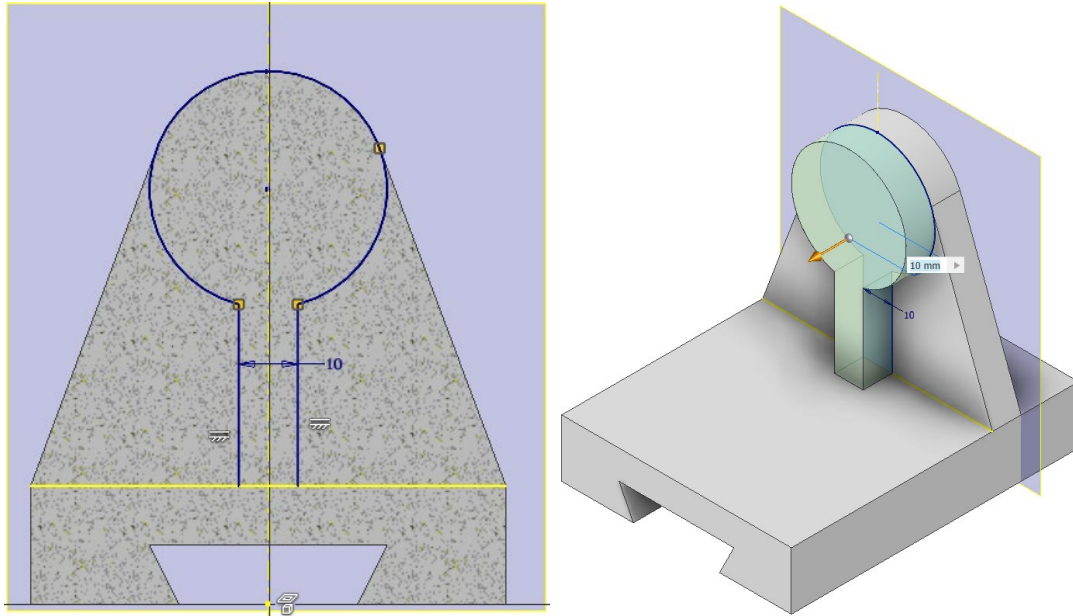


Figura 6.10. Tercer boceto y *Extrusión*.

Paso 5. EXTRUSIÓN. Boceto situado sobre la base. *Círculo* situado sobre eje de simetría.

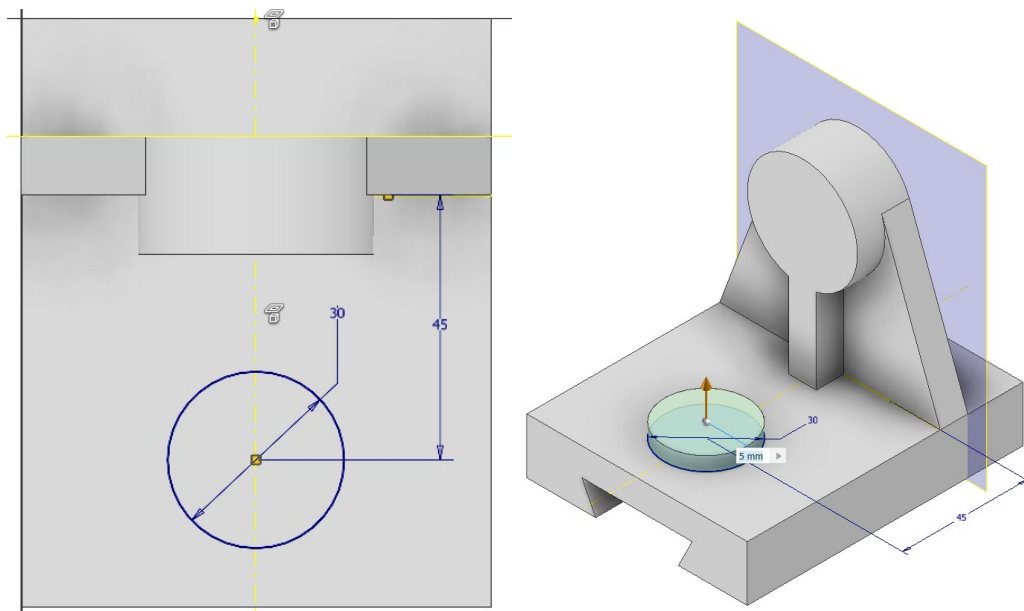


Figura 6.11. Cuarto boceto y *Extrusión*.

Pasos 6 y 7. AGUJEROS CONCÉNTRICOS PASANTES (Figura 6.12).

Paso 8. EMPALME. Una única operación para las cuatro aristas verticales de la base (Figura 6.12).

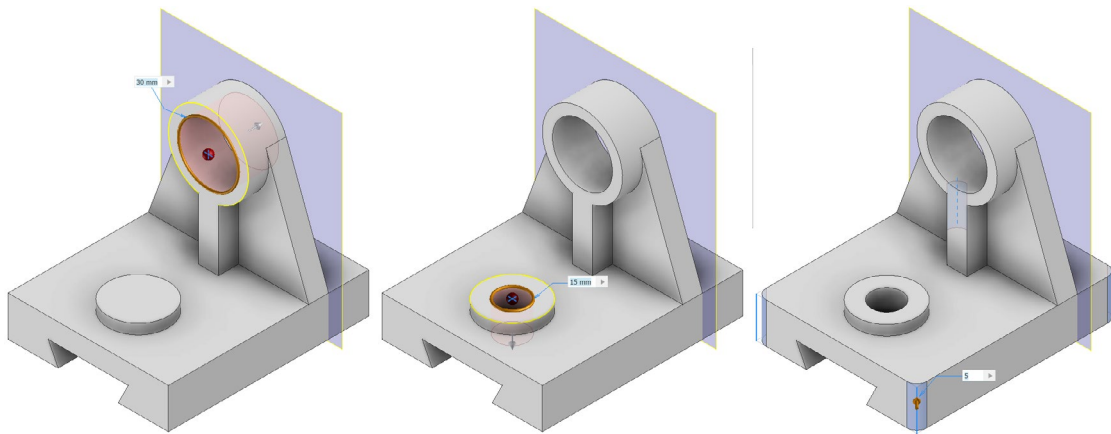


Figura 6.12. Agujeros concéntricos pasantes y empalmes.

6.1.1. Terminaciones “Hasta” y “Siguiete”

Volviendo a la Figura 6.1, la longitud de la extrusión del saliente no puede establecerse por “Distancia” (es desconocida y además no es igual para todo el saliente) y, aunque podría ser “Pasante”, es aconsejable evitar “empotrar” material nuevo dentro del ya creado, si es posible.

Para realizar la extrusión del saliente oblicuo hay que indicar una terminación del tipo “A” (equivalente a *Hasta* en agujeros) (la opción señalada en la ventana de opciones de *Extrusión* más a la izquierda en la Figura 6.13) o *Siguiete* (la opción situada a su derecha). La opción *A* requiere que se seleccione una superficie hasta la que llegará la extrusión, mientras que la opción *Siguiete* (preferible en este ejemplo) termina cuando llega a la superficie más cercana (Figura 6.13).

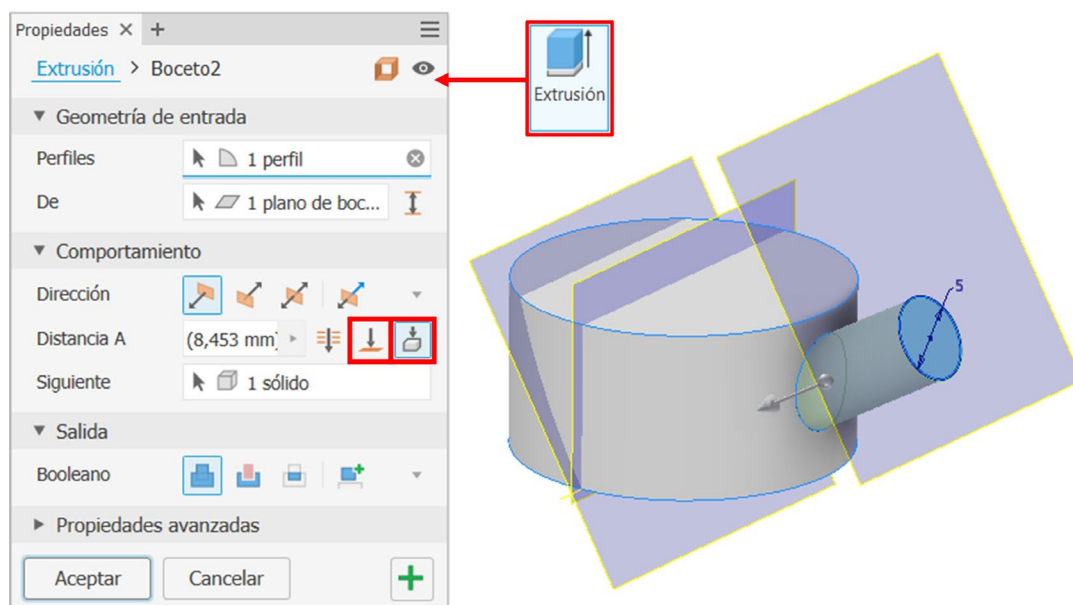


Figura 6.13. Selección de *Extrusión* “Hasta” o “Siguiete”.

Una vez realizadas las operaciones de añadir material, se pasará a las operaciones de corte o eliminar material. Se creará una *Extrusión* para el corte interior de la base (en este caso preferible a un *Agujero* porque el diámetro es muy grande) (Figura 6.14).

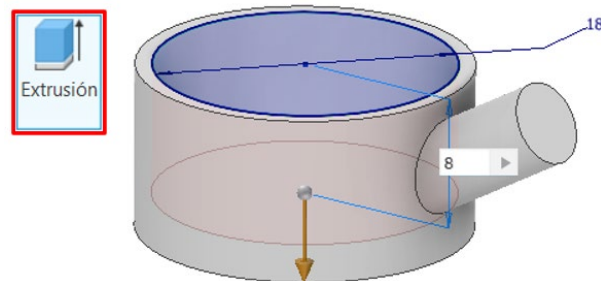


Figura 6.14. *Extrusión* para corte interior.

La profundidad del agujero concéntrico del saliente no puede ser *Pasante* porque atravesaría la base de la pieza y tampoco puede ser por *Distancia* porque, si se modifica la longitud del saliente, el agujero puede quedarse corto o pasarse. Por ello, hay que utilizar una terminación *Hasta* y seleccionar la superficie hasta la que llegará el agujero (Figura 6.15).

La terminación *Hasta* de *Agujeros* permite que el agujero termine en la prolongación de la cara, lo cual provocaría en este ejemplo que atravesara la base de la pieza como se muestra en la Figura 6.5. Si esto ocurre, hay que pulsar el botón indicado con la flecha verde.

En caso de que no permitiera seleccionar la superficie límite, se debe pulsar en el lugar indicado por la flecha azul.

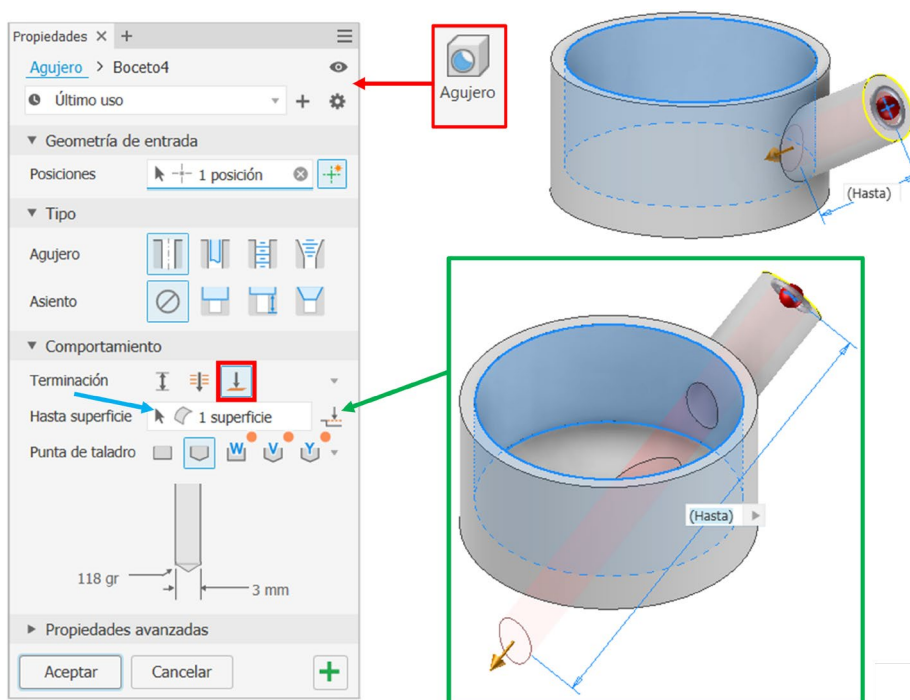


Figura 6.15. *Agujero* con terminación *Hasta*.

6.2. Plano normal a eje a través de punto

La Figura 6.16 es muy similar a la anterior, pero en este caso, el eje del saliente no parte del centro de la base, sino de 7 mm más arriba.

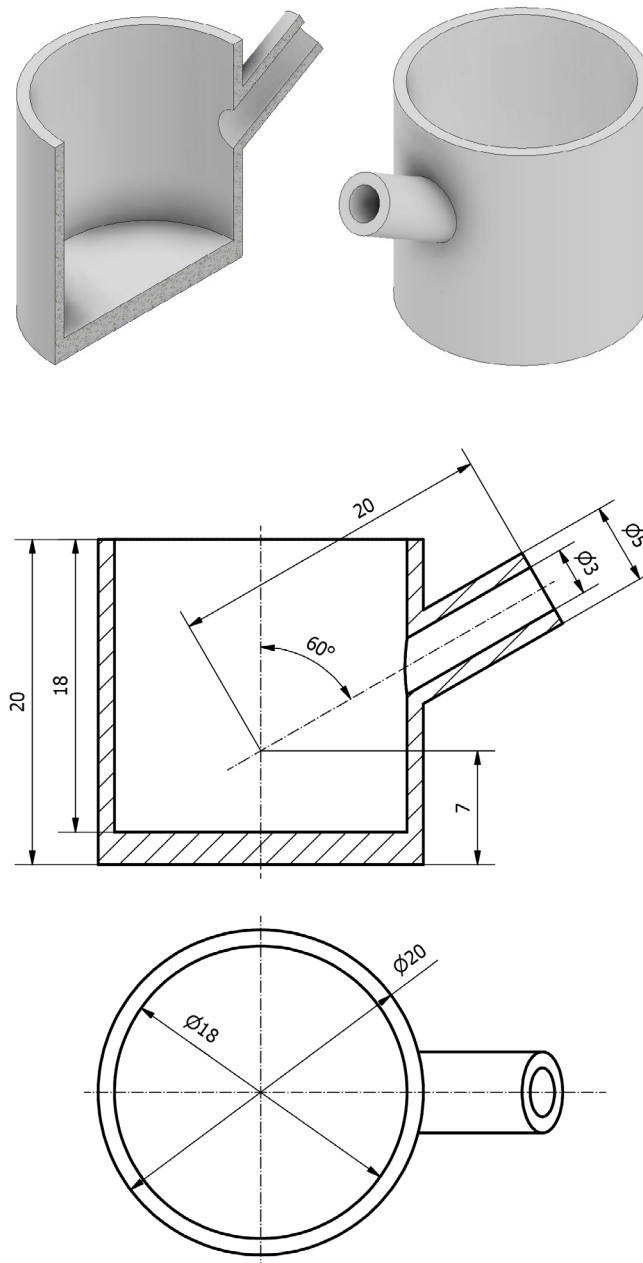


Figura 6.16. Saliente con eje a través de punto.

La consecuencia es que no se podría realizar el proceso para modelar el saliente del mismo modo, ya que el origen no queda proyectado en la posición adecuada en el plano del boceto. En la Figura 6.17 se puede ver cómo, en la pieza anterior, el origen se proyecta perpendicularmente en el boceto sirviendo como centro del círculo para realizar el saliente.

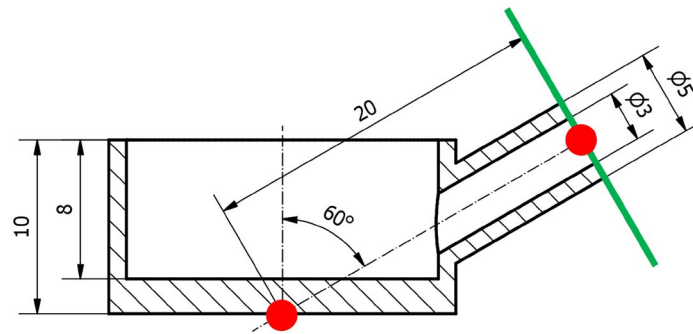


Figura 6.17. Origen para modelar saliente.

Una de las posibles soluciones es obtener primero un plano de trabajo desfasado 7 mm hacia abajo para realizar el boceto inicial de la base y, a partir de ahí, seguir el mismo proceso que se ha realizado anteriormente.

Otra opción es dibujar un boceto con el eje del saliente y crear un plano de trabajo perpendicular a dicho eje. En este caso el boceto no se utiliza para una operación de modelado, sino para un plano de trabajo.

Para poder crear el plano de trabajo, se dibujará el boceto en el plano frontal del sistema de referencia.

Se realizará el boceto de la forma habitual, pero en este caso no habrá ningún contorno, solo líneas auxiliares (se deberá proyectar el eje vertical para situar el punto desde el que parte el eje del saliente, convertir a eje de construcción las líneas necesarias y acotar el dibujo, con las cotas correspondientes) (Figura 6.18).

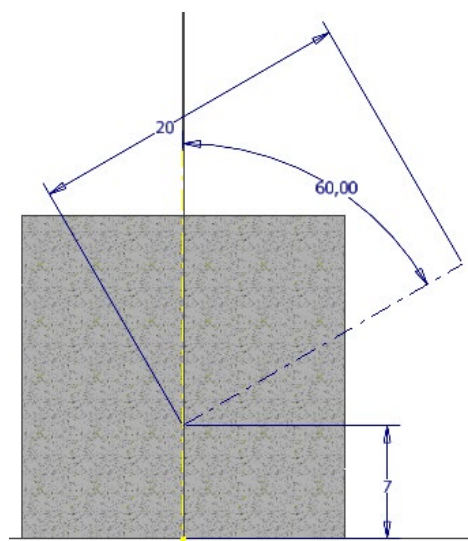


Figura 6.18. Boceto inicial.

Después de terminar el boceto, con la opción de plano de trabajo *Normal a eje a través de punto* se deberá seleccionar el eje dibujado en el boceto y el extremo final de dicho eje (ambos señalados con flechas verdes en la Figura 6.19).

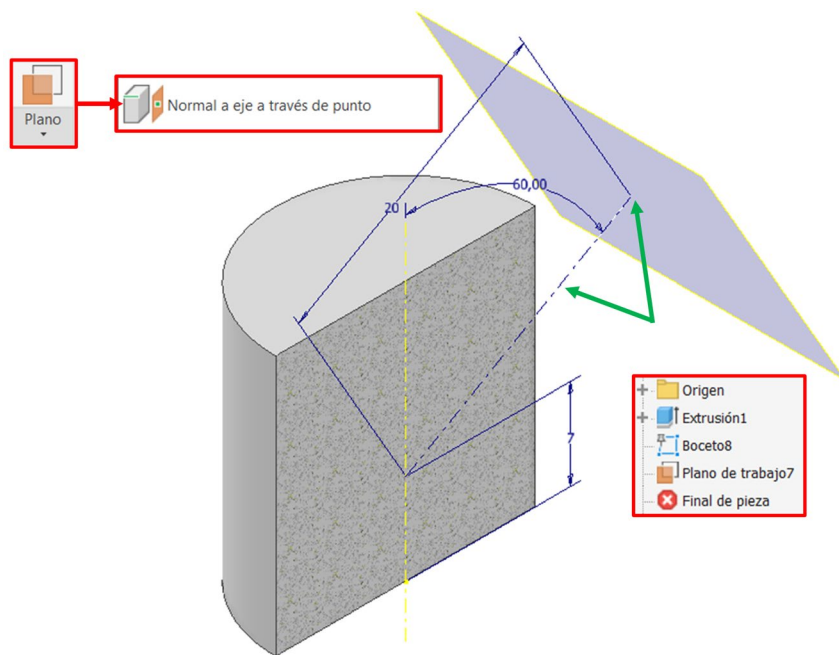


Figura 6.19. Plano de trabajo normal a eje a través de punto.

Inventor no deja en el *Navegador* el boceto interiormente al plano de trabajo, pero debería estarlo, ya que el plano de trabajo depende del boceto y, por tanto, este no es un boceto suelto que deba ser eliminado.

A partir de aquí, se seguirán los mismos pasos que en el ejemplo anterior para terminar de modelar la pieza (Figura 6.20).

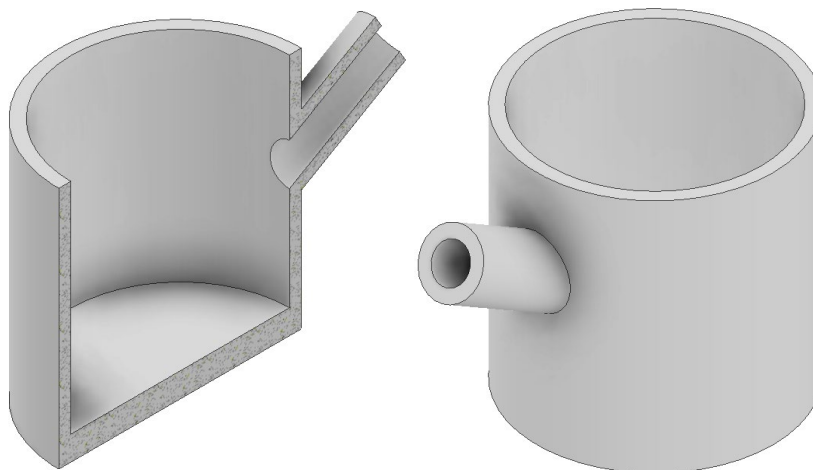


Figura 6.20. Pieza a modelar.

6.3. Planos tangentes a superficies

Un caso muy habitual que necesita un plano auxiliar es la realización de un *Agujero* en una superficie no plana (en el ejemplo de la Figura 6.21 un cilindro). Como los bocetos solo pueden

estar en superficies planas, habrá que generar un *Plano* tangente a la superficie para poner el *Punto* que sirve como centro del agujero. No sería válido emplear un plano con *Desfase* porque si se cambiara el diámetro del cilindro, el plano auxiliar quedaría por dentro o por fuera.

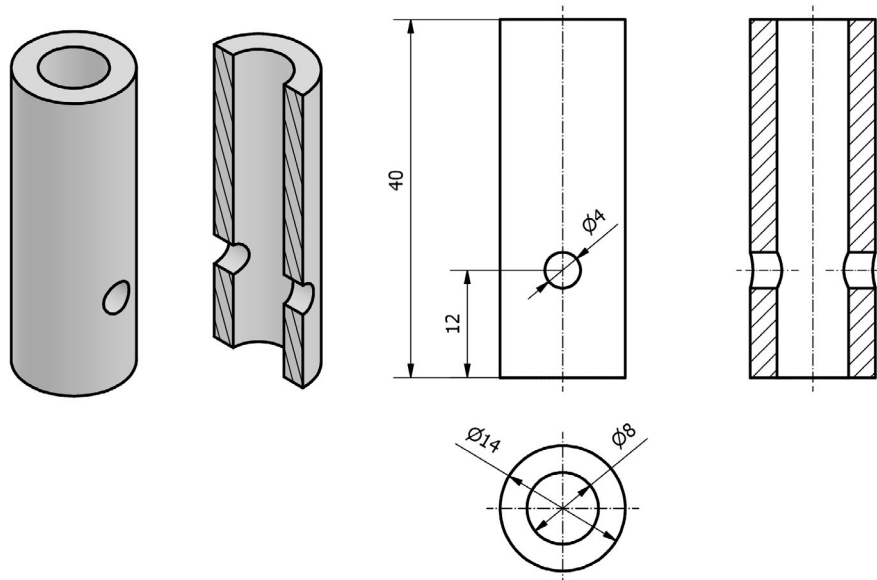


Figura 6.21. Realización de *Agujero* en superficie no plana.

En este apartado, se partirá de la pieza anterior extruyendo un boceto con un *Círculo* de 14 mm de diámetro centrado en el origen para crear un cilindro de altura 40 mm. A continuación, se realizará un *Agujero* concéntrico pasante de 8 mm.

Igual que en el ejemplo anterior, se ha activado la visualización del plano necesario para obtener el plano auxiliar tangente al cilindro.

Con la opción de plano de trabajo *Tangente a superficie y paralelo a plano* se deben seleccionar (sin importar el orden) el plano (en el *Navegador* o en el modelo 3D) y la superficie (solo se puede en el modelo 3D) (Figura 6.22).

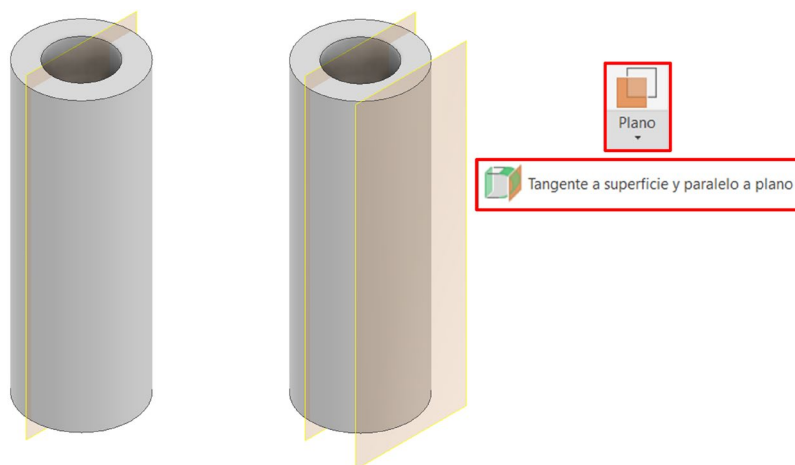


Figura 6.22. Selección de *Plano* auxiliar "*Tangente a superficie y paralelo a plano*".

Para hacer el agujero se debe crear un *Boceto* en el plano auxiliar, *Proyectar* el eje para situar sobre él el *Punto* y *Acotar* a la altura correcta (Figura 6.23).

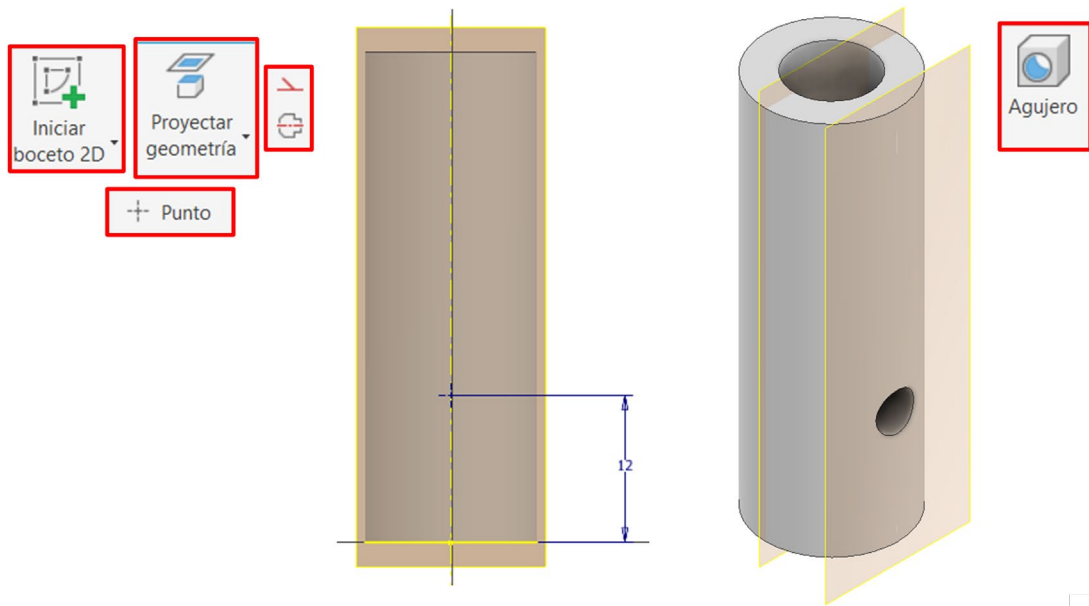


Figura 6.23. Realización *Agujero*.

7

Rúbrica para comprobar la calidad de los modelos

A continuación, se adjunta una rúbrica para evaluar la capacidad de modelado siguiendo buenas prácticas, ya que no vale solo modelar, hay que modelar bien para generar modelos CAD de calidad fácilmente modificables y reutilizables.

Esta plantilla se ha preparado a modo indicativo de cómo se evalúan los modelos CAD3D, aunque de una forma más simplificada.

Criterios mínimos para saber si modelo bien. Se han puesto unos criterios organizados por bloques: bloque asociado a los criterios básicos, bloque asociado a las operaciones de modelado, y el bloque asociado a la calidad de los bocetos. Los criterios tienen diferentes pesos. Si rellenas las casillas de color salmón en esta plantilla por ejercicio (SI: cumple el criterio; NO: no cumple el criterio) y el TOTAL de puntuación **resulta ≥ 8 , estarías en condiciones de aprobar la parte de CAD3D.**

CRITERIOS BÁSICOS		OPERACIONES
Criterio 1 (10%)	Criterio 2 (10%)	Criterio 3 (20%)
Orientación y posición de la pieza	Geometría 3D completa / Organización del árbol del modelo	Operaciones/Funciones bien realizadas
Descripción:	Descripción:	Descripción:
La pieza se ha posicionado en el espacio según el enunciado proporcionado (sobre el plano correcto, centrada en los planos de origen, ...)	La pieza se ha modelado completamente. Además el árbol del modelo tiene las operaciones principales al principio, y las de acabado al final (redondeos, chaflanes, nervios, ...)	Extensión de las operaciones (hasta superficie, pasante, siguiente, ...), Nervios, Agujeros (con asientos, con rosca métrica ISO, ...)

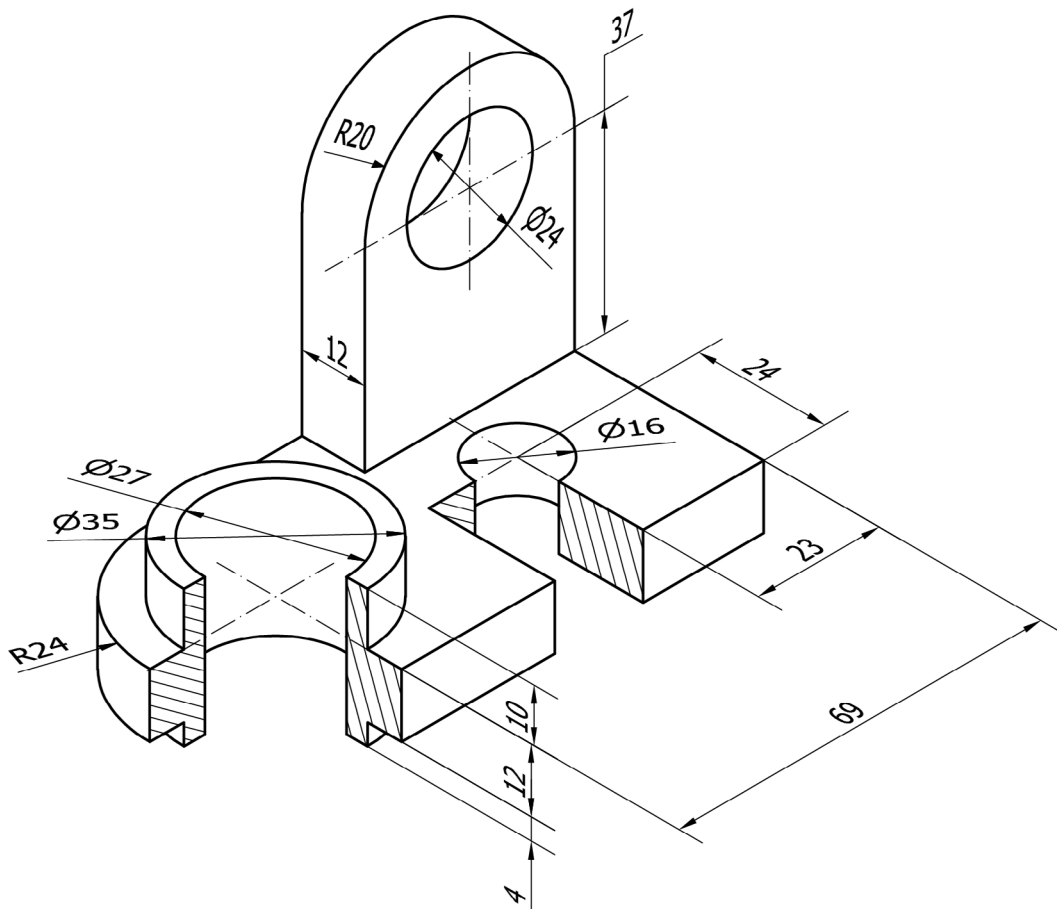
BOCETOS			
Criterio 4 (20%)	Criterio 5 (20%)	Criterio 6 (20%)	
Geometría del boceto	Acotación del boceto	Restricciones del boceto	TOTAL
			0
Descripción:	Descripción:	Descripción:	
Entidades proyectadas como construcción. Solo las que pertenecen a la geometría final son sólidas	Deben ser las mismas del enunciado de la perspectiva proporcionada	Modificar alguna cota ligeramente y comprobar, por ejemplo, si mantiene la simetría o las tangencias	

8

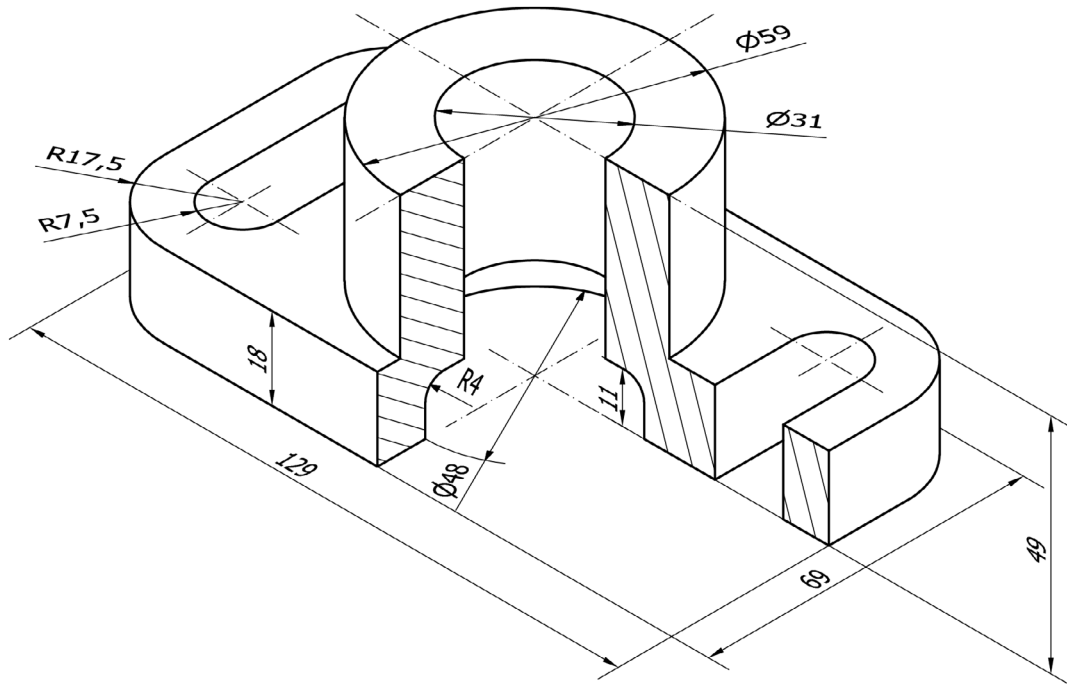
Creando modelos

Modelar las siguientes piezas teniendo en cuenta las buenas prácticas de modelado previamente descritas.

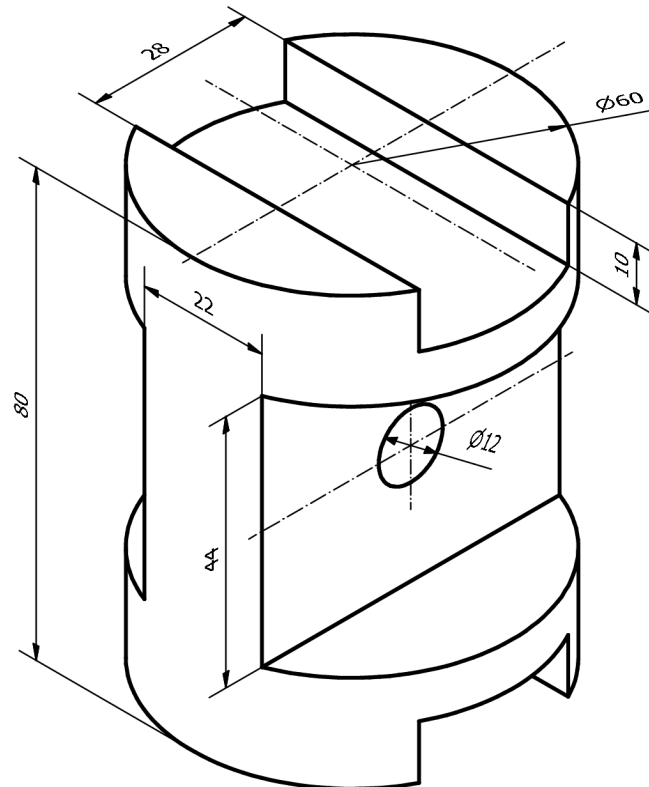
Modelo 1



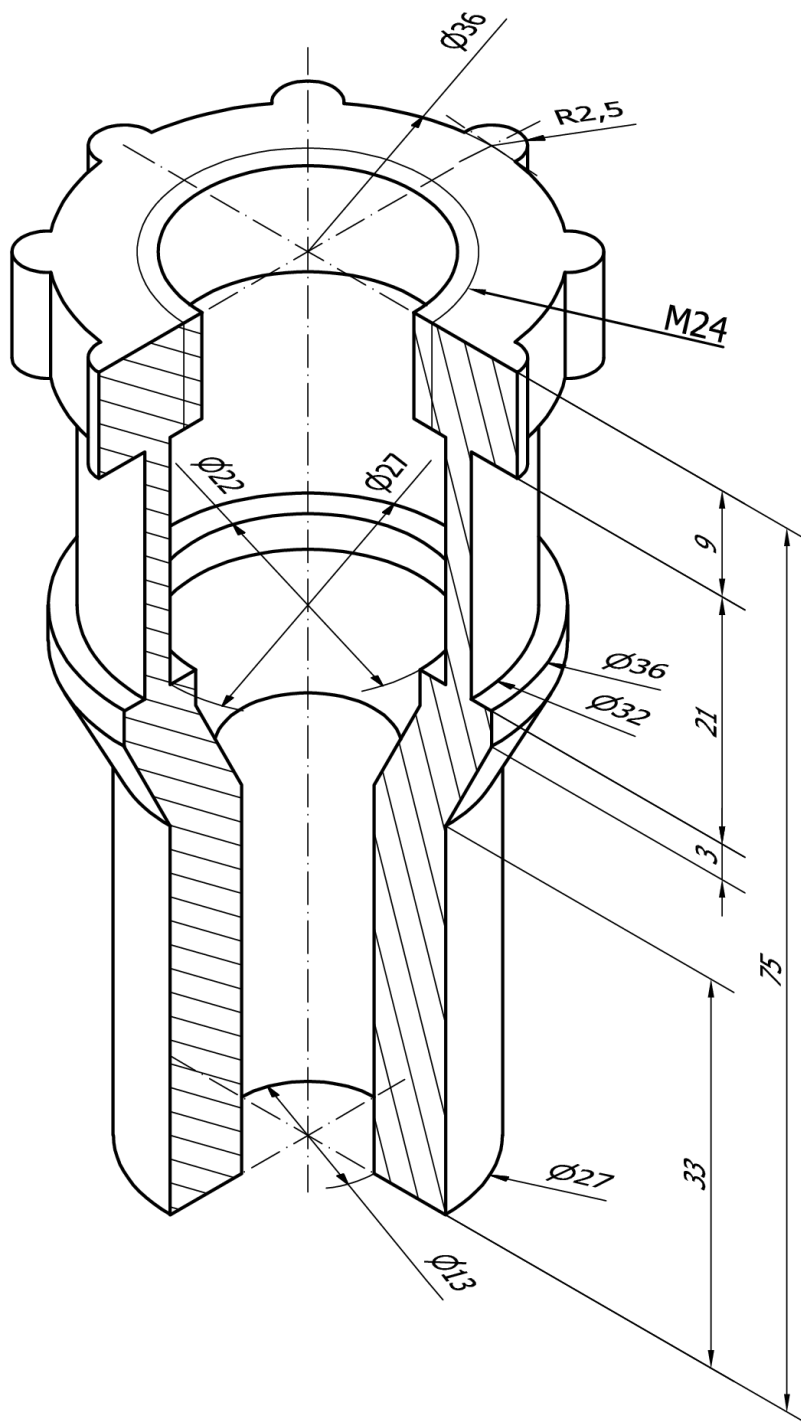
Modelo 2



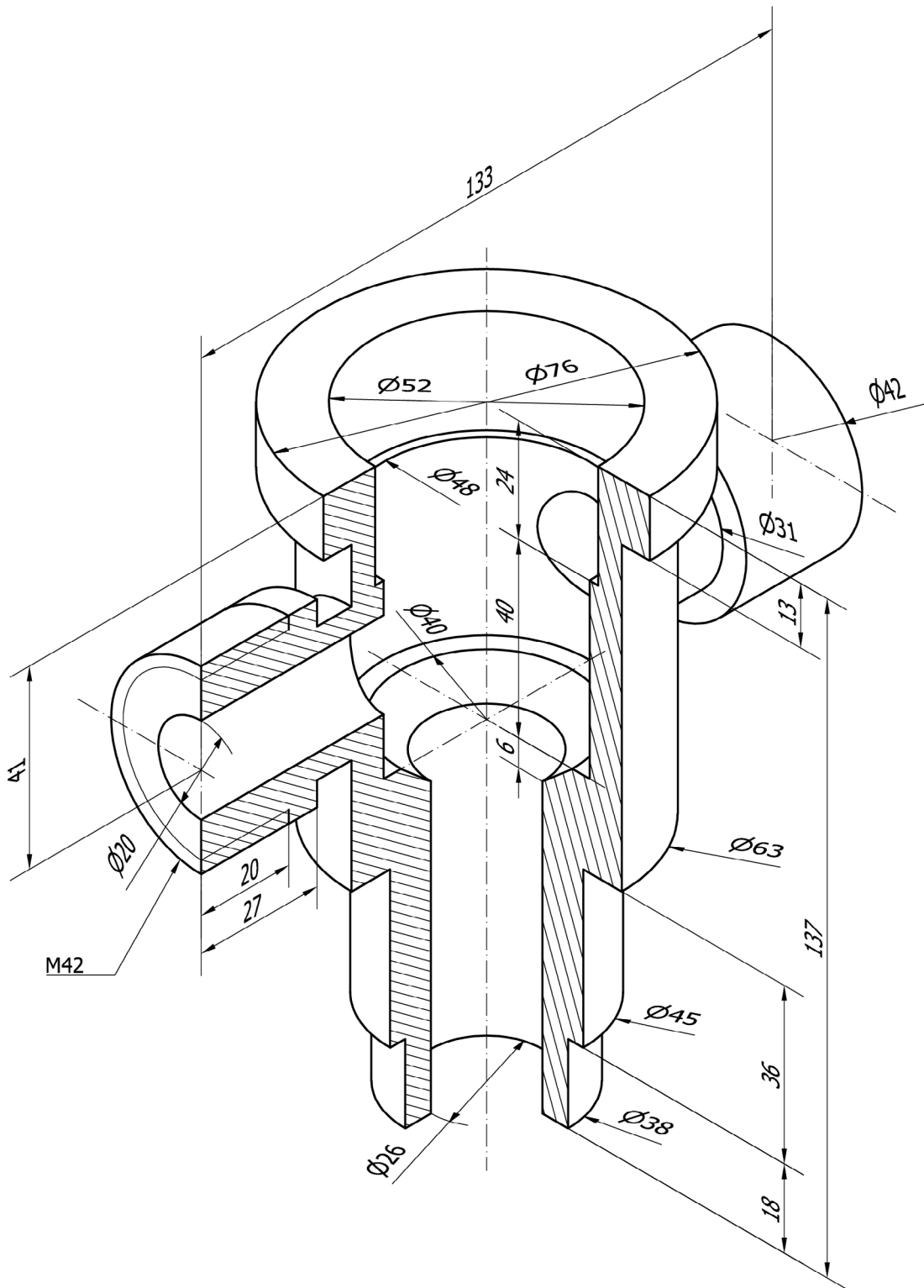
Modelo 3 (agujero central pasante)



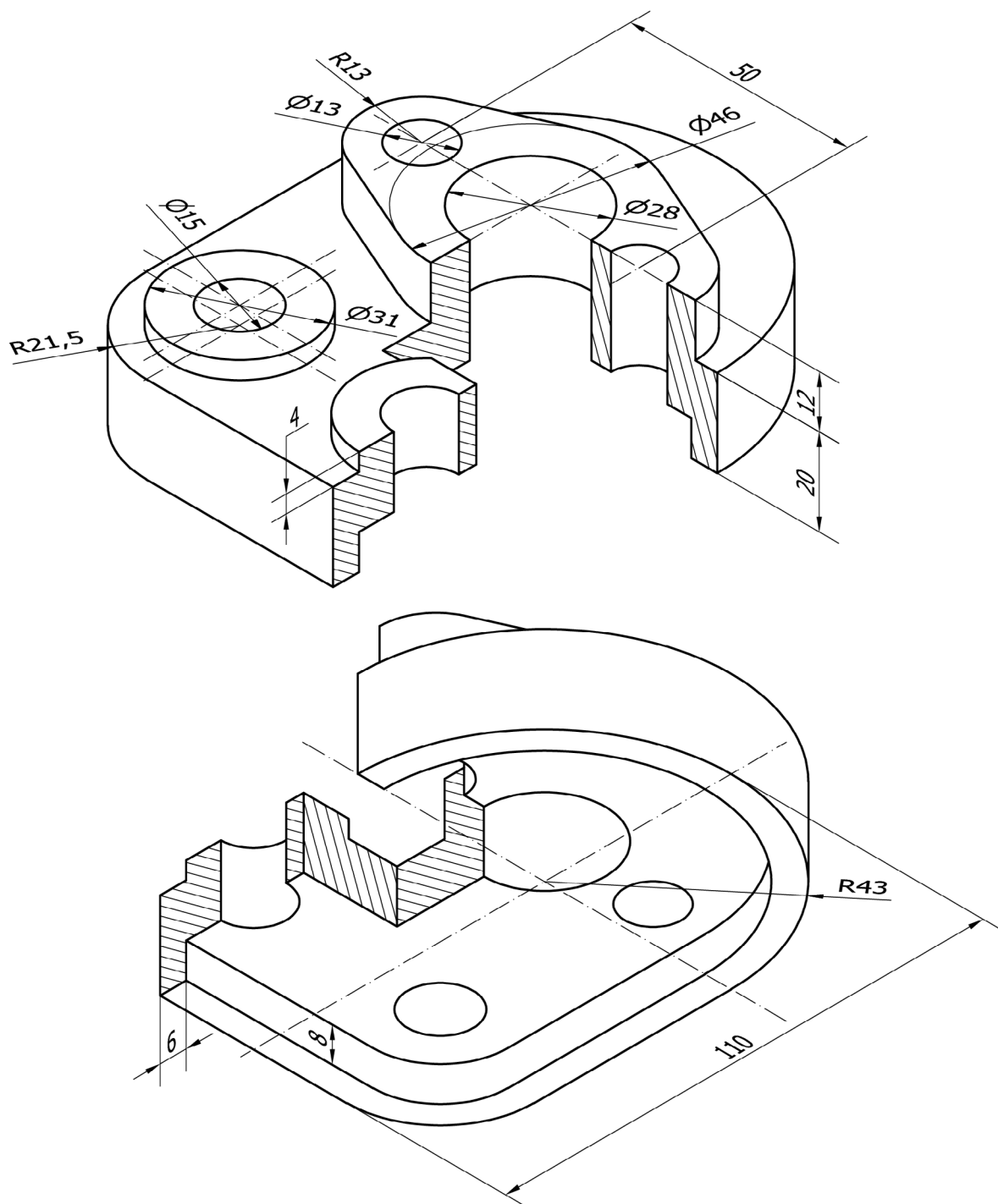
Modelo 4



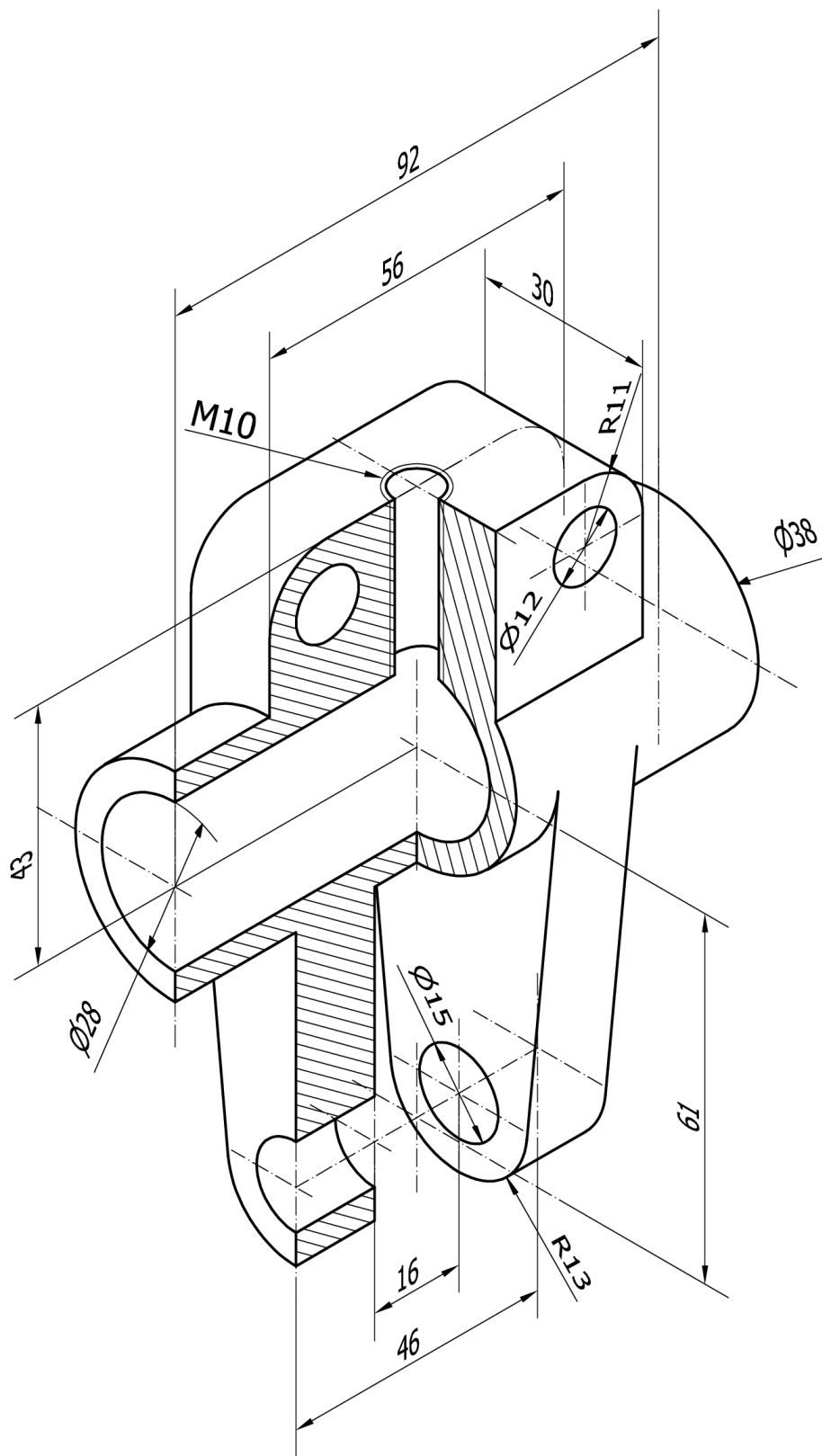
Modelo 5



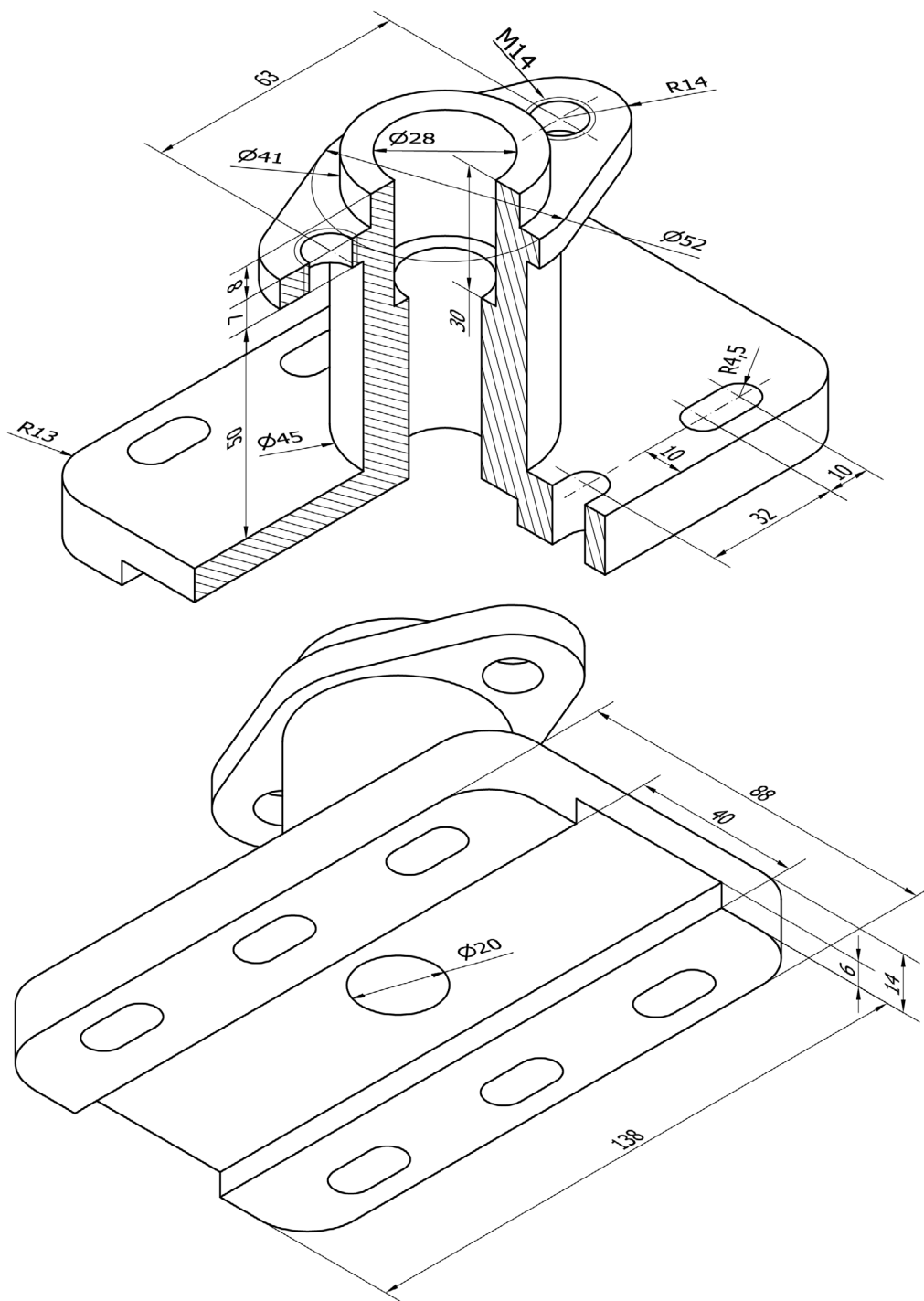
Modelo 6



Modelo 7

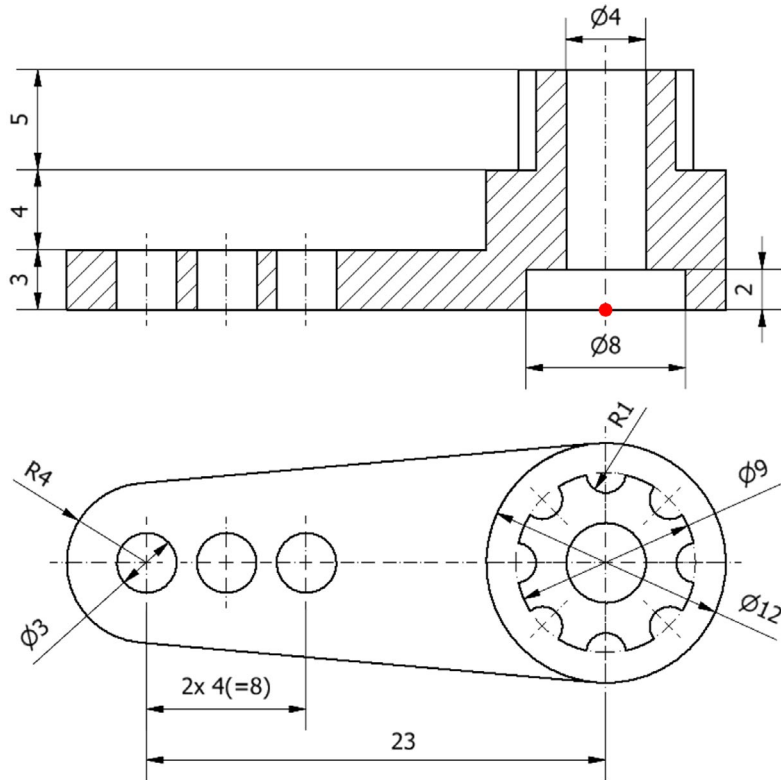
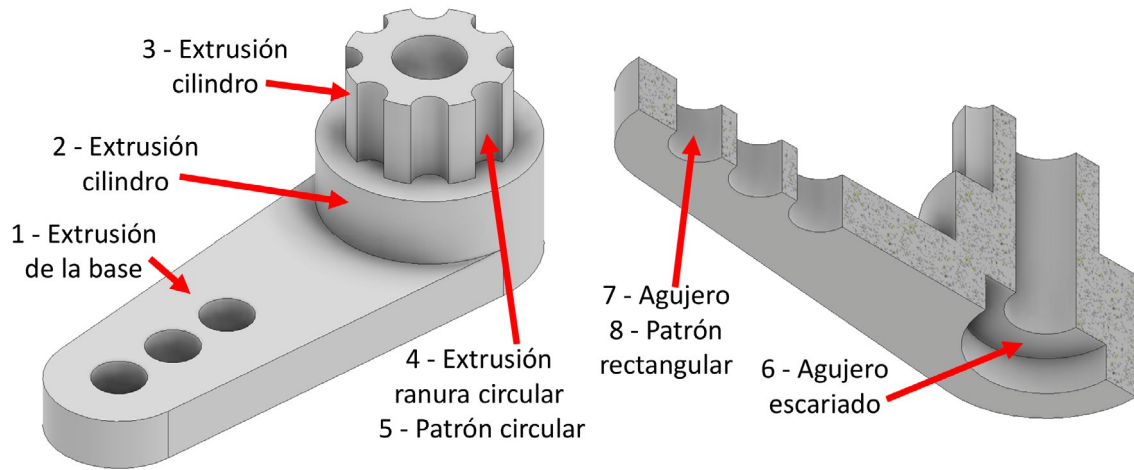


Modelo 8

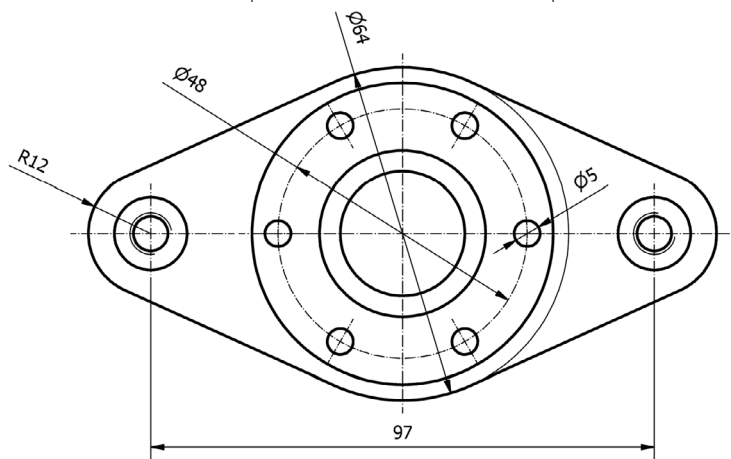
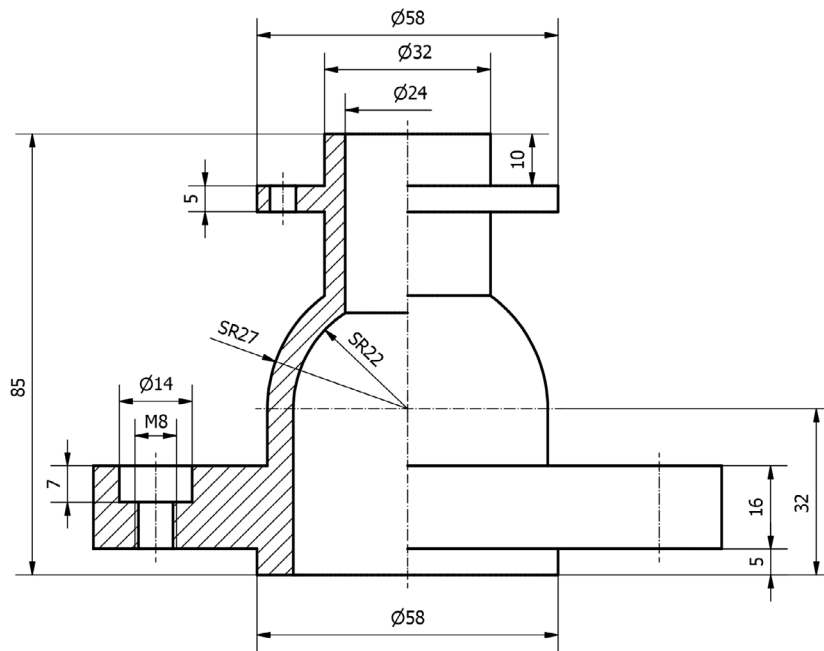
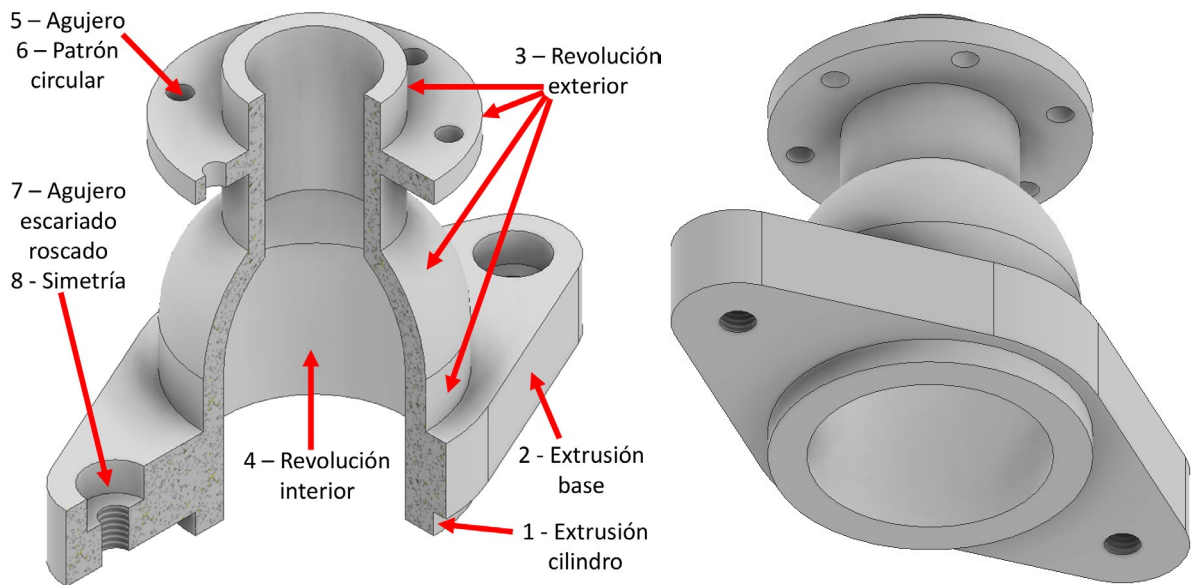


Modelo 9

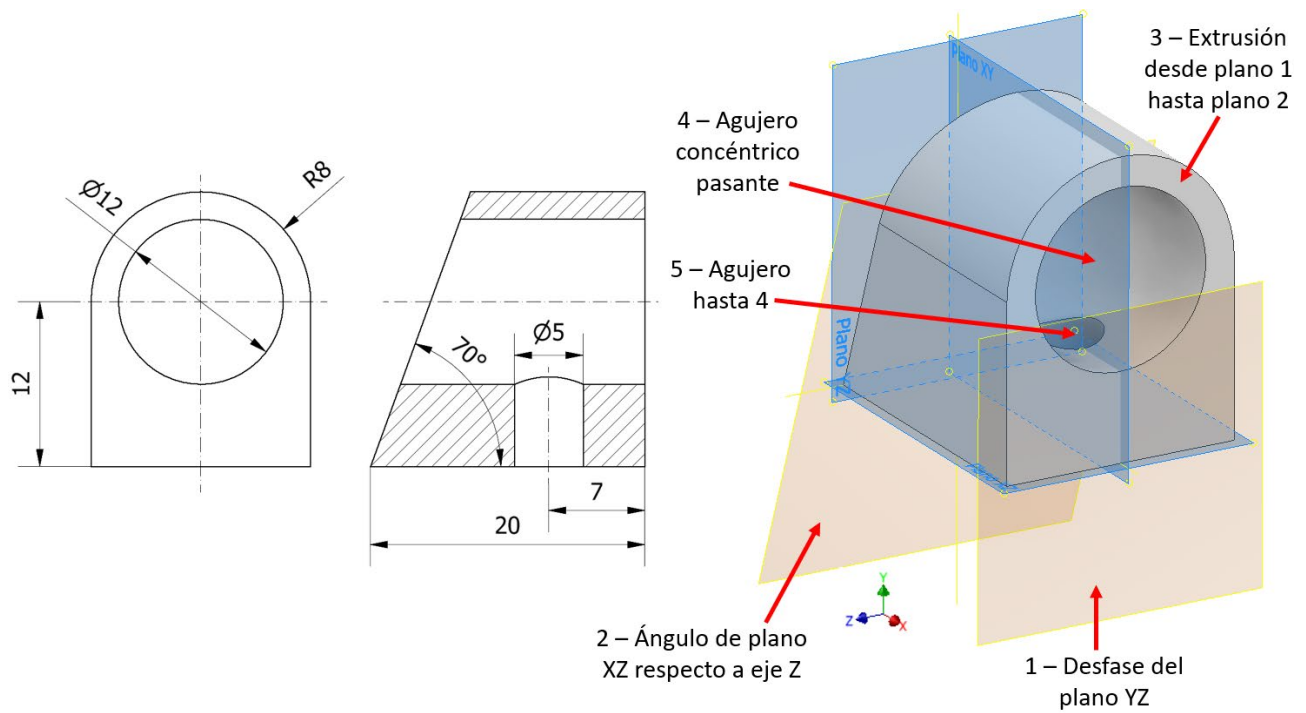
El punto rojo señalado en el alzado debe situarse en el origen del sistema de referencia:



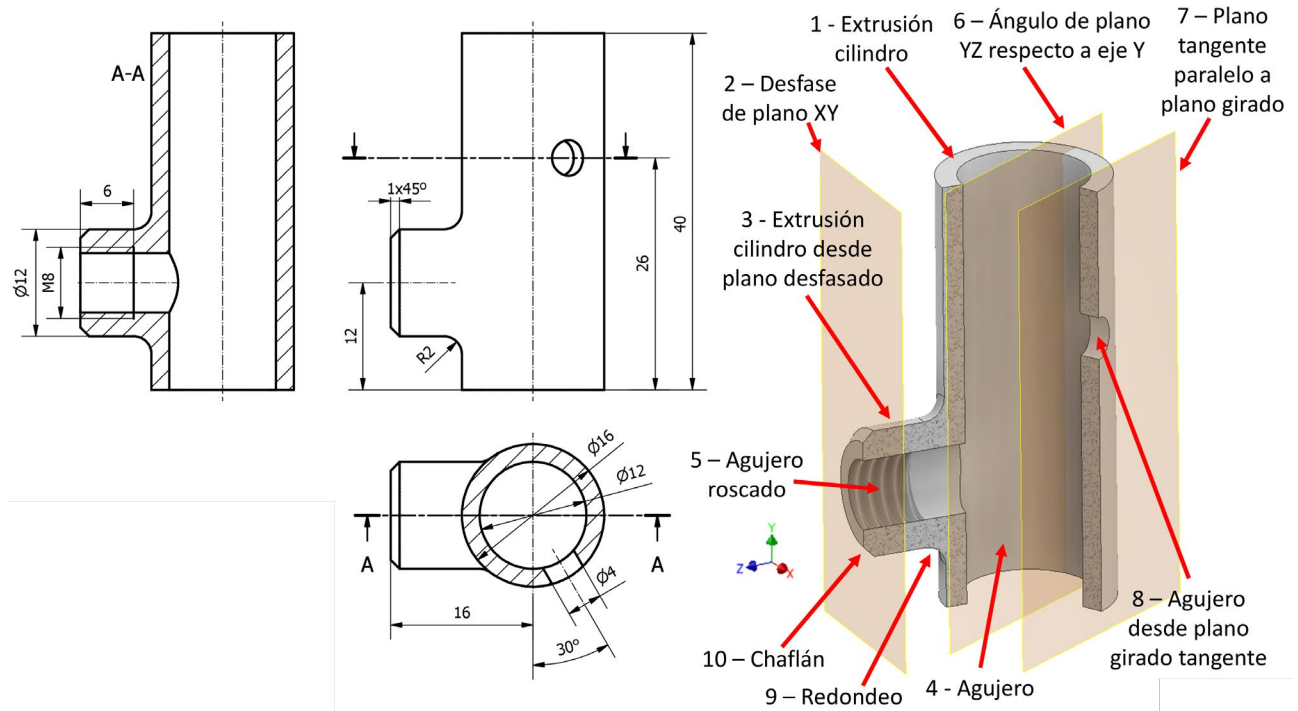
Modelo 10



Modelo 11



Modelo 12



Modelo 13

