

Colección Manuales Docentes

Control numérico para torno y fresadora

Enrique García Martínez y
Sergio García Martínez



Ediciones de la Universidad
de Castilla-La Mancha

CONTROL NUMÉRICO PARA TORNO Y FRESADORA

Enrique García Martínez

Sergio García Martínez

Control numérico para torno y fresadora

Thema: TGP - YPMT3

- © del texto: sus autores, 2026.
- © de las imágenes: sus autores, 2026.
- © de la edición: Universidad de Castilla-La Mancha, 2026.

Edita: Ediciones de la Universidad de Castilla-La Mancha, 2026.
Colección Manuales Docentes n.º 33.



Esta editorial es miembro de la UNE, lo que garantiza la difusión y comercialización de sus publicaciones a nivel nacional e internacional.

DOI: https://doi.org/10.18239/manuales_2026.33.00

ISBN: 978-84-9044-789-5 (Edición electrónica)

ISNI: 0000000506819532 (Ediciones UCLM)

Este original fue sometido al proceso de selección del Comité Editorial del sello Ediciones de la Universidad de Castilla-La Mancha que valoró positivamente su publicación. Este libro está publicado en Acceso Abierto (ruta diamante) en el Repositorio Institucional RUIdeRA, handle: <https://hdl.handle.net/10578/47217>



Esta obra se encuentra bajo una licencia internacional Creative Commons CC BY 4.0. Cualquier forma de reproducción, distribución, comunicación pública o transformación de esta obra no incluida en la licencia Creative Commons CC BY 4.0 solo puede ser realizada con la autorización expresa de los titulares, salvo excepción prevista por la ley. Puede Vd. acceder al texto completo de la licencia en este enlace: <https://creativecommons.org/licenses/by/4.0/deed.es>

Hecho en España (U.E.) – *Made in Spain (E.U.)*

ÍNDICE GENERAL

Índice de tablas	v
------------------------	---

Índice de figuras	vi
-------------------------	----

Parte 1 Introducción al control numérico 1

1 Introducción 3

1.1 Breve historia del control numérico	5
---	---

1.2 Componentes de un sistema CNC	7
---	---

1.3 Tipos de control y modos de programación	10
--	----

Tipos de control numérico según la trayectoria	10
--	----

Métodos de programación CNC	11
-----------------------------------	----

1.4 Control Fagor 8055	13
------------------------------	----

1.5 Objetivo del libro y estructura	16
---	----

2 Programación mediante control numérico 19

2.1 Estructura genérica de la cabecera de un programa	20
---	----

2.2 Estructura genérica de una línea de cuerpo del programa	21
---	----

3 Ejes y sistemas de coordenadas 27

3.1 Sistema de coordenadas cartesianas	28
--	----

3.2 Sistema de coordenadas polares	28
--	----

3.3 Sistemas absoluto e incremental	29
---	----

3.4 Cero pieza y cero máquina	30
-------------------------------------	----

Cero pieza	30
------------------	----

Cero máquina	31
--------------------	----

Traslados de origen	32
---------------------------	----

3.5 Selección de planos	33
-------------------------------	----

Parte 2 Programación para fresadora CNC 35

4 Instrucciones de movimiento 37

4.1 G00: Interpolación lineal a velocidad rápida	37
--	----

4.2	G01: Interpolación lineal a velocidad controlada	37
4.3	G02 y G03: Interpolación circular	38
	Programación en coordenadas cartesianas	39
	Programación en coordenadas polares	40
	G06: Interpolación circular con centro en coordenadas absolutas	42
4.4	G36: Redondeo controlado de aristas	42
4.5	G39: Achaflanado controlado de aristas	43
4.6	G37 y G38: Entradas y salidas tangenciales	45

5 **Compensación de herramientas** **47**

5.1	G41 y G42: Inicio de compensación de radio	49
	Inicio de la compensación sin desplazamiento programado	50
	Inicio de la compensación en un movimiento	51
5.2	G40: Anulación de la compensación de radio	52
	Fin de la compensación sin desplazamiento programado	52
	Fin de la compensación con movimiento	53
5.3	G43 y G44: Compensación de longitud de herramienta	53

6 **Funciones preparatorias adicionales** **57**

6.1	G92: Traslado de origen de coordenadas cartesianas	57
6.2	G93: Definición del origen de coordenadas polares	59
6.3	RPT: Repeticiones	60
6.4	SUB, RET y CALL: Sentencias de subrutinas	61
	PCALL: Llamada a subrutina paramétrica	63
6.5	G73: Giro del sistema de coordenadas	65
6.6	G72: Factor de escala	67
6.7	G10, G11, G12, G13: Imagen espejo	68

7 **Ciclos fijos de mecanizado** **71**

7.1	G98 y G99: Selección del plano de retroceso de la herramienta	72
7.2	G81: Ciclo fijo de taladrado	73
7.3	G83: Ciclo fijo de taladrado profundo	76
7.4	G84: Ciclo fijo de roscado con macho	78

7.5	G85: Ciclo fijo de escariado	80
7.6	G87: Ciclo fijo de cajera rectangular	80
7.7	G88: Ciclo fijo de cajera circular	85

8 Ejercicios complementarios para fresadora 89

Parte 3 Programación para torno CNC95

9 Consideraciones en la programación para torno CNC 97

9.1	Definición y limitación de la velocidad de giro de la pieza	98
9.2	Definición de la velocidad de avance de la herramienta	98
9.3	Definición de coordenadas en diámetros o radios	99
9.4	Compensación de longitud de la herramienta	100
9.5	Compensación del radio de la herramienta	101
9.6	Ciclos fijos de torneado	104

10 Ciclos fijos para operaciones de cilindrado, refrentado y seguimiento de perfil 107

10.1	G81: Ciclo fijo de torneado de tramos rectos	107
10.2	G82: Ciclo fijo de refrentado de tramos rectos	111
10.3	G84: Ciclo fijo de torneado de tramos curvos	114
10.4	G85: Ciclo fijo de refrentado en tramos curvos	118
10.5	G68: Ciclo fijo de desbaste en el eje X	121
10.6	G69: Ciclo fijo de desbaste en el eje Z	125
10.7	G66: Ciclo fijo de seguimiento de perfil	128

11 Ciclos fijos para operaciones de ranurado 133

11.1	G88: Ciclo fijo de ranurado en eje X	133
11.2	G89: Ciclo fijo de ranurado en el eje Z	136

12 Ciclos fijos para operaciones de roscado 139

12.1	Sistemas de roscado	139
12.2	Selección de la plaquita de roscado	140
12.3	Sistemas convencionales de penetración en el mecanizado de roscas	140
12.4	G86: Ciclo fijo de roscado longitudinal	142

12.5 G87: Ciclo fijo de roscado frontal 148

13 Ciclos fijos de taladrado y roscado con macho 155

13.1 G83: Ciclo fijo de taladrado axial/roscado con macho 155

14 Ejercicios complementarios para torno 161

Referencias y consultas de interés 166

ÍNDICE DE TABLAS

2.1	Funciones G normalmente aplicadas en la cabecera de un programa.	21
2.2	Funciones auxiliares más habituales en un programa.	24
7.1	Ciclos fijos en control Fagor 8055 M.	71
9.1	Ciclos fijos en control Fagor 8055 T.	105

ÍNDICE DE FIGURAS

1.1	Centro de mecanizado CNC (tipo fresadora) y torno CNC.....	3
1.2	Mecanizado de moldes y componentes aeronáuticos en centros de mecanizado CNC.	4
1.3	Teclado, pantalla, botonera y modelos de volante.....	9
1.4	a) Control punto a punto y b) Control por contornoado o continuo.	11
1.5	a) Programación manual, b) Menú para programación conversacional y c) Programación mediante software CAM.....	12
2.1	Estructura genérica de una línea de programa.....	21
3.1	Ejes de coordenadas en una fresadora y un torno.	27
3.2	Ejemplo de pieza con coordenadas cartesianas en sistema absoluto e incremental.....	28
3.3	Definición de coordenadas polares. Pieza acotada en coordenadas polares.	29
3.4	Ejemplo de comparación de sistemas incremental y absoluto en polares.....	29
3.5	Distintas posiciones para el cero pieza.....	30
3.6	a) Ejemplo de la ubicación del cero máquina y cero pieza y b)Procedimiento para referenciar el cero pieza.....	31
3.7	Definición del plano activo con las funciones G17, G18 y G19.....	33
4.1	Sentido de giro de la interpolación circular.....	39
4.2	Ejemplo de programación de arcos en coordenadas cartesianas.....	39
4.4	Interpolación circular con ángulo y posición del centro.	40
5.1	Distintas herramientas para procesos de fresado.....	47
5.2	Tabla de herramientas.....	48
5.3	Compensación a izquierdas y derechas.....	49
5.4	Trayectoria compensada.....	50
5.5	Ejemplos de trayectorias con compensación de herramienta.....	51
5.6	Anulación de la compensación con movimiento programado.....	53
5.7	Referencia sobre la primera herramienta.....	54
5.8	Referencia sobre zona común.....	54
6.1	Traslado de origen en una pieza.....	57

6.2	Ejemplos de aplicación de la función G73.....	65
6.3	Ejemplos de aplicación de la función G72.....	67
7.1	Ciclo fijo de taladrado.....	73
7.2	Ciclo fijo de taladrado profundo.....	77
7.3	Ciclo de cajera rectangular.....	81
7.4	Definición del plano de referencia y profundidad de la cajera.....	82
7.5	Definición del tamaño de la cajera y paso de profundidad.....	82
7.6	Definición de los parámetros C, D y L en el ciclo de cajera rectangular.....	83
7.7	Ciclo de cajera circular.....	86
7.8	Definición del radio de la cajera y sentido de mecanizado.....	87
8.1	Ejercicio complementario para fresadora 1.....	89
8.2	Ejercicio complementario para fresadora 2.....	90
8.3	Ejercicio complementario para fresadora 3.....	91
8.4	Ejercicio complementario para fresadora 4.....	92
8.5	Ejercicio complementario para fresadora 5.....	93
9.1	Definición de coordenadas en torno: a) Polares y b) Con ángulo de salida.....	97
9.2	Compensación de longitud en torno.....	100
9.3	Procedimiento de calibración de la herramienta.....	101
9.4	Diferencia en la trayectoria sin y con compensación de radio.....	101
9.5	Compensación a izquierdas y derechas en torno.....	102
9.6	Factores de forma más comúnmente empleados en herramientas para torno.....	102
9.7	Insertos de corte para diferentes operaciones de torneado y montaje en un portaherramientas.....	103
9.8	Forma de los distintos insertos de corte.....	104
9.9	Ángulos de incidencia de los distintos insertos.....	104
10.1	Definición del ciclo fijo de torneado de tramos rectos.....	107
10.2	Efecto del parámetro D en el movimiento para alcanzar la distancia de seguridad en el ciclo G81.....	108
10.3	Efecto de la pasada final de desbaste y acabado.....	109
10.4	Condiciones del punto de partida al inicio del ciclo G81.....	110

10.5	Definición del ciclo fijo de refrentado de tramos rectos.	111
10.6	Efecto del parámetro D en el movimiento para alcanzar la distancia de seguridad en el ciclo G82.	112
10.7	Definición del ciclo de torneado de tramos curvos.	115
10.8	Definición del ciclo fijo de refrentado de tramos curvos.	118
10.9	Definición del ciclo fijo de desbaste en el eje X.	121
10.10	Definición del ciclo fijo de desbaste en el eje Z.	125
10.11	Definición del ciclo fijo de seguimiento de perfil.	129
10.12	Variantes del ciclo fijo de seguimiento de perfil según el parámetro A.	130
11.1	Definición del ciclo fijo de ranurado en el eje X.	133
11.2	Definición del ciclo fijo de ranurado en el eje Z.	136
12.1	Roscados exteriores e interiores, a derecha e izquierda.	139
12.2	Plaquetas de roscado de perfil parcial y perfil completo.	140
12.3	a) Penetración radial, b) Penetración en flanco, c) Penetración con variación del ángulo de flanco y d) Penetración en flanco alternativo.	141
12.4	Definición del ciclo fijo de roscado longitudinal.	142
12.5	Influencia del parámetro B en el ciclo G86.	143
12.6	Influencia del parámetro C en el ciclo G86.	144
12.7	Influencia del parámetro J en el ciclo G86.	144
12.8	Definición del ciclo fijo de roscado frontal.	149
12.9	Influencia del parámetro B en el ciclo G87.	150
12.10	Influencia del parámetro C en el ciclo G87.	151
12.11	Influencia del parámetro J en el ciclo G87.	151
13.1	Definición del ciclo fijo de taladrado axial/roscado con macho.	155
14.1	Ejercicio complementario para torno 1.	161
14.2	Ejercicio complementario para torno 2.	162
14.3	Ejercicio complementario para torno 3.	163
14.4	Ejercicio complementario para torno 4.	164
14.5	Ejercicio complementario para torno 5.	165

PARTE

1

**INTRODUCCIÓN AL CONTROL
NUMÉRICO**

INTRODUCCIÓN

El control numérico por ordenador (CNC, Computer Numerical Control) es un sistema que permite automatizar el control de máquinas-herramienta mediante la ejecución de programas previamente definidos. Estos programas contienen una secuencia ordenada de instrucciones que indican a la máquina cómo moverse, con qué velocidades, y qué operaciones realizar sobre la pieza de trabajo. Este tipo de control se integra en centros de mecanizado, fresadoras CNC y tornos CNC, Figura 1.1, en los que el ordenador controla el movimiento de los distintos componentes de la máquina (movimiento de los ejes, encendido del husillo, los cambios de herramienta o el sistema de lubricación).

Una vez programada, la máquina ejecuta todas las operaciones de forma autónoma, sin necesidad de que el operario esté manejándola. A diferencia del mecanizado convencional, donde el operario controla manualmente los desplazamientos, el CNC interpreta códigos y coordenadas que definen cada movimiento. De este modo, las operaciones se ejecutan con gran precisión, repetitividad y eficiencia. El CNC actúa como el "cerebro" de la máquina, que:

1. Lee y decodifica las instrucciones del programa.
2. Calcula las trayectorias y velocidades de los ejes.
3. Envía las señales correspondientes a los motores.
4. Supervisa en tiempo real la ejecución para asegurar la precisión.



Figura 1.1. Centro de mecanizado CNC (tipo fresadora) y torno CNC.

Las máquinas CNC son capaces de mover la herramienta al mismo tiempo en distintos ejes para ejecutar trayectorias tridimensionales, como las que se requieren para el mecanizado de moldes y troqueles, o componentes aeronáuticos, Figura 1.2. Sin la aplicación del control numérico, la fabricación de estos componentes con geometrías complejas mediante procesos de mecanizado en fresadoras y tornos convencionales no sería posible.

Entre los motivos más importantes para la utilización de máquinas CNC, se encuentran la fabricación de piezas con diseños cada vez más complejos y evolucionados, requerimientos de mayor exigencia (precisión dimensional, acabados superficiales), la necesidad de producciones más flexibles y dinámicas, la reducción de errores de producción, los plazos de entrega cada vez más exigentes, la disponibilidad de sistemas y equipos CNC cada vez más asequibles y la adaptación a las tendencias de fabricación de la industria 4.0 y 5.0.

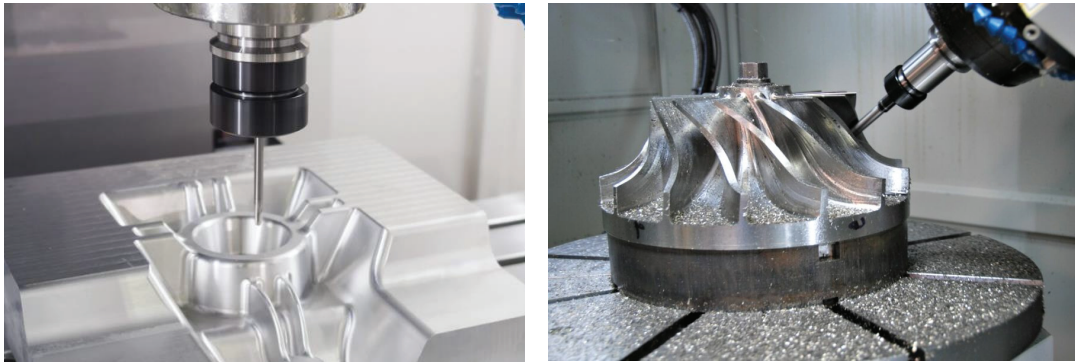


Figura 1.2. Mecanizado de moldes y componentes aeronáuticos en centros de mecanizado CNC.

Por todo ello, el uso del CNC se ha convertido en un pilar fundamental de la industria moderna. La capacidad de automatizar procesos, mantener tolerancias estrictas y optimizar tiempos hace que el conocimiento de la programación CNC sea hoy una competencia esencial para técnicos, operarios y programadores de máquinas-herramienta.

Entre las ventajas de la introducción del CNC en la industria del mecanizado destacan:

1. **Alta precisión y repetibilidad:** los movimientos controlados electrónicamente eliminan la variabilidad humana, lo que incrementa la precisión y capacidad de repetibilidad en series grandes de productos, además de mantener las tolerancias en rangos más estrechos.
2. **Mayor productividad:** las máquinas CNC pueden trabajar a altas velocidades, con cambios automáticos de herramienta sin intervención continua del operario. Esto además, posibilita el control de varias máquinas simultáneamente por un solo operario.
3. **Reducción de tiempos de preparación y puesta a punto:** una vez creado el programa, este puede reutilizarse las veces que sea necesario, lo que reduce el tiempo de ajuste entre piezas y permite ajustarse a los niveles de plazo de entrega exigentes.

4. **Aumento de la flexibilidad:** es posible fabricar distintas piezas en la misma máquina simplemente cargando programas diferentes. Esto es un punto clave para adaptarse a una demanda cambiante.
5. **Seguridad y ergonomía:** el operario no interviene directamente en el proceso de mecanizado, lo que reduce riesgos, disminuye la sensación de fatiga y mejora las condiciones de trabajo.
6. **Capacidad de mecanizar geometrías complejas:** mediante interpolaciones simultáneas en varios ejes se pueden generar superficies tridimensionales imposibles de mecanizar en máquinas-herramienta convencionales.
7. **Posibilidad de simulación:** estos sistemas permiten la simulación gráfica de los procesos de corte, lo que reduce los fallos y ahorra costes en piezas defectuosas.
8. **Integración con sistemas CAD/CAM:** el CNC se integra perfectamente con el diseño y la fabricación asistida por computadora, permitiendo un flujo digital completo desde el diseño hasta la producción.

No obstante, la implantación de sistemas CNC también conlleva una serie de limitaciones, desventajas y consideraciones:

1. **Coste elevado:** las máquinas CNC son más caras que las convencionales, tanto por su tecnología como por el mantenimiento especializado que requieren.
2. **Necesidad de formación:** los operarios deben contar con conocimientos en programación, interpretación de planos y comprensión de procesos de mecanizado.
3. **Complejidad de mantenimiento:** el sistema de control y mantenimiento es más complicado, lo que genera la necesidad de personal de servicio y mantenimiento con altos niveles de preparación.

1.1 | Breve historia del control numérico

La historia del control numérico se remonta a mediados del siglo XX. Antes de la aparición de estos sistemas, todas las operaciones de mecanizado se realizaban de forma manual. Los operarios, valiéndose de volantes, manivelas y escalas graduadas, controlaban directamente los desplazamientos de las herramientas y los avances. Este proceso exigía gran destreza y experiencia, pero tenía limitaciones en cuanto a precisión, productividad y repetitividad. Además, limitaba la capacidad para fabricar piezas de geometría compleja.

Durante la década de 1940, se desarrollaron los primeros sistemas de control numérico (NC, Numerical Control), impulsados por la necesidad de mecanizar piezas complejas para la industria aeronáutica. En aquellos años, las instrucciones se almacenaban en tarjetas o cintas perforadas, que servían para introducir los datos de posición y movimiento a la máquina.

En la década de 1950, se comenzaron a comercializar los primeros prototipos de máquinas con control numérico. Aunque rudimentarios y costosos, representaban una revolución: por primera vez, una máquina podía ejecutar automáticamente un conjunto de operaciones definidas numéricamente.

Con el avance de la microelectrónica y los ordenadores, durante los años 1970 y 1980 el control numérico se transformó en control numérico computarizado (CNC). La incorporación de microprocesadores permitió aumentar la velocidad de procesamiento, la memoria y la flexibilidad, además de facilitar la programación y la simulación de trayectorias.

En la actualidad, el CNC es una tecnología madura, extendida y fundamental en todos los sectores industriales: desde la fabricación de moldes y matrices hasta la automoción, la aeronáutica, la electrónica o la ingeniería médica. Las máquinas-herramienta modernas (fresadoras, tornos, centros de mecanizado, rectificadoras o cortadoras por láser) integran sistemas CNC de alta precisión, capaces de ejecutar programas complejos en 3, 4 o 5 ejes de manera simultánea. Todas estas evoluciones actuales permiten una programación flexible, simulaciones gráficas y una integración total con sistemas de diseño asistido por ordenador (CAD, Computer Aided Design) y fabricación asistida por ordenador (CAM, Computer Aided Manufacturing).

Además, los avances recientes en electrónica y computación han impulsado una nueva generación de controles CNC con capacidades avanzadas de comunicación, simulación y auto-diagnóstico. Algunas de las tendencias más destacadas son:

- **Conectividad e Industria 4.0:** los controles modernos se integran en redes de producción digitalizadas, permitiendo el intercambio de datos en tiempo real y la supervisión remota.
- **Simulación tridimensional y entornos virtuales:** los programas pueden verificarse visualmente antes del mecanizado, reduciendo errores y tiempos muertos. Además, se están generando modelos digitales (digital twins) que permiten la simulación completa de fenómenos de vibración, desgaste y control de variables de proceso como la temperatura de corte.
- **Compensaciones automáticas y aprendizaje adaptativo:** algunos sistemas corrigen desviaciones térmicas, vibraciones o desgaste de herramienta de forma automática a partir de la monitorización de fuerzas de corte en tiempo real.
- **Interfaz táctil y programación intuitiva:** los nuevos paneles simplifican la programación, permitiendo incluso a usuarios con poca experiencia realizar operaciones básicas de forma guiada.
- **Integración con robótica y sistemas flexibles de fabricación:** actualmente, el CNC se coordina con robots, paletizadores y sistemas de medición para conformar células de trabajo inteligentes.

1.2 | Componentes de un sistema CNC

Un sistema de control numérico computerizado está formado por varios subsistemas electrónicos, mecánicos y de interfaz que trabajan de forma coordinada para convertir la información numérica de un programa en movimientos reales de la máquina-herramienta. Cada componente cumple una función específica dentro del conjunto, y su correcta interacción garantiza la precisión, la repetitividad y la fiabilidad del proceso de mecanizado.

Los elementos principales de un sistema CNC son los siguientes:

Unidad Central de Procesamiento (CPU o Control Principal)

Es el cerebro del sistema CNC, compuesto por una estructura informática formada por microprocesadores, memorias (RAM, ROM y EEPROM) y circuitos de entrada/salida que permiten comunicarse con el resto del sistema. La capacidad y potencia de cálculo del microprocesador determina la capacidad real de la máquina CNC. La unidad de control interpreta las instrucciones del programa, realiza los cálculos necesarios y envía las órdenes correspondientes a los ejes, al husillo y a las funciones auxiliares. Sus principales tareas son:

- Leer y decodificar los bloques del programa CN.
- Calcular las trayectorias y velocidades de los movimientos.
- Coordinar el funcionamiento de los ejes, husillo, herramientas y elementos auxiliares.
- Supervisar el estado general de la máquina y generar alarmas en caso de error.
- En controles modernos, también gestiona la interfaz gráfica, la simulación de trayectorias y la comunicación con periféricos externos.

Unidad de interfaz de máquina (MIU, Machine Interface Unit)

Esta unidad actúa como enlace entre la parte lógica (el control) y la parte física (la máquina). Su función es transmitir y recibir señales eléctricas entre la CPU y los distintos componentes mecánicos o eléctricos. Se encarga de enviar señales de mando a los servomotores para mover los ejes, recibir señales de sensores, finales de carrera o interruptores de seguridad y controlar la activación de bombas, electroválvulas y sistemas de refrigeración.

En algunos casos, la interfaz de máquina se encuentra integrada en la propia CPU. En otros, se implementa como módulos electrónicos independientes que se comunican mediante buses de datos.

Servomotores y accionamientos

Los servomotores son los elementos encargados de convertir las señales eléctricas del control en movimiento mecánico real. Cada eje de la máquina (X, Y, Z, ejes rotativos, etc.) dispone

de su propio motor, cuyo accionamiento está controlado por el CNC a través de amplificadores o drivers.

Estos motores funcionan dentro de un sistema de control en lazo cerrado, donde la posición y la velocidad son monitorizadas constantemente mediante sensores de realimentación. De esta forma, cualquier diferencia entre la posición ordenada y la posición real se corrige automáticamente.

Los accionamientos o drivers son los dispositivos electrónicos que regulan la corriente y la tensión suministrada a cada servomotor, garantizando un movimiento suave y preciso. En algunos sistemas también se emplean motores paso a paso, aunque los servos son preferibles en aplicaciones de alta precisión.

Sistemas de medición y realimentación

Permiten asegurar la exactitud de los movimientos, de modo que el CNC conozca en todo momento la posición real de cada eje. Se consigue mediante dispositivos de medición, como encoders rotativos acoplados a los ejes de los motores y reglas lineales ópticas o magnéticas.

Estos sensores envían impulsos o señales proporcionales al desplazamiento, que el control interpreta para comparar la posición real con la teórica. Si existe una diferencia (error de seguimiento), el sistema la corrige instantáneamente.

Gracias a este lazo de control cerrado, el CNC mantiene una precisión de posición muy elevada, incluso en condiciones de carga variable o cambios en la velocidad de corte.

Interfaz Hombre-Máquina (HMI, Human-Machine Interface)

La interfaz Hombre-Máquina es el conjunto de dispositivos y medios que permiten la comunicación entre el operario y el sistema CNC. Es, por tanto, la cara visible del control numérico: el punto donde el usuario introduce datos, consulta información y supervisa el funcionamiento de la máquina.

El HMI incluye tanto los dispositivos de entrada y salida de información, como los mandos de control y desplazamiento manual.

Los dispositivos de entrada son todos los elementos que suministran información a la CPU para su posterior procesamiento. Entre estos elementos destacan el teclado y el panel de mando. Los teclados están diseñados para realizar la programación y el control de máquina de forma sencilla y poder realizar el mecanizado manual, Figura 1.3. Su construcción suele ser a prueba de ambientes agresivos, que es lo que normalmente encontrarán en los talleres.

Los dispositivos de salida son todos aquellos elementos que sirven para recibir la información que suministre la CPU, proporcionando el estado de la máquina o el programa. Entre estos elementos destacan la pantalla o monitor principal, los indicadores luminosos o LED de estado y las señales acústicas (avisos y alarmas). A través de estos elementos de salida es posible:

- Ver la información que se le suministre desde el teclado.
- Controlar las comunicaciones entre otros sistemas informáticos.
- Informar de todos los sistemas que la máquina tenga activados.
- Informar de las diferentes condiciones tecnológicas que se estén usando.
- Realizar la simulación de mecanizado por pantalla.
- Indicar los posibles errores que se detecten en el sistema.

Los mandos para el control y desplazamiento manual de la máquina forman parte del entorno operativo y permiten realizar intervenciones directas de la máquina y el gobierno manual, en actividades similares a las ejecutadas con una máquina convencional mediante pulsadores, interruptores, etc. Dependiendo del control, algunos de estos mandos pueden estar integrados en el propio teclado o insertados por el fabricante, en alguna zona de la máquina, de forma que estén accesibles. Existen dos sistemas para el desplazamiento de los ejes:

- Botonera: los paneles de los controles numéricos, Figura 1.3, llevan integrados los botones de movimiento de ejes en su propia botonera. Suelen intercalar un botón de avance rápido para cada eje y dirección. Estos mandos pueden actuar con movimiento continuo o movimiento por impulsos controlados. En el caso de movimiento por impulsos, se desplaza a la máxima velocidad, pero en una distancia exacta elegida por medio del potenciómetro adecuado, también situado en la botonera.
- Volante electrónico: tiene como objetivo imitar los movimientos de giro de los volantes tradicionales, pero con la posibilidad de poder escoger la precisión en el movimiento. El volante dispone de la posibilidad de ajustar diferentes escalas, lo que permite que, con el mismo giro, podamos conseguir diferentes desplazamientos. Por ejemplo, si se escoge la escala de 1 mm, el giro completo del volante hará que el eje recorra 1 mm, Figura 1.3.

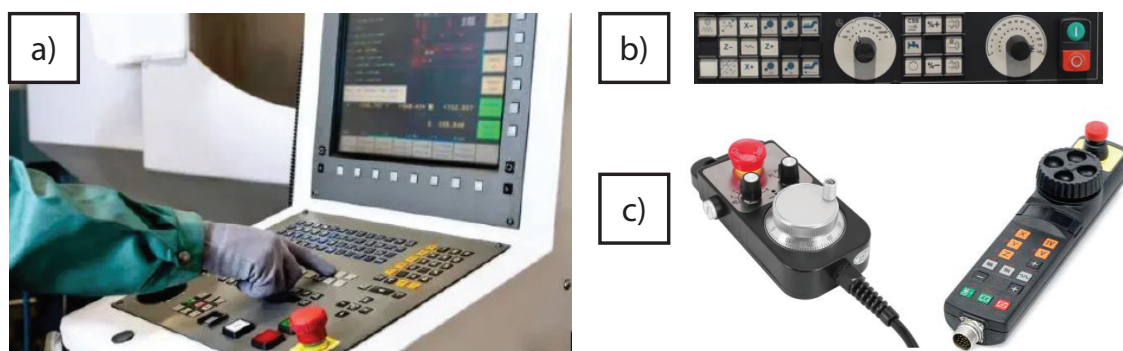


Figura 1.3. a) Teclado y pantalla control Heidenhain, b) Botonera Fagor 8050 para torno y c) Distintos modelos de volante electrónico (Fagor y Heidenhain).

Es importante distinguir que, aunque el HMI permite ordenar los movimientos, no los ejecuta directamente. Las órdenes introducidas a través de la interfaz son procesadas por la CPU, que se encarga de generar las señales eléctricas necesarias para accionar los motores. Por ello, el HMI pertenece al subsistema de interfaz y control operativo, mientras que el sistema de movimiento depende de la unidad de control y los accionamientos.

Sistemas de almacenamiento de datos

Los programas CNC, parámetros de máquina, compensaciones y tablas de herramientas se guardan en memorias internas (EEPROM o flash) o externas (discos duros). Es necesaria una conexión con sistema informático porque los controles no suelen tener una capacidad de almacenamiento muy grande, lo que hace necesario poder comunicarse con algún ordenador, red o elemento informático que disponga de suficiente capacidad.

A través del dispositivo USB, puerto ethernet o puerto serie RS-232 se pueden introducir los programas desde un ordenador al CNC.

Estructura mecánica de la máquina-herramienta

Finalmente, la precisión y estabilidad del mecanizado dependen también de la parte mecánica de la máquina, lo que incluye las guías lineales y patines, los husillos de bolas y sistemas de transmisión, bancadas, carros y estructuras portantes y los porta-herramientas, torretas y sistemas de sujeción.

Aunque estos elementos no forman parte del control numérico electrónico, su diseño y rigidez influyen directamente en la calidad del resultado. El CNC controla los movimientos, pero la exactitud final depende de la integridad mecánica de todos estos componentes.

1.3 | Tipos de control y modos de programación

El control numérico abarca una amplia gama de tecnologías, arquitecturas y formas de programación. A lo largo de su evolución, los sistemas CNC se han diversificado tanto en su modo de control de movimiento como en su manera de comunicarse con el operario y recibir instrucciones. Conocer estas diferencias es esencial para comprender la lógica de funcionamiento y para saber elegir el método de programación más adecuado según la pieza y la aplicación.

1.3.1. Tipos de control numérico según la trayectoria

La primera clasificación tradicional distingue los sistemas CNC por la forma en que controlan los desplazamientos de los ejes. De esta manera, se establecen tres grandes grupos:

Control punto a punto

En este tipo de control, los ejes se desplazan de un punto a otro sin controlar la trayectoria intermedia, Figura 1.4. El sistema sólo garantiza que la herramienta llegue con precisión a la

posición final programada. El recorrido entre puntos no es importante, ya que no se realiza corte durante el desplazamiento. Es aplicable en máquinas como taladradoras, punzonadoras o máquinas de corte por coordenadas.

Entre las principales ventajas de este tipo de control se encuentran la simplicidad y rapidez de programación. Sin embargo, no permiten trayectorias continuas ni mecanizados complejos.

Control por contorneado o continuo

En los sistemas de control continuo, los ejes se mueven simultáneamente y de forma coordinada. El control numérico calcula en tiempo real las interpolaciones necesarias (lineales, circulares o helicoidales) para describir trayectorias continuas con la herramienta en contacto con la pieza, Figura 1.4.

Este tipo de control es el que emplean la mayoría de las fresadoras, tornos y centros de mecanizado CNC modernos. Permite mecanizar superficies planas, perfiles curvos, cavidades tridimensionales y contornos complejos.

Control mixto o combinado

Combina las dos modalidades anteriores. La máquina puede trabajar en modo punto a punto para operaciones de posicionamiento rápido y pasar luego a modo continuo para el mecanizado propiamente dicho. Este tipo de control ofrece versatilidad y es el más utilizado en controles industriales actuales.

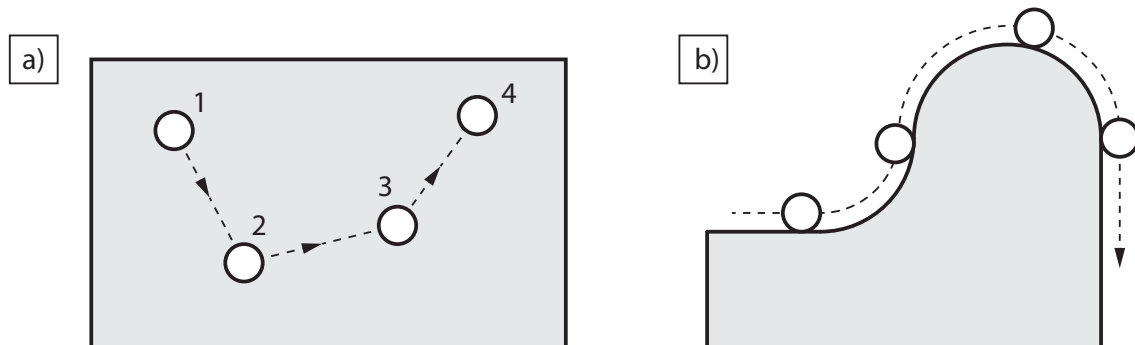


Figura 1.4. a) Control punto a punto y b) Control por contorneado o continuo.

1.3.2. Métodos de programación CNC

Desde un sentido literal, un programa no es nada más que una sucesión de órdenes y procesos correlativos que tienen que realizarse en el orden lógico establecido. En cualquier programa CNC, se distinguen siempre dos grandes grupos de información: los datos geométricos (dimensiones, movimientos de la herramienta y posicionamiento en el área de trabajo del centro y puntos de referencia), y los datos tecnológicos (datos de la herramienta, condiciones de corte y funciones auxiliares).

Una de las mayores ventajas del control numérico moderno es la variedad de métodos disponibles para programar una pieza. Estos métodos difieren en complejidad, flexibilidad y grado de automatización, pero todos tienen como objetivo definir la trayectoria de la herramienta, las condiciones de corte y las operaciones auxiliares que debe realizar la máquina.

Podemos distinguir tres métodos principales:

Programación manual o mediante lenguaje CNC

Es el método tradicional y el más importante para comprender el funcionamiento interno de un control. Consiste en escribir el programa línea por línea, utilizando códigos normalizados (G, M, F, S, T...) que indican movimientos, velocidades y funciones auxiliares, Figura 1.5. El lenguaje CNC es estandarizado (ISO 6983-1:2009), pero cada fabricante introduce pequeñas variaciones o extensiones. Se puede escribir directamente en máquina o en un editor de texto.

Este método aporta ventajas como permitir un control total sobre cada movimiento, ser compacto y fácil de transferir entre máquinas y conformar una herramienta ideal para entender la lógica interna del CNC.

Sin embargo, tiene desventajas como la necesidad de experiencia previa de programación, ser propenso a errores humanos en la escritura del programa y requerir de mayor tiempo de programación.

Por otro lado, la programación manual es el método fundamental en la enseñanza y constituye la base sobre la cual se comprenden todos los demás.

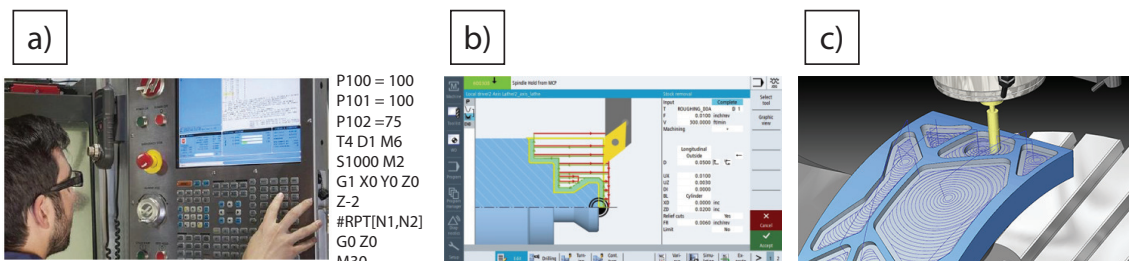


Figura 1.5. a) Programación manual, b) Menú para programación conversacional y c) Programación mediante software CAM.

Programación conversacional o guiada

La programación conversacional es una evolución orientada a facilitar el trabajo del operador. El control guía al usuario mediante pantallas interactivas y menús de diálogo, en los que se introducen los datos tecnológicos de forma intuitiva, Figura 1.5. El control, según la orden que se le haya indicado, preguntará por los diferentes datos que se necesitan.

El sistema genera automáticamente el programa ISO interno, sin que el usuario deba escribir los códigos G y M manualmente. Este sistema es el más indicado para programar a pie de máquina, o para operarios no iniciados en programación, pero una vez se adquiere la experiencia, está demostrado que se recurre al sistema de lenguaje CNC para agilizar y ganar

tiempo. No es necesario el conocimiento de la programación CNC para crear directamente programas básicos. Es ideal para operaciones sencillas. El usuario simplemente selecciona la operación, introduce los parámetros en los cuadros de diálogo y visualiza una simulación gráfica antes de ejecutar el programa.

Sin embargo, aporta menor flexibilidad en operaciones muy complejas y depende del entorno gráfico del control específico.

Programación asistida por ordenador (CAM)

La tercera vía de programación es la integración con sistemas CAD/CAM. Se trata de softwares informáticos específicos para la programación de trayectorias de corte a partir de diseños CAD, Figura 1.5. Es el más potente de los procesos de elaboración de programas CNC y posiblemente es hacia donde se inclinarán todas las tendencias técnicas. Desde un punto de vista teórico, todo programa se podría que realizar desde el CAM, pero en la práctica no se demuestra así, pues existe gran variedad de programas que, por su simplicidad, generarían pérdida de tiempo creándolos desde un sistema de CAM. Donde no existe ninguna duda, es en la creación de programas de grandes dimensiones o de geometrías complejas.

El proceso sigue las siguientes etapas:

1. Definición de la pieza en un software CAD, creando un modelo de sólido digital con la geometría de la pieza (por ejemplo, SolidWorks, Inventor, CATIA).
2. Definición de operaciones de mecanizado en el entorno CAM (selección de herramientas, trayectorias y condiciones de corte).
3. Generación automática del código G correspondiente.
4. Transferencia del archivo al control CNC mediante USB o red.

Los programas CAM traducen el modelo geométrico en trayectorias matemáticas precisas, utilizando algoritmos de interpolación que el CNC puede interpretar. El resultado es una programación extremadamente rápida, precisa y libre de errores manuales.

Este método de programación permite mecanizados complejos, reducir el tiempo de programación, simular y previsualizar tridimensionalmente el mecanizado y detecta colisiones y facilita la integración con sistemas de gestión de producción. Sin embargo, requiere software especializado y licencias costosas, requiere de postprocesado para adaptar el código al control específico y puede generar programas demasiado extensos si no se optimiza el postprocesado.

1.4 | Control Fagor 8055

El control Fagor 8055 es uno de los sistemas de control numérico más difundidos en el ámbito de la formación profesional y en numerosos entornos industriales. Fabricado por Fagor

Automation, empresa española con una larga trayectoria en automatización y metrología, el modelo 8055 representa una combinación equilibrada entre potencia, facilidad de uso y versatilidad.

Este control se emplea tanto en fresadoras como en tornos CNC, y su diseño modular le permite adaptarse a máquinas de 2 a 5 ejes, integrando además funciones avanzadas como interpolación helicoidal, compensaciones automáticas de herramienta, control de husillo, gestión de ciclos fijos y conexión en red con otros equipos.

El control Fagor 8055 no surgió de manera aislada, sino como parte de una línea evolutiva de sistemas CNC que ha ido adaptándose a las necesidades de la industria del mecanizado y a los avances tecnológicos en electrónica, software y comunicaciones. Antes del modelo 8055, Fagor Automation había desarrollado varios controles numéricos que marcaron distintas etapas en la evolución del CNC.

- **Fagor 8020 (década de 1980):** fue uno de los primeros controles CNC de la marca en difundirse ampliamente. De arquitectura simple y fiable, el 8020 ofrecía programación en lenguaje ISO y se utilizaba principalmente en tornos y fresadoras de 2 o 3 ejes. Su interfaz era textual, basada en líneas de código y menús básicos. Aunque limitado en capacidad de memoria y visualización, fue un modelo muy robusto y formativo, utilizado durante años en centros educativos.
- **Fagor 8030 (década de 1990):** representó un salto cualitativo al introducir una interfaz gráfica más moderna y un sistema de menús jerárquicos. Incorporó funciones de programación conversacional y gráficos de trayectoria 2D, lo que facilitó el aprendizaje y la programación de piezas sencillas sin necesidad de dominar todos los códigos G. Fue el modelo que preparó el terreno para el 8055, introduciendo muchas de las ideas que luego se consolidarían.
- **Fagor 8040:** fue un modelo intermedio y de transición, con mejoras en hardware, capacidad de cálculo y velocidad de ejecución. Permitía controlar más ejes y ofrecía mejores tiempos de ciclo, pero todavía mantenía una estructura de interfaz similar al 8030.

Estos modelos crearon la base tecnológica y pedagógica que desembocaría en el 8055, siendo controles robustos, adaptables a entornos industriales, con lenguaje ISO y una curva de aprendizaje adecuada para la formación técnica.

Con el lanzamiento del Fagor 8055 a principios de los años 2000, el control dio un salto tecnológico al introducir procesadores más rápidos y una arquitectura digital avanzada, una interfaz gráfica moderna, un sistema operativo modular, capacidad de comunicación Ethernet y USB y simulación 3D integrada.

El 8055 fue el primer control Fagor que combinó de forma equilibrada la potencia industrial con la facilidad de aprendizaje, razón por la cual se convirtió en un estándar docente internacional en los centros de formación en mecanizado, especialmente en Europa y Latinoamérica.

El Fagor 8055 fue diseñado bajo tres principios fundamentales:

1. **Facilidad de uso:** la interfaz gráfica y la estructura del menú están pensadas para que el operario o estudiante pueda acceder rápidamente a las funciones más habituales. El control guía al usuario en cada paso, mostrando mensajes claros, ayudas contextuales y simulaciones gráficas de las trayectorias programadas.
2. **Compatibilidad con el lenguaje ISO estándar:** cualquier persona formada en código pueda trabajar con el control sin necesidad de aprender un lenguaje propietario. Además, los programas generados en Fagor son fácilmente interpretables por otros controles, y viceversa.
3. **Flexibilidad y modularidad:** el control puede configurarse para diferentes tipos de máquina y número de ejes, integrando módulos adicionales como medición de herramientas, control de temperatura, sondas o comunicaciones Ethernet.

El control Fagor 8055 está disponible en diferentes versiones, adaptadas a las necesidades de cada tipo de máquina-herramienta:

- **Fagor 8055 M para fresadoras CNC:** permite controlar varios ejes lineales y rotativos, gestionar el husillo, ejecutar interpolaciones simultáneas y utilizar funciones de compensación de radio y longitud de herramienta. Incluye ciclos fijos de mecanizado (planeado, taladrado, roscado...) y simulación gráfica de trayectorias en 2D y 3D.
- **Fagor 8055 T para tornos CNC:** integra control de los ejes X y Z, gestión de torreta automática, compensaciones de herramienta y ciclos de torneado (desbaste, acabado, tronzado, roscado...). Admite programación en diámetros o radios y visualización del perfil de la pieza.
- **Versiónes mixtas o especiales:** en aplicaciones más complejas, el Fagor 8055 puede combinar operaciones de fresado y torneado en una misma máquina, o integrarse con controladores adicionales para ejes auxiliares y sistemas robotizados.

Después del éxito del 8055, Fagor Automation desarrolló nuevas generaciones de controles que ampliaron sus capacidades, adaptándose a la creciente digitalización de la industria:

- **Fagor 8060:** introducido alrededor de 2010, fue concebido como el sucesor directo del 8055. Incorporó una interfaz táctil moderna, procesadores multinúcleo y un entorno gráfico completamente renovado. Permite controlar hasta 32 ejes y 4 husillos. Integra simulación 3D en tiempo real, comunicación con sistemas CAD/CAM y herramientas de diagnóstico avanzadas. Su estructura de menús y comandos mantiene la compatibilidad con el 8055, lo que facilita la transición para operarios y docentes.

- **Fagor 8070:** es la versión de alta gama orientada a máquinas multitarea, centros de mecanizado complejos y líneas de producción automatizadas. Destaca por su potencia de cálculo, capacidad de interpolación simultánea de hasta 28 ejes y funciones de compensación dinámica en tiempo real. Está diseñado para integrarse completamente en entornos Industria 4.0, con monitorización remota, mantenimiento predictivo y sistemas de optimización de energía.
- **Fagor 8037:** paralelamente, Fagor desarrolló versiones más sencillas orientadas a máquinas didácticas o talleres pequeños que heredan la filosofía de programación del 8055 pero con hardware más compacto y económico.

En definitiva, el control Fagor 8055 representa una etapa clave en la evolución del CNC, tanto por su impacto industrial como por su papel educativo. Su desarrollo consolidó una filosofía de control basada en la simplicidad, compatibilidad y accesibilidad, principios que Fagor ha mantenido en las generaciones posteriores.

Desde el punto de vista docente, el control Fagor 8055 sigue siendo el modelo ideal para enseñar los fundamentos del control numérico moderno, porque combina la comprensión del lenguaje ISO con el uso práctico de la programación conversacional y el entorno CAM.

1.5 | Objetivo del libro y estructura

Este libro tiene como objetivo servir de referencia docente para el aprendizaje de los conceptos relacionados con la programación mediante control numérico en torno y fresadora. Concretamente, se explican y desarrollan los fundamentos del control Fagor 8055 M para fresadora y 8055 T para torno, dado su alto interés y aplicabilidad en entornos educativos.

El libro busca explicar de forma clara y progresiva las distintas funciones y códigos, permitiendo que el lector desarrolle la lógica de programación mediante ejemplos prácticos y ejercicios propuestos. Los contenidos expuestos permiten comprender los fundamentos en distintos sistemas de coordenadas y referencias, tipos de movimiento y generación de trayectorias, aplicación de bucles, subrutinas y otras funciones de programación complementarias para la generación de estructuras de programas complejos de control numérico.

El libro está dirigido a profesores y estudiantes de cualquier grado universitario que contengan en su plan formativo contenidos relacionados con la ingeniería de los procesos de fabricación, más concretamente, con mecanizado CNC, así como a estudiantes de ciclos de formación profesional, técnicos y operarios de máquinas-herramienta de control numérico, o cualquier persona interesada en aprender a programar en este lenguaje. El libro tiene un marcado carácter docente, sirviendo como manual de referencia para docentes y profesionales.

El libro se estructura en tres partes:

1. Introducción al control numérico: en esta parte se establecen contenidos generales sobre control numérico por ordenador, su desarrollo histórico y aplicación en fresadoras

y tornos. Se explican conceptos como la estructura de un programa, la identificación de ejes, orígenes, referencias y sistemas de coordenadas.

2. Programación para fresadora: esta parte se centra en la explicación de las principales funciones preparatorias que permiten controlar los movimientos de en una fresadora CNC con el control Fagor 8055 M. En primer lugar, se describen las funciones de movimiento de la herramienta. Posteriormente, se detalla la aplicación de las funciones de compensación de radio y longitud de herramienta. A continuación, se presentan distintas funciones complementarias que permiten la simplificación de las líneas de código (repeticiones, subrutinas, imagen espejo...) y, finalmente, se describen los ciclos fijos de mecanizado de taladros y cajeras.
3. Programación para torno: en esta parte se explican los conceptos principales y consideraciones para la programación en torno CNC con Fagor 8055 T. La mayoría de órdenes de movimiento siguen el mismo principio de funcionamiento ya visto para fresadora, por lo que no son comentadas de nuevo. La programación en torno se centra en la aplicación de los ciclos fijos de cilindrado, refrentado, ranurado, taladrado y roscado.

PROGRAMACIÓN MEDIANTE CONTROL NUMÉRICO

Un programa de control numérico es una sucesión de órdenes y procesos correlativos que tienen que realizarse en el orden lógico establecido, escrito en un lenguaje adaptado a las máquinas-herramienta donde se aplica. En cualquier programa CNC, se distinguen siempre dos grandes grupos de información: los datos geométricos (dimensiones, movimientos de la herramienta y posicionamiento en el área de trabajo y puntos de referencia), y los datos tecnológicos (datos de la herramienta, condiciones de corte y funciones auxiliares).

En la estructura de frases de un programa completo de CNC se suelen distinguir tres partes: la cabecera de programa, la secuencia de movimientos de mecanizado y el final del programa.

A continuación se muestra un ejemplo de programa completo:

Ejemplo 2.1: Programa completo

N10 (Programa de pieza 3478 cliente FRD)	}	Cabecera de programa
N20 G00 G71 G90 G94		
N30 S3500 T1 D1 M03		
N40 F100 S3500 M03		
N50 G0 Z100	}	Secuencias de movimiento
N60 G1 Z - 3		
N70 G1 X100 F700		
N80 Y60		
N90 X - 20		
N100 Y0		
N110 G0 X10		
N120 X40 Y20		
N130 G1 Z - 7 F150		
N140 X60		
N150 X50 Y35		
N160 X40 Y20		
N170 G0 Z100	}	Retirada y fin de programa
N180 M30		

- **Cabecera del programa:** suele incluir la identificación del programa, pieza que se fabrica con él, sistema de coordenadas utilizado para definir la posición de puntos, sistema de unidades empleado por el programador, formato de velocidad de avance y cualquier comentario que resulte útil a los profesionales que intervienen en el proceso de elaboración del producto (plano asociado, cliente, operaciones que se realizan en el programa, descripción de las herramientas de corte). Además, se selecciona la herramienta y el corrector, y se definen los valores de los parámetros de corte.
- **Secuencia de movimientos de mecanizado:** habitualmente es la parte más extensa del programa y es la encargada de definir con cada uno de sus bloques las trayectorias de movimiento de la herramienta sobre la pieza, produciendo el arranque de viruta hasta obtener la geometría final de la pieza. Incluye órdenes de movimiento, secuencias de repetición y subrutinas y funciones adicionales.
- **Fin de programa:** suele incluir funciones específicas que indican a la máquina que el proceso de mecanizado ha terminado. Incluye la retirada de la herramienta y la parada de la máquina.

Incluso en sistemas de programación abierta, es necesario respetar una serie de normas a la hora de construir las frases y palabras que van a componer un programa:

- Todos los programas CNC deben tener un nombre o un número que lo identifique. Algunos controles numéricos solo aceptan números. En ciertos modelos el símbolo % debe aparecer como primer carácter en la primera frase del programa, junto con el nombre del programa.
- Todas las letras se escribirán en mayúsculas.
- Existen datos (palabras) modales que actúan como un interruptor. Es decir, una vez se activan no es necesario repetir la orden hasta que sea necesario cambiarla por otra diferente.

2.1 | Estructura genérica de la cabecera de un programa

El uso de esta cabecera en el inicio de los programas no es obligatorio, pero sí muy aconsejable. El control, al iniciarse, tiene una serie de funciones preparatorias (G) y auxiliares (M) activas por defecto. Si se empieza un programa de nuevo, y al leer las primeras líneas no se indica el estado en que se desea iniciar dichas funciones, se puede encontrar con resultados inesperados. Por ello, es de vital importancia definir en la cabecera el estado de funciones clave como el sistema de referencia de las coordenadas, la selección del plano activo o la definición de las unidades para las dimensiones y los movimientos de avance.

Las funciones que generalmente se muestran en la cabecera de los programas se muestran en la Tabla 2.1:

Tabla 2.1. Funciones G normalmente aplicadas en la cabecera de un programa.

Función	Denominación	Modal	Activa
G17-G19	Selección de planos	Sí	Sí
G54-G59	Decalajes (traslado de origen)	Sí	No
G70	Programación en pulgadas	Sí	No
G71	Programación en milímetros	Sí	Sí
G90	Cotas absolutas	Sí	Sí
G91	Cotas incrementales	Sí	No
G94	Velocidad de avance en mm/min	Sí	Sí
G95	Velocidad de avance en mm/rev	Sí	No
G96	Velocidad de corte constante	Sí	No
G97	Velocidad de husillo constante	Sí	Sí

2.2 | Estructura genérica de una línea de cuerpo del programa

Dentro de cada bloque debe mantenerse el orden de las instrucciones que se indican en la Figura 2.1, aunque no es preciso que en todas las líneas se encuentren todas las órdenes.



Figura 2.1. Estructura genérica de una línea de programa.

A continuación se describen cada una de estas instrucciones:

N: Número de frase o bloque de tipo numérico.

No es obligatorio indicarlo en todos los bloques, pues es el control quien controla el orden del programa tal como está escrito, pero sí es necesario indicarlo en aquellas líneas que necesitan estar identificadas para realizar una llamada sobre ellas (repeticiones o subrutinas). No obstante, se puede indicar en todas las líneas si así se desea, pero esto obliga a llevar un orden escrupuloso de la numeración. Esto último permite que sean compatibles con los programas realizados con el control 8025, en que sí es obligatorio numerar las líneas. Puede tener hasta 5 dígitos y se pondrá al inicio de la frase.

▶ N10 G90 G01 X Y

G: Funciones preparatorias.

Son, junto con los sistemas de coordenadas, los datos más importantes que se introducen en un bloque. Indican al control todos los datos que utilizará para realizar los movimientos de los carros de todos los sistemas geométricos ordenados.

El formato es de hasta tres caracteres, aunque lo más habitual es que sean dos, que se corresponden con el número de función escogida. Si la función tiene colocado un cero como carácter izquierdo, se puede escribir utilizando los dos dígitos u obviando el cero de la izquierda en ambos casos el control actuará de la misma manera.

▶ G00 = G0; G01 = G1

Le indicará a la máquina si el movimiento lo hará en línea recta o curva, o si lo realizará a una velocidad controlada o a la máxima que permita la máquina, o si los datos que siguen en el programa están indicados en valor absoluto o incremental, etc...

En una frase de programación se pueden escribir más de una función preparatoria, pero estarán siempre escritas una tras otra y no deberán ser contradictorias entre sí. Por ejemplo, si se escribe una función de velocidad controlada y a continuación se escribe la de velocidad máxima, el control solo hará caso a la última que lea.

La mayoría de las funciones preparatorias son modales. Por tanto, no es obligado escribir en todas las frases las funciones preparatorias, sino solo en aquellas que tengan que actuar.

X: Coordenada que define el movimiento longitudinal del a mesa.

El formato a utilizar es de cinco dígitos para la parte entera y cuatro dígitos como máximo para la parte decimal, el rango de datos puede abarcar desde -99999.9999 hasta 99999.9999, aunque lógicamente, estará limitado por el tamaño de la máquina.

El valor de X es modal. Por lo tanto, no es necesario escribirlo, a no ser que cambie.

Y: Coordenada que define el movimiento transversal de la mesa.

Tiene el mismo formato que la coordenada X.

Z: Coordenada que define el movimiento ascendente y descendente de la herramienta.

Tiene el mismo formato que las coordenadas anteriores. El orden de colocación de las tres coordenadas debe ser siempre el mismo: X, Y, Z.

F: Indicación de la velocidad de avance.

Se utiliza para indicar al control la velocidad de avance a la que deben desplazarse los carros, en el caso de estar mecanizando a velocidad controlada. El formato será de 5 dígitos para la parte entera y 4 para la parte decimal. Tal y como se ha visto en la cabecera del programa,

existen dos formatos de velocidad de avance: en mm/min o mm/rev, dependiendo del sistema que se esté usando el valor que se introduzca en F tendrá un formato u otro:

- **G94:** Velocidad en mm/min: el valor que se introduce en F es en mm/min, Ejemplo: F120.
- **G95:** Velocidad en mm/rev: el valor que se introduce en F es en mm/rev, Ejemplo: F0.15.

Es muy importante no confundir estos valores pues, si la máquina es muy rápida y está en formato mm/rev y por error se introduce por ejemplo el valor 10 pensando en mm/min, intentará avanzar 10 mm por cada vuelta, lo que ocasionaría una rotura importante de máquina o herramienta.

Si al comenzar el mecanizado no se ha introducido ningún valor a F, el control entenderá que tiene que ir a la máxima velocidad; por lo tanto, es muy importante controlar este dato. Si se programa como valor F0 irá a la máxima velocidad.

El valor de F es modal y no es necesario reescribirlo si no cambia de valor. El avance F programado es efectivo cuando se trabaja en interpolación lineal (G01) o circular (G02, G03). Si no se programa la función F, el CNC asumirá el avance F0.

S: Velocidad de giro de la herramienta.

Indica la velocidad a la que girará la herramienta (o la pieza en caso de torno) cuando reciba el orden de empezar a girar. El valor introducido en S puede tener dos formatos:

- **G96:** Definición de una velocidad de corte constante. El control cambiará directamente las revoluciones para adaptarlas a la velocidad de corte dependiendo del diámetro de la herramienta. Por ejemplo S50 significa 50 m/min.
- **G97:** Describe directamente las revoluciones por minuto (rpm) a las que debe girar la herramienta cuando reciba el orden. La velocidad de giro introducida será fija e independiente del diámetro de la herramienta. Por ejemplo, S500 representa 500 rpm.

Si no se introduce ningún valor a S al comenzar el mecanizado, el control entenderá que tiene que girar a 0 rpm, por lo que, aunque se le dé el orden de girar, no lo hará. El valor de S es modal.

T.D: Indicación de los datos de la herramienta.

T indica el número de herramienta que se quiere seleccionar del almacén de la máquina para utilizarla en la operación. **D** indica el número de corrector de la tabla de correctores en los que se almacena la geometría de la herramienta y los desgastes que se hayan indicado.

Si al comenzar el mecanizado, no se introduce ningún valor a T ni a D, el control trabajará sin corrección de herramienta. Esto puede servir si se trabaja solo con una herramienta. Los valores de T y D son modales.

M: Funciones auxiliares.

Son las encargadas de controlar todos los aspectos auxiliares al mecanizado, tales como la puesta en marcha de la herramienta, elección del sentido de giro, puesta en marcha de los sistemas de refrigeración, etc. Son, junto a las funciones preparatorias, las más importantes de la programación.

El formato es de dos caracteres, que corresponden con el número de función escogida. Su rango va desde 00 a 99. Si la función tiene colocado un cero como carácter izquierdo se puede escribir utilizando los dos dígitos u obviando el cero de la izquierda en ambos casos el control actuará de la misma manera.

▶ M03=M3 M05=M5

En una frase de programación se puede escribir más de una función auxiliar, pero estarán siempre escritas una tras otra y no deberán ser contradictorias entre sí. Por ejemplo, si se escribe una función de arranque de plato y a continuación se escribe paro de plato, el control solo hará caso a la última que lea.

Las funciones auxiliares son modales. Por tanto, no es obligado escribir en todas las frases las funciones preparatorias, sino solo en aquellas que tengan que actuar.

En la Tabla 2.2 se muestran algunas de las funciones auxiliares más habituales.

Tabla 2.2. Funciones auxiliares más habituales en un programa.

Función	Denominación	Modal	Activa
M00	Parada programada	No	No
M02	Fin de programa	No	No
M03	Giro del cabezal a derechas	Sí	No
M04	Giro del cabezal a izquierdas	Sí	No
M05	Parada del cabezal	Sí	Sí
M06	Cambio de herramienta	No	No
M08	Puesta en marcha del refrigerante	Sí	No
M09	Paro del refrigerante	Sí	Sí
M10	Abrir puerta	No	No
M11	Cerrar puerta	No	No
M30	Fin del programa y vuelta al inicio	No	No

Existen funciones auxiliares de principio de línea y de final de línea. Esto quiere decir que, aunque las funciones auxiliares se escribirán siempre al final de la frase, dependiendo de su capacidad realizarán su función como si realmente estuvieran escritas al principio o al final.

- M03 es una función auxiliar de principio de línea que indica puesta en marcha del giro.

▶ G01 X20 Z-12 M03

- M05 es una función de final de línea que indica paro de giro del plato. Actuará tal y como está escrita, es decir, al final de la frase y después de haber realizado el resto de las órdenes.

▶ G01 X20 Z30 M05

Algunas de las funciones auxiliares tienen asignadas un significado interno en el CNC. Todas las funciones auxiliares "M" que tengan subrutina asociada, deberán programarse solas en un bloque.

Un ejemplo de subrutina asociada puede ser la función M06, donde se suele utilizar una subrutina que se encargue de posicionar el mandrino para que encaje con los chaveteros de los conos, además de controlar el brazo en cargado de realizar el cambio físico.

Comentario.

La información que se desea considerar como comentario se debe definir a continuación del carácter ";". El comentario se puede programar solo en el bloque o se puede añadir al final de un bloque.

▶ G01 X20 Z30 M03; Esto es un comentario

EJES Y SISTEMAS DE COORDENADAS

Los sistemas de coordenadas tienen la finalidad de situar un punto de una manera precisa a lo largo de un escenario concreto y perfectamente definido. En la programación CNC es necesario indicarle a la herramienta unas posiciones a alcanzar. Las herramientas, se moverán en dos dimensiones, en el caso del torno, o en tres para la fresadora, Figura 3.1. Es decir, las posiciones estarán definidas por tres o dos coordenadas, respectivamente.

En una fresadora CNC los ejes X e Y definen el plano horizontal, mientras que el eje Z controla los movimientos verticales. En un torno, el eje Z corresponde con la dirección longitudinal de la pieza, mientras que el eje X corresponde con la dirección radial (perpendicular).

No obstante, los centros de mecanizado más avanzados pueden contar con ejes adicionales que posibilitan el giro de la pieza o el cabezal de la herramienta, alcanzando posiciones de mecanizado que permiten fabricar piezas complejas que no son posibles en centros de mecanizado de únicamente 3 ejes.

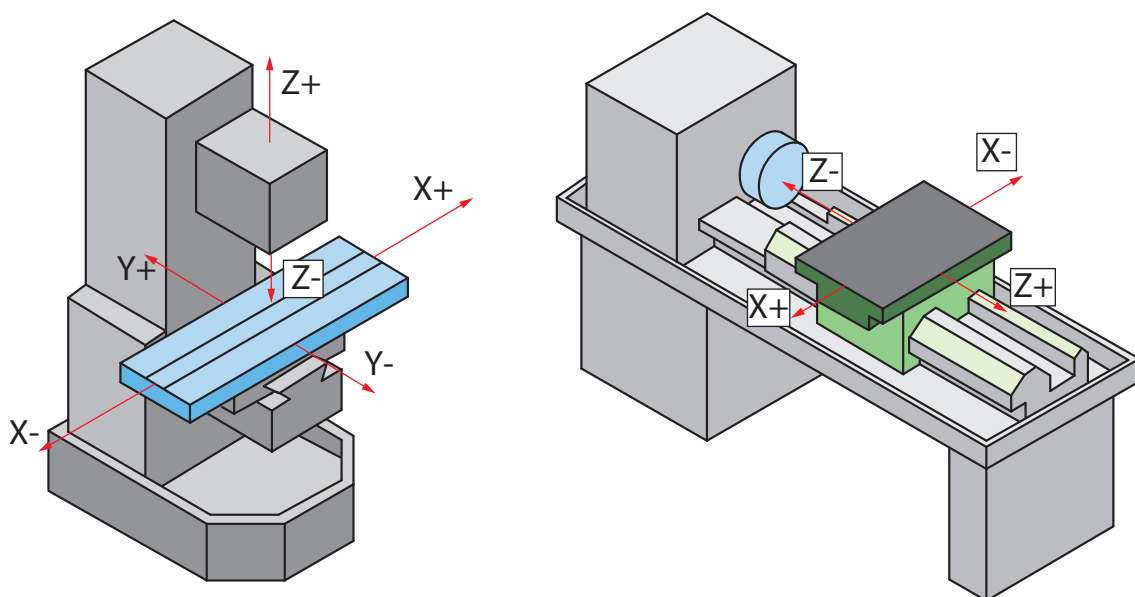


Figura 3.1. Ejes de coordenadas en una fresadora y un torno.

3.1 | Sistema de coordenadas cartesianas

Las coordenadas de cualquier posición se referencian con respecto a un punto de partida llamado Origen. En él se cruzan los ejes cartesianos, que están graduados para poder determinar un punto concreto. Es importante destacar que los signos matemáticos + y - no tienen un sentido positivo o negativo, sino un sentido de dirección. Un punto, necesariamente, tiene que venir indicado por la dimensión de los ejes, precedidos del signo correspondiente, ejemplo: X-7 Y+5. No obstante, se acepta que de ser + no sea necesario indicarlo. Ejemplo: X-7 Y5, indicaría la coordenada X-7 Y+5.

En la Figura 3.2 se puede ver un ejemplo de coordenadas que corresponden a una pieza que está colocada sobre los ejes X, Y. Pueden observarse los seis puntos numerados que tiene dicha pieza, que corresponden a su definición en sistema de coordenadas cartesianas.

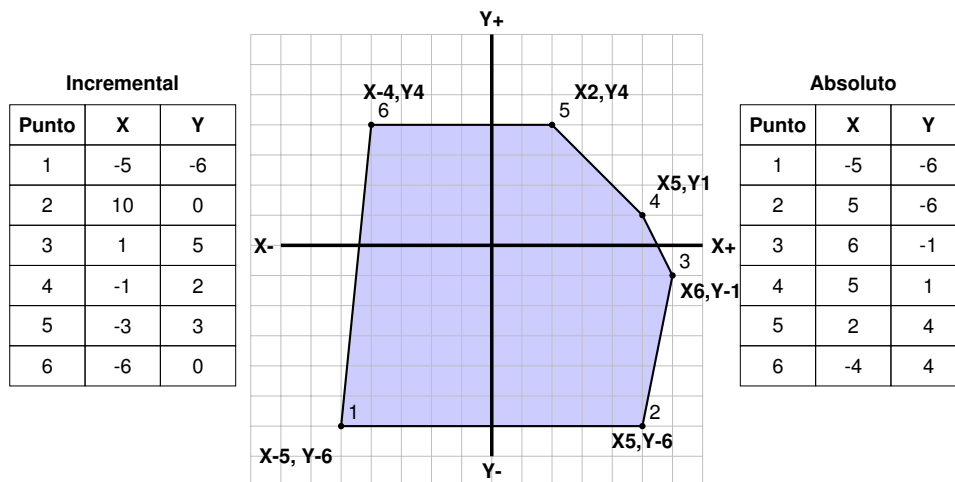


Figura 3.2. Ejemplo de pieza con coordenadas cartesianas en sistema absoluto e incremental.

3.2 | Sistema de coordenadas polares

Las coordenadas polares definen el punto utilizando la apertura de un ángulo con centro en el origen (llamado origen polar o polo) y la longitud de un radio que parte del mismo punto. La forma de identificarlo es utilizando la letra "R" para indicar el radio y la letra "Q" para indicar el ángulo. En la Figura 3.3 se puede observar cómo el punto del dibujo se define como: R56.79 Q34.46.

Las coordenadas polares no definen puntos diferentes a los que se definirían en coordenadas cartesianas, definen el mismo punto utilizando otros datos o sistema. En el ejemplo de la Figura 3.3 se puede observar cómo el mismo punto está indicado en coordenadas rectangulares: R56.79 Q34.46 = X51 Y35.

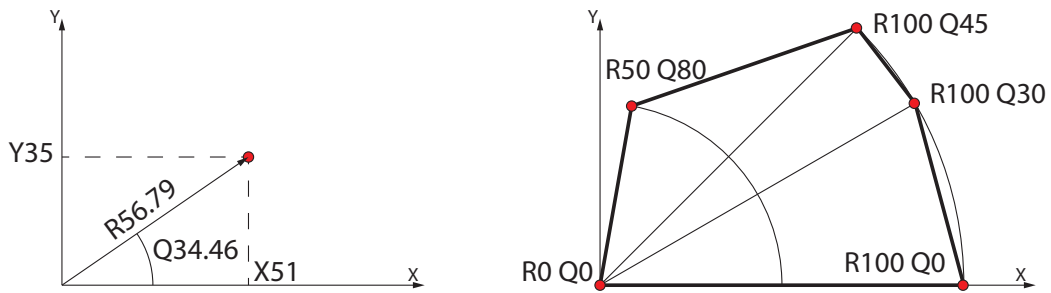


Figura 3.3. Definición de coordenadas polares. Pieza acotada en coordenadas polares.

Las coordenadas rectangulares y las polares se usan para facilitar la programación y no para complicarla. En piezas como la Figura 3.3 es preferible hacerlo utilizando las polares, pues de otro modo se tienen que calcular los diferentes puntos de los finales de las líneas rectas para conocer las coordenadas cartesianas.

3.3 | Sistemas absoluto e incremental

Hasta ahora se ha visto cómo se indican las coordenadas desde un mismo punto, el origen. Este sistema de indicación de coordenadas se llama sistema absoluto, porque siempre hace referencia a las coordenadas desde el mismo punto, pero existe otro sistema, que es el sistema incremental.

El sistema incremental se basa en indicar las coordenadas desde el último punto alcanzado hasta el punto siguiente, es decir, es como si cada vez trasladáramos el origen al último punto alcanzado, Figura 3.2. En el ejemplo se pueden comparar las coordenadas indicadas en sistema incremental y en sistema absoluto.

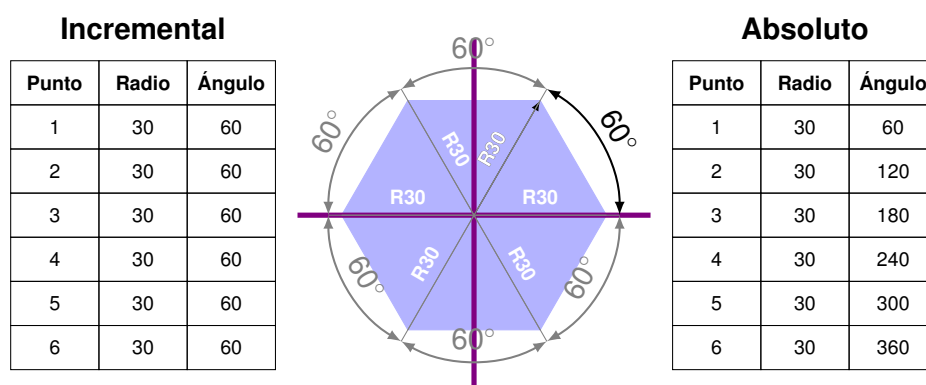


Figura 3.4. Ejemplo de comparación de sistemas incremental y absoluto en polares.

Para poder utilizar la programación en valor incremental en coordenadas polares, se parte de un origen o punto de partida. Los valores incremento de radio e incremento de ángulo se obtienen como diferencia entre las coordenadas del punto final de la trayectoria y el punto

inicial. Se utiliza el signo positivo, si incrementa el ángulo en sentido contrario a las agujas de un reloj y el signo negativo si va en sentido de las agujas del reloj, Figura 3.4.. De este modo, para la definición de ángulos, valores como Q+270 y Q-90 indican el mismo punto.

3.4 | Cero pieza y cero máquina

Cuando se trabaja con máquinas CNC, ya sean tornos, fresadoras o centros de mecanizado, tenemos un punto de referencia con el que la máquina indica las coordenadas, el origen o cero absoluto. Existen dos ceros distintos: el cero pieza y el cero máquina.

3.4.1. Cero pieza

Al realizar la programación de una pieza en control numérico, es fundamental que el programador conozca desde dónde referenciar todas las medidas de coordenadas de dicha pieza. Ese punto de referencia se llama "cero pieza" y es el programador quien decide cuál será su ubicación. Por lo tanto, lo primero que se debe hacer al iniciar un proceso de programación es determinar el punto "cero pieza".

Los planos que acompañen a la pieza en su proceso de mecanizado deben tener perfectamente indicado dónde está el origen pieza o "cero pieza". Este punto se suele indicar con el símbolo de la Figura 3.5 y se denomina con la letra "W".

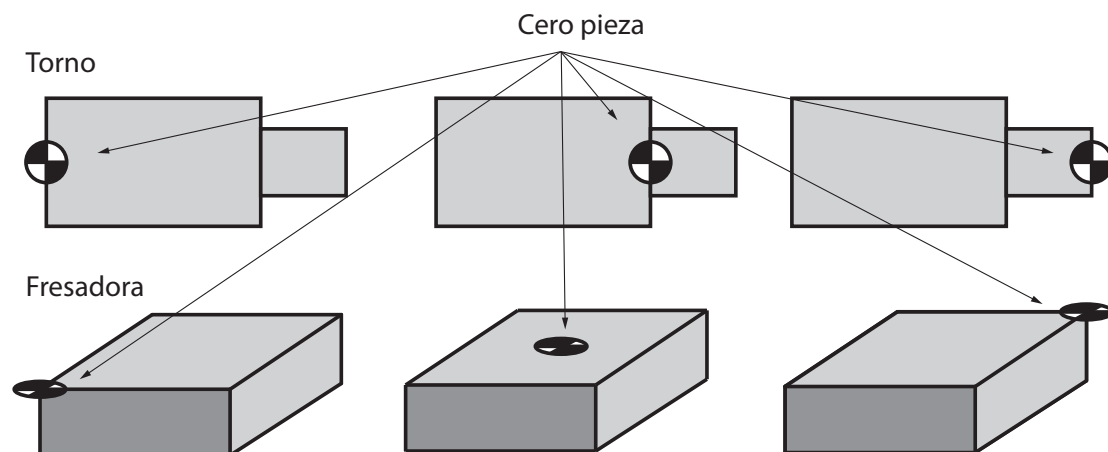


Figura 3.5. Distintas posiciones para el cero pieza.

En el caso de programas para fresadora, el cero pieza suele situarse en una esquina del bruto o en el centro del mismo. Lo más común es que sea en la esquina inferior izquierda, de modo que las coordenadas de los ejes X e Y sean siempre positivas.

Para la elección de la posición del cero pieza en torno, no existe ninguna norma específica, siendo el programador quien elige dicha situación. Esta elección estará basada en la lógica. Por ejemplo, si se selecciona la posición derecha de la Figura 3.5, se tendrá una indicación

clara de que siempre que una cota en el eje "Z" sea negativa y se esté programando en valor absoluto, indicará que la herramienta estará dentro de la pieza en esa posición.

No obstante, el criterio de situación del cero se debe basar en la lógica, dependiendo del tipo de pieza y de la distribución de cotas que tenga el plano de trabajo.

3.4.2. Cero máquina

Para poder mecanizar, es necesario partir de un punto fijo conocido en algún lugar de la máquina desde donde poder referenciar los datos. Este punto se llama "origen máquina o cero máquina" y lo fija el fabricante de la misma, Figura 3.6. Se decide la mejor ubicación dependiendo del tipo y tamaño de la máquina. Normalmente estará situado en una esquina del volumen de trabajo.

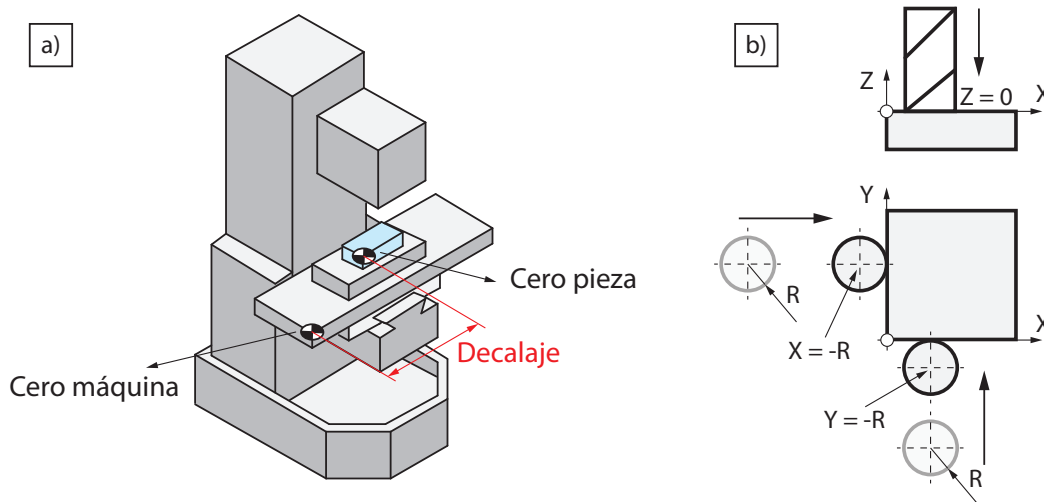


Figura 3.6. a) Ejemplo de la ubicación del cero máquina y cero pieza y b) Procedimiento para referenciar el cero pieza

Cuando se inicia la máquina, es habitual que el control pida realizar una búsqueda del cero máquina para fijar las referencias. Para ello, se ejecuta la función **G74**. El CNC comenzará a desplazar todos los ejes, moviendo los carros y subiendo la herramienta hasta alcanzar la posición del cero máquina.

Naturalmente, cuando se coloca una pieza en la máquina, el sistema no conoce la posición relativa entre el cero pieza y el cero máquina, por lo que se tiene que realizar un proceso adecuado para indicar dónde está situada la pieza con respecto al cero máquina, Figura 3.6. Este proceso para referenciar el cero pieza es lo primero que hay que realizar, antes que ningún proceso de mecanizado. El proceso, básicamente, consiste en contactar la herramienta contra la pieza e indicarle al control el nombre de las coordenadas de contacto. Es decir, se fija la coordenada X0, Y0 y Z0 manualmente. En el ejemplo de la Figura 3.6, el cero pieza se sitúa en la esquina inferior izquierda de la pieza según el plano XY. Para ello, hay que acercarse lentamente la herramienta hasta tocar en el lateral izquierdo de la pieza, indicando

al control que el centro de la herramienta se encuentra en la posición $X = -R$. De manera similar, se toca en la parte inferior, indicando que la posición del centro de la herramienta es $Y = -R$. Posteriormente, se baja la herramienta hasta tocar la superficie, indicando que esa cota corresponde a $Z0$. De este modo, quedan fijados los decalajes (distancias entre el cero pieza y cero máquina) en todos los ejes.

Normalmente, las coordenadas de todas las trayectorias estarán referidas al cero pieza. No obstante, es posible programar las coordenadas con respecto al cero máquina utilizando la función **G53**.

La función G53 puede ser añadida a cualquier bloque que contenga funciones de control de trayectoria. Esta función no es modal, por lo que deberá programarse siempre que se desee indicar las cotas referidas al cero máquina (anula temporalmente el cero pieza). Hay que tener especial cuidado si se está usando la compensación de radio y longitud, puesto que la función G53 las anula temporalmente.

3.4.3. Traslados de origen

El CNC dispone de una tabla de traslados de origen, en la que se pueden seleccionar varios decalajes de origen, con objeto de generar determinados ceros pieza, independientemente del cero pieza que en ese momento se encuentre activo. Suelen ser muy útiles para repeticiones de mecanizados en diversas posiciones. Existen dos tipos de traslados de origen:

- **G54-G57:** Traslados de origen absolutos, referidos al cero máquina.
- **G58 y G59:** Traslados de origen incrementales.

Estas funciones se programan solas en un bloque y funcionan de dos maneras distintas:

- Las funciones G54, G55, G56 y G57 aplican el traslado del origen programado sobre el cero máquina, anulando cualquier posible traslado que se encontrase activo.
- Cuando se ejecutan las funciones G58 o G59, el CNC añadirá incrementalmente los traslados al origen absoluto que se encuentre activo. Anula cualquier posible traslado incremental que se encuentre activo.

Es decir, si se aplica la función G54, el origen se traslada a las coordenadas de origen definidas por esta función. Si posteriormente se activa la función G55, se anula la función G54 y el origen se traslada a las coordenadas de origen definidas por G55. Si seguidamente se activa la función G58 añade un traslado incremental sobre G55 según las coordenadas de G58.

Una vez seleccionado un traslado de origen, se mantendrá activo hasta que se seleccione otro o hasta que se realice una búsqueda de referencia máquina (G74) en modo manual. El traslado de origen seleccionado se mantiene activo incluso tras un apagado-encendido del CNC.

3.5 | Selección de planos

Aunque cualquier punto queda definido por sus coordenadas (tres en caso de operaciones en fresadora y 2 en operaciones de torneado), el control necesita conocer también el plano activo para el cálculo de algunas trayectorias. Específicamente, se empleará la selección de plano cuando se realicen:

- Interpolaciones circulares.
- Redondeos controlados de aristas.
- Entradas y salidas tangenciales.
- Achaflanados.
- Programaciones de cotas con coordenadas polares.
- Giros del sistema de coordenadas.
- Compensaciones de radio y longitud de la herramienta.

Las funciones que permiten seleccionar el plano de trabajo son las siguientes:

- **G17:** Selección del plano XY. Por defecto será el plano activo al inicio de la programación en fresadora, Figura 3.7.
- **G18:** Selección del plano XZ, Figura 3.7.
- **G19:** Selección del plano YZ, Figura 3.7.

Las funciones G17, G18 y G19 son modales e incompatibles entre sí.

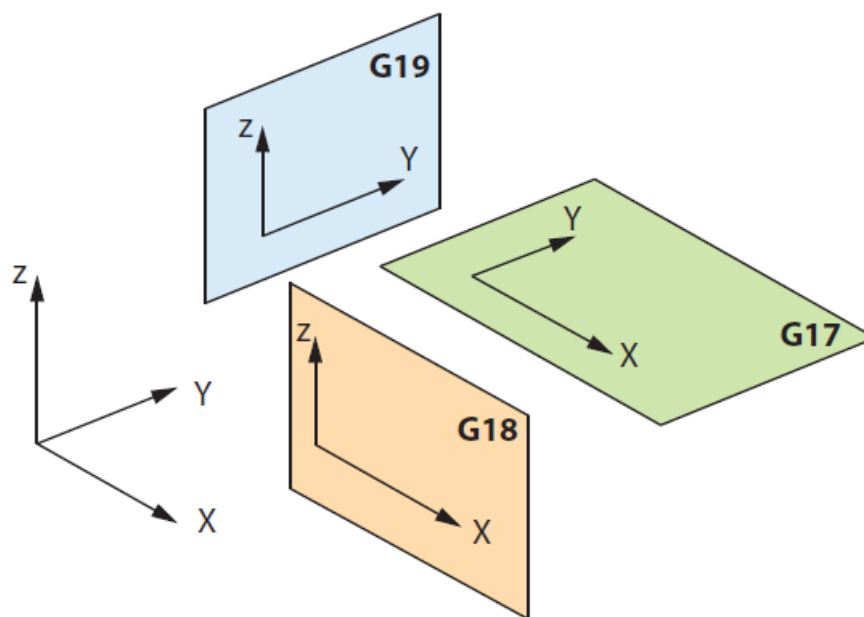


Figura 3.7. Definición del plano activo con las funciones G17, G18 y G19.

PARTE

2

**PROGRAMACIÓN PARA FRESADORA
CNC**

INSTRUCCIONES DE MOVIMIENTO

A continuación se detallan las distintas funciones preparatorias utilizadas para indicar instrucciones de movimiento. Las órdenes explicadas a continuación siguen el formato del control Fagor 8055 M para fresadora. No obstante, la mayoría de ellas son extrapolables y se aplican de manera similar en el control Fagor 8055 T utilizado en tornos.

4.1 | G00: Interpolación lineal a velocidad rápida

Con la función **G00** se programan todos los movimientos rápidos que se tengan que realizar en el programa, es decir, todos aquellos movimientos donde no exista contacto entre la pieza y la herramienta. Será siempre un movimiento rectilíneo.

Es conveniente utilizar esta función siempre que sea posible, para emplear el menor tiempo en el mecanizado de la pieza. No obstante, es importante asegurarse de que realmente no existirá dicho contacto. En caso de duda, es mejor utilizar un movimiento a velocidad controlada, ya que una colisión a velocidad máquina conllevaría la rotura de la herramienta, la pieza o ambas.

La función G00 es modal y se anula con las funciones G01, G02 o G03. Se puede colocar sola en una línea o junto a otras funciones preparatorias en la misma línea. Al emplear la función G00 no se anula la velocidad de avance (F) que esté programada, que se mantiene en memoria hasta que se active o cambie por otro valor.

El formato para la programación de la función G00 es

▶ N G00 X Y

4.2 | G01: Interpolación lineal a velocidad controlada

Con la función **G01** se programan todos los movimientos en línea recta que se tengan que realizar en el programa a velocidad controlada por medio de la función "F". Es decir, se realizarán según la velocidad de avance definida.

La función G01 se puede escribir como G01 y G1, se puede programar sola o con más funciones preparatorias, que no sean contradictorias. La función G01 es modal y se anula con las funciones G00, G02 o G03.

La sintaxis para el uso de esta función es similar al de la función G00, pudiendo indicar movimientos en cualquier plano o en los tres ejes, en coordenadas cartesianas o polares.

Ejemplo 4.1: Formato de programación de la función G01

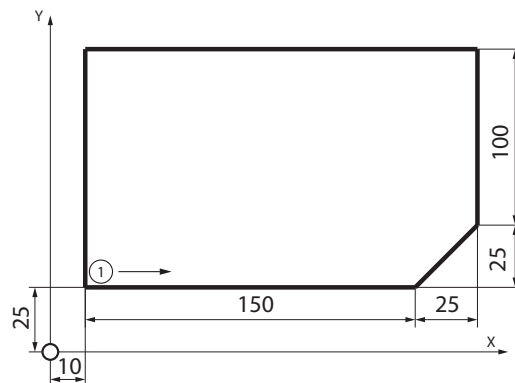
- Dos ejes, plano G17: N110 G01 X6 Y8
- Dos ejes, plano G18: N110 G01 X3 Z4
- Dos ejes, plano G19: N110 G01 Y6 Z30
- Tres ejes: N110 G01 X4 Y6 Z10
- Coordenadas polares: N110 G01 R40 Q25

A continuación se muestra el ejemplo 4.2 donde se observa una estructura completa de un programa, usando las funciones G00 y G01 para el mecanizado de una trayectoria. La función G00 se aplica cuando la cota Z de la herramienta es superior a la altura del material (Z0). En el momento de descender para entrar en contacto con la pieza se debe cambiar a G01. Con el fin de apoyar visualmente el seguimiento del código, las líneas se escriben alternando color negro y azul.

Ejemplo 4.2: Trayectoria de movimientos rectos

```

N10 G90 G94 G40
N20 T1 D1; Selección de herramienta
N30 M06; Cambio de herramienta
N40 G0 X10 Y25 Z5 F120 S900 M03
N50 G01 Z-2
N60 G91 X150
N70 X25 Y25
N80 Y100
N90 G90 X10
N100 Y25
N110 Z30 M5
N120 G00 X0 Y150 Z50
N140 M30
    
```



4.3 | G02 y G03: Interpolación circular

Con las funciones **G02** y **G03** se programan movimientos circulares a velocidad controlada, por medio de la función "F". Las funciones G02 y G03 se utilizarán básicamente para movimientos mecanizando material en la pieza, nunca en vacío.

Se utilizará G02 para el mecanizado de arcos en sentido horario y G03 para el sentido anti-horario, como se muestra en la Figura 4.1.

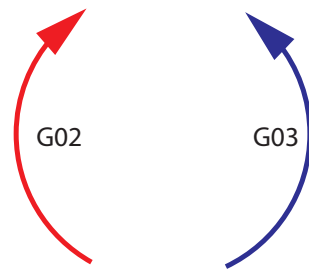


Figura 4.1. Sentido de giro de la interpolación circular.

4.3.1. Programación en coordenadas cartesianas

Se definirán las coordenadas del punto final del arco y la posición del centro respecto al punto de partida, según los ejes del plano de trabajo. Las cotas del centro se definirán en radios y mediante las letras I, J o K. Si no se definen las cotas del centro, el CNC interpreta que su valor es cero.

En la Figura 4.2 se aprecia cómo se asocian los ejes a las coordenadas I, J, y K. La forma de hacerlo es contando desde el punto de partida de la herramienta en el inicio del arco hasta el centro de la circunferencia en la que esté inscrito dicho arco. Es decir, la posición del centro se define de manera incremental con respecto del punto inicial del arco, independientemente de estar activa G90 o G91. No obstante, el punto final se define según G90 o G91 en sistema absoluto o incremental, respectivamente.

El formato de la programación es

► N G90/G91 G02/G03 X Y I J

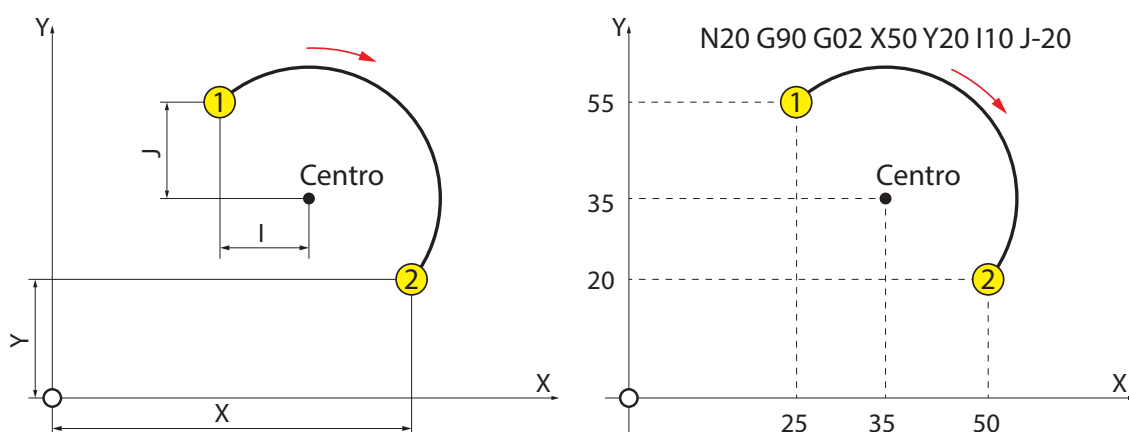


Figura 4.2. Ejemplo de programación de arcos en coordenadas cartesianas.

. 8*.

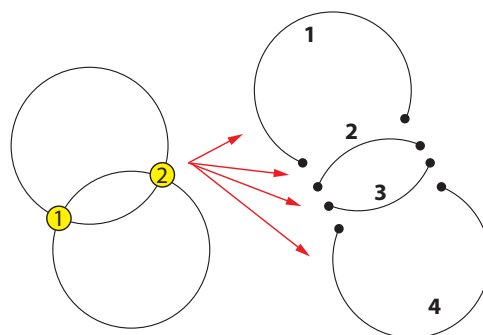
Otra posibilidad es indicar las coordenadas del punto final y el radio del arco a mecanizar, como se muestra en la Figura 4.3. Al usar este formato de programación, existen dos posibles

soluciones: un arco que estará comprendido en un ángulo menor de 180° y otro que estará comprendido en un ángulo mayor de 180° . Para que el control entienda cuál de los dos caminos debe escoger se recurre a los caracteres "+" y "-". Al introducir el valor del radio con dichos signos, se debe tener en cuenta la siguiente relación:

- Ángulo $> 180^\circ$: signo "-".
- Ángulo $< 180^\circ$, signo "+".

Ejemplo 4.3: Programación de arcos en coordenadas cartesianas con radio

Arco 1: G02 X Y R-
 Arco 2: G02 X Y R+
 Arco 3: G03 X Y R+
 Arco 4: G03 X Y R-



Sin embargo, mediante esta modalidad no es posible programar una circunferencia completa, ya que existen infinitas soluciones.

4.3.2. Programación en coordenadas polares

Será necesario definir el ángulo Q y la distancia desde el punto de partida al centro, según los ejes del plano de trabajo, Figura 4.4.

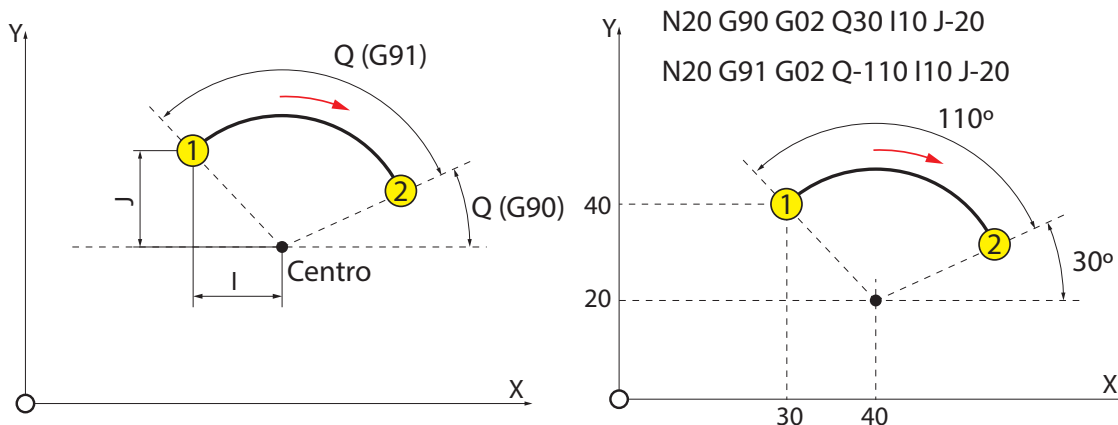


Figura 4.4. Interpolación circular con ángulo y posición del centro.

Las cotas del centro, se definirán por medio de las letras I, J o K. Al igual que para la programación en coordenadas cartesianas, el centro será siempre incremental con respecto al punto inicial.

El ángulo Q podrá definirse de manera absoluta o incremental, dependiendo de la orden G90 o G91 activa. Si se utiliza G90, Q indica el ángulo formado por la recta que une el centro del arco y el punto final con respecto a la horizontal. Si se utiliza la función G91, Q representa el ángulo recorrido por el arco.

El formato de esta función es

▶ N G90/G91 G02/G03 Q I J

Por último, también se puede definir una interpolación circular mediante coordenadas polares indicando únicamente el radio y el ángulo del arco a mecanizar, pero en este caso es necesario definir el origen polar del arco en cuestión mediante la función G93. En este caso, el formato de programación es

▶ N G93 I J; Define el nuevo centro polar
N G90/G91 G02/G03 R Q

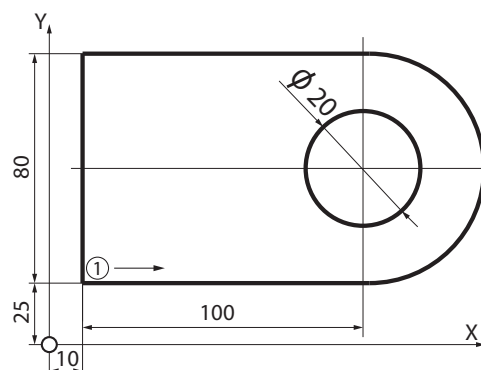
Las funciones G02 y G03 son modales y se anulan entre sí o con las funciones G00 o G01. Además, las funciones G02 y G03 cambian el origen polar actual al centro de la circunferencia donde esté inscrito el arco construido.

A continuación se muestra el ejemplo 4.4 con la programación de una trayectoria combinando movimientos rectos y curvos y el ejercicio 4.1 para su práctica.

Ejemplo 4.4: Trayectoria de movimientos rectos y curvos

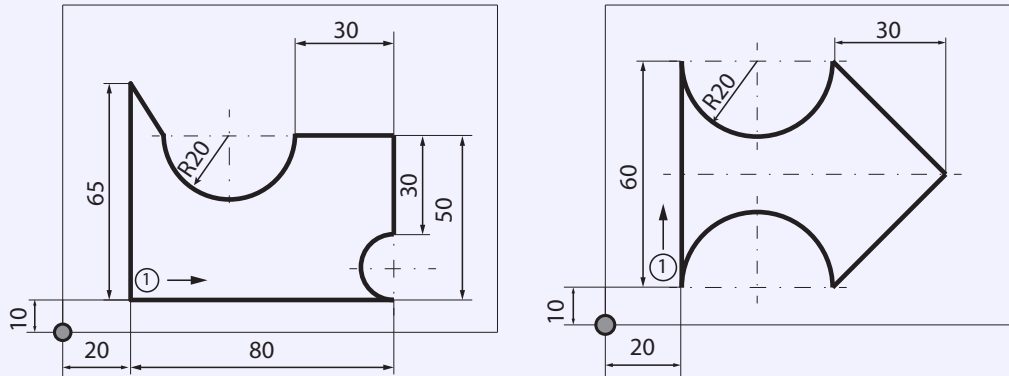
```

N10 G90 G94 G40
N20 T1 D1
N30 M06
N40 G0 X10 Y25 Z5 F120 S900 M03
N50 G01 Z-1
N60 G91 X100
N70 G03 Y80 I0 J40; Arco
N80 G01 X-100
N90 Y-80
N100 G90 Z2
N110 G00 X110 Y55
N120 G01 Z-1
N130 G02 G91 X0 Y0 I0 J10; Círculo
N140 G90 G01 Z5 M05
N150 G00 X0 Y150 Z50
N160 M30
  
```



Ejercicio 4.1

Realizar el código CNC para mecanizar las trayectorias siguientes con un avance de 100 mm/min y velocidad de giro del cabezal de 2000 rpm. La superficie superior del tocho es Z0. La profundidad de mecanizado es de 2 mm.



4.3.3. G06: Interpolación circular con centro en coordenadas absolutas

Añadiendo la función **G06** en un bloque de interpolación circular, se pueden programar las cotas del centro del arco (I, J o K) en coordenadas absolutas. Es decir, el centro del arco se define con respecto al cero de origen y no al comienzo del arco. La función G06 no es modal, por lo que deberá programarse siempre que se desee indicar las cotas del centro del arco, en coordenadas absolutas.

El formato de uso de esta función es

► N G90/G91 G06 G02/G03 X Y I J

4.4 | G36: Redondeo controlado de aristas

La función **G36** permite redondear una arista con un radio determinado, sin necesidad de calcular el centro ni los puntos inicial y final del arco.

Esta función necesita la programación de dos líneas, ya que, de no escribir la segunda, el control no tiene datos suficientes para calcular el arco. En la primera línea de movimiento (circular o recto) se programa la función G36 con el radio de redondeo. En la segunda línea se programa el siguiente movimiento rectilíneo o circular.

Por lo tanto, tan solo se le ha de indicar al control el punto a alcanzar en la primera línea, el punto a alcanzar en la segunda línea y el radio del arco a obtener. Los puntos de tangencia los calcula el control de forma automática, lo que ahorra al programador el esfuerzo de tener que calcular dichos puntos.

La función G36 no es modal y no anula a las funciones G02 y G03.

Ejemplo 4.5: Aplicación de la función G36

Ejemplo 1

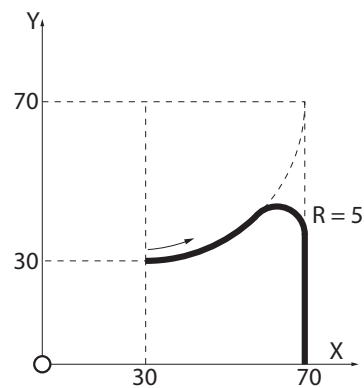
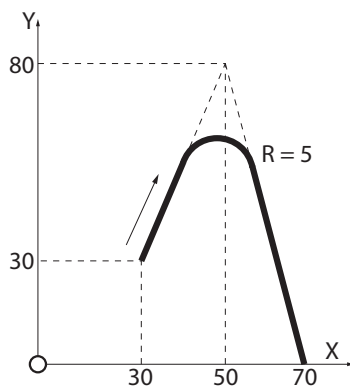
```
N20 G90 G01 G36 R5 X50 Y80
```

```
N30 X70 Y0
```

Ejemplo 2

```
N50 G90 G03 G36 R5 X70 Y70 I0 J40
```

```
N60 G01 X70 Y0
```



Las condiciones de utilización de esta orden son:

- En la línea donde se programe G36 se pueden colocar tantas funciones preparatorias como se desee, siempre que no sean contradictorias entre sí. La función G36 será la última de esas funciones, justo antes de la palabra R. Detrás de las coordenadas se pueden colocar tantas funciones auxiliares como se desee.
- El radio de redondeo se indicará siempre en positivo. De lo contrario, el control marcará error.
- La función debe programarse obligatoriamente en el mismo bloque cuyo desplazamiento final se desee redondear.
- Al emplear la función G36, la velocidad de avance que se usará será la programada con anterioridad en "F".

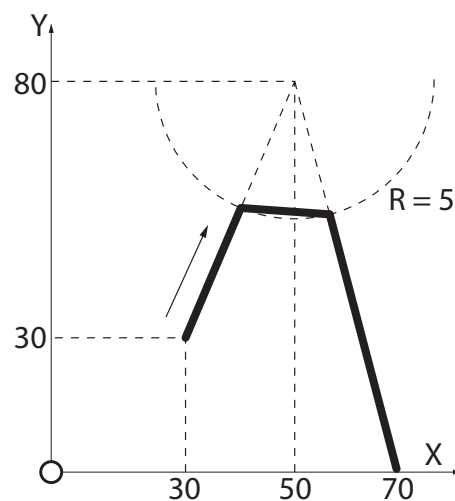
4.5 | G39: Achaflanado controlado de aristas

La función **G39** sirve para achaflanar aristas con una medida determinada. El chaflán a realizar tiene que ser simétrico, debe medir lo mismo en cada una de las aristas que lo componen. Sin necesidad de calcular los puntos inicial y final del chaflán, el control determina automáticamente dicha información.

La función G39 debe programarse obligatoriamente en el mismo bloque cuyo desplazamiento final se desee achaflanar. Es decir, el modo de operación es similar al del a función G36. Por lo tanto, esta función necesita la programación de dos líneas pues, de no escribir la segunda, el control no tiene datos suficientes para calcular el chaflán. En la primera línea se programa la función G39 con R (longitud del chaflán a obtener). En la segunda, la coordenada de la línea que sigue en la geometría.

Ejemplo 4.6: Aplicación de la función G39

```
N20 G90 G01 G39 R5 X50 Y80
N30 X70 Y0
```



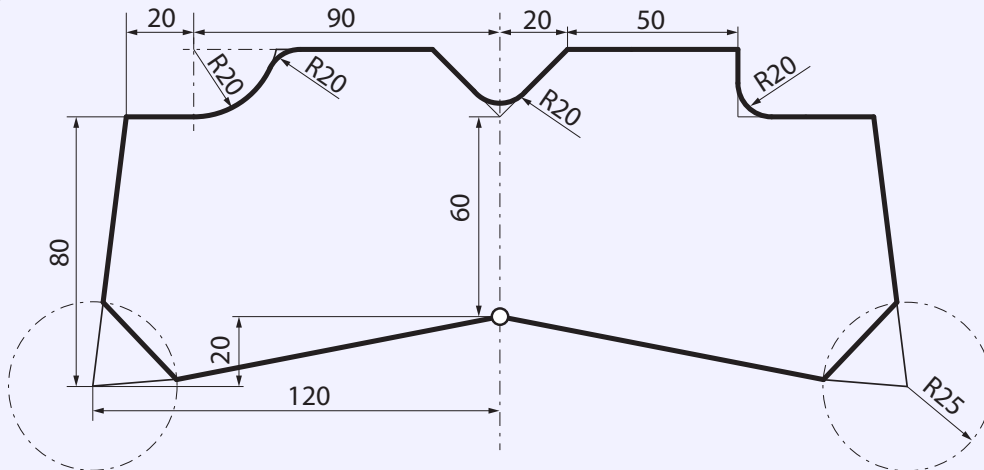
Las condiciones de utilización de esta orden son:

- La función G39 no es modal.
- En la línea donde se programe G39 se pueden colocar tantas funciones preparatorias como se desee siempre que no sean contradictorias entre sí y que la G36 sea la última de esas funciones, justo antes de la palabra R. Detrás de las coordenadas se pueden colocar tantas funciones auxiliares como se desee.
- El radio de achaflanado se indicará siempre en positivo. De lo contrario, el control marcará error.
- La función debe programarse obligatoriamente en el mismo bloque cuyo desplazamiento final se desee achaflanar.
- Al emplear la función G39, la velocidad de avance que se usará será la programada con anterioridad en "F".

Se propone el ejercicio 4.2 para poner en práctica las funciones G36 y G39.

Ejercicio 4.2

Realizar el código CNC para fabricar la pieza siguiente usando las funciones G36 y G39. Debe aplicarse un avance de 100 mm/min y una velocidad de giro del cabezal de 4000 rpm. La superficie superior del tocho es Z0. La profundidad de mecanizado es de 2 mm.

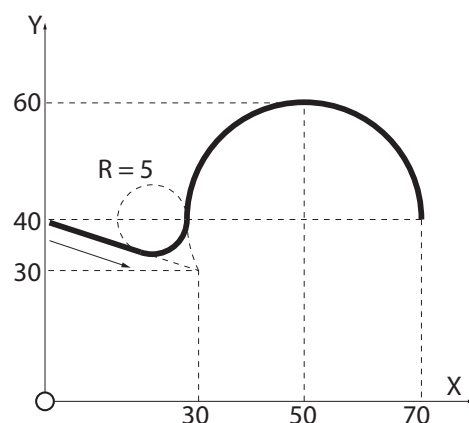


4.6 | G37 y G38: Entradas y salidas tangenciales

Las funciones **G37** y **G38** permiten realizar la entrada y la salida de la pieza enlazando dos trayectorias tangenciales sin necesidad de programar los puntos de tangencia. Esta opción es válida para realizar entradas y salidas en la pieza sin dejar marca de aproximación de herramienta, lo que es especialmente útil para trabajos de fresado lateral. En estas operaciones, la herramienta suele dejar la marca en la zona de contacto. Al programar esta función, la herramienta entrará tangencialmente a la cara, evitando este efecto.

Ejemplo 4.7: Aplicación de la función G37

```
N20 G90 G01 G37 R5 X30 Y30
N30 G02 X70 Y40 I20 J10
```



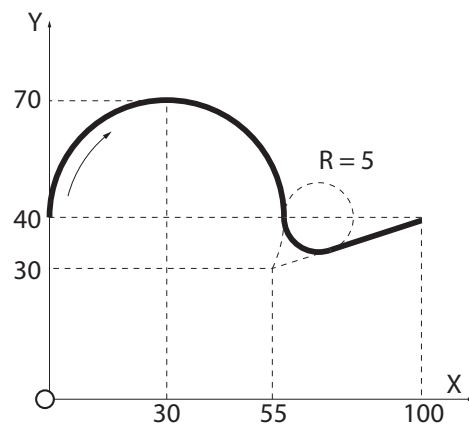
Estas funciones siguen una sintaxis similar a las funciones G36 y G39, ya que necesitas de la programación dos líneas. En la primera línea se programa la función G37 o G38 con el R (radio) a utilizar en la entrada o salida tangencial. En la segunda, la coordenada de la línea que sigue en la geometría.

Tal como se observa en el ejemplo 4.7, para la entrada tangencial se tiene que programar el punto a iniciar el mecanizado en la primera línea, como si no se tuviera que realizar la tangencia. En el control Fagor 8055, en esa misma línea se le introduce el valor del radio de tangencia (a elección del programador). A continuación, se programa la siguiente línea de forma normal.

Para la salida tangencial, en la primera línea de la trayectoria a mecanizar se programa la función G38 con el R (radio) a utilizar en la salida tangencial. En la segunda, la coordenada del punto de salida, como se muestra en el ejemplo 4.8.

Ejemplo 4.8: Aplicación de la función G38

```
N20 G02 G38 R5 X55 Y30 I30 J0  
N30 G01 X100 Y40
```



Las condiciones de utilización de las entradas y salidas tangenciales son:

- Las funciones G37 y G38 no son modales.
- En la línea donde se programe G37 se pueden colocar otras funciones, pero la G37 será la última antes de la palabra R.
- Detrás de las coordenadas se pueden colocar funciones auxiliares.
- El radio de tangencia se indicará siempre en positivo.
- La línea de entrada a la tangencia debe ser siempre lineal.
- La longitud de la línea de entrada debe ser igual o mayor que $2R$.
- Se tiene que seleccionar previamente la herramienta.
- El radio de la fresa a utilizar debe ser igual o menor que $2R$.

COMPENSACIÓN DE HERRAMIENTAS

Hasta ahora, las coordenadas introducidas en los programas señalan la posición del centro de la herramienta. Es decir, si se trata de operaciones de fresado lateral, la pieza resultante será mayor o menor de lo esperado. Normalmente, es necesario compensar el radio de la herramienta, de modo que su posición real esté situada a la derecha o izquierda de la trayectoria programada, lo que hace posible mecanizar la pieza con las medidas precisas. Además, en programas avanzados es habitual utilizar distintas herramientas, cuyos radios son diferentes, Figura 5.1. Por ello, se debe tener en cuenta el radio de las mismas y controlar dicha medida para indicar las diferentes coordenadas del programa, lo que tiene bastantes desventajas si se realiza de manera manual:

- Es necesario sumar o restar el radio de la herramienta en todos los movimientos horizontales.
- Solo se puede realizar el mecanizado utilizando herramientas del mismo diámetro y, en caso contrario, se tienen que cambiar las coordenadas del programa.
- Se requiere la realización de cálculos complejos cuando la geometría del programa cuenta con zonas inclinadas y curvas.



Figura 5.1. Distintas herramientas para procesos de fresado.

Todos estos inconvenientes se subsanan con la utilización de las funciones de compensación de radio, aplicadas correctamente en los diferentes programas. De este modo, el control compensará automáticamente la medida del radio para cualquier herramienta utilizada. No siempre será necesario, como el caso de la compensación de radio en el mecanizado de taladros.

Por otra parte, cuando se trabaja con distintas herramientas en un mismo programa, también es necesario tener en cuenta la diferencia de longitud. En caso contrario, las cotas de aproximación a la superficie de la pieza o de penetración podrían variar. El control cuenta con una función para la compensación de la longitud que calcula automáticamente las diferencias entre las distintas herramientas, asegurando la corrección de las cotas del programa.

Antes de ver las funciones preparatorias para mecanizar con compensación automática de radio y longitud, es necesario analizar previamente cómo el control obtiene la información necesaria para realizar dicha corrección. La información se le suministra desde la llamada tabla de herramientas, Figura 5.2. La tabla de herramientas es fundamental para trabajar en la fresadora utilizando la programación de compensaciones con varias herramientas en un mismo programa.

La tabla de herramientas se utiliza al margen del programa, pero está directamente relacionada con este por las funciones "T" y "D". Recordando la estructura del cambio de herramienta, "T" se encarga del cambio físico, pero la palabra "D" es la que solicita la información necesaria a la tabla de herramientas. El número escrito en esa posición hace referencia a la posición de la tabla a cargar en memoria.

T	D	Mz	Name	L	LW	R	RW	Rp	Rp W
1	1	1	Planear	75.0000	0.0000	31.5000	0.0000	0.0000	0.0000
2	1	1	Fresa plana	100.0000	0.0000	7.5000	0.0000	0.0000	0.0000
3	1	1	Fresa de bola	75.0000	0.0000	5.0000	0.0000	1.0000	0.0000
4	1	1	Fresa plana	70.0000	0.0000	4.0000	0.0000	0.0000	0.0000
5	1	1	Fresa plana	85.0000	0.0000	2.5000	0.0000	0.0000	0.0000
6	1	1	Broca	85.0000	0.0000	2.5000	0.0000	0.0000	0.0000
7	1	1		80.0000	0.0000	5.0000	0.0000	5.0000	0.0000
8	1	1		65.0000	0.0000	3.0000	0.0000	0.0000	0.0000
9	1	1		100.0000	0.0000	10.0000	0.0000	0.4000	0.0000
10	1	1		85.0000	0.0000	7.5000	0.0000	0.0000	0.0000
11	1	1		65.0000	0.0000	5.0000	0.0000	0.0000	0.0000
12	1	1		125.0000	0.0000	12.0000	0.0000	0.0000	0.0000
13	1	1		135.0000	0.0000	25.0000	0.0000	0.0000	0.0000

Figura 5.2. Tabla de herramientas.

Existen 3 funciones relacionadas con la compensación del radio y dos funciones asociadas a la compensación de longitud:

- **G40:** Anulación de la compensación de radio.
- **G41:** Inicio de la compensación de radio a izquierdas.
- **G42:** Inicio de la compensación de radio a derechas.
- **G43:** Inicio de la compensación de longitud.
- **G44:** Anulación de la compensación de longitud.

5.1 | G41 y G42: Inicio de compensación de radio

Con **G41** se realiza la compensación de radio de herramienta por la parte de la trayectoria teórica según su sentido de marcha. Con la función **G42** se realiza la compensación de radio por la parte derecha de la trayectoria teórica, Figura 5.3.

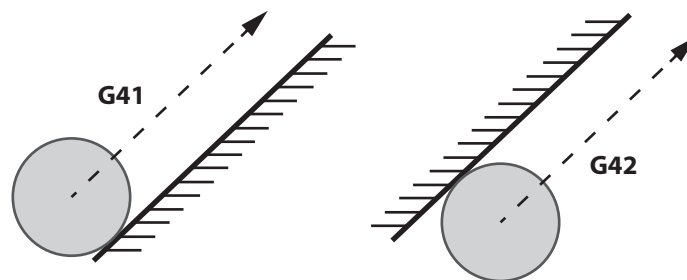


Figura 5.3. Compensación a izquierdas y derechas.

Para saber cuál de las dos funciones debe activarse en cada caso, es necesario responder la siguiente pregunta: "¿hacia qué lado de la pieza está situada la herramienta, según su sentido de marcha?". Habrá que tener en cuenta si se trata de una operación de fresado exterior o interior, es decir, si se elimina material por la periferia de la pieza, o se está mecanizando algún tipo de ranura o cavidad interna. La selección incorrecta de la función de compensación generará una trayectoria compensada errónea.

Las condiciones de utilización de las funciones G41 y G42 son las siguientes:

- Las funciones G41 y G42 son modales entre sí y se anulan con: G40, G81, G82, G83, G84, G85, G86, G87, G88, G89, M2, M30 y M06.
- La entrada de la compensación de radio, solo puede aplicarse en una línea donde esté programado un movimiento lineal, ya sea G00 o G01.
- El radio de la herramienta debe estar almacenado en la tabla de correctores antes de comenzar el trabajo de mecanizado.

- La compensación de radio se realizará sobre el plano activo mediante G17, G18 o G19.
- El control aplicará la corrección con el valor de la herramienta activa mediante "T" y "D".
- La longitud de la línea de entrada debe ser mayor que el radio de la herramienta.

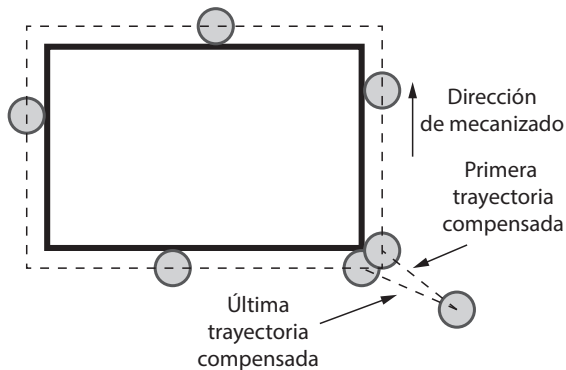


Figura 5.4. Trayectoria compensada.

Es aconsejable utilizar la compensación siempre que sea posible para evitar la realización de cálculos y conseguir que los programas puedan funcionar fácilmente con herramientas de diferentes diámetros. Además, se debe incluir en una línea donde no haya material, pues al realizar ese recorrido la herramienta compensará la trayectoria hasta corregir la medida, con lo que podría mecanizar la pieza de forma indeseada. Siempre es aconsejable entrar al mecaniza-

do con la herramienta ya compensada. De este modo, la entrada de corrección se realizará siempre con una entrada lineal y dejando el suficiente espacio para que la herramienta pueda aplicar la corrección.

Es importante que, una vez finalizado el programa, se aplique la anulación de compensación con la función G40. Así se evita que la herramienta quede con la trayectoria compensada y no con la trayectoria real.

Las cotas para programar las órdenes de movimiento son directamente las del mismo dibujo o plano, excepto la línea de entrada, que se mantiene separada de la pieza para entrar en la misma sin dejar marca. Es decir, se debe prever un movimiento adicional de entrada a la pieza. A su vez, la salida de la pieza debe realizarse de manera tangencial o con un ángulo mayor de 90 grados, para evitar golpes en la salida (preparación de la entrada y la salida). El resto de las líneas se programan de forma normal, con las cotas directas del dibujo, pero el movimiento real de la herramienta es el que está indicado con la línea de ejes de la Figura 5.4.

El formato de estas órdenes en una entrada de compensación será

▶ N1 G17 G01 G41/G42 X Y

5.1.1. Inicio de la compensación sin desplazamiento programado

Tras activar la compensación, puede suceder que en el primer bloque de movimiento no intervinieran los ejes del plano porque no se han programado, porque se ha programado el mismo punto en el que se encuentra la herramienta, o porque se ha programado un desplazamiento incremental nulo.

En este caso, la compensación se efectúa en el punto en el que se encuentra la herramienta. En función del primer desplazamiento programado en el plano, la herramienta se desplaza perpendicular a la trayectoria sobre su punto inicial, como se muestra en el ejemplo 5.1. El primer desplazamiento programado en el plano podrá ser lineal o circular.

Ejemplo 5.1: Inicio de la compensación de radio

Ejemplo 1:

N10 G90

N20 G01 X-30 Y30

N30 G01 G41 X-30 Y30 Z10

N40 G01 X25

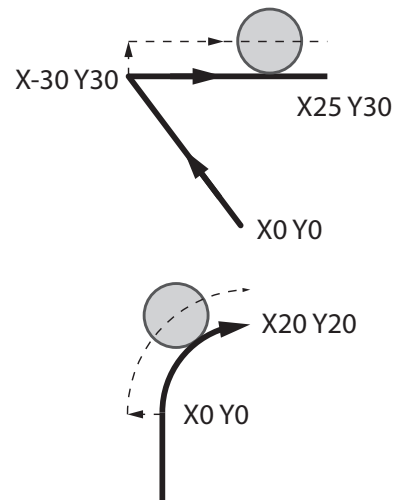
Ejemplo 2:

N10 G90

N20 G01 Y40

N30 G91 G41 Y0 Z10

N40 G02 X20 Y20 I20 J0



5.1.2. Inicio de la compensación en un movimiento

Cuando las funciones G41 o G42 se programan en un orden con movimiento (variación de la coordenada actual de la herramienta), siempre en movimiento G00 o G01, el CNC recalculará la trayectoria para concluir con la herramienta totalmente compensada al final de ese movimiento, dependiendo de la siguiente trayectoria a realizar.

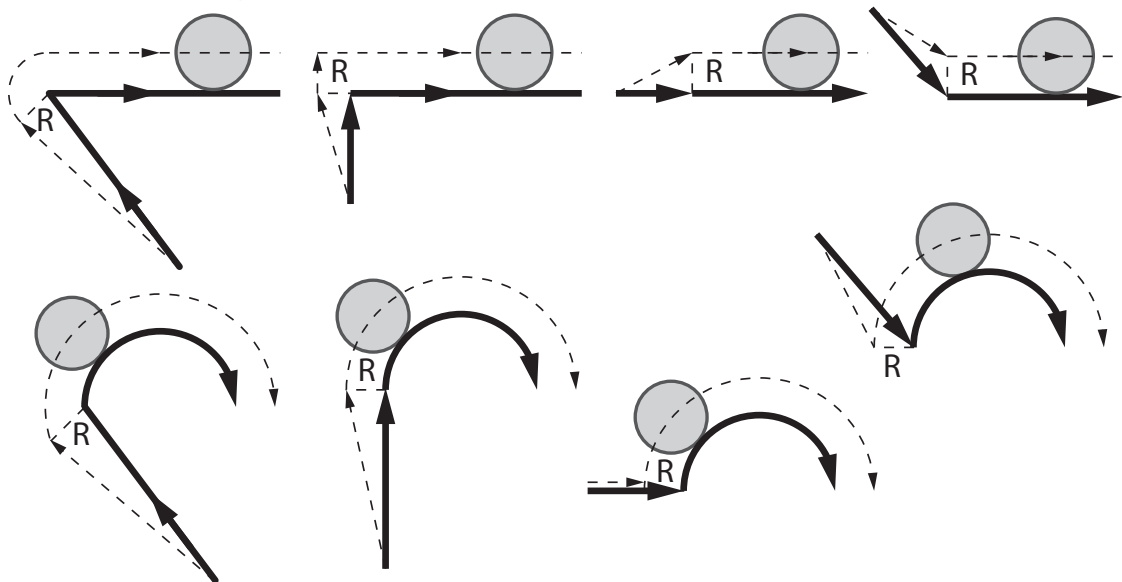


Figura 5.5. Ejemplos de trayectorias con compensación de herramienta.

En la Figura 5.5 se muestran ejemplos de trayectorias para el inicio de la compensación de la herramienta

5.2 | G40: Anulación de la compensación de radio

Las funciones de compensación de radio son modales entre sí, por lo que es necesario disponer de una que anule cualquier tipo de compensación cuando interese. Esta función es la función **G40**. Después de aplicar G40, en el siguiente movimiento lineal que realice el control rectificará la trayectoria hasta anular dicha compensación.

Solamente puede efectuarse en un bloque en que esté programado un movimiento rectilíneo con G00 o G01. El formato de esta orden es

▶ N G01 G40 X Y

Es aconsejable que la función G40 esté integrada en la cabecera de nuestros programas, para evitar posibles errores por interrupción parcial y reactivación de nuevo del programa. Esta función se anula al emplear M02, M30 o RESET del programa. Además, en el momento del encendido el CNC asume la función G40.

5.2.1. Fin de la compensación sin desplazamiento programado

Tras anular la compensación, puede suceder que en el primer bloque de movimiento no intervengan los ejes del plano porque no se han programado, porque se ha programado el mismo punto en el que se encuentra la herramienta, o porque se ha programado un desplazamiento incremental nulo.

En este caso la compensación se anula en el punto en el que se encuentra la herramienta. En función del último desplazamiento ejecutado en el plano, la herramienta se desplaza al punto final sin compensar de la trayectoria programada, ejemplo 5.2.

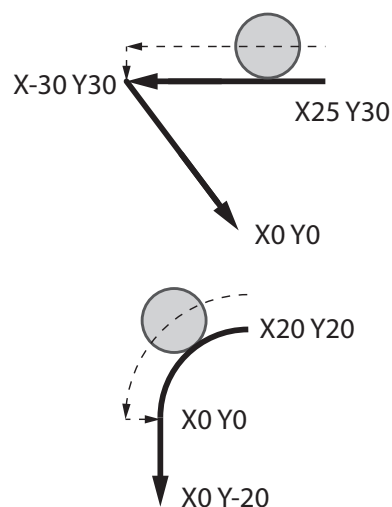
Ejemplo 5.2: Final de la compensación de radio

Ejemplo 1:

```
N10 G90
N20 G01 X-30 Y30
N30 G01 G40 X-30
N40 G01 X0 Y0
```

Ejemplo 2:

```
N10 G90
N20 G03 X0 Y0 I0 J-20
N30 G91 G40 Y0
N40 G01 Y-20'
```



5.2.2. Fin de la compensación con movimiento

La anulación de la compensación con G40, si se realiza en una línea con movimiento rectilíneo (G00 o G01), será completada al final de dicha orden en función del movimiento siguiente, Figura 5.6.

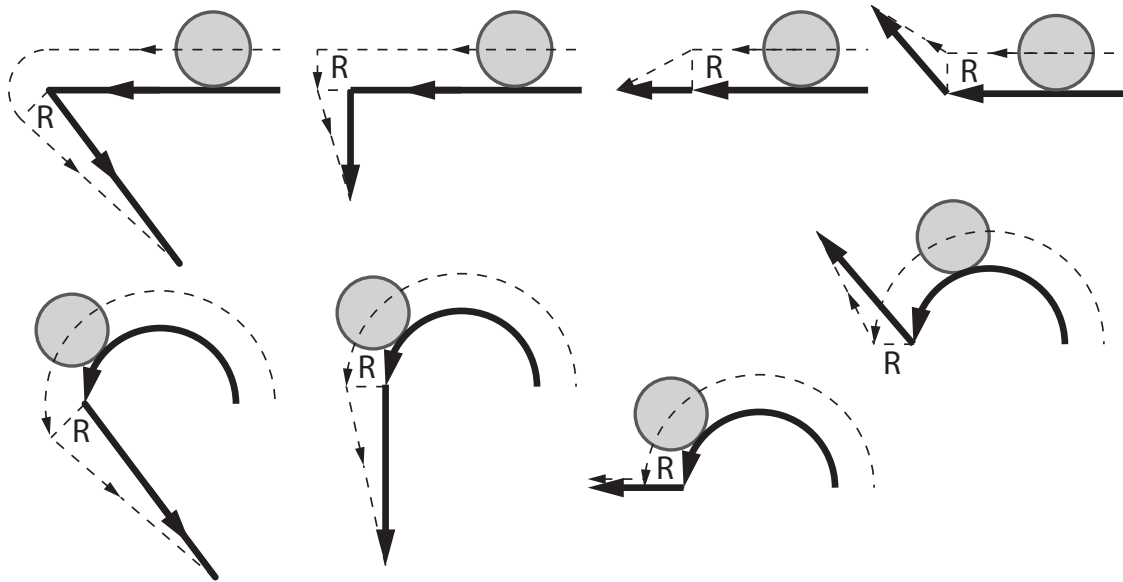
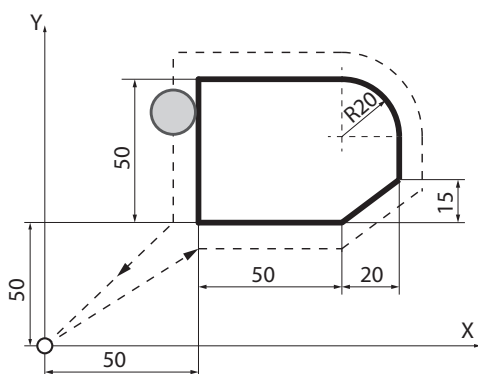


Figura 5.6. Anulación de la compensación con movimiento programado.

A continuación se muestra el ejemplo 5.3 en el que se mecaniza una trayectoria completa realizando la activación y anulación de la compensación de radio.

Ejemplo 5.3: Trayectoria con compensación de radio



```

N40 G90 G42 G00 X50 Y50
N50 G91 X50
N60 X20 Y15
N70 Y15
N80 G03 X-20 Y20 I-20 J0
N90 G01 X-50
N100 Y-50
N110 G90 G40 X0 Y0 M05
N120 M30

```

5.3 | G43 y G44: Compensación de longitud de herramienta

Cuando se trabaja con más de una herramienta, se debe tener en cuenta la diferencia de longitud entre las mismas y controlar dicha medida para tener siempre posicionada la punta de las herramientas en el mismo nivel.

Los métodos para la corrección de la longitud de la herramienta son los siguientes:

Referencia sobre la primera herramienta:

En este método se trabaja sobre el supuesto de que la primera herramienta que se va a utilizar para el mecanizado tiene longitud 0 y el resto de las herramientas tiene una diferencia de longitud con respecto a esta, Figura 5.7. En este ejemplo se utiliza la herramienta N° 2 como la inicial, por lo que esta no tiene longitud (0) y las otras dos entrarán en el orden que esté previsto pero indicando como longitud la diferencia entre ellas y la primera.

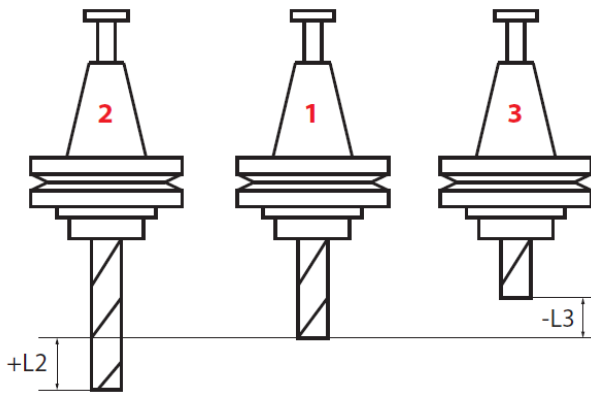


Figura 5.7. Referencia sobre la primera herramienta.

Este sistema o método tiene el aspecto negativo de que siempre que se tengan que mecanizar nuevas piezas, como lo más probable es que no sea la misma herramienta con la que se inicie el mecanizado, se tendrán que recalibrar las herramientas. La búsqueda del cero pieza, para la referencia de longitud, se tiene que realizar siempre contactando con la primera herramienta que mecanice la pieza, e indi-

cándole a la misma como valor 0.

Referencia global sobre un punto fijo conocido:

Este método es el recomendado si se realizan trabajos muy variados, dado que solo se tienen que volver a referenciar cuando se sustituyan o modifiquen de sus sistemas de anclaje.

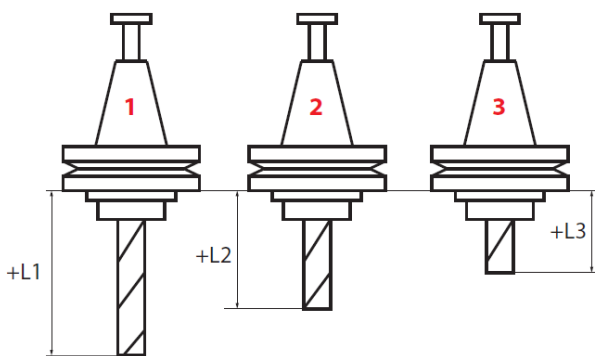


Figura 5.8. Referencia sobre zona común.

El sistema se basa en utilizar un punto de referencia común en todas las herramientas, que normalmente suele estar situado en alguna cara del cono de sujeción y medir todas las herramientas sobre el mismo punto, en su propio cono, Figura 5.8. Esto obliga a tener todos los conos del mismo fabricante y el mismo modelo en la zona de anclaje. En este método, la búsqueda del cero pieza se tiene que realizar contactando con cualquier herramienta.

El formato de la función es muy simple, pues basta con colocarla en la línea desde la que se pretende que se active la corrección. No obstante, no la realizará físicamente hasta que se mueva el eje donde la tiene que aplicar. Además, la entrada de la compensación de longitud, solo puede aplicarse en una línea donde esté programado un movimiento lineal, ya sea G00 o

G01. Por ejemplo: si se tiene como activo el plano XY, la compensación no la realizará hasta que se produzca movimiento en eje Z:

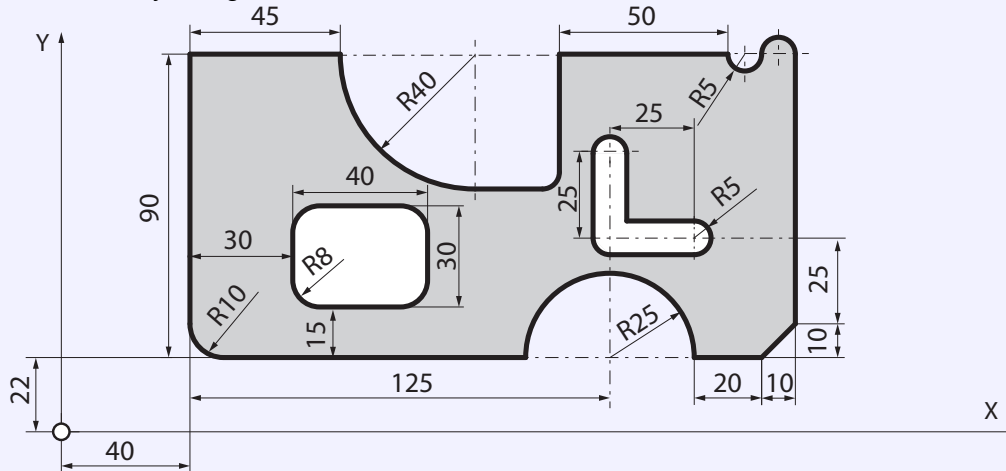
▶ N G43 X Y Z

Cuando quiera desactivarse la compensación de longitud se debe programar la función **G44**. Esta función puede ir en cualquier línea sin un formato específico.

Se propone el ejercicio 5.1 para practicar las instrucciones de compensación de radio y de longitud, mecanizando una pieza compleja con dos herramientas distintas.

Ejercicio 5.1

Realizar el código CNC para mecanizar la pieza siguiente con un avance de 200 mm/min y velocidad de giro del cabezal de 2500 rpm. La superficie superior del tocho es Z0. La profundidad de mecanizado es de 2 mm. Se dispone de dos fresas distintas: una fresa de diámetro 16 mm y 40 mm de longitud efectiva y otra fresa de 10 mm de diámetro, cuya longitud efectiva de corte es de 30 mm.



FUNCIONES PREPARATORIAS ADICIONALES

En este capítulo se detallan distintas funciones preparatorias adicionales o complementarias que sirven para reducir el número de líneas necesarias en programas complejos. Se basan en la definición de bucles de repetición, subrutinas, traslados de orígenes y en el aprovechamiento de las simetrías de una pieza.

6.1 | G92: Traslado de origen de coordenadas cartesianas

La función **G92** cambia la posición del cero pieza a un nuevo origen. A continuación de la aplicación de G92, todas las cotas absolutas del programa se referenciarán a esa nueva posición definida, Figura 6.1. Al aplicar G92, no se realiza ningún movimiento real, pues lo único que el control cambia es la posición del nuevo origen en su memoria interna. La función G92 debe programarse sola en una línea, es modal y se anula con ella misma.

Los datos a introducir en las coordenadas responden a la siguiente pregunta: ¿dónde está ahora la herramienta con respecto al nuevo origen? La forma más sencilla de aplicación es posicionar la herramienta en el nuevo origen de coordenadas e indicar en el programa "G92 X0 Y0 Z0" o posicionar la herramienta en el origen de coordenadas actual y e indicar la orden G92 con la posición actual de la herramienta respecto del nuevo cero pieza.

Esta función es muy práctica para no tener que repetir código, siendo la mejor forma de utilizarla en piezas que tienen geometrías idénticas y repetitivas colocadas en diferentes zonas o cotas de la pieza.

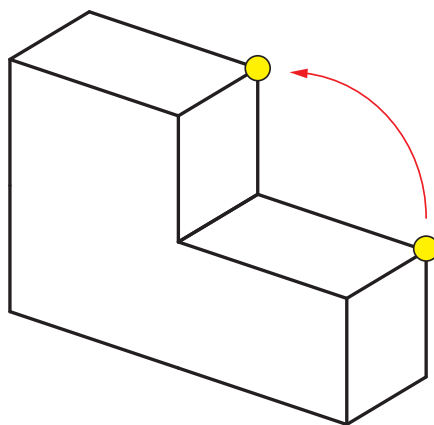


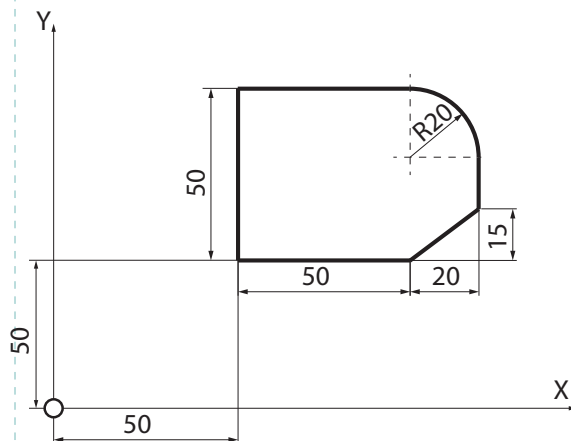
Figura 6.1. Traslado de origen en una pieza.

Seguidamente se muestra el ejemplo 6.1 y el ejercicio 6.1 con el objetivo de practicar el uso de la función G92. Obsérvese en el ejemplo 6.1 como la herramienta se desplaza primero a la posición X50 Y50 para, posteriormente, definir esta posición como nuevo origen con G92 X0 Y0. A partir de este momento, las cotas absolutas se refieren a esta posición. Es recomendable devolver el origen a su posición original al finalizar el programa.

Ejemplo 6.1: Traslado de origen con G92

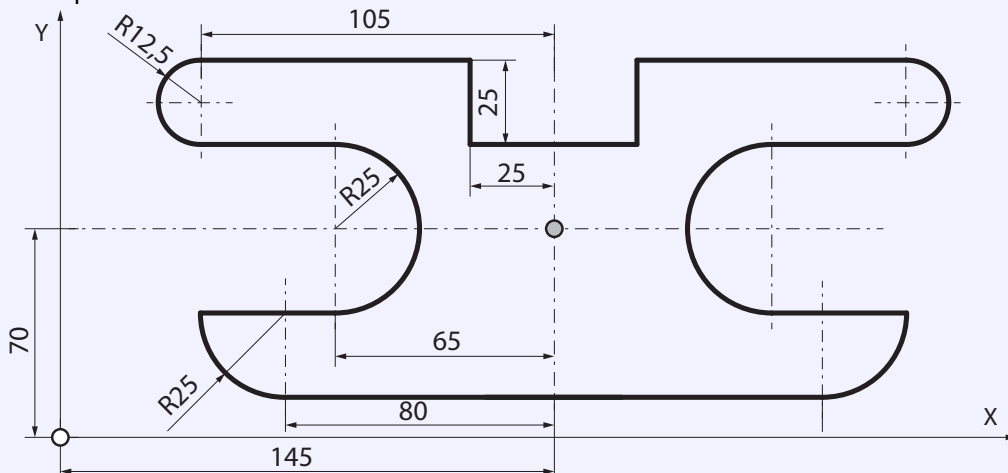
```

N10 G90 G94 G40
N20 T1 D1
N30 M06
N40 G90 G00 X50 Y50 Z10 F100 S2000
M03
N50 G92 X0 Y0; Traslado de origen
N60 G01 Z-2
N70 X50
N80 X70 Y15
N90 Y30
N100 G03 X50 Y50 I-20 J0
N110 G01 X0
N120 Y0
N130 G90 Z5 M05
N140 G00 X-50 Y-50 Z50
N150 G92 X0 Y0
N160 M30
    
```



Ejercicio 6.1

Realizar el código CNC para mecanizar la pieza siguiente con un avance de 200 mm/min y velocidad de giro del cabezal de 3000 rpm. La superficie superior del tocho es Z0. La profundidad de mecanizado es de 2 mm.



6.2 | G93: Definición del origen de coordenadas polares

La función **G93** declara el nuevo origen de coordenadas polares, es decir, sitúa en el punto indicado el origen de la circunferencia donde estarán comprendidos los radios a programar.

La función G93 no produce ningún movimiento real en máquina, sino que prepara la máquina para que a partir de los datos introducidos las demás funciones realicen los movimientos requeridos. Se puede programar de los siguientes modos:

- En línea única con los parámetros I y J. Estos definen la abscisa (I) y la ordenada (J) respecto al cero pieza, en que se desea situar el nuevo origen de coordenadas polares.

▶ N G93 I J

- En solitario sin ningún dato propio. Se puede programar G93 en una línea en solitario sin ningún otro dato, con lo que se asigna como valor de origen polar la situación actual de la herramienta.

▶ N G93

La función G93 tiene las siguientes características:

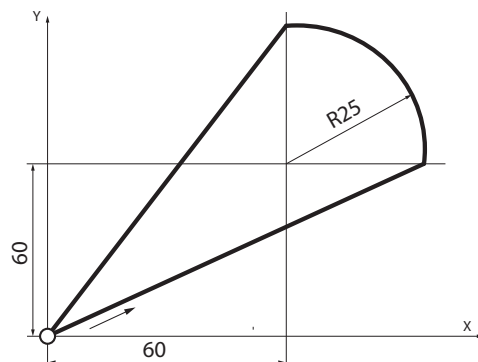
- Es modal.
- Se cambia de origen polar con las funciones G02 y G03, que resitúan el origen en el centro de la circunferencia donde está inscrito el arco construido.
- Se define en cotas absolutas y están referidas al cero pieza. Si se programan, deben programarse ambos parámetros, I y J.
- Si no se programan, se tomará como origen polar el punto en el que en ese momento se encuentra la herramienta.
- Al iniciar el programa, el origen polar se sitúa por defecto en el origen pieza.
- Si se utiliza el formato propio G93 I J, no se puede colocar ningún otro dato en la línea.

En el ejemplo 6.2 se muestra una trayectoria donde el origen polar se desplaza a las coordenadas X60 Y60. También se propone el ejercicio 6.2 para practicar el uso de esta función.

Ejemplo 6.2: Traslado de origen con G93

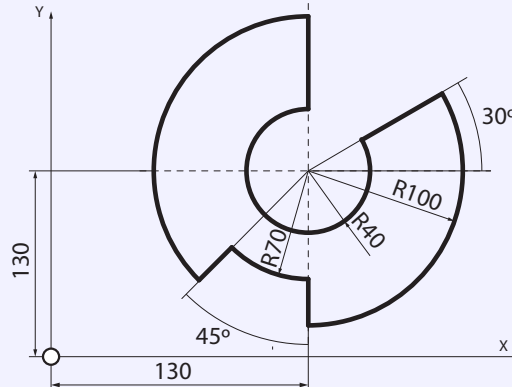
Suponiendo que la herramienta ya está en X0 Y0

```
N10 G93 I60 J60
N20 G90 G01 R25 Q0
N30 G03 Q90 I0 J0
N40 G01 X0 Y0
```



Ejercicio 6.2

Realizar el código CNC para mecanizar las trayectorias siguientes con un avance de 200 mm/min y velocidad de giro del cabezal de 2500 rpm. La superficie superior del tocho es Z0. La profundidad de mecanizado es de 1 mm.



6.3 | RPT: Repeticiones

Con esta función se pueden repetir partes del programa tantas veces como se desee sin necesidad de escribir de nuevo el código de programación. La sentencia **RPT** permite repetir la ejecución de una parte del programa definida entre dos bloques, los cuales estarán identificados mediante etiquetas. El número de veces a repetir los bloques es configurable. Si no se programa, el CNC repite el grupo de bloques una sola vez.

Esta sentencia es muy útil para reducir el código en partes repetitivas de un programa y agilizar bastante la programación. No obstante, donde tiene más aplicación es en fresado, donde se le pueden sacar bastantes ventajas. En torno, por la estructura de las piezas, no es tan utilizada.

El formato de esta orden será:

► N (RPT N, N) N. Ejemplo: N100 (RPT N60, N70) N2

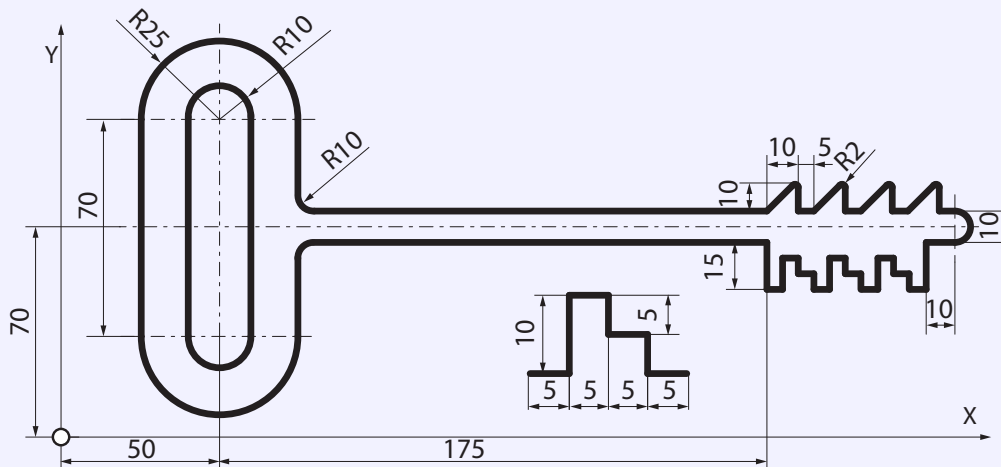
En el ejemplo anterior, la secuencia programada entre las líneas 60 y 70 se repetirán dos veces. La sentencia RPT debe programarse sola en una línea y no es modal. El grupo de bloques a repetir debe estar definido en el mismo programa o subrutina que ejecuta esta sentencia. También podrán estar a continuación del programa (después de la función M30).

En el grupo de bloques a repetir puede haber definida una segunda repetición de bloques, dentro de esta una tercera y así sucesivamente. El CNC limita este tipo de llamadas a un máximo de 20 niveles de anidamiento. Una vez finalizada la repetición, la ejecución continúa en el bloque siguiente al de la sentencia RPT.

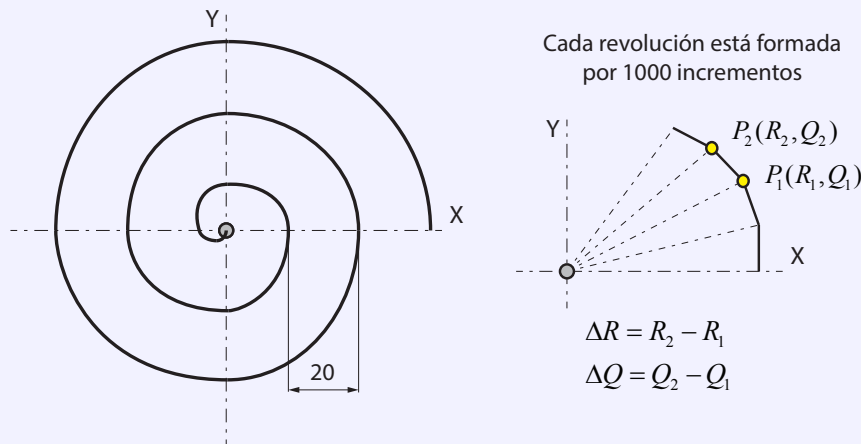
A continuación se propone el ejercicio 6.3 para practicar el uso de esta función en el mecanizado de una llave y para la realización de una espiral mediante la repetición de pequeños tramos rectos.

Ejercicio 6.3

Realizar el código CNC para fabricar la siguiente llave a partir de un tocho de 6 mm de espesor. Debe aplicarse un avance de 200 mm/min y una velocidad de giro del cabezal de 3000 rpm. La superficie superior del tocho es Z0. La profundidad de mecanizado admisible por la herramienta es de 2 mm.



Realizar el código CNC para mecanizar la siguiente espiral. La velocidad de avance es de 100 mm/min y la velocidad de giro de 2000 rpm. La superficie del tocho es Z0 y la profundidad de mecanizado es 2 mm.



6.4 | SUB, RET y CALL: Sentencias de subrutinas

Se llama subrutina a una parte de programa que, convenientemente identificada, puede ser llamada desde cualquier posición de un programa para su ejecución. Una subrutina puede estar almacenada como un programa independiente o como parte de un programa, y puede ser llamada una o varias veces desde diferentes posiciones de un programa o desde diferentes programas.

La sentencia **SUB** define como subrutina el conjunto de bloques de programa que se encuentran programados a continuación, hasta alcanzar la sentencia **RET**. La sentencia **RET** indica que la subrutina que se definió mediante la sentencia **SUB**, finaliza en dicho bloque.

La subrutina se identifica mediante un número entero y para ejecutarla se usa la sentencia **CALL**. El formato de programación es

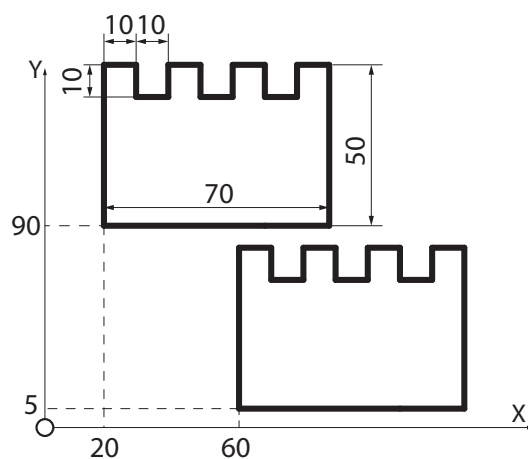
▶ N (CALL *número de subrutina*)

En la memoria del CNC no pueden existir a la vez dos subrutinas con el mismo número de identificación, aunque pertenezcan a programas diferentes.

En el ejemplo 6.3 se observa una aplicación de las subrutinas. En este caso se definen dos subrutinas. La subrutina 10 define la geometría global de la pieza, que se repite en dos posiciones distintas. La subrutina 11 es llamada dentro de la subrutina 10 para el mecanizado de una zona concreta de la pieza.

Ejemplo 6.3: Aplicación de las subrutinas

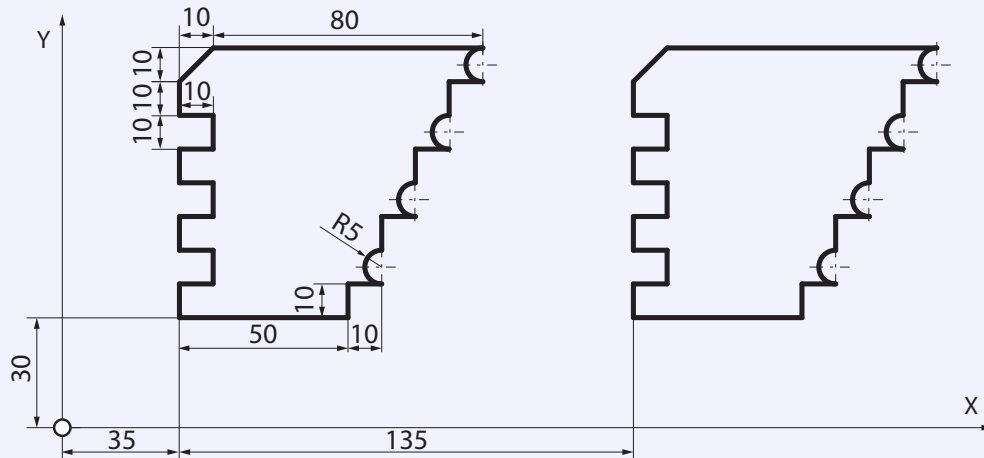
N10 G90 G94 G40	(SUB 10)	(SUB 11)
N20 T1 D1	N200 G91 G01 X70	N300 G01 G91 X-10
N30 M06	N210 Y50	N310 Y-10
N40 G90 G0 X20 Y90 Z10 S900 M03	N220 (CALL 11)	N320 X-10
N50 G01 Z-2 F50	N230 (CALL 11)	N330 Y10
N60 (CALL 10)	N240 (CALL 11)	N340 (RET)
N70 G00 X60 Y5	N250 G91 G01 X-10	
N80 G01 Z-2	N260 Y-50	
N90 (CALL 10)	N270 G90 Z10	
N100 G00 X0 Y0 M05	N280 (RET)	
N110 M30		



Se propone el ejercicio 6.4 para practicar la aplicación de las subrutinas.

Ejercicio 6.4

Realizar el código CNC para fabricar las siguientes piezas a partir de un tocho de 5 mm de espesor. Debe aplicarse un avance de 200 mm/min y una velocidad de giro del cabezal de 3000 rpm. La superficie superior del tocho es Z0. La profundidad de mecanizado admisible por la herramienta es de 1 mm.



6.4.1. PCALL: Llamada a subrutina paramétrica

La sentencia **PCALL** se utiliza para realizar una llamada a una subrutina paramétrica indicada mediante un número o mediante cualquier expresión que tenga como resultado un número. Una subrutina paramétrica es aquella que, en su definición de movimientos y coordenadas, depende de una serie de parámetros. La sentencia PCALL permite inicializar hasta un máximo de 26 parámetros locales de dicha subrutina, es decir, permite 26 variables.

Este tipo de subrutinas paramétricas son muy útiles cuando se mecanizan geometrías muy parecidas entre sí, pero no idénticas, que difieren en algunas longitudes. En lugar de tener que programar cada una de las figuras, es posible definir los movimientos para una sola en función de parámetros. El valor de los parámetros se indica en la llamada a la subrutina, por lo que pueden variarse cada vez que se ejecute la misma.

Al igual que para cualquier subrutina, las órdenes estarán definidas entre las sentencias SUB y RET, y los parámetros se indicarán como P0, P1, P2, etc. Es decir, las coordenadas de un punto pueden nombrarse como XP0 YP1. En la llamada de la subrutina mediante PCALL se indicará el valor de P0 y P1. El formato de la orden es

► N (PCALL *número de subrutina*, P0 = *valor*, P1 = *valor*)

En el ejemplo 6.4 se observa la aplicación de una subrutina paramétrica para mecanizar tres triángulos de distinta dimensión mediante la definición de dos parámetros.

A continuación, se propone el ejercicio 6.5 para practicar la programación con subrutinas paramétricas.

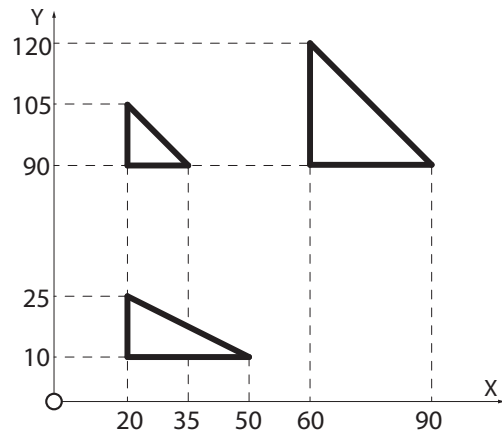
Ejemplo 6.4: Aplicación de las subrutinas paramétricas

```

N10 G90 G94 G40
N20 T1 D1
N30 M06
N40 G90 G0 X20 Y10 Z10 S900 M03
N50 G01 Z-2 F50
N60 (PCALL 10,P0=30,P1=15)
N70 G01 G90 Z10
N80 G00 X20 Y90
N90 G01 Z-2
N100 (PCALL 10,P0=15,P1=15)
N110 G01 G90 Z10
N120 G00 X60 Y90
N130 G01 Z-2
N140 (PCALL 10,P0=30,P1=30)
N150 G01 G90 Z10
N160 G00 X0 Y0 M05
N170 M30
    
```

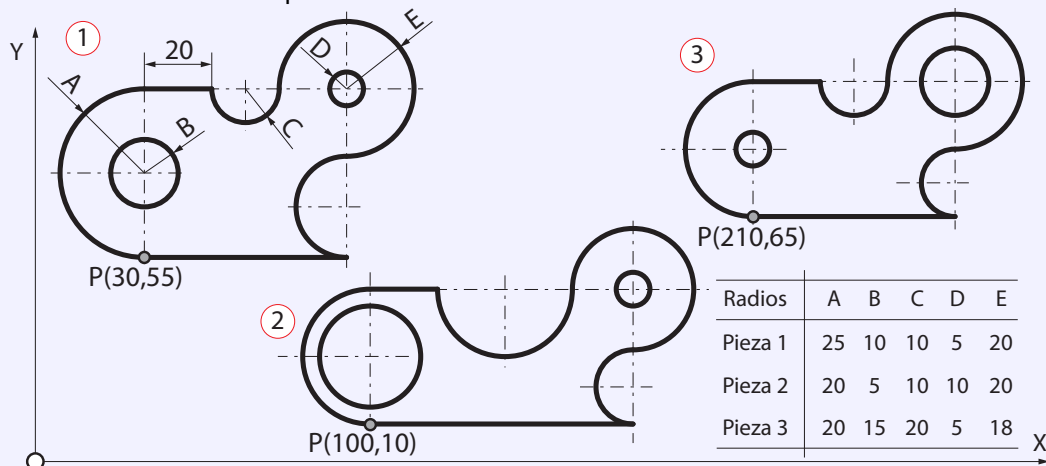
```

(SUB 10)
N200 G91 G01 XP0
N210 X-P0 YP1
N220 Y-P1
N230 (RET)
    
```



Ejercicio 6.5

Realizar el código CNC para fabricar las siguientes piezas a partir de un tocho de 5 mm de espesor. Debe aplicarse un avance de 200 mm/min y una velocidad de giro del cabezal de 3000 rpm. La superficie superior del tocho es Z0. La profundidad de mecanizado admisible por la herramienta es de 1 mm.



La programación paramétrica permite la definición de fórmulas en función de parámetros, lo que añade versatilidad de programación. Esto es especialmente útil en piezas como las del ejercicio 6.5, donde ciertas longitudes pueden expresarse como suma o resta de otras indicadas a través de parámetros.

Por ejemplo, el parámetro P20 puede definirse a partir de los ya existentes mediante una línea de programa como

▶ N100 (P20=P0+P1-P2*2+P4 / 2)

A partir de este momento, P20 es un parámetro definido que puede usarse cuando se requiera y quedará vinculado a los valores que se incluyan en los parámetros de los que depende. Es decir, el valor de P20 no se define directamente en el código.

6.5 | G73: Giro del sistema de coordenadas

La función **G73** permite girar el sistema de coordenadas un determinado ángulo. Esto permite realizar mecanizados que sean concéntricos, tal como se ve en la Figura 6.2. Lógicamente el giro no se produce físicamente, sino que se realiza internamente en la memoria del control, siendo éste el que se encarga en todo momento del cálculo necesario para cumplir esta condición.

Observando la Figura 6.2, se puede apreciar que se tienen que calcular trigonométricamente casi todas las coordenadas de los diferentes puntos. Al utilizar la función G73 todos estos cálculos no son necesarios.

El formato que define el giro es el siguiente:

▶ N G73 Q I J

Donde Q indica el ángulo de giro en grados. I, J son opcionales y definen la abscisa y ordenada, respectivamente, del centro de giro. Si no se definen se tomará el origen de coordenadas como centro de giro.

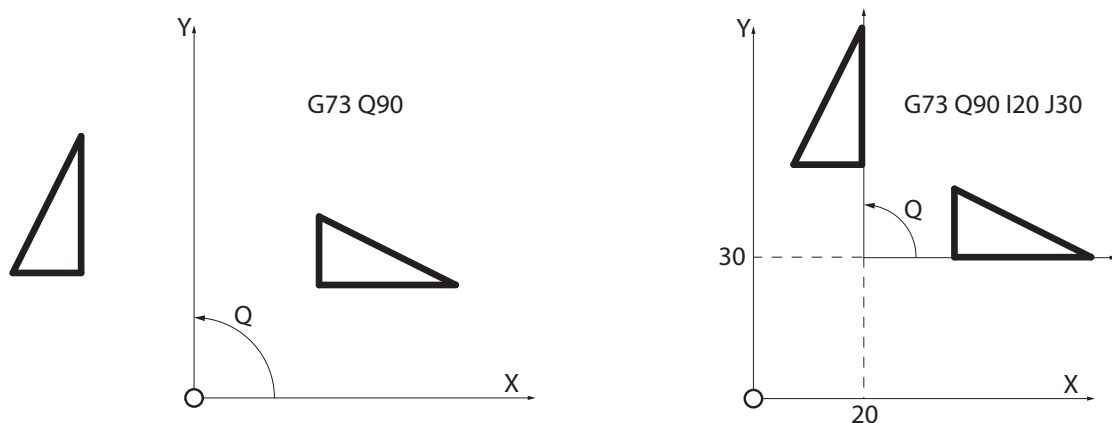


Figura 6.2. Ejemplos de aplicación de la función G73.

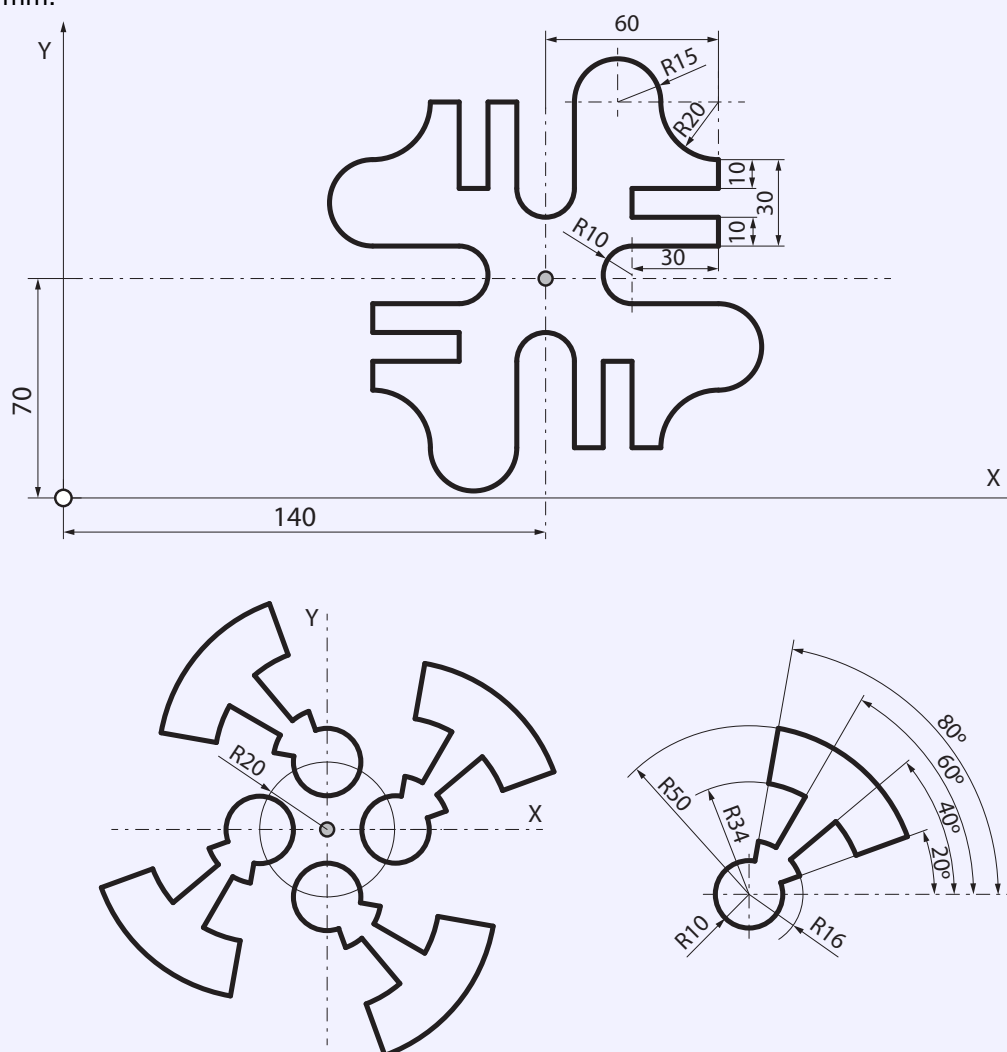
La función G73 se usará en todos aquellos mecanizados en los que coincida que las figuras a mecanizar estén colocadas de forma concéntrica a un punto o centro de giro, o incluso en casos de mecanizados donde la geometría tenga una inclinación (por ejemplo una caja

rectangular girada con respecto a las direcciones horizontal y vertical), lo que ahorrará cálculos a la hora de programar.

Para poner en práctica el uso de la función G73 se propone el ejercicio 6.6. Obsérvese la aplicación de la función para dos casos distintos: una figura continua con simetría circular, y una figura completa que está repetida y rotada con respecto de un punto.

Ejercicio 6.6

Realizar el código CNC para fabricar las piezas siguientes usando la función G73. Debe aplicarse un avance de 200 mm/min y una velocidad de giro del cabezal de 3000 rpm. La superficie superior del tocho es Z0. La profundidad de mecanizado es de 2 mm.



La función G73 tiene las características siguientes:

- Es modal.
- Se tiene que programar sola sin ningún otro dato más en la misma línea.

- El ángulo de la función G73 se debe indicar siempre en valor incremental, es decir, se van sumando los siguientes valores de Q que se programen, hasta la anulación de la función.
- La anulación del giro de coordenadas se puede realizar aplicando G73 sin ningún parámetro.
- Al emplear la función G73, las condiciones tecnológicas no cambian.
- Si se programan I, J deben programarse ambos parámetros.
- Si no se definen I, J se tomará el origen de coordenadas como centro de giro.

6.6 | G72: Factor de escala

Con **G72** se puede variar el factor de escala de cualquier eje. Es decir, es posible ampliar o reducir las dimensiones de cualquier pieza. Esto permite tener familias de piezas que sean semejantes de forma, pero de diferentes dimensiones, utilizando un solo programa y simplemente cambiando el factor de escala del eje o ejes adecuados, Figura 6.3.

A partir de la función G72 todos los movimientos se multiplican por el factor que acompaña a dicha función. Si el factor es mayor que 1 se ampliará la escala, si es menor que 1 se reducirá la escala.

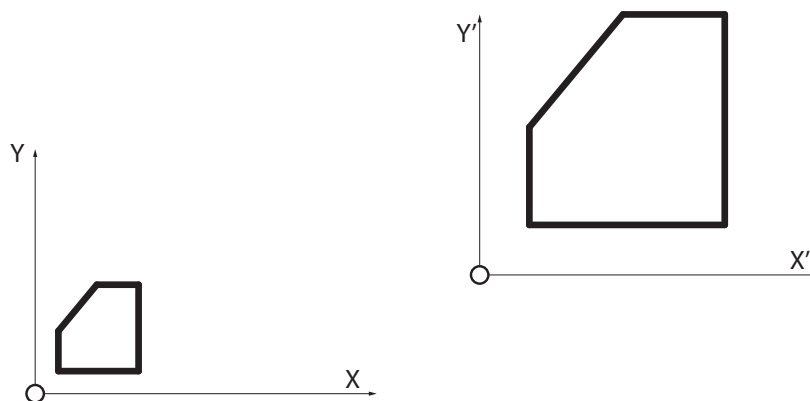


Figura 6.3. Ejemplos de aplicación de la función G72.

Esta orden admite dos variantes:

- ▶ N G72 S; Para aplicar la escala a todos los ejes
- ▶ N G72 X/Y/Z; Para aplicar la escala a determinados ejes

La función G72 es modal y se anula con la programación de la siguiente manera, dependiendo del formato:

- ▶ N G72 S1; Para aplicar la escala a todos los ejes
- ▶ N G72 X/Y/Z 1; Para aplicar la escala a determinados ejes

Además, ambos formatos se anulan con M02 y M30. En el segundo formato no se debe programar con compensación de radio de herramienta, pues el control no controla en esta situación dicha función.

Se pueden programar diferentes factores de escala dentro de un mismo programa. Simplemente, al introducir un nuevo valor a "S" si es general o al eje elegido, a partir de ese punto y en adelante cambia la escala al nuevo valor.

6.7 | G10, G11, G12, G13: Imagen espejo

Las funciones **G11**, **G12** y **G13** permiten realizar simetrías con respecto a los ejes de coordenadas. Por ejemplo, si aplicamos G11 "Imagen espejo en eje X", el control realizará todos los movimientos del eje X con el signo cambiado. Es decir, si en la línea que se va a ejecutar existe la coordenada "X87", el control lo interpretará como "X-87", lo que genera la simetría.

Es importante tener presente el sistema de movimiento de la herramienta para realizar el mecanizado en concordancia o en oposición, pues al aplicar esta función se invertirá dicho sentido de mecanizado.

La aplicación de la imagen espejo se realizará indicando G11 para el eje X, G12 para el eje Y y G13 para el eje Z. Se pueden aplicar más de un eje simultáneamente indicando las órdenes que se necesiten.

Esta función no tiene ningún formato especial y se puede incluir en cualquier línea sola o acompañada.

Aplicación de imagen espejo G11 (eje X)

▶ G90 G11 X Y

Aplicación de imagen espejo G11 y G12 (ejes X e Y)

▶ G90 G11 G12 X Y

Si el perfil se define con compensación de radio, cuando se active la imagen espejo el CNC cambiará el tipo de compensación (G41 o G42) para obtener el perfil programado. Siempre que se desee anular dicha función se tendrá que recurrir a la función **G10** "Anulación Imagen espejo", con lo que el control volverá a actuar como antes de aplicar cualquiera de ellas. La anulación de imagen espejo no tiene ningún formato específico y puede ir incluida en cualquier línea con tantas funciones preparatorias como se desee siempre que no sean incompatibles entre sí. Lógicamente, colocar la función G10 en la misma línea con cualquiera de las otras de imagen espejo (G11, G12, o G13) deberá hacerse de manera que la primera función sea G10. De este modo, primero se anulan las funciones espejo hubiera hasta ese momento y, a partir de ahí, se realiza la siguiente activación.

Las condiciones de aplicación de la imagen espejo son las siguientes:

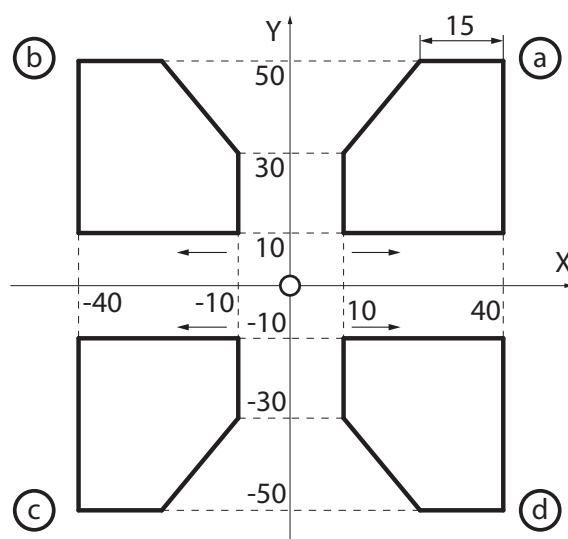
- Todas estas funciones son modales y se anulan al aplicar M30.

- Estas funciones se integran en las líneas como si fueran funciones simples, como por ejemplo G00 y G01.
- Si estando activa una de las funciones de imagen espejo (G11, G12 o G13) se ejecuta una preselección de cotas G92, esta no queda afectada por la función de imagen espejo.
- En caso de actuar la imagen espejo con la función de giro de coordenadas G73 activa, se realizará primero el giro de coordenadas y después la imagen espejo.

A continuación se muestra un ejemplo 6.5 sobre la aplicación de las funciones espejo.

Ejemplo 6.5: Aplicación de las funciones espejo

N10 G90 G94 G40	N130 G90 G00 X0 Y0 Z50 M05
N20 T1 D1	N140 M30
N30 M06	(SUB 10)
N40 G90 G0 X0 Y0 Z10 S900 M03	N200 G90 G00 X10 Y10
N50 (CALL 10) ;Realiza la pieza a	N210 G01 Z-2
N60 G11	N220 G91 X30
N70 (CALL 10) ;Realiza la pieza b	N230 Y40
N80 G11 G12	N240 X-15
N90 (CALL 10) ;Realiza la pieza c	N250 G90 X10 Y30
N100 G10 G12	N260 Y10
N110 (CALL 10) ;Realiza la pieza d	N270 Z10
N120 G10	N280 (RET)



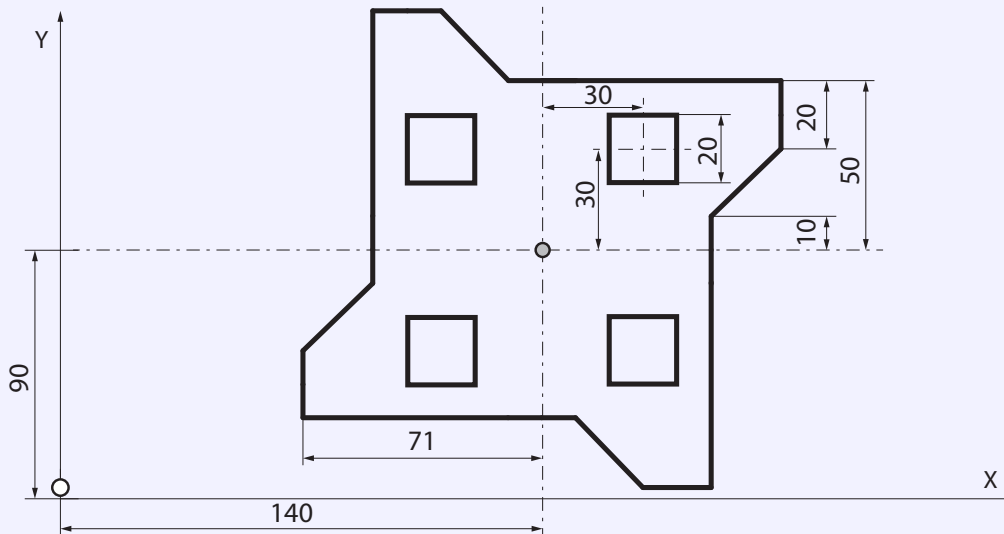
Obsérvese la potencia de este tipo de funciones combinadas con bucles de repetición, subrutinas y subrutinas paramétricas. En este caso, se ha definido una subrutina que es llamada

tres veces en el programa. En cada una de las llamadas se activa o desactivan las distintas funciones espejo, lo que genera las simetrías con pocas líneas de código.

Por último, se propone el ejercicio 6.7 para practicar el uso de las funciones de imagen espejo en el mecanizado de una figura continua con simetría.

Ejercicio 6.7

Realizar el código CNC para fabricar la pieza siguiente usando las funciones espejo. Debe aplicarse un avance de 200 mm/min y una velocidad de giro del cabezal de 3000 rpm. La superficie superior del tocho es Z0. La profundidad de mecanizado es de 2 mm.



CICLOS FIJOS DE MECANIZADO

Los ciclos fijos son las funciones preparatorias que dan mayor potencia a los controles, al permitir realizar la programación de manera sencilla de geometrías habituales como taladros o cajeras. Permiten arrancar material en un gran número de pasadas, con muy poco código de programación y respetando el perfil programado en todo momento.

En los ciclos fijos es donde más diferencias existen entre los diferentes controles del mercado, ya que cada fabricante los ha desarrollado de manera distinta y con operativas diferentes.

Los ciclos fijos que soporta el control Fagor 8055 M se detallan en la Tabla 7.1.

Tabla 7.1. Ciclos fijos en control Fagor 8055 M.

8055	Descripción
G69	Ciclo fijo de taladrado profundo con paso variable
G81	Ciclo fijo de taladrado
G82	Ciclo fijo de taladrado con temporización
G83	Ciclo fijo de taladrado profundo con paso constante
G84	Ciclo fijo de roscado con macho
G85	Ciclo fijo de escariado
G86	Ciclo fijo de mandrinado con retroceso en avance rápido G00
G87	Ciclo fijo de cajera rectangular
G88	Ciclo fijo de cajera circular
G89	Ciclo fijo de mandrinado con retroceso en avance de trabajo G01
G210	Ciclo fijo de fresado de taladro
G211	Ciclo fijo de fresado de rosca interior
G212	Ciclo fijo de fresado de rosca exterior

Todos los ciclos son modales, por lo que estarán activos hasta que se anulen con la función **G80**: Anulación de ciclo fijo. Esto es particularmente práctico, por ejemplo, en el caso de tener que realizar varios taladros iguales pero en distinta posición. Mientras esté el ciclo activo, con desplazar simplemente los ejes a una nueva posición, al ser alcanzada, el control realizará el taladro sin ninguna otra orden. Si no se pretende volver a realizar otro taladro es necesario indicar G80 antes de realizar el nuevo traslado de coordenadas. En caso contrario, el control

intentará realizar el ciclo en la nueva posición alcanzada, aunque esta esté fuera o dentro de la pieza, lo que puede ocasionar mecanizados indeseados.

Los ciclos volverán a una u otra posición de reposo sobre el eje de trabajo tras finalizar el mecanizado del mismo y estas posiciones se controlan por el programador mediante dos funciones preparatorias que definen la zona o plano a la que volver tras el mecanizado. Estas funciones son G98 y G99.

La ejecución de un ciclo fijo anula la compensación de radio (G41 y G42). Es equivalente a G40.

7.1 | G98 y G99: Selección del plano de retroceso de la herramienta

En todos los ciclos de mecanizado existen tres cotas a lo largo del eje longitudinal que definen los movimientos de la herramienta:

- **Cota del plano de partida:** Esta cota viene dada por la posición que ocupa la herramienta respecto al cero pieza cuando se activa el ciclo.
- **Cota del plano de referencia:** Se programa en el bloque de definición del ciclo y representa una cota de aproximación a la pieza con movimiento rápido. Podrá programarse en cotas absolutas o en cotas incrementales, en cuyo caso estará referido al plano de partida.
- **Cota de profundidad de mecanizado:** Se programa en el bloque de definición del ciclo y podrá programarse en cotas absolutas o en cotas incrementales, en cuyo caso estará referido al plano de referencia.

Existen dos funciones que permiten seleccionar el retroceso de la herramienta hasta el plano de referencia o el plano de partida:

- **G98:** Selecciona el retroceso de la herramienta hasta el plano de partida una vez realizado el mecanizado indicado.
- **G99:** Selecciona el retroceso de la herramienta hasta el plano de referencia una vez realizado el mecanizado indicado.

Dependiendo de la función activa, la herramienta retornará a uno u otro de los planos con los movimientos en G00 o G01.

Si se vuelve con G98, la herramienta bajará en G00 hasta la posición del plano de referencia, a continuación, bajará desde el plano de referencia hasta la pieza en G01. La subida la realizará en G00. Si por el contrario se vuelve con G99, la herramienta bajará desde el plano de referencia en G01 y subirá al mismo plano en G00.

Estas funciones solo afectan al mecanizado mediante ciclos y nunca a la programación normal, por lo que, si está activa G80, ninguna de las dos estará activa en ese momento.

Al programar un ciclo se puede actuar de dos maneras diferentes dependiendo de la colocación de las coordenadas. Las dos posibles maneras de actuar son las siguientes:

- Si en la línea donde se programa la función de ciclo se programan las coordenadas del mismo, el control desplazará los ejes hasta la posición indicada en dichas coordenadas. Después de alcanzarla, mecanizará el ciclo. Al realizar el siguiente desplazamiento volverá a mecanizar el ciclo, así hasta programar G80.
- Si en la línea donde se programa el ciclo no se indica ninguna coordenada, el control mecanizará el ciclo en la posición actual. A partir de aquí, actúa igual que en el otro caso, es decir, al desplazarse a otra coordenada mecanizará el ciclo hasta que se programe G80.

El desplazamiento del eje Z determina la colocación del plano de referencia, mientras que la situación actual de la herramienta al programar el ciclo sitúa el plano de partida.

Al finalizar cualquier ciclo fijo, quedarán activas las funciones preparatorias anteriores al mismo. Si al iniciar el ciclo no se ha programado ningún giro de la herramienta, el control iniciará de forma automática la función M03 para evitar roturas de herramienta y piezas. Dicha función quedará activa con posterioridad a la salida del ciclo. En caso de estar programada previamente alguna de ellas, quedará activa.

7.2 | G81: Ciclo fijo de taladrado

El ciclo definido por la función **G81** se utiliza para realizar taladros de poca profundidad en una sola pasada. Se aplica, por ejemplo, para la realización de puntos con broca centradora o taladros en placas de pequeño espesor, Figura 7.1.

El formato de programación es

▶ N G81 G98/G99 G00/G01 G90/G91 X Y Z I K F S N

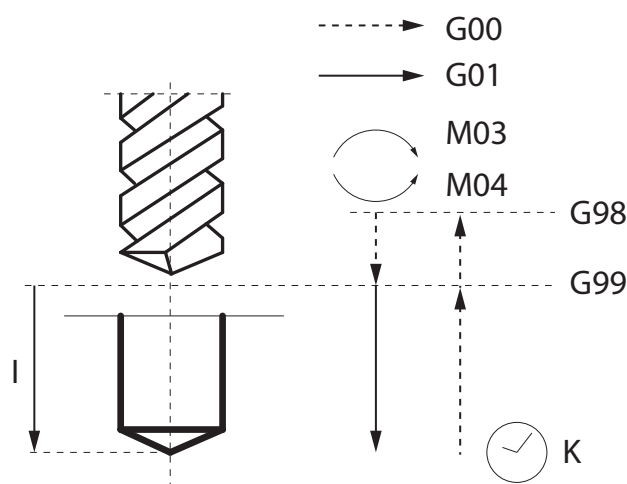


Figura 7.1. Ciclo fijo de taladrado.

Los parámetros definidos en la programación son:

- **G98/G99:** Definición del plano de retroceso hasta el plano de partida (G98) o el plano de referencia (G99), una vez realizado el taladro.
- **G00/G01 G90/G91:** Funciones preparatorias en caso de ser necesario añadirlas.
- **X Y:** Definición de las coordenadas de mecanizado. Son opcionales y definen el desplazamiento de los ejes del plano principal para posicionar la herramienta en el punto de mecanizado. Pueden definirse en coordenadas cartesianas o polares, en sistema absoluto o incremental. Si no se programa, el CNC tomará como plano de referencia la posición que ocupa la herramienta en dicho momento.
- **Z:** Definición de la posición del plano de referencia. El control se desplazará en movimiento G00 hasta este plano y G01 a partir de él. Podrá programarse en cotas absolutas o incrementales, en cuyo caso estará referido al plano de partida. Si no se programa, el CNC tomará como plano de referencia la posición que ocupa la herramienta en dicho momento.
- **I:** Definición de la profundidad del taladro. Puede programarse en cotas absolutas o incrementales con respecto al plano de referencia.
- **K:** Tiempo de espera: Definición del tiempo de espera, en centésimas de segundo, tras cada paso de taladrado hasta que comienza el retroceso. Es opcional.
- **F S:** Definición de parámetros de avance y giro de la herramienta, en caso de ser necesario definirlos.
- **N:** Número de repeticiones del ciclo.

El ciclo empieza bajando desde el plano de partida hasta el plano de referencia en velocidad G00, a partir de ese punto trabajará en G01 hasta alcanzar la longitud total. A continuación, subirá en G00 hasta el plano de referencia o de partida, según se tenga programado G98 o G99, Figura 7.1. Si se desean realizar más agujeros idénticos, no es necesario programar de nuevo el ciclo, pues desplazándose tan solo por el plano activo, al alcanzar la posición solicitada realizará de nuevo un taladro, así sucesivamente hasta que se programe un G80 o cualquier otro ciclo.

En el ejemplo 7.1 se muestran dos formatos de programación para el mismo ciclo de taladrado con G81. En la primera variante se define el ciclo y se repite cinco veces utilizando la sentencia RPT. En la segunda variante, más directa y, aprovechando el uso de coordenadas incrementales, no se hace uso de la sentencia RPT.

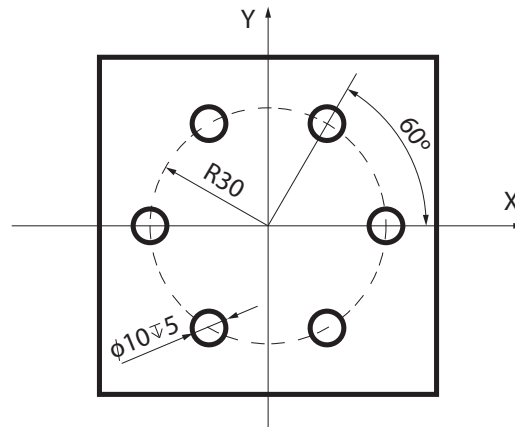
Ejemplo 7.1: Aplicación de un ciclo G81

Utilizando la función RPT:

N10 G90 G94 G40
 N20 T1 D1; Broca D=10 mm
 N30 G00 G90 G43 Z5 S1000 M03
 N40 G81 G98 X30 Y0 Z2 I-5 F200
 N50 G73 Q60; Rotación de los ejes
 N60 (RPT N40,N50) N5
 N70 G80; Fin del ciclo
 N80 G0 Z30
 N90 M30

Sin utilizar la función RPT:

N10 G90 G94 G40
 N20 T1 D1; Broca D=10 mm
 N30 G00 G90 G43 Z5 S1000 M03
 N40 G81 G98 X30 Y0 Z2 I-5 F200
 N50 G91 Q30 N5
 N60 G80; Fin del ciclo
 N70 G0 Z30
 N80 M30



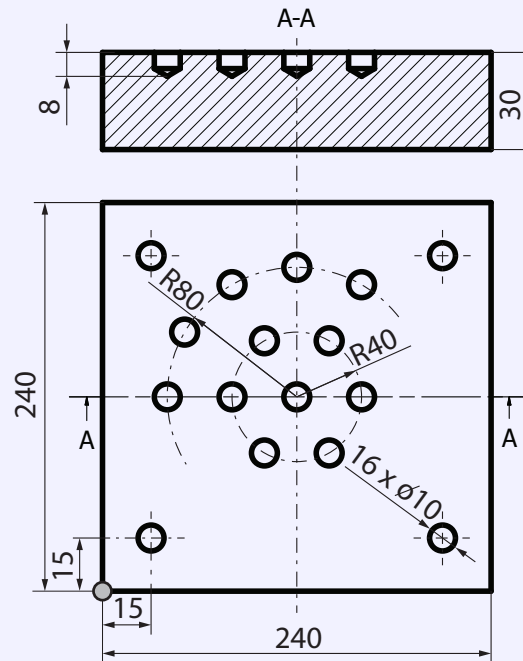
Las condiciones de utilización son las siguientes:

- La función G81 es modal y se anula con la función G80.
- En caso de no indicar ningún valor de N, el control entenderá 1 por defecto.
- Los valores serán incrementales o absolutos según se programe G90 o G91.
- La coordenada se puede programar en coordenadas cartesianas o polares.
- Es obligatorio programar la cota Z.

Se propone el ejercicio 7.1 para poner en práctica la programación del ciclo fijo de taladrado con la función G81.

Ejercicio 7.1

Realizar el código CNC para fabricar los taladros siguientes. Debe aplicarse un avance de 50 mm/min y una velocidad de giro de la broca de 1000 rpm. La superficie superior del tocho es Z0.



7.3 | G83: Ciclo fijo de taladrado profundo

Este ciclo, definido por la función **G83**, se utiliza para la realización de agujeros profundos o para realizar taladros con brocas de gran diámetro que necesitan refrigerar cada cierto tiempo o recorrido. El control realiza sucesivos pasos de taladrado hasta alcanzar la cota final programada. Tras cada paso de taladrado, la herramienta retrocede al plano de referencia, Figura 7.2.

La estructura básica de programación es

```
▶ N G83 G98/G99 G00/G01 G90/G91 X Y Z I J N
```

Los parámetros definidos en la programación son:

- **G98/G99:** Definición del plano de retroceso hasta el plano de partida (G98) o el plano de referencia (G99), una vez realizado el taladro.
- **G00/G01 G90/G91:** Funciones preparatorias en caso de ser necesario añadirlas.

- **X Y:** Definición de las coordenadas de mecanizado. Son opcionales y definen el desplazamiento de los ejes del plano principal para posicionar la herramienta en el punto de mecanizado. Pueden definirse en coordenadas cartesianas o polares, en sistema absoluto o incremental. Si no se programa, el CNC tomará como plano de referencia la posición que ocupa la herramienta en dicho momento.
- **Z:** Definición de la posición del plano de referencia. El control se desplazará en movimiento G00 hasta este plano y G01 a partir de él. Podrá programarse en cotas absolutas o incrementales, en cuyo caso estará referido al plano de partida. Si no se programa, el CNC tomará como plano de referencia la posición que ocupa la herramienta en dicho momento.
- **I:** Definición de la profundidad del taladro según el eje longitudinal. Indica la longitud que la broca baja antes de subir a refrigerar.
- **J:** Definición de los pasos de taladrado. Indica el número de pasos en los que se realiza el agujero. Por ejemplo, si se desea realizar un taladro de 20 mm de profundidad y el paso de la herramienta es de 5mm, el valor de J debe ser de 4.
- **N:** Número de repeticiones del ciclo.

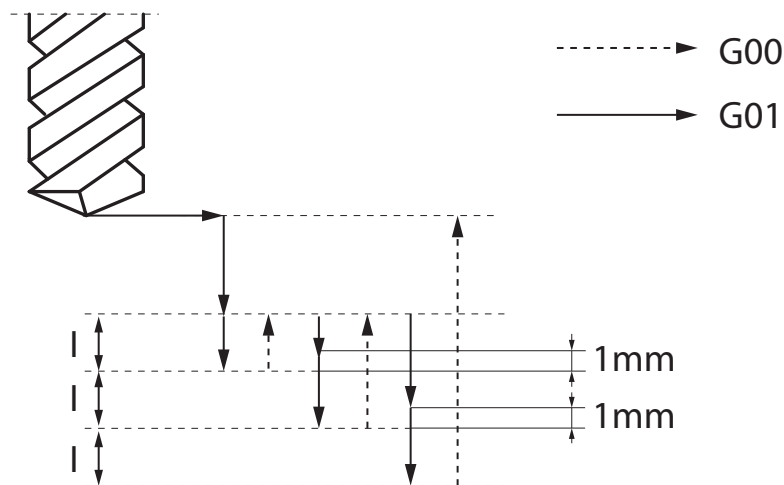


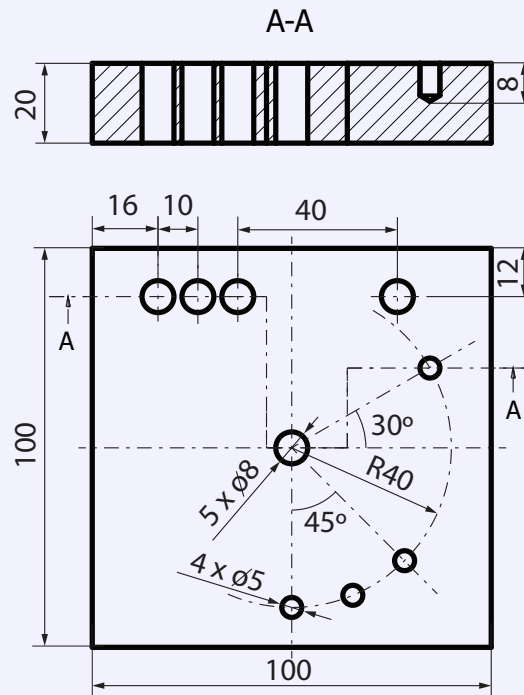
Figura 7.2. Ciclo fijo de taladrado profundo.

Las condiciones de utilización son similares a las detalladas para el ciclo G81.

Se propone el ejercicio 7.2 para practicar la programación del ciclo fijo de taladrado profundo con G83.

Ejercicio 7.2

Realizar el código CNC para fabricar los taladros siguientes. Debe aplicarse un avance de 50 mm/min y una velocidad de giro de la broca de 1000 rpm. La superficie superior del tocho es Z0. Deben utilizarse dos brocas de diámetro 8 mm y 5 mm, respectivamente.



7.4 | G84: Ciclo fijo de roscado con macho

El ciclo definido por la función **G84** se utiliza para realizar un roscado con macho de roscar sobre un agujero ya taladrado previamente.

El formato de programación del ciclo es

▶ N G84 G98/G99 G00/G01 G90/G91 X Y Z I K R J B H N

Los parámetros correspondientes a este ciclo se detallan a continuación:

- **G98/G99**: Definición del plano de retroceso hasta el plano de partida (G98) o el plano de referencia (G99), una vez realizado el taladro.
- **G00/G01 G90/G91**: Funciones preparatorias en caso de ser necesario añadirlas.
- **X Y**: Definición de las coordenadas de mecanizado. La herramienta se desplazará a esta posición, manteniendo el eje Z en la posición actual. Posteriormente se moverá en movimiento G00 hasta la cota definida por Z para, seguidamente, realizar el roscado en movimiento G01.

- **Z:** Definición del plano de referencia.
- **I:** Definición de la profundidad de roscado. Puede programarse en cotas absolutas o incrementales con respecto al plano de referencia.
- **K:** Definición del tiempo de espera en el fondo expresado en segundos. Es aconsejable indicar el valor recomendado por el fabricante.
- **R:** Definición del tipo de roscado. R0 efectuará un roscado normal y R1 efectuará un roscado rígido (avance de retroceso controlado por el parámetro J).
- **J:** Definición del factor de avance en el retroceso. Con roscado rígido, el avance de retroceso será J veces el avance de roscado. Si no se programa, ambos avances coinciden.
- **B:** Definición del paso de profundización en el roscado con desalajo (solo para R1). Este parámetro permite ejecutar el ciclo en varias pasadas, retrocediendo una distancia tras cada una de ellas (H) para evacuar la viruta. Si no se programa, el control ejecuta el ciclo en una única pasada.
- **H:** Definición de la distancia de retroceso tras cada paso de profundización (solo para R1). Si no se programa o se programa valor cero, la herramienta retrocede hasta el plano de referencia.

Las condiciones de utilización son similares a las detalladas para el ciclo G81. El ciclo de roscado empieza bajando desde el plano de partida hasta el plano de referencia en velocidad G00, a partir de ese punto trabajará en G01 hasta alcanzar la longitud total.

Si se ha programado algún valor en "K", se detendrá hasta que pase el tiempo solicitado, a continuación, cambiará el sentido de giro del cabezal y subirá en G00 hasta el plano de referencia o de partida, según se tenga programado G98 o G99. Si se utiliza un roscado rígido $R = 1$, el avance en el retroceso se realiza a velocidad controlada por el parámetro J, normalmente igual a 1.

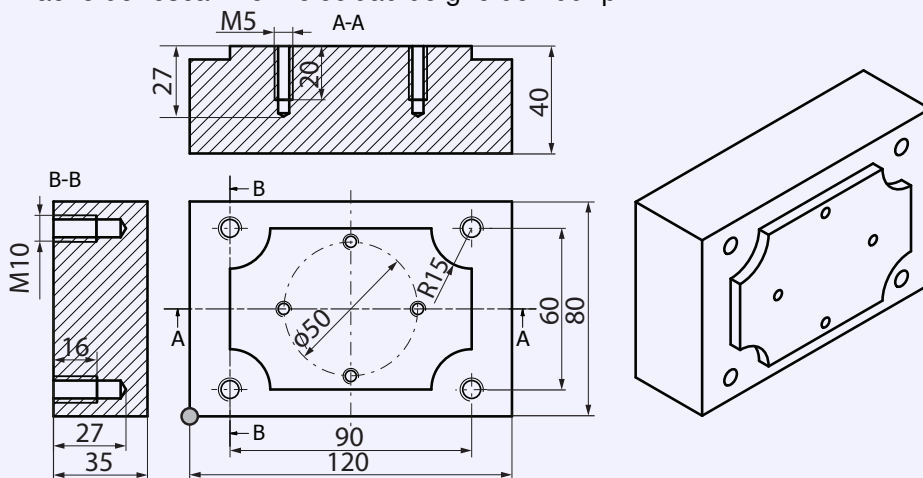
Además, cuando se realizan roscados con macho, se debe seleccionar una broca para el taladrado previo que sea compatible con la operación de roscado. Es decir, el agujero será siempre inferior al diámetro exterior de la rosca. Como regla general, el diámetro de la broca, D_b , vendrá definido por el diámetro del macho, D_m , y el paso de la rosca, p , según $D_b = D_m - p$.

Se propone el ejercicio 7.3 para practicar la función G84. Además, en el ejercicio es necesario utilizar la función G83 para realizar los taladros previos al roscado.

Ejercicio 7.3

Realizar el código CNC para fabricar la siguiente pieza. Las herramientas disponibles son:

- Fresa de 25 mm de diámetro: velocidad de giro de 2000 rpm, velocidad de avance de 100 mm/min y profundidad de pasada de 2 mm.
- Broca de 4,5 mm de diámetro: velocidad de giro de 1000 rpm, velocidad de avance de 50 mm/min.
- Broca de 9,5 mm de diámetro: velocidad de giro de 1000 rpm, velocidad de avance de 50 mm/min
- Macho de roscar M10: velocidad de giro de 200 rpm.
- Macho de roscar M5: Velocidad de giro de 200 rpm.



7.5 | G85: Ciclo fijo de escariado

Este ciclo, definido por la función **G85**, es similar al ciclo G81, con la salvedad de que la subida al plano correspondiente (G98 o G99) se realiza en movimiento de trabajo (G01), en lugar de a velocidad rápida (G00). Las condiciones de utilización son similares a las detalladas para el ciclo G81. Se utiliza para realizar un proceso de escariado, donde interesa que la salida del escariador se realice de forma controlada para conseguir el acabado adecuado en el interior del agujero

7.6 | G87: Ciclo fijo de cajera rectangular

El ciclo definido por la función **G87** permite realizar cajeras rectangulares de paredes perpendiculares con cualquier dimensión y profundidad, dentro de los límites de mecanizado de la máquina, Figura 7.3. También es aplicable para planear caras, especialmente cuando se trata de piezas grandes. Naturalmente, la esquinas de la cajera quedarán con un radio, como mínimo, igual al de la herramienta a utilizar. Permite programar, además de la profundidad de pasada y avance de fresado, una última pasada de acabado en distintas condiciones.

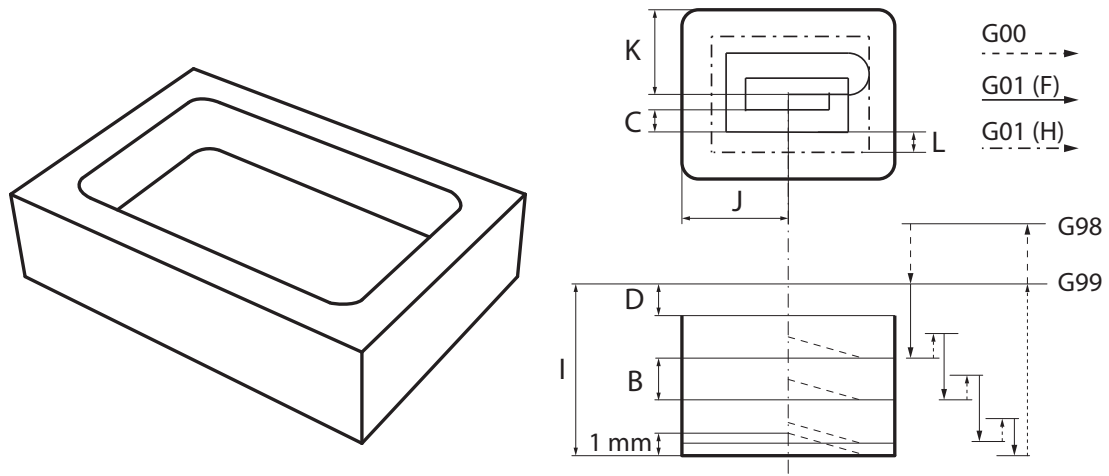


Figura 7.3. Ciclo de caja rectangular.

El formato de la programación es

► N G87 G98/G99 G00/G01 G90/G91 X Y Z I J K B C D H L V N

Al igual que el resto de ciclos fijos, la función G87 es modal y se anula con la función G80. Los parámetros de este ciclo son los siguientes:

- **G98/G99:** Definición del plano de retroceso hasta el plano de partida (G98) o el plano de referencia (G99), una vez realizada la caja.
- **G90/G91:** Funciones preparatorias en caso de ser necesario añadirlas.
- **X Y:** Definición de las coordenadas del centro de la caja en el plano de trabajo activo. La herramienta se desplazará a esta posición, manteniendo el eje Z en la posición actual. Posteriormente se moverá en movimiento G00 hasta la cota definida por Z para, seguidamente, realizar la caja.
- **Z:** Definición de la posición del plano de referencia. El control se desplazará en movimiento G00 hasta este plano y G01 a partir de él. Podrá programarse en cotas absolutas o incrementales, en cuyo caso estará referido al plano de partida. Si no se programa, el CNC tomará como plano de referencia la posición que ocupa la herramienta en dicho momento, Figura 7.4.
- **I:** Definición de la profundidad total de la caja, indicado en sistema incremental o absoluto. Se indica el valor total como si se le indicara al eje Z. La división de las diferentes pasadas a realizar las calculará el ciclo automáticamente, Figura 7.4.

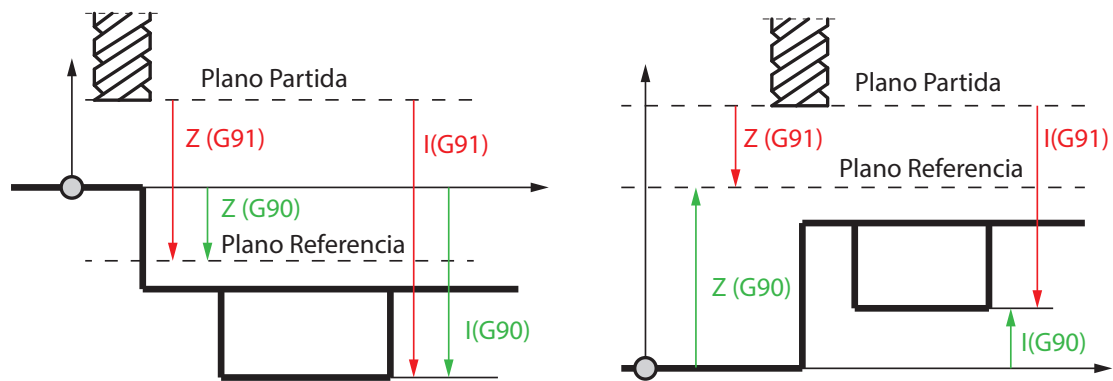


Figura 7.4. Definición del plano de referencia y profundidad de la caja.

- **J:** Definición de la longitud de la mitad del lado horizontal del rectángulo, es decir, la distancia desde el centro hasta la pared según el eje X, Figura 7.5. El sentido de fresado dependerá de si se ha programado signo positivo o negativo. En caso positivo, mecanizará desde el centro hacia la derecha. En caso negativo, desde el centro hacia la izquierda.
- **K:** Definición de la longitud de la mitad del lado vertical del rectángulo. Es decir, la distancia desde el centro hasta la pared de la caja según el eje Y, Figura 7.5. Siempre se define con valor positivo.

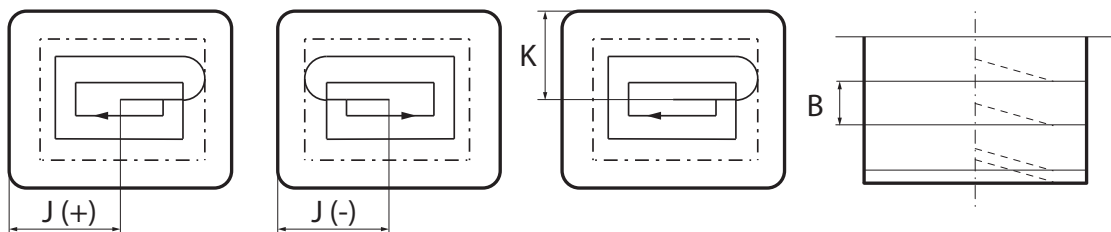


Figura 7.5. Definición del tamaño de la caja y paso de profundidad.

- **B:** Definición del paso de profundización. Indica la pasada máxima que se realizará en sentido vertical, Figura 7.5. Si se programa con signo positivo, el ciclo recalcula el paso para que todas las pasadas sean iguales, con valor igual o inferior al programado. Si se programa con signo negativo, la caja se mecaniza con el paso dado, excepto el último paso el que se mecaniza el sobrante.
- **C:** Definición del paso lateral. Indica la pasada lateral de la herramienta en el proceso de mecanizado, Figura 7.6. Este valor debe ser inferior al diámetro de la herramienta. Si no se programa o se programa el valor cero, se toma 3/4 del diámetro de la herramienta seleccionada. Si es igual al parámetro J o K, solo se realiza la pasada de acabado.

- **D:** Definición de la distancia entre el plano de referencia y la pieza. Si no se programa se asume el valor de 1 mm.
- **H:** Definición del avance de la pasada de acabado. Si no se programa o se programa con valor cero, se realizará con el mismo avance que el desbaste.
- **L:** Definición de la pasada de acabado en sentido lateral (demasiá). Indica el material que reservará el ciclo para realizar la pasada de acabado, Figura 7.6. La pasada de acabado se realizará iniciando el proceso con una entrada tangencial y finalizando con una salida tangencial para no dejar marcas de mecanizado, por lo que es muy importante haber definido previamente la herramienta T D. Si no se programa o se define el valor cero, no se realizará la pasada de acabado.
- **V:** Definición del avance de profundización de la herramienta. Si no se define o se indica el valor cero, se tomará el 50 % del avance en el plano (F).
- **N:** Número de repeticiones del ciclo.

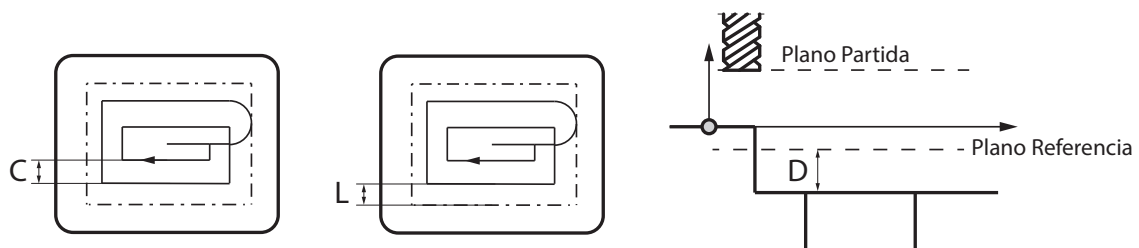


Figura 7.6. Definición de los parámetros C, D y L en el ciclo de caja rectangular.

A continuación se muestra el ejemplo 7.2 donde se observa la programación de la función G87 para el mecanizado de dos cajas.

Ejemplo 7.2: Aplicación del ciclo G87

N10 G90 G94 G40

N20 T1 D1

N30 G00 G90 G43 Z5 F200 S1000 M03

N40 G87 G98 X30 Y50 Z2 I-5 J20

K40 B2 C6 D2 H80 L0.5

N50 X90

N60 G80

N70 G0 Z30

N80 M30

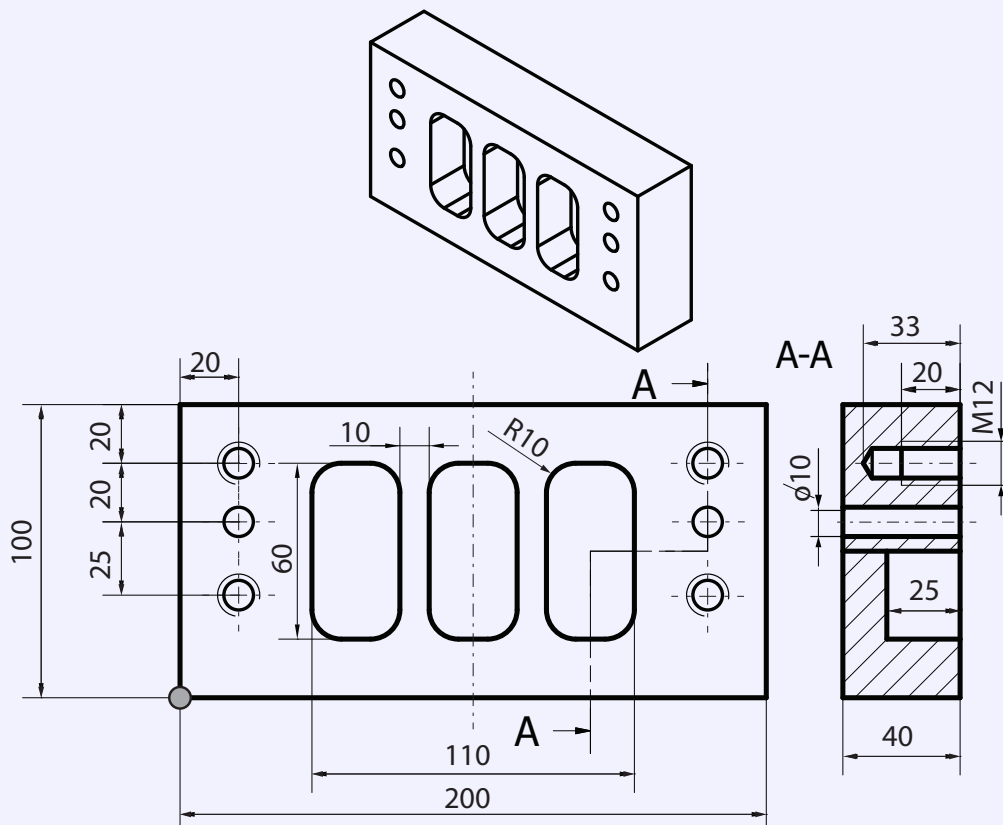


Se proponen los ejercicios 7.4 y 7.5 para practicar el uso combinado de ciclos fijos de cajera rectangular y ciclos fijos de taladrado y roscado. Obsérvese que, de manera habitual, se mecanizan cajas o taladros dentro de otras cajas, siendo importante referenciar correctamente las cotas de los planos de partida y de referencia para ahorrar tiempo y evitar colisiones.

Ejercicio 7.4

Realizar el código CNC para fabricar la siguiente pieza. Las herramientas disponibles son:

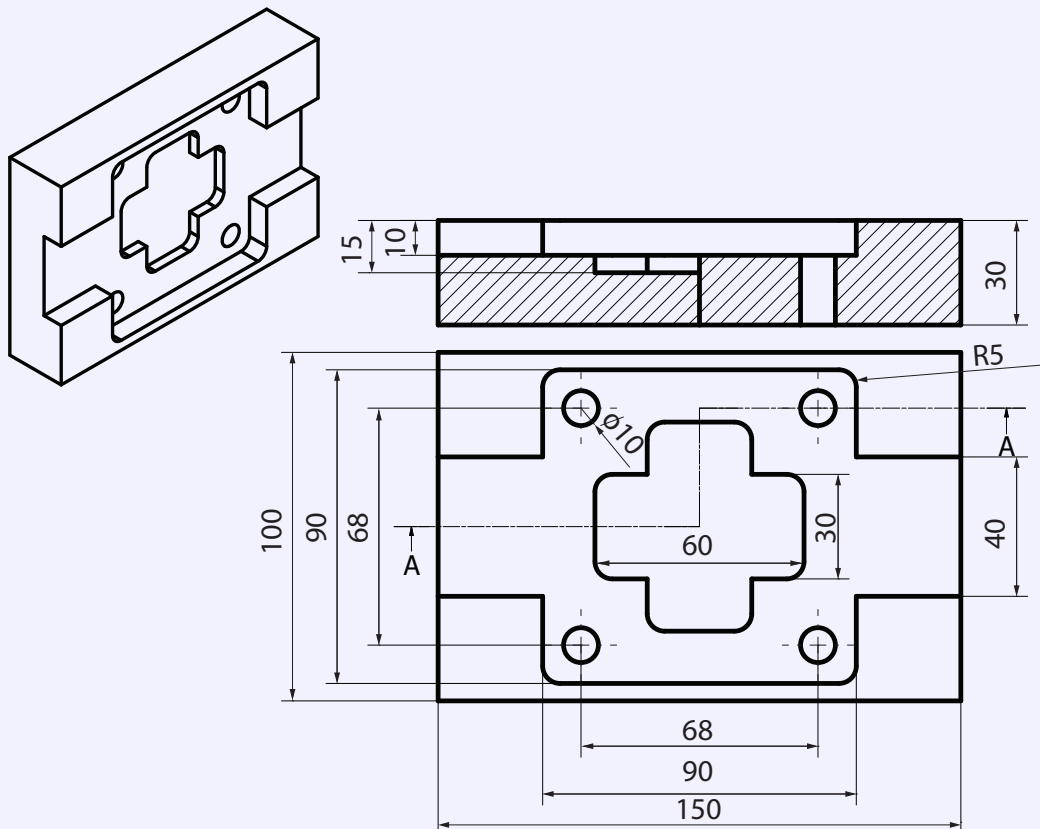
- Fresa de 20 mm de diámetro: velocidad de giro de 2000 rpm, velocidad de avance de 100 mm/min y profundidad de pasada de 2 mm.
- Broca de 10 mm de diámetro: velocidad de giro de 1000 rpm, velocidad de avance de 50 mm/min.
- Broca de 11,5 mm de diámetro: velocidad de giro de 1000 rpm, velocidad de avance de 50 mm/min
- Macho de roscar M12: velocidad de giro de 200 rpm.



Ejercicio 7.5

Realizar el código CNC para fabricar la siguiente pieza. Las herramientas disponibles son:

- Fresa de 10 mm de diámetro: velocidad de giro de 2000 rpm, velocidad de avance de 100 mm/min y profundidad de pasada de 2 mm.
- Broca de 10 mm de diámetro: velocidad de giro de 1000 rpm, velocidad de avance de 50 mm/min.



7.7 | G88: Ciclo fijo de cajera circular

El ciclo definido por la función **G88** se utiliza para mecanizar cajeras circulares de paredes perpendiculares al plano de trabajo, de cualquier dimensión y profundidad dentro de los límites de mecanizado de la máquina, Figura 7.7.

El formato de la programación es

▶ N G88 G98/G99 X Y Z I J B C D H L V N

Al igual que el resto de ciclos fijos, la función G88 es modal y se anula con la función G80. Los parámetros de este ciclo son los siguientes:

- **G98/G99:** Definición del plano de retroceso hasta el plano de partida (G98) o el plano de referencia (G99), una vez realizada la cajera.

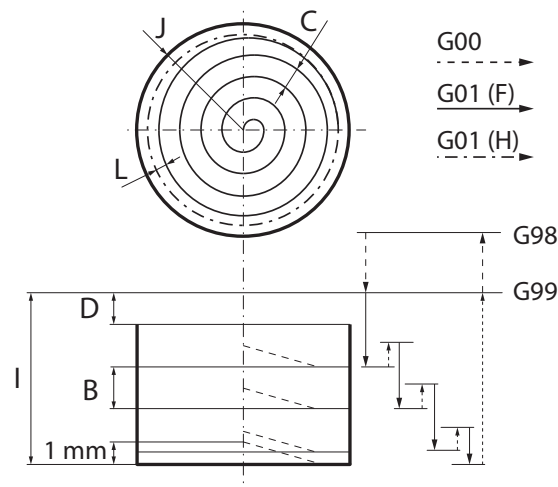


Figura 7.7. Ciclo de cajera circular.

- **G90/G91:** Funciones preparatorias en caso de ser necesario añadirlas.
- **X Y:** Definición de las coordenadas del centro de la cajera en el plano de trabajo activo. La herramienta se desplazará a esta posición, manteniendo el eje Z en la posición actual. Posteriormente se moverá en movimiento G00 hasta la cota definida por Z para, seguidamente, realizar la cajera.
- **Z:** Definición de la posición del plano de referencia. El control se desplazará en movimiento G00 hasta este plano y G01 a partir de él. Podrá programarse en cotas absolutas o incrementales, en cuyo caso estará referido al plano de partida. Si no se programa, el CNC tomará como plano de referencia la posición que ocupa la herramienta en dicho momento, Figura 7.4.
- **I:** Definición de la profundidad total de la cajera, indicado en sistema incremental o absoluto. Se indica el valor total como si se le indicara al eje Z. La división de las diferentes pasadas a realizar las calculará el ciclo automáticamente, Figura 7.7.
- **J:** Definición del radio de la cajera. El sentido de fresado dependerá de si se programa el signo positivo (horario) o negativo (antihorario), Figura 7.8.
- **B:** Definición del paso de profundización. Indica la pasada máxima que se realizará en sentido vertical, Figura 7.7. Si se programa con signo positivo, el ciclo recalcula el paso para que todas las pasadas sean iguales, con valor igual o inferior al programado. Si se programa con signo negativo, la cajera se mecaniza con el paso dado, excepto el último paso el que se mecaniza el sobrante.

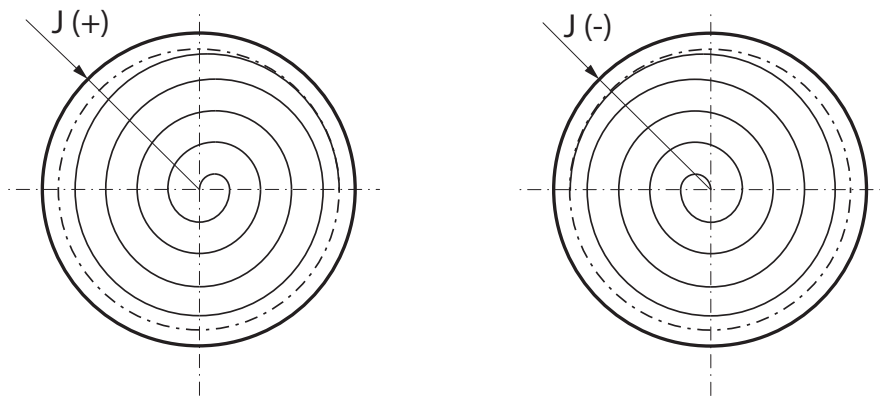


Figura 7.8. Definición del radio de la cajera y sentido de mecanizado.

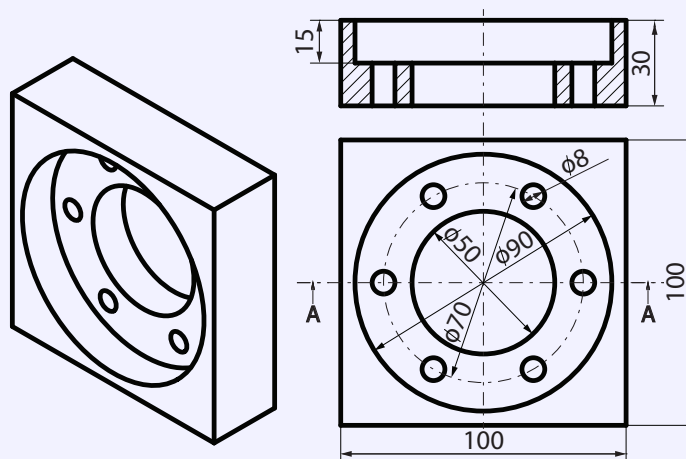
- **C:** Definición del paso lateral. Indica la pasada lateral de la herramienta en el proceso de mecanizado, Figura 7.7. Este valor debe ser inferior al diámetro de la herramienta. Sin o se programa o se programa el valor cero, se toma 3/4 del diámetro de la herramienta seleccionada. Si es igual al parámetro J o K, solo se realiza la pasada de acabado.
- **D:** Definición de la distancia entre el plano de referencia y la pieza. Si no se programa se asume el valor de 1 mm.
- **H:** Definición del avance de la pasada de acabado. Si no se programa o se programa con valor cero, se realizará con el mismo avance que el desbaste.
- **L:** Definición de la pasada de acabado en sentido lateral (demasiá). Indica el material que reservará el ciclo para realizar la pasada de acabado, Figura 7.7. La pasada de acabado se realizará iniciando el proceso con una entrada tangencial y finalizando con una salida tangencial para no dejar marcas de mecanizado, por lo que es muy importante haber definido previamente la herramienta T D. Si no se programa o se define el valor cero, no se realizará la pasada de acabado.
- **V:** Definición del avance de profundización de la herramienta. Si no se define o se indica el valor cero, se tomará el 50 % del avance en el plano (F).
- **N:** Número de repeticiones del ciclo.

Se proponen los ejercicios 7.6 y 7.7 para aplicar conjuntamente ciclos de cajeras circulares y rectangulares y ciclos de taladrado. Obsérvese como es posible aplicar los ciclos de cajera circular y rectangular conjuntamente, a distintos niveles de profundidad, lo que incrementa la versatilidad del código para el mecanizado de piezas complejas.

Ejercicio 7.6

Realizar el código CNC para fabricar la siguiente pieza a partir de un tocho de 100 mm x 100 mm x 30 mm. Las herramientas disponibles son:

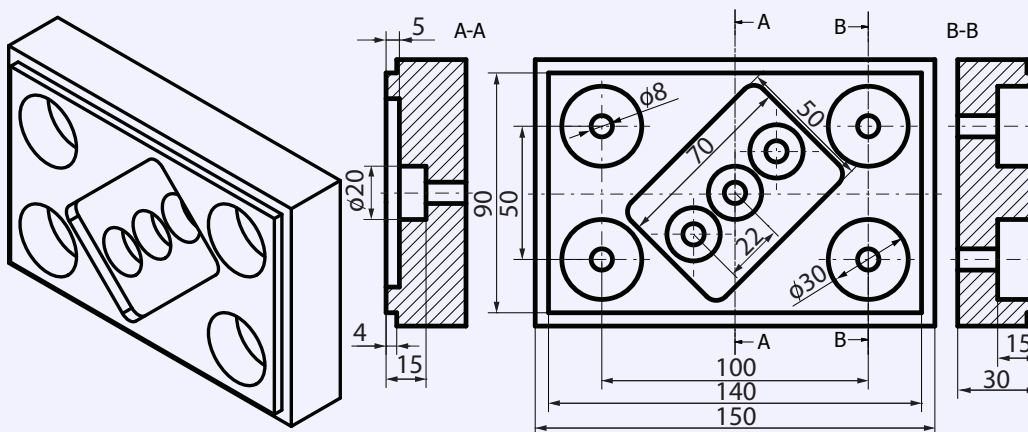
- Fresa de 10 mm de diámetro: velocidad de giro de 2000 rpm, velocidad de avance de 100 mm/min y profundidad de pasada de 2 mm.
- Broca de 8 mm de diámetro: velocidad de giro de 1000 rpm, velocidad de avance de 50 mm/min.



Ejercicio 7.7

Realizar el código CNC para fabricar la siguiente pieza. Las herramientas disponibles son:

- Fresa de 10 mm de diámetro: velocidad de giro de 2000 rpm, velocidad de avance de 100 mm/min y profundidad de pasada de 2 mm.
- Broca de 8 mm de diámetro: velocidad de giro de 1000 rpm, velocidad de avance de 50 mm/min.



• **Ejercicio 2.**

Realizar el código para mecanizar la pieza siguiente a partir de un tocho de 200 mm x 150 mm x 36 mm. El cero pieza será tomado en la esquina inferior izquierda según el plano XY, quedando Z0 situado en el plano superior del tocho. Las condiciones de corte son: velocidad de giro del husillo de 1500 rpm, velocidad de avance de 150 mm/min y profundidad de corte de 2 mm.

Las herramientas disponibles son:

- Fresa plana de 10 mm de diámetro.
- Fresa plana de 6 mm de diámetro.
- Broca de 6 mm de diámetro.

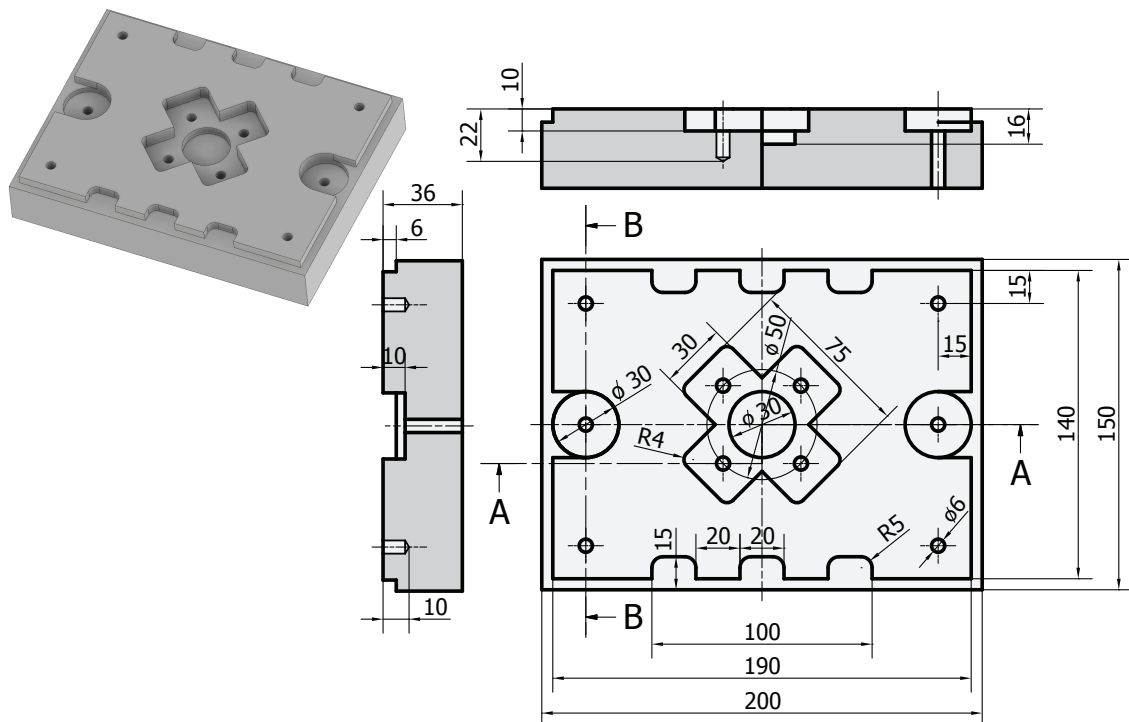


Figura 8.2. Ejercicio complementario para fresadora 2.

• **Ejercicio 3.**

Realizar el código para mecanizar la pieza siguiente a partir de un tocho de 100 mm x 100 mm x 15 mm. El cero pieza será tomado en la esquina inferior izquierda según el plano XY, quedando Z0 situado en el plano superior del tocho. Las condiciones de corte son: velocidad de giro del husillo de 3500 rpm, velocidad de avance de 100 mm/min y profundidad de corte de 1 mm.

Las herramientas disponibles son:

- Fresa plana de 10 mm de diámetro.
- Fresa plana de 4 mm de diámetro.
- Broca de 4 mm de diámetro.

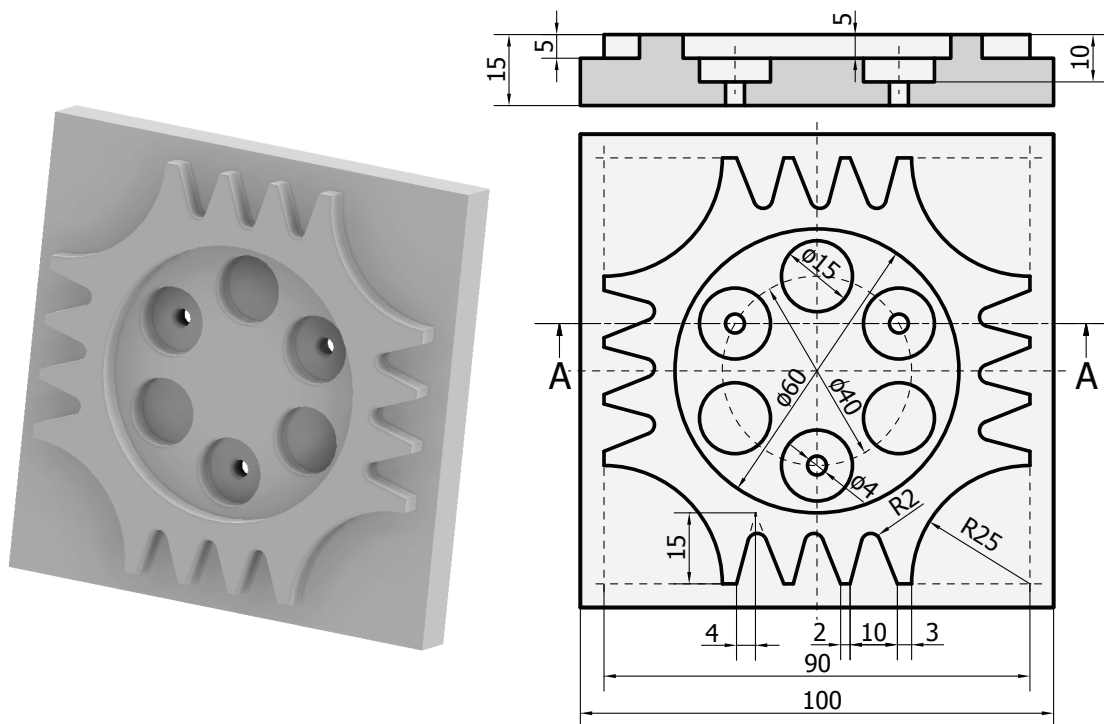


Figura 8.3. Ejercicio complementario para fresadora 3.

• **Ejercicio 4.**

Realizar el código para mecanizar la pieza siguiente a partir de un tocho de 180 mm x 180 mm x 10 mm. El cero pieza será tomado en la esquina inferior izquierda según el plano XY, quedando Z0 situado en el plano superior del tocho. Las condiciones de corte son: velocidad de giro del husillo de 3000 rpm, velocidad de avance de 150 mm/min y profundidad de corte de 2 mm.

Las herramientas disponibles son:

- Fresa plana de 10 mm de diámetro.
- Broca de 5 mm de diámetro.

Se sugiere aplicar el traslado del origen polar y el giro del sistema de coordenadas, junto con la generación de una subrutina para reducir el número de líneas de programación necesarias.

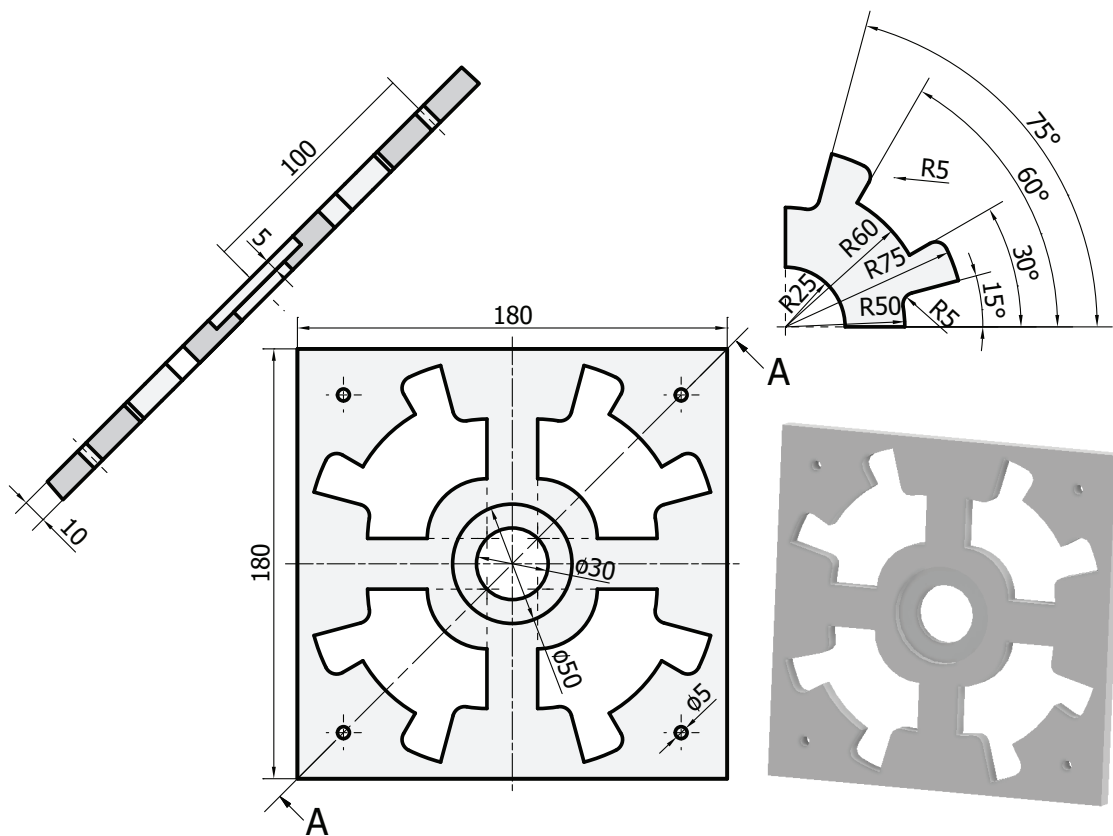


Figura 8.4. Ejercicio complementario para fresadora 4.

• Ejercicio 5.

Realizar el código para mecanizar la pieza siguiente a partir de un tocho de 190 mm x 190 mm x 5 mm. El cero pieza será tomado en el centro del tocho según el plano XY, quedando Z0 situado en el plano superior del mismo. Las condiciones de corte son: velocidad de giro del husillo de 2000 rpm, velocidad de avance de 150 mm/min y profundidad de corte de 2 mm.

Las herramientas disponibles son:

- Fresa plana de 10 mm de diámetro.
- Broca de 5 mm de diámetro.

Se sugiere utilizar una programación con subrutinas paramétricas y aplicar las funciones espejo para reducir el número de líneas de programa necesarias.

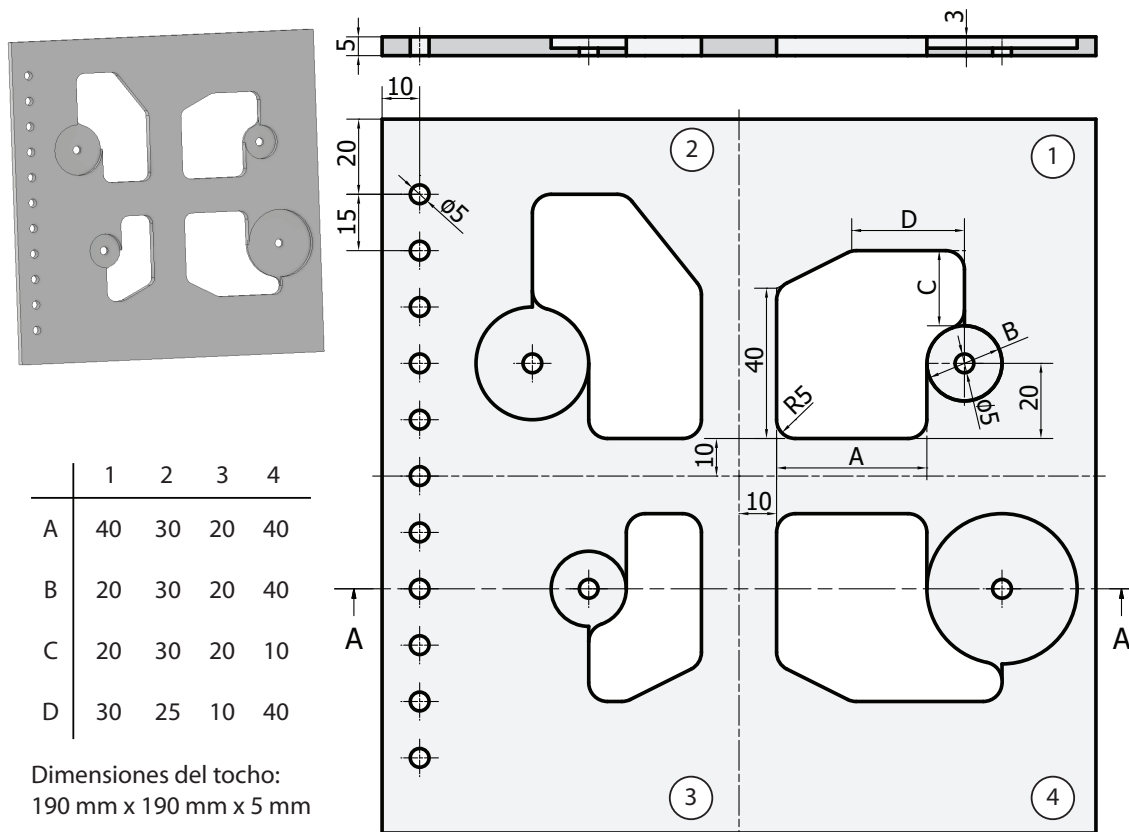


Figura 8.5. Ejercicio complementario para fresadora 5.

PARTE

3

PROGRAMACIÓN PARA TORNO CNC

CONSIDERACIONES EN LA PROGRAMACIÓN PARA TORNO CNC

La mayoría de órdenes vistas anteriormente para la programación en fresadora son aplicables para la programación en torno. Las funciones G normalmente aplicadas en la cabecera de un programa (G90, G71, G94...) recogidas en la Tabla 2.1 y las funciones auxiliares (M05, M05, M30...) recogidas en la Tabla 2.2 tienen el mismo significado. Además, las instrucciones de movimiento (G00, G01, G02, G36...), la identificación de la herramienta (T,D), la definición de velocidades de avance, F, y giro, S, también se aplican de manera similar. No obstante, en el control Fagor 8055 T no es necesario aplicar la función M06 para el cambio de herramienta, basta con indicar T y D.

Las diferencias principales se encuentran en que el torno es una máquina de dos ejes (X, Z), frente a los tres ejes de una fresadora (X, Y, Z), lo que reduce el número de coordenadas de los puntos de la programación, Figura 3.1. La programación puede realizarse en coordenadas cartesianas (X,Z) o en coordenadas polares (R,Q), tanto en sistema absoluto o incremental, siguiendo los criterios anteriormente explicados para la programación en fresadora, Figura 9.1.

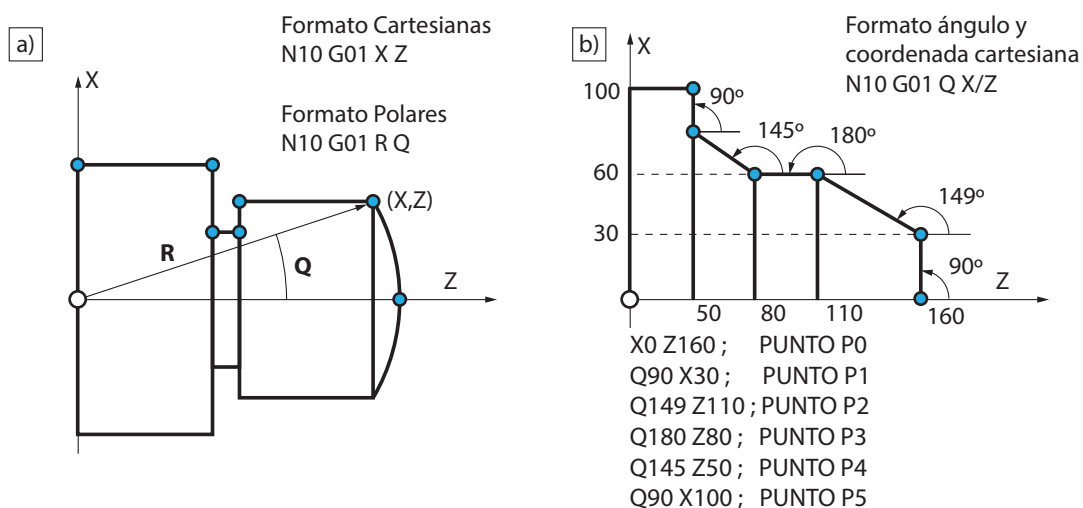


Figura 9.1. Definición de coordenadas en torno: a) Polares y b) Con ángulo de salida.

Sin embargo, en la programación para torno es útil también un tercer método para la definición de un punto mediante una de sus coordenadas cartesianas y el ángulo de salida de la trayectoria del punto anterior, Figura 9.1.

▶ N10 G1 Q X/Z

Donde Q representa el ángulo de salida de la trayectoria desde el punto anterior al punto que cuya coordenada se quiere definir. En función de la acotación se utilizará la coordenada X o Z conocida.

Además, es importante tener en cuenta algunas funciones adicionales para la cabecera del programa, así como consideraciones para la aplicación de las compensaciones y el uso de ciclos fijos, que se comentan en las secciones siguientes.

9.1 | Definición y limitación de la velocidad de giro de la pieza

Cuando se programa para torno CNC, la velocidad de giro del husillo, y por lo tanto de la pieza, puede definirse de dos maneras distintas utilizando las funciones modales G96 y G97 ya conocidas.

Cuando se trabaja con velocidad de corte constante, se definirá la función **G96**, indicando con el parámetro "S" la velocidad de corte en m/min. Con G96 activa, la maquina adaptará las revoluciones necesarias en cada momento, dependiendo de la posición radial de la herramienta. De este modo, la pieza girará más o menos rápido en cada instante, controlado automáticamente para asegurar siempre las mismas condiciones de corte.

Sin embargo, en un refrentado desde el exterior hasta el centro de la pieza, las revoluciones varían constantemente de forma incremental, lo que puede llevar a alcanzar altas revoluciones que supongan un riesgo en piezas de gran diámetro. Para evitar esto, se escribirá a continuación de G96 y en línea aparte la función **G92**, indicando al velocidad máxima de giro del cabezal, S, que no debe superarse.

▶ N30 G92 S

Recordemos que la función G92 además es útil para el traslado del origen de coordenadas, al igual que se utiliza para la programación en fresadora.

Si se define la función **G97**, se indicará con el parámetro "S" el valor de las revoluciones por minuto (rpm). Las funciones G96 y G97 son modales e incompatibles entre sí.

9.2 | Definición de la velocidad de avance de la herramienta

Al igual que para la programación en fresadora, la velocidad de avance de la herramienta se define utilizando las funciones **G94** y **G95** y mediante el parámetro "F". Estas funciones son modales e incompatibles entre sí:

- Función G94: Programación de la velocidad de avance en mm/min.
- Función G95: Programación de la velocidad de avance en mm/rev.

9.3 | Definición de coordenadas en diámetros o radios

En función de la acotación de la pieza, puede ser ventajoso realizar la programación utilizando diámetros o radios para el eje X (dirección radial). Para ello, se utilizan las funciones **G151** y **G152**:

- Función G151: Programación de las cotas del eje X en diámetros. Es la programación activa por defecto.
- Función G152: Programación de las cotas del eje X en radios.

Estas funciones son modales e incompatibles entre sí y pueden programarse en cualquier parte del programa. Se muestra la aplicación en el ejemplo 9.1 y, se puede practicar con el ejercicio 9.1.

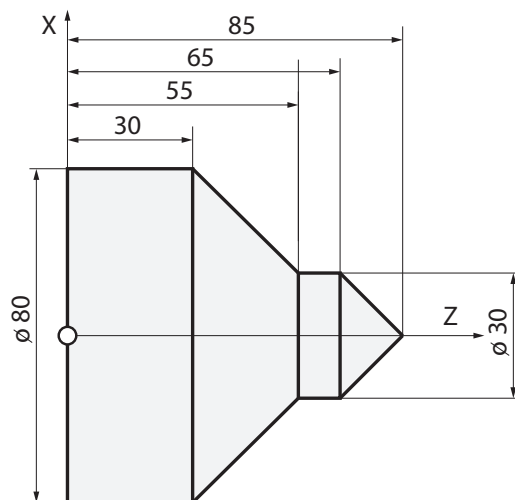
Ejemplo 9.1: Aplicación de un ciclo G81

Programación en radios

```
N10 G90 G95 G96 G152
N20 T1 D1
N30 F0.15 S180 M03
N40 G00 X50 Z100
N50 G01 X0 Z85
N60 X15 Z65
N70 Z55
N80 X40 Z30
N90 Z0
N100 G00 X50 Z100
N110 M30
```

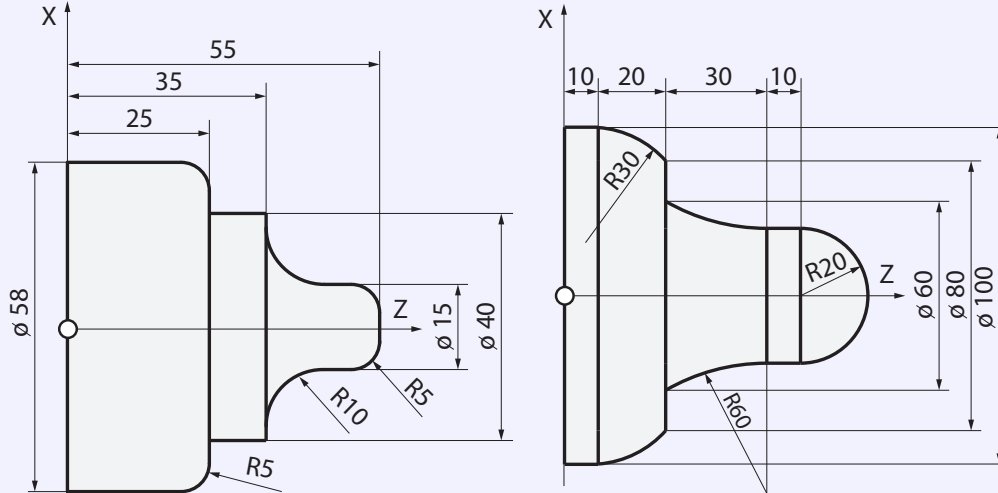
Programación en diámetros

```
N10 G90 G95 G96 G151
N20 T1 D1
N30 F0.15 S180 M03
N40 G00 X100 Z100
N50 G01 X0 Z85
N60 X30 Z65
N70 Z55
N80 X80 Z30
N90 Z0
N100 G00 X100 Z100
N110 M30
```



Ejercicio 9.1

Realizar el código para mecanizar los contornos de las siguientes piezas en un torno CNC. El avance es 0.1 mm/rev y la velocidad de corte constante es 200 m/min. Realizar la programación en diámetros. Activar la compensación de herramienta y desactivarla al final del mecanizado.



9.4 | Compensación de longitud de la herramienta

La compensación de longitud en torno se aplica siempre de manera automática por el CNC, sin necesidad de definir la función G43 (como ocurre en fresadora). Esto se realiza para compensar la diferencia de longitud entre las distintas herramientas programadas, teniendo en cuenta las dimensiones de los insertos y los portaherramientas. El control, cada vez que se selecciona una nueva herramienta, desplaza la torreta portaherramientas del torno para que la punta de la nueva herramienta ocupe la misma posición que la anterior, Figura 9.2, a partir de las dimensiones definidas en el corrector correspondiente.

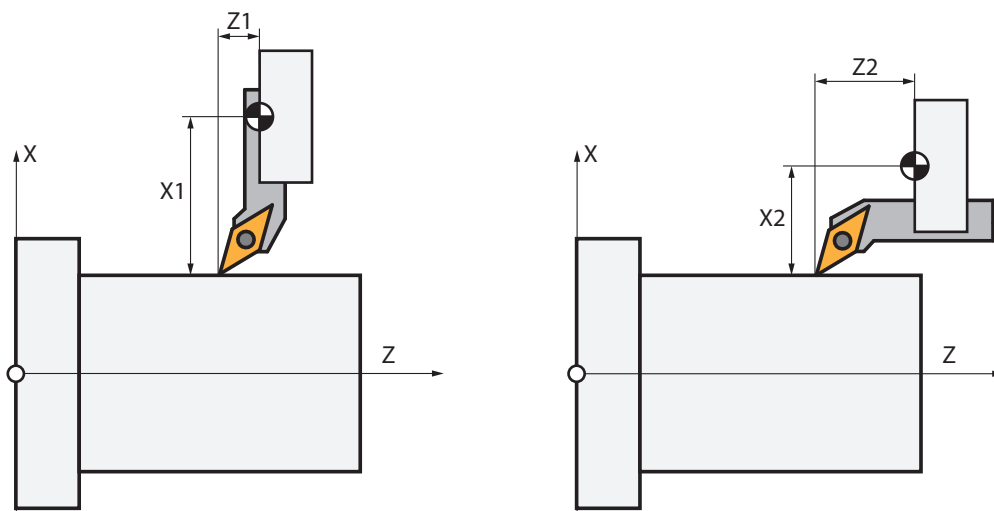


Figura 9.2. Compensación de longitud en torno.

9.5 | Compensación del radio de la herramienta

La compensación de radio sí debe programarse mediante las funciones **G41** y **G42**, y cancelarse con la función **G40**, teniendo el mismo procedimiento de uso y significado que para la programación en fresadora. Se debe tener especial cuidado en el inicio y final de la compensación, sobre todo cuando se trata de entrar en contacto con la pieza. Se mantienen las consideraciones de inicio y fin de compensación vistas para fresadora.

El CNC asume como punta teórica el punto P resultante de la intersección de las dos caras utilizadas para la calibración de la herramienta, Figura 9.3. Sin compensación de radio, la punta teórica recorre la trayectoria programada, 9.4. Al activar la compensación, el CNC tiene en cuenta el radio de punta y el factor de forma (colocación y orientación del inserto), calculando la trayectoria compensada para mecanizar la pieza programada de manera correcta, 9.4.

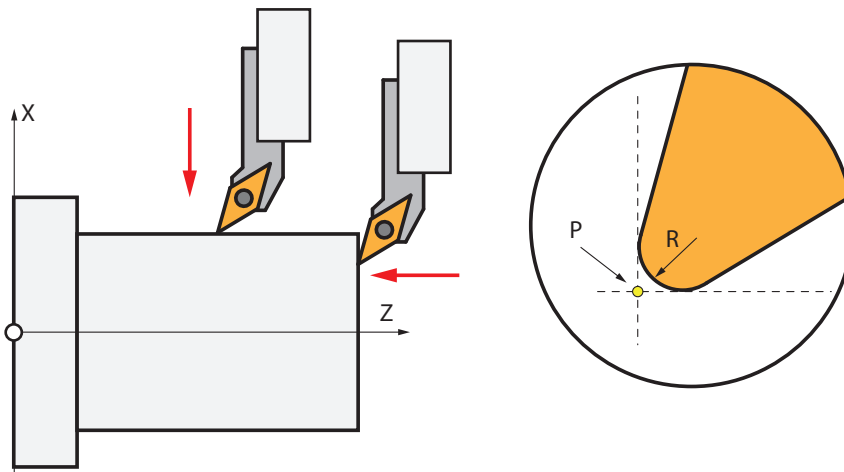


Figura 9.3. Procedimiento de calibración de la herramienta.

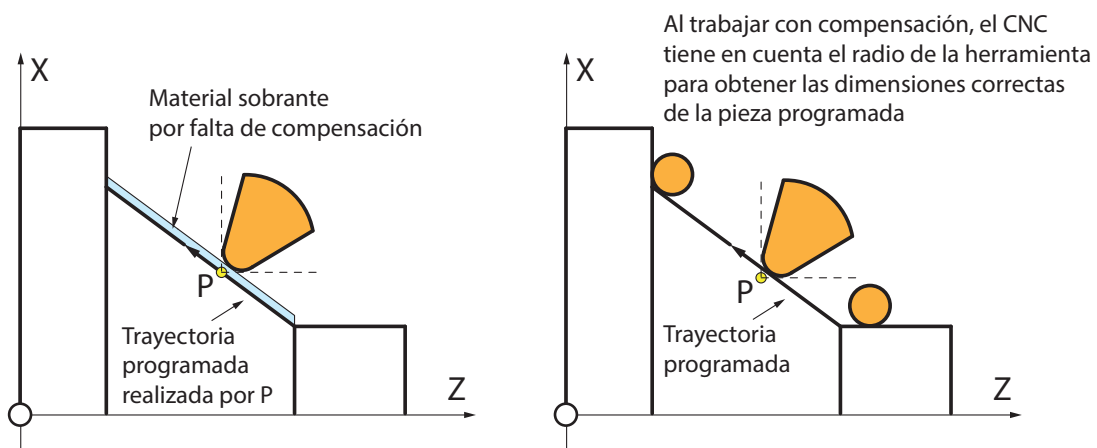


Figura 9.4. Diferencia en la trayectoria sin y con compensación de radio.

El recorrido de la punta teórica coincide, en parte, con el perfil programado en los cilindrados y refrentados (trayectorias horizontales y verticales), pero no coincide nunca con los tramos inclinados y curvos.

Como se ha comentado, la compensación de la herramienta se inicia activando las funciones G41 o G42:

- G41: Compensación de radio de herramienta a izquierdas, Figura 9.5.
- G42: Compensación de radio de herramienta a derechas, Figura 9.5.

En el mismo bloque en que se programa G41 o G42, o en uno anterior, debe haberse programado las funciones T y D o solo T, para seleccionar en la tabla de correctores el valor de corrección a aplicar. La selección de la compensación de radio de herramienta (G41 o G42) solo puede realizarse cuando están activas las funciones G00 o G01 (movimientos rectilíneos). Si la selección de la compensación se realiza estando activas G02 o G03, el CNC mostrará el error correspondiente.

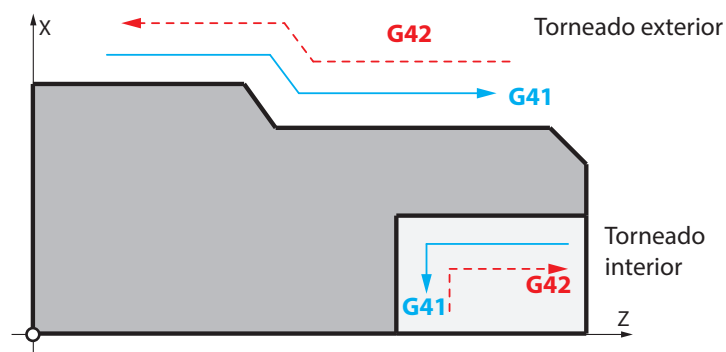


Figura 9.5. Compensación a izquierdas y derechas en torno.

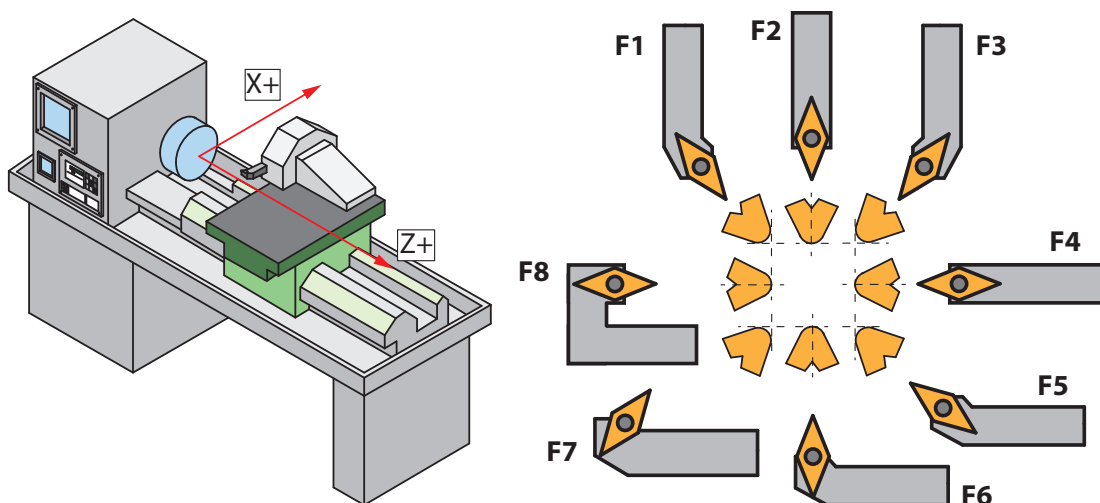


Figura 9.6. Factores de forma más comúnmente empleados en herramientas para torno.

Para que el CNC calcule correctamente la trayectoria compensada de la herramienta, es necesario que conozca el factor de forma de la misma. Este factor indica el tipo de herramienta y las caras que se han utilizado para su calibración. Depende de la posición de la herramienta y de la orientación de los ejes en la máquina. La Figura 9.6 muestra los factores de forma más comúnmente utilizados en un torno horizontal, que deben ser indicados en la tabla de herramientas, junto con las dimensiones del inserto.

Los factores de forma F1 y F3 son empleados para operaciones de cilindrado exterior, tanto de desbaste como de acabado, mientras que el factor F5 se utiliza para cilindrados interiores. A su vez, el factor F3 puede emplearse para ciclos de refrentado.

Cuando se programen operaciones de ranurado externo se utilizará un inserto con factor de forma F2. Por su parte, F6 se aplicará para la realización de ranuras internas. Estos factores también suelen emplearse para ciclos de roscado longitudinal, externo e interno, respectivamente.

Finalmente, el factor de forma F4 se aplicará para la realización de ciclos de roscado frontal. También se aplica para operaciones de taladrado y roscado con macho, definiendo como herramienta una broca o un macho de roscar, en su caso.

Además del factor de forma, el CNC debe conocer otras características geométricas de la herramienta, como el radio de punta, la longitud del filo o el ángulo de punta. Dada la amplia variedad de operaciones que se pueden realizar en un torno, existe un amplio catálogo de geometrías de herramientas de corte, Figura 9.7. Estos insertos de corte se clasifican según distintos criterios siguiendo la norma ISO 1832:2017. *Indexable inserts for cutting tools — Designation*. La forma estandarizada para definir la geometría del inserto es

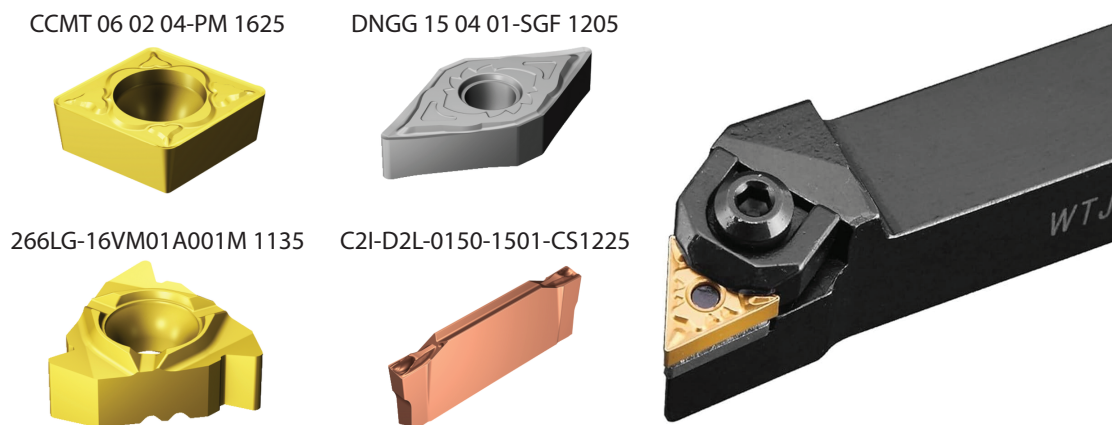
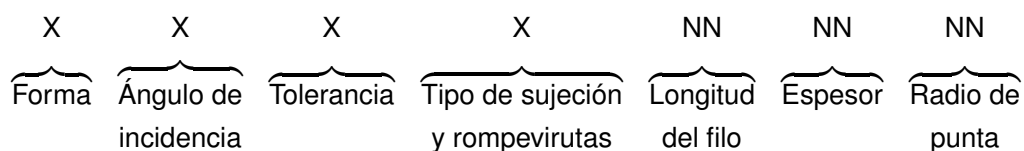


Figura 9.7. Insertos de corte para diferentes operaciones de torneado y montaje en un portaherramientas.

Las cuatro primeras letras indican la forma del inserto, Figura 9.8, el ángulo de incidencia, Figura 9.9, la tolerancia, y el tipo de sujeción y de rompevirutas. Las dos cifras siguientes definen la longitud del filo en milímetros, lo que determina el tamaño global del inserto. Las siguientes dos cifras indican el espesor del inserto y las dos últimas cifras definen el radio de punta del inserto, también en milímetros. A la hora de calcular las trayectorias, los parámetros más importantes son la forma del inserto y su colocación (factor de forma) y el radio de punta. Otros como el espesor de la plaquita, el tipo de sujeción y rompevirutas o la tolerancia sobre sus dimensiones no tienen efecto en el cálculo de trayectorias compensadas. Por esta razón, no se muestran los códigos para el resto de parámetros geométricos del inserto, que pueden consultarse en la norma ISO 1832:2017.

Por ejemplo, un inserto para cilindrado según la clasificación ISO es DCMT 11 03 08. Es decir, se trata de un inserto rómbico de 55° de ángulo de punta, 7° de ángulo de incidencia, 11 mm de longitud de filo y 0,8 mm de radio de punta.

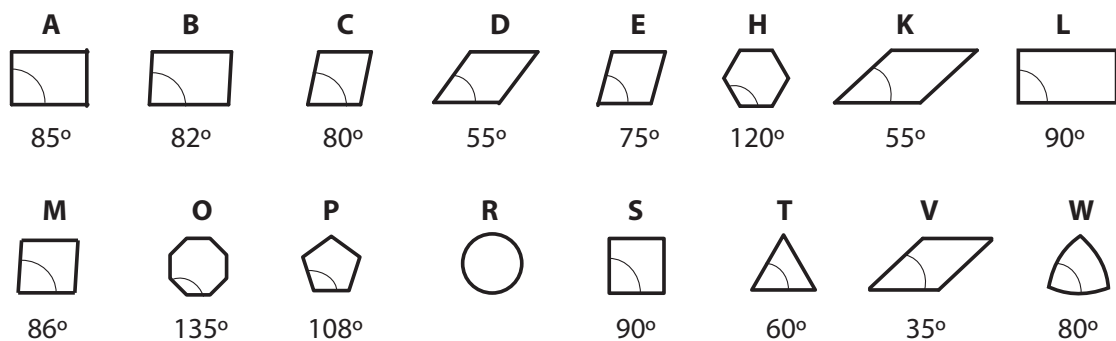


Figura 9.8. Forma de los distintos insertos de corte.

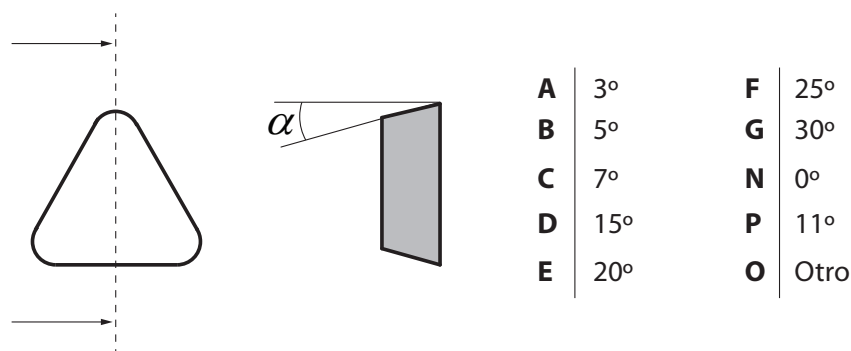


Figura 9.9. Ángulos de incidencia de los distintos insertos.

9.6 Ciclos fijos de torneado

Los programas de control numérico realizados para torno se caracterizan, principalmente, por la aplicación de ciclos fijos de operaciones de cilindrado, refrentado y contorneado, con los que es posible la obtención de prácticamente la totalidad de las piezas. Además, se dispone de ciclos para operaciones de roscado y ranurado, tanto internos como externos. Por ello, a

diferencia de los programas para fresadora, donde los ciclos de cajera y taladrado se utilizan para complementar otras operaciones y trayectorias, en los programas para torno los ciclos fijos suponen la herramienta principal.

Dada la geometría de revolución de las piezas, los ciclos permiten la programación de manera sencilla de múltiples pasadas de desbaste y acabado, tanto para contornos rectos como curvos, reduciendo el número de líneas necesarias de programa.

Los ciclos fijos principales definidos en el control Fagor 8055 T se detallan en la Tabla 9.1. Todas las funciones son modales e incompatibles entre sí.

Tabla 9.1. Ciclos fijos en control Fagor 8055 T.

8055	Descripción
G66	Ciclo fijo de seguimiento de perfil
G68	Ciclo fijo de desbastado en eje X
G69	Ciclo fijo de desbastado en eje Z
G81	Ciclo fijo de torneado de tramos rectos
G82	Ciclo fijo de refrentado de tramos rectos
G83	Ciclo fijo de taladrado axial/roscado con macho
G84	Ciclo fijo de torneado de tramos curvos
G85	Ciclo fijo de refrentado de tramos curvos
G86	Ciclo fijo de roscado longitudinal
G87	Ciclo fijo de roscado frontal
G88	Ciclo fijo de ranurado en eje X
G89	Ciclo fijo de ranurado en eje Z

En los capítulos siguientes se detallan las instrucciones para la definición de cada ciclo. En primer lugar, se explican los ciclos utilizados para las operaciones cilindrado y refrentado, tanto para desbastes como operaciones de acabado o seguimiento de perfil, dado que son los más característicos. A continuación, se detallan los ciclos relativos a operaciones de ranurado, seguido de los ciclos para operaciones de roscado. Finalmente, se definen los ciclos para operaciones de taladrado.

CICLOS FIJOS PARA OPERACIONES DE CILINDRADO, REFRENTADO Y SEGUIMIENTO DE PERFIL

Los ciclos fijos explicados a continuación suponen la parte principal de la programación para torno CNC, ya que permiten mecanizar perfiles complejos, con tramos curvos y rectos mediante operaciones de cilindrado y refrentado. Así, es posible programar pasadas de desbaste y acabado. En gran parte de los programas, la aplicación de uno de estos ciclos puede suponer toda la programación necesaria para la obtención de la pieza.

10.1 | G81: Ciclo fijo de torneado de tramos rectos

La función **G81** es un ciclo de desbaste y acabado de perfiles con tramos rectos que realiza sucesivas pasadas de torneado en dirección longitudinal, distanciadas entre sí en el eje X según el paso especificado, Figura 10.1. El ciclo permite realizar de manera opcional una pasada de acabado tras finalizar el desbaste. Sin embargo, no permite el cambio de herramienta entre las pasadas de desbaste y acabado, por lo que, si se desea realizar dicha pasada con otra herramienta, se tendrá que programar el ciclo sin pasada de acabado y finalizar el perfil con otro tipo de programación.

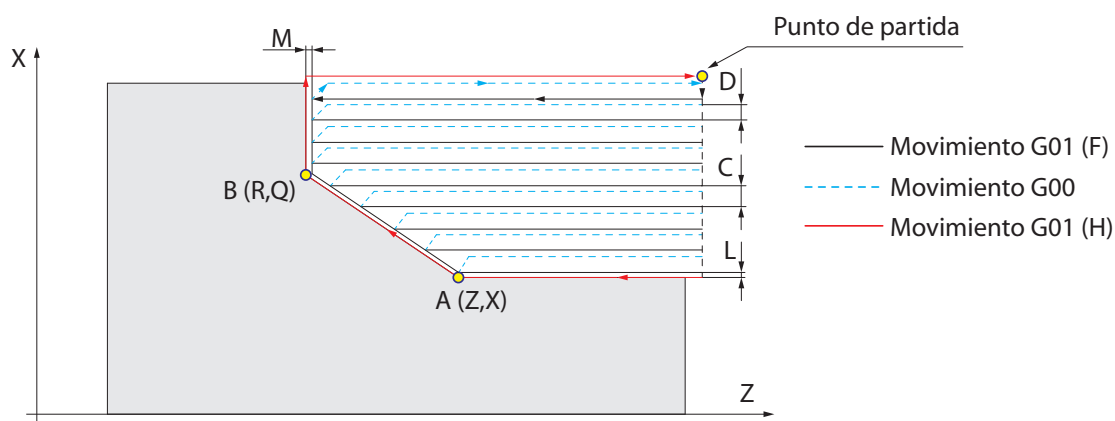


Figura 10.1. Definición del ciclo fijo de torneado de tramos rectos.

El ciclo realizará las pasadas de torneado a la velocidad de avance definida, retrocediendo con movimiento rápido (G00) hasta la posición de inicio para prepararse para la siguiente pasada.

El formato de la programación es

▶ G81 X Z Q R C D L M F H

Los parámetros de este ciclo son los siguientes:

- **X:** Definición de la cota según el eje X del punto inicial del perfil (A). Se programará en cotas absolutas y, dependiendo de las funciones activas, en radios o diámetros.
- **Z:** Definición de la cota según el eje Z del punto inicial del perfil (A). Se programará en cotas absolutas.
- **Q:** Definición de la cota según el eje X del punto final del perfil (B). Se programará en cotas absolutas y, dependiendo de las funciones activas, en radios o diámetros.
- **R:** Definición de la cota según el eje Z del punto final del perfil (B). Se programará en cotas absolutas.
- **C:** Definición del paso de torneado. La pasada debe ser mayor que cero y se expresará siempre en radios. El control ajustará la pasada a la medida que le resulte de dividir dicha pasada por el material a eliminar.
- **D:** Definición de la distancia de seguridad para el retroceso de la herramienta en cada pasada, Figura 10.2. Si se programa con un valor distinto de 0, la herramienta realiza un movimiento de retirada a 45° hasta alcanzar la distancia de seguridad. Si se programa el valor 0, la trayectoria de salida coincide con la trayectoria de entrada. Cuando no se programa el parámetro D, la retirada de la herramienta se efectúa siguiendo el perfil hasta la pasada anterior, distancia C. Cuando no se programa el parámetro D que el tiempo de ejecución del ciclo es mayor, pero la cantidad de material a comer en la pasada de acabado es menor.

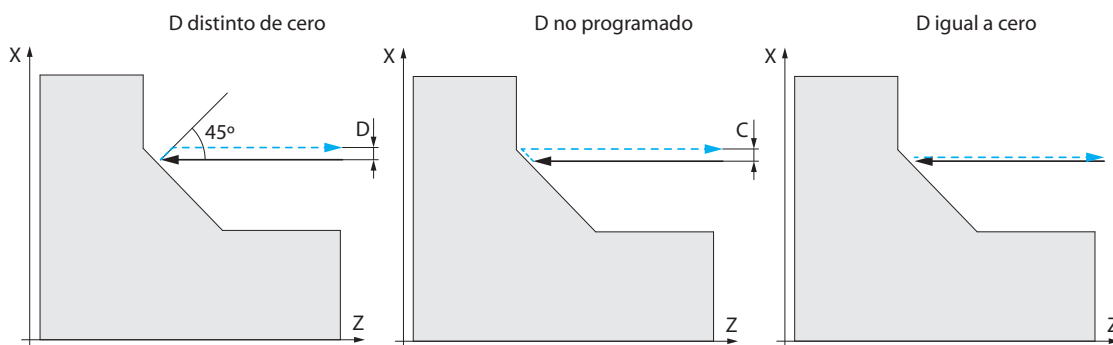


Figura 10.2. Efecto del parámetro D en el movimiento para alcanzar la distancia de seguridad en el ciclo G81.

- **L**: Definición de la demasía para la pasada de acabado según el eje X, programada en radios. Debe ser mayor que 0. En caso contrario, no se realizará pasada de acabado en este eje.
- **M**: Definición de la demasía para la pasada de acabado según el eje Z. Debe ser mayor que 0. En caso contrario, no se realizará pasada de acabado en este eje.
- **F**: Definición de la velocidad de avance en la pasada final de desbaste. Si no se indica o se le asigna como valor 0, el control no realizará pasada final de desbaste.
- **H**: Definición de la velocidad de avance en la pasada de acabado. Si se indica el valor 0 no se realizará pasada de acabado, dejando el exceso de material indicado por los parámetros M y L, Figura 10.3. Si tanto M como L se han definido como 0, el parámetro H no actuará, independientemente de su valor. Si H es negativo dará error.

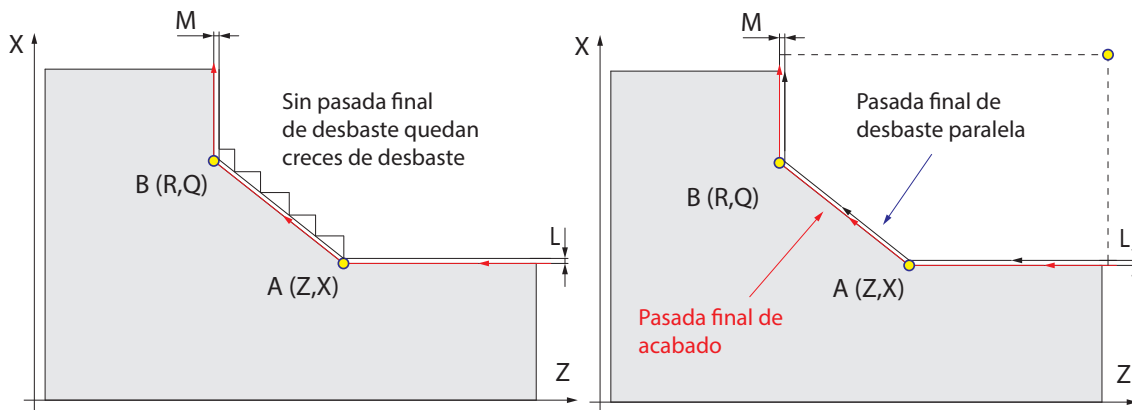


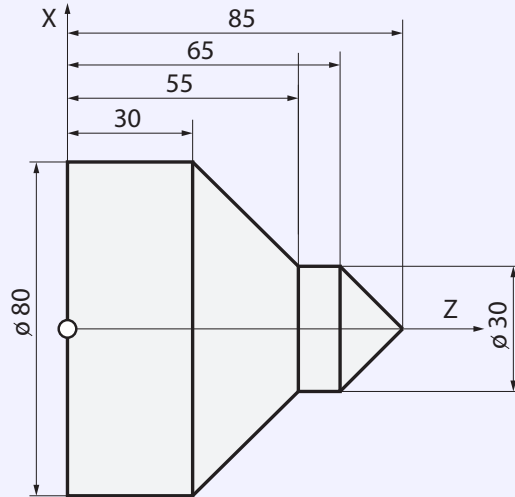
Figura 10.3. Efecto de la pasada final de desbaste y acabado.

Al inicio del ciclo deben cumplirse una serie de condiciones de posicionamiento de la herramienta. Esta posición formará parte del propio ciclo:

- La distancia entre el punto de partida y el punto (B) con respecto al eje X deberá ser igual o mayor que el parámetro "L", Figura 10.4.
- La distancia entre el punto de partida y el punto (A) con respecto al eje Z deberá ser mayor que el parámetro "M", Figura 10.4.
- Todas las condiciones tecnológicas de mecanizado han de ser programadas con anterioridad a la llamada del ciclo.
- El ciclo empezará a mecanizar a partir de la posición de partida de la herramienta y finalizará en el mismo punto.
- Si se programa con compensación de radio, el movimiento para alcanzar el punto de inicio debe hacerse en G00. En caso contrario dará error.

Ejercicio 10.1

Realizar el código para mecanizar la siguiente pieza mediante ciclos fijos de torneado en X. Se parte de un cilindro de 80 mm de diámetro. No aplicar pasada de acabado en el ciclo, dejando una demasía en X y Z de 0,2 mm. La herramienta disponible es TNMG 160408, cuyas condiciones de corte son: profundidad máxima de 2 mm, avance de 0,2 mm/rev y velocidad de corte constante de 200 m/min (limitada a 300 m/min). Programar una pasada de acabado posterior para toda la pieza eliminando las demasías, con un avance de 0,1 mm/rev.



10.2 | G82: Ciclo fijo de refrentado de tramos rectos

La función **G82** permite definir un ciclo de refrentado de perfiles con tramos rectos, realizando las pasadas de refrentado en dirección radial, distanciadas entre sí en el eje Z según el paso especificado, Figura 10.5. Además, permite realizar opcionalmente una pasada de acabado, aunque no permite el cambio de herramienta entre las operaciones de desbaste y acabado.

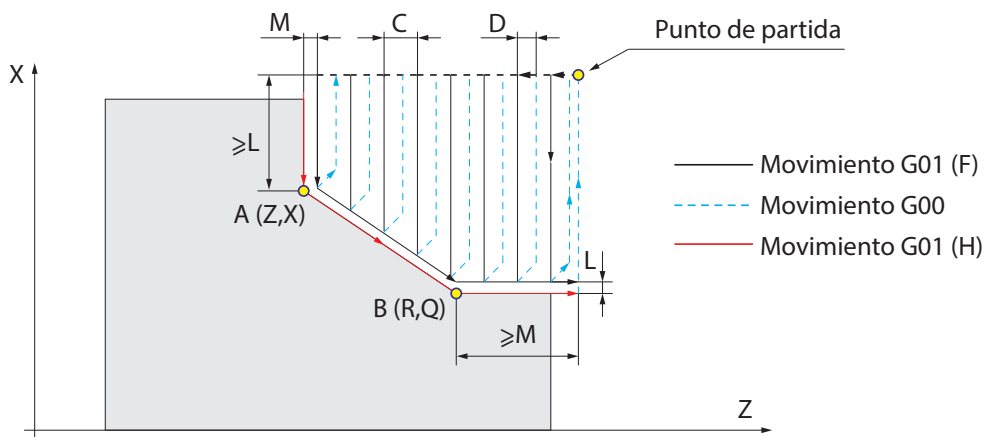


Figura 10.5. Definición del ciclo fijo de refrentado de tramos rectos.

El formato de la programación es

▶ G82 X Z Q R C D L M F H

Los parámetros de este ciclo son los siguientes:

- **X:** Definición de la cota según el eje X del punto inicial del perfil (A). Se programará en cotas absolutas y, dependiendo de las funciones activas, en radios o diámetros.
- **Z:** Definición de la cota según el eje Z del punto inicial del perfil (A). Se programará en cotas absolutas.
- **Q:** Definición de la cota según el eje X del punto final del perfil (B). Se programará en cotas absolutas y, dependiendo de las funciones activas, en radios o diámetros.
- **R:** Definición de la cota según el eje Z del punto final del perfil (B). Se programará en cotas absolutas.
- **C:** Definición del paso de refrentado. La pasada debe ser mayor que 0. El control ajustará la pasada a la medida que le resulte de dividir dicha pasada por el material a eliminar.
- **D:** Definición de la distancia de seguridad para el retroceso de la herramienta en cada pasada, Figura 10.6. Si se programa con un valor distinto de 0, la herramienta realiza un movimiento de retirada a 45° hasta alcanzar la distancia de seguridad. Si se programa el valor 0, la trayectoria de salida coincide con la trayectoria de entrada. Cuando no se programa el parámetro D, la retirada de la herramienta se efectúa siguiendo el perfil hasta la pasada anterior, distancia C. Cuando no se programa el parámetro D que el tiempo de ejecución del ciclo es mayor, pero la cantidad de material a comer en la pasada de acabado es menor.

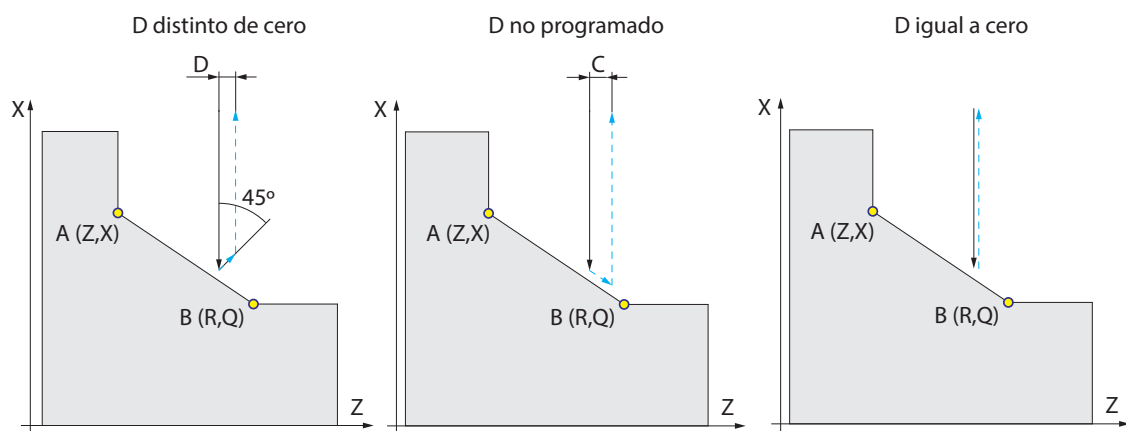


Figura 10.6. Efecto del parámetro D en el movimiento para alcanzar la distancia de seguridad en el ciclo G82.

- **L:** Definición de la demasía para la pasada de acabado según el eje X, programada en radios. Debe ser mayor que 0. En caso contrario, no se realizará pasada de acabado en este eje.
- **M:** Definición de la demasía para la pasada de acabado según el eje Z. Debe ser mayor que 0. En caso contrario, no se realizará pasada de acabado en este eje.
- **F:** Definición de la velocidad de avance en la pasada final de desbaste. Si no se indica o se le asigna como valor 0, el control no realizará pasada final de desbaste.
- **H:** Definición de la velocidad de avance en la pasada de acabado. Si se indica el valor 0 no se realizará pasada de acabado, dejando el exceso de material indicado por los parámetros M y L. Si tanto M como L se han definido como 0, el parámetro H no actuará, independientemente de su valor. Si H es negativo dará error.

Al inicio del ciclo deben cumplirse una serie de condiciones de posicionamiento de la herramienta. Esta posición formará parte del propio ciclo:

- La distancia entre el punto de partida y el punto (B) con respecto al eje Z deberá ser igual o mayor que el parámetro "M".
- La distancia entre el punto de partida y el punto (A) con respecto al eje X deberá ser mayor que el parámetro "L".
- Todas las condiciones tecnológicas de mecanizado han de ser programadas con anterioridad a la llamada del ciclo.
- El ciclo empezará a mecanizar a partir de la posición de partida de la herramienta y finalizará en el mismo punto.
- Si se programa con compensación de radio, el movimiento para alcanzar el punto de inicio debe hacerse en G00. En caso contrario dará error.
- Al acabar el ciclo quedarán activas las funciones G00 y G90.

A continuación se muestra el ejemplo 10.2 de aplicación del ciclo G82. Obsérvese la activación de la compensación de radio mediante la función G41 en el movimiento rápido de posicionamiento en el punto de partida.

Se parte de un cilindro de diámetro 80 mm. La profundidad de pasada máxima es de 1 mm. La pasada de acabado debe mecanizarse cortando 0,2 mm en X y 0,2 mm en Z, con un avance de 0,05 mm/rev.

También se propone el ejercicio 10.2 para practicar la programación del ciclo G82 y la definición de contornos.

Ejemplo 10.2: Aplicación del ciclo G82

N10 G90 G95 G96 G40

N20 G92 S500

N30 T1 D1

N40 F0.15 S100 M03

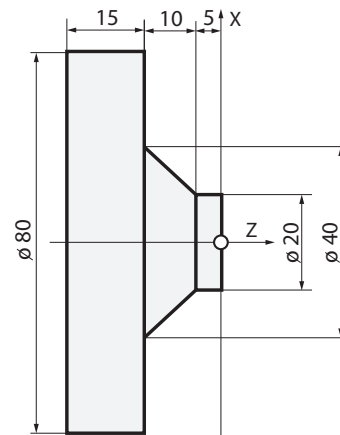
N50 G00 X100 Z20

N60 G00 G41 X82 Z2; Punto de partida

N70 G82 X40 Z-15 Q20 R-5 C1
L0.2 M0.2 F0.15 H0.05; Definición del ciclo

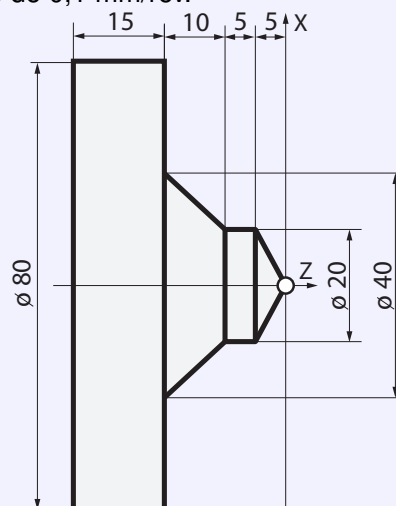
N80 G00 G40 X100 Z20 M5

N90 M30



Ejercicio 10.2

Realizar el código para mecanizar la siguiente pieza mediante ciclos fijos de torneado en Z. Se parte de un cilindro de 80 mm de diámetro. No aplicar pasada de acabado en el ciclo, dejando una demasía en X y Z de 0,2 mm. La herramienta disponible es VNMG 160408, cuyas condiciones de corte son: profundidad máxima de 2 mm, avance de 0,2 mm/rev y velocidad de corte constante de 200 m/min (limitada a 300 m/min). Programar una pasada de acabado posterior para toda la pieza eliminando las demasías, con un avance de 0,1 mm/rev.



10.3 | G84: Ciclo fijo de torneado de tramos curvos

La función **G84** es útil para realizar ciclos de torneado en perfiles con tramos curvos y rectos, realizando las pasadas paralelas a la dirección longitudinal, separadas entre en el eje X según el paso especificado, Figura 10.7. Al igual que los ciclos anteriores, realiza pasadas de

desbaste, seguido de una pasada de acabado opcional. Sin embargo, esta debe hacerse con la misma herramienta, ya que no permite el cambio dentro del ciclo.

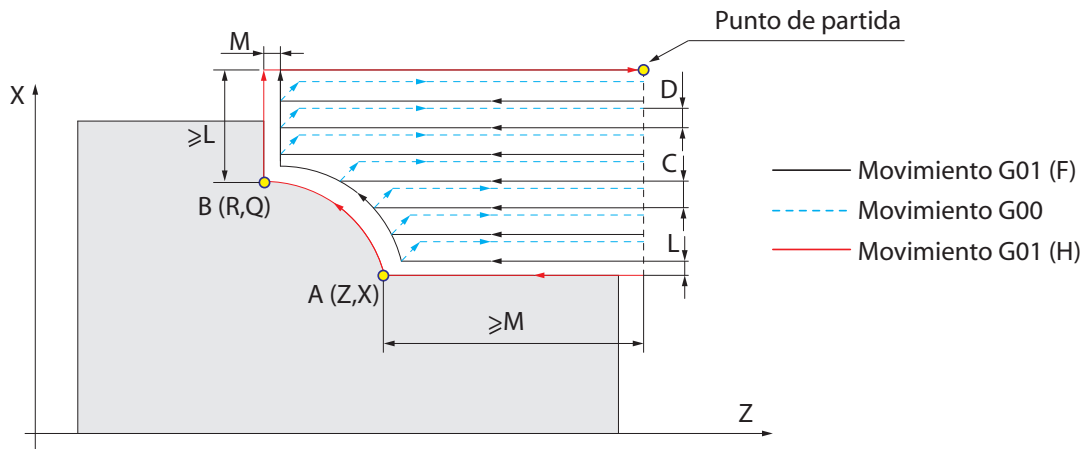


Figura 10.7. Definición del ciclo de torneado de tramos curvos.

El formato de la programación es

▶ G84 X Z Q R C D L M F H I K

Los parámetros del ciclo son los siguientes:

- **X:** Definición de la cota según el eje X del punto inicial del perfil (A). Se programará en cotas absolutas y, dependiendo de las funciones activas, en radios o diámetros.
- **Z:** Definición de la cota según el eje Z del punto inicial del perfil (A). Se programará en cotas absolutas.
- **Q:** Definición de la cota según el eje X del punto final del perfil (B). Se programará en cotas absolutas y, dependiendo de las funciones activas, en radios o diámetros.
- **R:** Definición de la cota según el eje Z del punto final del perfil (B). Se programará en cotas absolutas.
- **C:** Definición del paso de torneado. La pasada debe ser mayor que 0. Se expresará siempre en radios. El control ajustará la pasada a la medida que le resulte de dividir dicha pasada por el material a eliminar.
- **D:** Definición de la distancia de seguridad para el retroceso de la herramienta en cada pasada. Si se programa con un valor distinto de 0, la herramienta realiza un movimiento de retirada a 45° hasta alcanzar la distancia de seguridad. Si se programa el valor 0, la trayectoria de salida coincide con la trayectoria de entrada. Cuando no se programa el parámetro D, la retirada de la herramienta se efectúa siguiendo el perfil hasta la pasada anterior, distancia C. Cuando no se programa el parámetro D que el tiempo de ejecución del ciclo es mayor, pero la cantidad de material a comer en la pasada de acabado es menor.

- **L:** Definición de la demasía para la pasada de acabado según el eje X, programada en radios. Si no se programa, tomará el valor 0.
- **M:** Definición de la demasía para la pasada de acabado según el eje Z. Si no se programa, tomará el valor 0.
- **F:** Definición de la velocidad de avance en la pasada final de desbaste. Si no se indica o se le asigna como valor 0, el control no realizará pasada final de desbaste.
- **H:** Definición de la velocidad de avance en la pasada de acabado. Si se indica el valor 0 no se realizará pasada de acabado.
- **I:** Definición en radios de la distancia desde el punto inicial (A) al centro del arco, según el eje X. Se programa en cotas incrementales con respecto al punto inicial, como la I en interpolaciones circulares (G02, G03).
- **K:** Definición de la distancia desde el punto inicial (A) al centro del arco, según el eje Z. Se programa en cotas incrementales con respecto al punto inicial, como la K en interpolaciones circulares (G02, G03).

Deben cumplirse una serie de condiciones al inicio del ciclo, en referencia a la posición de partida de la herramienta:

- La distancia entre el punto de partida y el punto B con respecto al eje X deberá ser igual o mayor que el parámetro "L"
- La distancia entre el punto de partida y el punto A con respecto al eje Z deberá ser mayor que el parámetro "M".
- Todas las condiciones tecnológicas de mecanizado han de ser programadas con anterioridad a la llamada del ciclo.
- El ciclo empezará a mecanizar a partir de la posición de partida de la herramienta y finalizará en el mismo punto
- Si se programa con compensación de radio, el movimiento para alcanzar el punto de inicio debe hacerse en G00. En caso contrario dará error.
- Al acabar el ciclo quedarán activas las funciones G00 y G90.

A continuación se muestra el ejemplo 10.3 de aplicación del ciclo G84. Obsérvese la activación de la compensación de radio mediante la función G42 en el movimiento rápido de posicionamiento en el punto de partida. Se parte de un cilindro de diámetro 40 mm. La profundidad de pasada máxima es de 2 mm. La pasada de acabado debe mecanizarse cortando 0,3 mm en X y 0,2 mm en Z, con un avance de 0,1 mm/rev. También se propone el ejercicio 10.3 para practicar la programación del ciclo G84.

Ejemplo 10.3: Aplicación del ciclo G84

N10 G90 G95 G96 G40

N20 G92 S500

N30 T1 D1

N40 F0.25 S100 M03

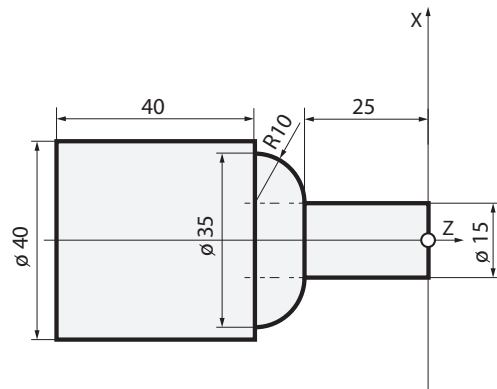
N50 G00 X80 Z20

N60 G00 G42 X42 Z2; Punto de partida

N70 G84 X15 Z-25 Q35 R-35 C2
L0.3 M0.2 F0.25 H0.1 I0 K-10; Defini-
ción del ciclo

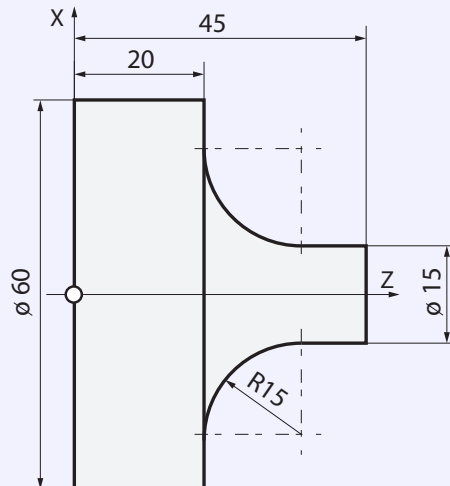
N80 G00 G40 X80 Z20 M5

N90 M30



Ejercicio 10.3

Realizar el código para mecanizar la siguiente pieza mediante un ciclo fijo G84. Se parte de un cilindro de 60 mm de diámetro. La herramienta disponible es TNMG 160408, cuyas condiciones de corte son: profundidad máxima de 2 mm, avance de 0,2 mm/rev y velocidad de corte constante de 200 m/min (limitada a 300 m/min). Dejar una demasía en X y Z de 0,2 mm para la pasada de acabado, realizada con un avance de 0,1 mm/rev.



10.4 | G85: Ciclo fijo de refrentado en tramos curvos

La función **G85** es un ciclo fijo de refrentado en tramos curvos y rectos que realiza las pasadas de refrentado paralelas a la dirección radial, distanciadas entre sí en el eje Z según el paso especificado, Figura 10.8. El ciclo permite seleccionar si realizará o no una pasada de acabado tras finalizar el refrentado programado. No permite el cambio de herramienta entre las pasadas de desbaste y la de acabado, por lo que, si se desea realizar dicho acabado con una herramienta diferente, se tendrá que programar para que no realice pasada de acabado y acabar el perfil con otro tipo de programación.

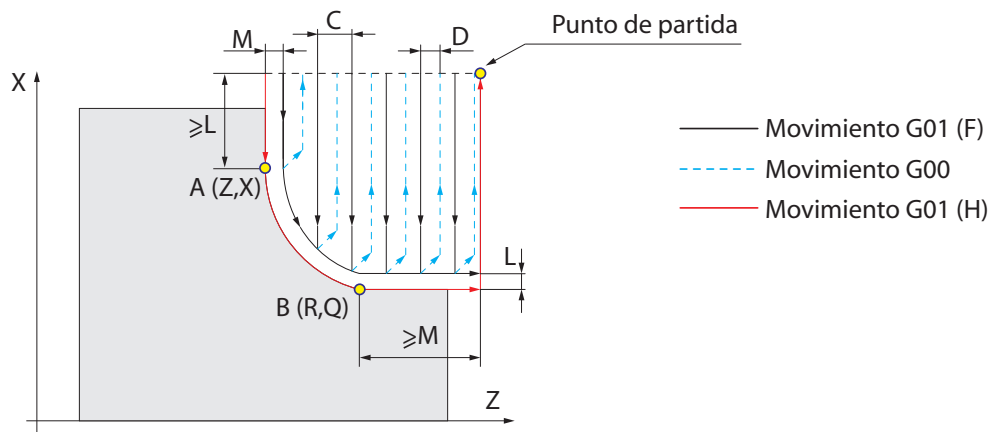


Figura 10.8. Definición del ciclo fijo de refrentado de tramos curvos.

El formato del ciclo fijo es

▶ G85 X Z Q R C D L M F H I K

Los parámetros del ciclo son los siguientes:

- **X:** Definición de la cota según el eje X del punto inicial del perfil (A). Se programará en cotas absolutas y, dependiendo de las funciones activas, en radios o diámetros.
- **Z:** Definición de la cota según el eje Z del punto inicial del perfil (A). Se programará en cotas absolutas.
- **Q:** Definición de la cota según el eje X del punto final del perfil (B). Se programará en cotas absolutas y, dependiendo de las funciones activas, en radios o diámetros.
- **R:** Definición de la cota según el eje Z del punto final del perfil (B). Se programará en cotas absolutas.
- **C:** Definición del paso de refrentado. La pasada debe ser mayor que 0. El control ajustará la pasada a la medida que le resulte de dividir dicha pasada por el material a eliminar.

- **D:** Definición de la distancia de seguridad para el retroceso de la herramienta en cada pasada. Si se programa con un valor distinto de 0, la herramienta realiza un movimiento de retirada a 45° hasta alcanzar la distancia de seguridad. Si se programa el valor 0, la trayectoria de salida coincide con la trayectoria de entrada. Cuando no se programa el parámetro D, la retirada de la herramienta se efectúa siguiendo el perfil hasta la pasada anterior, distancia C. Cuando no se programa el parámetro D que el tiempo de ejecución del ciclo es mayor, pero la cantidad de material a comer en la pasada de acabado es menor.
- **L:** Definición de la demasía para la pasada de acabado según el eje X, programada en radios. Si no se programa, se tomará el valor 0.
- **M:** Definición de la demasía para la pasada de acabado según el eje Z. Si no se programa, se tomará el valor 0.
- **F:** Definición de la velocidad de avance en la pasada final de desbaste. Si no se indica o se le asigna como valor 0, el control no realizará pasada final de desbaste.
- **H:** Definición de la velocidad de avance en la pasada de acabado. Si se indica el valor 0 no se realizará pasada de acabado.
- **I:** Definición de la distancia en radios desde el punto inicial (A) al centro del arco, según el eje X. Se programa en cotas incrementales con respecto al punto inicial, como la I en interpolaciones circulares (G02, G03).
- **K:** Definición de la distancia desde el punto inicial (A) al centro del arco, según el eje Z. Se programa en cotas incrementales con respecto al punto inicial, como la K en interpolaciones circulares (G02, G03).

Al iniciar el ciclo, la herramienta tiene que estar posicionada en el punto de partida, formando este parte del propio ciclo, teniendo que cumplir las siguientes condiciones:

- La distancia entre el punto de partida y el punto B con respecto al eje X deberá ser igual o mayor que el parámetro "M".
- La distancia entre el punto de partida y el punto A con respecto al eje Z deberá ser mayor que el parámetro "L".
- Todas las condiciones tecnológicas de mecanizado han de ser programadas con anterioridad a la llamada del ciclo.
- El ciclo empezará a mecanizar a partir de la posición de partida de la herramienta y finalizará en el mismo punto.
- Si se programa con compensación de radio, el movimiento para alcanzar el punto de inicio debe hacerse en G00. En caso contrario dará error.
- Al acabar el ciclo quedarán activas las funciones G00 y G90.

A continuación se muestra el ejemplo 10.4 de aplicación del ciclo G85. Obsérvese la activación de la compensación de radio mediante la función G41 en el movimiento rápido de posicionamiento en el punto de partida. Se parte de un cilindro de diámetro 60 mm. La profundidad de pasada máxima es de 2 mm. La pasada de acabado debe mecanizarse cortando 0,3 mm en X y 0,2 mm en Z, con un avance de 0,1 mm/rev. Se propone, además, el ejercicio 10.4 para practicar la programación del ciclo G85.

Ejemplo 10.4: Aplicación del ciclo G85

N10 G90 G95 G96 G40

N20 G92 S500

N30 T1 D1

N40 F0.25 S100 M03

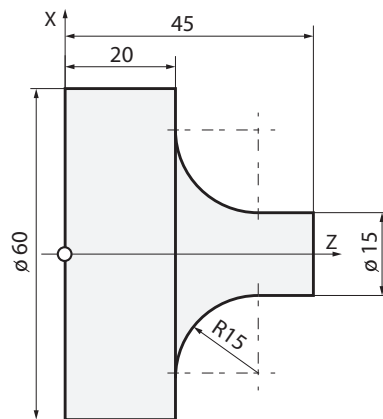
N50 G00 X80 Z50

N60 G00 G41 X62 Z47; Punto de partida

N70 G85 X45 Z20 Q15 R35 C2 L0.3 M0.2 F0.25 H0.1 I0 K15; Definición del ciclo

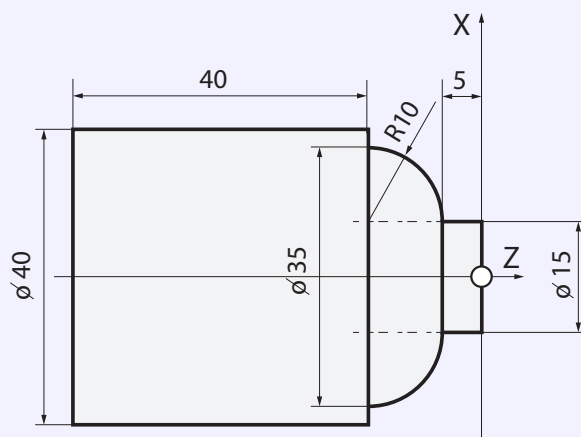
N80 G00 G40 X80 Z50 M5

N90 M30



Ejercicio 10.4

Realizar el código para mecanizar la siguiente pieza mediante un ciclo fijo G85. Se parte de un cilindro de 40 mm de diámetro. La herramienta disponible es TNMG 160408, cuyas condiciones de corte son: profundidad máxima de 3 mm, avance de 0,2 mm/rev y velocidad de corte constante de 200 m/min (limitada a 300 m/min). Dejar una demasía en X y Z de 0,2 mm para la pasada de acabado, realizada con un avance de 0,1 mm/rev.



10.5 | G68: Ciclo fijo de desbaste en el eje X

La función **G68** es un ciclo de desbaste y acabado de perfiles formados por tramos curvos y rectos, realizando las pasadas de torneado paralelas al eje longitudinal de la pieza, separadas entre sí en el eje X según el paso especificado, Figura 10.9. Además, permite una última pasada de acabado opcional, aunque no permite el cambio de herramienta entre las operaciones de desbaste y acabado.

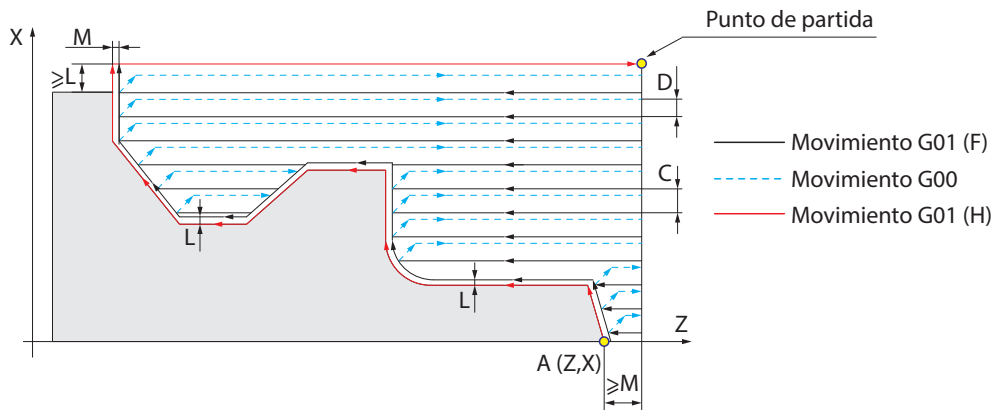


Figura 10.9. Definición del ciclo fijo de desbaste en el eje X.

La principal ventaja de este ciclo, en comparación con el ciclo G84 reside en que se pueden mecanizar perfiles más complejos en los que el eje X descienda en dirección al centro de la pieza, Figura 10.9. Es decir, no están limitados a tres movimientos como ocurre en los ciclos anteriores, si no que pueden definirse un perfil complejo en sucesivas líneas de código. Permite utilizar plaquitas triangulares, redondas y cuadradas.

La estructura básica del bloque es

▶ G68 X Z C D L M K F H S E Q J

Los parámetros del ciclo son los siguientes:

- **X:** Definición de la cota según el eje X del punto inicial del perfil (A). Se programará en cotas absolutas y, dependiendo de las funciones activas, en radios o diámetros.
- **Z:** Definición de la cota según el eje Z del punto inicial del perfil (A). Se programará en cotas absolutas.
- **C:** Definición del paso de torneado. La pasada debe ser mayor que 0. Se expresará siempre en radios. El control ajustará la pasada a la medida que le resulte de dividir dicha pasada por el material a eliminar.
- **D:** Definición de la distancia de seguridad para el retroceso de la herramienta en cada pasada. Si se programa con un valor distinto de 0, la herramienta realiza un movimiento de retirada a 45° hasta alcanzar la distancia de seguridad. Si se programa el valor 0, la trayectoria de salida coincide con la trayectoria de entrada. Cuando no se programa el

parámetro D, la retirada de la herramienta se efectúa siguiendo el perfil hasta la pasada anterior, distancia C. Cuando no se programa el parámetro D que el tiempo de ejecución del ciclo es mayor, pero la cantidad de material a comer en la pasada de acabado es menor.

- **L:** Definición de la demasía para la pasada de acabado según el eje X, programada en radios. Si no se programa, tomará el valor 0.
- **M:** Definición de la demasía para la pasada de acabado según el eje Z. Si no se programa, la demasía tendrá el valor indicado en el parámetro L y será constante en todo el perfil.
- **K:** Definición de la velocidad de avance de penetración de la herramienta en los valles. Si no se programa o se programa con valor 0, asume la velocidad de avance del mecanizado (el que estaba programado antes de la llamada al ciclo).
- **F:** Definición de la velocidad de avance de la pasada final de desbaste. Si no se programa o se programa con valor 0, se entiende que no se desea pasada final de desbaste.
- **H:** Definición de la velocidad de avance en la pasada de acabado. Si se indica el valor 0 no se realizará pasada de acabado.
- **S:** Definición del número de etiqueta del bloque en el que comienza la descripción geométrica del perfil.
- **E:** Definición del número de etiqueta del bloque en el que finaliza la descripción geométrica del perfil.
- **Q:** Opcional. Definición del número de programa que contiene la descripción geométrica del perfil. Este parámetro es opcional y si no se define el CNC entiende que el perfil se encuentra definido en el mismo programa que contiene la llamada al ciclo.
- **J:** Opcional. Define el tramo por paso del desbaste por tramos. Esta funcionalidad es válida tanto para perfiles exteriores como para perfiles interiores.

Al iniciar el ciclo, la herramienta debe estar posicionada en el punto de partida cumpliendo las siguientes condiciones:

- La distancia entre el punto de partida y el punto final del perfil, con respecto al eje X, deberá ser igual o mayor que el L (pasada de acabado en el eje X). Al usar corrección de radio es recomendable dar a esta distancia el valor de L más un número cualquiera de veces el valor de C (pasada máxima). Por ejemplo, si $L = 0.5$ y $C = 2$ se puede usar el valor $2.5 = (L + C)$, $4.5 = (L + 2C)$ etc. En caso contrario puede dar error.
- La distancia entre el punto de partida y el punto inicial A con respecto al eje Z deberá ser mayor que M.

Además, deben tenerse en cuenta las siguientes condiciones:

- Al definir el perfil en las líneas de programación, no hay que programar el punto A, que ya está indicado con X y Z. En caso contrario dará error.
- Todas las condiciones tecnológicas de mecanizado deben ser programadas con anterioridad a la llamada del ciclo. Una vez finalizado el ciclo fijo, el avance activo será el último avance programado, el correspondiente a la operación de desbaste (F) o acabado (H). Asimismo, el CNC asumirá las funciones G00, G40 y G90.
- Si se programa con compensación de radio, el último movimiento antes de la llamada al ciclo debe ser G00. En caso contrario dará error.

A continuación se muestra el ejemplo 10.5 de aplicación del ciclo G68. Obsérvese la activación de la compensación de radio mediante la función G42 en el movimiento rápido de posicionamiento en el punto de partida. Se parte de un cilindro de diámetro 40 mm. También se puede practicar la programación del ciclo G68 con el ejercicio 10.5.

Ejemplo 10.5: Aplicación de un ciclo G68

N10 G90 G95 G96 G40

N20 G92 S2000

N30 T1 D1

N40 F0.2 S100

N50 G00 X48 Z8 M3

N60 G42 X42 Z2

N70 G68 X0 Z0 C2 D1 L0.2 M0.2 K0.2 F0.2 H0.1

S200 E300

N80 G00 G40 X50 Z8 M5

N90 M30

N200 G01 G36 R5 X30 Z0

N210 G36 R5 Z-20

N220 X40

N230 Z-30

N240 X10 Z-35

N250 Z-40

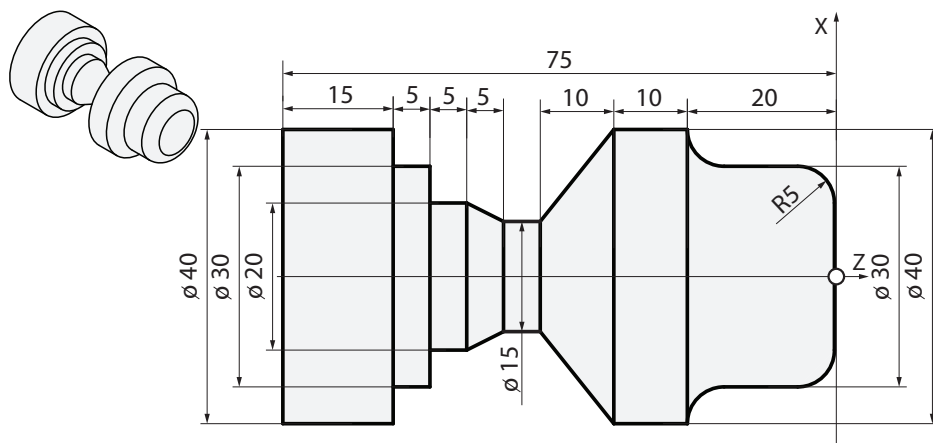
N260 X20 Z-50

N270 Z-55

N280 X30

N290 Z-60

N300 X40



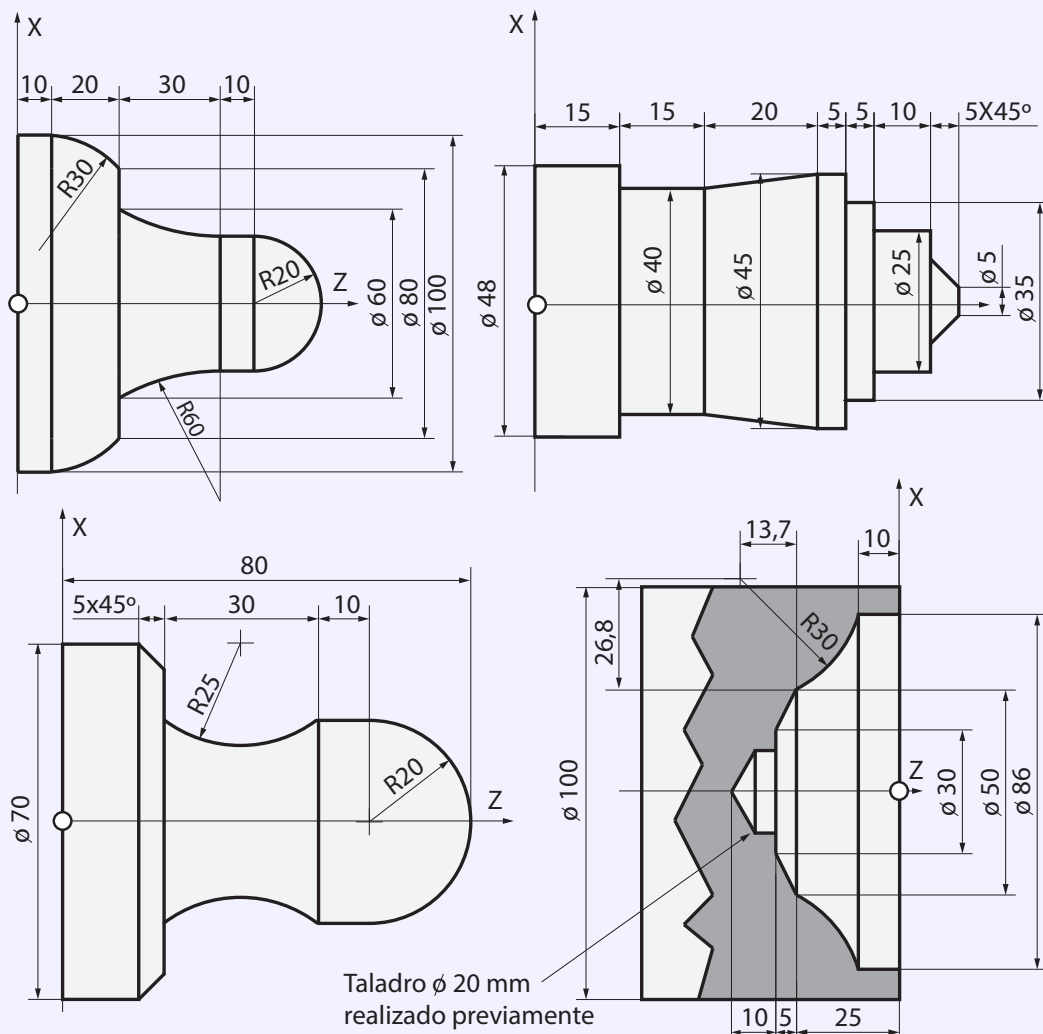
Ejercicio 10.5

Realizar el código para mecanizar las siguientes piezas mediante un ciclo fijo G68. Las condiciones de corte son: profundidad de pasada máxima de 3 mm, avance de 0,2 mm/rev y velocidad de corte constante de 200 m/min (limitada a 300 m/min). Dejar una demasía en X y Z de 0,2 mm para la pasada de acabado, realizada con un avance de 0,1 mm/rev.

La cuarta pieza requiere de un torneado interior. Se parte de un cilindro ya taladrado previamente con una broca de 20 mm.

Las herramientas disponibles son:

- VNMG 160408 para operaciones de torneado exterior.
- CCMT 060204 para operaciones de torneado interior.



10.6 | G69: Ciclo fijo de desbaste en el eje Z

La función **G69** define un ciclo de desbaste y acabado en sentido de refrentado, en el que se pueden combinar diferentes tramos rectos y curvos, realizando las pasadas en paralelo a la dirección radial, separadas entre sí en el eje Z según el paso especificado, Figura 10.10. No permite el cambio de herramienta entre las pasadas de desbaste y la de acabado, por lo que, si se desea realizar dicho acabado con una herramienta diferente, se debe indicar que no haga pasada de acabado y continuar el resto con otro tipo de programación.

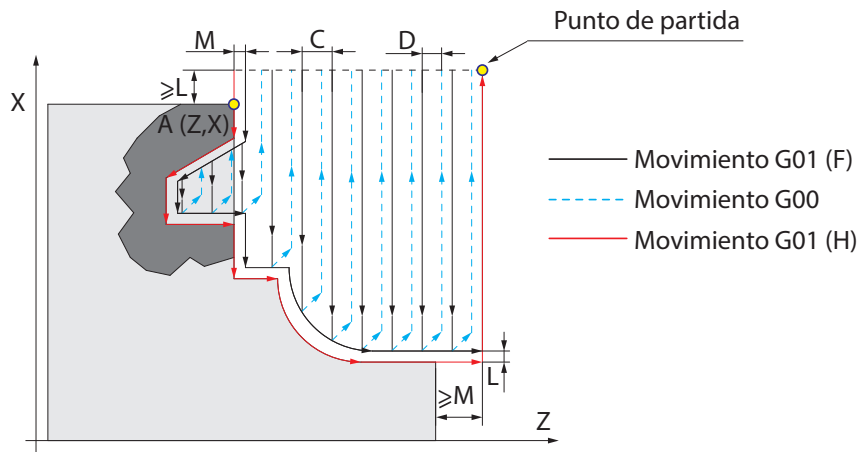


Figura 10.10. Definición del ciclo fijo de desbaste en el eje Z.

El formato del bloque es el siguiente

▶ G69X Z C D L M K F H S E Q

Los parámetros del ciclo son los siguientes:

- **X:** Definición de la cota según el eje X del punto inicial del perfil (A). Se programará en cotas absolutas y, dependiendo de las funciones activas, en radios o diámetros.
- **Z:** Definición de la cota según el eje Z del punto inicial del perfil (A). Se programará en cotas absolutas.
- **C:** Definición del paso de torneado. La pasada debe ser mayor que 0. Se expresará siempre en radios. El control ajustará la pasada a la medida que le resulte de dividir dicha pasada por el material a eliminar.
- **D:** Definición de la distancia de seguridad para el retroceso de la herramienta en cada pasada. Si se programa con un valor distinto de 0, la herramienta realiza un movimiento de retirada a 45° hasta alcanzar la distancia de seguridad. Si se programa el valor 0, la trayectoria de salida coincide con la trayectoria de entrada. Cuando no se programa el parámetro D, la retirada de la herramienta se efectúa siguiendo el perfil hasta la pasada

anterior, distancia C. Cuando no se programa el parámetro D que el tiempo de ejecución del ciclo es mayor, pero la cantidad de material a comer en la pasada de acabado es menor.

- **L:** Definición de la demasía para la pasada de acabado según el eje X, programada en radios. Si no se programa, tomará el valor 0.
- **M:** Definición de la demasía para la pasada de acabado según el eje Z. Si no se programa, la demasía tendrá el valor indicado en el parámetro L y será constante en todo el perfil.
- **K:** Definición de la velocidad de avance de penetración de la herramienta en los valles. Si no se programa o se programa con valor 0, asume la velocidad de avance del mecanizado (el que estaba programado antes de la llamada al ciclo).
- **F:** Definición de la velocidad de avance de la pasada final de desbaste. Si no se programa o se programa con valor 0, se entiende que no se desea pasada final de desbaste.
- **H:** Definición de la velocidad de avance en la pasada de acabado. Si se indica el valor 0 no se realizará pasada de acabado.
- **S:** Definición del número de etiqueta del bloque en el que comienza la descripción geométrica del perfil.
- **E:** Definición del número de etiqueta del bloque en el que finaliza la descripción geométrica del perfil.
- **Q:** Opcional. Definición del número de programa que contiene la descripción geométrica del perfil. Este parámetro es opcional y si no se define el CNC entiende que el perfil se encuentra definido en el mismo programa que contiene la llamada al ciclo.

Al iniciar el ciclo, la herramienta debe estar posicionada en el punto de partida cumpliendo las siguientes condiciones:

- La distancia entre el punto de partida y el punto final del perfil, con respecto al eje X, deberá ser igual o mayor que el L (pasada de acabado en el eje X). Al usar corrección de radio es recomendable dar a esta distancia el valor de L más un número cualquiera de veces el valor de C (pasada máxima). Por ejemplo, si $L = 0.5$ y $C = 2$ se puede usar el valor $2.5 = (L + C)$, $4.5 = (L + 2C)$ etc. En caso contrario puede dar error.
- La distancia entre el punto de partida y el punto inicial A con respecto al eje Z deberá ser mayor que M.

Además, deben tenerse en cuenta las siguientes condiciones:

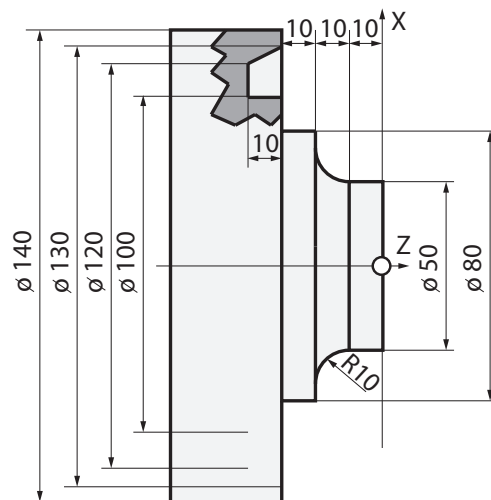
- Al definir el perfil en las líneas de programación, no hay que programar el punto A, que ya está indicado con X y Z. En caso contrario dará error.

- Todas las condiciones tecnológicas de mecanizado deben ser programadas con anterioridad a la llamada del ciclo. Una vez finalizado el ciclo fijo, el avance activo será el último avance programado, el correspondiente a la operación de desbaste (F) o acabado (H). Asimismo, el CNC asumirá las funciones G00, G40 y G90.
- Si se programa con compensación de radio, el último movimiento antes de la llamada al ciclo debe ser G00. En caso contrario dará error.

A continuación se muestra el ejemplo 10.6 de aplicación del ciclo G69. Obsérvese la activación de la compensación de radio mediante la función G41 en el movimiento rápido de posicionamiento en el punto de partida. Se parte de un cilindro de diámetro 140 mm. Además, se propone el ejercicio 10.6 para practicar la función G69 con dos casos distintos, una operación de desbaste exterior y otra de desbaste interior a partir de un cilindro ya taladrado.

Ejemplo 10.6: Aplicación de un ciclo G69

N10 G90 G95 G96 G40	N200 G1 X130
N20 G92 S2000	N210 X120 Z-40
N30 T1 D1	N220 X100
N40 F0.2 S100	N230 Z-30
N50 G00 X150 Z10 M3	N240 X80
N60 G41 X142 Z2	N250 Z-20
N70 G69 X140 Z-30 C2 D1 L0.2 M0.2 K0.2 F0.2	N260 G1 G36 R10 X50 Z-20
H0.1 S200 E280	N270 X50 Z0
N80 G00 G40 X150 Z10 M5	N280 X0
N90 M30	



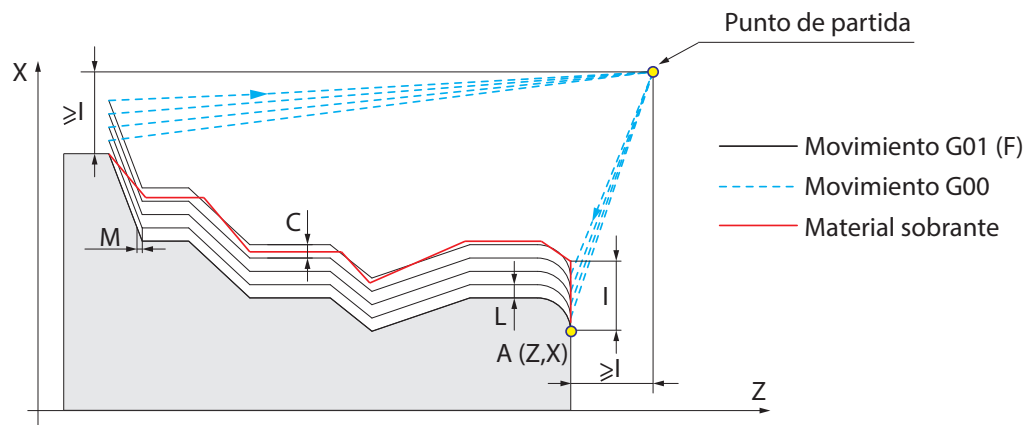


Figura 10.11. Definición del ciclo fijo de seguimiento de perfil.

La estructura básica del bloque es

► G66 X Z I C A L M H S E Q J

Los parámetros del ciclo son los siguientes:

- **X:** Definición de la cota según el eje X del punto inicial del perfil (A). Se programará en cotas absolutas y, dependiendo de las funciones activas, en radios o diámetros.
- **Z:** Definición de la cota según el eje Z del punto inicial del perfil (A). Se programará en cotas absolutas.
- **I:** Definición del sobrante de material, es decir, la cantidad a eliminar de la pieza origen. Se define en radios y dependiendo del valor asignado al parámetro "A" este valor se interpretará como sobrante en X o en Z. Si la pieza a mecanizar es de fundición, será la parte de exceso de material a eliminar. Si, por el contrario, la pieza parte de un bruto de material cilíndrico, será la diferencia entre el diámetro más pequeño del perfil y el diámetro más alto del mismo. Debe ser igual o mayor que cero. Debe ser igual o mayor que la demasia para el acabado. Si su valor no es mayor que la demasia para el acabado L o M, únicamente se efectúa la pasada de acabado, si H es distinto de cero.
- **C:** Definición del paso de mecanizado. Todas las pasadas se efectúan con este paso, a excepción de la última que eliminará el material sobrante. Se define en radios y dependiendo del valor asignado al parámetro "A" este valor se interpretará, como paso en X o en Z. Si se programa con valor 0, el CNC visualizará el error correspondiente.
- **A:** Definición del eje principal de mecanizado, Figura 10.12. Si se programa A0, el eje principal será el Z. El valor de "I" se toma como sobrante de material en X y el valor de "C" como paso en X. Si se programa A1, el eje principal será el X. El valor de "I" se toma como sobrante de material en Z y el valor de "C" como paso en Z.
- **L:** Definición de la demasia para la pasada de acabado según el eje X, programada en radios. Si no se programa, tomará el valor 0.

- **M:** Definición de la demasía para la pasada de acabado según el eje Z. Si no se programa, la demasía tendrá el valor indicado en el parámetro L y las pasadas de desbaste serán equidistantes, manteniendo equidistante la distancia de pasada entre 2 consecutivas.

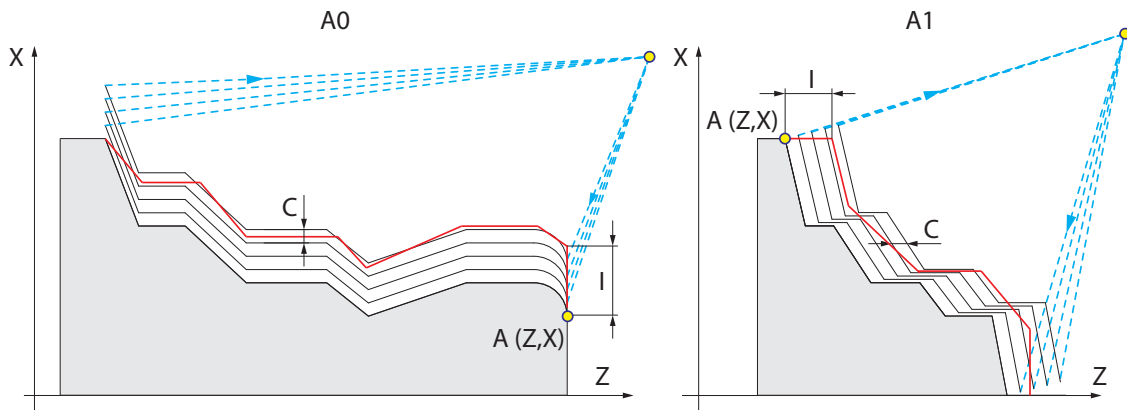


Figura 10.12. Variantes del ciclo fijo de seguimiento de perfil según el parámetro A.

- **K:** Definición de la velocidad de avance de penetración de la herramienta en los valles. Si no se programa o se programa con valor 0, asume la velocidad de avance del mecanizado (el que estaba programado antes de la llamada al ciclo).
- **F:** Definición de la velocidad de avance de la pasada final de desbaste. Si no se programa o se programa con valor 0, se entiende que no se desea pasada final de desbaste.
- **H:** Definición de la velocidad de avance en la pasada de acabado. Si se indica el valor 0 no se realizará pasada de acabado.
- **S:** Definición del número de etiqueta del bloque en el que comienza la descripción geométrica del perfil.
- **E:** Definición del número de etiqueta del bloque en el que finaliza la descripción geométrica del perfil.
- **Q:** Definición del número de programa que contiene la descripción geométrica del perfil. Este parámetro es opcional y si no se define el CNC entiende que el perfil se encuentra definido en el mismo programa que contiene la llamada al ciclo.
- **J:** Definición del tramo por paso del desbaste por tramos. Este parámetro sólo funciona si el parámetro $A=0$. Esta funcionalidad es válida tanto para perfiles exteriores como para perfiles interiores.

Para poder ejecutar el ciclo se deben cumplir las siguientes condiciones:

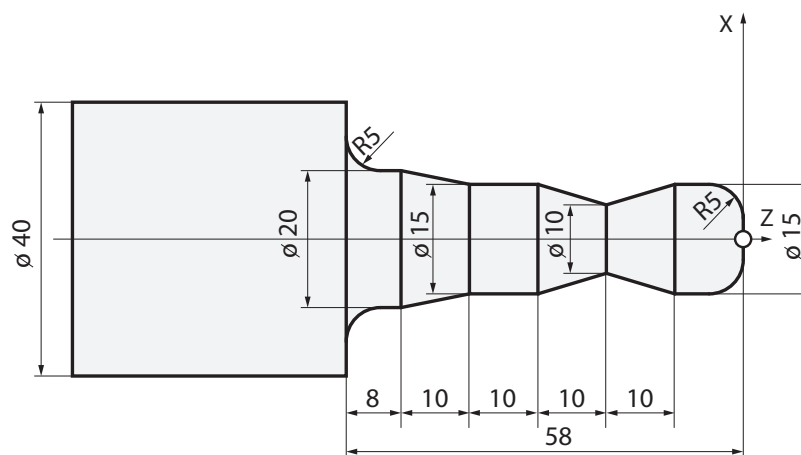
- El punto de llamada al ciclo estará situado fuera de la pieza a mecanizar y a una distancia superior a la definida como sobrante de material (I) del perfil más exterior de la pieza. Si la posición de la herramienta no es correcta para ejecutar el ciclo, el CNC visualizará el error correspondiente.

- Al realizar la programación del perfil no se ha de indicar en la misma el punto inicial A, que ya está definido por los parámetros "X" y "Z".
- Todas las condiciones tecnológicas de mecanizado han de ser programadas con anterioridad a la llamada del ciclo.
- La definición del perfil puede estar formada por rectas, arcos, redondeo de aristas, entradas tangenciales, salidas tangenciales y chaflanes así como con compensación de radio de las herramientas (G41 y G42).
- La programación puede realizarse indistintamente en absoluto o incremental.
- Dentro del ciclo no puede haber ninguna llamada a cambio de herramientas.
- Al acabar el ciclo quedarán activas las funciones G00 y G90. Una vez finalizado el ciclo fijo el avance activo será el último avance programado, el correspondiente a la operación de desbaste (F) o acabado (H).
- El ciclo finalizará en el punto donde empezó.
- Los movimientos de aproximación los realizará en G00.

A continuación se muestra el ejemplo 10.7 de aplicación del ciclo G66. Obsérvese la activación de la compensación de radio mediante la función G42 en el movimiento rápido de posicionamiento en el punto de partida. Se parte de un cilindro de diámetro 40 mm.

Ejemplo 10.7: Aplicación de un ciclo G66

N10 G90 G95 G96	N70 G66 X0 Z0 I15 C2 A0 L0.2	N210 X15 Z-10
N20 G92 S2000	M0.2 H0.1 S200 E270	N220 X10 Z-20
N30 T1 D1	N80 G00 G40 X50 Z10 M5	N230 X15 Z-30
N40 F0.2 S100	N90 M30	N240 Z-40
N50 G00 X50 Z10 M3	N200 G1 G36 R5 X15	N250 X20 Z-50
N60 G42 X42 Z2		N260 G1 G36 R5 Z-58
		N270 G1 X40

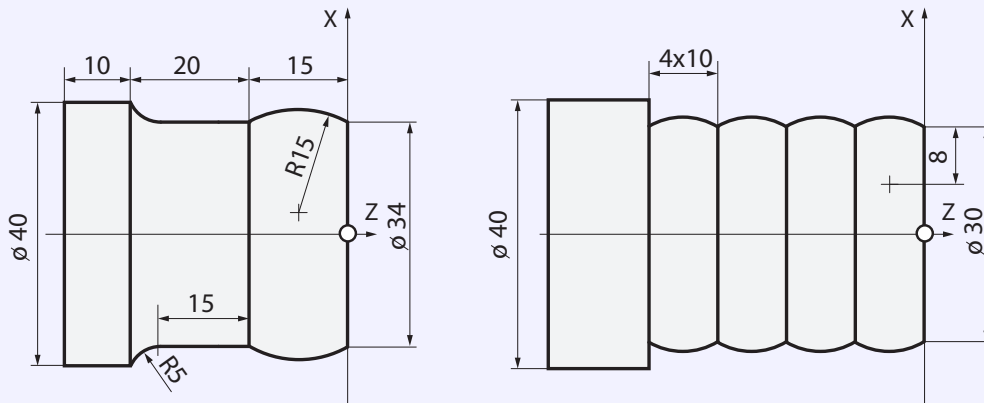


Seguidamente, se propone el ejercicio 10.7 con dos casos para practicar la aplicación del ciclo fijo G66.

Ejercicio 10.7

Realizar el código para mecanizar las siguientes piezas mediante un ciclo fijo G66. La herramienta disponible es VNMG 160408, cuyas condiciones de corte son: profundidad de pasada máxima de 2 mm, avance de 0,2 mm/rev y velocidad de corte constante de 200 m/min (limitada a 300 m/min). Dejar una demasía en X y Z de 0,2 mm para la pasada de acabado, realizada con un avance de 0,1 mm/rev.

En ambos casos se parte de un cilindro con el diámetro máximo de la pieza.



- **X:** Definición de la cota según el eje X del punto inicial de la ranura (A). Se programará en cotas absolutas y en radios o diámetros, según las unidades activas.
- **Z:** Definición de la cota según el eje Z del punto inicial de la ranura (A). Se programará en cotas absolutas.
- **Q:** Definición de la cota según el eje X del punto final de la ranura (B). Se programará en cotas absolutas y según las unidades activas, radios o diámetros.
- **R:** Define la cota según el eje Z del punto final de la ranura (B).
- **C:** Definición del paso de ranurado. Si no se programa, se tomará el valor de la anchura de la herramienta activa y si se programa con valor 0 el CNC mostrará el error correspondiente.
- **D:** Definición de la distancia de seguridad y se programará mediante un valor positivo expresado en radios.
- **K:** Definición del tiempo de espera, en centésimas de segundo, tras cada profundización, hasta que comienza el retroceso. Si no se programa, se tomará el valor 0.

Las condiciones de operación del ciclo, que deben cumplirse al inicio, son las siguientes:

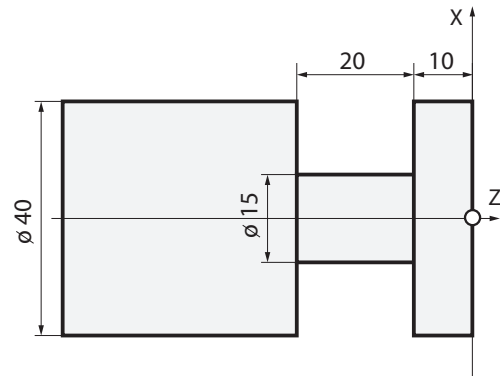
- Las condiciones de mecanizado (velocidad de avance, velocidad de giro de cabezal, etc.) se deben programar antes de la llamada al ciclo.
- Una vez finalizado el ciclo fijo, el programa continuará con el mismo avance F y las mismas funciones G de que disponía al llamar al ciclo.
- Únicamente se anulará la compensación de radio de herramienta si se encontraba activa, continuando la ejecución del programa con la función G40.
- Todo el ranurado se realiza con el mismo paso, que es igual o inferior a "C".
- Al iniciar el ciclo, la herramienta tiene que estar posicionada en una coordenada X mayor que la suma del parámetro "D" y el punto A. En caso contrario marcará error.
- Todas las condiciones tecnológicas de mecanizado han de ser programadas con anterioridad a la llamada del ciclo.
- Si se invierten los puntos A y B se invierte el mecanizado.
- El ciclo finalizará en el punto donde empezó.
- Los movimientos de aproximación desde la distancia de seguridad hasta el fondo de la ranura los realiza en G01 y el resto en G00.

En el ejemplo 11.1 se muestra la aplicación del ciclo G88.

Ejemplo 11.1: Aplicación del ciclo G88

```

N10 G90 G95 G96 G40
N20 G92 S500
N30 T1 D1
N40 F0.2 S100 M03
N50 G00 X60 Z-10
N60 G88 X40 Z-30 Q15 R-10 C3 D2
K10
N70 G00 X80 Z-10 M5
N80 M30
  
```



En el ejercicio 11.1 se proponen dos casos para practicar la función G88.

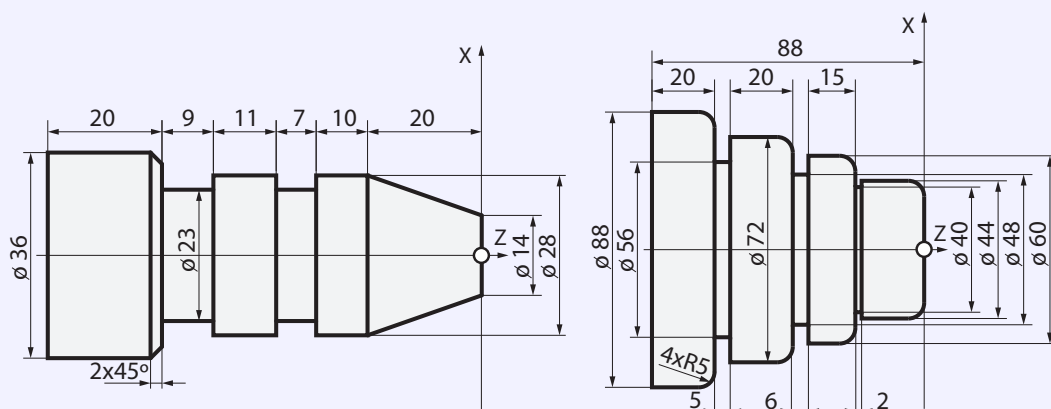
Ejercicio 11.1

Realizar el código para mecanizar las siguientes piezas aplicando los ciclos necesarios, entre ellos la función G88. Las condiciones de corte para las operaciones de torneado son: profundidad de pasada máxima de 1 mm, avance de 0,1 mm/rev y velocidad de corte constante de 200 m/min (limitada a 400 m/min). Dejar una demasía en X y Z de 0,2 mm para la pasada de acabado, realizada con un avance de 0,05 mm/rev. Se cuenta con una plaquita de ranurado con una anchura de corte de 2 mm.

En ambos casos se parte de un cilindro del diámetro máximo de la pieza.

Las herramientas disponibles son:

- TNMG 160408 para operaciones de torneado exterior.
- MGMN 2.00-0.4 para operaciones de ranurado.



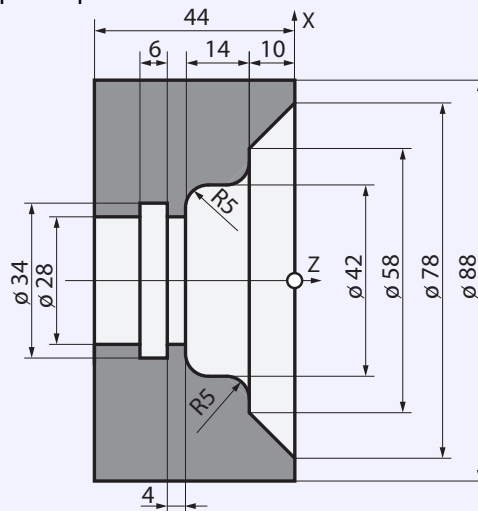
El ciclo G88 también puede utilizarse para mecanizar ranuras interiores, introduciendo la herramienta por un agujero previamente taladrado, como se propone en el ejercicio 11.2.

Ejercicio 11.2

Realizar el código para mecanizar la pieza siguiente. Las condiciones de corte para las operaciones de torneado son: profundidad de pasada máxima de 2 mm, avance de 0,2 mm/rev y velocidad de corte constante de 100 m/min (limitada a 200 m/min). Dejar una demasía en X y Z de 0,2 mm para la pasada de acabado, realizada con un avance de 0,1 mm/rev. Se cuenta con una plaquita para ranurado interior con una anchura de corte de 2 mm.

Se parte de una pieza con un taladrado ya realizado con una broca de 28 mm.

- CCMT 060204 para operaciones de torneado interior.
- MGMN 2.00-0.4 para operaciones de ranurado.



11.2 | G89: Ciclo fijo de ranurado en el eje Z

La función G89 es un ciclo para mecanizar ranuras en sentido del eje Z, es decir, profundizando a favor de Z, distribuyendo las pasadas separadas en dirección X según el valor especificado, Figura 11.2. Se utilizará para el mecanizado de ranuras frontales.

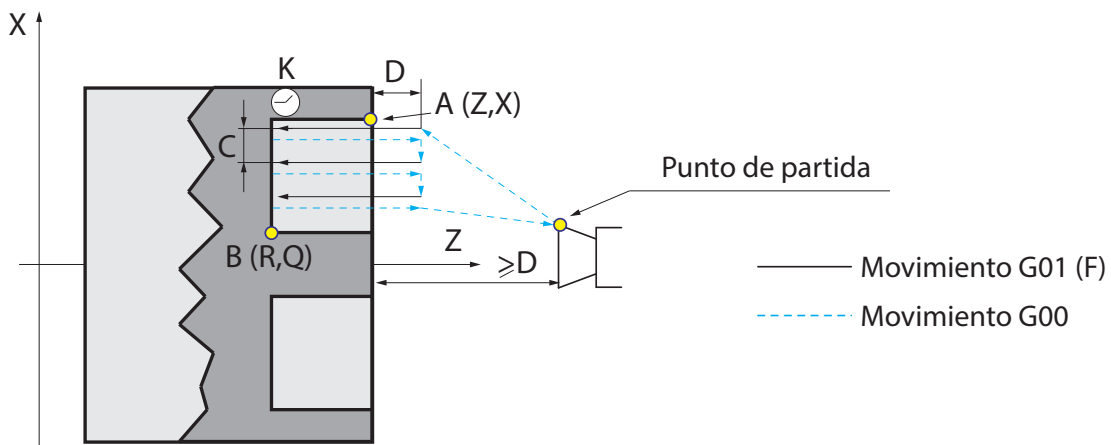



Figura 11.2. Definición del ciclo fijo de ranurado en el eje Z.

No realiza pasada de acabado, por lo que, si interesa realizarla, se tiene que prever con anterioridad y dejar un excedente de material. El ciclo permite dejar un tiempo de espera en el fondo, para evitar que dicha superficie quede mal acabada.

El formato del bloque es el siguiente

 G89 X Z Q R C D K

Los parámetros del ciclo son los siguientes:

- **X:** Definición de la cota según el eje X del punto inicial de la ranura (A). Se programará en cotas absolutas y en radios o diámetros, según las unidades activas.
- **Z:** Definición de la cota según el eje Z del punto inicial de la ranura (A). Se programará en cotas absolutas.
- **Q:** Definición de la cota según el eje X del punto final de la ranura (B). Se programará en cotas absolutas y según las unidades activas, radios o diámetros.
- **R:** Define la cota según el eje Z del punto final de la ranura (B).
- **C:** Definición del paso de ranurado. Se programará en radios. Si no se programa, se tomará el valor de la anchura de la herramienta activa y si se programa con valor 0 el CNC mostrará el error correspondiente.
- **D:** Definición de la distancia de seguridad y se programará mediante un valor positivo expresado en radios.
- **K:** Definición del tiempo de espera, en centésimas de segundo, tras cada profundización, hasta que comienza el retroceso. Si no se programa, se tomará el valor 0.

Las condiciones de operación del ciclo, que deben cumplirse al inicio, son las siguientes:

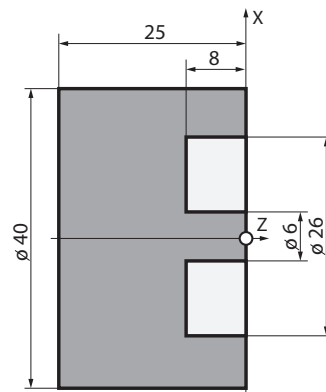
- Las condiciones de mecanizado (velocidad de avance, velocidad de giro de cabezal, etc.) se deben programar antes de la llamada al ciclo.
- Una vez finalizado el ciclo fijo, el programa continuará con el mismo avance F y las mismas funciones G de que disponía al llamar al ciclo.
- Únicamente se anulará la compensación de radio de herramienta si se encontraba activa, continuando la ejecución del programa con la función G40.
- Todo el ranurado se realiza con el mismo paso, que es igual o inferior a "C".
- Al iniciar el ciclo, la herramienta tiene que estar posicionada en una coordenada Z mayor que la suma del parámetro "D" y el punto A. En caso contrario marcará error.
- Todas las condiciones tecnológicas de mecanizado han de ser programadas con anterioridad a la llamada del ciclo.

- Si se invierten los puntos A y B se invierte el mecanizado.
- El ciclo finalizará en el punto donde empezó.
- Los movimientos de aproximación desde la distancia de seguridad hasta el fondo de la ranura los realiza en G01 y el resto en G00.

Se muestra el ejemplo 11.2 de aplicación del ciclo G89.

Ejemplo 11.2: Aplicación del ciclo G89

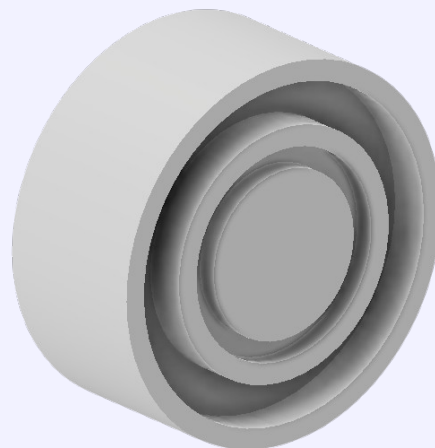
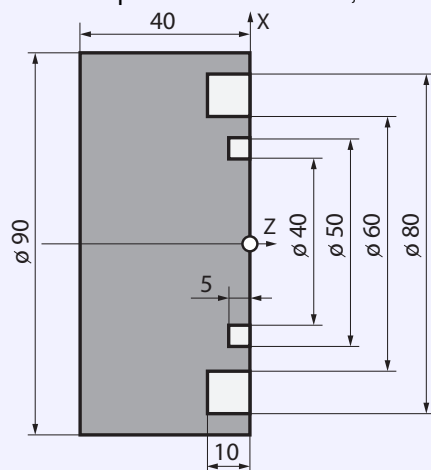
```
N10 G90 G95 G96 G40  
N20 G92 S500  
N30 T1 D1  
N40 F0.2 S100 M03  
N50 G00 X60 Z4  
N60 G89 X26 Z0 Q6 R-8 C3 D2 K10  
N70 G00 X80 Z20 M5  
N80 M30
```



Se propone el ejercicio 11.3 de práctica de la función G89 para mecanizar dos ranuras en la cara frontal del cilindro.

Ejercicio 11.3

Realizar el código para mecanizar la pieza siguiente. Se cuenta con una plaquita para ranurado frontal con una anchura de corte de 2 mm. La velocidad de corte es 200 m/min, el avance por revolución es 0,1 mm/rev.



CICLOS FIJOS PARA OPERACIONES DE ROSCADO

En este capítulo se detallan los ciclos utilizados para el mecanizado de roscas exteriores e interiores mediante plaquitas o insertos de corte específicos. Es decir, aquellas que requieren de varias pasadas de mecanizado para configurar las geometrías de la rosca. Estos ciclos no permiten el roscado con macho de roscar, que será detallado en capítulos siguientes.

12.1 | Sistemas de roscado

En el mecanizado de roscas con herramienta de corte, existen diferentes sistemas para conseguir el tipo de rosca adecuado, dependiendo de cómo se coloque y se desplace la herramienta y del sentido de giro del plato del torno. Esto último depende del tipo de máquina de la que se disponga, ya sea con el trabajo de la herramienta por delante o por detrás de la pieza. En la Figura 12.1 se pueden ver distintas posibilidades de construir roscas, según su sentido de giro, que se pueden dar en torno. Es importante tener claro este aspecto para realizar de forma correcta la rosca.

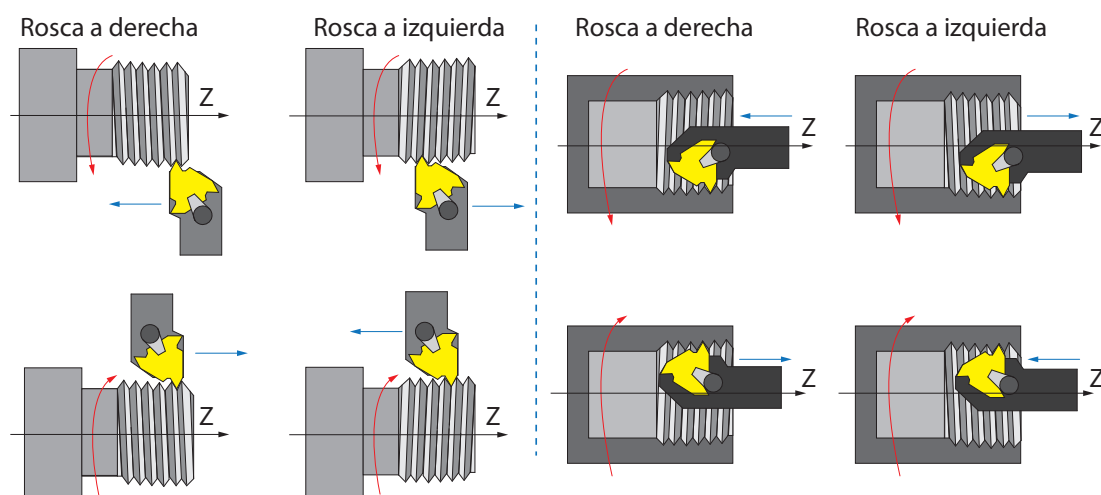


Figura 12.1. Roscados exteriores e interiores, a derecha e izquierda.

Por lo general, las roscas se mecanizan en dirección al plato de garras, lo que conduce a una mayor estabilidad en comparación con el roscado hacia el extremo de la pieza.

12.2 | Selección de la plaquita de roscado

En el mecanizado de roscas métricas y Whitworth se utilizarán indistintamente plaquitas de perfil parcial o total. La diferencia entre ambas reside en la posibilidad de realizar un único paso o una pequeña gama de pasos:

- **Plaquetas de perfil parcial, Figura 12.2:** Permiten la realización de diferentes pasos y es apropiada para series de pocas piezas. El radio de punta de la plaquita es equivalente al paso más pequeño que puede realizar. Esto requiere incrementar la profundidad del filete que se tiene que mecanizar. La parte exterior de la rosca no se mecaniza y, por tanto, es posible que queden rebabas en las crestas de rosca.
- **Plaquetas de perfil completo, Figura 12.2:** Son las ideales para obtener perfiles de rosca normalizados. La cresta de la rosca queda perfectamente acabada, dado que la propia plaquita puede mecanizar una zona de material que se dejará como sobre medida del diámetro exterior de rosca. La cantidad máxima de material a mecanizar en cresta suele tener aproximadamente 0,15 mm en radio. Disminuyen el tiempo de mecanizado, por tanto, aumentan la vida de la plaquita, pero solo sirven para un paso concreto, lo que exige tener juegos de plaquitas por cada paso a construir. Esto justifica que tenga más sentido utilizarlas en mecanizados de series medias o grandes.

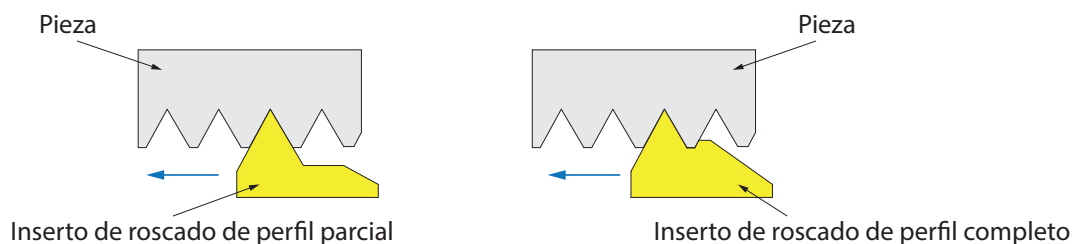


Figura 12.2. Plaquetas de roscado de perfil parcial y perfil completo.

12.3 | Sistemas convencionales de penetración en el mecanizado de roscas

En torno convencional, básicamente existen dos sistemas de construcción de roscas normalizadas de perfil triangular. Por un lado, el método de penetración perpendicular al eje principal (o radial) es el más empleado en este tipo de máquinas, con el inconveniente de que el trabajo de la herramienta es más agresivo cuanto más penetra la herramienta, por la mayor sección de corte. Por otro lado, el método de seguimiento de flanco, que se consigue inclinando el carro orientable a la misma inclinación que el flanco de la rosca. Penetrando las diferentes pasadas desde este mismo carro, permite reducir la carga sobre la herramienta, haciendo que trabaje solo uno de los flancos de la herramienta. No obstante, este último sistema tiene el inconveniente de no poder controlar de forma correcta la profundidad, dado su sistema de inclinación, lo que obliga a controlar repetidamente con instrumentos de verificación la profundidad real alcanzada.

En tornos de control numérico se permiten más alternativas en la forma de construcción, dependiendo de las características de la máquina y de las posibilidades del control. Se pueden destacar los siguientes sistemas, Figura 12.3:

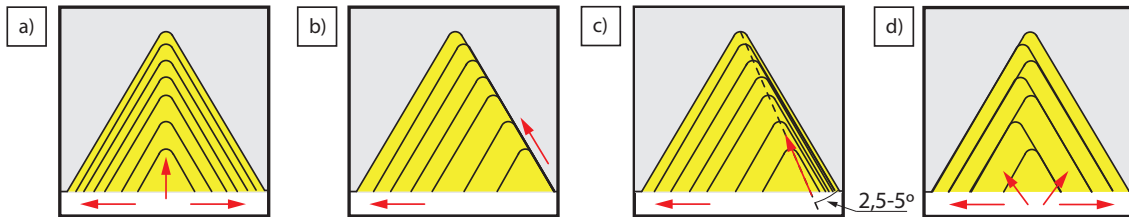


Figura 12.3. a) Penetración radial, b) Penetración en flanco, c) Penetración con variación del ángulo de flanco y d) Penetración en flanco alternativo.

- **Penetración radial:** Es ideal para materiales de viruta corta, siendo el más fácil de controlar. Sin embargo, con materiales de viruta larga no desaloja con facilidad la viruta, lo que ocasiona un sufrimiento extra para la plaquita y un acabado deficiente para la pieza. El incremento se debe realizar de mayor a menor profundidad tal como se avanza sobre la pieza, pues la longitud de la sección de corte de la herramienta prácticamente se multiplica por dos en cada pasada de penetración. Al finalizar es conveniente repasar los flancos de la rosca desplazando de forma controlada la herramienta a derecha e izquierda para cepillar ambas superficies.
- **Penetración en flanco:** Trabaja bien con materiales de viruta larga por su fácil evacuación, sin afectar al acabado de la superficie y sin producir un trabajo excesivo a la herramienta. Es probablemente el sistema más utilizado, puesto que no presenta los inconvenientes del sistema anterior y en control numérico es fácil de programar, encargándose el control de todo el proceso de cálculo y distribución de pasadas siguiendo las condiciones que se la hayan introducido por programación. Al finalizar, es conveniente repasar de forma controlada la cara contraria con un ligero cepillado.
- **Penetración con variación del ángulo de flanco:** Este sistema es parecido al anterior, pero con la diferencia de que la herramienta en lugar de trabajar paralela al flanco de la hélice lo hace con una pequeña inclinación de entre $2,5^\circ$ y 5° , con lo que se consigue una mayor descarga de trabajo de la herramienta. Tiene el inconveniente de que el control de las pasadas es más complicado (a no ser que el control disponga de un ciclo con control automático y eso sólo lo tienen algunos controles de última generación). Al finalizar, es conveniente repasar de forma controlada la cara contraria con un ligero cepillado.
- **Penetración en flanco alternativo:** Es el sistema más rentable para el mecanizado de materiales de viruta larga. La herramienta trabaja de forma muy favorable sin elevar la temperatura, lo que le reporta una mayor durabilidad. El problema está en que no todos los controles disponen de esta capacidad. Al finalizar, es conveniente repasar de forma controlada las dos caras de los flancos con un ligero cepillado.

- **Q:** Definición de la cota según el eje X del punto final de la rosca (B). Se programará en cotas absolutas y según las unidades activas, radios o diámetros.
- **R:** Definición de la cota según el eje Z del punto final de la rosca (B).
- **K:** Repaso de roscas (opcional). Se utiliza, junto con el parámetro "W" (roscas de múltiples entradas), para realizar repaso final a las roscas. Indica la cota en dirección al eje Z del punto en que se tiene en cuenta la medición de la rosca. La mayor parte de las veces será un punto intermedio de la rosca.
- **I:** Definición de la profundidad de rosca, siempre indicada en radios. Si la rosca es exterior tendrá valor positivo y si es interior tendrá valor negativo.
- **B:** Definición de la profundidad de las pasadas de roscado, programada en radios. En este parámetro se indica la profundidad de la primera pasada del mecanizado de la rosca a realizar. Dependiendo del signo aplicado el comportamiento será el siguiente:
 - Signo positivo: la profundidad de la siguiente pasada se obtendrá de multiplicar B por la raíz cuadrada del número de pasada, Figura 12.5, es decir, la profundidad en la segunda pasada será $B \cdot \sqrt{2}$. La profundidad en la pasada n será $B \cdot \sqrt{n}$. De esta manera, la siguiente pasada es siempre inferior a la actual.
 - Signo negativo: el incremento de la profundización se mantiene constante entre pasadas, con un valor igual al programado (B), Figura 12.5.
 - Si el valor es 0, se visualizará el error correspondiente.

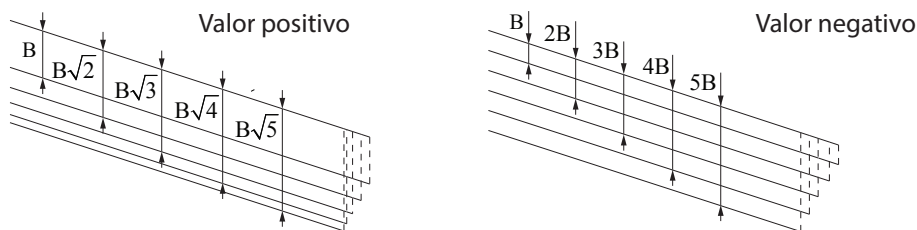


Figura 12.5. Influencia del parámetro B en el ciclo G86.

- **E:** Está relacionado con el parámetro B. Indica el valor mínimo que puede alcanzar el paso de profundización cuando se ha programado el parámetro B con valor positivo. Si no se programa se tomará el valor 0.
- **D:** Definición de la distancia de seguridad, indicada en radios. Esta distancia es a elección del programador y tiene que tener en cuenta alejarse lo suficiente de la superficie de la pieza para no colisionar con ella, o con posibles restos de viruta que puedan quedar entre los flancos. La vuelta al punto inicial tras cada pasada de roscado se realiza manteniendo esta misma distancia (D) del tramo programado. Dependiendo del signo aplicado a este parámetro, el comportamiento será el siguiente:
 - Signo positivo: el movimiento lo realizará en G05 (arista matada).
 - Signo negativo: el movimiento lo realizará en G07 (arista viva).

- Valor igual a 0: se interpreta como positivo.
- **L**: Definición de la demasía para el acabado, programada en radios. Dependiendo del valor o signo aplicado el comportamiento del ciclo será el siguiente:
 - Signo positivo: la pasada de acabado se realiza manteniendo el mismo ángulo de entrada "A" que el resto de las pasadas.
 - Signo negativo: la pasada de acabado la realizará con entrada radial, es decir, perpendicular al eje Z.
 - Valor igual a cero: repite la pasada anterior, es decir, realiza una pasada de cepillado que dejará mejor acabado en las paredes de los flancos.
- **C**: Definición del paso de rosca en sentido del eje Z. En caso de mecanizar una rosca cónica, actuará de la siguiente manera:

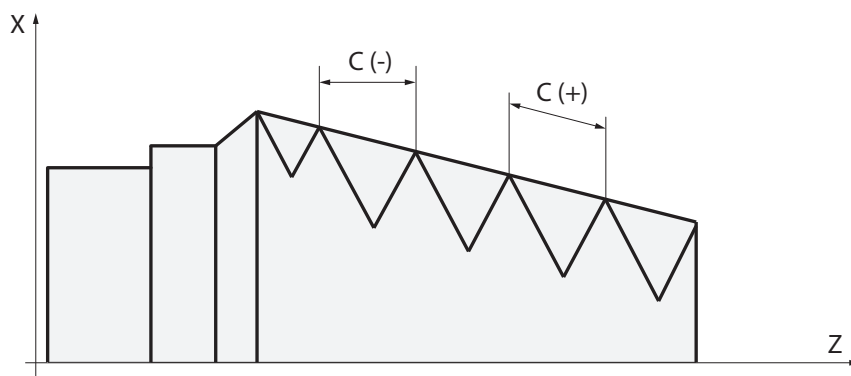


Figura 12.6. Influencia del parámetro C en el ciclo G86.

- Signo positivo: la medida del paso la realizará en el sentido alineado a la inclinación de la rosca, Figura 12.6.
- Signo negativo: la medida del paso la realizará paralela al eje, Figura 12.6.
- Si se programa con valor cero, se visualizará el error correspondiente.

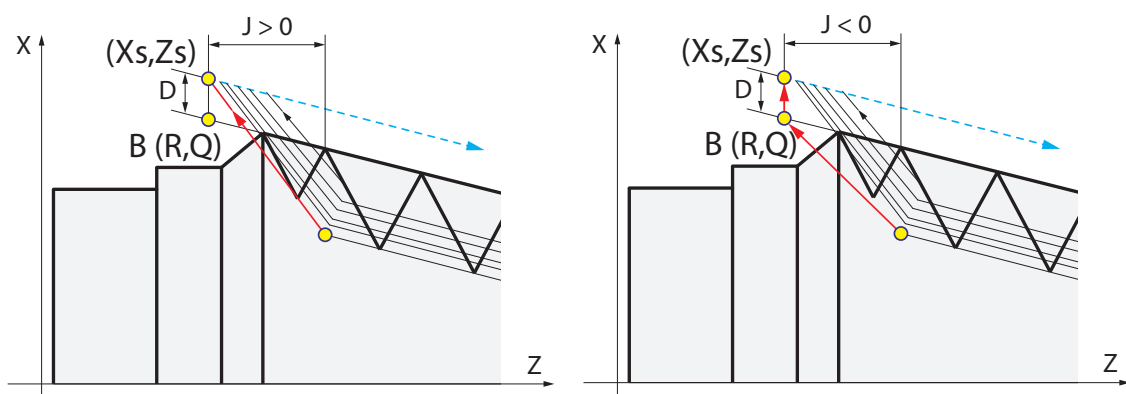


Figura 12.7. Influencia del parámetro J en el ciclo G86.

- **J:** Definición de la salida de la rosca. Indica a qué distancia del punto B empieza la salida. Pueden darse las siguientes condiciones:
 - Signo positivo: la herramienta se desplaza directamente desde el punto "J" a la distancia seguridad Xs, Zs, Figura 12.7.
 - Signo negativo: la herramienta se desplaza desde el punto "J" al punto final de la rosca (R, Q) y posteriormente a la distancia seguridad Xs, Figura 12.7.
- **A:** Definición del ángulo de penetración de la herramienta. Estará referido al eje X y si no se programa, se tomará el valor 30°. Pueden darse las siguientes situaciones:
 - Si se programa A0, la rosca se realizará con penetración radial.
 - Si el valor asignado al parámetro A es la mitad del ángulo de la herramienta, la penetración se realiza rozando el flanco de la rosca.
 - Si se programa A con valor negativo, la penetración se realizará en zig-zag sobre el eje radial.

Se recomienda que el ángulo de penetración sea menor que la mitad del ángulo de la herramienta y nunca superior. Si el ángulo de penetración es mayor que la mitad del ángulo de la herramienta no es posible mecanizar la rosca. Si el ángulo de penetración es igual que la mitad del ángulo de la herramienta, esta roza el flanco de la rosca en cada pasada.

- **W:** Permite efectuar roscas de múltiples entradas (opcional). Si no se ha definido el parámetro "K" (repasso de roscas), indica la posición angular del cabezal correspondiente al punto inicial de la rosca. Para que este parámetro tenga efecto es necesario realizar tantos ciclos de roscado como entradas tenga la rosca a construir. Por ejemplo, para construir una rosca de tres entradas se realizarán tres ciclos indicando en el primero 0 como valor a "W" (rosca de múltiples entradas), en el segundo 120 y en el tercero 240, que corresponden con los grados a los que se iniciaría cada uno de los filetes de las diferentes roscas. Si se ha definido el parámetro "K", se trata de un repaso de roscas. Indica la posición angular del cabezal correspondiente al punto en que se efectúa la medición de la rosca.
- Los parámetros V, M, H, U son de carácter específico y menos relevantes, además de ser opcionales. Por ese motivo, no se encuentran detallados, pudiendo consultarse en el manual del fabricante.

Las condiciones de utilización del ciclo son las siguientes:

- Al iniciar el ciclo, la herramienta tiene que estar posicionada en una coordenada X mayor que la suma del parámetro "D" y la diferencia del punto A al punto B. En caso contrario marcará error.
- Todas las condiciones tecnológicas de mecanizado han de ser programadas con anterioridad a la llamada del ciclo.

- Los parámetros pueden estar programados parcial o totalmente con anterioridad a la llamada del ciclo.
- Las condiciones de salida del ciclo son las siguientes: G00, G40, G90 y G97. La programación puede realizarse indistintamente en absoluto o incremental.
- El ciclo se inicia acercándose en G00 al punto de inicio y acabará en el mismo punto.
- Durante el proceso de mecanización queda anulado el botón FEED-RATE, no pudiéndose variar la velocidad de avance "F", que se mantendrá fija en el 100 %.

A continuación se muestran los ejemplos 12.1 de aplicación del ciclo G86, tanto para una rosca cilíndrica como cónica. Se parte en ambos casos de una pieza premechanizada, faltando únicamente por mecanizar la rosca. La primera pasada será de 0,5 mm, el paso de 2 mm y la profundidad de la rosca será de 1,22 mm.

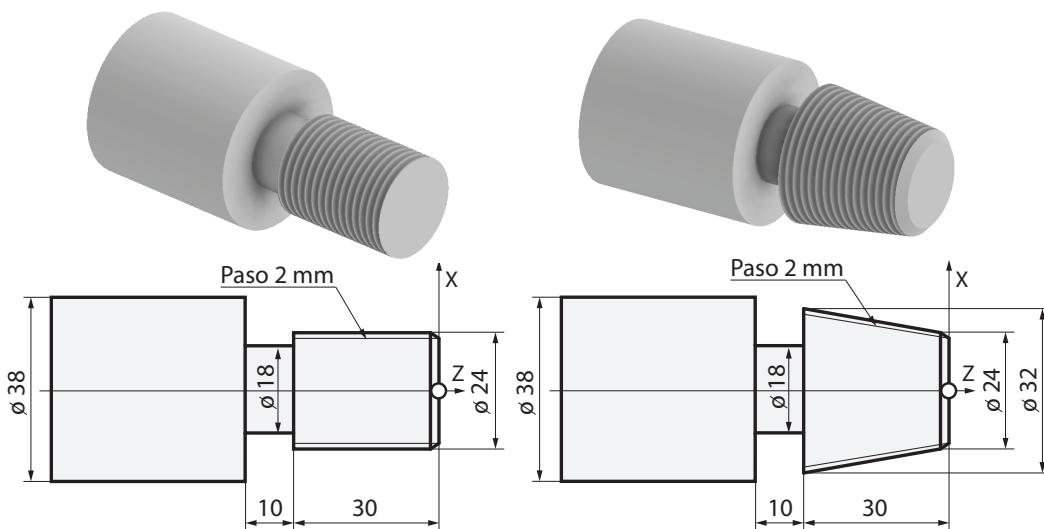
Ejemplo 12.1: Aplicación de un ciclo G86

Rosca cilíndrica

N10 G90 G95 G96 G40
 N20 G92 S2000
 N30 T1 D1
 N40 F0.1 S100
 N50 G0 X28 Z2 M3
 N60 G86 X24 Z2 Q24 R-32 K0 I1.22
 B0.5 E0.05 D2 L0.05 C2 J0 A29.5
 N70 G0 X40 Z15 M5
 N80 M30

Rosca cónica

N10 G90 G95 G96 G40
 N20 G92 S2000
 N30 T1 D1
 N40 F0.1 S100
 N50 G0 X28 Z2 M3
 N60 G86 X24 Z2 Q32 R-32 K0 I1.22
 B0.5 E0.05 D2 L0.05 C2 J0 A29.5
 N70 G0 X40 Z15 M5
 N80 M30



Se proponen el ejercicio 12.1 para practicar la función G86.

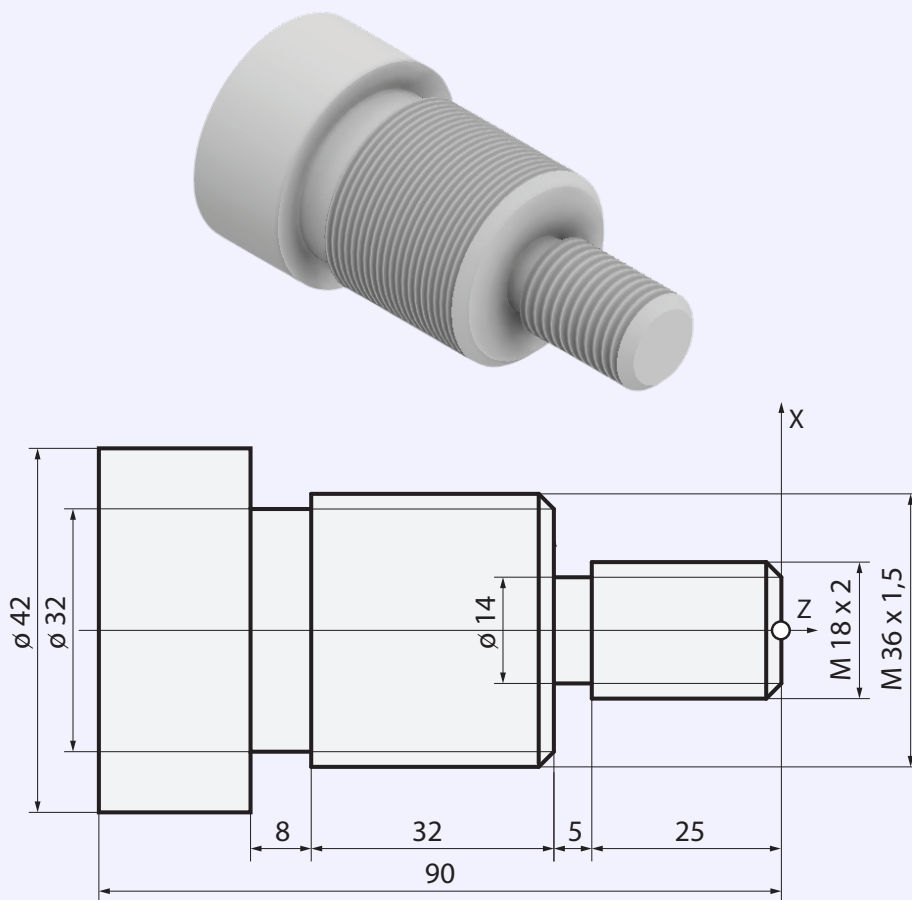
Ejercicio 12.1

Realizar el código para mecanizar la pieza siguiente. Se parte de un cilindro de 42 mm de diámetro. Las condiciones de corte para las operaciones de torneado exterior son: avance de 0,1 mm/rev, profundidad de pasada de 2 mm y velocidad de corte constante de 150 m/min. Para las operaciones de ranurado, la plaquita utilizada tiene una anchura de corte de 2 mm.

La herramientas disponibles son:

- TNMG 160408 para operaciones de torneado exterior.
- MGMN 2.00-0.4 para operaciones de ranurado.
- 16ER AG60 para operaciones de roscado.

Es necesario prever la cantidad de material a eliminar en el roscado para que la profundidad de la rosca sea correcta. Como medida aproximada, la profundidad de la rosca, l , puede calcularse a partir del paso, p , como $l = 0,613 \cdot p$. Además, como regla práctica general, el cilindrado previo al roscado debe hacerse hasta un diámetro previo dado por $D_{pr} = D - 0,12 \cdot p$.



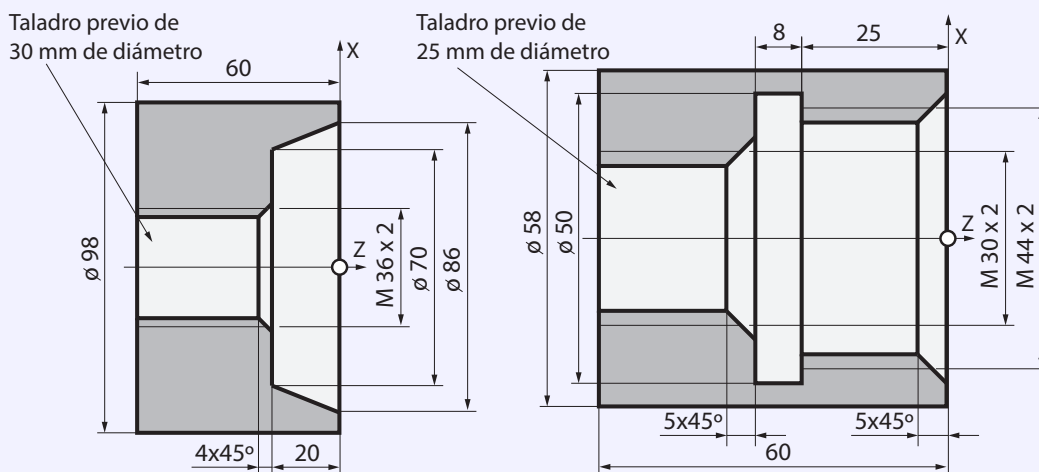
Los ciclos de roscado también pueden aplicarse para el mecanizado de roscas interiores, como se propone en los ejercicios 12.2.

Ejercicio 12.2

Realizar el código para mecanizar las piezas siguientes. En ambas piezas se parte de un cilindro ya taladrado. Las condiciones de corte para las operaciones de torneado son: avance de 0,1 mm/rev, profundidad de pasada de 2 mm y velocidad de corte constante de 150 m/min. Para las operaciones de ranurado, la plaquita utilizada tiene una anchura de corte de 2 mm. La herramientas disponibles son:

- CCMT 060204 para operaciones de torneado interior.
- MGMN 2.00-0.4 para operaciones de ranurado.
- 16ER AG60 para operaciones de roscado.

Se recuerda que el diámetro de agujero previo al roscado interior se determina a partir del diámetro nominal de la rosca y su paso como $D_{pr} = D - p$.



12.5 | G87: Ciclo fijo de roscado frontal

G87 es un ciclo para mecanizar roscas en sentido frontal sobre el eje X, es decir, realizando una espiral sobre la cara plana de la pieza, tanto a derechas como a izquierdas, distribuyendo las pasadas en sentido del eje Z, Figura 12.8. Las roscas a derechas o a izquierdas se programarán indicando el sentido de giro del cabezal M03 o M04.

El ciclo, además, permite la realización de roscas (espirales) inclinadas sobre la superficie del eje X, e incluso salidas inclinadas controladas, sin necesidad de realizar previamente salida de rosca.

En cuanto a su realización, este ciclo es tan potente como el G86, pero igualmente requiere tener buenos conocimientos tecnológicos del proceso del roscado para sacar buenos rendimientos.

El formato del ciclo fijo es

▶ G87 X Z Q R K I B E D L C J A W V M H U

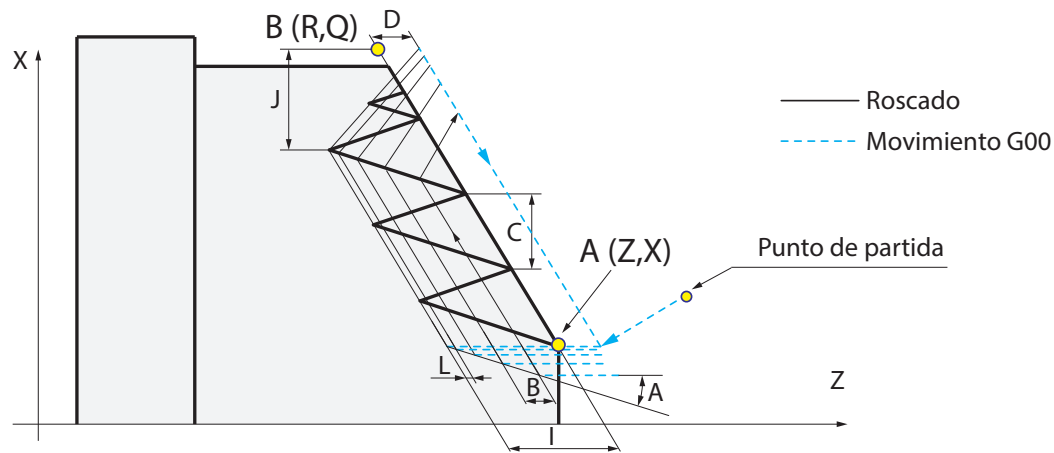


Figura 12.8. Definición del ciclo fijo de roscado frontal.

Los parámetros del ciclo de roscado frontal son los siguientes:

- **X**: Definición de la cota según el eje X del punto inicial de la rosca (A). Se programará en cotas absolutas y según las unidades activas, radios o diámetros.
- **Z**: Definición de la cota según el eje Z del punto inicial de la rosca (A). Se programará en cotas absolutas.
- **Q**: Definición de la cota según el eje X del punto final de la rosca (B). Se programará en cotas absolutas y según las unidades activas, radios o diámetros.
- **R**: Definición de la cota según el eje Z del punto final de la rosca (B).
- **K**: Repaso de roscas (opcional). Se utiliza, junto con el parámetro "W" (roscas de múltiples entradas), para realizar repaso final a las roscas. Indica la cota en dirección al eje X del punto en que se tiene en cuenta la medición de la rosca. La mayor parte de las veces será un punto intermedio de la rosca.
- **I**: Definición de la profundidad de la rosca. Tendrá valor positivo si se mecaniza en sentido negativo según el eje Z y valor negativo si se mecaniza en sentido contrario.
- **B**: Definición de la profundidad de las pasadas de roscado. En este parámetro se indica la profundidad de la primera pasada del mecanizado de la rosca a realizar. Dependiendo del signo aplicado el comportamiento será el siguiente:
 - Signo positivo: la profundidad de la siguiente pasada se obtendrá de multiplicar B por la raíz cuadrada del número de pasada, Figura 12.9, es decir, la profundidad en la segunda pasada será $B \cdot \sqrt{2}$. La profundidad en la pasada n será $B \cdot \sqrt{n}$. De esta manera, la siguiente pasada es siempre inferior a la actual.

- Signo negativo: el incremento de la profundización se mantiene constante entre pasadas, con un valor igual al programado (B), Figura 12.9.
- Si el valor es 0, se visualizará el error correspondiente.

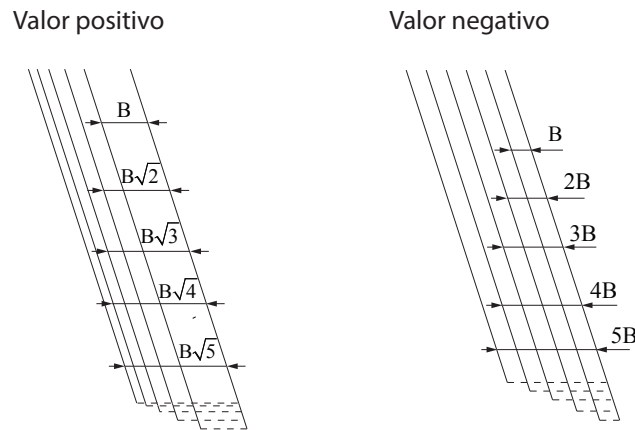


Figura 12.9. Influencia del parámetro B en el ciclo G87.

- **E:** Está relacionado con el parámetro B. Indica el valor mínimo que puede alcanzar el paso de profundización cuando se ha programado el parámetro B con valor positivo. Si no se programa se tomará el valor 0.
- **D:** Definición la distancia de seguridad e indica a que distancia, en el eje Z, del punto inicial de la rosca se posiciona la herramienta en el movimiento de acercamiento. La vuelta al punto inicial tras cada pasada de roscado se realiza manteniendo esta misma distancia (D) del tramo programado. Dependiendo del signo aplicado a este parámetro, el comportamiento será el siguiente:
 - Signo positivo: el movimiento lo realizará en G05 (arista matada).
 - Signo negativo: el movimiento lo realizará en G07 (arista viva).
 - Valor igual a 0: Lo interpreta como positivo.
- **L:** Definición de la demasía para el acabado, programada en radios. Dependiendo del valor o signo aplicado el comportamiento del ciclo será el siguiente:
 - Signo positivo: la pasada de acabado se realiza manteniendo el mismo ángulo de entrada "A" que el resto de las pasadas.
 - Signo negativo: la pasada de acabado la realizará con entrada radial, es decir, perpendicular al eje Z.
 - Valor igual a cero: repite la pasada anterior, es decir, realiza una pasada de cepillado que dejará mejor acabado en las paredes de los flancos.
- **C:** Definición del paso de rosca en sentido del eje X. En caso de mecanizar una rosca cónica, actuará de la siguiente manera:

- Signo positivo: la medida del paso la realizará en el sentido alineado a la inclinación de la rosca, Figura 12.10.
- Signo negativo: la medida del paso la realizará paralela al eje, Figura 12.10.
- Si se programa con valor cero, se visualizará el error correspondiente.

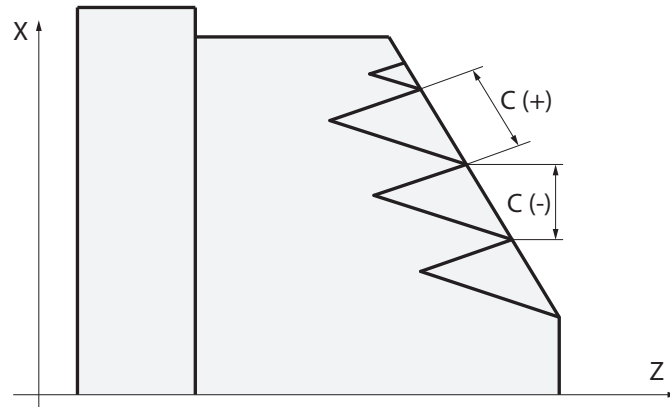


Figura 12.10. Influencia del parámetro C en el ciclo G87.

- **J:** Definición de la salida de la rosca según el eje Z. Indica a qué distancia del punto B empieza la salida. Pueden darse las siguientes condiciones:
 - Signo positivo: la herramienta se desplaza directamente desde el punto "J" a la distancia seguridad X_s , Z_s , Figura 12.11.
 - Signo negativo: la herramienta se desplaza desde el punto "J" al punto final de la rosca (R, Q) y posteriormente a la distancia seguridad X_s , Z_s , Figura 12.11.

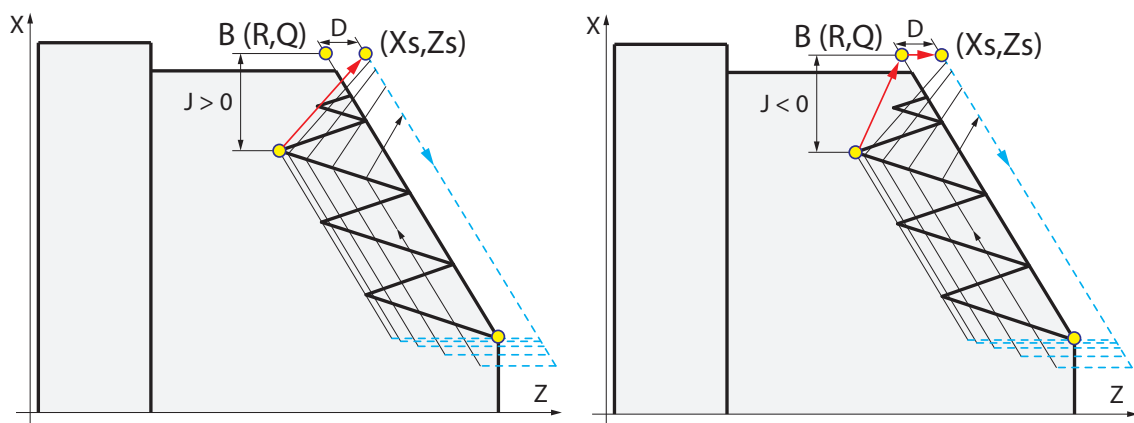


Figura 12.11. Influencia del parámetro J en el ciclo G87.

- **A:** Definición del ángulo de penetración de la herramienta. Estará referido al eje Z y si no se programa, se tomará el valor 30° . Pueden darse las siguientes situaciones:

- Si se programa A0, la rosca se realizará con penetración radial.
- Si el valor asignado al parámetro "A" es la mitad del ángulo de la herramienta, la penetración se realiza rozando el flanco de la rosca.
- Si se programa A con valor negativo, la penetración se realizará en zig-zag sobre el eje radial.

Se recomienda que el ángulo de penetración sea menor que la mitad del ángulo de la herramienta y nunca superior. Si el ángulo de penetración es mayor que la mitad del ángulo de la herramienta no es posible mecanizar la rosca. Si el ángulo de penetración es igual que la mitad del ángulo de la herramienta, esta roza el flanco de la rosca en cada pasada.

- **W:** Permite efectuar roscas de múltiples entradas (opcional). Si no se ha definido el parámetro "K" (repasso de roscas), indica la posición angular del cabezal correspondiente al punto inicial de la rosca. Para que este parámetro tenga efecto es necesario realizar tantos ciclos de roscado como entradas tenga la rosca a construir. Por ejemplo, para construir una rosca de tres entradas se realizarán tres ciclos indicando en el primero 0 como valor a "W" (rosca de múltiples entradas), en el segundo 120 y en el tercero 240, que corresponden con los grados a los que se iniciaría cada uno de los filetes de las diferentes roscas. Si se ha definido el parámetro "K", se trata de un repaso de roscas. Indica la posición angular del cabezal correspondiente al punto en que se efectúa la medición de la rosca.
- Los parámetros V, M, H, U son de carácter específico y menos relevantes, además de ser opcionales. Por ese motivo, no se encuentran detallados, pudiendo consultarse en el manual del fabricante.

Las condiciones de utilización del ciclo son las siguientes:

- Al iniciar el ciclo, la herramienta tiene que estar posicionada en una coordenada Z mayor que la suma del parámetro "D" y la diferencia del punto A al punto B. En caso contrario marcará error.
- Todas las condiciones tecnológicas de mecanizado han de ser programadas con anterioridad a la llamada del ciclo.
- Los parámetros pueden estar programados parcial o totalmente con anterioridad a la llamada del ciclo.
- Las condiciones de salida del ciclo son las siguientes: G00, G40, G90 y G97. La programación puede realizarse indistintamente en absoluto o incremental.
- El ciclo se inicia acercándose en G00 al punto de inicio y acabará en el mismo punto.
- Durante el proceso de mecanización queda anulado el botón FEED-RATE, no pudiéndose variar la velocidad de avance "F", que se mantendrá fija en el 100 %.

A continuación se muestra el ejemplo 12.2 de aplicación del ciclo G87.

Ejemplo 12.2: Aplicación del ciclo G87

N10 G90 G95 G96 G40

N20 G92 S500

N30 T1 D1

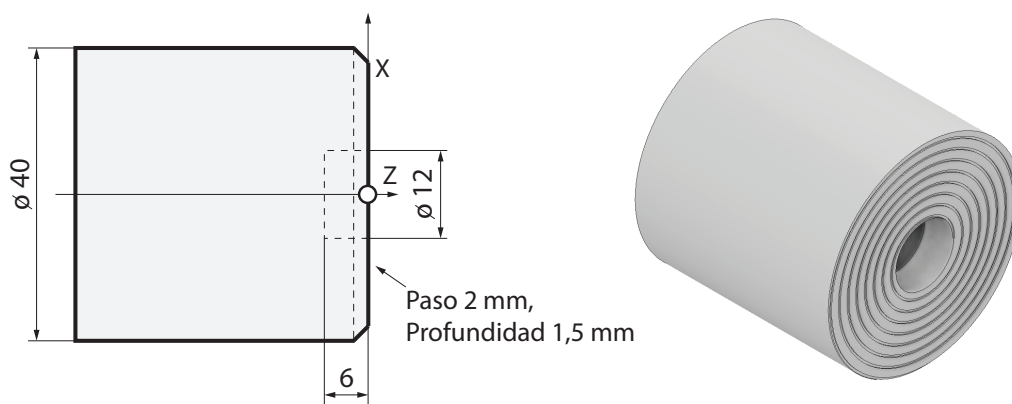
N40 F0.2 S100 M03

N50 G00 X0 Z8

N60 G87 X8 Z0 Q42 R0 I1.5 B0.5 E0.05 D2 L0.05 C2 J0 A29.5

N70 G00 X50 Z20 M5

N80 M30



CICLOS FIJOS DE TALADRADO Y ROSCADO CON MACHO

En un torno CNC es posible realizar operaciones de taladrado en la posición central de la cara frontal del cilindro. Además, si en lugar de colocar una broca se utiliza un macho de roscar con los parámetros tecnológicos adecuados, es posible realizar agujeros roscados.

13.1 | G83: Ciclo fijo de taladrado axial/roscado con macho

El ciclo definido por la función G83 tiene doble función. Según la definición de los parámetros permite efectuar un taladrado axial o un roscado con macho axial. La ejecución de una u otra operación depende del formato de programación utilizado:

- Si se define el parámetro "B=0" efectúa un roscado con macho axial, Figura 13.1.

En este caso, el formato del ciclo es

▶ G83 X Z I B0 D K R

- Si se define "B>0" efectúa un taladrado axial, Figura 13.1.

En este caso, el formato del ciclo es

▶ G83 X Z I B D K H C L R

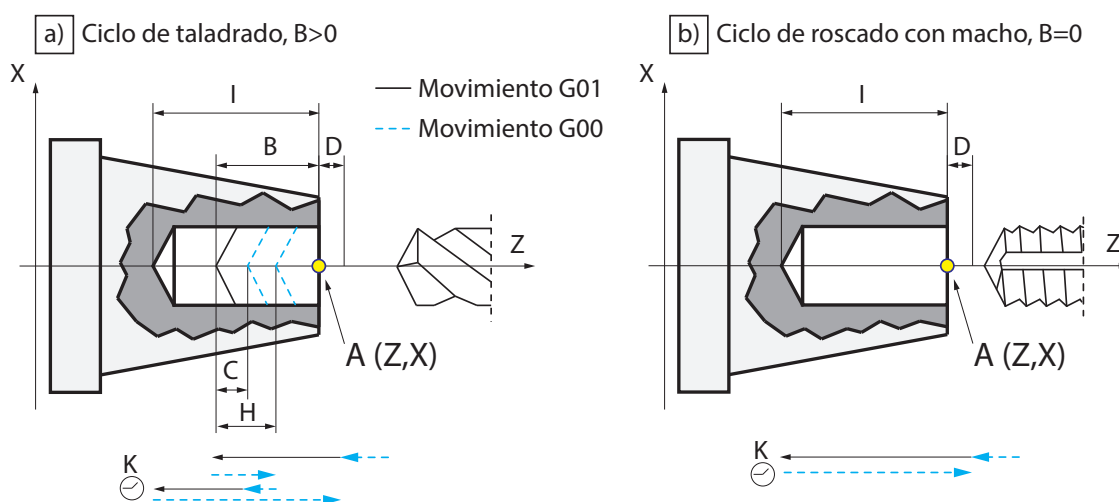


Figura 13.1. Definición del ciclo fijo de taladrado axial/roscado con macho

Los parámetros del ciclo son los siguientes:

- **X:** Definición de la cota según el eje X donde se desea ejecutar el ciclo. Se programará en cotas absolutas y según las unidades activas, radios o diámetros.
- **Z:** Definición de la cota según el eje Z donde se desea ejecutar el ciclo. Se programará en cotas absolutas.
- **I:** Definición de la profundidad total del agujero. Estará referida al punto A, por lo que tendrá valor positivo si se taladra o rosca en sentido negativo según el eje Z y valor negativo si se taladra o rosca en sentido contrario.
- **B:** Este parámetro es el diferencial entre el ciclo de taladrar o roscar:
 - Si se programa $B = 0$ efectuará un roscado con macho axial.
 - Si se programa $B > 0$ efectuará un taladrado axial y el valor de B indica el paso de taladrado. Indica la profundidad que realizará la broca antes de volver hacia atrás para descargar material y refrigerarse.
- **D:** Definición de la distancia de seguridad, programada siempre en valor incremental. Esta distancia es a elección del programador y corresponde a la distancia que debe existir entre el punto A y el punto al que llegará la broca en G00. Si no se programa, asumirá como valor por defecto 0.
- **K:** Definición del tiempo que estará la broca en el fondo sin subir, para poder acabar de mecanizar bien el fondo. Se expresa directamente en segundos. No conviene indicar un tiempo excesivo para evitar en cimbreo de la superficie frontal. Si no se programa, asumirá como valor por defecto 0.
- **H:** Definición del valor de la subida que debe realizar la broca una vez haya alcanzado la pasada máxima "B", programada siempre en valor incremental. Si se indica valor 0, la broca volverá siempre al punto indicado en "D". De lo contrario, subirá justo el valor indicado en "H".
- **C:** Define hasta que distancia del paso de taladrado anterior se desplazará en rápido (G00) el eje Z en su aproximación a la pieza para realizar un nuevo paso de taladrado. Si no se programa, se tomará el valor 1 milímetro.
- **L:** Opcional. En el ciclo de taladrado define el paso mínimo que puede adquirir el paso de taladrado. Se utiliza con valores de "R" distintos de 1. Si no se programa, se tomará el valor 0.
- **R:** Este factor tiene distinto significado dependiendo de si se realiza un ciclo de taladrado o de roscado.

En el ciclo de taladrado indica el factor que reduce el paso de taladrado "B". Si no se programa o se programa con valor 0, se tomará el valor 1:

- Con $R=1$ todos los pasos de taladrado serán iguales y del valor programado "B".
- Si R no es igual a 1, el primer paso de taladrado será B, el segundo será $R \cdot B$, el tercero será $R \cdot (R \cdot B)$, y así sucesivamente. Es decir, a partir del segundo paso, el nuevo paso será el producto del factor R por el paso anterior.

En el ciclo de roscado define el tipo de roscado que se desea efectuar. Si no se programa, se toma el valor 0:

- Con $R0$ se realiza un roscado con macho.
- Con $R1$ se realiza un roscado rígido. El CNC detiene la herramienta con M19 y la orienta para comenzar el roscado.
- Con $R2$ se realiza un roscado rígido. Si la herramienta está girando en M3 o M4, el CNC no la detiene ni la orienta para comenzar el roscado. Con esta opción no se podrá repasar el roscado, aunque la pieza no se haya soltado, ya que no coincidirá la entrada de la rosca con la previamente mecanizada.

Para poder efectuar un roscado rígido es necesario que el cabezal de un sistema motor-regulador y de encóder de cabezal.

Las condiciones para la utilización del ciclo son las siguientes:

- Al iniciar el ciclo, la broca tiene que estar posicionada en una coordenada Z mayor que cero. En caso contrario, marcará error.
- Todas las condiciones tecnológicas de mecanizado tienen que estar programadas con anterioridad a la llamada del ciclo.
- Los parámetros pueden estar programados parcial o totalmente con anterioridad a la llamada del ciclo.
- El ciclo se inicia acercándose en G00 hasta "D" y acaba en el punto desde el que partió.
- Una vez finalizado el ciclo fijo, el programa continuará con el mismo avance F y las mismas funciones G de que disponía al llamar al ciclo.

La secuencia de movimiento de la herramienta en el ciclo de taladrado es el siguiente:

1. Inicialmente se desplaza en rápido hasta el punto de aproximación, situado a una distancia de seguridad indicada en el parámetro "D".
2. Se realiza la primera profundización de taladrado. Realizará el desplazamiento en avance de trabajo hasta alcanzar la profundidad incremental que se haya programado en los parámetros "D + B".

3. A partir de ahora, repetirá los pasos que vienen a continuación formando un bucle hasta que alcance la profundidad total introducida en el parámetro "I".
 - a) Retroceso en rápido (G00) hasta la distancia programada en "H" o hasta el punto de aproximación.
 - b) Realizará una aproximación en rápido (G00) a la distancia que se haya programado en el parámetro "C".
 - c) Seguidamente empezará a mecanizar en G01 hasta alcanzar la siguiente profundidad incremental según "B" y "R".
4. Si se ha programado un valor en "K", realizará una espera en el fondo del taladrado.
5. Finalmente retrocederá en rápido (G00) hasta alcanzar el punto de aproximación.

Por otra parte, la secuencia de movimientos para el ciclo de roscado con macho es el siguiente:

1. Inicialmente se desplazará rápido hasta alcanzar el punto de aproximación que está situado a la distancia de seguridad que se ha indicado en "D".
2. Empezará a realizar el roscado con macho en desplazamiento de avance de trabajo siguiendo el eje longitudinal hasta alcanzar la profundidad programada en modo incremental con los parámetros "D + I".
3. Seguidamente, invertirá el sentido de giro del cabezal para poder realizar la subida. Si se ha programado "K", se parará el cabezal hasta que trascurra el tiempo programado, a partir de ahí arrancará el cabezal en sentido contrario.
4. A partir de aquí, retrocederá en avance de trabajo hasta alcanzar el punto de aproximación.

Por último, la secuencia de movimientos para el ciclo de roscado rígido se detalla a continuación:

1. El roscado se efectúa en el centro de la pieza (X0). Realizará el desplazamiento rápido hasta que alcance el punto de aproximación que está situado a la distancia de seguridad indicada en "D".
2. Posteriormente, se realizará un desplazamiento hasta la profundidad incremental programada en "D + I". Se realiza interpolando el cabezal principal (que está girando) con el eje Z.

Durante el proceso no se puede detener el roscado rígido ni modificar las condiciones de mecanizado que haya programadas. Lo realizará al 100 % de los valores programados en "S" y en "F".

3. Invertirá el sentido de giro del cabezal. Si se ha programado "K", parará el cabezal hasta que transcurra el tiempo indicado. A partir de ahí, arrancará el cabezal en sentido contrario.
4. Ahora, retrocederá en avance de trabajo hasta el punto de aproximación. Al finalizar el ciclo se para el cabezal (M5).

A continuación se muestra el ejemplo 13.1 de aplicación del ciclo G83. Cuando se realizan roscados con macho, se debe seleccionar una broca para el taladrado previo que sea compatible con la operación de roscado. Es decir, el agujero será siempre inferior al diámetro nominal de la rosca. Como regla general, el diámetro de la broca, D_b , vendrá definido por el diámetro del macho, D_m , y el paso de la rosca, p , según $D_b = D_m - p$.

En el ejemplo 13.1, el diámetro de la rosca es 20 mm y el paso es 2 mm, por lo que se necesita taladrar un agujero previo de 18 mm de diámetro.

Ejemplo 13.1: Aplicación de los ciclos G83

Taladrado con broca 18 mm

N10 G90 G95 G96 G40

N20 G92 S2000

N30 T1 D1

N40 F0.1 S100

N50 G0 X0 Z10 M3

N60 G83 X0 Z0 I30 B5 D2 K0.5 H2 C1

N70 G0 X40 Z50

Roscado con macho

N80 T2 D2

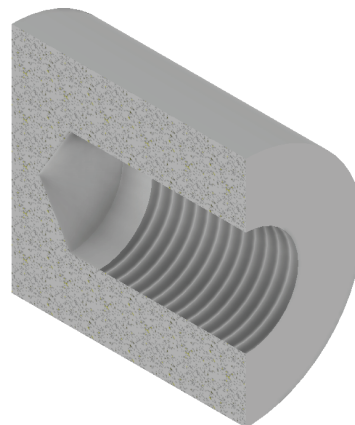
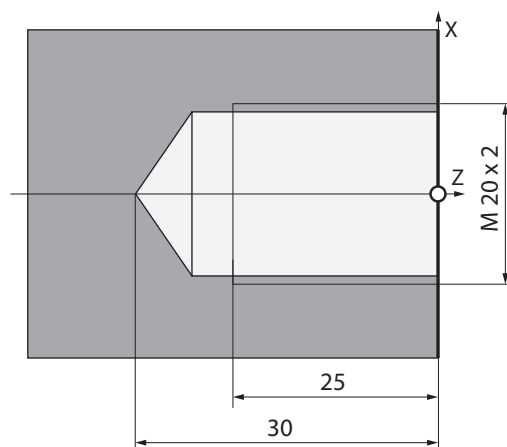
N90 F0.1 S100

N100 G0 X0 Z10 M3

N110 G83 X0 Z0 I25 B0 D2 K0.5 H2 C1 R0

N120 G0 X40 Z50 M5

N130 M30



Se propone el ejercicio 13.1 para la aplicación del ciclo G83, tanto en operaciones de taladrado como de roscado con macho.

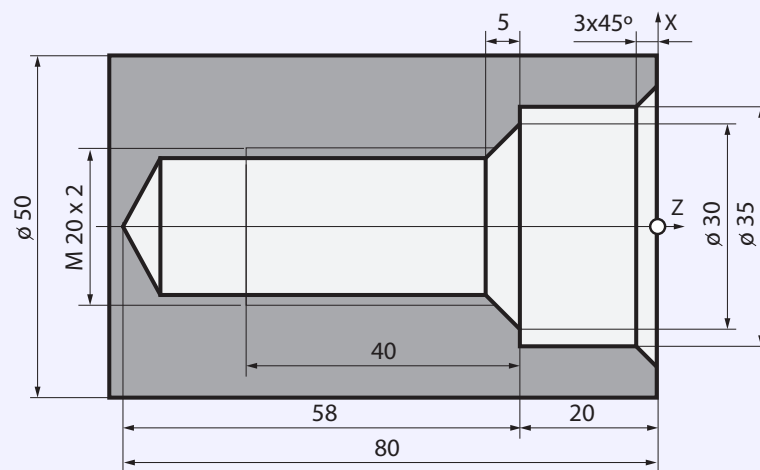
Ejercicio 13.1

Realizar el código para mecanizar la pieza siguiente. Las condiciones de corte para las operaciones de torneado son: avance de 0,15 mm/rev, profundidad de pasada de 1 mm y velocidad de corte constante de 150 m/min. Se parte de un cilindro de 50 mm de diámetro.

Las herramientas disponibles son:

- Inserto para torneado interior CCMT 060204.
- Broca de diámetro 8 mm.
- Broca de diámetro 18 mm.
- Macho de roscar M20x2 mm.
- Broca de centrar de diámetro 3 mm.

Obsérvese que, cuando se cuenta con una broca centradora, es aconsejable realizar primero el punto de centrado para asegurar que la broca penetra perfectamente alineada. Además, es aconsejable no taladrar directamente con una broca de diámetro grande (18 mm), sobre todo si el material es difícil de mecanizar. El proceso requiere de taladrar con brocas de menor tamaño e ir incrementando el diámetro del agujero progresivamente para reducir los esfuerzos de corte.



EJERCICIOS COMPLEMENTARIOS PARA TORNO

Los siguientes ejercicios propuestos tienen como finalidad poner a prueba todos los conocimientos adquiridos en la programación de torno mediante el control Fagor 8055, mecanizando piezas complejas a partir de la aplicación de los distintos ciclos fijos.

• Ejercicio 1.

Realizar el código para mecanizar la siguiente pieza de ajedrez a partir de un cilindro de 36 mm de diámetro.

Las condiciones de corte para las operaciones de torneado exterior son: avance de 0,15 mm/rev, profundidad de pasada de 1 mm y velocidad de corte constante de 150 m/min. Dejar una demasía para la pasada de acabado de 0,2 mm, la cual debe realizarse con un avance de 0,10 mm/rev.

Se cuenta con las siguientes herramientas:

- Inserto para operaciones de torneado exterior y refrentado, modelo VNMG 160404.

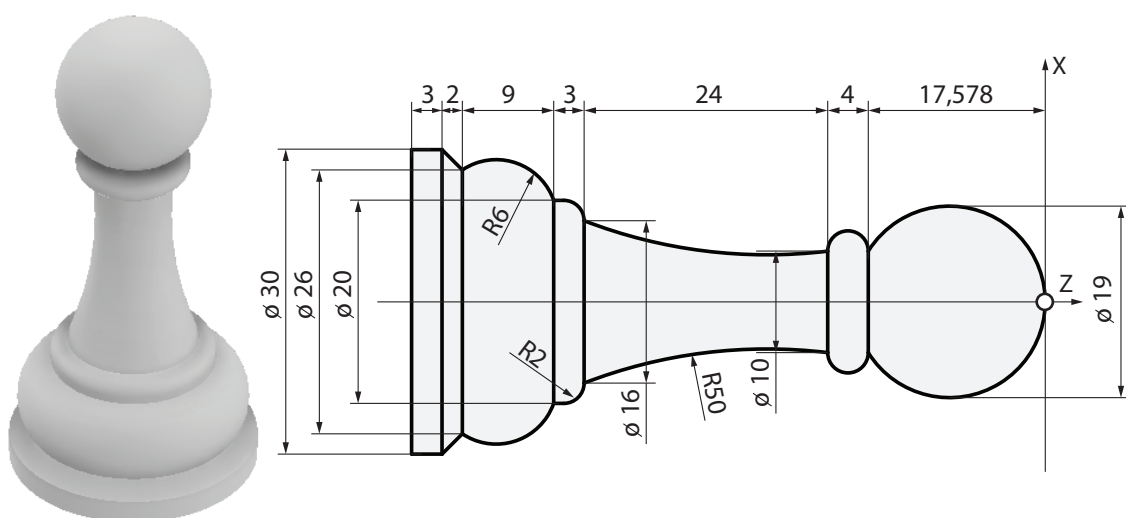


Figura 14.1. Ejercicio complementario para torno 1.

• Ejercicio 2.

Realizar el código para mecanizar la pieza siguiente a partir de un cilindro de 53 mm de diámetro y 115 mm de longitud. Es necesario realizar una operación de refrentado para ajustar la longitud del cilindro a las dimensiones de la pieza.

Las condiciones de corte para las operaciones de torneado exterior son: avance de 0,20 mm/rev, profundidad de pasada de 1 mm y velocidad de corte constante de 150 m/min. Dejar una demasía para la pasada de acabado de 0,2 mm, la cual debe realizarse con un avance de 0,10 mm/rev.

Se cuenta con las siguientes herramientas:

- Inserto para operaciones de torneado exterior y refrentado, modelo VNMG 160408.
- Inserto para operaciones de ranurado, modelo MGMN 3.00-0.4.
- Inserto para operaciones de roscado, modelo 16ER AG60.
- Broca de diámetro 5 mm.

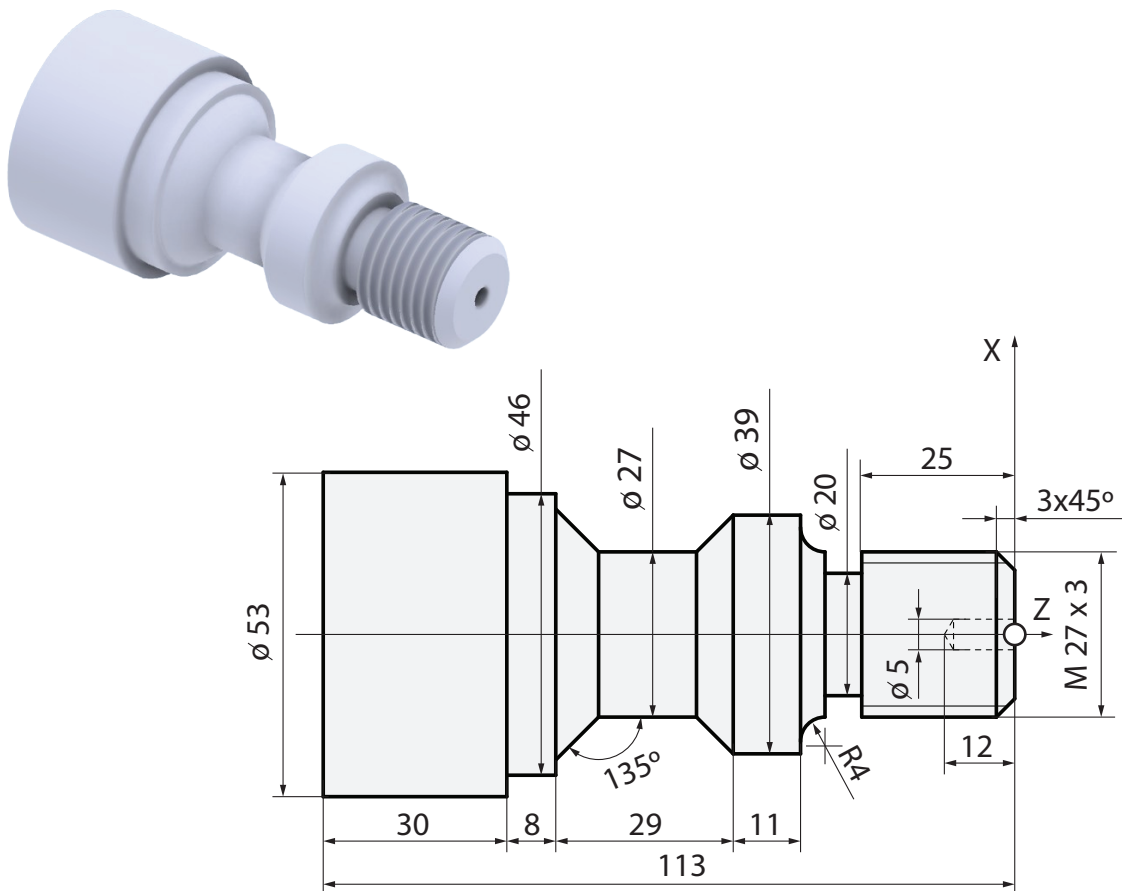


Figura 14.2. Ejercicio complementario para torno 2.

• **Ejercicio 3.**

Realizar el código para mecanizar la pieza siguiente a partir de un cilindro de 76 mm de diámetro y 81 mm de longitud. Es necesario realizar una operación de refrentado para ajustar la longitud del cilindro a las dimensiones de la pieza.

Las condiciones de corte para las operaciones de torneado exterior son: avance de 0,20 mm/rev, profundidad de pasada de 2 mm y velocidad de corte constante de 250 m/min. Dejar una demasía para la pasada de acabado de 0,2 mm, la cual debe realizarse con un avance de 0,10 mm/rev. Para el torneado interior se mantienen las condiciones anteriores a excepción de la velocidad de corte, reducida a 100 m/min.

Para las operaciones de taladrado, debe aplicarse una velocidad de rotación de la pieza de 300 rpm y avance de 0,10 mm/rev.

Se cuenta con las siguientes herramientas:

- Inserto para operaciones de torneado exterior y refrentado, modelo TNMG 160408.
- Inserto para operaciones de torneado interior, modelo CCMT 060204.
- Inserto para operaciones de ranurado, modelo MGMN 3.00-0.4.
- Inserto para operaciones de roscado, modelo 16ER AG60.
- Brocas de diámetro 5, 10 y 15 mm.

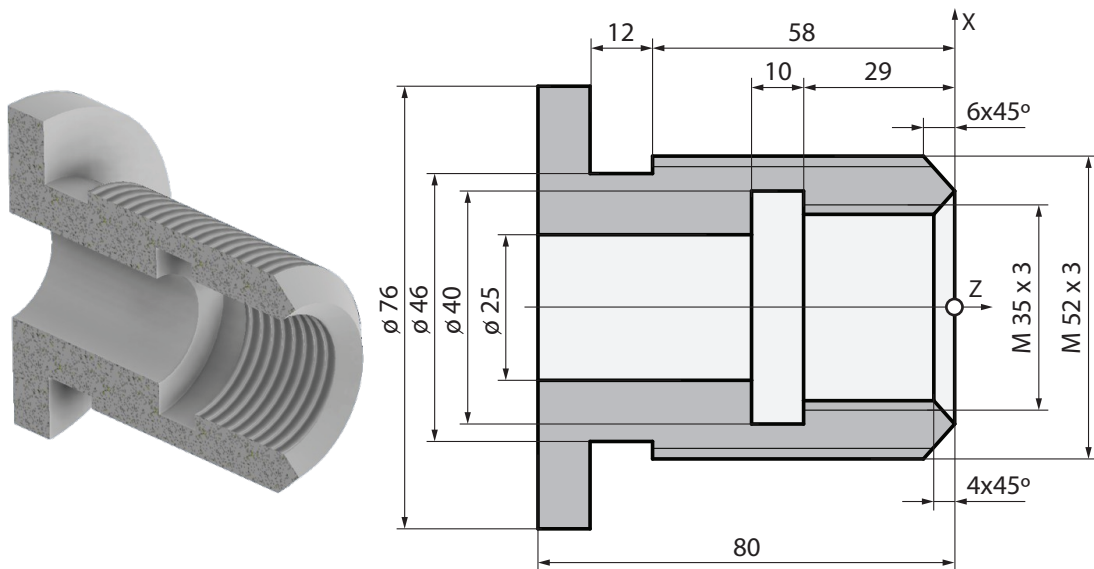


Figura 14.3. Ejercicio complementario para torno 3.

• **Ejercicio 4.**

Realizar el código para mecanizar la pieza siguiente a partir de un cilindro de 80 mm de diámetro.

Las condiciones de corte para las operaciones de torneado exterior e interior son: avance de 0,15 mm/rev, profundidad de pasada de 1 mm y velocidad de corte constante de 100 m/min. Dejar una demasía para la pasada de acabado de 0,2 mm, la cual debe realizarse con un avance de 0,10 mm/rev.

Para las operaciones de taladrado, debe aplicarse una velocidad de rotación de la pieza de 300 rpm y avance de 0,10 mm/rev.

Se cuenta con las siguientes herramientas:

- Inserto para operaciones de torneado exterior y refrentado, modelo TNMG 160408.
- Inserto para operaciones de torneado interior, modelo CCMT 060204.
- Inserto para operaciones de ranurado, modelo MGMN 3.00-0.4.
- Brocas de diámetro 5, 10 y 15 mm.

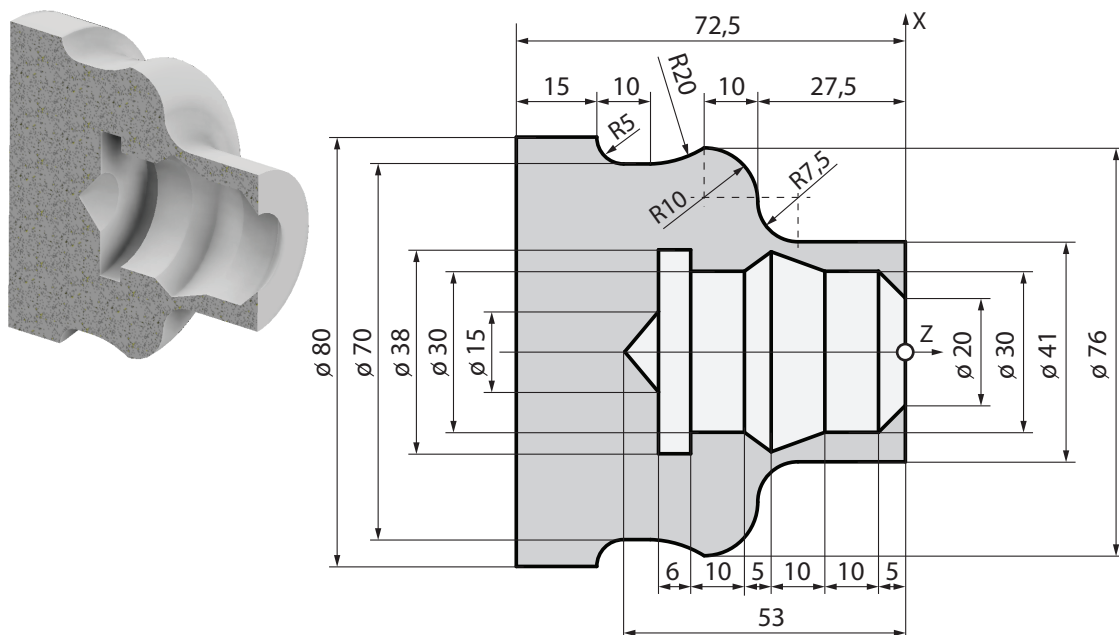


Figura 14.4. Ejercicio complementario para torno 4.

REFERENCIAS Y CONSULTAS DE INTERÉS

1. CNC 8055 M, Manual de Programación. Fagor Automation. Disponible online en: <https://www.fagorautomation.com/es/documentacion#/descarga/cnc-8055-m-programming-manual/828044>.
2. CNC 8055 M, Manual de Ejemplos. Fagor Automation. Disponible online en: <https://www.fagorautomation.com/es/documentacion#/descarga/cnc-8055-m-examples-manual/828025>.
3. CNC 8055 T, Manual de Programación. Fagor Automation. Disponible online en: <https://www.fagorautomation.com/es/documentacion#/descarga/cnc-8055-t-programming-manual/827990>.
4. CNC 8055 T, Manual de Ejemplos. Fagor Automation. Disponible online en: <https://www.fagorautomation.com/es/documentacion#/descarga/cnc-8055-t-examples-manual/827983>.
5. CNC 8055 MC, Manual de Autoaprendizaje. Fagor Automation. Disponible online en: <https://www.fagorautomation.com/es/documentacion#/descarga/cnc-8055-mc-self-teaching-manual/828055>.
6. CNC 8055 TC, Manual de Autoaprendizaje. Fagor Automation. Disponible online en: <https://www.fagorautomation.com/es/documentacion#/descarga/cnc-8055-tc-self-teaching-manual/828017>.
7. Simulador CNC Fagor 8060/8065/8070 (compatible con control Fagor 8055). Enlace de descarga: <https://www.fagorautomation.com/es/documentacion#/descarga/8060-65-70-free-simulator-2/896496>
8. Organización Internacional de Normalización (2009), ISO 6983-1:2009. Automation systems and integration - Numerical control of machines - Program format and definitions of address words. Part 1: Data format and positioning, line motion and contouring control systems. Edición 2.
9. Organización Internacional de Normalización (2017), ISO 1832:2017. Indexable inserts for cutting tools - Designation. Edición 6.

Este texto tiene como objetivo servir de referencia docente para el aprendizaje de los fundamentos de programación mediante control numérico para tornos y fresadoras CNC. Para ello, el libro presenta de manera gradual la definición de las distintas órdenes de programación para el control Fagor 8055, apoyándose en numerosos ejemplos y proponiendo ejercicios, de nivel creciente, para la puesta en práctica de las distintas funciones. El nivel de los contenidos desarrollados permite que un usuario con conocimientos básicos de mecanizado y manejo de máquina-herramienta pueda aprender de manera autónoma a desarrollar programas completos de control numérico para el mecanizado de piezas complejas. El libro se estructura en tres partes. La primera parte presenta los conceptos generales sobre la programación en control numérico. La segunda parte se centra en código para fresadora CNC, definiendo las órdenes de movimiento y compensación de herramientas, sentencias para repeticiones y subrutinas, y ciclos fijos de mecanizado. La tercera parte engloba la programación para torno CNC, enfocada en el uso de ciclos fijos de cilindrado, refrentado, ranurado o taladrado, entre otros.

Aunque el texto está dirigido a un público interesado por aprender a programar máquinas-herramienta de control numérico, puede ser especialmente útil para estudiantes y docentes de Grado y ciclos de formación profesional en asignaturas relacionadas con la Ingeniería de los Procesos de Fabricación.

