
CAPÍTULO 6: FABRICACIÓN AUTOMATIZADA

ÍNDICE DEL CAPÍTULO

1. Automatización

- 1.1. Introducción
- 1.1. Automatización
- 1.2. Máquinas transfer
- 1.3. Centros de mecanizado
- 1.4. Células flexibles de fabricación
- 1.5. Fabricación integrada

2. Introducción al control numérico en máquinas-herramienta

- 2.1. Introducción
- 2.2. Definición de control numérico
- 2.3. Clasificación de los controles numéricos
- 2.4. Ventajas y desventajas del control numérico
- 2.5. Características de las máquinas-herramienta
- 2.6. Sistema de control
- 2.7. Tipos de programación
- 2.8. Proceso de programación manual
- 2.9. Ejes y sistemas de referencia

3. Lenguaje de programación ISO

- 3.1. Introducción
- 3.2. Tipos de funciones

4. Funciones. Sintaxis

- 4.1. Funciones preparatorias
- 4.2. Funciones auxiliares

5. Ciclo fijo



- 5.1. Concepto

6. Ciclos fijos de torneado

- 6.1. Seguimiento de perfil (G66)
- 6.2. Torneado (G81) y refrentado (G82) de tramos rectos
- 6.3. Taladrado (G83)
- 6.4. Torneado (G84) y refrentado (G85) de tramos curvos
- 6.5. Roscado longitudinal (G86) y frontal (G87)
- 6.6. Ranurado en el eje X (G88) y en el eje Z (G89)

7. Ciclos fijos de fresado

- 7.1. Propiedades de los ciclos fijos de fresado
- 7.2. Ciclo fijo G79
- 7.3. Definición del ciclo fijo (G81, G82, G84, G85, G86, G89)
- 7.4. Taladrado (G81)
- 7.5. Taladrado con temporización (G82)
- 7.6. Taladrado profundo (G83)
- 7.7. Roscado con macho (G84)
- 7.8. Escariado (G85)
- 7.9. Mandrinado (G86, G89)
- 7.10. Cajera rectangular (G87) y cajera circular (G88)

8. Programación paramétrica

- 8.1. Objetivos
- 8.2. Parámetros
- 8.3. Saltos condicionales
- 8.4. Subrutinas.

9. Programación asistida

- 9.1. Conceptos generales

9.2. CAD/CAM (Diseño y Fabricación Asistidos)

10. Gestión de programas y herramientas

10.1. Estructura general de un programa de CN.

10.2. Mantenimiento de programas

11. Control numérico directo (DNC)

11.1. Distribución de programas

12. Tablas de herramientas

12.1. Tablas de herramientas en el torno de CN

12.2. Tablas de herramientas en el centro de mecanizado

ANEXO I: Funciones G para CNC

ANEXO II: Ejemplos resueltos

1. AUTOMATIZACIÓN

1.1 Introducción

Es bien sabido el interés de los seres humanos por evolucionar hacia estados donde aumenten sus cotas de bienestar y disminuir los aspectos negativos que la vida nos plantea. En esta línea de actuación la humanidad ha dedicado enormes esfuerzos a la tarea de elevar el nivel del trabajo, evolucionando hacia la eliminación de las tareas que suponen un ingente esfuerzo físico, un peligro o una repetición continua y monótona de cualquier actividad.

La historia nos aporta gran cantidad de ejemplos, la mayoría de ellos con una dosis elevada de ingenio, aunque bien es verdad que empiezan a tener un valor relevante solo a partir del desarrollo industrial, con la invención de la primera máquina generadora de potencia, la máquina de vapor, y las primeras máquinas mandrinadoras con las que comenzaron a fabricarse, a su vez, máquinas de vapor de mayor tamaño y en mayor escala.

Estos avances que se establecieron a finales del siglo XVIII, permitieron suministrar energía a otras máquinas, eliminando gran cantidad de la aportación de energía física humana, con lo que empezó una producción a gran escala, que unida al desarrollo de las comunicaciones, posibilitó la presencia en el mercado de productos, cada vez a más bajo precio.

La polarización de esfuerzos en áreas de investigación y desarrollo de nuevos materiales, como los aceros y los empleados en la fabricación de herramientas de corte, así como la evolución de los mecanismos y sistemas de control han hecho que el avance tecnológico acaecido durante el siglo XIX y la primera mitad del siglo XX nos parezca superior al acaecido durante toda la historia anterior de la Humanidad.

La necesidad de elevar el nivel de vida de los pueblos, unido al nacimiento de una sociedad de consumo, provoca la necesidad de producciones con determinadas características.

Podemos citar entre otras

- Gran cantidad de productos diversos
- Muy altas producciones
- Niveles de calidad cada vez mas elevados

- Formas mecánicas cada vez más complejas
- Exigencia de precios cada vez más bajos

La solución a todas estas exigencias ha requerido fundamentalmente el desarrollo de dispositivos auxiliares que permitiesen el automatismo de los procesos productivos.

1.2 Automatización

La automatización se consigue mediante el empleo de numerosos dispositivos de todo tipo: neumáticos, mecánicos, electrónicos, magnéticos, hidráulicos, etc., que acertadamente utilizados y combinados entre sí permiten cumplir las condiciones requeridas de cantidad, calidad, coste, complejidad, etc.

Ha sido a partir de la segunda mitad del siglo XX cuando la automatización ha alcanzado mayores niveles de desarrollo. Sin negar que los primeros objetivos se centraron en los costes y productividad, posteriormente los objetivos de *calidad*, *precisión*, *flexibilidad de la producción* y *fabricabilidad* han ido ganando un espacio preponderante.

Podríamos decir que los primeros automatismos industriales comenzaron a finales del siglo XIX con la aplicación de determinadas soluciones mecánicas en los telares empleados en la fabricación textil.

Posteriormente su uso se fue extendiendo mediante la aplicación de la neumática, la hidráulica etc., llegando hacia mitad del siglo XX a abordar por primera vez, una nueva complejidad que podemos resumir en los dos escalones siguientes :

Primero se planteó el problema de conseguir posiciones de herramientas de corte de forma tal que se controlase de forma automática su posición relativa respecto a los tres ejes del espacio real. Los primeros sistemas de posicionamiento empleaban **dispositivos específicos rígidos**, es decir, diseñados para un posicionamiento determinado y que no podían modificarse fácilmente para adaptar la fabricación a piezas distintas de la inicialmente considerada. Por ello, este tipo de sistemas de fabricación automatizada rígida únicamente puede emplearse para lotes de piezas medios o grandes. Dentro de este grupo de sistemas productivos se encuentran por ejemplo los **tornos automáticos de levas** (explicados en la parte dedicada a los procesos de torneado) y las **máquinas transfer**, que se explicarán más adelante. Estos sistemas se caracterizan, además de por su rigidez, por sus **elevadas productividades**, debido a su diseño específico, optimizado para la fabricación de un producto concreto.

El siguiente paso en el desarrollo de los sistemas de fabricación automatizados, fue conseguir que la solución a cada fabricación no fuera específica, sino que mediante un **sistema flexible** se pudiesen obtener formas distintas con cambios o adaptaciones mínimas de la máquina. Esta flexibilidad se logró con la utilización de dispositivos como las máquinas de control numérico (CN), robots, etc. El espectacular desarrollo de la informática ha sido el que ha contribuido a su evolución en nuestros días. Estos sistemas permiten automatizar la fabricación de series medias o pequeñas y cambiar con facilidad y rapidez el producto obtenido, tal y como demandan los mercados en la actualidad.

Se llega así a la posibilidad de tener informatizado todo el proceso productivo, tanto en lo que respecta a cada máquina individualmente como a su conjunto, al suministro de piezas y materiales a cada una de ellas, a su manipulación, a su almacenamiento y paletización, a las etapas de diseño y definición de la fabricación y a las propias tareas administrativas de acopios y de lanzamientos de ordenes incluso de verificación y control.

1.3 Máquinas Transfer

La fabricación masiva de piezas en grandes series en las industrias de automoción, electromecánica, etc., ha propiciado el desarrollo de maquinaria muy compleja destinada a la mecanización de un modelo de pieza o, como máximo, a una familia limitada de piezas. Sólo las grandes series, junto con elevadas exigencias de calidad, pueden justificar las importantes inversiones que requieren este tipo de medios de producción.

En las máquinas transfer, el proceso es continuo puesto que, mientras se mecaniza una pieza en un puesto, en el anterior otra pieza recibe la operación precedente. Osea que en todos los puestos se mecaniza una secuencia del proceso completo, a excepción de los puestos destinados a la carga y descarga de piezas.

Según el recorrido que efectúan las piezas, las máquinas especiales se dividen entres grandes grupos:

- Máquinas de puesto fijo. La pieza se sitúa en la máquina en posición de referencia y se inmoviliza después con los dispositivos de fijación (fig.1.1.).
- Máquinas tránsfer circulares. La pieza a mecanizar va pasando sucesivamente por cada uno de los puestos de mecanizado por medio del giro parcial de una mesa circular divisora (fig. 1.1.). Dichos puestos se distribuyen circularmente respecto a la mesa y, como se comprende, su número está limitado por el espacio disponible.

- Máquinas tr nsfer lineales. En este caso, la pieza se desplaza linealmente, a lo largo de la serie de puestos de trabajo. La consecuencia de la nueva disposición es la posibilidad de establecer un número de puestos teóricamente ilimitado.

1.3.1 Sistemas de fijación

Los sistemas de fijación han de realizar no solamente la inmovilización de la pieza que se trabaja, sino que, además, deben garantizar su correcta orientación. Este detalle es muy importante porque, aunque hay piezas totalmente simétricas cuya posición es indiferente, la mayoría debe sujetarse de una forma determinada respecto a la herramienta.

La orientación de la pieza se consigue tomando como referencia una superficie de partida que normalmente está mecanizada.

Los sistemas de fijación propiamente dicho son hidráulicos o neumáticos porque se adaptan mejor a la automatización. Se utilizan siempre combinados con diversos elementos mecánicos para aumentar su capacidad y rara vez se emplean con empuje directo.

1.3.2  rganos de trabajo

Son los encargados de producir los movimientos necesarios para el mecanizado. Entre ellos hay que distinguir los que realizan el desplazamiento de las piezas hasta su posición de trabajo, y los órganos de trabajo propiamente dichos, que son los que llevan las herramientas de corte.

En estas máquinas la pieza realiza siempre el movimiento previo de posicionamiento, pero es la herramienta la que efectúa todos los movimientos necesarios para el corte mientras la pieza permanece inmóvil, salvo escasas excepciones.

1.3.3 Movimiento de las piezas

Las piezas se sitúan sobre la mesa de la máquina; fija, giratoria o de desplazamiento lineal, o bien sobre la línea transfer.

La mesa giratoria no es más que un divisor de eje vertical de corona y tornillo sin-fin, accionada por medios neumáticos, oleohidráulicos o electromecánicos.

Las mesas de desplazamiento lineal se mueven sobre las guías de una bancada, de forma parecida a las de las máquinas-herramienta convencionales.

1.3.4 Unidades de mecanizado

Son grupos de funcionamiento autónomo, en los que se acoplan las distintas herramientas de corte. Las hay neumáticas y electromecánicas.

Las primeras llevan un motor neumático que hace girar la herramienta y una unidad de avance oleoneumática para garantizar la penetración uniforme. Sirven para aplicaciones de poca potencia.

Los grupos electromecánicos tienen mucha mayor capacidad. Suelen tener una base fija que se atornilla a la bancada de la máquina, un cabezal móvil con el husillo y caja de engranajes y un motor acoplado. Hay también unidades fijas en las que el avance lo efectúa el husillo, empujado por un mecanismo de leva y balancín. La leva, movida por una combinación de engranajes, hace oscilar al balancín provisto de un sector dentado que engrana con la cremallera de la camisa del husillo. La configuración de la leva determina un avance uniforme y un retroceso rápido, una vez realizado el taladrado. Las ruedas dentadas cambiables permiten la modificación de la velocidad de avance del husillo.

1.3.5 Sistemas de alimentación y evacuación

Tanto la alimentación de piezas como su evacuación puede ser manual o automática. En el caso manual, el encargado de realizarlas es el propio operario.

En la alimentación y evacuación automática hay que servirse, siempre que sea posible, del peso propio de las piezas; es lo que se llama alimentación o evacuación por gravedad.

Si no es posible aprovechar el peso de las piezas hay que realizar la alimentación y evacuación forzadas, empleando cilindros neumáticos u oleohidráulicos, bandas transportadoras, etc.

Las piezas pequeñas se prestan muy bien a la alimentación por medio de tolvas, que puede ser incluso vibradora. En ésta, la vibración va moviendo las piezas que se deslizan por una rampa de paso estudiado para que queden orientadas correctamente, a disposición de los dispositivos de fijación de la máquina.

1.4 Centros de mecanizado

De los distintos tipos de máquinas-herramienta que existen en el mercado, una parte muy importante está dedicada al conformado por arranque de viruta, destacando en este campo los tornos de control numérico y las fresadoras.

En el caso de las fresadoras, cuando son utilizadas para operaciones en las que el tiempo de arranque de viruta es muy superior al de cambio de herramientas, como en el caso de las empleadas para fabricación de matrices, el control numérico se emplea solamente para el control de las trayectorias. Se habla entonces de *fresadoras de control numérico*.

Si por el contrario, la máquina se utiliza para operaciones en las que los cambios de herramientas son recuentes, aunque el tiempo que se invierte en estas operaciones es relativamente corto, es necesario optimizar estas operaciones para que el tiempo total del ciclo sea mínimo. En estos casos se dota a la máquina de un sistema de almacenamiento y cambio automático de las herramientas gobernado también por el mismo sistema de control. Este conjunto de fresadora con almacén y con gestión y cambio de herramientas de control numérico recibe el nombre de *centro de mecanizado*. Estas máquinas son capaces de gestionar y realizar secuencialmente todas las operaciones necesarias para dejar una pieza totalmente terminada.

En ciertos casos, estas máquinas se equipan con equipos complementarios de posicionamiento y retirada de las piezas. Estos manipuladores consisten en sistemas que van desde simples y pequeños dispositivos vibratorios ayudados por brazos mecánicos, generalmente de accionamiento neumático, hasta los brazos articulados controlados por lógica informática programable (robótica).

1.5 Células flexibles de fabricación

Responden a la lógica de optimizar las operaciones de fabricación respondiendo a la lógica de la flexibilidad, especialmente desde el enfoque de pequeñas series, con especial énfasis en las operaciones de suministro (*just-in-time*), y de manipulación de las piezas durante el proceso de fabricación, así como en el cambio de la preparación necesaria para producir diferentes tipos de piezas.

En las células las máquinas no suelen estar organizadas por líneas en las cuales las piezas avanzan linealmente, sino que se desplazan por el interior de la célula en función de las necesidades de cada una.

1.6 Fabricación integrada

Los importantes avances en las tecnologías de fabricación, unidas a los de los controles informáticos han dado lugar a sistemas de fabricación totalmente regidos por sistemas automáticos, en los que, una vez puestos a punto y optimizado su funcionamiento, la intervención física humana queda prácticamente eliminada. Se llega así a la posibilidad de tener informatizado todo el proceso productivo (Computer Integrated Manufacturing, CIM).

Para ello concurren una serie de técnicas que van desde las células de fabricación flexible por medio de redes y los aprovisionamiento *just-in-time*, hasta la inteligencia artificial, la implantación de distintos sensores para el control de la producción (visión artificial, etc.) o la manutención y almacenamiento automatizados. Se han desarrollado con este objeto distintas herramientas como: CAD (*Computer Aided Design*), CAM (*Computer Aided Manufacturing*), CAE (*Computer Aided Engineering*) MRP (*Manufacturing Resources Programming*), CAPP (*Computer Aided Programming Planning*), CND (*Computer Numerical Direct*), CQC (*Computer Quality Control*).

El estado actual de la fabricación por objetivos y áreas es el siguiente:

- Objetivos de fabricación: aumentar la variedad de oferta de productos, con ciclos de vida más cortos, mayor calidad y bajo costo.
- Empleo generalizado de ordenadores en los procesos para aumentar la velocidad de respuesta y la productividad y reducir los plazos de entrega y los costes.
- Las funciones primordiales de la dirección son el desarrollo organizativo y la decisión de adopción de nuevas tecnologías
- Cobra especial importancia el análisis cuidadoso y profundo de los costos y beneficios previstos en la implantación de una fabricación cada vez más integrada.
- Las tareas encomendadas a los operarios de una factoría del futuro serán del tipo supervisión, manejo y actualización de ordenadores, mantenimiento de equipos, seguridad en la planta, y recepción y envío de suministros y productos terminados.

2. INTRODUCCIÓN AL CONTROL NUMÉRICO (CN) DE MÁQUINAS-HERRAMIENTA

2.1 Introducción

La automatización de los procesos industriales en estos últimos años ha dado lugar a un avance espectacular de la industria. Todo ello ha sido posible gracias a una serie de factores entre los que se encuentran:

- Las nuevas tecnologías en el campo mecánico
- La introducción de los ordenadores
- La evolución de los sistemas de control y regulación

La incorporación de los ordenadores en la producción ha sido el elemento clave que está permitiendo lograr la automatización integral de los procesos industriales. La aparición de la microelectrónica y de los microprocesadores ha facilitado el desarrollo de técnicas de control complejas y con ello la robotización, la implementación de sistemas de control de procesos, la planificación de éstos, etc. Todos estos elementos llevan consigo la reducción de costes, el aumento de la productividad y la mejora del producto.

Se responde así a las necesidades del mercado, que ha ido pidiendo a los productos, entre otras características :

- Una variedad de modelos cada vez mayor, reduciéndose las series largas por series medias e incluso pequeñas series.
- Una vida del producto muy corta, que exige cambios continuos en el sistema de fabricación.
- Una reducción de los plazos de entrega, que obliga a acortar el ciclo de producción.
- Un producto de alta calidad o, al menos, calidad uniforme, del mismo nivel.
- Y, por último, un precio cada vez más bajo, para que el producto sea competitivo, lo que obliga a la reducción de costes.

Todo ello nos lleva al concepto de fabricación flexible, que obliga a los sistemas de fabricación a producir piezas diferentes, tanto en su forma geométrica y en el

número de lote de la serie, como en la cantidad y tipo de operaciones que se realizan, de tal forma que los tiempos de preparación de la máquina sean mínimos.

Así, por ejemplo, hablando de máquinas-herramienta, un torno de levas es una máquina poco flexible, ya que la familia de piezas que puede fabricar con el juego de levas de que dispone es muy pequeña y, a la vez, los tiempos de preparación son muy largos. Sin embargo, un centro de mecanizado es una máquina muy flexible, pues permite fabricar una gran diversidad de piezas con un abanico de operaciones muy elevado y, además, con un tiempo de preparación mínimo.

Es importante destacar que el término fabricación incluye, además de las actividades de transformación (el mecanizado en el caso de las máquinas-herramientas) otras actividades necesarias para la obtención del producto tales como transporte, almacenaje, verificación, embalaje, etc.

Un primer paso en la automatización del sistema de fabricación es automatizar la máquina-herramienta mediante la implementación de un **sistema de control numérico** que reduzca los tiempos de mecanizado y de posicionado.

De todo el tiempo que la pieza se encuentra en el curso de fabricación, solamente el 5% se encuentra en la máquina-herramienta y el resto del tiempo se emplea en movimientos de la pieza por el taller (manutención).

Ese 95% de tiempo empleado en el transporte y almacenaje de las piezas presenta dos inconvenientes:

- Los tiempos de fabricación total son muy grandes, con lo que se alargan los plazos de entrega.
- El número de piezas que hay en el taller es muy elevado, lo que implica unos costes de manutención y unas pérdidas, pues esos productos podrían haberse facturado ya.

Se deduce, por tanto, la importancia de incidir en la automatización de todo el proceso de fabricación, transporte y almacenaje incluidos. Para ello, pueden darse los siguientes pasos:

- Utilización de un sistema CAD/CAM, de programación asistida que reduce los tiempos de preparación de las series, además de minimizar los errores.
- Utilización de máquinas complejas de **CN** que permiten realizar todas las operaciones que necesita una pieza (centros de torneado y mecanizado).

- Incorporación de robots al sistema de fabricación, en tareas de fabricación (soldadura, pintura, etc.) y, sobre todo, de mantenimiento (alimentación de máquinas-herramienta, transporte, embalaje, etc.).
- Asociación de máquinas-herramienta de CN y robots en una célula o sistema de fabricación flexible.
- Implantación de sistemas de verificación automáticos y flexibles: máquinas medidoras de coordenadas, sistemas de visión artificial, ...
- Implantación de un programa de gestión y planificación de la producción.

Todo ello, conduce al concepto de fabricación integrada por ordenador (CIM, de "Computer Integrated Manufacturing") en el que todos los departamentos implicados en la empresa (Diseño, Fabricación, Calidad, Gestión, etc.) se encuentran automatizados e interrelacionados bajo la supervisión de un ordenador central que gobierna el buen funcionamiento de la empresa.

2.2 Definición de control numérico

Existen diversas definiciones de lo que es un control numérico (a partir de ahora CN) entre las que se pueden citar las siguientes:

- Es todo dispositivo capaz de dirigir posicionamientos de un órgano mecánico móvil, en el que las órdenes relativas a los desplazamientos del móvil son elaboradas a partir de las instrucciones codificadas en un programa.
- Es todo dispositivo que realiza un mando mediante números, haciendo que las máquinas desarrollen su trabajo automáticamente mediante la introducción en su memoria de un programa en el que se definen las operaciones a realizar por medio de combinaciones de letras y números.
- Son sistemas que, en base a una serie de instrucciones codificadas (programa), se gobiernan todas las acciones de una máquina o mecanismo al que le ha sido aplicado, haciendo que éste desarrolle una secuencia de operaciones y movimientos en el orden previamente establecido por el programador.

Quizá la definición más clara en lo que se refiere al CN aplicado a las máquinas-herramienta sea la siguiente:

"Sistema que aplicado a una máquina-herramienta automatiza y controla todas las acciones de la misma", entre las que se encuentran:

- los movimientos de los carros y del cabezal,

- el valor y el sentido de las velocidades de avance y de corte,
- los cambios de herramientas y de piezas a mecanizar,
- las condiciones de funcionamiento de la máquina (bloqueos, refrigerantes, lubricación, etc.),
- el estado de funcionamiento de la máquina (averías, funcionamiento defectuoso, etc.),
- la coordinación y el control de las propias acciones del CN (flujos de información, sintaxis de programación, diagnóstico de su funcionamiento, comunicación con otros dispositivos, etc.)."

De todo ello se deduce que los elementos básicos de un sistema de control numérico son, con carácter general:

- El programa, que contiene la información precisa para que se desarrollen esas tareas. El programa se escribe en un lenguaje especial (código) compuesto por letras y números y se graba en un soporte físico (cinta magnética, disquete, etc.) o se envía directamente al control vía RS-232.
- El control numérico (CN), que debe interpretar las instrucciones contenidas en el programa, convertirlas en señales que accionen los dispositivos de las máquinas y comprobar su resultado.
- La máquina, que ejecuta las operaciones previstas.

El control numérico puede aplicarse a una gran variedad de máquinas:

- tornos,
- fresadoras,
- centros de mecanizado,
- taladradoras,
- punteadoras,
- mandrinadoras,
- rectificadoras,
- punzonadoras,
- dobladoras,
- plegadoras,
- prensas,

- cizallas,
- máquinas de electroerosión,
- máquinas de soldar,
- máquinas de oxicorte,
- máquinas de corte por láser, plasma, chorro de agua, etc.,
- "plotters" o trazadores,
- máquinas de bobinar,
- máquinas de medir por coordenadas,
- robots y manipuladores,
- etc.

En el ámbito de las máquinas-herramienta, la incorporación de un sistema de control numérico ha supuesto una gran evolución hasta llegar a los centros de mecanizado (fresadoras de control numérico con cambio automático de herramientas, figura 2.1.) y centros de torneado (torno CNC con herramientas rotativas), que en algunos casos también incorporan sistemas de cambio automático de pieza.



Fig. 2.1. Centro de mecanizado. A. Pernía, Prácticas de mecanizado en torno y fresadora, 2018.

2.3 Clasificación de los controles numéricos

Debido a las diferencias que existen entre las máquinas que son susceptibles de ser gobernadas por un CN, a las dificultades técnicas en el diseño de los controladores y a condicionantes de tipo económico, han aparecido diversos tipos de CN que pueden clasificarse de varias maneras:

- Según la manera de controlar las trayectorias de las herramientas.
- Según la forma física de efectuar el control.

2.3.1 Clasificación según la manera de controlar las trayectorias

Tradicionalmente se ha clasificado a los controles numéricos en los de tipo punto a punto, paraxial y de contorneado. Actualmente, casi cualquier control numérico permite realizar contorneados y esta clasificación se aplica en general a los tipos de operaciones de trabajo de máquinas, más que a los tipos de controles numéricos.

- *Control numérico punto a punto*

El CN punto a punto controla únicamente el posicionado de la herramienta en los puntos donde debe ser realizada una operación de mecanizado realizando los desplazamientos en vacío según trayectorias paralelas a los ejes o a 45 grados sin coordinación entre los sistemas de mando de cada uno. Se utiliza fundamentalmente en máquinas taladradoras, punzonadoras, punteadoras y en algunas mandrinadoras.

La coordinación entre ejes no es necesaria porque lo importante es alcanzar un punto dado en el mínimo tiempo y con la máxima precisión posible. El mecanizado no comienza hasta que se han alcanzado todas las cotas en los diversos ejes para dicho punto. El camino seguido para ir de un punto a otro no importa con tal de que no existan colisiones.

El método a es quizás el más lento, pero más sencillo. El método b es sin duda el más rápido aunque implica el uso de equipos sofisticados para mover los ejes coordinadamente (interpolación lineal). El método c es el más común, en él los dos ejes comienzan a moverse simultáneamente a máxima velocidad (formando 45 grados) hasta alcanzar la cota límite en alguno de los ejes, momento en el cual, para ese eje y continúan los demás.

- * *Control numérico paraxial*

El CN paraxial permite controlar la posición y trayectoria durante el mecanizado del elemento desplazable, siempre que esta última sea paralela a los ejes de la

máquina y, en algunos casos, a 45 grados. En principio es aplicable a cualquier tipo de máquina-herramienta si bien su uso en la práctica se reduce al gobierno de taladradoras y fresadoras.

* *Control numérico de contorneado*

El CN de contorneado o continuo fue el primero en aparecer para después quedar en un segundo plano frente a los sistemas punto a punto y paraxiales y, posteriormente, con los avances en la tecnología electrónica e informática, desplazar a los otros dos sistemas siendo el más utilizado en la mayor parte de las máquinas-herramienta.

Los sistemas CN de contorneado controlan no sólo la posición final de la herramienta sino el movimiento en cada instante de los ejes (ver figura 2.2.) y coordinan su movimiento usando técnicas de interpolación lineal, circular y parabólica (ver figura 2.3.). La denominación de continuo viene dada por su capacidad de un control continuo de la trayectoria de la herramienta durante el mecanizado, y de contorneado por la posibilidad de realizar trayectorias definidas matemáticamente de formas cualesquiera obtenidas por aproximación.

Este tipo de control de contorneado se aplica a tornos, fresadoras, centros de mecanizado y, en general, a cualquier tipo de máquina que deba realizar mecanizados según una trayectoria más o menos compleja.

Es claro que el CN de contorneado puede realizar los trabajos propios de uno paraxial o punto a punto, pero su coste suele ser más elevado por su mayor complejidad.

2.3.2 Clasificación según la forma física de realizar el control

En relación con este criterio de clasificación encontramos los siguientes tipos:

- Control Numérico (CN)

La denominación de Control Numérico (CN) se utilizaba tradicionalmente para designar aquellos controles donde cada una de las funciones que realiza el control son implementadas por un circuito electrónico específico únicamente destinado a este fin, realizándose la interconexión entre ellos con lógica cableada.

Sus características principales son las de trabajar sin memoria, con una cinta perforada como medio de introducción del programa que se ejecuta de forma secuencial. Los armarios de control son de gran volumen y difícil mantenimiento.

Actualmente puede decirse que este tipo de controles ha desaparecido, desplazados por los controles numéricos computerizados.

- Control Numérico computerizado (CNC):

El tipo de controles basados en circuitos específicos y lógica cableada (CN) ha caído en desuso con la aparición de los Controles Numéricos Computerizados (CNC), basados en el uso de uno o varios microprocesadores que sustituyen a los circuitos de lógica cableada de los sistemas CN, poco fiables y de gran tamaño.

Los CNC incluyen una memoria interna de semiconductores que permite el almacenamiento del programa pieza, de los datos de la máquina y de las compensaciones de las herramientas. Por otra parte, incorporan un teclado que facilita la comunicación y el grado de interactividad con el operario y permiten la ruptura de la secuencia de los programas, la incorporación de subrutinas, los saltos condicionales y la programación paramétrica. De esta forma, se facilita una programación más estructurada y fácil de aprender. Por otra parte, se trata de equipos compactos con circuitos integrados, lo que aumenta el grado de fiabilidad del control y permite su instalación en espacios reducidos y con un nivel de ruido elevado.

Actualmente, todos los controles que se fabrican son del tipo CNC, quedando reservado el término CN para una referencia genérica sobre la tecnología, de tal forma que se utiliza la denominación CN (Control Numérico) para hacer referencia a todas las máquinas de control numérico, tengan o no computador.

- Control Numérico Adaptativo (CNA):

El Control Numérico Adaptativo (CNA) es la tendencia actual de los controles. En ellos el controlador detecta las características del mecanizado que está realizando y en función de ellas optimiza las velocidades de corte y los avances; en otras palabras, adapta las condiciones teóricas o programadas del mecanizado a las características reales del mismo. Para ello, hace uso de sistemas sensoriales de fuerza y deformación en la herramienta, par, temperatura de corte, vibraciones, potencia, etc.

Las razones de la introducción del CNA residen en la variación de las condiciones de corte durante el mecanizado por varios motivos:

- * Geometría variable de la sección de corte (profundidad y anchura) por la complejidad de la superficie a mecanizar, típico de las operaciones de contorno.
- * Variaciones en la dureza y en la maquinabilidad de los materiales.

-
- * Desgaste de las herramientas, incrementándose el esfuerzo de corte.

2.4 Ventajas y desventajas del uso del control numérico

El uso de la tecnología del CN aplicada a las máquinas-herramienta presenta una serie de ventajas y desventajas que se pueden resumir como sigue:

2.4.1 Ventajas

Entre las ventajas podemos enumerar las siguientes:

- Reducción de los tiempos de fabricación, pues:
- Los tiempos muertos se reducen al encadenarse de forma automática los movimientos, por la rapidez de los movimientos en vacío y por el control automático de las velocidades del cabezal.
- Los tiempos de reglaje se ven reducidos al disminuir el número de reglajes de máquina y de pre-reglajes de herramienta hechos fuera de máquina.
- Los tiempos de control y medida disminuyen debido a la elevada precisión de los mecanizados y a la reproducción fiel de las cotas a partir de la primera pieza.
- Los tiempos de cambio de pieza también se reducen.
- Los tiempos de espera entre máquinas bajan, al poder realizar sobre una misma máquina mayor número de operaciones que con las convencionales; esto se relaciona con la disminución de la superficie ocupada de taller.
- Se reduce el número de verificaciones entre operaciones.
- Reducción del tamaño del lote económico y, por lo tanto, del nivel de almacenes.
- Aumento de la flexibilidad de producción expresada en términos de fácil adaptabilidad a la realización de distintos tipos de fabricados, respondiendo ágilmente a las necesidades del mercado.
- Disminución de rechazos de piezas, como consecuencia de la precisión de las máquinas.
- Mayor duración de las herramientas, debido a su mejor aprovechamiento.
- Supresión de ciertas herramientas y disminución del número de herramientas de forma (ahorro de herramientas y utillaje); se utilizan herramientas más universales.

- Supresión del trazado de piezas antes del mecanizado.
- Ahorro de utillaje, al realizar en una misma máquina mayor número de operaciones.
- Posibilidad de realizar de manera económica piezas de geometría complicada.
- Mejora de la gestión de la fabricación (tiempos más uniformes).
- Mejora de la seguridad al reducirse el grado de interactividad máquina-operario durante los procesos de mecanizado.
- Menor número de operarios y de menor cualificación, para manejo de las máquinas.
- Atracción y motivación del personal hacia las nuevas tecnologías.

2.4.2 Desventajas

Entre las desventajas podemos citar:

- Coste horario elevado por la importante inversión de adquisición de una MHCN, debido no sólo al precio de la MHCN sino también al de los elementos auxiliares. Ello obliga a asegurar un alto nivel de ocupación de la máquina y la puesta a varios turnos del equipo para conseguir una amortización razonable.
- Necesidad de un personal más cualificado en programación y mantenimiento, lo que se traduce en mayores costes en formación y en salarios.
- Alto coste del servicio postventa y de mantenimiento de los equipos en razón de su mayor complejidad. Se estima que el coste de mantenimiento de una MHCN es un 50% más elevado que en las convencionales.
- Necesidad de un tiempo de adaptación y de un cambio en la estructura organizativa y de gestión de la fabricación. No es fácil adaptar a los empleados a las nuevas técnicas exigidas por el CN.
- Alto coste de inversión, adquisición, mantenimiento y reposición de herramientas.

2.5 Características de las Máquinas-herramienta de Control Numérico (MHCN)

Las condiciones de funcionamiento de las máquinas de CN y sus requerimientos de precisión y fiabilidad obligan a una tecnología de fabricación distinta a la empleada

para las máquinas convencionales. Los puntos más importantes en los que hay que fijar la atención son los siguientes:

- Mecanismos de posicionamiento.
- Sistemas de medida.
- Diseño de máquinas.
- Sistemas de cambio de herramientas y piezas.
- Arquitectura del CN.

A continuación se hace un breve desarrollo de cada uno de esos puntos.

2.5.1 Mecanismos de posicionamiento

Los mecanismos de posicionamiento tienen como objeto conducir los dispositivos móviles (carros, husillos, etc.) automáticamente a una posición determinada según una trayectoria especificada con unas condiciones adecuadas de precisión, velocidad y aceleración.

Los componentes básicos de los mecanismos de posicionamiento son los accionadores y el propio sistema de control de posicionamiento. Por accionadores se entienden aquellos dispositivos que permiten realizar algún movimiento (motores, válvulas, etc.), incluyendo todos los dispositivos asociados de regulación y amplificación de la señal de mando.

El control de posicionamiento de una máquina-herramienta de CN puede realizarse mediante el uso de dos sistemas de servomecanismos de posicionado:

Sistema de bucle cerrado: En este tipo de servomecanismos, las órdenes suministradas a los motores proceden de las informaciones enviadas por la unidad de cálculo del CN y de los datos suministrados por el sistema de medida de la posición real (captador de posición) y de la velocidad real (captador de velocidad) montado sobre la máquina.

El principio de los servomecanismos de posición en bucle cerrado consiste en comparar en todo momento la posición del móvil con la orden dada. La señal enviada al accionador es función de la relación entre la posición y la orden.

Usualmente se utilizan dos bucles de retorno de información, uno para el control de posición y otro para el control de la velocidad de desplazamiento del móvil, debido a

que antes de llegar a la cota deseada se disminuye la velocidad para alcanzar el posicionado correcto.

En general, las máquinas-herramienta de control numérico actuales emplean para su posicionamiento motores de corriente alterna, controlados con sistemas de bucle cerrado. Los motores de corriente alterna presentan mejores prestaciones y menor mantenimiento que los motores de corriente continua a los que han desplazado.

Sistema de bucle abierto: En este tipo de sistemas se elimina el retorno de la información de posición y velocidad del móvil. Se utilizan forzosamente motores paso a paso para el movimiento de los ejes, debido a que un motor de este tipo tiene un rotor que efectúa una rotación de un ángulo determinado cada vez que recibe un impulso eléctrico.

El motor paso a paso permite el control de desplazamientos y velocidades de manera muy simple. Se alimenta con trenes de impulsos eléctricos cuyo número tiene relación con la posición que se desea alcanzar, y su cadencia (número de impulsos por unidad de tiempo) establece la velocidad de giro.

Los inconvenientes principales que presentan este tipo de motores son:

- La posible pérdida de pasos en el desplazamiento por un esfuerzo elevado en el eje del motor, lo que conduce a un error de posición.
- Limitaciones de potencia y par intrínsecas a las características del motor.
- Debido a su avance por impulsos producen un peor acabado de las piezas a mecanizar.

La ventaja principal que tienen es su bajo coste. Sin embargo, su uso cada vez es menor en relación con los sistemas de bucle cerrado.

2.5.2 Sistemas de medida

Los sistemas de medida de posición y velocidad son la base para los CN que utilizan un sistema de posicionamiento en bucle cerrado. También existen máquinas que incorporan sistemas de medida de herramientas y piezas.

Para la medida de los desplazamientos y velocidades se utilizan los captadores.

Un captador de posición mide una magnitud geométrica, transformándola en una señal eléctrica capaz de ser analizada por el equipo de control.

Existen diversas maneras de clasificar los captadores de posición en función de los siguientes conceptos:

- Naturaleza de la información proporcionada: analógicos o digitales.
- Relación entre las magnitudes mecánica y eléctrica: absolutos o incrementales.
- Emplazamiento del captador sobre la cadena cinemática: directos o indirectos.
- Forma física del captador: lineal o rotativo.

Los analógicos proporcionan información de la medida con magnitudes continuas como tensiones o fases eléctricas. En cambio los digitales facilitan un número finito de valores de posición de forma digital.

Los captadores absolutos dan una señal ligada unívocamente al valor medido, para lo cual a lo largo del desplazamiento se identifican una serie de posiciones mediante un código correspondiente a cada posición que representa la medida de la misma respecto a un origen fijo. Los incrementales o relativos emiten una señal o impulso para cada desplazamiento elemental, calculando el sistema de control el desplazamiento en función del número de impulsos recibidos.

Los captadores directos miden la posición sobre el mismo desplazamiento que se desea medir, sin ningún elemento mecánico intermedio. Los indirectos miden el desplazamiento del móvil a través del de algún elemento intermedio de la cadena cinemática de accionamiento del mismo.

Los captadores lineales basan su principio de funcionamiento en el desplazamiento lineal relativo de dos elementos. Los rotativos miden desplazamientos de rotación.

Las clasificaciones anteriores se han hecho en base a la forma de medir, pero también pueden clasificarse los captadores atendiendo a la técnica que utilizan para la medición, es decir, según el fenómeno físico en el que se basan:

- Inducción
- Fotoeléctricos
- Optoelectrónicos

Aunque existe una amplia variedad de captadores, los más utilizados en MHCN en la práctica son los tipo "resolver" (captador analógico, absoluto, rotativo, normalmente indirecto y basado en la inducción electromagnética) y el "Inductosyn" (captador analógico, absoluto, lineal, directo y también basado en la inducción electromagnética).

Las características principales de un captador de posición se pueden resumir en las siguientes:

- Campo de medida.
- Poder de resolución.
- Precisión.
- Precisión de repetición.
- Sensibilidad.
- Ruido.
- Velocidad máxima de detección.

En cuanto a la captación de la velocidad el dispositivo más utilizado es la dinamo taquimétrica o tacodinamo montada sobre el mismo eje motor que genera, al girar, una tensión eléctrica proporcional a su velocidad.

Los sistemas de medida de herramientas y piezas se apoyan normalmente en los sistemas de medida de desplazamientos, permitiendo realizar algunas funciones de medición e inspección de piezas y herramientas, actualizar los valores de los correctores de las herramientas (parámetros que identifican geométricamente a cada útil), y efectuar parte de las labores del control de calidad sobre la propia máquina.

Básicamente, los sistemas de medida se basan en sensores situados en el portaherramientas o en sistemas independientes de tipo neumático, inductivo u óptico, pudiendo realizar las comprobaciones de cotas de mecanizado sin descargar la pieza o herramienta de la máquina.

2.5.3 Diseño de las MHCN

En principio un Control Numérico se puede adaptar a cualquier tipo de máquina-herramienta convencional, tanto de arranque de viruta como de trazado y deformación. Sin embargo, las características de precisión y de fiabilidad exigidas en estas máquinas en condiciones duras de utilización hacen que sea necesario modificar las características de diseño de las mismas.

Estructuralmente, las Máquinas-Herramienta de Control Numérico (MHCN) son máquinas más rígidas y con menos vibraciones que las convencionales, gracias al

uso de bastidores de chapa soldada y de hormigón (sustituyendo a la clásica fundición) y de construcción modular.

En el diseño de su cadena cinemática se busca disminuir los juegos, rozamientos, vibraciones e inercias de las masas móviles para mejorar las características de precisión y repetibilidad del posicionado de la herramienta, aumentando la rigidez de las guías y utilizando materiales con bajo coeficiente de fricción o sistemas hidrostáticos de rodadura, husillos a bolas, etc.

Asimismo, se han mejorado la estabilidad y la uniformidad térmica de las máquinas mediante sistemas de refrigeración de herramienta, pieza y máquina, además de incluir sistemas de evacuación de virutas.

2.5.4 Sistemas de cambio de herramientas y de piezas

En la línea de proporcionar a la máquina el mayor grado de automatismo, se hace necesario incluir algún sistema que permita reducir al mínimo los tiempos en los que no está mecanizando. Entre los sistemas utilizados se encuentran los de cambio automático de herramientas y de piezas.

- Cambio de herramientas:

Los cambiadores automáticos de herramientas permiten reducir al mínimo los tiempos de cambio de útiles, evitando el proceso de reglaje en el cambio y permitiendo realizar distintos tipos de piezas con una preparación mínima de la máquina.

Básicamente, hay dos tipos de sistemas de cambio de herramientas:

- Torrete giratoria.
- Almacén de herramientas.

El primero es utilizado normalmente en tornos y taladros, pudiendo contener hasta 12 herramientas entre las que se pueden encontrar útiles motorizados para realizar taladros y operaciones de fresado, convirtiendo al torno en un Centro de Torneado.

Girando la torreta se sitúa la herramienta en posición de trabajo, siendo el tiempo de cambio de herramienta del orden de un segundo. La identificación de la herramienta se hace en base a la posición que ocupa dentro de la torreta, por lo que ésta debe ser tenida en cuenta cuando se carga la torreta y cuando se realiza el programa.

El almacén de herramientas se utiliza para aquellas máquinas que precisan un elevado número de útiles para realizar un trabajo (caso típico de los Centros de Mecanizado). Físicamente se trata de almacenes de tambor o de cadena con un manipulador asociado que se encarga de trasladar la herramienta desde el almacén hasta el husillo de trabajo. En este caso, se suelen utilizar sistemas de identificación que consisten en disponer de un código sobre la herramienta y un procedimiento de lectura de ese código. Algunos códigos utilizados son los de anillos montados en el mango del útil que presionan una fila de interruptores reproduciendo un código binario o el basado en cápsulas magnéticas incorporadas sobre la propia herramienta.

- Cambio de piezas:

El cambio automático de piezas es otro sistema que han incorporado algunas MHCN para reducir los tiempos de carga y descarga de la pieza.

Existe una amplia variedad de sistemas entre los que se pueden citar:

- Robots y manipuladores.
- Alimentadores automáticos.
- Sistemas de cambio de pallets.

En los tornos se utilizan normalmente robots o manipuladores que pueden desde realizar únicamente la carga y descarga de pieza, hasta identificarlas, realizar un control sobre las mismas, clasificarlas y situarlas sobre un pallet (para lo cual se ayudan con sistemas sensoriales de visión).

En los Centros de Mecanizado se suele utilizar el sistema de cambio automático de pallets sobre los que van fijados los útiles de sujeción de la pieza. De este modo, la carga y descarga se realiza fuera de máquina mientras se está mecanizando otra pieza. Existen sistemas de carrusel o de línea que permiten el funcionamiento en modo automático de un Centro de Mecanizado durante varias horas, lo que permite su puesta a tres turnos con una mínima atención disponiendo el trabajo sobre los pallets previamente.

2.6 Sistema de control

La arquitectura del sistema de control de un Control Numérico comprende los siguientes elementos:

- Unidad de entrada-salida de datos.
- Unidades de memoria fija (ROM) y volátil (RAM).
- Uno o varios microprocesadores.
- Visualizador de datos.
- Unidad de enlace con la máquina.

2.6.1 Unidad de entrada-salida de datos

La entrada y salida de datos en los equipos de CN se puede realizar de varias formas:

- Por cinta perforada (ya obsoleto).
- Por panel de control.
- Por cintas magnéticas (tipo cassette), ya en desuso y sustituidas por disquetes informáticos.
- Por comunicación con un ordenador externo.
- Panel de control.

La aparición del CNC ha hecho posible la introducción de datos de una manera más cómoda mediante el uso de otros periféricos conectados al CN. Uno de ellos es el panel de control que han incorporado la mayor parte de los CN modernos.

Este panel de control lleva incorporado un teclado y una serie de selectores y pulsadores que abarcan todas las informaciones codificadas necesarias para la programación.

Este panel se emplea para realizar modificaciones sobre los programas introducidos previamente en memoria, para programar a pie de máquina y para controlar y verificar el funcionamiento de la máquina-herramienta.

Básicamente, en la programación a pie de máquina se trata de introducir el programa a través de un teclado funcional incorporado en el equipo o conectado al mismo de modo que su uso pueda ser compartido por varios CN.

El inconveniente que presenta la programación a pie de máquina es que se consume tiempo-máquina en el tecleo (entre 20 y 30 minutos normalmente) y que se suelen producir errores. Tales inconvenientes han quedado solucionados en parte por la posibilidad de que disfrutaran los CN modernos de introducción de programas mientras la máquina está trabajando (modo "background") y la de detección automática de errores de sintaxis y geométricos en los datos.

La interacción que permite el uso del teclado del panel de control permite la fácil corrección de programas, la introducción de correctores de herramientas, su uso en trabajos normalmente reservados a máquinas convencionales con alto grado de interactividad hombre-máquina (matricería) y el control total de la máquina desde un puesto centralizado.

Como inconvenientes principales de la programación a pie de máquina se encuentran el que todavía debe disponerse de documentos en papel con el programa, en un ambiente de taller poco propicio para su manejo y la limitación de memoria de los CN, que requiere la carga y descarga de programas en producción de series cortas, por saturación de su capacidad de almacenamiento.

- Cintas magnéticas:

La solución a una parte de los inconvenientes que presenta la introducción de datos vía teclado o por cinta perforada viene de la mano del uso de periféricos de cinta magnética (tipo cassette), con una alta capacidad de almacenamiento de programas en un volumen reducido y con alta transportabilidad.

El lector-grabador de cinta magnética se conecta al CN mediante un cable (usualmente RS-232C V24), pudiendo cargar y descargar los programas en ellos almacenados o que piensan ser usados. Con ello se evita la repetición de una tarea engorrosa y poco fiable, como es la del tecleo sobre el propio CN, y la saturación de la memoria con programas de mecanizado de piezas que no son lo suficientemente repetitivas como para tenerlos permanentemente.

- Comunicación con ordenador externo:

Básicamente, consiste en la transmisión y recepción de programas entre un ordenador externo y el Control Numérico de una o varias máquinas-herramienta. La comunicación se realiza a través de un cable de conexión usando, normalmente, la norma RS-232C, de modo que el desarrollo y almacenamiento de los programas se efectúa utilizando los recursos del ordenador más aptos que los del CN.

Este tipo de técnica conocida con el nombre de Control Numérico Directo (CND, o DNC en inglés) permite no sólo la carga y descarga de programas de una manera mucho más rápida y fiable que los métodos anteriores, sino que, además, permite la gestión de las MHCN desde un puesto no situado en taller, para realizar labores de control y gestión de datos de producción de varias máquinas, la edición y corrección de programas en un teclado más ergonómico que el del CN y la conexión de sistemas de diseño y generación automática de programas de mecanizado (CAD/CAM).

El impacto que provoca el uso de ordenadores externos a la propia máquina ha sido un paso fundamental hacia la fábrica del futuro, con el objetivo de conseguir una planificación de la fabricación automatizada.

El coste de un sistema DNC dependerá del tipo de ordenador externo utilizado y del número de máquinas que deseen conectarse. La configuración típica necesita: un ordenador personal tipo PC compatible, una impresora, el programa de comunicaciones y el cable de conexión.

2.6.2 Unidades de memoria fija (ROM) y volátil (RAM)

La unidad de memoria fija o ROM (Read Only Memory, memoria de sólo lectura) incluida en los CN, tiene como función almacenar las instrucciones, funciones y subprogramas registrados por el fabricante y que no deben ser modificados para el uso de la máquina. Como su nombre indica, es una memoria de datos que sólo puede leerse y no modificarse por el usuario o por la máquina.

La tecnología usada es la de transistores MOS (Metal-Oxide-Semiconductor) y permite conservar los datos durante un tiempo muy superior al de la vida de la máquina.

La memoria volátil o RAM (Random Acces Memory, memoria de acceso aleatorio) se puede leer y escribir y, por tanto, posee la capacidad de ser modificada por el usuario. En ella se registran los programas de usuario y es utilizada internamente por el control.

La tecnología usada para su fabricación también es la MOS con dos modalidades: dinámicas y estáticas. Las dinámicas precisan de un circuito externo que refresque la información consumiendo menos energía y siendo más baratas que las estáticas que no lo requieren. De cualquier modo, las más empleadas son las estáticas en las que (al igual que ocurre con las dinámicas) la información permanece siempre y cuando se mantenga la alimentación de la unidad de memoria mediante una batería auxiliar de Ni-Cd normalmente disponible en los CN.

La capacidad de las memorias RAM o de almacenamiento de programas es muy variable dependiendo del fabricante, existiendo desde memorias de 8 Kb (8000 caracteres) hasta memorias de 600 Kb e incluso más.

Lo normal es una memoria de 32 Kb, puesto que, aunque la mayor parte de los CN permiten su ampliación, la capacidad de trabajar en DNC en modo infinito (el ordenador envía el programa por bloques manejables por la memoria del CN) de muchos controladores evita el problema de las limitaciones de capacidad de memoria.

2.6.3 Microprocesadores

El microprocesador o Unidad Central de Proceso (CPU) es el encargado del control de los elementos que componen la máquina en función del programa que ejecuta. Básicamente, accede a las instrucciones del programa, las decodifica y ejecuta las acciones especificadas. Entre sus funciones están también las de calcular todas las operaciones aritmético-lógicas que precise, de lo cual se encarga la Unidad Aritmético Lógica (ALU).

Existen microprocesadores de 8, 16, 32 y hasta 64 bits, en función del grado de complejidad y de la rapidez requeridas. Una instrucción completa puede codificarse mediante 1, 2 ó 3 bytes. Existen CN que disponen de varios microprocesadores, cada uno de los cuales se encarga de una función específica y que trabajan de una forma coordinada.

2.6.4 Visualizadores de datos

Son monitores que permiten que el operador controle la marcha de la programación o del proceso de mecanizado, además de conocer el estado de la máquina a través de los mensajes que aparecen en el mismo.

Actualmente, casi todos los visualizadores de datos son monitores de vídeo TRC (Tubo de Rayos Catódicos) o pantallas de cristal líquido LCD similares a las de numerosos ordenadores, permitiendo incluso la posibilidad de generar imágenes en color y gráficos.

2.6.5 Unidad de enlace con la máquina

El CN está enlazado con la máquina-herramienta a través de los órganos de mando y control sobre los motores que accionan los órganos móviles (husillos de los carros y mesas) para que su movimiento se ajuste a lo programado.

Otro tipo de enlaces son los que se establecen con el armario eléctrico de la máquina-herramienta para controlar la velocidad del husillo, el cambio de herramientas y otras funciones como la marcha-parada, la conexión del refrigerante, etc.

2.7 Tipos de programación

Existen cuatro formas de programar un CN:

- Manual
- Pseudo-asistida por ordenador
- Asistida por ordenador
- Conversacional

El objetivo de las cuatro es el mismo: Obtener el programa de mecanizado de la pieza partiendo de sus datos geométricos y de las condiciones de corte.

A continuación, se presentan las características de cada uno de estos procedimientos:

2.7.1 Programación manual

La programación manual es aquella en la que, a partir del plano, se calculan de forma manual las trayectorias de las herramientas y, a continuación, se codifican dichas trayectorias utilizando el lenguaje de programación contenido en el manual de la MHCN.

2.7.2 Programación pseudo-asistida por ordenador

Este tipo de programación se realiza cuando se dispone de un programa de Diseño Asistido por Ordenador (CAD), pero no de el módulo de Fabricación Asistida (CAM) correspondiente.

La ventaja con respecto a la anterior es que no es necesario realizar el cálculo de trayectorias (a veces muy complejo) pues las coordenadas de los puntos necesarios se consultan en el ordenador, ya que se dispone de la geometría de la pieza en formato CAD.

2.7.3 Programación asistida por ordenador

La programación asistida por ordenador intenta que la realización de los programas de control numérico sea más cómoda, utilizando para ello un ordenador como herramienta de trabajo. El ordenador proporciona un conjunto de utilidades muy versátiles gracias a su potencia de cálculo y capacidad de procesamiento de información.

Los primeros prototipos de sistemas de programación asistida por ordenador datan de 1957, cuando hace su aparición el APT (Automated Programming Tools), y la más reciente ha sido el desarrollo de los modernos sistemas CAD-CAM que dotan a la programación de control numérico de capacidad para recoger información gráfica de la propia geometría de la pieza.

Gracias a estos sistemas se pueden desarrollar programas CN para geometrías complejas, con superficies y curvas de formas muy complicadas. El proceso de programación comienza con la definición de geometrías utilizando el programa de CAD. Normalmente esta geometría ya ha sido definida en la etapa de diseño, por lo que se ahorra este paso. Una vez definida la pieza que va a ser mecanizada se utilizan las librerías de herramientas (creadas previamente) que representan las existencias del taller.

El siguiente paso es generar el camino o trayectoria de la herramienta sobre la pieza mediante las opciones que se ofrecen en el menú del programa. El modo interactivo permite al programador generar la trayectoria paso a paso, a medida que ésta se visualiza en pantalla, pudiendo borrar comandos erróneos e insertar otros nuevos si son necesarios.

2.7.4 Programación conversacional

Por este nombre se entiende una forma de programar en la que el operario es conducido a través de preguntas con el fin de introducir los programas.

Su apariencia y metodología dependen del fabricante. Bien puede consistir en un conjunto de preguntas que aparecen por el monitor del CNC, que deber ser respondidas por el operario pulsando ciertas teclas o introduciendo números. Otra forma muy empleada es el uso de menús en la zona inferior del monitor, formando una línea de opciones paralela a una línea de botones en el panel del control. En ambos casos es el control el que da las siguientes opciones o formula las preguntas necesarias de acuerdo a las elecciones anteriores.

Sus principales ventajas son:

- Necesidad de menor aprendizaje del lenguaje de programación.
- Entrada de datos libre de errores. El CNC sólo permite introducir lo que se está preguntando. Esta es una tendencia actual en las aplicaciones informáticas.
- Posibles ayudas en el momento de la programación. Algunos controles permiten ante una posible duda del operario en la comprensión de una opción o a la hora de introducir un dato, la aparición de mensajes o pantallas de ayuda.

Como desventaja se puede citar la poca estandarización de los métodos, que difieren de un control a otro.

Los controles que permiten programación conversacional permiten también, generalmente, programación en códigos ISO. Y de hecho, la forma conversacional puede no ser en sí más que un programa cuya misión es crear el fichero con la programación en código ISO. Aunque en otras ocasiones en los CNC se almacenan los bloques de diferente forma según sea ISO o Conversacional.

2.8 Proceso de programación manual

Para conseguir que la MHCN ejecute las acciones necesarias para llevar a cabo una tarea determinada, debe ser introducida la información pertinente. Esta información es del siguiente tipo:

- Información geométrica.
- Información tecnológica.
- Información de programación.

Se engloba dentro de la información geométrica los datos y condiciones del mecanizado relacionados con la geometría de la pieza y de las herramientas utilizada, siendo fundamental para la obtención de dicha información el conocimiento de las técnicas de cálculo de contornos y trayectorias compensadas.

Se entiende por información tecnológica aquella que definen los datos y condiciones de mecanizado relacionados con el material, tipo de herramientas y características de la máquina.

Por último, la información de programación recoge todos aquellos datos necesarios para el transcurso del programa.

La elaboración de esta información, así como la traducción a un lenguaje que pueda ser entendido por la máquina es lo que se denomina PROGRAMACION. La programación manual parte del plano de la pieza que recoge la información geométrica relativa a la pieza, y del estudio del proceso que recoge la información tecnológica.

A partir de esta información, el programador debe determinar las trayectorias de las herramientas definidas de acuerdo con el sistema de referencia de la máquina, las condiciones de trabajo y traducir estos datos a lenguaje máquina.

La eficacia de ese modo de trabajo exige del programador un perfecto conocimiento de las herramientas, técnicas de mecanizado de la máquina-herramienta y de su equipo de CN, así como una especial atención a su trabajo.

2.8.1 Fases de la programación

- Para la realización de un programa de forma manual, es necesario conocer o establecer los siguientes puntos:
- La capacidad y características de la MH, pues de ellas dependerán los parámetros de corte elegidos, herramientas, tamaños de las piezas, operaciones a realizar, etc.
- Las características del equipo de CN, pues de ellas dependerán las operaciones de mecanizado así como el propio programa.
- El plano de la pieza, pues en él constarán las dimensiones de la misma antes y después del mecanizado, material, acabado superficial y tolerancias, que influyen en la elección de la herramienta así como en los parámetros de corte.
- La importancia de la serie, así como su repetición eventual y complejidad, ya que de ellos depende el tipo de máquina a utilizar.
- El utillaje, que comprende los dispositivos de fijación, plantillas y las herramientas con sus condiciones de aplicación y dimensiones.
- A partir de esta información, para programación manual, se hace necesario seguir los siguientes pasos:
- Fijación del proceso de trabajo, detallando el orden y el número de operaciones, así como su situación en la pieza por medio de croquis.
- Toma de informaciones geométricas del dibujo, realizando los cálculos pertinentes (desplazamientos a los puntos programados, puntos de tangencia, compensaciones, etc.) y su traslado a las hojas de programa.
- Toma de informaciones tecnológicas de un catálogo de herramientas, así como el cálculo de las condiciones del mecanizado (tiempos, potencias, etc.).
- Ordenación de las informaciones en las hojas de programa en la forma necesaria para la ejecución del mismo, así como la sucesión de secuencias determinadas por el transcurso del programa.
- Codificación de las informaciones y su traslado a un soporte de informaciones, por ejemplo disco magnético, memoria del CNC, etc.

2.8.2 Definición del proceso. Preparación del trabajo

Conocidos los elementos de fabricación disponibles, la definición del proceso de mecanizado puede dividirse en las siguientes etapas:

- Estudio del plano de la pieza a fabricar.
- Análisis de las operaciones elementales.
- Selección de máquinas.
- Selección de herramientas.
- Definición de las condiciones técnicas del mecanizado.
- Diseño de utillajes.
- Secuenciación de las fases de trabajo.

En la fase de estudio del plano, el preparador se informa de las características de las piezas a fabricar: material, dimensiones, tolerancias, acabados superficiales, etc., datos todos ellos que determinan las máquinas a utilizar. Es por tanto fundamental que en el plano queden reflejados dichos datos.

En la fase de análisis de las operaciones elementales, el programador descompone las superficies a mecanizar en tramos correspondientes a las trayectorias que las herramientas pueden seguir. En general, sólo son lineales y circulares, sobre superficies planas o de revolución. Este estudio geométrico implica la definición de las cotas de los puntos inicio y final de cada tramo, así como el centro en las circulares.

En la fase de selección de máquinas se estudia qué operaciones pueden efectuarse en cada una de las máquinas disponibles, intentando disminuir al máximo el número de cambios de máquina y de atadas de la pieza.

En la fase de selección de herramientas se eligen las más adecuadas para cada operación en función de las características de la misma y de las tolerancias y acabados superficiales deseados, es por tanto imprescindible disponer de un fichero de herramientas actualizado con las disponibles. A la finalización de dicha fase es conveniente rellenar una hoja de herramientas donde se establecen las herramientas a utilizar en cada operación elemental con indicación de sus correspondientes datos geométricos. Estos datos forman parte de la pauta de control numérico en la que además han de figurar:

- Los programas de CN que se utilizan en la fabricación de la pieza.
- Los útiles necesarios.
- Los croquis de situación y referencias de origen.
- La secuencia de operaciones.

En la fase de definición de características técnicas de mecanizado se establecen las velocidades de avance, profundidad de pasada y velocidad de corte adecuadas al material de la pieza según la máquina y herramienta utilizadas, para obtener los ciclos de mecanizado más cortos compatibles con la calidad exigida.

En la fase de selección y diseño del utillaje se estudia, en general, el centraje y fijación de la pieza sobre la máquina, procurando disponer del máximo de caras y superficies libres para mecanizado y procedimientos flexibles, precisos y rápidos de fijación.

En la fase de secuenciación de operaciones se establece el orden en que se mecanizarán las distintas fases dibujando en cada caso un croquis de la zona a mecanizar, las herramientas y fijaciones utilizadas y los parámetros técnicos de fabricación. Esta fase suele concluir resumiendo toda la información precedente en lo que se denomina una HOJA DE PROCESO.

2.8.3 Elaboración y codificación del programa

Terminada la definición del proceso y conocidos los medios a utilizar y las operaciones a efectuar, el programador puede empezar a codificar. En general, esta fase de codificaciones es la que recibe el nombre de programación del control numérico. Los controles numéricos pueden programarse mediante distintos lenguajes entre los que destacan los basados en el código ISO.

Una vez realizado el programa se cargará en la memoria del CNC o se almacenaría en un soporte adecuado.

2.8.4 Pruebas y puesta a punto

Una vez que el programa está en la memoria del CNC, se selecciona este modo de operación como el primero para la ejecución del mismo. Este modo nos permite comprobar el funcionamiento del programa en vacío previamente a realizar la primera pieza, detectando posibles fallos de sintaxis, cálculo de trayectorias o colisión.

Dentro de este modo de funcionamiento, los controles suelen disponer de las siguientes opciones:

- Ejecución únicamente de algunos de los comandos del programa.
- Movimiento rápido: el programa se ejecuta por completo, realizándose los desplazamientos de los ejes a la máxima velocidad de avance permitida, independientemente de los avances programados.
- Trayectoria teórica: el programa se ejecuta sin movimiento de los ejes y sin compensación de herramientas, pudiendo visualizar las trayectorias recorridas por la herramienta en la pantalla en los distintos planos de trabajo e incluso en tres dimensiones en algunos sistemas. Este modo suele disponer de opciones tales como el "zoom" o la verificación dimensional de las trayectorias simuladas.

Anotar que en los sistemas más modernos cada vez son más las posibilidades de simulación que se ofrecen, pudiendo realizar la misma al tiempo que se realiza la programación, lo que posibilita una programación interactiva y ayudada reduciendo los tiempos de programación y puesta a punto de los programas.

Sin embargo, en la mayoría de los casos es necesario realizar otro tipo de pruebas para confirmar que el programa es correcto. Entre ellas, se pueden citar:

- Ejecución del programa en vacío, es decir, sin colocar la pieza en la máquina y observando los movimientos que realizan las herramientas.
- Ejecución del programa con una corrección en Z, de tal manera que la pieza obtenida no es la pieza final. Podemos así observar el mecanizado y, además, medir directamente sobre la prueba realizada. En caso de error, siempre hay material para fabricar la pieza correcta.
- Mecanizado de una pieza en material blando, normalmente plástico. Se puede así realizar la prueba en muy poco tiempo, ya que el plástico requiere unas condiciones de corte muy elevadas. Tiene además la ventaja de que cualquier error grave, una clavada de herramienta, por ejemplo, no implica daños ni para la herramienta ni para la máquina, pues sólo se ve afectada la pieza de plástico.
- Mecanizado de la primera pieza de la serie y verificación de la misma. Aunque haya errores y la pieza sea inútil, se corrige el programa y sólo perdemos una pieza.

2.8.5 Ejecución del programa

Una vez el programa ejecutado en vacío y corregidos los fallos detectados en dicho modo, estamos en condiciones de obtener la primera pieza, siendo el modo de operación más adecuado para ello el funcionamiento BLOQUE A BLOQUE.

En este modo el programa se ejecuta como su nombre indica bloque a bloque, siendo necesario para la ejecución de un bloque que el operario pulse la tecla de marcha. En la ejecución del operario puede controlar los avances mediante el conmutador de FEEDRATE que regula el % del avance programado.

Una vez ejecutado el programa BLOQUE A BLOQUE y corregidos los posibles fallos detectados para lo que puede ser necesario el ejecutar el programa varias veces en dicho modo, tenemos la certeza de disponer de un programa que obtiene la pieza que realmente deseamos. Para la obtención de las siguientes utilizaremos la ejecución en modo AUTOMATICO que ejecuta el programa de forma continua y completa, sin necesidad de que el operario pulse en cada bloque la tecla de marcha de ciclo.

2.9 Ejes y sistemas de referencia

2.9.1 Nomenclatura de ejes y movimientos

El objetivo de un Control Numérico es controlar el movimiento y posicionamiento de los ejes gobernados. El control gobernará los actuadores, generalmente motores eléctricos rotatorios, los cuales en muchas ocasiones harán uso de convertidores rotatorios-lineales para producir movimientos lineales.

La posición de los diversos puntos a alcanzar se determinará por sus coordenadas en unos sistemas de coordenadas, que, o bien son fijos en el espacio o se fijan al iniciar la operación. Durante la ejecución de los programas se podrá hacer uso de coordenadas relativas o incrementales si el control usado así lo admite. Los ejes se denominan según la norma ISO R841 ó RS267-1.

2.9.1.1 Ejes principales

Eje Z: El eje Z coincide con la dirección del husillo principal, que es el que proporciona la potencia de corte. Si la máquina no posee husillo, el eje Z se toma según una dirección perpendicular a la superficie de sujeción de la pieza. En el caso de que existan varios husillos, se elige preferentemente el que, situado perpendicularmente al plano de sujeción de la pieza, disponga de mayor potencia de corte.

Si el eje del husillo puede girar sobre un eje perpendicular al mismo, el eje Z es la dirección normal al plano de sujeción de la pieza. El sentido positivo del eje Z aumenta la distancia a la pieza, es decir, se aleja de la misma.

Eje X: El eje X es el de traslación horizontal y es perpendicular al eje Z. En las máquinas que generan superficies de revolución por medio del movimiento de rotación de la pieza (p. ej. tornos), el eje X es radial y paralelo a las guías del carro transversal, y su sentido positivo es el que sale hacia fuera del eje de rotación (Z).

En las máquinas en las que el eje Z es horizontal (fresadoras, centros de mecanizado horizontal, etc.), también lo es el eje X (plano XZ horizontal), siendo su sentido positivo hacia la derecha, mirando desde la herramienta hacia la pieza.

Si el eje Z es vertical, el eje X es horizontal y su sentido positivo es hacia la derecha para las máquinas de montante único, cuando se mira desde la herramienta hacia el montante y para las máquinas de pórtico cuando se mira desde el husillo (herramienta) hacia el montante izquierdo del pórtico.

En las máquinas en las que ni pieza ni herramienta están dotadas de movimiento giratorio (máquinas medidoras por ejemplo), el eje X se corresponde con el eje longitudinal horizontal con sentido positivo según los criterios expuestos.

Eje Y: El eje Y es un eje de traslación principal perpendicular al plano XZ, elegido de manera que forme con los ejes X y Z un triedro a derechas (de sentido directo), es decir, su sentido positivo es el de avance de un tornillo que gira a derechas desde el lado positivo del eje Z al lado positivo del eje X (ley del sacacorchos).

2.9.1.2 Ejes secundarios

Además de los ejes principales (X, Y, Z) existen otros tres ejes secundarios de traslación (U, V, W), respectivamente paralelos a los principales. Aún pueden existir otros ejes terciarios (P, Q, R), paralelos o no a los principales.

2.9.1.3 Ejes de rotaciones

Finalmente, hay tres ejes de movimiento circular (A, B, C) que definen desplazamientos de rotación efectuados respectivamente alrededor de ejes paralelos a X, Y y Z. Su sentido positivo se toma de modo que un tornillo a derechas girando en sentido positivo avance respectivamente según +X, +Y, +Z.

En el caso de que la herramienta sea fija y sea la mesa de la máquina la que se mueva (se desplaza la pieza), la máquina-herramienta debe responder en dirección opuesta a la definida para el caso del movimiento del útil.

En estos casos aparece una nueva denominación de la mesa de la máquina cuando se programa un movimiento positivo, mientras que +X es la dirección del movimiento para la misma programación positiva del útil con respecto a la pieza inmóvil.

2.9.2 Referencias, búsqueda de orígenes

El control numérico moverá la herramienta de la máquina según unos valores de coordenadas definidas en el programa.

Es imprescindible garantizar que el sistema de medición de desplazamientos de la herramienta la posicione en los puntos programados.

Para ello se definen unos puntos de referencia para el programa y para la máquina y se establece la relación existente entre estos puntos.

Podemos distinguir varios puntos de referencia:

- Punto cero de la máquina (M)
- Punto de referencia de la máquina (R)
- Punto cero de la pieza (W)
- Punto de ajuste de la herramienta (E)

2.9.2.1 Punto cero de la máquina (M)

Es el origen de coordenadas de la máquina. En los tornos coincide con la intersección del eje del husillo principal con la superficie de apoyo del mismo. En fresadoras es la esquina inferior izquierda delantera de su campo de trabajo.

2.9.2.2 Punto de referencia de la máquina (R)

Es un punto dentro del campo de trabajo de la máquina que referencia la posición de la herramienta para efectuar el cambio de la misma. En los tornos está situado en el carro portaherramientas. En las fresadoras se sitúa en la intersección del eje del husillo y la superficie de apoyo del portaherramientas.

Los puntos cero máquina M y referencias máquinas R son fijos. En ocasiones la posición física de R se identifica con unos microrruptores, lo que permite controlar el sistema de medición y precisión de los captores al comparar los valores medidos en el control con los teóricos.

En las de origen fijo las cotas del programa se refieren al origen o cero máquina. Esto es una complicación adicional para el programador, que para simplificar sus cálculos geométricos desea en cada caso escoger el origen más adecuado. Cuando una pieza se mecaniza por varias caras en el mismo programa, se acostumbra a referir los puntos de cada cara a orígenes distintos.

2.9.2.3 Punto cero de la pieza (W)

En las máquinas de origen móvil el programador puede elegir el origen de coordenadas para la pieza W que más le facilite su trabajo. Pero en todos los casos deberá conocer las coordenadas del origen pieza W que se ha considerado con respecto al cero máquina M. En una fase del programa se efectúa el decalaje del cero máquina al cero pieza, indicando la distancia entre los mismos en cada eje. Cada vez que el programa cambia de origen de coordenadas debe programarse el correspondiente decalaje de origen.

Las máquinas de origen flotante no tienen predefinido el origen máquina y puede elegirse en cada caso, en cualquier posición conocida, sin más que validar la misma en el control, con lo que puede hacerse coincidir, si se desea, con el origen pieza.

2.9.2.4 Punto de ajuste de la herramienta (E)

Es el punto cero de la herramienta a partir del cual se determinan las cotas de la punta. Una vez montada la herramienta en la máquina, en general los puntos E y R coinciden. Así, conocida la distancia de la punta de la herramienta al punto de referencia, el control podrá calcular la trayectoria de R para que la punta de la herramienta configure el contorno deseado de la pieza.

3. LENGUAJE DE PROGRAMACIÓN ISO

3.1 Introducción

El control numérico (CN) constituye un medio de automatización que desarrolla el trabajo a partir de una información alfanumérica, escrita según unas normas determinadas e introducida en el equipo de control a través de medios diversos, tales como cintas magnéticas, disquetes, teclado alfanumérico o red de área local.

Para mecanizar una pieza en una M-H, el operario recibe los datos necesarios del plano de la pieza y en la hoja del proceso. El plano define la geometría de la pieza e indica el grado de acabado superficial. La hoja del proceso indica las decisiones tecnológicas que se han de tomar. El operario deduce de esta información las operaciones a seguir y los reglajes que ha de efectuar en la máquina. Si la máquina es de CN, necesita traducir esa información en un lenguaje apropiado para los controles utilizados.

Para que un lenguaje quede definido se necesitan un vocabulario y una sintaxis. El vocabulario de CN está constituido por una serie de palabras que definen de una forma abreviada los conceptos necesarios para la ejecución de una operación. La codificación del programa de la pieza se plasma en un documento nuevo denominado hoja de programa de pieza.

3.1.1 Lenguaje y sintaxis

Los programas de control numérico están compuestos de sentencias numeradas, denominadas bloques. Los bloques se referencian por un número y se ejecutan secuencialmente. Las partes de que se compone un bloque en el formato de dirección de palabras son:

- Número de bloque.
- Palabras: Componen cada bloque. Están compuestos de función, signo y número. La función indica el tipo de información de que se trata. Los datos no dimensionales incluyen las funciones preparatorias usadas para describir tipos específicos de movimiento, velocidades de giro, de corte, especificaciones de la herramienta.

Veamos los tipos de funciones empleadas y su notación. Cada bloque de programación consta o puede constar de:

N Número de bloque

G	Funciones preparatorias
W, X, Y, Z	Cotas de ejes
I, J, K, R, A	Coordenadas auxiliares
F	Velocidad de avance
S	Velocidad del cabezal
T	Número de herramienta
M	Funciones auxiliares

Dentro de cada bloque hay que mantener este orden, aunque no es necesario que cada bloque contenga todas las informaciones. El CNC puede ser programado en sistema métrico (mm) o en pulgadas.

3.1.1.1 Formato de programación

Un ejemplo de formato en sistema métrico sería el siguiente:

```
P (%) 5    N4    G2    (W)+/-4.3 X+/-4.3Y+/-4.3
Z+/-4.3    I+/-4.3    J+/-4.3    K+/-4.3R+/-4.3    A+/-4.3
P+/-5.4    B4.3    C4.3    D+/-4.3    H4    L4.3
F5.4    S4    T2.2    M2
```

donde:

%5 Es el número de programa con cinco cifras máximo.

+/-4.3 Significa que detrás de la letra a la que acompañe se puede escribir una cifra positiva o negativa con 4 números delante del punto y 3 detrás.

4 Significa que sólo se puede escribir valores positivos de hasta 4 números. No se admiten decimales.

2.2 Valor positivo con 2 cifras delante del punto decimal y 2 detrás.

3.1.1.2 Observaciones

- La A siempre se programa en grados.
- Una información de desplazamiento se compone de una palabra o dirección que indica el eje y de un valor numérico que describe el recorrido en ese eje.

- Si es indicado un signo antepuesto, éste ha de situarse entre la dirección y el valor numérico.
- La información de desplazamiento ha de ser ampliada a través de la condición de desplazamiento (función G) y de indicaciones sobre el avance (F), para poner en marcha el proceso de posicionamiento.
- Las condiciones de desplazamiento describen el tipo de movimientos de la máquina, de interpolación y de medida.

3.2 Tipos de funciones

3.2.1 Funciones preparatorias

Se programan mediante la letra G seguida de dos cifras (G2). Se programan siempre al comienzo del bloque y sirven para determinar la geometría y condiciones de trabajo. Aunque existe una estandarización (norma ISO 1056) pueden ser modificadas por los fabricantes y muchas de ellas no están determinadas.

Las funciones G están divididas en grupos. En una secuencia de programa sólo puede haber una función G de cada grupo.

Las funciones G se activan de forma modal (automantenidas) o secuencialmente. Las que actúan modalmente, son aquellas que siguen activas mientras no sean reemplazadas por una nueva función G del mismo grupo y las que actúan secuencialmente, son aquellas que son activas sólo en la secuencia en la que se encuentran.

Las posiciones preferenciales se activan después de la conexión del control, tras el Reset o tras fin de programa. Estas no necesitan ser programadas. Son las asumidas siempre por defecto en ausencia de cualquier otra especificación.

FUNCIÓN G00: El trayecto de la herramienta en un bloque con G00 se realiza a la máxima velocidad posible por el control. Cuando acaba el bloque, el avance F anterior permanece. Durante este movimiento no se mecaniza.

El desplazamiento rápido se programa mediante la información de desplazamiento G00 y mediante la indicación del punto de destino. Este punto es alcanzado introduciendo cotas absolutas (G90) o cotas incrementales (G91).

El desplazamiento rápido puede implicar una interpolación lineal o bien ser escalonado. La trayectoria programada con G00 se recorre con la máxima

velocidad, el desplazamiento rápido, en una línea recta, sin mecanizar la pieza (interpolación lineal).

Para ésto, el control supervisa la máxima velocidad permitida del eje. Esta velocidad se fija para cada eje como dato de máquina. Si el movimiento de desplazamiento rápido se ejecuta en varios ejes a la vez, la velocidad de desplazamiento se determina a través del menor valor de las velocidades del eje que han sido fijadas como dato de máquina.

Al programar G00, el valor para el avance programado bajo la dirección F, permanece en memoria y vuelve a ser activo, por ejemplo con G01.

FUNCIÓN G01: Interpolación lineal. Mientras no se especifique otro tipo de interpolación, los bloques siguientes realizarán los movimientos entre puntos siguiendo rectas.

FUNCIÓN G02, G03: Interpolación circular. Indica que el movimiento al punto final se realiza siguiendo una circunferencia. G02 (sentido horario) y G03 (antihorario).

FUNCIÓN G04: Temporización o espera entre bloques. La temporización se programa mediante la letra K.

FUNCIÓN G06: Interpolación circular con programación del centro del arco en coordenadas absolutas.

FUNCIONES G17, G18 y G19: Sirven para identificar los planos que contienen las interpolaciones circulares o las correcciones de los útiles: G17 = X-Y, G18 = X-Z y G19 = Y-Z.

FUNCIÓN G33: Ciclo de roscado automático, para tornos.

FUNCIONES G40, G41 y G42: Funciones relativas a la compensación del radio de la herramienta. G40 = Anulación, G41 = Compensación a izquierdas, G42 = Compensación a derechas.

FUNCIONES G43, G44: Funciones relativas a la corrección longitudinal de las herramientas, bien sea en ambos sentidos, o compensación y anulación de la compensación.

FUNCIONES G45 a G52: Funciones que indican cómo se debe tratar las compensaciones y correcciones de las herramientas. Muchos controles lo realizan automáticamente según posición relativa de piezas y útiles.

FUNCIONES G53 a G59: Decalajes del origen. Generalmente son:

- G54: Decalaje del origen en eje X.
- G55: Decalaje del origen en eje Y.
- G56: Decalaje del origen en eje Z.
- G57: Decalaje del origen en plano X,Y.
- G58: Decalaje del origen en plano X,Z.
- G59: Decalaje del origen en plano Y,Z.

FUNCIONES G70 y G71: Programación en pulgadas o milímetros. Un cambio del sistema de entrada ha de seleccionarse mediante la condición de desplazamiento G70 ó G71:

- G70: Sistema de entrada en pulgadas.
- G71: Sistema de entrada en mm.

El control convierte el valor introducido en otro sistema diferente al de la posición preferencial y así, al ejecutarse una secuencia tal, ya se visualiza el valor convertido. Antes de seleccionar los subprogramas o los ciclos ha de tenerse en cuenta la homogeneidad de las unidades de medida.

La unidad de medida diferente a la de la posición preferencial, puede ser fijada para una o más secuencias, o bien para un programa completo.

En la primera secuencia ha de escribirse la función G correspondiente y tras la última secuencia, la posición preferencial (con fin de programa M02, M03 la posición preferencial aparece automáticamente).

FUNCIONES G79 a G89: Ciclos de mecanizado. Funciones que permiten realizar programando un sólo bloque, un conjunto de operaciones similares que sólo difieren en la profundidad del corte y avance. En el caso del Centro de Mecanizado o fresadora CN, son:

- G81: Ciclo fijo de taladrado.
- G82: Ciclo fijo de taladrado con temporización.

- G83: Ciclo fijo de taladrado profundo.
- 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.

FUNCIONES G90 y G91: Indica si se utilizan coordenadas absolutas o incrementales.

FUNCIÓN G92: Mediante esta función se puede desplazar el cero a cualquier punto del sistema de coordenadas de la máquina.

Hay una función (a veces) G92 que limita (por seguridad) la velocidad de giro.

FUNCIÓN G94: La velocidad de avance viene en mm/minuto.

FUNCIÓN G95: Velocidad de avance en mm/revolución. Muy útil en tornos.

FUNCIÓN G96: Velocidad de avance superficial constante. Se indica al control que debe modificar la velocidad de giro del husillo para que la velocidad de corte permanezca constante.

$$V_{corte} = W_{husillo} \cdot R$$

FUNCIÓN G97: Velocidad del centro de la herramienta constante. Anula la G96.

Ya se ha comentado anteriormente que las funciones G pueden ser modales o no modales. Modal significa que una vez programada permanece activa mientras no sea anulada.

Si en un bloque se programan G incompatibles, el CNC elige la última programada.

3.2.2 Funciones de avance y velocidad del cabezal

3.2.2.1 Formato

El avance F se programa en mm/min o en mm/vuelta:

G94 F.. Avance en mm/min

G95 F.. Avance en mm/vuelta

La velocidad del cabezal puede programarse con:

G96 S.. Velocidad de corte constante (S en m/min)

G97 S.. Velocidad de giro en r.p.m.

3.2.2.2 Observaciones

El avance determina la velocidad de mecanizado y se mantiene en el contorno con cada tipo de interpolación y tiene también en cuenta las correcciones de herramienta. El valor programado bajo la dirección F permanece en un programa hasta que se programe uno nuevo. El valor F se borra con fin de programa o Reset. Por tanto, en la primera secuencia del programa ha de introducirse un valor F.

El avance F programado puede modificarse, en un alcance del 1% al 120%, a través del interruptor de corrección del avance en el panel de mando. La posición 100% corresponde al valor programado.

Con G96 puede introducirse una velocidad de corte constante bajo la dirección S. Ver un ejemplo para torno:

N500 G96 S150

En función de la velocidad de corte programada, el control calcula la velocidad de giro del cabezal apropiada para el diámetro torneado en cada momento preciso. Para obtener la velocidad de giro del cabezal, se toma siempre como referencia el punto de origen de la pieza.

En caso de velocidad de corte constante, se trabaja en una línea característica de un escalón de reducción. Un cambio de este escalón de reducción no está permitido. El escalón de reducción correspondiente ha de elegirse anticipadamente.

La interrelación entre diámetro torneado, velocidad de giro del cabezal y el movimiento de avance, permite una adaptación óptima del programa a la máquina, al material de la pieza y a la herramienta.

El punto de origen en el eje X tiene que ser el centro de giro. Esto es asegurado al posicionar el punto de referencia. En el cálculo de la velocidad de giro del cabezal para la velocidad de corte constante, se tienen en cuenta los siguientes valores:

- Valor real del eje
- Corrección longitudinal de herramienta
- Decalaje de origen en dirección X

La velocidad de corte constante se elimina con G97. El último número de vueltas alcanzado es tomado como número de vueltas constante. En caso de desplazamientos sin mecanizado en dirección X, con G97 se eliminan cambios no deseados en el número de vueltas. Por tanto, la función indica el G97 borrado de la velocidad de corte constante y memorización de último valor prescrito del n° de vueltas con G96.

Bajo la dirección S pueden introducirse discrecionalmente:

- La velocidad de giro del cabezal en min^{-1} ó $0,1 \text{ min}^{-1}$.
- La velocidad de corte en min^{-1} ó $0,1 \text{ min}^{-1}$.
- La limitación de la velocidad de giro del cabezal en min^{-1} ó $0,1^{-1} X$.
- La parada del cabezal en grados.
- El tiempo de parada en revoluciones.

Para la palabra S rige la forma ampliada de escribir direcciones con indicación del n° de cabezal, por ejemplo, para un fabricante:

S2 = 1000

2 indicación del n° del cabezal

1000 velocidad de giro del cabezal.

3.2.3 Función número de herramienta

El número de herramienta determina la herramienta necesaria para la fase de mecanizado.

T 12.34

T Función herramienta

12 N° de herramienta en la tabla de datos de herramienta.

34 Posición de la herramienta en el almacén de la máquina.

3.2.4 Funciones auxiliares o complementarias

Las funciones complementarias contienen, predominantemente, indicaciones tecnológicas. Mediante dato de máquina se fija si la función se ejecutará antes del desplazamiento del eje o durante el mismo. Es el fabricante de la máquina herramienta quien lo indica.

Las funciones complementarias se fijan, en parte, en norma y en parte, por el fabricante de la máquina-herramienta. A continuación, se muestran las más importantes estandarizadas y comunes a varios fabricantes.

FUNCIÓN M00: Parada programada (no condicionada). Con M00 se puede interrumpir el programa para, por ejemplo, llevar a cabo alguna medición. Terminada la medición, el mecanizado puede reanudarse oprimiendo la tecla de "marcha ciclo". La información introducida queda mantenida. La función complementaria M00 tiene efecto en todas las modalidades automáticas de trabajo. En cuanto a si se detiene también el accionamiento del cabezal, ésto se deducirá del manual de programación particular de la máquina de que se trate.

FUNCIÓN M01: Parada programada (condicionada). M01 actúa como M00, si se conecta la función "parada condicionada activa" mediante el pulsador del

FUNCIÓN M02: Fin de programa. M02 señala el fin de programa con reposición del programa al comienzo del mismo. Se escribe en la última secuencia del programa. M02 puede figurar con otras funciones o bien aisladamente.

FUNCIÓNES M07 y M08: Control del refrigerante.

FUNCIÓN M09: Mecanizado sin refrigerante.

FUNCIÓNES M13 y M14: Combinaciones de uso de refrigerante con rotación de eje.

FUNCIÓN M30: Fin de programa. M30 actúa como M02. Indica fin de programa.

S: Mando del cabezal principal.

En la ejecución del control con salida analógica de la velocidad de giro del cabezal, están fijadas las siguientes palabras M para el control de dicho cabezal:

M03: Sentido de giro del cabezal a la derecha.

M04: Sentido de giro del cabezal a la izquierda.

M05: Parada del cabezal, sin orientación.

M19: Parada del cabezal orientada.

Con M19 es posible parar de forma orientada el cabezal principal. La programación del ángulo correspondiente se realiza en grados. El ángulo se mide desde la señal de origen en el sentido derecho del giro. M19 no borra M03 ni tampoco M04.

FUNCIONES M40 a M45: Reservadas para uso de caja de cambios.

FUNCIONES COMPLEMENTARIAS LIBRES: Todas las funciones complementarias son de libre disposición, con excepción de M00, M01, M02,

4. FUNCIONES. SINTAXIS

4.1 Funciones preparatorias

4.1.1 Genéricas

4.1.1.1 Cotas absolutas (G90) o incrementales (G91)

La programación de las coordenadas de un punto, se puede realizar, bien en coordenadas absolutas G90 o bien en coordenadas incrementales G91.

Cuando se trabaja en G90, las coordenadas del punto programado están referidas al punto de origen de coordenadas. En cambio, cuando se trabaja en G91, las coordenadas del punto programado están referidas al punto anterior de la trayectoria, es decir, los valores programados indican el desplazamiento a realizar en el eje correspondiente.

Tras el encendido, después de ejecutar M02, M30, EMERGENCIA o RESET, el CNC asume la función G90. Las funciones G90 y G91 son incompatibles entre sí en un mismo bloque.

Supongamos que el punto inicial es el P0 (20,10).

- Programación absoluta G90:

```
N20 G90 X50 Y40    P0 --> P1
N30 Y10            P1 --> P2
N40 X20            P2 --> P0
```

- Programación incremental G91:

```
N20 G91 X30 Y30    P0 --> P1
N30 Y-30           P1 --> P2
N40 X-30           P2 --> P0
```

4.1.1.2 Programación en pulgadas (G70) o milímetros (G71)

Según se haya programado G70/G71, el CNC toma las cotas programadas a continuación como pulgadas o milímetros. Las funciones G70/G71 son modales e incompatibles entre sí.

En el momento del encendido, después de M02, M30, RESET o una EMERGENCIA el CNC asume el sistema de unidades definido mediante el parámetro-máquina P13 (normalmente G71, para trabajar en mm.)

4.1.1.3 Unidades de la velocidad de avance (G94, G95)

A partir del momento en que se programa el código **G94**, el control entiende que los avances programados mediante F son:

- en 1 mm/minuto (0,1 pulgadas/minuto) o bien en 0,1 mm/minuto (0,01 pulgadas/minuto) dependiendo del valor dado al parámetro-máquina P611(5).

La función G94 es modal, es decir, una vez programada se mantiene activa hasta que se programe G95. Al encendido o después de M02, M30, RESET GENERAL o EMERGENCIA, el CNC asume la función G94.

A partir del momento en que se programa el código **G95** el control entiende que los avances programados mediante F son:

- en mm/revolución, es decir: $F1 = 1 \text{ mm/revolución}$. El máximo valor programable es F500, que equivale a 500 mm/revolución. En pulgadas ($F1 = 1 \text{ pulgada/revolución}$) y el máximo valor programable es: F19.6850, que equivale a 19,6850 pulgadas/revolución.

La función G95 es modal, es decir, una vez programada se mantiene activa hasta que se programe G94.

Esta prestación solamente podrá ser utilizada si la máquina dispone de un captador rotativo en el cabezal.

4.1.1.4 Unidades de la velocidad de corte (G96, G97)

Los controles permiten programar la velocidad del cabezal en metros/minuto o revoluciones/minuto si se trabaja en milímetros, o bien en pies/minuto o revoluciones/minuto si se trabaja en pulgadas.

Velocidad de corte constante (G96)

Cuando se programa G96 el CNC entiende que la velocidad de cabezal programada mediante S5.4 lo es en metros/minuto o pies/minuto y el torno comienza a trabajar en la modalidad de velocidad de corte constante.

Se recomienda programar la velocidad del cabezal S5.4 en el mismo bloque en que se programa la función G96, debiendo seleccionarse la gama de cabezal correspondiente (M41, M42, M43, M44) en el mismo bloque o en uno anterior.

Si en el bloque en que se programa la función G96 no se programa la velocidad de cabezal S5.4, el CNC asume como velocidad de cabezal la última con la que se trabajó en la modalidad de velocidad de corte constante. Si no se programa la velocidad del cabezal y no existe ninguna previa o no se encuentra seleccionada la gama de cabezal correspondiente el CNC mostrará error.

La función G96 es modal, es decir, una vez programada se mantiene activa hasta que se programe G97. En el momento del encendido, después de ejecutarse M02, M30 o después de una EMERGENCIA o RESET, el CNC asume la función G97.

Velocidad de giro del cabezal en revoluciones/minuto (G97)

Cuando se programa G97 el CNC entiende que la velocidad de cabezal programada mediante S5.4 lo es en revoluciones/minuto. Si en el bloque en que se programa G97 no se programa la velocidad de cabezal S5.4, el CNC asume como velocidad programada, la velocidad a la que en ese momento está girando el cabezal.

La función G97 es modal, es decir, una vez programada se mantiene activa hasta que se programe G96. En el momento del encendido, después de ejecutarse M02, M30 o después de una EMERGENCIA o RESET, el CNC asume la función G97.

4.1.1.5 Temporización (G04)

Por medio de la función G04 se puede programar una temporización. El valor de la temporización se programa mediante la letra K.

Ejemplo: G04 K0.05 Temporización de 0,05 seg.

G04 K2.5 Temporización de 2,5 seg.

Si el valor de K se programa con un número, éste podrá tener un valor comprendido entre 0,00 y 99,99; sin embargo, si programamos por medio de un parámetro (KP3), éste podrá tener un valor comprendido entre 0,00 y 655,35 segundos.

La temporización se ejecuta al comienzo del bloque en que está programada. La función G04 puede programarse como G4.

4.1.1.6 Selección de plano de trabajo (G17, G18, G19)

- G17: Selección del plano XY
- G18: Selección del plano XZ
- G19: Selección del plano YZ

La selección de plano debe emplearse cuando se van a realizar interpolaciones circulares, redondeo controlado de aristas, entrada y salida tangencial, achaflanado, ciclos fijos de mecanizado, giro del sistema de coordenadas o cuando se va a utilizar la compensación de radio o longitud de herramienta.

El CNC aplica compensación de radio a los dos ejes del plano seleccionado y compensación de longitud al eje perpendicular a dicho plano.

En el caso de máquinas de cuatro (cinco) ejes se emplean los mismos códigos (G17, G18, G19) para trabajar con el cuarto (quinto) eje.

- Si los ejes W (V) son incompatibles con el eje X:
 - G17: Selección del plano XY o WY o VY.
 - G18: Selección del plano XZ o WZ o VZ.
- Si son incompatibles con el eje Y:
 - G17: Selección del plano XY o WX o VX.
 - G19: Selección del plano YZ o WZ o VZ.
- Si son incompatibles con el eje Z:
 - G18: Selección del plano XZ o WX o VX.
 - G19: Selección del plano YZ o WY o VY.

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

En el momento del encendido, después de ejecutarse M02, M30 o después de una EMERGENCIA o RESET, el CNC asume la función G17.

4.1.2 Funciones preparatorias de desplazamiento

4.1.2.1 Control de trayectoria

Gobernar el correcto posicionamiento de la trayectoria de la herramienta es el fin fundamental del control numérico. Seguir una trayectoria a una velocidad de avance determinada, mecanizando mientras se realiza, requiere todo un conjunto de técnicas de control depuradas.

Dos son los aspectos principales del control:

- Seguir una trayectoria con la máxima precisión, que en caso de operaciones tales como rectificado, puede ser extrema.
- Realizar estos movimientos a una velocidad que sea la más adecuada según opinión de los expertos. Esta velocidad influirá en múltiples factores como son: tolerancias finales, rugosidad del acabado, vida de las herramientas.

Las trayectorias a seguir se obtendrán según cálculos geométricos de diversa complejidad. Las curvas y superficies complejas se aproximan a trayectorias más simples conseguibles mediante el proceso denominado interpolación que se verá más adelante.

4.1.2.2 Punto programado

Las herramientas empleadas tienen un radio de acabado y, además, están sometidas a desgaste. No va a ser la misma trayectoria la del punto de contacto pieza-herramienta, como la de otro punto cualquiera de la herramienta. Por otro lado, el punto de contacto pieza-herramienta es variable según sea la orientación de las superficies a mecanizar, es decir, depende de las posiciones relativas de pieza y herramienta, al usarse un sistema de coordenadas fijo.

Por esta razón, se debe programar la trayectoria de otros puntos de la herramienta que no varíen durante el mecanizado y el movimiento de estos puntos, debe provocar que la herramienta siga el perfil deseado.

En los antiguos controles el cálculo de la trayectoria del punto de referencia se debía hacer manualmente partiendo del plano de la pieza y calculando los decalajes y, una vez hecho esto, introducir estos puntos calculados en el programa. Hoy día, los modernos CNC permiten programar los trabajos de las piezas como si las herramientas empleadas tuviesen radio cero, o lo que es lo mismo, internamente el control calcula la trayectoria del punto de referencia durante la ejecución del programa.

Para ello, se va calculando la compensación de radio cuatro o cinco bloques delante del bloque en ese momento en ejecución.

Generalmente, dos son los puntos que suelen considerarse en torno, y otros dos para fresas, según controles. Para la realización de estos cálculos de compensación existe mucha casuística, dependiendo de la orientación y formas de la superficie a mecanizar.

A continuación, se va a estudiar cómo se realiza la corrección de trayectoria en dos ejemplos, siendo todos los demás casos calculados por el CN de forma similar.

Trayectoria rectilínea con punto programado el origen del radio de la punta:

La trayectoria del punto programado está decalada hacia el exterior del perfil de la pieza a mecanizar. Los decalajes X y Z de esta trayectoria en relación al perfil se calculan por las fórmulas que se muestran a continuación.

Se observa que a cada situación responden unas fórmulas diferentes, según la orientación de las rectas y perfiles a mecanizar.

Trayectoria del mecanizado de una curva de unión con punto programado intersección de las tangentes:

En este caso, existe una corrección de la situación del centro de la curva de remate. El radio a programar para la interpolación R1-R y el decalaje del centro del círculo de interpolación resultan:

$$\Delta x = R \quad \Delta z_I = R$$

Estos son dos ejemplos de cómo se calcula la trayectoria del punto de referencia de la herramienta de acuerdo al radio y desgaste de ésta. El desgaste suele ser calculado o medido almacenándose la corrección adecuada para cada herramienta. Los modernos CNC incluyen gran número de funciones para realizar cálculos de trayectorias, así como para facilitar operaciones comunes y repetitivas.

4.1.2.3 Desplazamiento rápido (G00)

Los desplazamientos programados a continuación de G00 se ejecutan en avance rápido establecido en la puesta a punto de la máquina mediante los parámetros-máquina. Existen dos formas de desplazamiento en G00, dependiendo del valor dado al parámetro-máquina P610(2).

- G00 con trayectoria no controlada. P610(2)=0
El valor del avance rápido es independiente para cada eje, de esta forma cuando se mueven varios ejes a la vez, la trayectoria no es controlada.
- G00 vectorizado. P610(2)=1
En este caso, independientemente del número de ejes que se muevan, la trayectoria resultante es siempre una línea recta entre el punto inicial y el punto final. El avance estará determinado por el del eje más lento.

Mediante el parámetro-máquina P4 se puede establecer si el conmutador % de avance, cuando se trabaja en G00, actúa del 0% al 100%, o queda fijo al 100%.

Cuando se enciende el CNC, después de ejecutarse M02/M30, después de una EMERGENCIA o después de un RESET, el CNC asume el código G00. El código G00 es modal e incompatible con G01, G02, G03 y G33. La función G00 puede programarse con G o G0.

Al programar la función G00, no se anula la última F programada, es decir, cuando se programa de nuevo G01, G02 ó G03 se recupera dicha F.

4.1.2.4 Interpolación

La interpolación es la sincronización del movimiento de varios ejes en el tiempo con el fin de conseguir unas determinadas trayectorias. El número de ejes interpolados es una característica que mide la potencia de un CN. Así como un mayor número de ejes controlados puede no ser más que una duplicación de componentes pertenecientes a los lazos de control, el número de ejes interpolados requiere funciones de potente cálculo. Estas funciones, en virtud de la trayectoria deseada, deberán calcular los movimientos de cada eje, tanto en velocidad como posición.

Interpolación lineal (G01)

La herramienta debe desplazarse con una velocidad de avance determinada, en una recta, en dirección al punto de destino señalado para mecanizar la pieza. Para calcular la trayectoria de la herramienta, el control realiza una interpolación lineal.

La interpolación lineal origina el desplazamiento: En una dirección del eje (eje lineal o eje circular), del punto de partida al punto de destino programado en cotas absolutas o incrementales, con el avance programado, y con la velocidad de cabezal programada.

- Ejemplo para fresado paralelo al eje:

```
N1 G00 G90 X70 Y25 Z1 S800 M3
N2 Z-5
N3 G01 X20 F150
N4 G00 Z100
N5 X-25 Y50
N6 M30
```

Explicación:

N1 Conexión del cabezal. La herramienta se desplaza a P01 con desplazamiento rápido. Giro del cabezal a la derecha a 800 min⁻¹.

N2 Posicionamiento en Z.

N3 La herramienta se desplaza de P01 a P02. Avance de 150 mm/min.

N4/N5 Desplazamiento libre con desplazamiento rápido.

N6 Fin de programa.

- Ejemplo de interpolación lineal en 2 ejes:

```
N1 G00 G90 X30 Y15 Z1 S500 M3
N2 G01 Z-5 F100
N3 X80 Y60 F200
N4 G00 Z100
N5 X-40 Y100
N6 M30
```

Explicación:

N1 La herramienta se desplaza en desplazamiento rápido al punto con coordenadas X30, Y15.

N2 Posicionamiento en el fondo Z-5, avance 100 mm/min.

N3 La herramienta se desplaza en una recta de P01 a P02, avance 200 mm/min.

N4/N5 Desplazamiento libre con desplazamiento rápido.

N6 Fin de programa.

- Ejemplo de interpolación lineal en 3 ejes:

```
N1 G00 G90 X40 Y60 Z2 S500 M3
N2 G01 Z-12 F100
N3 X20 Y10 Z-10
N4 G00 Z100
N5 X-20 Y80
N6 M30
```

Explicación:

- N1 La herramienta se desplaza a P01 con desplazamiento rápido.
- N2 Posicionamiento en Z-12, avance 100.
- N3 La herramienta se desplaza a P02 a lo largo de una recta en el espacio.
- N4/N5 Desplazamiento libre con desplazamiento rápido.
- N6 Fin de programa.

Interpolación circular (G02, G03)

La herramienta se desplaza, entre dos puntos del contorno, a lo largo de un círculo, para mecanizar la pieza. Para calcular la trayectoria de la herramienta, el control realiza una interpolación circular. La interpolación circular origina el desplazamiento de la herramienta:

En un arco de círculo, con G02 en sentido horario y con G03 en sentido antihorario, al fresar en el plano deseado con G16 en un plano elegido libremente, con G17 en el plano X-Y, con G18 en el plano Z-X, con G19 en el plano Y-Z, alrededor del punto central programado del círculo, del punto de partida al punto final programado en una trayectoria circular.

En cada plano puede realizarse un desplazamiento circular (XY, ZX o YZ) a través de la correspondiente selección.

La dirección de giro en los diferentes planos se fija de la manera siguiente: mirando en sentido contrario a la dirección del eje perpendicular al plano, con G02 la herramienta se mueve en sentido horario y con G03 en sentido antihorario.

Los parámetros de interpolación, junto con las instrucciones de eje, definen el círculo o, en su caso, el arco de círculo. El punto inicial "KA" del círculo o del arco de círculo, está definido por la secuencia precedente. El punto final "KE" determina los valores X y Z del eje. El centro del círculo "KM" está fijado:

- por los parámetros de interpolación,
- directamente por el radio.

Parámetros de interpolación I, J, K

Los parámetros de interpolación son las coordenadas paralelas al eje, del vector de la distancia desde el punto inicial al punto central del círculo. Los ejes X, Y y Z están asignados a los parámetros de interpolación I, J y K. Los parámetros de interpolación han de introducirse siempre en cotas incrementales y en el orden correcto, independientemente de que X, Y y Z estén programados en cotas absolutas o incrementales. El signo antepuesto resulta de la dirección de coordenadas del punto inicial al centro del círculo.

La coordenada del punto final que no se ha modificado con respecto al origen del círculo, igualmente ha de programarse. En caso de círculo completo ha de programarse como mínimo un eje (X0, Y0 ó Z0). En el ejemplo siguiente se ha

programado un círculo completo. En este caso, el punto de partida ha de introducirse también como punto final.

```
N1 G00 X10 Y25 Z1 S1250 M3
N2 G01 Z-5 F100
N3 G02 X10 Y25 I20 J0 F125
N4 G00 Z100 M5
N5 X-20
N6 M30
```

Explicación:

N1 La herramienta se desplaza al punto P01 con desplazamiento rápido.

N2 Posicionamiento en Z-5.

N3 El plano XY es seleccionado automáticamente (posición preferencial). La herramienta se desplaza en un círculo completo, en sentido horario (G02).

N4/N5 Desplazamiento libre con desplazamiento rápido.

N6 Fin de programa.

Introducción imprecisa del radio o de parámetros de interpolación

Control del punto final del arco. Con anterioridad al mecanizado de una secuencia circular, el CN examina la concordancia de los valores programados, en los cuales es obtenida la diferencia de los radios para el punto inicial A y el punto final B.

A Punto inicial del arco (punto final de la secuencia anterior).

E Punto final del arco programado.

M Centro del arco programado.

T Margen de tolerancia.

E* Punto final del arco obtenido de los parámetros del centro.

F Error.

Si la diferencia (F) sobrepasa el margen de tolerancia (T) (dato de máquina), la secuencia circular no es mecanizada. Se produce un aviso de alarma "error del punto final del arco".

Si la desviación de los radios cae dentro de la tolerancia, son corregidos los parámetros del centro, ya que se parte de que el punto final del arco ha sido

programado "correctamente". Posteriormente, la secuencia circular es realizada con el nuevo centro corregido.

K* Contorno en base a la programación imprecisa.

M Centro del arco corregido.

K Contorno desplazado y corregido.

M* Centro del arco programado.

Programación del radio

En muchos casos, el acotado de un dibujo está hecho de tal forma que es más fácil indicar el radio B, U o R para la determinación de la trayectoria circular. Como la indicación del radio junto con G02 ó G03, sólo define claramente la trayectoria circular dentro de un semicírculo, ha de introducirse también si el ángulo de desplazamiento debe ser menor o mayor a 180 grados.

La indicación del radio recibe, por consiguiente, el siguiente signo antepuesto:

+R/+B/+U: ángulo menor o igual a 180 grados.

-R/-B/-U: ángulo mayor a 180 grados.

Cuando el ángulo de desplazamiento es 0 grados o 360 grados, no es admisible programar el radio; por tanto, los círculos completos han de programarse con parámetros de interpolación.

G02 ó G03 determinan la dirección del desplazamiento del círculo determinado por el punto final del círculo y los parámetros de interpolación o del radio B, U o R.

Ejemplo:

```
N5 G03 G90 X60 Y15 U15
```

La herramienta se desplaza del punto 1 al punto 2.

```
N10 G02 X45 Y30 U15
```

La herramienta se desplaza del punto 2 al punto 1.

En cuanto al torno: G02 ó G03 actúan delante o detrás del centro de giro.

- Ejemplo de programa para tornos:

N5 G03 G90 X40. Z80. K15. I0.

N10 G02 X70. Z65. K0. I15.

N5 La herramienta se desplaza de P1 a P2.

N10 La herramienta se desplaza de P2 a P1.

O también, con programación del radio.

N5 G03 G90 X40. Z80. B+15.

N10 G02 X70. Z65. B+15.

N5 La herramienta se desplaza de P1 a P2.

N10 La herramienta se desplaza de P2 a P1.

Coordenadas polares

Permite programar posiciones en planos (G17: X-Y ó G18: X-Z ó G19: Y-Z). En milímetros las coordenadas de un punto son:

R+/-4.3 A+/-3.3 (R en mm ó pulgadas y A siempre en grados)

El origen polar inicialmente es el punto X0Y0 (G17), X0Z0 (G18) ó Y0Z0 (G19).

Puede definirse cualquier origen polar mediante G93.

Al programar una interpolación circular (G02 ó G03) el origen polar pasa a ser automáticamente el centro del arco y basta con programar el ángulo A+/-3.3.

Si el origen del arco es el origen polar en ese momento basta con programar el ángulo del punto final, sin programar las coordenadas I, J, K respecto al punto inicial

Ejemplo:

- Coordenadas CARTESIANAS

G17 G02 G91 X26 Y26 I18 J8

- Coordenadas POLARES

G17 G02 G91 A-138 I18 J8

G06: Interpolación circular con programación del centro del arco en coordenadas absolutas

Añadiendo la función G06 en un bloque de interpolación circular, se puede programar las cotas del centro del arco (I, J, K), en coordenadas absolutas, es decir, con respecto al cero de origen y no al comienzo del arco.

La función G06 no es modal, por lo tanto deberá programarse siempre que se desee indicar las cotas del centro del arco, en coordenadas absolutas.

Ejemplo: Punto inicial X60 Y40.

```
N5 G90 G17 G03 X110 Y90 R50 F150  
N10 X160 Y40 R50
```

Interpolación circular con programación del centro de coordenadas absolutas:

```
N5 G90 G17 G06 G03 X110 Y90 I60 J90 F150  
N10 G06 X160 Y40 I160 J90
```

4.1.3 Funciones preparatorias de ayuda a la programación de trayectorias

4.1.3.1 Trabajo en arista matada (G05)

Consiste en la unión de dos superficies rectas según un arco o redondeo. La función preparatoria depende del fabricante. Vamos a suponer que es la G05.

Cuando se trabaja en G05, el CNC comienza la ejecución del bloque siguiente del programa, tan pronto como comienza la deceleración de los ejes programados en el bloque anterior.

Es decir, los movimientos programados en el bloque siguiente, se ejecutan antes que la máquina haya llegado a la posición exacta programada en el bloque anterior.

```
N1      G91  G01  G05  Y70  F100  
N10     X90
```

Como se ve en el ejemplo, los cantos quedarían redondeados.

La diferencia entre el perfil teórico y real, está en función del valor del avance. Cuanto mayor sea el avance, mayor será la diferencia entre el perfil teórico y el real.

4.1.3.2 Trabajo en arista viva (G07)

Cuando se trabaja en G07, el CNC no ejecuta el siguiente bloque de programa hasta que no se haya alcanzado la posición exacta programada en el bloque anterior. Esto se denomina arista viva:

```
N5      G91  G01  G07  Y70  F100  
N10     X90
```

El perfil teórico y el real coinciden. La función G07 es modal e incompatible con G05. En el momento del encendido, después de ejecutarse M02, M30 o después de una EMERGENCIA o RESET, el CNC asume la función G07 o G05 dependiendo del valor asignado al parámetro-máquina correspondiente.

4.1.3.3 Redondeo controlado de aristas (G36)

En trabajos de fresado, es posible en algunos controles, mediante la función G36 por ejemplo, redondear una arista con un radio determinado, sin necesidad de calcular el centro ni los puntos inicial y final del arco. El radio de redondeo se programa mediante R 4.3 en mm, o bien R 3.4 en pulgadas, siempre con valor positivo.

Ejemplos:

Ejemplo 1: N10 G90 G01 G36 R5 X35 Y60 F100
N20 X50 Y0

Ejemplo 2: N10 G90 G03 G36 R5 X50 Y50 I0 J30F100
N20 G01 X50 Y0

4.1.3.4 Achaflanado (G39)

Supongamos que se realiza por la función G39 (no atribuida por norma). En los trabajos de mecanizado es posible, mediante la función G39, achaflanar aristas entre dos rectas, sin necesidad de calcular los puntos de intersección. La función G39 no es modal, es decir, debe programarse cada vez que se desee achaflanar una arista. Esta función debe programarse en el bloque en que se programe el desplazamiento cuyo final se desea achaflanar.

Mediante el código R4.3 en mm, o bien R3.4 en pulgadas (siempre con valor positivo), se programa la distancia desde el final de desplazamiento programado hasta el punto en que se quiere realizar el chaflán.

Ejemplo:

N0 G90 G01 G39 R15 X35 Y60 F100
N10 X50 Y0

4.1.3.5 Entradas y salidas tangenciales de herramientas (G37, G38)

Mediante la función preparatoria **G37** se pueden enlazar tangencialmente dos trayectorias sin necesidad de calcular los puntos de intersección. La función G37 no es modal, esto es, debe programarse cada vez que se desea comenzar un mecanizado con entrada tangencial.

Ejemplo:

Supongamos que el punto de partida es X0, Y30 y se desea mecanizar un arco de circunferencia, siendo rectilínea la trayectoria de acercamiento. Así programaremos:

```
N0 G90 G01 X40 F100
N5 G02 X60 Y10 I20 J0
```

En este mismo ejemplo, si deseamos que la entrada de la herramienta a la pieza a mecanizar sea tangencial a la trayectoria, describiendo un radio de 5 mm, se deberá programar:

```
N0 G90 G01 G37 R5 X40 F100
N5 G02 X60 Y10 I20 J0
```

El CNC modifica la trayectoria del bloque N0 de forma que la herramienta comienza a mecanizar con entrada tangencial a la pieza. La función G37 junto con el valor R hay que programarlos en el bloque que incorpora la trayectoria que se desea modificar. El valor de R debe ir en todos los casos a continuación de G37 e indica el radio del arco de circunferencia que el CNC introduce para conseguir una entrada tangencial a la pieza. Este valor de R debe ser siempre positivo.

La función G37 sólo puede programarse en un bloque que incorpore movimiento rectilíneo (G00 ó G01). En caso de programarse en un bloque que incorpore movimiento circular (G02 ó G03), el CNC mostrará error.

La función **G38** permite finalizar un mecanizado con una salida tangencial de la herramienta sin necesidad de cálculos engorrosos. La función G38 no es modal, es decir, debe programarse cada vez que se desee una salida tangencial de la herramienta. A continuación de G38 deberá programarse el radio R4.3 en mm, o bien R3.4 en pulgadas del arco de salida.

Ejemplo:

Supongamos que el punto de partida es X0 Y30. El primer tramo recto es de acercamiento (en vacío), el tramo circular es un mecanizado y el tramo final recto es asimismo en vacío.

El programa será:

```
N0 G90 G01 X40 F100
N5 G02 X80 Y30 I20 J0
```

```
N10 G00 X120
```

Si se desea que al final del mecanizado la salida de la herramienta sea tangencial, por ejemplo con un radio de salida de 5 mm, se deberá programar:

```
N0 G90 G01 X40 F100
N5 G90 G02 G38 R5 X80 Y30 I20 J0
N10 G00 X120
```

Para que G38 se pueda programar en un bloque, es necesario que la trayectoria siguiente sea rectilínea (G00 ó G01). Si la trayectoria siguiente es circular (G02 ó G03), el CNC mostrará error.

4.1.3.6 Tangente a la trayectoria anterior (G08)

Por medio de la función G08 se puede programar una trayectoria circular tangente a la trayectoria anterior sin necesidad de programar las cotas (I, J, K) del centro.

El formato del bloque en coordenadas cartesianas y en el plano XY es el siguiente:

```
N4 G08 X+/-4.3Y+/-4.3
```

N4: Número de bloque

G08: Define interpolación circular tangente a la trayectoria anterior.

X+/-4.3: Cota X del punto final del arco.

Y+/-4.3: Cota Y del punto final del arco.

El formato del bloque en coordenadas polares es el siguiente:

```
N4 G08 R+/-4.3 A+/-4.3
```

N4: Número de bloque.

G08: Define interpolación circular tangente a la trayectoria anterior.

R+/-4.3: Radio (respecto al origen polar) del punto final del arco.

A+/-4.3: Ángulo del punto final del arco.

Ejemplo

Supongamos que el punto de partida es X0 Y40 y se desea programar una línea recta, a continuación un arco tangente a la misma y, finalmente, un arco tangente al anterior. Podemos programarlo de la siguiente manera:

```
N0      G90   G01   X70   F100
N5      G08   X90   Y60
N10     G08   X110  Y60
```

Al ser arcos tangentes no es necesario programar las coordenadas de los centros (I, J). Si no se utiliza G08, la programación será:

```
N0      G90   G01   X70   F100
N5      G03   X90   Y60   I0   J20
N10     G02   X110  Y60   I10  J0
```

La función G08 no es modal. Se puede emplear siempre que se desee ejecutar un arco tangente a la trayectoria anterior. La trayectoria anterior puede haber sido una recta o un arco. La función G08 sólo sustituye a G00, G01, G02 y G03 en el bloque en que está escrita.

Utilizando la función G08, no es posible ejecutar un círculo completo, debido a que existen infinitas soluciones. El CNC visualizará un código de error.

4.1.3.7 Trayectoria circular definida por tres puntos (G09)

Por medio de la función G09 se puede definir una trayectoria circular (arco), programando el punto final y un punto intermedio (el punto inicial del arco es el punto de partida del movimiento). Es decir, en lugar de programar las coordenadas del centro, se programa cualquier punto intermedio.

Esta prestación es sumamente útil cuando copiando una pieza se programa en PLAY BACK, ya que tras escribir G09 en el bloque, se puede desplazar la máquina manualmente hasta un punto intermedio del arco y pulsar ENTER. A continuación, desplazar hasta el punto final y pulsar ENTER. De esta forma, el bloque quedará introducido en la memoria.

El formato del bloque en coordenadas cartesianas y en el plano XY es el siguiente:

```
N4  G09  X+/-4.3Y+/-4.3I+/-4.3 J+/-4.3
```

G09: Código que define una trayectoria circular mediante tres puntos.

X+/-4.3: Cota X del punto final del arco.

Y+/-4.3: Cota Y del punto final del arco.

I+/-4.3: Cota X del punto intermedio del arco.

J+/-4.3: Cota Y del punto intermedio del arco.

El formato del bloque en coordenadas polares y en el plano XY es el siguiente:

N4 G09 R+/-4.3 A+/-4.3 I+/-4.3 J+/-4.3

G09: Código que define una trayectoria circular mediante tres puntos.

R+/-4.3: Radio (respecto al origen polar) del punto final del arco.

A+/-4.3: Ángulo (respecto al origen polar) del punto final del arco.

I+/-4.3: Cota X del punto intermedio del arco.

J+/-4.3: Cota Y del punto intermedio del arco.

Como se ve el punto intermedio siempre se debe programar en coordenadas cartesianas.

Ejemplo

Supongamos que el punto inicial es el X-50 Y0:

N10 G09 X35 Y20 I-15 J25

La función G09 no es modal. No es necesario programar el sentido de desplazamiento (G02, G03) al programar G09. La función G09 sólo sustituye a G00, G01, G02 y G03 en el bloque en que está escrita.

Al igual que se comentó de la función G08, utilizando la función G09 no es posible ejecutar un círculo completo, ya que para definir un arco con dicha función es necesario que sean programados tres puntos distintos. El CNC visualizará error.

4.1.4 Imagen especular, control de escalas y giro del sistema de coordenadas

4.1.4.1 Imagen especular (G10, G11, G12, G13)

Consiste en la repetición de contornos en piezas de acuerdo a su simetría respecto a un eje principal. Las funciones que se utilizan son:

G10: Anulación imagen espejo.

G11: Imagen espejo en el eje X.

G12: Imagen espejo en el eje Y.

G13: Imagen espejo en el eje Z.

Cuando el CNC trabaja en G11, G12, G13, ejecuta los desplazamientos programados en X, Y, Z con el signo cambiado.

Las funciones G11, G12, G13 son modales, es decir, una vez programadas se mantienen hasta que se programa G10. Se pueden programar a la vez G11, G12 y G13 en el mismo bloque, puesto que no son incompatibles entre sí.

Ejemplo:

a) N5 G91 G01 X30 Y30 F100

N10 Y60

N12 X20 Y-20

N15 X40

N20 G02 X0 Y-40 I0 J-20

N25 G01 X-60

N30 X-30 Y-30

b) N35 G11

N40 G25 N5.30 (Repetición desde la 5 a la 30 una vez).

c) N45 G10 G12

N50 G25 N5.30

d) N55 G11 G12

N60 G25 N5.30

N65 M30

4.1.4.2 Giro del sistema de coordenadas

En un programa con imagen espejo si se encuentra también activada la función G73 (giro del sistema de coordenadas), el CNC aplicará primero la imagen espejo y, a continuación, el giro. Para la realización de imágenes rotadas con respecto a un punto se puede utilizar un giro del sistema de coordenadas.

Para el mismo control anterior, la función G73 permite girar el sistema de coordenadas tomando como centro de giro el punto cero en el plano principal. El formato que define el giro es el siguiente:

N4 G73 A+/-3.3.

G73: Código que define la función giro.

A+/-3.3: Ángulo de giro en grados.

El valor mínimo del ángulo es 0 grados. El valor máximo del ángulo es 360 grados.

Hay que tener en cuenta que la función G73 es incremental, es decir, se van sumando los diferentes valores de A programados. La función G73 debe programarse sola en un bloque.

La anulación de la función giro se realiza programando G73 (sólo sin el valor del ángulo), mediante G17, G18, G19, M02, M30 o bien al ejecutar un RESET o EMERGENCIA. No se pueden programar estando activa la función giro G73, bloques que contengan la definición de un punto mediante el ángulo y una coordenada cartesiana en coordenadas absolutas (G90).

Como ejemplo, supongamos que el punto inicial es el X0, Y0 y se programa la trayectoria de la herramienta en el plano XY sin tener en cuenta sus dimensiones.

N10 G01 X21 Y0 F300

N20 G02 A0 I5 J0

N30 G03 A0 I5 J0

N40 A180 I-10 J0

N50 G73 A45

N60 G25 N10.50.7 (Repetición desde la 10 a la 50 siete veces)

N70 M30

4.1.4.3 Escalado (G72)

Por medio de la función G72 se pueden ampliar o reducir piezas programadas. De esta forma, se pueden realizar familias de piezas semejantes en forma pero de dimensiones diferentes con un solo programa.

La función G72 debe programarse sola en un bloque. Existen dos formatos de programación de la función G72.

Formato a: Factor de escala aplicado a todos los ejes

El formato de programación es:

N4 G72 K2.4

G72: Código que define el factor de escala

K2.4: Valor del factor de escala

Valor mínimo K0.0001. (Multiplicación por 0,0001).

Valor máximo K100. (Multiplicación por 100).

En este caso se puede trabajar aplicando compensación de radio y longitud de herramienta. A continuación de G72, todas las coordenadas programadas se multiplican por el valor de K hasta que se lea una nueva definición de factor de escala G72 o se anule ésta.

Para anular el factor de escala basta con definir otro factor de escala de valor K1, o también se anula introduciendo M02, M30 o al ejecutarse un RESET o una EMERGENCIA.

Ejemplo.

Supongamos que el punto de partida es X-30 Y10:

N10 G00 G90 X-19 Y0

N20 G01 X0 Y10 F150

N30 G02 X0 Y-10 I0 J-10

N40 G01 X-19 Y0

N45 G31 Guardar origen de coordenadas

N50 G92 X-79 Y-30 Traslado del origen de coordenadas

N60 G72 K2 Aplicar un factor de escala de 2

N70 G25 N10.40.1

N80	G72	K1		Anular factor de escala
N85	G32			Recuperar origen
N90	G00	X-30	Y10	Vuelta al punto inicial
N100	M30			Fin de programa

Formato b: Factor de escala aplicado a un solo eje

El formato de programación es el siguiente:

N4 G72 W,X,Y,Z 2.4

G72: Función que define el factor de escala

X,Y,Z,W: Eje al cual se aplica el factor de escala

2.4: Valor del factor de escala

Valor mínimo: 0,0001

Valor máximo: 15,9999

Para anular el factor de escala es suficiente con aplicar otro factor de escala de valor 1 al eje correspondiente. También se anula introduciendo M02, M30, al ejecutarse un RESET, tras una EMERGENCIA o cuando se define un valor de factor de escala en otro eje. En este caso se puede trabajar con compensación de longitud de herramienta.

Solamente se puede trabajar con compensación de radio de la herramienta si el eje al cual se aplica el factor de escala es un eje rotativo, ya que si el eje es lineal y aplicamos una compensación de radio, ésta también quedará afectada por el factor de escala en el eje al cual hemos aplicado dicho factor.

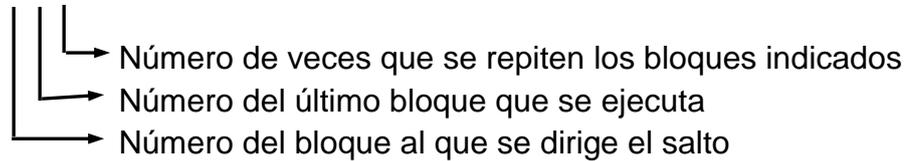
4.1.4.4 Saltos / llamadas incondicionales (G25)

La función G25 puede utilizarse para saltar de un bloque a otro dentro del mismo programa. En el mismo bloque en el que se programa la función G25 no se puede programar más información. Existen dos formatos de programación:

Formato a) N4 G25 N4
 |

→ Número de bloque al que se salta para continuar desde dicho bloque hasta el final del programa.

Formato b) N4 G25 N4.4.2



Cuando el CNC lee un bloque del tipo *b)*, salta al bloque definido entre la *N* y el primer punto decimal. Ejecuta después la sección del programa comprendida entre este bloque y el definido entre los dos puntos decimales, tantas veces como indica el último número. Si se programa solamente N4.4 el CNC asumirá N4.4.1. Al terminar la ejecución de esta sección el CNC vuelve al bloque siguiente al que se programó G25 N4.4.2.

4.1.5 Funciones preparatorias de control de herramientas

A la hora de realizar los programas CN de las piezas a mecanizar, el operario de una máquina controlada numéricamente se encuentra con dos problemas. Por una parte, la colocación de las herramientas en sus fijaciones debe ser exacta y ajustada a las dimensiones que se tuvieron en cuenta a la hora de la programación. Y, por otra parte, situación aún más difícil de resolver, todas las herramientas se desgastan en radio y longitud durante el mecanizado, existiendo una inexactitud entre las dimensiones supuestas y las reales. Ya se ha comentado que no es lo mismo el punto programado que el punto de contacto pieza y herramienta.

Existe siempre un decalaje entre el punto de contacto y el punto programado. Este decalaje va a consistir en el radio de la herramienta o relaciones geométricas de éste según situación con respecto a la pieza. Los controles deben tener información sobre radios y longitudes de las herramientas (tablas) y de los desgastes producidos. Estos desgastes van actuando de modo que la herramienta se considere de menor radio o longitud.

Las imprecisiones en las dimensiones de los útiles se traducirán en incorrectos acabados y rangos de tolerancias de acabado más amplios.

La imprecisión de fijación se soluciona usando conjuntos de fijación-herramientas intercambiables. En los modernos centros de mecanizado con almacenes de herramientas, éstas van montadas con sus conos, y se intercambia todo el conjunto. Antes de introducir el nuevo conjunto en su posición del almacén de herramientas ya se habrán verificado y calibrado.

El segundo factor de imprecisión, el desgaste, es más difícil de tener en cuenta. Varios serán los sistemas empleados para obviarlo:

- Cambio usual de las herramientas, según estimaciones del tiempo de desgaste sin ninguna medición de las mismas. Este método provoca un excesivo gasto de herramientas. A lo largo de la vida de la herramienta aumentan las tolerancias de fabricación.
- Medición de la herramienta antes de la realización de una operación. El control detecta y almacena las nuevas dimensiones y corrige las trayectorias del programa.

Estimación del desgaste, llevándose cuenta del tiempo de utilización de cada herramienta. Gracias al conocimiento de las propiedades del material de la

herramienta se puede estimar su desgaste aproximado, almacenándose en tablas los desgastes y la duración estimada de las herramientas. Este método, sin embargo, tiene los problemas propios de una estimación, fundamentalmente, la diferencia entre las condiciones de mecanizado con las consideraciones teóricas supuestas.

La forma de gestionar las herramientas, sus compensaciones y los desgastes de éstas varían para cada control.

También puede realizarse un control continuo del desgaste de las herramientas con un sistema de medida incorporado a la máquina.

Una vez comprobado el desgaste de las herramientas por alguno de los métodos anteriores se actualizan los datos almacenados en la tabla de herramientas. Y con estos datos, supuestamente ajustados a la realidad, se calcularán las trayectorias a recorrer por el punto programado.

Cada fabricante de control numérico sigue una metodología y configuración de las dimensiones de los útiles. En este capítulo se va a describir el sistema empleado por el control FAGOR.

4.1.5.1 Compensación del radio de herramienta (G40, G41, G42)

El CNC calcula automáticamente la trayectoria que debe de seguir la herramienta, a partir del contorno de la pieza y del valor del radio de la herramienta almacenado en la tabla de herramientas. Existen tres funciones preparatorias para la compensación del radio de herramienta:

G40: Anulación de la compensación de radio de herramienta.

G41: Compensación de radio de herramienta a izquierdas.

G42: Compensación de radio de herramienta a derechas.

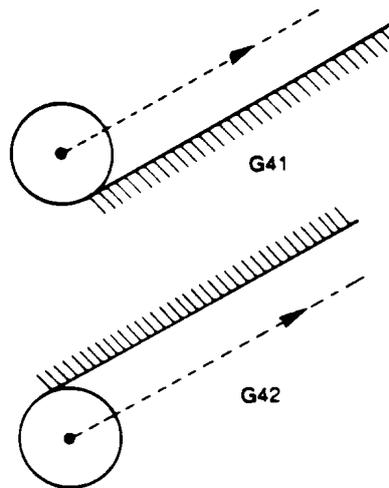


Fig. 4.1. Sentidos de compensación del radio. Elaboración propia

El CNC dispone de una tabla de varias parejas de valores para compensación de radio de herramienta. El valor R indica el radio de herramienta e I el valor que se suma o resta al valor de R para corregir pequeñas variaciones del radio de la herramienta.

Los valores máximos de compensación son:

R +/-1000 mm ó +/-39,3699 pulgadas

I +/-32,766 mm ó +/-1,2900 pulgadas

Los valores de la compensación deben almacenarse en la tabla de herramientas, antes de comenzar el trabajo de mecanizado o bien cargarse al comienzo del programa mediante la función G50.

4.1.5.2 Inicio de compensación de radio

Una vez que mediante G17, G18 ó G19 se ha seleccionado el plano en que se desea aplicar la compensación de radio de herramienta, deben utilizarse para el inicio de la misma los códigos G41 ó G42.

G41: La herramienta queda a la izquierda de la pieza según la dirección del mecanizado.

G42: La herramienta queda a la derecha de la pieza según la dirección del mecanizado.

En el mismo bloque en que se programa G41/G42 o en uno anterior debe haberse programado la función Txx.xx (Txx.00-Txx.99) para seleccionar en la tabla de

herramientas el valor de corrección a aplicar. En caso de no seleccionarse ninguna herramienta, el CNC asume el valor T00.00.

La selección de la compensación de radio de herramienta (G41/G42) sólo puede realizarse cuando están activas G00 ó G01 (movimientos rectilíneos).

Si la primera llamada o compensación se realiza estando activas G02 ó G03, en el CNC se visualizará el código de error correspondiente.

Casos especiales a tener en cuenta:

Si se programa la compensación en un bloque en que no hay movimiento, el inicio de ésta varía respecto al caso normal.

```
N0 G91 G41 G01 T00.00
```

```
N5 Y-100
```

```
N10 X+100
```

Si se introduce la compensación con programación de movimiento cero:

```
N0 G91 G01 X100 Y100
```

```
N5 G41 X0 T00.00
```

```
N10 Y-100
```

4.1.5.3 Funcionamiento con compensación de radio de herramienta

A continuación se muestran unos gráficos donde se reflejan las diversas trayectorias seguidas por una herramienta controlada por un CNC programado con compensación de radio.

Cuando el CNC trabaja con compensación de radio de herramienta, va leyendo cuatro bloques por delante del que está ejecutando, permitiendo de este modo calcular con antelación la trayectoria a recorrer.

Casos especiales

Existen algunos casos en los que hay que tener un especial cuidado. Por ejemplo:

- Tres o más bloques sin movimiento en el plano de compensación entre bloques que si lo tienen.

```
N0 G01 G91 G17 G41 X50 Y50 F10 T1.1
```

```
N5 Y100
```

```
N10 X200
```

```
N15 Z100
```

```
N20 M07
```

```
N25 Z200
```

```
N30 Y-100
```

4.1.5.4 Anulación de compensación de radio de herramienta

La anulación de compensación de radio se efectúa mediante la función G40.

Hay que tener en cuenta que la cancelación de la compensación de radio solamente puede efectuarse en un bloque en que esté programado un movimiento rectilíneo (G00, G01). Si se programa G40 en un bloque con G02 ó G03, el CNC dará código de error.

A continuación, se muestran ejemplos de diferentes casos de anulación de compensación.

Ejemplo: mecanizado con compensación de radio

- Radio de la herramienta: 10 mm.
- Número de la herramienta: T1.1
- Se supone que no hay movimiento en el eje Z.

N0 G92 X0 Y0 Z0

N5 G90 G01 G17 F150 S100 T1.1 M03

N10 G42 X20 Y20

N15 X50 Y30

N20 X70

N25 G03 X85 Y45 I0 J15

N30 G02 X100 Y60 I-15 J0

N35 G01 Y70

N40 X55

N45 G02 X25 Y70 I-15 J0

N50 G01 X20 Y20

N55 G40 G00 X0 Y0 M05 M30

4.1.5.5 Compensación de longitud de herramienta (G43, G44)

Por medio de esta función se pueden compensar posibles diferencias de longitud de herramienta programada y la herramienta que se va a emplear. Como ya se indicó en compensación de radio de herramienta el CNC tiene capacidad para almacenar dimensiones (radio y longitud) de 100 herramientas (Txx.00-Txx.99).

Con L se indica la longitud de la herramienta y con K el valor que se suma o se resta al valor de L para corregir pequeñas variaciones de la longitud de herramienta.

Los máximos valores de compensación de longitud son:

L+/-1000 mm ó 39,3699 pulgadas.

K+/-32,766 mm ó +/-1,2900 pulgadas.

Los códigos para llamar a la compensación de longitud son:

G43: Compensación de longitud.

G44: Anulación de compensación de longitud.

Cuando se programa G43, el CNC compensa la longitud de acuerdo con el valor seleccionado en la tabla de herramientas (Txx.00-Txx.99). La compensación de longitud se aplica al eje perpendicular al plano principal.

- G17: Compensación de longitud en el eje Z.
- G18: Compensación de longitud en el eje Y.
- G19: Compensación de longitud en el eje X.

La compensación de longitud puede usarse junto con los ciclos fijos, pero en este caso hay que tener la precaución de aplicar dicha compensación antes del comienzo del ciclo.

Ejemplo: compensación de longitud

Se supone que la herramienta utilizada es 4 mm más corta que la programada. El número de la herramienta es T1.1. (En la tabla de herramientas se ha grabado el valor L-4).

```
N0 G92 X0 Y0 Z0
N5 G91 G00 G05 X50 Y35 S500 M03
N10 G43 Z-25 T1.1
N15 G01 G07 Z-12 F100
N20 G00 Z12
N25 X40
N30 G01 Z-17
N35 G00 G05 G44 Z42 M05
N40 G90 G07 X0 Y0
N45 M30
```

4.1.5.6 Carga de dimensiones de herramienta (G50)

Por medio de la función G50, se pueden introducir las dimensiones de las diferentes herramientas en la tabla. Existen dos casos:

Carga de todas las dimensiones de una herramienta:

El formato en el sistema métrico será:

N4 G50 T2 R+/-4.3 L+/-4.3 I+/-2.3 K+/-2.3.

Y en pulgadas:

N4 G50 T2 R+/-2.4 L+/-2.4 I+/-1.4 K+/-1.4.

Se cargan en la dirección de la tabla indicada por T2, los valores definidos por R, L, I, K.

G50: Código de carga de dimensiones.

T2(T00-T99): Dirección de la tabla de herramientas.

R+/-4.3(R+/-2.4): Radio de la herramienta.

I+/-2.3(I+/-1.4): Corrección por desgaste del radio de la herramienta.

L+/-4.3(L+/-2.4): Longitud de la herramienta.

K+/-2.3(K+/-1.4): Corrección por desgaste de la longitud de la herramienta.

Los valores de R, L, I, K sustituyen a los previamente existentes en la posición T2. Si se programa R y L y no se programa I, K se sustituyen en la tabla los valores de R y L por los nuevos valores programados y se ponen a cero los valores de corrección I, K.

Modificación incremental de los valores I, K:

Mediante el bloque N4 G50 T2 I+/-2.3 K+/-2.3 en sistema métrico o bien en pulgadas N4 G50 T2 I+/-1.4 K+/-1.4, se modifican los valores I, K de la dirección de la tabla indicada por T2.

N4: Número de bloque.

T2(T00-T99): Dirección de la tabla de herramientas.

I+/-2.3(I+/-1.4): Valor de la suma o resta a la I almacenada previamente en la tabla.

K+/-2.3(K+/-1.4): Valor que se suma o resta a la K previamente almacenada en la tabla.

La primera modalidad permite cargar la tabla de herramientas sin necesidad de introducirlas manualmente en el modo de operación 8. La segunda modalidad permite ir corrigiendo los desgastes de herramienta que se vayan produciendo.

El valor de compensación de radio será la suma de los valores R más I. El valor de compensación de longitud será la suma de los valores L más K.

En los bloques en que se programa G50 no está permitido programar ninguna otra información.

4.1.6 Funciones preparatorias de cambio de origen

4.1.6.1 Decalaje de origen

El decalaje de origen es la distancia entre el punto de origen de la pieza (del que parte la programación) y el punto de origen de la máquina. Gracias a él se pueden utilizar coordenadas relativas al plano de la pieza sin necesidad de modificar todas las coordenadas de los puntos de la pieza a la hora de programar.

El modo de operación consiste en trasladar el origen del sistema de coordenadas de la máquina a uno equivalente situado en algún punto representativo de la pieza. Los valores para el decalaje de origen se introducen por eje a través del panel de mando.

Preselección de cotas (G92):

También es posible desplazar el origen de coordenadas desde el programa lo cual es muy útil por ejemplo para la repetición de secuencias de programación en diversas posiciones geométricas utilizando subrutinas.

Una de las funciones más frecuentemente empleadas para modificar el origen de coordenadas es G92. Esta función no origina ningún movimiento de los ejes de la máquina y el CNC acepta los valores de coordenadas programados a continuación de G92, como nuevas cotas para la posición en ese momento de la herramienta. De esta forma queda definido el nuevo origen de coordenadas.

Ejemplo:

Suponiendo que la herramienta está inicialmente en el punto (X100, Y100), el programa sería el siguiente:

```
N10 G00 G90 X200 Y200
```

N20 X500

Un ejemplo de utilización de G92 sería el siguiente:

N10 G92 X0 Y100

La posición en la que se encuentra la herramienta (100,100 según el sistema de coordenadas inicial), se convierte en el punto X0, Y100.

N20 G00 G90 X100 Y200

N30 X400

4.1.6.2 Preselección de origen de coordenadas polares (G93)

Por medio de la función G93 se puede preseleccionar cualquier punto de un plano (XY, XZ, YZ) como origen de coordenadas polares.

Hay dos formas de preseleccionar un origen de coordenadas polares:

- G93 I+/-4.3 J+/-4.3 en mm (siempre coordenadas en valor absoluto), o bien G93 I+/-3.4 J+/-3.4 en pulgadas.

I+/-4.3: Indica el valor de la abscisa del origen de

I+/-3.4: coordenadas polares, es decir, en el plano XY el valor de X, en el plano XZ el valor de X y en el plano YZ el valor de Y.

J+/-4.3: Indica el valor de la ordenada del origen de

J+/-3.4: coordenadas polares, es decir, en el plano XY el valor de Y, en el plano XZ el valor de Z y en el plano YZ el valor de Z.

Si se programa de esta forma la preselección del origen polar, el CNC no admite más información en el mismo bloque.

Si en un bloque cualquiera se programa además una G93, ésta implicará que, antes de efectuarse el movimiento que el bloque conlleva, el origen polar pasará a ser el punto en que en ese momento se halle la máquina.

4.1.6.3 Traslados de origen (G53 a G59 y G31)

G31: Guardar origen de coordenadas actual.

Memoriza las coordenadas utilizadas actualmente.

G32: Recuperar origen de coordenadas guardado con G31.

Por medio de la función G31, se puede en cualquier momento guardar el origen de coordenadas con el que en ese momento se está trabajando y más adelante se puede recuperar dicho origen por medio de la función G32.

Esta prestación es útil en el caso en que sea necesario utilizar más de un origen de coordenadas (origen pieza) en el mismo programa, ya que permite acotar parte del programa respecto a un origen, guardar dicho origen con G31, hacer un cambio de origen con G92 ó G53-G59, acotar la continuación del programa respecto al nuevo origen y, finalmente, recuperar el origen primitivo por medio de G32.

Las funciones G31 y G32 deben programarse solas en un bloque, el formato es :

```
N4      G31
N4      G32
```

Ejemplo: Supongamos que la herramienta está en el punto X0, Y0, Z5.

```
N10  G00  G90  X-50  Y50  (Posicionamiento en el centro).
N20  G20  N1.1      (Llamada a la subrutina N1).
N30  X60  Y110      (Posicionamiento en el centro).
N40  G20  N1.1      (Posicionamiento en el centro).
N50  X35  Y-90
N60  G20  N1.1
N70  M30      (Fin de programa).
N100 G22  N1      (Definición de subrutina N1).
N110 G31      (Guardar origen coordenadas actual).
N120 G92  X0 Y0  (Traslado origen coordenadas).
N130 G1 Z-20 F350 (Bajar la herramienta).
N140 X-- Y--      (Programación del contorno interior).
N---
...
N---
N200 G0 Z5      (Subir la herramienta al plano de partida).
N210 G32      (Recuperar origen inicial guardado con G31).
```

N220 G24

(Fin de la subrutina).

G53-G59: Traslados de origen

Mediante las funciones G53, G54, G55, G56, G57, G58 y G59, se puede trabajar con 7 traslados de origen diferentes. Los valores de estos traslados de origen se almacenan en la memoria del CNC a continuación de la tabla de correctores de herramienta y están referidos al cero-máquina. Estos valores se pueden introducir en la memoria del control por medio del panel frontal del CNC en el modo de operación 8, o bien se pueden cargar por programa mediante las funciones G53-G59. Las funciones G53-G59 se pueden programar en dos formatos diferentes:

PRIMER FORMATO: Para cargar la tabla donde se almacenan los valores de traslados de origen.

⇒ Carga absoluta de valores.

El bloque N4 G5? X+/-4.3 Y+/-4.3 Z+/-4.3 en mm, o bien, N4 G5? X+/-3.4 Y+/-3.4 Z+/-3.4 en pulgadas, carga en la dirección de la tabla indicada por G5? (G53-G59) los valores definidos por X, Y, Z.

G5?: Código del traslado de origen (G53, G54, G55, G56, G57, G58, G59).

X+/-4.3: Valor del traslado de origen referido al cero- X+/-3.4: máquina del eje X.

Y+/-4.3: Valor del traslado de origen referido al cero- Y+/-3.4: máquina del eje Y.

Z+/-4.3: Valor del traslado de origen referido al cero- Z+/-3.4: máquina del eje Z.

⇒ Carga incremental de valores.

El bloque N4 G5? I+/-4.3 J+/-4.3 K+/-4.3 en mm, o bien N4 G5? I+/-3.4 J+/-3.4 K+/-3.4 en pulgadas, incrementa a los valores existentes en la dirección de la tabla indicada por G5? (G53-G59), en la cantidad definida en I, J, K.

G5?: Código del traslado de origen (G53, G54, G55, G56, G57, G58 y G59).

I+/-4.3: Cantidad que se suma o se resta al valor de X I+/-3.4: almacenado previamente en la tabla.

J+/-4.3: Cantidad que se suma o se resta al valor de Y J+/-3.4: almacenado previamente en la tabla.

K+/-4.3: Cantidad que se suma o se resta al valor de Z K+/-3.4: almacenado previamente en la tabla.

SEGUNDO FORMATO: Para aplicar un traslado de origen al programa en curso.

Mediante el bloque N4 G5? se realiza un traslado del origen de coordenadas del programa en curso, de acuerdo con los valores almacenados en la tabla en la dirección G5? (G53-G59).

G5? (G53, G54, G55, G56, G57, G58, G59): Dirección de la tabla en la que están almacenados los valores del traslado de origen.

En la tabla de G53/G59 introducimos los siguientes valores:

G53 X0 Y0

G54 X-40 Y-40

G55 X-30 Y10

Siendo el punto de partida X0 Y0 y el punto cero-máquina de los ejes XY.

N10 G0 G90 X70 Y20

N20 G1 Y35 F200

N30 X60

N40 G03 X60 Y20 I0 J-7,5

N50 G01 X70 Y20

N60 G54

N70 G25 N10.50.1

N80 G55

N90 G25 N10.50.1

N100 G53

N110 X0 Y0

N120 M30

4.2 Funciones auxiliares

Las funciones auxiliares se programan mediante el código M. Las funciones auxiliares salen al exterior en código BCD (M00/M99) o en código binario (M00/M254) dependiendo del valor asignado al parámetro máquina P617(8). No se pueden programar las funciones auxiliares M41, M42, M43, M44 implícitas con la S.

El CNC dispone también de 15 salidas decodificadas para funciones auxiliares. Estas salidas se asignarán a las funciones deseadas en la puesta a punto del CNC en máquina.

Las funciones auxiliares a las que no se ha asignado ninguna salida decodificada, se ejecutan siempre al comienzo del bloque en que están programadas.

Al asignar una salida decodificada a una función auxiliar, se decide asimismo si ha de ejecutarse al comienzo o al final del bloque en que está programada.

En un bloque se pueden programar hasta un máximo de 7 funciones auxiliares. Cuando en un bloque se haya programado más de una función auxiliar, el CNC las ejecuta correlativamente al orden en que se hayan programado.

Algunas de las funciones auxiliares tienen asignadas un significado interno en el CNC.

M00: Parada de programa

Cuando el CNC lee en un bloque el código M00 interrumpe el programa. Para reanudar el mismo hay que dar nuevamente la orden de MARCHA. Se recomienda personalizar esta función en la tabla de funciones M decodificadas, de forma que se ejecute al final del bloque en que esté programada.

M01: Parada condicional del programa

Idéntica a M00, salvo que el CNC sólo la tiene en cuenta si está activada la entrada "Parada condicional".

M02: Final de programa

Este código indica final de programa y realiza una función de "Reset general" del CNC (puesta en condiciones iniciales). También ejerce la función de M05.

Al igual que en el caso de M00, se recomienda personalizarla para que se ejecute al final del bloque en que esté programada.

M30: Final de programa con vuelta al comienzo

Idéntica a M02, salvo que el CNC vuelve al primer bloque del comienzo del programa. También ejerce la función de M05. Si el parámetro P609(3)=0, cuando se realice un RESET el CNC enviará al exterior el código M30.

M03: Arranque del cabezal a derechas (sentido horario)

Este código significa arranque del cabezal a derechas. El CNC ejecuta automáticamente este código en los ciclos fijos de mecanizado. Se recomienda personalizar esta función de forma que se ejecute al comienzo del bloque en que está programada.

M04: Arranque del cabezal a izquierdas (sentido antihorario)

Idéntico a M03, salvo que el cabezal arranca en sentido contrario de giro.

M05: Parada del cabezal

Se recomienda personalizar el CNC de forma que esta función se ejecute al final del bloque en que está programada.

M06: Código de cambio de herramienta

- Máquina sin cambiador automático:

Si P601(1) y P601(5) están a cero (máquina sin cambio automático de herramienta), el CNC saca al exterior los códigos M05 y M06 cuando lee el código M06.

Dependiendo del valor asignado, el parámetro P601(8) parará o no el programa (como M00):

P601(8)=1 Detiene el programa

P601(8)=0 No detiene.

- Máquina con cambiador automático:

Si P601(1) o P601(5) tienen valor 1, el código M06 tiene que programarse sólo en bloque. Al leer este código el CNC en los modos AUTOMATICO, BLOQUE A BLOQUE y TEACH-IN, ejecutará la siguiente secuencia:

- Sacará al exterior el código M19 y aplicará al cabezal el valor residual de S definido, mediante P601(7) y P700.

- Desplazará los ejes a las posiciones fijadas por los parámetros P900, P901, P902 y P903, según el orden definido por los parámetros P702, P703, P704 y P705.
- Sacará al exterior el código M06. Una vez terminada la ejecución de M06, cancelará la salida analógica residual S.

Si el parámetro P709 tiene un valor comprendido entre 1 y 99 el CNC ejecutará automáticamente la subrutina estándar cuyo número corresponda con el del P709. Si P709 es cero, no ejecutará ninguna subrutina.

Téngase en cuenta que en el modo BLOQUE A BLOQUE será necesario dar la orden de MARCHA tantas veces como operaciones diferentes están englobadas en el código M06.

En el modo MANUAL sacará al exterior M19, aplicará al cabezal el valor residual de S y sacará el código M06 anulando la S residual, si previamente los ejes han sido correctamente posicionados para el cambio de herramienta. Si algún eje está fuera de posición, el CNC dará error 51.

Al igual que en el apartado anterior, parará o no el programa en función del estado del parámetro-máquina P601(8). La función M06 hay que personalizarla de forma que se ejecute al final del bloque.

M19: cambio de herramienta y parada orientada del cabezal

Salida analógica S residual para cambio de herramienta y parada orientada del cabezal. Existen dos formas de funcionamiento cuando se ejecuta la función M19:

- Si sólo se programa M19, al ejecutar esta función el CNC saca al exterior el código M19 y aplica una salida analógica S residual definida mediante los parámetros P601(7) y P700. La salida analógica residual desaparece al ejecutarse cualquier otra M o S4 programada.
- Parada orientada del cabezal: Si a continuación de M19 se programa S4.3, el código S4.3 significa la posición de parada del cabezal en grados a partir del impulso cero-máquina, procedente del encoder. El CNC sacará al exterior el código M19 y, a continuación, enviará una salida S analógica definida mediante los parámetros-máquina P601(7) y P700 hasta que el cabezal se sitúe en el punto definido mediante S4.3.

Si se programa en un bloque M19 S4.3, no se admite más información en dicho bloque. La aplicación de esta prestación implica que el cabezal de la máquina deberá disponer de un captador rotativo (encoder).

M22, M23, M24, M25: Operaciones con pallets

Si el parámetro P603(3) tiene valor 1, el CNC puede controlar el trabajo de la máquina con pallets. Los códigos M22, M23, M24 y M25 adquieren, en este caso, un significado preciso.

- M22 Para cargar la pieza en un extremo de la mesa (eje X)
- M23 Para descargar la pieza en el mismo punto que M22
- M24 Para cargar la pieza en el otro extremo de la mesa
- M25 Para descargar la pieza en el mismo punto que M24

Cuando el CNC lee alguno de estos cuatro códigos, ejecuta la siguiente secuencia:

- El CNC envía al armario eléctrico el código M21 si el parámetro P605(3) es 1.
- Mueve el cuarto eje (W) a la posición definida por el parámetro P904, si el parámetro-máquina P605(1) es cero.
- Mueve el eje X a la posición definida por P905 para M22 y M23 o por P906 para M24 y M25.
- Mueve el eje Z a la posición definida por P907 si el parámetro-máquina P605(2) es 1.
- Cuando todos los ejes están en posición, el CNC envía al armario el código oportuno (M22, M23, M24 o M25). Estos códigos son usados por el armario para cargar o descargar la pieza. Durante el proceso de carga o descarga debe aplicarse la señal FEED HOLD al CNC.

Si los parámetros-máquina P710, P711, P712 y P713 correspondientes a las funciones M22, M23, M24 y M25, respectivamente, tienen un valor comprendido entre 1 y 99, el CNC, una vez terminada la ejecución de la M correspondiente, ejecutará automáticamente la subrutina estándar cuyo número corresponde al valor asignado al parámetro. Si dicho parámetro es 0, no ejecutará ninguna subrutina estándar.

Ejemplo: N5 M23

N10 M24

- Bloque N5: El CNC sacará al exterior el código M21 si $P605(3)=1$, colocará la pieza que se acaba de mecanizar en posición de descarga, moviendo los ejes W, X, Z a las posiciones definidas por P904, P905 y P906. A continuación, sacará al exterior el código M23 para que el armario eléctrico ejecute la operación de descarga.
- Seguidamente, si el parámetro P711 correspondiente a la función M23, tiene, por ejemplo, el valor 5, el CNC ejecutará la subrutina estándar número 5.
- Bloque N10: El CNC posicionará la máquina para cargar la nueva pieza desplazando los ejes W, X, Z a las posiciones definidas por P904, P906 y P907. A continuación, sacará al exterior el código M24 para que el armario eléctrico ejecute la operación de cargar la nueva pieza.

Si el parámetro P712 correspondiente a la función M24 tiene, por ejemplo, el valor 0, el CNC dará por finalizada la ejecución de dicho bloque.

La secuencia descrita se ejecuta en los modos AUTOMÁTICO, BLOQUE A BLOQUE y TEACH-IN. Téngase en cuenta que en el modo BLOQUE A BLOQUE será necesario dar la orden de MARCHA tantas veces como operaciones diferentes haya.

En el modo de operación MANUAL, desplazará el último eje de la secuencia y, a continuación, sacará al exterior el código correspondiente (M22, M23, M24, M25), si previamente el resto de los ejes están en posición. En caso contrario, el control dará error 51. Cuando se programa en un bloque alguna de las funciones M22, M23, M24, M25, no se admite más información en dicho bloque.

5. CICLO FIJO

5.1 Concepto

Los ciclos fijos son secuencias de operación fijas, incluidos en el control, que pueden ser utilizados mediante la llamada a un solo bloque. Su objetivo es reducir considerablemente los tiempos de programación y los errores, posibilitando que el usuario pueda utilizar un solo bloque para ejecutar un conjunto de operaciones repetitivas que sólo difieren en ciertos parámetros (longitud, profundidad de la pasada, etc.).

De hecho, son un conjunto de subrutinas paramétricas definidas por el propio sistema. Y muchos controles permiten definir subrutinas elaboradas por los programadores como ciclos propios, siendo llamados por el usuario mediante el uso de una función G.

Las funciones preparatorias usadas para la llamada de ciclos fijos son desde G80 a G89, ambas inclusive (Norma ISO 1056), pero muchos fabricantes hacen uso de funciones no atribuidas para la definición de mayor número de ciclos.

Se pueden distinguir ciclos fijos para operaciones de fresado (en general, de centro de mecanizado) y ciclos fijos de torneado.

6. CICLOS FIJOS DE TORNEADO

El CNC dispone de los siguientes ciclos fijos de mecanizado:

G66: Ciclo fijo de seguimiento de perfil.

G68: Ciclo fijo de desbastado en el eje X.

G69: Ciclo fijo de desbastado en el eje Z.

G81: Ciclo fijo de torneado de tramos rectos.

G82: Ciclo fijo de refrentado de tramos rectos.

G83: Ciclo fijo de taladrado.

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 el eje X.

G89: Ciclo fijo de ranurado en el eje Z.

Un ciclo fijo se define mediante la función G indicativa de ciclo fijo y los parámetros correspondientes al ciclo deseado. Puede ser definido, además, en cualquier parte del programa, es decir, se puede definir tanto en el programa principal como en una subrutina.

Los ciclos fijos se ejecutan siempre en el plano ZX. La ejecución de un ciclo fijo anula la compensación de radio (G41 y G42). Es equivalente a G40.

6.1 Seguimiento de perfil (G66)

Este ciclo mecaniza el perfil programado, manteniendo el paso especificado entre las sucesivas pasadas de mecanizado.

La estructura básica del bloque es: G66 X Z I C L H S E

X ± 5.5: Define la cota según el eje X del punto inicial del perfil. Se programará en cotas absolutas y según las unidades activas, radios o diámetros.

Z ± 5.5: Define la cota según el eje Z del punto inicial del perfil. Se programará en cotas absolutas.

I 5.5: Define el sobrante de material, es decir, la cantidad a eliminar de la pieza origen. Se define en radios y dependiendo de la herramienta utilizada este valor se interpretará como sobrante en X o en Z.

El valor de I se toma como sobrante de material en X cuando la longitud en X de la herramienta es mayor que la longitud en Z, y se toma como sobrante de material de Z en caso contrario. Debe ser mayor o igual que la demasía para el acabado (L), en caso contrario el CNC visualizará el error correspondiente. Si se programa con valor 0, el CNC visualizará asimismo error.

- C 5.5: Define el paso de mecanizado. Se define en radios y dependiendo de la herramienta utilizada este valor se interpretará, al igual que "I", como paso en X o en Z. Si se programa con valor 0, el CNC visualizará el error correspondiente.
- L 5.5: Define la demasía que se dejará en X y Z para efectuar el acabado. Se define en radios y si no se programa, se tomará el valor 0.
- H 5.5: Define la velocidad de avance de la pasada de acabado. Si no se programa o se programa con valor 0, se entiende que no se desea pasada de acabado.
- S 4: Define el número de etiqueta del bloque en el que comienza la descripción geométrica del perfil.
- E 4: Define el número de etiqueta del bloque en el que finaliza la descripción geométrica del perfil.

6.1.1 Sintaxis de programación de perfiles

En la definición del perfil no se debe programar el punto inicial, ya que se encuentra especificado mediante los parámetros X, Z de definición del ciclo fijo.

El primer bloque de definición del perfil y el último (donde finaliza el perfil definido) deberán disponer de número de etiqueta de bloque. Estos números de etiqueta serán los que indiquen al ciclo fijo el comienzo y final de la descripción geométrica del perfil.

La sintaxis de programación del perfil debe cumplir las siguientes normas:

- El perfil puede programarse mediante cotas absolutas e incrementales y estar formado por elementos geométricos simples como rectas, arcos, redondeos y chaflanes, siguiendo para su programación las normas de sintaxis definidas para las mismas.
- En la descripción del perfil no se permite programar imágenes espejo, cambios de escala, giro del sistema de coordenadas o traslados de origen.
- Tampoco se permite programar bloques en lenguaje de alto nivel, como saltos, llamadas a subrutinas o programación paramétrica.
- No pueden programarse otros ciclos fijos.

Para la definición del perfil se puede hacer uso de las siguientes funciones:

G00: Posicionamiento rápido.

- G01: Interpolación lineal.
- G02: Interpolación circular derechas.
- G03: Interpolación circular izquierdas.
- G05: Arista matada.
- G06: Centro circunferencia en coordenadas absolutas.
- G07: Arista viva.
- G08: Circunferencia tangente a trayectoria anterior.
- G09: Circunferencia por tres puntos.
- G36: Redondeo de aristas.
- G39: Achaflanado.
- G53: Programación respecto al cero-máquina.
- G70: Programación en pulgadas.
- G71: Programación en milímetros.
- G90: Programación absoluta.
- G91: Programación incremental.

Si dentro de la definición del perfil se programan las funciones F, S, T, D o M, serán ignoradas por el ciclo fijo.

6.1.1.1 Consideraciones

- Las condiciones de mecanizado (velocidad de avance, velocidad de giro del cabezal, etc.) deben programarse antes de la llamada al ciclo.
- El punto de llamada al ciclo estará situado fuera de la pieza a mecanizar y a una distancia superior al definido como sobrante de material (I).
- Si la posición de la herramienta no es correcta para ejecutar el ciclo, el CNC visualizará el error correspondiente.
- 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, G07, G40 y G90.

6.1.2 Desbastado en el eje X (G68) y en el eje Z (G69)

El ciclo fijo de desbastado en el eje X (G68) mecaniza el perfil programado, manteniendo el paso especificado entre las sucesivas pasadas de mecanizado.

La estructura básica del bloque es: G68 X Z C L H S E

X ± 5.5: Define la cota según el eje X del punto inicial del perfil. Se programará en cotas absolutas y según las unidades activas, radios o diámetros.

Z ± 5.5: Define la cota según el eje Z del punto inicial del perfil. Se programará en cotas absolutas.

C 5.5: Define el paso de mecanizado y se programará mediante un valor positivo expresado en radios. Si se programa con valor 0, el CNC visualizará el error correspondiente.

L 5.5: Define la demasía que se dejará en X y Z para efectuar el acabado. Se define en radios y si no se programa, se tomará el valor 0.

H 5.5: Define la velocidad de avance de la pasada de acabado. Si no se programa o se programa con valor 0, se entiende que no se desea pasada de acabado.

S 4: Define el número de etiqueta del bloque en el que comienza la descripción geométrica del perfil.

E 4: Define el número de etiqueta del bloque en el que finaliza la descripción geométrica del perfil.

El ciclo fijo de desbastado en el eje Z (G69) mecaniza el perfil programado, manteniendo el paso especificado entre las sucesivas pasadas de mecanizado.

La estructura básica del bloque es: G69 X Z C L H S E

6.2 Torneado (G81) y refrentado (G82) de tramos rectos

El ciclo fijo G81 realiza el torneado del tramo programado, manteniendo el paso especificado entre las sucesivas pasadas de torneado.

Permite seleccionar si el ciclo fijo realizará o no una pasada de acabado tras finalizar el torneado programado.

La estructura básica del bloque es: G81 X Z Q R C L M H

- X ± 5.5: Define la cota según el eje X del punto inicial del perfil. Se programará en cotas absolutas y según las unidades activas, radios o diámetros.
- Z ± 5.5: Define la cota según el eje Z del punto inicial del perfil. Se programará en cotas absolutas.
- Q ± 5.5: Define la cota según el eje X del punto final del perfil. Se programará en cotas absolutas y según las unidades activas, radios o diámetros.
- R ± 5.5: Define la cota según el eje Z del punto final del perfil.
- C 5.5: Define el paso de torneado y se programará mediante un valor positivo expresado en radios. Si se programa con valor 0, el CNC visualizará el error correspondiente.
- L 5.5: Define la demasía para el acabado según el eje X y se programará en radios. Si no se programa, se tomará el valor 0.
- M 5.5: Define la demasía para el acabado según el eje Z. Si no se programa, se tomará el valor 0.
- H 5.5: Define la velocidad de avance de pasada de acabado. Si no se programa o se programa valor 0, se entiende que no se desea pasada de acabado.

El ciclo fijo G82 realiza el refrentado del tramo programado, manteniendo el paso especificado entre las sucesivas pasadas de refrentado. Permite seleccionar si el ciclo fijo realizará o no una pasada de acabado tras finalizar el refrentado programado.

La estructura básica del bloque es: G82 X Z Q R C L M H

6.3 Taladrado (G83)

Este ciclo realiza sucesivos pasos de taladrado hasta conseguir la cota final programada. La herramienta retrocede una cantidad fija tras cada taladrado, pudiendo seleccionarse que retroceda siempre hasta la cota de aproximación. Se permite programar una temporización en el fondo de taladrado.

La estructura básica del bloque: G83 X Z I B D K H C

- X ± 5.5:** Define la cota según el eje X donde se desea hacer el agujero. Se programará en cotas absolutas y según las unidades activas, radios o diámetros.
- Z ± 5.5:** Define la cota según el eje Z donde se desea hacer el agujero. Se programará en cotas absolutas.
- I ± 5.5:** Define la profundidad de taladrado. Estará referido al punto de taladrado, por lo que tendrá valor positivo si se taladra en sentido negativo según el eje Z y valor negativo si se taladra en sentido contrario. Si se programa con valor 0, el CNC visualizará el error correspondiente.
- B 5.5:** Define el paso de taladrado. Si se programa con valor 0, el CNC visualizará el error correspondiente.
- D 5.5:** Define la distancia de seguridad e indica a que distancia del comienzo del agujero se posiciona la herramienta en el movimiento de acercamiento. Si no se programa, se tomará el valor 0.
- K 5:** Define el tiempo de espera, en centésimas de segundo, en el fondo del agujero, hasta que comienza el retroceso. Si no se programa, se tomará el valor 0.
- H 5.5:** Define la distancia que retrocederá en rápido (G00) tras cada taladrado. Si no se programa o se programa con valor 0 retrocederá hasta el punto de aproximación.
- C 5.5:** 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.

6.4 Torneado (G84) y refrentado (G85) de tramos curvos

El ciclo fijo G84 realiza el torneado del tramo programado, manteniendo el paso especificado entre las sucesivas pasadas de torneado.

Permite seleccionar si el ciclo fijo realizará o no una pasada de acabado tras finalizar el torneado programado.

La estructura básica del bloque es: G84 X Z Q R C L M H I K

- X ± 5.5: Define la cota según el eje X del punto inicial del perfil. Se programará en cotas absolutas y según las unidades activas, radios o diámetros.
- Z ± 5.5: Define la cota según el eje Z del punto inicial del perfil. Se programará en cotas absolutas.
- Q ± 5.5: Define la cota según el eje X del punto final del perfil. Se programará en cotas absolutas y según las unidades activas, radios o diámetros.
- R ± 5.5: Define la cota según el eje Z del punto final del perfil.
- C 5.5: Define el paso de torneado y se programará mediante un valor positivo expresado en radios. Si se programa con valor 0, el CNC visualizará el error correspondiente.
- L 5.5: Define la demasía para el acabado según el eje X y se programará en radios. Si no se programa, se tomará el valor 0.
- M 5.5: Define la demasía para el acabado según el eje Z. Si no se programa, se tomará el valor 0.
- H 5.5: Define la velocidad de avance de la pasada de acabado. Si no se programa o se programa con valor 0, se entiende que no se desea pasada de acabado.
- I ± 5.5: Define la distancia desde el punto inicial (Z,X) al centro del arco, según el eje X. Se expresará en radios.
- K ± 5.5: Define la distancia desde el punto inicial (Z,X) al centro del arco, según el eje Z.

El ciclo fijo G85 realiza el refrentado del tramo programado, manteniendo el paso especificado entre las sucesivas pasadas de refrentado.

Permite seleccionar si el ciclo fijo realizará o no una pasada de acabado tras finalizar el refrentado programado.

La estructura básica del bloque es: G85 X Z Q R C L M H I K

6.5 Roscado longitudinal (G86) y frontal (G87)

El ciclo fijo de roscado longitudinal (G86) permite tallar roscas exteriores o interiores con paso constante en cuerpos cónicos o cilíndricos.

La estructura básica del bloque es: G86 X Z Q R I B D L C J A

$X \pm 5.5$: Define la cota según el eje X del punto inicial de la rosca. Se programará en cotas absolutas y según las unidades activas, radios o diámetros.

$Z \pm 5.5$: Define la cota según el eje Z del punto inicial de la rosca. Se programará en cotas absolutas.

$Q \pm 5.5$: Define la cota según el eje X del punto final de la rosca. Se programará en cotas absolutas y según las unidades activas, radios o diámetros.

$R \pm 5.5$: Define la cota según el eje Z del punto final de la rosca.

$I \pm 5.5$: Define la profundidad de la rosca y se programará en radios. Tendrá valor positivo en las roscas exteriores y negativo en las interiores. Si se programa con valor 0, el CNC visualizará el error correspondiente.

$B \pm 5.5$: Define la profundidad de las pasadas y se programará en radios.

- Si se programa con valor positivo, la profundidad de cada pasada estará en función del número de pasada correspondiente.

De esta forma las profundizaciones, según el eje X, son: B , $B\sqrt{2}$, $B\sqrt{3}$, $B\sqrt{4}$,...

Si se programa con valor negativo, el incremento de la profundización se mantiene constante entre pasadas, con un valor igual al programado (B).

De esta forma las profundizaciones, según el eje X, son: B , $2B$, $3B$,... nB

- Si se programa con valor 0, el CNC visualizará el error correspondiente.

$D \pm 5.5$: Define la distancia de seguridad e indica a que distancia del punto inicial de la rosca se posiciona la herramienta en el movimiento de acercamiento. Se programará en radios.

La vuelta al punto inicial tras cada pasada de roscado se realiza manteniendo esta misma distancia (D) del tramo programado.

Si el valor programado es positivo, este movimiento de retroceso se realiza en arista matada (G05) y si el valor es negativo en arista viva (G07). Si no se programa, se tomará el valor 0.

L ± 5.5: Define la demasía para el acabado y se programará en radios. Si no se programa, se tomará el valor 0.

- Si se programa con valor 0 se repite la pasada anterior.
- Si se programa con valor positivo, la pasada de acabado se realiza manteniendo el mismo ángulo de entrada "A" que el resto de las pasadas.
- Si se programa con valor negativo, la pasada de acabado se realiza con entrada radial.

C 5.5: Define el paso de rosca. Las roscas a derechas o a izquierdas se programarán indicando el sentido de giro del cabezal M03 o M04. Si se programa el valor 0, el CNC visualizará el error correspondiente.

J 5.5: Salida de la rosca. Define a que distancia, según el eje Z, del punto final de la rosca (R,Q) comienza la salida de la misma. Si no se programa, se tomará el valor 0.

A ± 5.5: Define el ángulo de penetración de la herramienta. Estará referido al eje X y si no se programa, se tomará el valor 30 grados.

- Si se programa A=0, 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, alternando en cada pasada el flanco de la rosca.

El ciclo fijo de roscado frontal (G87) permite tallar roscas exteriores o interiores con paso frontal constante.

La estructura básica del bloque es: G87 X Z Q R I B D L C J A

6.6 Ranurado en el eje X (G88) y en el eje Z (G89)

El ciclo fijo G88 realiza el ranurado en el eje X manteniendo entre las sucesivas pasadas el mismo paso, siendo éste igual o inferior a la anchura de la cuchilla (NOSEW).

La estructura básica es: G88 X Z Q R D K

- X ± 5.5: Define la cota según el eje X del punto inicial de la ranura. Se programará en cotas absolutas y según las unidades activas, radios o diámetros.
- Z ± 5.5: Define la cota según el eje Z del punto inicial de la ranura. Se programará en cotas absolutas.
- Q ± 5.5: Define la cota según el eje X del punto final de la ranura. Se programará en cotas absolutas y según las unidades activas, radios o diámetros.
- R ± 5.5: Define la cota según el eje Z del punto final de la ranura.
- D 5.5: Define la distancia de seguridad y se programará mediante un valor positivo expresado en radios. Si no se programa, se tomará el valor 0.
- K 5: Define el tiempo de espera, en centésimas de segundo, tras cada profundización, hasta que comienza el retroceso. Si no se programa, se tomará el valor 0.

El ciclo fijo G89 realiza el ranurado en el eje Z manteniendo entre las sucesivas pasadas el mismo paso, siendo éste igual o inferior a la anchura de la cuchilla (NOSEW). La estructura básica del bloque es:

7. CICLOS FIJOS DE FRESADO

Los CNC de fresadoras disponen de ciclos fijos de mecanizado que se definen mediante las siguientes funciones G:

G79: Ciclo fijo definido por el usuario.

G81: Ciclo fijo de taladrado.

G82: Ciclo fijo de taladrado con temporización.

G83: Ciclo fijo de taladrado profundo.

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 G03.

7.1 Propiedades de los ciclos fijos de fresado

Todos los ciclos fijos de fresado son modales, es decir, se mantienen activos desde el bloque en que han sido programados hasta ser anulados mediante G80, G02, G03, G32, G53/G59, G92, G74, M02, M30, RESET o EMERGENCIA o al programar otro ciclo fijo.

Los ciclos fijos pueden ser ejecutados en cualquier plano. Por lo tanto, al programar cualquier ciclo fijo, éste se ejecutará en el plano seleccionado, realizándose la profundización en el eje perpendicular a dicho plano.

7.1.1 Zona de influencia del ciclo fijo

Una vez definido un ciclo fijo, todos los bloques que se programen a continuación estarán bajo la influencia de dicho ciclo fijo, mientras el mismo no sea anulado. Es decir, cada vez que se ejecuta un bloque en el que se ha programado algún movimiento de los ejes, automáticamente se efectuará el mecanizado correspondiente al ciclo fijo definido.

La estructura de estos bloques que se hallan dentro de la zona de influencia del ciclo fijo es la normal, salvo que N2 puede programarse al final del bloque (número de veces que se repite el bloque). Si se programa N0, no se ejecutará el ciclo fijo una vez realizado el movimiento.

Dentro de la zona de influencia de un ciclo fijo, si existe un bloque que no contenga movimiento, no se efectuará el mecanizado correspondiente al ciclo fijo definido, salvo en el bloque de llamada.

Si se desea seguir ejecutando el mismo ciclo fijo con cambio de alguno de los parámetros, es necesario definir nuevamente el ciclo.

7.1.1.1 Anulación de ciclo fijo

Al programar en un bloque el código G80, éste anula cualquier ciclo fijo que estuviera activo.

Si se define un ciclo fijo, éste anula y sustituye a cualquier otro que estuviera activo.

Los ciclos fijos también son anulados mediante M02, M30, RESET o EMERGENCIA.

Finalmente, todos los ciclos fijos, salvo el ciclo G79 son anulados mediante la programación de las funciones G32, G53/G59, G74, G92 o cuando se selecciona un nuevo plano principal mediante G17, G18 o G19.

7.1.2 Consideraciones generales

Dentro de una subrutina estándar o paramétrica pueden definirse ciclos fijos.

Desde un bloque de la zona de influencia de un ciclo fijo pueden efectuarse llamadas a subrutinas estándar o paramétricas sin que implique anulación de ciclo fijo.

La ejecución del ciclo fijo no altera la historia de las funciones G anteriores ni el sentido de giro del cabezal. Se puede entrar en un ciclo fijo con cualquier sentido de giro (M03, M04) saliendo con el mismo que se entró. (Las paradas e inversiones que el ciclo implica no afectan a lo indicado).

Caso de entrar en el ciclo fijo con el cabezal parado, éste arrancará a derechas (M03), manteniéndose el sentido de giro una vez terminado el ciclo.

La ejecución de un ciclo fijo anula la compensación de radio. Es equivalente a G40.

En el bloque de definición de un ciclo fijo, si tras la G correspondiente al ciclo, se programa G02, G03, G08, G09 o G33, esta función eliminará dicha G.

Cuando se define un ciclo fijo, salvo el G79, estando activa la función G02, G03, G33 o se programa la función G08 o G09 en el mismo bloque, el CNC dará error.

Una vez definido cualquier ciclo fijo, en los bloques que vienen a continuación, es posible programar las funciones G02, G03, G08 o G09.

7.2 Ciclo fijo G79

Por medio de la función G79, podemos dar a cualquier subrutina paramétrica definida por el usuario (G23 N2) la categoría de un ciclo fijo, esto quiere decir que los bloques que están a continuación del bloque de llamada (G79 N2), quedan dentro de la zona de influencia del ciclo fijo hasta que sea anulada la función G79.

El formato del bloque de llamada es: N4 G79 N2 P2=K--P2=K--...

Al leer un bloque programado de esta forma, el CNC ejecutará el subprograma paramétrico N2, que estará definido mediante G23 N2 en cualquier parte del programa o bien, en otro programa.

En el bloque de llamada se pueden asignar valores a los parámetros (P2=K-- P2=K--...). Si a continuación de este bloque, se programa algún otro con movimiento de los ejes, tras dicho movimiento se ejecutará la subrutina N3.

Dentro de la definición de una subrutina paramétrica (G23 N2), que vaya a ser llamada mediante la función G79, no puede programarse ningún otro ciclo fijo. Sin embargo, sí se permite programar la anulación del ciclo mediante la función G80, que obligatoriamente deberá programarse sola en el bloque y que definirá el final de la subrutina. En el supuesto de que la subrutina tenga más de un nivel de imbricación, la función G80 solamente se podrá programar dentro del primer nivel.

7.3 Definición del ciclo fijo (G81, G82, G84, G85, G86, G89)

La estructura básica del bloque en que se define un ciclo fijo, de los arriba indicados es la siguiente: N4 G8? G(98 ó 99) X+/-4.3 Y+/-4.3 Z+/-4.3 I+/-4.3 K3.2 N2

G8?: Código del ciclo fijo elegido.

G98: Retroceso del eje perpendicular al plano principal hasta el plano de partida, una vez realizado el mecanizado del agujero.

G99: Retroceso del eje perpendicular al plano principal hasta el plano de referencia (de acercamiento) una vez realizado el mecanizado del agujero. Llamamos plano de referencia a un plano cercano a la superficie de la pieza.

X+/-4.3: Estos valores tienen diferente significado, dependiendo

Y+/-4.3: del plano principal en el cual estemos trabajando.

Z+/-4.3:

I+/-4.3: Define la profundidad del mecanizado. Si se trabaja en G90 los valores son absolutos, es decir, están referidos al origen del eje perpendicular al plano principal. Si se trabaja en G91 los valores son incrementales, es decir, están referidos al plano de referencia (de acercamiento).

K3.2: Define el tiempo de espera en segundos, desde que alcanza el fondo del mecanizado hasta que comienza su retroceso. Se puede programar un valor comprendido entre K0.00 (0,00 segundos) y K99.99 (99,99 segundos) o bien si programamos con un parámetro (K P2), éste puede tener un valor quizás mayor.

La programación de este parámetro, sólo es obligatoria en el ciclo de taladrado con temporización G82 si es que no se programa el CNC dará error. En el resto de los ciclos fijos, si no se programa el parámetro K, el CNC tomará como valor K0.

N2: Define el número de veces que se desea repetir la ejecución del bloque. Se puede programar un valor comprendido entre N0 y N99, sin embargo, si programamos con un parámetro (N P2), éste puede tener un valor mayor. Si no se programa el parámetro N, el CNC asume el valor N3.

Obviamente, la programación de valores de N superiores a 1 tiene sentido siempre que se trabaje en G91, es decir, que los valores de desplazamiento de los ejes sean incrementales, puesto que al contrario se repetirán los mecanizados en el mismo punto. Al programarse un número de veces el mismo ciclo fijo, únicamente se ejecutarán las funciones F, S y M en el bloque de llamada al ciclo.

7.4 Taladrado (G81)

Las operaciones y movimientos de la herramienta (eje Z) son los siguientes:

- Si el cabezal estaba previamente en marcha, el sentido de giro se mantiene. Caso de estar parado, arrancará a derechas (M03).
- Desplazamiento en rápido del eje Z desde el plano de partida hasta el plano de referencia (de acercamiento).
- Desplazamiento en avance de trabajo del eje Z hasta el fondo del mecanizado.
- Tiempo de espera si se ha programado K.

- Retroceso en rápido de la herramienta (eje Z) hasta el plano de referencia (de acercamiento), si se ha programado G99.
- Retroceso en rápido hasta el plano de partida si se ha programado G98.

Ejemplo G81:

Realizar cuatro taladros de 20 mm de profundidad en coordenadas polares.

- Suponer que:

La distancia entre el punto de referencia y la superficie de la pieza es de 2 mm.

El punto de partida es X0, Y0, Z0 y el cabezal está parado.

```

N0 G81 G98 G00 G91 X250 Y350 Z-98 I-22 F100 S500
N1
N5 G93 I250 J250
N10 A-45 N3
N15 G80 G90 X0 Y0
N20 M30
    
```

- Explicación del programa

PRIMER BLOQUE (N0):

G81: Define el ciclo fijo de taladrado.

G98: Define el retroceso de la herramienta (eje Z) hasta el plano de partida.

G00: Define que el movimiento de los ejes X e Y se efectúen en rápido.

G91: Indica que las dimensiones X, Y, Z, I son incrementales.

X(): Desplazamiento en milímetros de dichos ejes.

Y()

Z(): Desplazamiento en milímetros de la herramienta (eje Z), desde el plano de partida hasta el de referencia.

I(): Desplazamiento en milímetros desde el plano de referencia hasta el fondo del mecanizado.

F(): Avance de trabajo en mm/min.

S(): Revoluciones/min. del cabezal.

N(): Número de veces que se repite el bloque.

SEGUNDO BLOQUE (N5):

G93: Define el origen de coordenadas polares (origen polar).

I(): Cotas (abscisa, ordenada) del origen polar.

J():

TERCER BLOQUE (N10):

A(): Desplazamiento angular incremental, tomando como origen polar el definido en N5.

N(): Número de veces que se repite el bloque.

CUARTO BLOQUE (N15):

G80: Anulación del ciclo fijo.

G90: Define que las dimensiones son absolutas.

X(): Coordenadas absolutas de dichos ejes.

Y()

QUINTO BLOQUE (N20):

M30: Fin de programa con vuelta al primer bloque.

7.5 Taladrado con temporización (G82)

Las operaciones y movimientos de la herramienta (eje Z) son las siguientes:

- Si el cabezal estaba previamente en marcha, el sentido de giro se mantiene. Si estaba parado arrancará girando a derechas (M03).

- Desplazamiento en rápido del eje Z desde el plano de partida hasta el plano de referencia (de acercamiento).
- Desplazamiento en avance de trabajo del eje Z hasta el fondo del mecanizado.
- Tiempo de espera. Se puede programar un tiempo entre 0,00 y 99,99 segundos o bien, si programamos con un parámetro (K P2), éste puede tener un valor mayor. En este ciclo es obligatorio programar la temporización K.
- Retroceso en rápido del eje Z hasta el plano de referencia, caso de programar G99.
- Retroceso en rápido del eje Z hasta el plano de partida, caso de programar G98.

7.6 Taladrado profundo (G83)

Este ciclo fijo se programa según el siguiente formato:

N4 G83 G98/G99 X+/-4.3 Y+/-4.3 Z+/-4.3 I+/-4.3 J2 N2

El significado de los valores es el siguiente:

G83: Código del ciclo fijo de taladrado profundo.

G98: Retroceso del eje perpendicular al plano principal, hasta el plano de partida, una vez realizado el mecanizado.

G99: Retroceso del eje perpendicular al plano principal, hasta el plano de referencia, una vez realizado el mecanizado.

X+/-4.3: Estos valores tienen diferente significado dependiendo

Y+/-4.3: del plano principal en el que estemos trabajando.

Z+/-4.3:

I+/-4.3: Define el valor de cada paso de mecanizado y se trata siempre de un valor incremental.

J2: Define el número de pasos en que se realiza el mecanizado. Se puede programar un valor comprendido entre J00 y J99.

N2: Define el número de veces que se desea repetir la ejecución del bloque. Se puede programar un valor comprendido entre N0 y N99, sin embargo, si programamos con un parámetro (N P2), éste puede tener

un valor mayor que el numérico en bloque. Si no se programa el parámetro N, el CNC asume el valor N3. Obviamente la programación de valores de N superiores a 1, tiene sentido siempre que se trabaje en G91, es decir, que los valores de desplazamiento de los ejes sean incrementales, puesto que de lo contrario, se repetirán los mecanizados en el mismo punto al programarse un número de veces el mismo ciclo fijo, únicamente se ejecutarán las funciones F, S y M en el bloque de llamada al ciclo.

Las operaciones y movimientos de la herramienta, en el ciclo G83 programada de la forma indicada en el primer formato son las siguientes:

Supongamos que el eje de la herramienta es el eje Z.

3. Si el cabezal estaba previamente en marcha, el sentido de giro se mantiene. Si estaba parado arrancará a derechas (M03).
3. Desplazamiento en rápido del eje Z desde el plano de partida hasta el plano de referencia.
3. Desplazamiento en avance de trabajo hasta la profundidad incremental programada (I).
4. Retroceso en rápido hasta el plano de referencia.
5. Desplazamiento en rápido del eje Z hasta una cota de 1 mm menor de la última profundidad incremental alcanzada (I).
6. Desplazamiento en avance de trabajo hasta 2I.
7. Retroceso en rápido hasta el plano de referencia.
8. Los puntos 4, 5, 6 y 7 se repiten tantas veces como se haya programado mediante J3. El máximo es de 99 veces, alcanzándose sucesivamente las profundidades 3I, 4I, ... hasta el total JI.
9. Retroceso en rápido del eje Z hasta el plano de referencia, caso de programar G99. Retroceso en rápido hasta el plano de partida, caso de programar G98.

Ejemplo:

Realizar dos taladros de 64 mm de profundidad.

Supongamos que:

- El plano principal es el formado por los ejes X e Y.
- La distancia entre el plano de referencia y la superficie de la pieza es de 2 mm.
- El punto de partida de la herramienta es X0, Y0, Z0 y que el sentido de giro del cabezal es a izquierdas (M04).

N0 G83 G99 G00 G90 X50 Y50 Z-98 I-22 J3 F100 S500 N1

N5 G98 G00 G91 X500 Y500 N1

N10 G00 G80 G90 X0 Y0

N15 M30

7.7 Roscado con macho (G84)

Las operaciones y movimientos de la herramienta (eje Z) son los siguientes:

- Si el cabezal estaba previamente en marcha, el sentido de giro se mantiene. Si estaba parado arrancará a derechas (M03).
- Desplazamiento en rápido del eje Z desde el plano de partida hasta el plano de referencia (de acercamiento).
- Desplazamiento en avance de trabajo del eje Z hasta el fondo del mecanizado.
- Parada o no del cabezal (M05), dependiendo del valor dado al parámetro-máquina correspondiente.
- Tiempo de espera, si es que se ha programado. Se puede programar un tiempo entre 0,00 y 99,99 segundos o bien, si programamos con un parámetro (K P2) éste podrá tener un valor mayor.
- Inversión del giro del cabezal.
- Retroceso en avance de trabajo del eje Z hasta el plano de referencia.
- Parada o no del cabezal (M05), dependiendo del valor dado al parámetro-máquina correspondiente.
- Tiempo de espera (mismo valor que el programado anteriormente).
- Inversión de giro del cabezal.
- Retroceso en rápido del eje Z hasta el plano de partida, caso de programar G98.

En el ciclo fijado de roscado con macho (G84) la velocidad de avance del eje perpendicular al plano principal será el 100% de la F programada,

independientemente de la posición que ocupa el conmutador FEED RATE (% de velocidad). Asimismo, la velocidad de giro del cabezal se mantendrá al 100% de la programada, no pudiéndose variar mediante las teclas del frontis, la velocidad de giro (S) durante el movimiento del eje perpendicular al plano principal.

7.8 Escariado (G85)

Es idéntico a G81 salvo que el retroceso del eje perpendicular al plano principal, desde el fondo del mecanizado hasta el plano de referencia, se realiza en avance de trabajo.

7.9 Mandrinado (G86, G89)

7.9.1 Ciclo fijo de mandrinado con retroceso en avance rápido (G86)

Idéntico a G81 salvo que una vez alcanzado el fondo del mecanizado y antes de que el eje perpendicular al plano principal retroceda, se detiene el cabezal. Al terminar el retroceso con avance rápido, el cabezal arrancará en el mismo sentido en que está girando anteriormente.

7.9.2 Ciclo fijo de mandrinado con retroceso en avance de trabajo (G89):

Idéntico a G81 salvo que una vez alcanzado el fondo del mecanizado, el retroceso hasta el plano de referencia se efectúa en avance de trabajo.

7.10 Cajera rectangular (G87) y cajera circular (G88)

Trabajando en coordenadas cartesianas, la estructura básica del bloque en que se define un ciclo es:

N4 (G87 ó G88) (G98 ó G99) X+/-4.3 Y+/-4.3 Z+/-4.3 I+/-4.3 J+/-4.3 K4.3 (sólo para G87) B4.3 C4.3 D+/-4.3 H4 L4.3 F4 N2

G87 ó G88: Código del ciclo fijo elegido.

G98: Retroceso del eje perpendicular al plano principal hasta el plano de partida, una vez realizado el mecanizado de la cajera.

G99: Retroceso del eje perpendicular al plano principal hasta el plano de referencia (de acercamiento), una vez realizado el mecanizado de la cajera.

X+/-4.3: Estos valores tienen diferentes significados

Y+/-4.3: dependiendo del plano principal en el que estamos

Z+/-4.3: trabajando.

I+/-4.3: Define la profundidad de mecanizado. Si se trabaja en G90 los valores son absolutos, es decir, están referidos al origen del eje perpendicular al plano principal. Si se trabaja en G91 los valores son incrementales, es decir, están referidos al plano de referencia (de acercamiento).

J+/-4.3: En el caso de G87 (cajera rectangular) define la distancia desde el centro hasta el borde de la cajera según el eje correspondiente:

- Según el eje X en el plano XY (G17).
- Según el eje X en el plano XZ (G18).
- Según el eje Y en el plano YZ (G19).

En el caso de G88 (cajera circular) define el radio de la cajera. Según se le asigne signo positivo o negativo cambia el sentido de mecanizado.

K4.3: Sólo se emplea en el caso de ciclo fijo G87 y define la distancia desde el centro hasta el borde de la cajera según el eje correspondiente. Sólo pueden programarse valores positivos:

- Según el eje Y en el plano XY (G17).
- Según el eje Z en el plano XZ (G18).
- Según el eje Z en el plano YZ (G19).

B 4.3: Define el valor de cada paso de mecanizado según el eje perpendicular al plano principal. Sólo admite valores positivos.

C4.3: Define el valor de cada paso de mecanizado según el plano principal. Sólo admite valores positivos. Si no se introduce este parámetro, el CNC

supondrá como paso un valor $3/4$ del diámetro de la herramienta introducida.

D+/-4.3: Define la distancia entre el plano de referencia (de acercamiento) y la superficie de la pieza. Mediante D se consigue desplazar el eje perpendicular al plano principal en rápido hasta el plano de referencia y a continuación en avance de mecanizado una distancia igual a D+B. Los demás pasos del eje perpendicular al plano principal serán de valor igual a B. En el caso que a D se le de un valor negativo la primera profundización será menor que B(-D+B).

H4: Define el avance en la última pasada de mecanizado (acabado).

L4.3: Define el valor de pasada de acabado, según el plano principal. Sólo admite valores positivos. El CNC irá desplazando la máquina en pasos sucesivos según los valores programados de B y C, salvo en la última pasada en que ajustará los valores de acuerdo a las dimensiones de la cajera.

F4: Define el avance de mecanizado. Los avances de mecanizado del eje perpendicular al plano principal se efectúan al 50% del valor programado F.

N2: Define el número de veces que se desea repetir la ejecución del ciclo definido en el bloque. Se puede programar un valor comprendido entre N0 y N99, sin embargo, si programamos con un parámetro (N P2), éste puede tener un valor mayor. Si no se programa el parámetro N, el CNC asume el valor N1. Obviamente, la programación de valores de N superiores a 1 tiene sentido siempre que se trabaje en G91, es decir, que los valores del centro de la cajera sean incrementales, puesto que al contrario se repetirán los mecanizados en el mismo punto.

7.10.1 Ciclo fijo de cajera rectangular (G87)

Las operaciones y movimientos de la herramienta son los siguientes:

- Si el cabezal estaba previamente en marcha, el sentido de giro se mantiene. En caso de estar parado, arrancará a derechas (M03).
- Desplazamiento en rápido del eje Z desde el plano de partida hasta el plano de referencia (de acercamiento).

- Desplazamiento al 50% del avance de trabajo (F) del eje Z a una distancia igual a (D+B).
 - D: Distancia entre el plano de referencia y la superficie de la pieza.
 - B: Valor en profundidad de cada pasada de mecanizado.
- Fresado en avance de trabajo (F) de la superficie de la cajera en pasos definidos mediante C, hasta una distancia L (pasada de acabado), de la pared de la cajera.
- Fresado en avance de trabajo H, de la pasada de acabado.
- Una vez finalizada la pasada de acabado, la herramienta retrocede en avance rápido al centro de la cajera, subiendo el eje Z, 1 mm. De esta forma, finaliza la primera profundización.
- Desplazamiento al 50% del avance de trabajo (F) del eje Z de una distancia igual a B+1.
- Fresado en avance de trabajo (F) de la superficie de la cajera (segunda profundización).
- Se repiten los pasos anteriores hasta alcanzar la profundidad total de la cajera.
- Una vez terminada la cajera, la herramienta retrocede en rápido (eje Z) hasta el plano de referencia (si se ha programado G99) o hasta el plano de partida (si se ha programado G98).

Para poder conseguir un buen acabado en el mecanizado de las paredes de la cajera, el CNC efectúa una entrada y salida tangenciales en la última pasada de cada una de las profundizaciones.

Para evitar problemas y posibles fallos de mecanizado, es obligatorio programar el código de herramienta (T.2) e introducir en la tabla de herramientas el valor del radio de la herramienta que se vaya a utilizar.

Si el valor de radio introducido en la tabla de herramientas es R0, la última pasada de las paredes se efectúa como todas las demás, es decir, sin entrada ni salida tangenciales.

El valor de R nunca puede ser negativo. Si no se programa la herramienta (T.2), el CNC toma como radio de herramienta el valor de R del último corrector utilizado.

Ejemplo

Realizar una cajera rectangular de 105 x 75 mm de superficie y 40 mm de profundidad.

- La distancia entre el plano de referencia y la superficie de la pieza es de 2 mm.
- El punto de partida de la herramienta es X0, Y0, Z0 y el cabezal está parado.
- La herramienta tiene 7,5 mm de radio y es la 1 (T1.1).

N0 G87 G98 G00 G90 X90 Y60 Z-48 I-90 I52,5 K37,5 B12 C10 D2 H100 L5 F300
S1000 T1.1 M03

N5 G80 X0 Y0

N10 M30

Hay que destacar la posibilidad que existe de realizar cajeras cuyos lados no sean paralelos a los ejes de coordenadas; aplicando la función de giro de sistema de coordenadas. Esta prestación permite una rápida programación de cajeras en cualquier punto de cualquier plano.

Ejemplo

El punto inicial es X0, Y0, Z0 y la cajera se realiza en el plano (XZ). El giro se efectúa utilizando la función G73.

N5 G18

N10 G87 G98 G00 G90 X200 Y-48 Z0 I-90 J52.5 K37.5

B12 C10 D2 H100 L5 F300

N20 G73 A45 Girar 45 grados

N30 G25 N10.20.7 Repetir de 70 a 20, 7 veces

N40 M30

7.10.2 Ciclo fijo de cajera circular (G88)

Las operaciones y movimientos de la herramienta son similares al G87:

Ejemplo

Realizar una cajera circular de 70 mm de radio y 40 mm de profundidad.

Se supone que:

- La distancia entre el plano de referencia y la superficie de la pieza es de 2 mm.
- El punto de partida de la herramienta es el X0, Y0, Z0 y el cabezal está parado.
- La herramienta tiene 7,5 mm de radio y es la 1 (T.1).

```
N0 G88 G98 G00 G90 X90 Y80 Z-48 I-90 J70 B12 C10 D2 H100 L5 F300 S1000  
T.1 M3
```

```
N5 G80 X0 Y0
```

```
N10 M30
```

8. PROGRAMACIÓN PARAMÉTRICA

8.1 Objetivos

En los temas expuestos se ha presentado lo fundamental de la programación mediante control asignando valores numéricos fijos en los bloques de que consta el programa.

Este modo de programar, útil y válido para muchas de las aplicaciones en CN, incrementa notablemente sus potencialidades y versatilidad mediante el uso de parámetros y las operaciones que entre ellos pueden realizarse.

Los programas que hacen uso de los parámetros se transforman en programas más generales, más útiles en la ejecución diaria de formas que poseen características comunes y que se diferencian en algo más que en un mero factor de escala.

El objetivo de este tema consiste en presentar las características fundamentales de la programación paramétrica (número de parámetros, definición, operaciones que pueden realizarse, aplicaciones a las bifurcaciones de programas) de modo que permita al alumno abordar la realización de programas más generales y potentes. Las ventajas que se derivan del uso correcto de parámetros son diversas: El número de programas a mantener se reduce y por tanto las dificultades para documentar convenientemente las piezas que se fabrican. Al disponer de una biblioteca amplia y documentada de programas es más fácil construir nuevos programas adaptados a nuevas necesidades de fabricación.

Se denominan parámetros a espacios de la memoria del equipo CNC a los que tiene acceso el programador para almacenar y leer valores numéricos con los que puede llevar a cabo cualquier operación de programación de trayectorias, forma de decisión respecto de la herramienta a utilizar, características de corte o forma a mecanizar, por ejemplo.

Entre los elementos de la familia existe algo más que una mera y simple relación de escala, por lo que no puede utilizarse la función preparatoria G72 y el factor K.

Observando la familia vemos que todas las piezas que la componen se diferencian en los valores de sus cinco cotas, en otras palabras cada elemento de la familia queda caracterizado por el valor que toman cinco parámetros.

Disponiendo de la capacidad de definir parámetros y que estos sean utilizados como los valores de las coordenadas en las funciones de programación de trayectorias, un único programa servirá para mecanizar toda la familia, con lo que se simplificaría notablemente la necesidad de programación.

8.2 Parámetros

Un parámetro sustituye a un valor numérico de una dirección en un programa. Al parámetro se le asignan valores dentro del programa y así se puede ajustar un programa para varios empleos similares (por ejemplo, diferente avance, velocidad del cabezal para diferentes materiales, ciclos de trabajo).

Los parámetros se componen de una dirección R o P u otra denominación (según controles) y de un número de 3 cifras como máximo. En la ejecución básica, el control dispone de varios parámetros que están subdivididos en los sectores parámetros de transmisión, parámetros de cálculo, parámetros declarados dependientes e independientes del canal y parámetros centrales.

Todas las direcciones pueden asignarse a un parámetro en lugar de un valor, a excepción de N.

Ejemplo:

$$N5 Z = -R5$$

8.2.1 Definición de parámetros

Con la definición de los parámetros R, se asignan a los distintos parámetros R determinados valores numéricos con signo antepuesto. La definición de los parámetros R puede tener lugar en programas de piezas y/o en subprogramas.

$$R1 = 10$$

La definición de parámetros, la llamada del subprograma y las funciones de maniobra pueden estar en una secuencia. El valor definido para un parámetro es asignado directamente a la dirección.

Ejemplo:

%	5772
N1	...

.
.
... N37 R1=10.R29=20.05 R5=50.
N38 L51 P2
N39 M02
L51
N1 Z=-R5 B=-R1
N2 X=-R29
...
N50 M17

Comentarios:

N37: Definición del parámetro.

N38: Llamada del subprograma 51 con 2 pasadas.

8.2.2 Operaciones con parámetros

Con los parámetros se puede operar con cualquiera de las cuatro clases de operaciones básicas. Sin embargo, la serie de la combinación es determinante para el resultado de la operación.

La propiedad distributiva de la multiplicación y la división respecto de la adición y la sustracción no tiene aquí vigor.

El resultado de una operación de cálculo se encuentra en el parámetro primeramente nombrado de una combinación. Por tanto, su valor inicial se pierde con el resultado de la operación. El valor del segundo y/o tercer parámetro permanece.

En otro tipo de control se puede encontrar mayor número de operaciones, por ejemplo en FAGOR 8020.

F1: Suma
F2: Resta
F3: Multiplicación
F4: División

- F5: Raíz cuadrada
F6: Raíz cuadrada de la suma de los cuadrados
F7: Seno
F8: Coseno
F9: Tangente
F10: Arco tangente
F11: Comparación
F12: Parte entera
F13: Parte entera más uno
F14: Parte entera menos uno
F15: Valor absoluto
F16: Complementación
F17 y F?: Operaciones especiales

8.2.2.1 Asignación de valor bajo parámetros

Si un parámetro ha de mantener el valor de otro parámetro, rige:

$$R1 = R3$$

8.2.2.2 Adición y sustracción de números y parámetros

Se puede sumar un parámetro al valor de una dirección o restar ésta a dicho parámetro. Para ello, ha de mantenerse el orden dirección, valor numérico, parámetro. Los símbolos de las distintas operaciones han de escribirse.

La ausencia de signo significa más (+).

$$Y = 10 + R100$$

Ejemplo:

$$N38 \quad R1=9,7 \quad R2=-2,1$$

$$N40 \quad X=20.3+R1$$

$$N41 \quad Y=32.9-R2$$

$$N42 \quad Z=19.7-R1$$

Resultado: $X = 30$, $Y = 35$, $Z = 10$

8.2.2.3 Operaciones con números y parámetros

- Multiplicación, división, adición y sustracción de números absolutos y parámetros R

$$R10 = 15 + R11$$

- Encadenamiento de parámetros:

$$R1 = R2 + R3 - R4 * R5 / R6 \dots\dots\dots$$

- Las cuatro operaciones básicas están permitidas en cualquier orden.
- En una serie de parámetros pueden encadenarse 10 como máximo.
- Una serie de parámetros está limitada a la longitud de secuencia de 120 símbolos como máximo.

Se calcula de la siguiente manera:

Paso 1º $R1 = R2$

Paso 2º $R1 = R1 + R3$

Paso 3º $R1 = R1 - R4$

Paso 4º $R1 = R1 * R5$

Paso 5º $R1 = R1 / R6$

8.2.3 Ejemplos de programación con parámetros

8.2.3.1 Cajera rectangular

Fresado de un rectángulo.

R2 = Profundidad de posicionado en el eje Z.

B1 = Principio y fin del subprograma.

El subprograma siguiente está diseñado para la mecanización en el plano X-Y de un rectángulo con relación de lados variables, siendo los lados paralelos a los ejes de la máquina.

Subprograma

L46

```

N5      G01      G64      G91      Z=-R2
N10     X=R0
N15     G02      X=R3  Y=-R3  I0      J=-R3
N20     G01      Y=-R1
N25     G02      X=-R3  Z=-R3  I=-R3  J0
N30     G01      X=-R0
N35     G02      X=-R3  Y=-R3  I0      J=R3
N40     G01      Y=R1
N45     G02      X=R3      Y=R3      I=R3      J0
N50     G01      Z=R2
N55     M17
    
```

Llamada del subprograma

```

N26     G90     X...Y...
N27     L46     P1 R0=60 R1=30.R2=5. R3=8.
N28     G90     X...Y...
N29     L46     P1 R0=40.
    
```

N26: Primer punto de partida en el programa en curso

N28: Segundo punto de partida

8.2.3.2 Mecanizado de un semicírculo en contorno interior

El subprograma siguiente sirve para el mecanizado de desbaste y acabado de un semicírculo. El radio del contorno y el del círculo de entrada son variables por medio de parámetros. Después de cada pasada puede comprobarse la diferencia entre la medida real y la prescrita de la pieza. Esta diferencia se introduce, de forma aditiva, como desgaste de la herramienta.

Subprograma:

```

L11
N1      R1=R1-R9
N2      G00      G64      G91      G17      G41      D01
N3      R1=R1+R9
    
```

```

N4    G03    X=-R9 Y=-R9 I0    J=-R9
N5    X=R1    Y=-R1 I=R1    J0
N6    X=R1    Y=R1    I0    J=R1
N7    X=-R9    Y=R9    I=-R9 J
N8    R1=R1-R9
N9    G00    G40    X=-R1 Y=-R9
N10   R1=R1+R9 M01
N11   M17
    
```

Descripción:

N1: Cálculo del círculo de entrada.
 N2: Posicionamiento del círculo de entrada.
 N3: Vuelta de R1 al valor original.
 N4: Posicionamiento en el contorno.
 N5: Mecanizado.
 N6: Mecanizado.
 N7: Separación del contorno.
 N8: Cálculo del centro de la pieza.
 N9: Posicionamiento.
 N10: Vuelta de R1 al valor original.
 N11: Fin del subprograma.

Llamada del subprograma:

```

%      5873
N1     ....
N2     L11  P1 R1=50. R9=10
N3     ....
    
```

8.2.3.3 Fresado de líneas

Las transiciones están programadas con radios, para que en las transiciones de una a otra dirección de desplazamiento no se produzca ninguna reducción de la velocidad de avance, ni ninguna marca de corte en vacío.

Llamada de L34 en el programa principal:

```
N15 L34 P9 R0=40.R1=10.R2=480. F200
```

Subprograma:

```
L34
N1      G01      G64      G91      X=R0
N2      G03      X=R1      Y=R1      I0.      J=R1
N3      G01      Y=R2
N4      G02      X=R1      Y=R1      I=R1      J0.
N5      G01      X=R0
N6      G02      X=R1      Y=-R1 I0.      J=-R1
N7      G01      Y=-R2
N8      G03      X=R1      Y=-R1 I=R1      J0.
N9      M17
```

8.3 Saltos condicionales

Muchos controles disponen de funciones de salto condicional. La condición para que se efectúe el salto se establece en unos banderines o indicadores externos al programa. Ciertas operaciones con parámetros activan y desactivan estos banderines ya que así lo ha preparado el fabricante.

El lenguaje de programación usa entonces una serie de funciones que provocan saltos con la condición de que algún indicador esté activado. El ejemplo siguiente está realizado con un FAGOR 8020.

8.3.1 Cardioide

Ponemos como ejemplo la programación de una cardioide, cuya fórmula es: $R = B / \cos A/2$

Se denomina: P0 ---> A (ángulo)

P1 ---> B (con valor 30)

El punto inicial es X0 Y0.

N10 G93 G01 F500

N20 P0=K0

N30 P1=K30 : P2=P0 F4 K2 : P3=F8 P2 : P4=F15 P3 : P5=P1 F3 P4

N40 G01 G05 R P5 A P0 Bloque de movimiento

N50 P0=P0 F1 K5 Sumamos 5 grados al ángulo

N60 P0=F11 K365 Comparamos con 365 grados

N70 G27 N30 Si no es igual a 365 grados salta al bloque N30

N80 X0 Y0

N90 M30

Explicación:

N10: G93 Elige coordenadas polares

N20: Se inicializa el parámetro P0 a 0

N30: Se inicializa el parámetro P1 a 30

P2 se iguala a A/2 (F4 = división)

P3 se iguala al coseno de P2 (F8 = coseno)

P4 es el valor absoluto de P3 (F15 = valor absoluto)

P5 es P1 por P4 (F3 = multiplicación)

P5 es pues el radio del cardioide

N40: Interpolación lineal trabajo en arista matada, mecanizada hasta
coordenada (R = P5 y A = P0)

N50: Se suman 5 grados al ángulo

N60: Se compara con 365 grados

N70: Salto si se ha activado el indicador "no es igual" a la 30.

8.4 Subrutinas.

8.4.1 Objetivos

El diseño de los productos a fabricar tiende a estructurarse, dentro de lo posible, en los campos de la normalización. La visión actual de diseño viene, por tanto, no sólo condicionada por la estética del mismo que le hará más llamativo ante una posible demanda, sino también por una versatilidad de su concepción que permita su manufactura de la forma más útil y económica posible.

Es por ello por lo que llegado el momento de establecer las formas de un nuevo producto, con el fin de abaratar los costes del mismo, debe recurrirse, en la medida de lo posible, a enmarcarse en patrones homogéneos de productos anteriormente diseñados que permitan la máxima utilización común de los programas de producción.

Entrando, pues, en el marco de diseños similares, se producen en muchos casos diferencias exclusivamente en medidas que hacen posible la construcción de los mismos con pequeños cambios tecnológicos. Cuando esto se produce suele ser de gran utilidad la aportación dada en el campo del CNC por las denominadas subrutinas estándar u ordinarias y por las subrutinas paramétricas principalmente.

A continuación, trataremos de definir las, identificarlas y determinar cómo se realiza su llamada. Este tema no merece más extensión, salvo la realización de aplicaciones prácticas.

Se denomina subrutina (o subprograma, término igualmente utilizado) a una parte de programa que, perfectamente identificada, puede ser llamada desde cualquier posición de un programa para ser ejecutada.

Cualquier subrutina puede ser requerida o llamada varias veces desde diferentes posiciones de un mismo programa o desde diferentes programas.

La llamada una sola vez de una subrutina no implica por ello que no pueda repetirse su ejecución, sino que puede hacerse tantas veces como se requiera de acuerdo con la programación prevista y con las limitaciones propias del sistema. Veremos, más adelante, cómo se identifica el número de veces a realizar una subrutina.

Una subrutina puede estar almacenada en la memoria del CNC bien como un programa independiente o bien como parte de un programa.

Las subrutinas pueden ser paramétricas y ordinarias. Son básicamente iguales y la diferencia existente entre ambas viene determinada por que en el caso de las

primeras, en el bloque de llamada puede definirse un número determinado de parámetros en base al sistema utilizado, en tanto que en las segundas no se permite la definición de los parámetros en el bloque de llamada.

Por último, diremos que el máximo número de parámetros de una subrutina estándar o paramétrica viene determinado por el sistema y es limitado, aún comprendiendo un campo amplio de aplicación.

8.4.2 Subrutinas ordinarias

8.4.2.1 Identificación (G22)

Antes de comenzar este apartado, queremos hacer mención a la nomenclatura que vamos a utilizar tanto en él como en los siguientes, con el fin de clarificar los temas. Dicha nomenclatura está de acuerdo con la que mencionábamos en temas anteriores cuando nos referíamos a las funciones preparatorias y es una de las utilizadas en algunos sistemas. Queremos recalcar, no obstante, que tal y como apuntábamos en esos temas, la nomenclatura puede variar según el sistema de CNC disponible.

Así pues, en el sistema considerado diremos que una subrutina ordinaria (no paramétrica) empieza siempre con un bloque que contiene la función G22. El formato del bloque de comienzo de la subrutina es, por tanto:

```
N10 G22 N50
```

donde:

G22: Determina el comienzo de una subrutina

N50: Identifica a la subrutina requerida (es un número comprendido dentro del campo de subrutinas disponibles)

Como nota importante cabe destacar que en la memoria del CNC no pueden existir a la vez dos subrutinas con el mismo número de identificación, aún perteneciendo a diferentes programas. Después del bloque que identifica el comienzo de una subrutina, pueden programarse los bloques que se deseen. Entre los bloques programados dentro de una subrutina ordinaria pueden existir bloques paramétricos, por ejemplo:

```
N10 G22 N50
```

```
N20 X50
```

```
N30   P0 = P0 F1 P1
N40   G24
```

El final de una subrutina debe ser un bloque de la forma N40 G24, donde G24 determina el final de una subrutina. De igual forma que mencionábamos en el bloque de comienzo de una subrutina, en este último bloque tampoco se puede programar ningún otro tipo de información.

8.4.2.2 Llamada a una subrutina ordinaria (G20)

La llamada a una subrutina ordinaria se puede realizar desde cualquier programa o desde otra subrutina (ordinaria o paramétrica). La llamada se realiza mediante la función G20. El formato del bloque de llamada queda configurado por:

```
N100 G20 N50°12
```

Los números a la izquierda del punto identifican el número de subrutina requerida y los dos números de la derecha indican las veces que se va a repetir la misma.

Si no se programa el número de veces que se va a repetir la subrutina, el CNC lo realiza solamente una vez. En el bloque de llamada no pueden programarse informaciones adicionales.

8.4.3 Subrutinas paramétricas

Esta subrutina es básicamente igual que una ordinaria tal y como habíamos mencionado, pero en el bloque de llamada (G21) se pueden asignar valores a los parámetros hasta un número determinado por el sistema.

Cuando finaliza la ejecución de la subrutina paramétrica (G24), los valores de los parámetros asignados en el bloque de llamada se recuperan, aunque a lo largo de la subrutina se les hubiera asignado valores diferentes.

8.4.3.1 Identificación de una subrutina paramétrica (G23)

Una subrutina paramétrica comienza siempre mediante la función G23. La estructura del bloque de comienzo es:

```
N10   G23   N50
```

donde:

G23: Determina el comienzo de una subrutina paramétrica

N50: Identifica a la subrutina requerida (es un número comprendido dentro del campo de subrutinas disponibles).

Cabe destacar que en la memoria del CNC y, de igual forma que en la subrutina ordinaria, no pueden existir a la vez dos subrutinas paramétricas con el mismo número, aún perteneciendo a programas diferentes. Si es posible, no obstante, identificar con el mismo número una subrutina estándar y otra paramétrica.

Después del bloque mencionado, pueden programarse los bloques que se deseen. El formato del bloque de finalización de una subrutina paramétrica debe ser:

N40 G24

donde G24 determina el final de una subrutina.

En este último bloque no se puede programar ningún otro tipo de información.

8.4.3.2 Llamada a una subrutina paramétrica (G21)

La llamada a una subrutina paramétrica puede hacerse desde un programa principal o desde otra subrutina (ordinaria o paramétrica). La llamada se realiza mediante la función G21. El formato del bloque de llamada queda configurado por:

N10 G21 N36°14 P3 = K+/-3.3

donde:

G21: Determina la llamada a una subrutina paramétrica.

N36°14: Los números a la izquierda del punto identifican el número de subrutina requerida y los dos números de la derecha indican las veces que se va a repetir la misma.

Si no se programa el número de veces que se va a repetir la subrutina, el CNC lo realiza solamente una vez. Si en vez de los dos números de la derecha, se programa un parámetro, éste puede tener un valor comprendido dentro del campo disponible en el sistema.

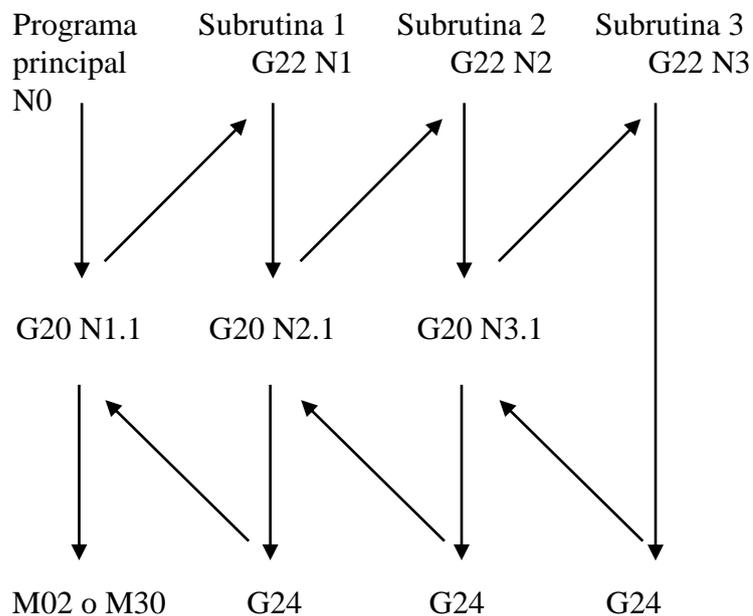
P3: Determina el número del parámetro aritmético.

K+/-3.3: Es el valor asignado al parámetro aritmético.

8.4.4 Niveles de encadenamiento

En base al sistema utilizado se pueden producir una cantidad determinada de niveles de encadenamiento, así como una posibilidad también determinada de repetición de los niveles. Es por ello por lo que desde un programa principal o desde una subrutina (estándar o paramétrica), se puede llamar a una subrutina, desde ésta a una segunda, desde la segunda a una tercera y así sucesivamente hasta que lo permita la capacidad del sistema.

A nivel ilustrativo presentamos a continuación un diagrama de encadenamiento de subrutinas.



9. PROGRAMACIÓN ASISTIDA

9.1 Conceptos generales

La programación asistida por ordenador intenta que la realización de los programas de control numérico sea más cómoda, utilizando para ello un ordenador como herramienta de programación, que proporciona una ayuda muy versátil gracias a su potencia de cálculo y capacidad de procesamiento de la información.

Recordemos que, en el caso de la programación manual, el programador debía realizar, entre otras, las siguientes operaciones:

- Descomponer el mecanizado en operaciones elementales, y determinar su orden,
- Calcular, en algunos casos, la corrección de herramientas,
- Determinar las condiciones de corte,
- Definir las curvas y superficies de mecanizado,
- Escribir el programa CN en el formato correcto,
- Introducir el programa en el control de la máquina.

La realización de todas estas tareas puede resultar engorrosa y difícil, pudiendo además producirse numerosos errores humanos. Los cálculos pueden alargarse extraordinariamente, siendo incluso imposible la realización de algunos, sin contar con la ayuda de un ordenador.

Utilizando la programación asistida por ordenador, el papel del programador se limita a la elaboración de las órdenes de mando, quedando como tareas del ordenador todas aquellas que realiza a mucha más velocidad y con una probabilidad mínima de cometer errores.

Los primeros prototipos de sistemas de programación asistida por ordenador datan de finales de los años 60, cuando hace su aparición el APT (Automated Programming Tool). Y lo más reciente ha sido el desarrollo de los sistemas CAD/CAM, que dotan a la programación de control numérico de la capacidad de tomar información directamente de la geometría de la pieza.

Gracias a estos sistemas se pueden desarrollar programas de CN para geometrías complejas, con superficies y curvas de formas muy complicadas.

9.2 CAD/CAM (Diseño y Fabricación Asistidos)

Este tipo de programación, también denominada programación gráfica interactiva, viene a resolver los problemas que presenta la programación con lenguajes tipo APT de superficies complejas.

Las posibilidades de los sistemas de Diseño y Fabricación Asistidos por Ordenador (CAD/CAM) permiten generar toda la geometría de la pieza mediante un módulo de diseño y/o dibujo y, a continuación, definir el recorrido de la herramienta mediante un módulo de CN. Todo ello con las facilidades de visualización en pantalla con colores y desde diversos puntos de vista de las piezas, las trayectorias de mecanizado y las herramientas.

En la pantalla del ordenador se visualiza la trayectoria, se sitúa la herramienta con sus formas y dimensiones y se simula el mecanizado a velocidad normal o acelerada, permitiendo la comprobación del mecanizado y las interferencias entre la herramienta y la pieza o sus amarres.

Partiendo del modelo geométrico de la pieza creado por el CAD, procedente de otro Sistema y trasladado al nuestro como un fichero de dibujo en formato neutro (IGES o DXF, generalmente), o bien introduciendo la geometría si se trabaja a partir de un plano, se define el contorno a mecanizar identificando los elementos geométricos que lo constituyen para que pueden ser utilizados por el módulo de CN (CAM).

Estos módulos CN permiten la programación interactiva, utilizando menús en pantalla o tableta gráfica, de las trayectorias de mecanizado o de las operaciones más frecuentemente usadas (contorneados, taladrado, roscado, etc.). Algunos de ellos disponen de programación paramétrica, que permite programar de una sola vez mecanizados de piezas de forma semejante.

La información de salida es un fichero en lenguaje simbólico (APT o similar) o bien un fichero CLDATA, con los recorridos de las herramientas. Por último sólo queda, al igual que en el caso de la programación con lenguaje APT, el postprocesado.

9.2.1 Modo de trabajo con un sistema CAD/CAM

El proceso de programación comienza con la definición de la geometría con el módulo de CAD. Normalmente esta geometría ya ha sido definida en la etapa de diseño, por lo que se ahorra este paso. Una vez definida la pieza que va a ser mecanizada, se utilizan las librerías de herramientas, creadas previamente, que representan las existencias del taller.

El siguiente paso es generar el camino o trayectoria de la herramienta sobre la pieza mediante las opciones que se ofrecen en el menú del programa. El modo interactivo permite al programador generar el camino paso a paso a medida que este se visualiza en pantalla, pudiendo borrar comandos erróneos e insertar otros nuevos si son necesarios.

Los programas CAM ofrecen, por tanto, las siguientes ventajas:

- No es necesaria la generación de la geometría.
- Permiten una verificación visual inmediata, con lo que los errores pueden ser detectados y corregidos inmediatamente, ya que el proceso se simula en pantalla.
- Es adecuado para piezas complejas y lotes pequeños.
- Permite al usuario definir sus propias SUBROUTINAS automáticas.
- Se integra con otras funciones, tales como listas de herramientas, informes de piezas, listas de materiales y cantidades necesarias, etc.

Las diferentes fases del ciclo de trabajo con un sistema CAD/CAM son:

- Definición de la geometría de la pieza.
- Descripción de las secuencias de mecanizado de la pieza.
- Simulación de las trayectorias de la herramienta.
- Generación del programa CN (postprocesado).

9.2.1.1 Definición de la geometría de la pieza

El comienzo del trabajo será el diseño de la pieza a fabricar utilizando el sistema CAD para transferirlo al CAM. El paso de los datos puede realizarse mediante un lenguaje neutro normalizado como puede ser IGES, DXF o VDA, aunque la situación más favorable y rápida es aquella en la que los formatos de CAD y CAM son los mismos, de forma que no sea necesaria ninguna traducción, pues estas siempre son lentas y suelen ir acompañadas de errores y pérdidas de información.

En ocasiones, es necesario definir nuevas geometrías auxiliares, necesarias para el mecanizado, tales como geometrías de apoyo, forma de la pieza bruta inicial, elementos de amarre, etc.

9.2.1.2 Descripción de las secuencias de mecanizado de la pieza

Este es el verdadero trabajo de programación en CN y comienza con la selección de la herramienta de trabajo. Esta puede hacerse accediendo a una librería de herramientas, de forma que con la identificación de su número o nombre se carguen automáticamente sus datos tecnológicos, tales como:

- Forma geométrica: diámetro, radio de punta, longitud, etc.
- Velocidades máximas de corte.
- Correctores (compensaciones por desgaste)

Si no se tiene una librería de herramientas o la herramienta no está disponible en ella, puede definirse una nueva herramienta mediante la asignación de una identificación y de sus características. Si se desea se puede almacenar con el resto en la librería para su posterior reutilización.

Con la herramienta ya elegida, se indica cuales van a ser las velocidades de corte y avance, así como el punto de cambio o carga de herramienta, si existe cambiador automático, y el punto de origen del sistema de referencia.

Desde el punto de cambio de herramientas se pueden describir las diferentes operaciones a realizar por la herramientas:

- Desplazamientos en vacío,
- Contorneados en desbaste y acabado,
- Planeados,
- Cajeras,

- Taladrados, roscados, etc.

Para ello, nos apoyaremos siempre en la geometría CAD de la pieza. Según se introduce la secuencia de mecanizado, se visualiza esta en pantalla, tanto alfanuméricamente como de forma gráfica. Este modo interactivo permite en todo momento editar las secuencias: modificación de líneas, eliminación de líneas, introducción de nuevas secuencias en cualquier parte del programa, etc.

Las secuencias de mecanizado se escriben normalmente en un lenguaje propio del sistema CAM, y es el sistema el que realiza la escritura automática. Algunos sistemas emplean el propio APT como lenguaje.

A partir de la línea 025 se encuentran las secuencias de mecanizado propiamente dichas. Hay secuencias que describen la herramienta:

- TLCHG (cambio de herramienta)
- TOOL (diámetro y posición relativa respecto a la pieza)

Otras expresan movimientos de la herramienta (MOVE), y otras operaciones de mecanizado:

- PROFIL (contorneado de un perfil)
- CYCLE (ciclo de taladrado)

Ciertas instrucciones del programa implican cálculos geométricos, bien para definir los diversos contornos, o para definir los caminos a seguir por la herramienta.

En esta fase, el sistema calcula los puntos, los círculos, las rectas, las intersecciones, las condiciones de tangencia, etc., haciendo que el usuario sólo deba preocuparse de la correcta definición del proceso de mecanizado.

9.2.2 Simulación de las trayectorias de la herramienta

La trayectoria de la herramienta es calculada a partir de los datos geométricos de la pieza, de los parámetros introducidos por el operador y de los datos geométricos de la herramienta. El resultado es una sucesión de puntos que debe recorrer el punto de referencia de la herramienta. Este punto ha sido introducido al definir las características de las herramientas que van a ser utilizadas.

Aunque los cálculos de la trayectoria, su transformación y correcciones son también realizados internamente por el control numérico, es necesario efectuarlos en el sistema CAD/CAM para poder realizar la simulación en pantalla de las trayectorias.

Con la trayectoria calculada se va visualizando la simulación de los movimientos de la herramienta, mediante el uso de líneas de diferentes colores e incluso en algunos sistemas mediante el empleo de complicados modelados sólidos que dan el aspecto de que realmente se está comiendo el material.

Este ejemplo consiste en un mecanizado y una cajera circular. Aparecen:

- un punto de cambio de herramienta,
- un movimiento en vacío,
- un contorneado exterior con varios desbastes,
- un cambio de herramienta,
- una cajera circular,
- el taladrado de los dos agujeros con la misma herramienta y,
- el retorno al punto de comienzo.

9.2.3 Generación del programa CN (postprocesado).

Una vez que se han verificado las secuencias de mecanizado, se puede ordenar la generación de un fichero neutro (APT o CLDATA, normalmente) o se realiza el postprocesado directo al CN de la máquina en cuestión. El formato APT o CLDATA no es más que una serie de instrucciones numéricas, lo que le hace muy apto para su empleo en un postprocesado final al CN de la MHCN correspondiente.

En cualquier caso, fichero neutro o no, siempre será preciso postprocesar para obtener el programa de máquina para la pieza.

Los postprocesadores puede generarlos el usuario directamente o haciendo uso de lo que se conoce como generador de postprocesadores automático.

Por último, el fichero obtenido hay que enviarlo al control, utilizándose un disquete o una conexión directa (DNC), entre el CN y el ordenador, normalmente mediante el empleo de un cable serie RS-232-C.

10. GESTIÓN DE PROGRAMAS Y HERRAMIENTAS

10.1 Estructura general de un programa de CN.

El programa CN constituye el medio entendible tanto por el hombre como por la máquina, mediante el cual el primero establece la secuencia de operaciones a realizar por la máquina herramienta.

La necesidad de que el texto sea entendible por la máquina impone al programador las reglas bajo las cuales puede obtenerse ese entendimiento entre ambos. El conjunto de estas reglas es lo que constituye el lenguaje de programación, ya estudiado en los temas anteriores.

El programa además, ha de ser entendible por otra persona distinta al programador que lo ha realizado, para ello, es necesario seguir unas normas relativas a la redacción de programas, de tal forma que estos sean de fácil lectura e interpretación.

En un programa se han de distinguir tres partes claramente definidas:

- 1 Cabecera de programa.
- 2 Programa de mecanizado.
- 3 Final de programa.

10.1.1 Cabecera de programa

La confección de la cabecera del programa viene determinada por:

- una simbolización propia del sistema utilizado ("%" en el código ISO, por ejemplo)
- la numeración propia del programa
- los comentarios que se crean oportunos.

En lo que a estos últimos se refiere, es buena costumbre identificar en la cabecera:

- la pieza que se fabrica con el programa: designación, número de plano, cliente, ...
- las operaciones que se realizan
- las herramientas que se utilizan

- la documentación asociada al proceso: Pauta CN, Hoja de Proceso, etc.

de esta manera, sólo con echar un vistazo a la cabecera del programa, identificamos plenamente para que se utiliza.

10.1.2 Programa de mecanizado

Es la parte principal del programa, compuesta por una serie de bloques en los que se definen las trayectorias a seguir por la herramienta y las condiciones de corte y de operación de la máquina.

Se recomienda que la numeración de los bloques se haga de 10 en 10 para prevenir que al insertar un nuevo bloque no haya que remunerar todos los bloques posteriores.

Intercalados con los bloques puede escribirse cualquier tipo de información que el programador desee incluir para facilitar la interpretación del programa y su posterior revisión o modificación. Esta información, que no será interpretada por el control, debe escribirse entre paréntesis.

10.1.3 Final de programa

El final del programa se resume a muy pocas líneas, una sola en muchos casos: se especifica la función auxiliar M30 o M02 según se quiera que el programa vuelva o no al bloque inicial, una vez ejecutado.

Es también buena costumbre anular todas aquellas funciones preparatorias que pudieran quedar activadas, para ello, se puede programar en una misma línea: G10, G40, G90, ...

10.2 Mantenimiento de programas

Todos los responsables de la programación en una empresa han de enfrentarse constantemente a los cambios en los equipos y en los programas al ir variando las necesidades. Estos factores no deben acentuar el punto de vista que se tiene corrientemente acerca del mantenimiento como algo angustioso y como si fuese una desgracia que hay que asumir.

Ciertamente, todo sería mucho más fácil si los programas o sistemas pudiesen ser diseñados, elaborados, probados a fondo y enviados para su operación sin ninguna revisión posterior. Pero, desgraciadamente, esta situación ideal pocas veces

sucede, incluso con los programas pequeños. Se dice a este respecto que un programa que no se modifica es probablemente un programa que no se utiliza.

Las razones que pueden obligar a la modificación de un programa, aunque funcione correctamente, son:

la adquisición de nuevos equipos de CN, con nuevas opciones puede implicar la modificación de programas, optimizados para otras máquinas.

- la realización de nuevos trabajos de características similares a otros ya realizados, que permiten tomar como base programas existentes sin necesidad de realizar un programa completamente nuevo.
- cuando el operador encuentra que una determinada secuencia de operaciones puede realizarse de una manera más rápida o efectiva, siendo necesario modificar el programa original.

Por tanto, independientemente de cual sea la razón que obligue a llevar a cabo una modificación, debe preverse el mantenimiento, a pesar de su elevado coste.

Hay diversas razones que determinan la realización de programas difíciles de mantener, entre las que podemos citar:

- La filosofía de la perfección. Se trata de un punto de vista social: la mayor parte de los productos se diseñan y fabrican en el supuesto de que no va a hacer falta efectuar ninguna reparación en un producto tan perfecto.
- La desviación formativa. Con pocas excepciones, al personal se le forma desde el primer momento hacia los programas hechos con el único fin de que funcionen lo más rápidamente posible y pasar entonces a otra cosa.
- La pereza. Es bien sabido que la gente trata de evitar, en general, los trabajos incómodos y aquello que consideran un trabajo excesivo o innecesario. Así, la documentación de los programas siempre es dejada para el final, lo que implica en la mayoría de los casos que, al tener que realizar otros trabajos, esta no se lleve a cabo.
- La empresa. Tanto la empresa como sus propios colaboradores promueven estos malos hábitos, a través, por ejemplo, de las presiones de la organización. Da la impresión de que la depuración y el acabado son términos sinónimos; no obstante, para que un programa se de por terminado pueden ser necesarias algunas horas más para organizar, escribir, retocar y hacer el programa más fácil de utilizar y mantener. Es decir, las presiones y urgencias impiden que se acabe y se realice un trabajo tan cuidadosamente como sería de desear.

En el actual estado de las cosas, el mejor sistema es escribir los programas teniendo presente desde el principio la posibilidad de su modificación y mantenimiento.

10.2.1 Procedimientos estándar

La utilización de estándares proporciona claridad y sencillez de mantenimiento de los programas; asimismo previene contra el individualismo, lo cual es crucial en cualquier sistema donde el creador de un trabajo probablemente no será el que lo modifique en un futuro.

Generalmente se habla de dos niveles de normalización: normas de organización y normas de lenguaje.

10.2.1.1 Normas organizativas

Las clases de normas que se suelen establecer tienen relación con los siguientes temas:

- Nombres y numeración de los programas.
- Nombres y numeración de las subrutinas.
- Estructura del programa: información de la cabecera, situación de los datos tecnológicos, etc.
- Comentarios y espacios en blanco.
- Frecuencia para la realización de copias de seguridad en distintos tipos de almacenamiento (listados, discos, etc.)
- Localización y responsable de la documentación.

Todas estas normas o estándares deben estar definidos por escrito y ser revisados periódicamente de forma que los programadores no se desvíen de sus indicaciones con sus propias versiones de las normas.

10.2.1.2 Normas de lenguaje

La utilización del lenguaje de programación ISO no es una garantía total de la transportabilidad de los programas de una máquina a otra, siendo muchos los sistemas que ofrecen opciones avanzadas con funciones G que es posible no dispongan otros sistemas más antiguos.

Para evitar futuras sorpresas de compatibilidad, puede ser necesario establecer los conjuntos de funciones utilizables en todos los sistemas, cuando se trate de programas que se utilizan en distintos tipos de control.

10.2.2 Técnicas de mantenimiento

Hay una gran variedad de formas de hacer programas mejores y más fáciles de mantener. Las técnicas que se describen en los párrafos siguientes se basan en la experiencia y en la investigación. Citaremos, entre otras:

10.2.2.1 Diseño modular

La utilización de subrutinas permite la realización de programas con una estructura modular. así las modificaciones se limitarán en una gran mayoría de los casos a la modificación de dichas subrutinas, quedando inalterado el programa principal.

2.1.1.1 Utilización de parámetros

Se trata de programar adaptándose a las futuras necesidades y posibilidades. Siempre que sea posible, es preferible utilizar parámetros en cotas que pueden tomar diferentes valores dentro de piezas pertenecientes aun mismo grupo. Por supuesto, hay cierto peligro en llevar esta flexibilidad demasiado lejos.

10.2.2.2 Documentación

La documentación de todas las decisiones que se tomen durante el proceso de programación puede ser de gran ayuda cuando se necesita realizar alguna modificación. Un aspecto a tener muy en cuenta es realizar la documentación a medida que se va escribiendo el programa, no dejarla para el final.

10.2.2.3 Organización

Es útil, por ejemplo, ordenar los nombres de asignación de los distintos parámetros utilizados en el programa, de forma que el lector no tenga que rebuscar por todo el listado para descifrar su significado. Así, se puede introducir en el comienzo de todos los programas la siguiente información:

- Nombre del programador y fecha.
- Comentario relativo a la función del programa
- Material de partida: dimensiones y tipo

- Herramientas utilizadas.
- Asignación de parámetros, significado.
- Subrutinas llamadas en el programa, etc.

Las recomendaciones dadas para el diseño y la codificación de los programas reflejan la filosofía para planificar las modificaciones. Cada minuto invertido en conseguir claridad y flexibilidad durante la construcción inicial de un programa, evitará perder muchos otros en tareas de mantenimiento. A continuación se muestra un ejemplo de programa siguiendo estas normas.

```
N0010 (PROGRAMA N°:%00124; PIEZA N°:12403)
N0020 (TORNEADO EXTERIOR E INTERIOR DE CASQUILLO)
N0030 (PROGRAMADOR: José Pelayo; FECHA: 24/07/92)
N0040 (
N0050 (MATERIAL DE PARTIDA: COBRAL 30)
N0060 (DIAMETRO EXT.: 90; DIAMETRO INT.: 50; LONGITUD: 120)
N0070 (
N0080 (HERRAMIENTAS:
N0090 (T0101: REFRENTAR EN DESBASTE, M04)
N0100 (T0202: CILINDRAR EXTERIOR EN ACABADO, M04)
N0110 (T0303: CILINDRAR INTERIOR EN ACABADO, M03)
N0120 (
N0130 (PARÁMETROS:
N0140 (P01= DIAMETRO EXTERIOR PARTIDA)
N0150 (P02= DIAMETRO INTERIOR PARTIDA)
N0160 (P03= DIAMETRO EXTERIOR ACABADO)
N0170 (P04= DIAMETRO INTERIOR ACABADO)
N0180 (
N0190 (SUBRUTINAS:
N0200 (12: SUBRUTINA REFRENTADO)
N0210 (15: SUBRUTINA CILINDRADO)
N0220 (
N0230 (INICIO PROGRAMA PRINCIPAL)
N0240 (
N0250 G54 (X=0; Z=120)
N0260 .....
```

10.2.3 Seguridad y control

La información contenida en un programa CN es de gran importancia y su pérdida o destrucción puede suponer muchas horas de trabajo, derivadas de la necesidad de

volver a realizar el programa. Por ello es necesario establecer medidas de seguridad y control que minimicen o anulen ese riesgo.

Se distinguen dos aspectos diferentes con respecto a la protección que se puede establecer en programas y demás archivos (también es aplicable a las tablas de herramientas, por ejemplo):

10.2.3.1 Seguridad contra fallos del sistema de almacenamiento

Para ello se emplean las siguientes técnicas:

- Realización de copias de seguridad periódicamente y siempre que se realicen modificaciones.
- Registro de modificaciones efectuadas.
- Procedimiento de recuperación en caso de pérdida, que determina reconstruir la información en su estado anterior a producirse el fallo, por medio de la copia de seguridad y de los registros de modificaciones.

De esta forma, cuando se produzca un fallo o avería, una vez subsanada y realizado el procedimiento de recuperación, se tendrá la información según estaba cuando se realizó el último registro de operaciones y sólo será preciso repetir las operaciones que se hicieron sobre el archivo desde ese momento hasta el fallo.

10.2.3.2 Seguridad contra usos incorrectos o no autorizados

Los archivos y programas CN tienen posibilidad de acceso a sus datos por parte de diferentes usuarios. Si se quieren impedir los daños por error, o incluso malintencionados, habrá que establecer medidas de seguridad a tal efecto: claves de acceso a los programas de edición, por ejemplo.

11. CONTROL NUMÉRICO DIRECTO (DNC)

11.1 Distribución de programas

Comúnmente, a los programas CN se les ha almacenado en forma de cinta perforada, cinta cassette o disquete de ordenador, pero, actualmente, y más con el empleo de los sistemas CAD/CAM, la distribución de los programas a las máquinas-herramienta se hace directamente desde un ordenador.

La distribución utilizando un ordenador incorpora además funciones de administración de la base de datos de programas. A cada programa se le da un nombre único, correspondiente con su fichero. Los cambios de diseño, con sus correspondientes programas, pueden ser actualizados en las máquinas en cuestión de minutos.

Los esquemas 11.1 y 11.2 muestran la distribución de programas según el método tradicional y utilizando un programa de comunicaciones (DNC).

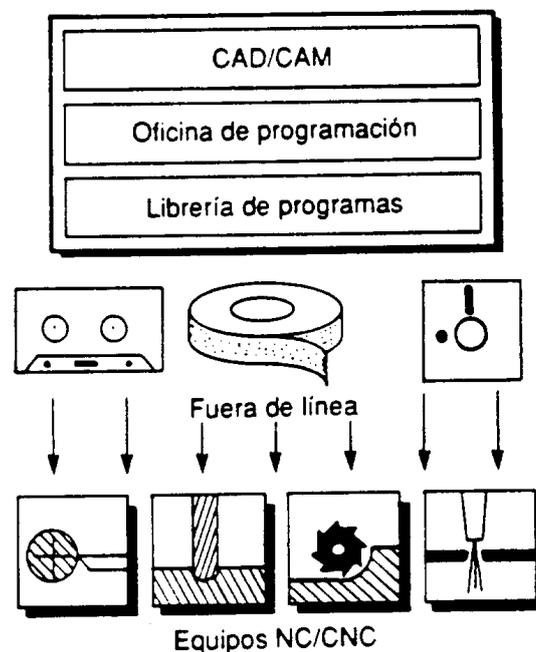


Fig.11. 1. Distribución de programas según el método tradicional. L. N. López, Mecanizado de alto rendimiento: procesos de arranque, 2004.

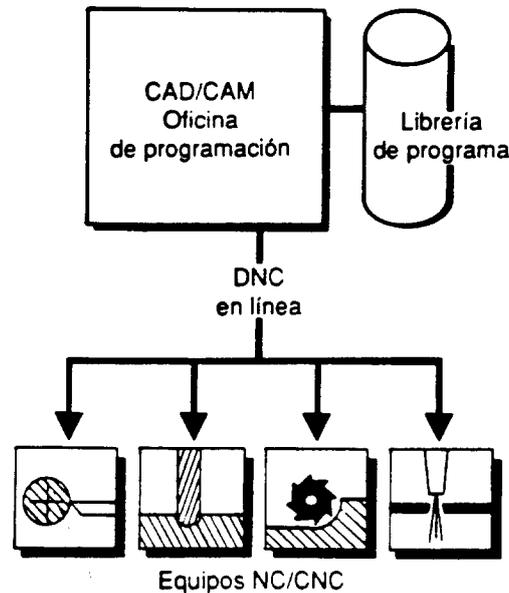


Fig. 11. 2. Distribución DNC. L. N. López, Mecanizado de alto rendimiento: procesos de arranque, 2004.

11.1.1 Funciones de un sistema DNC

Como ya se ha comentado, el DNC es el sistema compuesto por un cable y tarjeta de comunicaciones ("hardware") y un programa ("software") que permite la interconexión de un ordenador en el que se administran los programas con las máquinas CN.

Las funciones básicas del DNC son:

- Reparto de programas a las máquinas CN.
- Administración de programas.

Pero, algunos sistemas más complejos permiten, además, realizar las siguientes funciones ampliadas:

- Vigilancia del estado de ejecución de los programas
- Vigilancia del estado de la máquina y las herramientas
- Programación de materiales y herramientas
- Procesado de órdenes de producción y estadísticas

11.1.2 Configuraciones de sistemas DNC

Cuando el número de máquinas no es muy elevado se conectan todas ellas a un mismo ordenador, desde el que se administran y envían los programas de todas ellas.

Si el número de máquinas es mayor y las necesidades de continuidad del servicio son muy exigentes se emplea un sistema múltiple en el que si falla una parte del sistema, el resto puede seguir funcionando. En este último caso se dispone de un ordenador principal y el resto son satélites o subsistemas.

11.1.3 Métodos de conexión DNC

La forma de realizar la conexión puede ser de dos tipos:

- Conexión serie asíncrona (RS-232-C fundamentalmente).
- Redes de área local.

La primera es la más utilizada cuando no se necesita una elevada integración de datos. Los datos se transmiten a razón de bit por vez y cada carácter no está sincronizado con los precedentes o los siguientes, es decir, cada carácter se envía como una entidad independiente.

La norma EIA-232-C define la interconexión entre terminales de datos (Control de la máquina y ordenador) empleando intercambio de datos binarios en serie. Se especifican también los aspectos mecánicos y eléctricos.

En cuanto a las redes de área local, su uso no está aún muy extendido, debido a la existencia de multitud de equipos de diferentes fabricantes en las plantas industriales. Básicamente, una red de área local (LAN, "Local Area Net"), es una forma de comunicación de ordenadores multipunto con compartición del medio físico de comunicación (cable), al cual se accede mediante el uso de un protocolo, o método de coordinación de acceso al medio.

Existen tres tipologías básicas: estrella, anillo y bus. Cada una de ellas tiene sus ventajas y sus inconvenientes:

- Estrella: muy simple, pero depende de la estación central; en caso de avería de esta, la red queda inservible.
- Anillo: en caso de avería de un nodo, la red queda incapacitada.
- Bus: es la más fiable en caso de avería de uno de los nodos, pues no se interrumpe el nexo físico.

El medio físico empleado es generalmente un cable metálico o fibra óptica. El principal factor que se debe considerar en una red industrial son las perturbaciones electromagnéticas debidas al uso de motores y alternadores en la factoría. Otro factor importante a considerar es el ancho de banda permitido, es decir, el máximo número de frecuencias que pueden viajar en un mismo momento por la red.

Los medios más utilizados son:

- Par trenzado: muy barato pero muy sensible a interferencias y con poco ancho de banda.
- Cable coaxial: fiable, pero de mayor precio; alto intervalo de banda.
- Fibra óptica: con un gran ancho de banda y muy resistente a interferencias. Tiene el problema del alto precio y de la dificultad de las conexiones.

Un tipo de red muy utilizado es la Ethernet, de tipo bus, con cable coaxial, aunque da problemas de interferencias.

12 TABLAS DE HERRAMIENTAS

12.1 Tablas de herramientas en el torno de CN

Como ya se comentó al hablar de compensación de herramientas, el control numérico dispone de unas tablas en las que se almacenan los datos relativos a estas, de forma que pueda en todo momento actuar en base a los datos dimensionales y funcionales que en ellas figuran.

En este apartado se analizan las diferentes tablas relacionadas con las herramientas que existen en un control de torno CN y, en el siguiente apartado se comentan brevemente las diferencias en el caso del centro de mecanizado.

12.1.1 Tabla de correctores

En la tabla de correctores se definen los datos de longitudes de herramienta, radio de punta y tipo o forma.

Los apartados que aparecen son:

- Longitud nominal de la herramienta según el eje X.
- Longitud nominal de la herramienta según el eje Y.

El código de forma o tipo de la herramienta, que se programará según las tablas correspondientes, según el formato: F0,...,F9.

- El radio nominal de la herramienta.
- El corrector de desgaste (I) en longitud de la herramienta según el eje X. El control añadirá este valor a la longitud X para calcular la longitud real (X+I).
- El corrector de desgaste (K) en longitud de la herramienta según el eje Z. El control añadirá este valor a la longitud Z para calcular la longitud real (Z+K).

El usuario dispone además de una zona de pantalla para edición, y las siguientes teclas de funciones: EDITAR, MODIFICAR, BUSCAR, BORRAR, CARGAR, SALVAR y MILÍMETROS/PULGADAS.

12.1.2 Tabla de herramientas

Para cada herramienta (T0001, T0002,...) se definen los siguientes conceptos:

- Número de corrector asociado a la herramienta.
- Código de familia de la herramienta
- La vida nominal de la herramienta en minutos.
- La vida real de la herramienta.
- El estado de la herramienta:
 - TAMAÑO: N=Normal (familia 0-199)
 - S=Especial (familia 200-255)
 - ESTADO: A=Disponible
 - E=Gastada (vida real > vida nominal)

Se dispone de las mismas teclas de función que en el caso de la tabla de correctores y, además, existe un tecla de GEOMETRÍA, que permite acceder a la tabla de geometría de herramientas.

12.1.3 Tabla de almacén de herramientas

Por último, la tabla de almacén de herramientas muestra los siguientes conceptos:

- Posición del almacén de herramientas (P01, P02,...)
- El contenido de dicha posición de almacén, con el número de la herramienta que la ocupa.
- El estado de la herramienta que se encuentra en dicha posición.

12.2 Tablas de herramientas en el centro de mecanizado

Las tablas existentes y sus contenidos son muy parecidos. Las únicas diferencias apreciables son:

- No hay un código de forma, como en el caso del torno.
- Se habla de longitud (L) y radio (R) de herramienta, en vez de longitudes X y Z.
- Los correctores asociados son: I para el radio (R) y K para la longitud (L).

ANEXO I

FUNCIONES G PARA CNC

(Modal)	G00.....	Posicionamiento rápido.	
(Modal)	G01*.....	Interpolación lineal.	
(Modal)	G02.....	Interpolación circular a derechas (sentido horario).	
(Modal)	G03.....	Interpolación circular a izquierdas (sentido anti-horario).	
	G04.....	Temporización, duración de la espera programada con K.	
(Modal)	G05*.....	Trabajo en arista matada.	
	G06.....	Interpolación circular programando el centro en coord. abs.	
(Modal)	G07*.....	Trabajo en arista viva.	
	G08.....	Trayectoria circular tangente a la trayectoria anterior.	
	G09.....	Trayectoria circular definida mediante tres puntos.	
	G10/.../G13	Imagen especular (para fresas) .	
(Modal)	G17*/G18/G19	Selección del plano de trabajo: X-Y / X-Z / Y-Z (para fresas)	
	G20.....	Llamada a subrutina estándar.	
	G21.....	Llamada a subrutina paramétrica.	
	G22.....	Definición de subrutina estándar.	
	G23.....	Definición de subrutina paramétrica.	
	G24.....	Final de subrutina.	
	G25.....	Salto incondicional.	
	G26.....	Salto condicional si es igual a 0.	
	G27.....	Salto condicional si no es igual a 0.	
	G28.....	Salto condicional si es menor.	
	G29.....	Salto condicional si es igual o mayor.	
	G30.....	Visualizar código de error definido por K.	
	G31.....	Guardar el origen de coordenadas actual.	
	G32.....	Recuperar el origen guardado con G31.	
(Modal)	G33.....	Ciclo de roscado automático.	
	G36.....	Redondeo controlado de aristas.	
	G37.....	Entrada tangencial a una trayectoria.	
	G38.....	Salida tangencial desde una trayectoria.	
	G39.....	Achaflanado.	
(Modal)	G40*.....	Anulación de compensación de radio.	
(Modal)	G41.....	Compensación de radio a izquierdas.	
(Modal)	G42.....	Compensación de radio a derechas.	
(Modal)	G43.....	Compensación de longitud de herramienta (para fresas) .	
(Modal)	G44*.....	Anulación de la compensación de longitud (para fresas) .	
	G50.....	Carga de dimensiones de herramienta en tabla.	
(Modal)	G53/G59.....	Traslados de origen.	
	G66.....	Ciclo fijo de seguimiento de perfil.	} CICLOS TORNO.
	G68.....	Ciclo fijo de desbastado en el eje X.	
	G69.....	Ciclo fijo de desbastado en el eje Z.	
(Modal)	G70.....	Programación en pulgadas.	
(Modal)	G71.....	Programación en mm.	
(Modal)	G72.....	Factor de escala.	
(Modal)	G73.....	Giro del sistema de coordenadas (para fresas) .	
(Modal)	G79.....	Ciclo fijo definido por el usuario (para fresas) .	

	CICLOS FIJOS TORNO	CICLOS FIJOS FRESA	
G80*.....	****	Anulación de ciclo fijo	(Modal)
G81.....	Torneado tramos rectos	Taladrado	(Modal)
G82.....	Refrentado tramos rectos	Taladrado con temporización	(Modal)
G83.....	Taladrado	Taladrado profundo	(Modal)
G84.....	Torneado tramos curvos	Roscado con macho	(Modal)
G85.....	Refrentado tramos curvos	Escariado	(Modal)
G86.....	Roscado longitudinal	Mandrinado (retroceso en G00)	(Modal)
G87.....	Roscado frontal	Cajera rectangular	(Modal)
G88.....	Ranurado en eje X	Cajera circular	(Modal)
G89.....	Ranurado en eje Z	Mandrinado (retroceso en G01)	(Modal)

ANEXO I

FUNCIONES PREPARATORIAS (PROGRAMACION CNC ISO)

- (Modal) G90*..... Programación de cotas absolutas.
 (Modal) G91..... Programación de cotas incrementales.
 G92..... Modificación del cero pieza dando nuevas cotas actuales.
 G93..... Preselección de origen de coordenadas polares.
 (Modal) G94*..... Velocidad de avance F en mm/minuto (*** en fresa**)
 (Modal) G95*..... Avance F en mm/revolución (*** en torno**)
 (Modal) G96..... Velocidad de corte S (con $v_{cte.}$) en m/min (**torno**).
 (Modal) G97*..... Velocidad de giro husillo S en rpm. (régimen de giro cte.)
 (Modal) G98*..... Vuelta de la hta. al plano de partida después de ciclo (**fresa**)
 (Modal) G99..... Vuelta de la hta. al plano de referencia después de ciclo (**fresa**)

* Función modal activa por defecto.

FUNCIONES AUXILIARES (M)

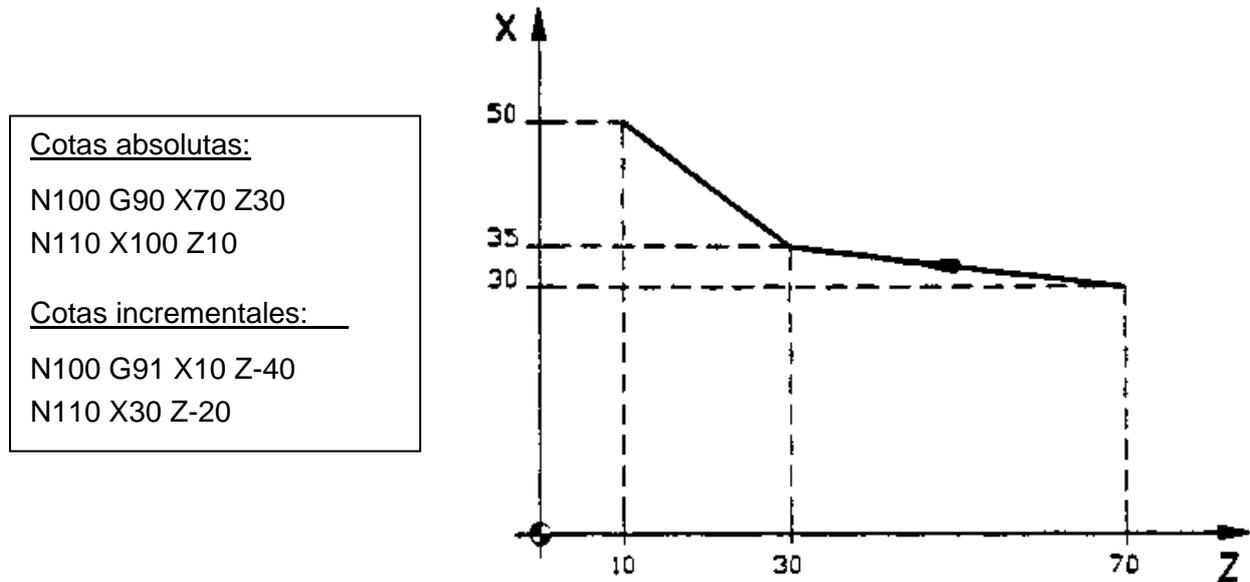
- M00..... Parada del programa.
 M01..... Parada condicional del programa.
 M02..... Final del programa.
 M03..... Arranque del cabezal a derechas (horario).
 M04..... Arranque del cabezal a izquierdas (antihorario).
 M05..... Parada del cabezal.
 M06..... Código del cambio de herramientas.
 M07, M08..... Control del refrigerante.
 M09..... Parada del refrigerante.
 M19..... Parada del cabezal orientada.
 M22, ..., M25... Operaciones con pallets.
 M30..... Fin del programa
 M41, ..., M44... Selección de gama de velocidades del cabezal (para v_c cte.).

ANEXO II

EJEMPLOS DE PROGRAMACIÓN ISO CNC (FAGOR CNC 8025)

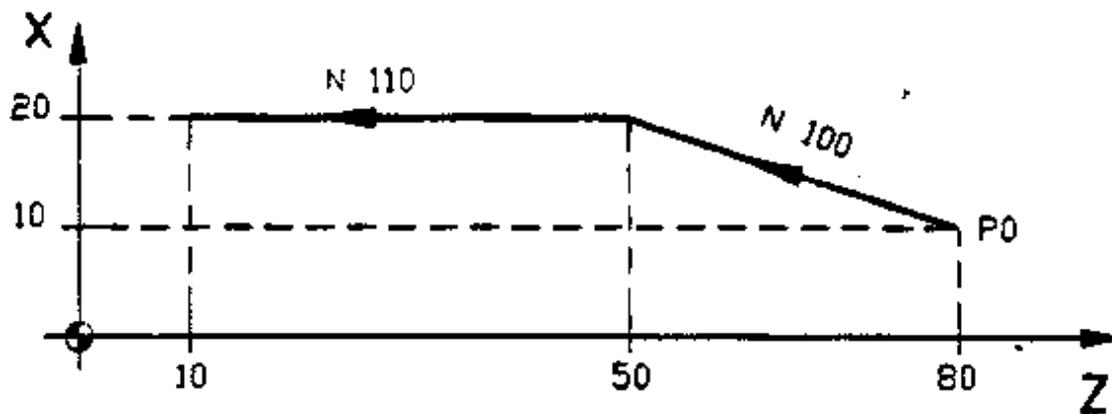
1. PROGRAMACION EN COORDENADAS ABSOLUTAS E INCREMENTALES (TORNO FAGOR CNC 8025)

Ejemplo: programación del eje x en diámetros y el punto inicial es (X60 Z70)



2. PRESELECCIÓN DE COTAS (G92). TORNO: FAGOR CNC 8025

Ejemplo: programación del eje X en diámetros siendo el punto inicial P0(X20 Z80).



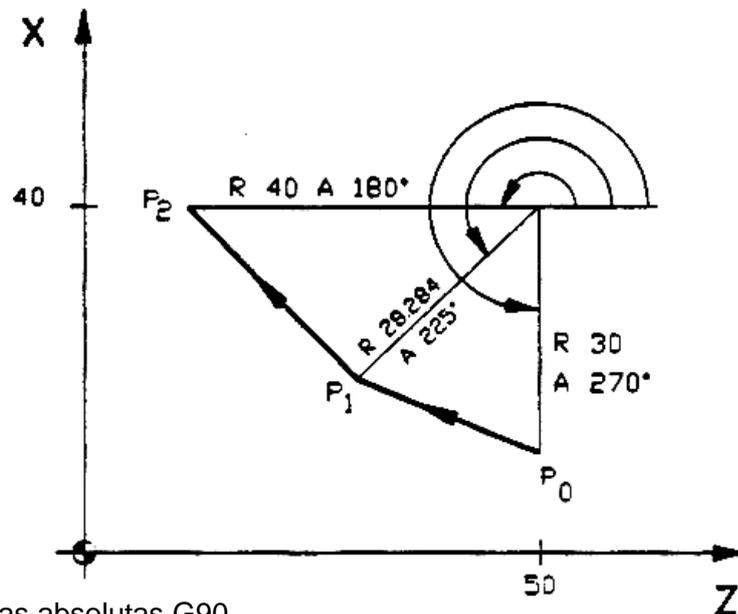
Respecto del origen de coordenadas inicial (0, 0) el programa será:

```
N100 G01 G90 X40 Z50
N110 Z10
```

Si se utiliza la función G92, la programación será:

```
N90 G92 X20 Z0 (el punto P0 pasa a ser el punto X20 Z0)
N100 G90 X40 Z-30
N110 Z-70
```

3. PROGRAMACIÓN EN COORDENADAS POLARES (I)



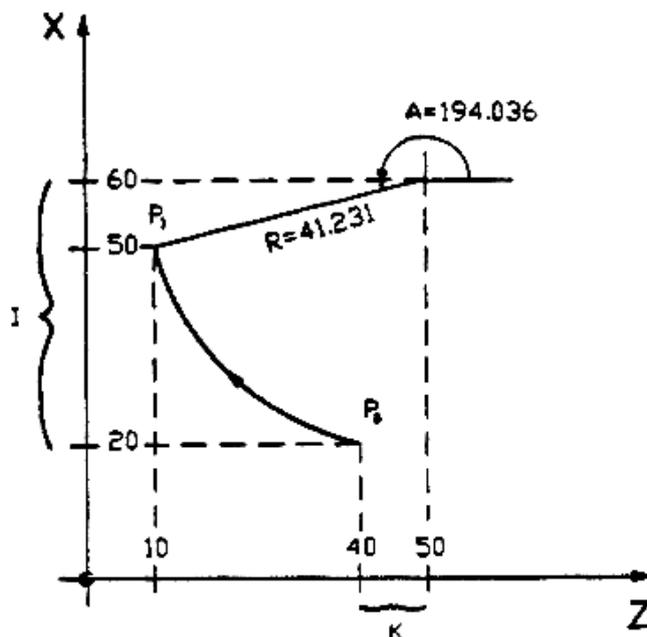
En coordenadas absolutas G90

```
N100 G93 I80 K50          (preselección del origen polar)
N110 G01 G90 R30 A270     P0
N120 R28.284 A225        P1
N130 R40 A180            P2
```

En coordenadas incrementales G91:

```
N100 G93 I80 K50          (preselección del origen polar)
N110 G01 G90 R30 A270     P0
N120 G91 R-1.716 A-45     P1
N120 G91 R11.716 A-45     P2
```

Interpolación circular (programación en coordenadas cartesianas):



Punto de partida P0(X40 Z40).

Programación absoluta G90:

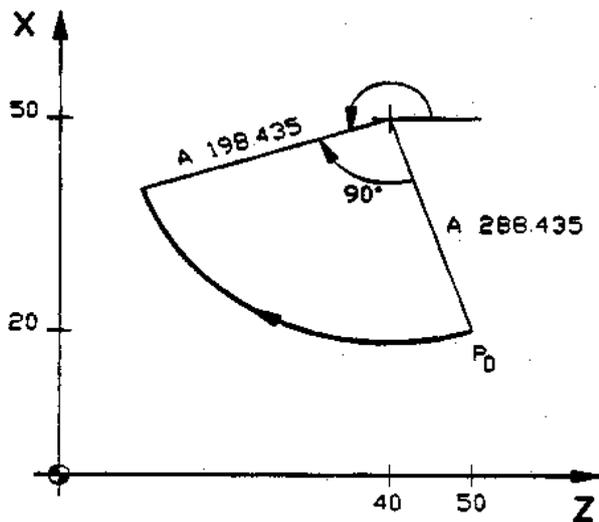
```
N100 G90 G02 X100 Z10 I40 K10
Ó bien
N100 G90 G02 X100 Z10 R41.231
```

Programación incremental G91:

```
N100 G91 G02 X60 Z-30 I40 K10
Ó bien
N100 G91 G02 X60 Z-30 R41.231
```

4. PROGRAMACIÓN EN COORDENADAS POLARES (II)

Supongamos que el punto inicial es el P0 (X40 Z50)



En coordenadas absolutas G90:

N100 G90 G02 A198.435 I30 K-10

Ó bien

N100 G93 I100 K40

N110 G90 G02 A198.435

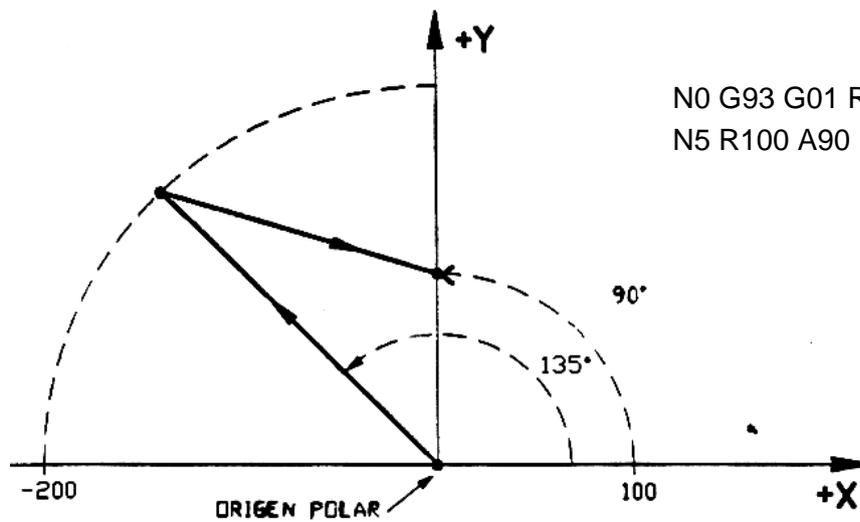
En coordenadas incrementales G91:

N100 G91 G02 A-90 I30 K-10

Ó bien

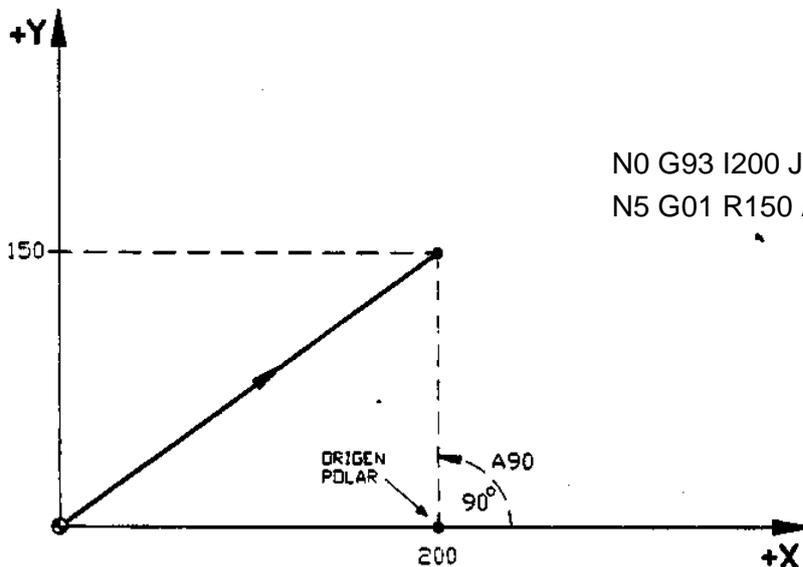
N100 G93 I100 K40

N110 G91 G02 A-90



N0 G93 G01 R200 A135 F500

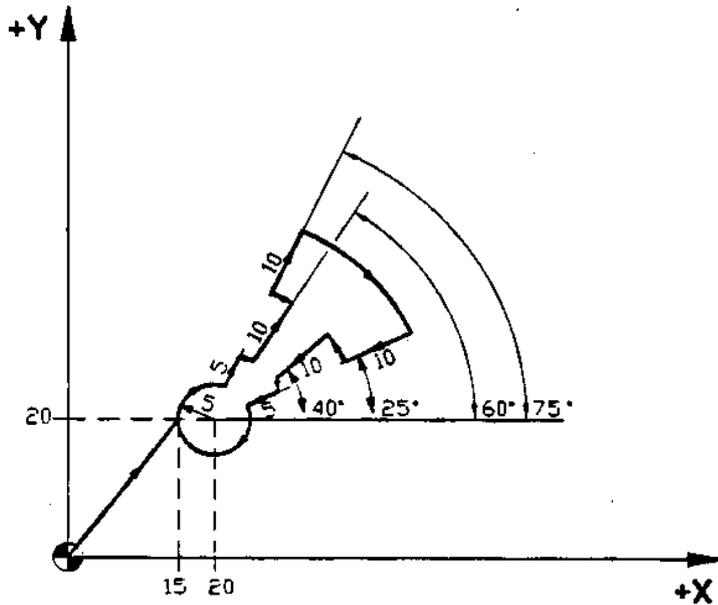
N5 R100 A90



N0 G93 I200 J0

N5 G01 R150 A90 F500

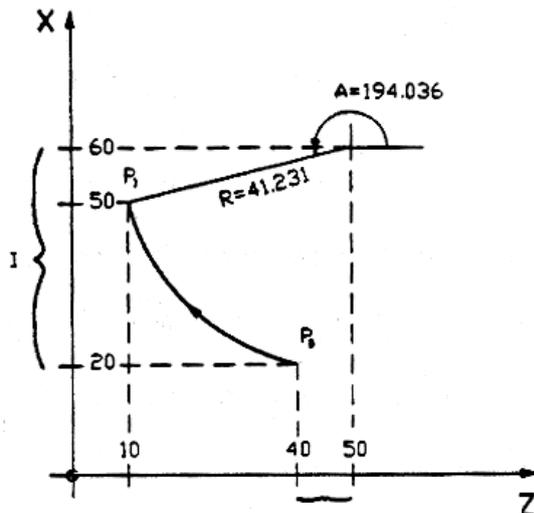
5. PROGRAMACIÓN EN COORDENADAS POLARES (III)



```

N0 G93 I20 J20
N5 G01 G90 R5 A180 F150
N10 G02 A75
N15 G01 G91 R5
N20 G02 A-15
N25 G01 R10
N30 G03 A15
N35 G01 R10
N40 G02 A-50
N45 G01 R-10
N50 G03 A15
N55 G01 R-10
N60 G02 A-15
N65 G01 R-5
N70 G02 G90 A180
N75 G01 X0 Y0
    
```

6. PROGRAMACIÓN DE INTERPOLACIONES CIRCULARES



Punto inicial P0 (X40 Z40):

Coordenadas cartesianas:

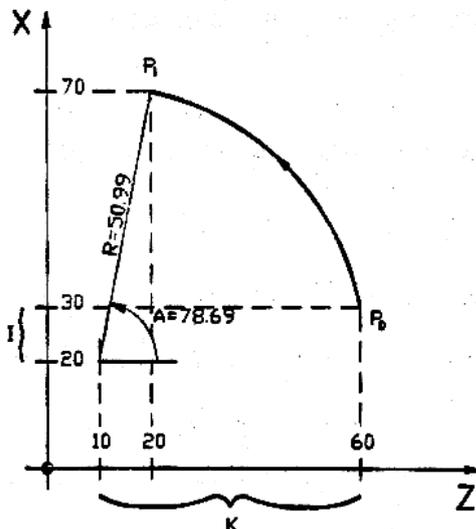
```
N4 G02 X100 Z10 I40 K10
```

Coordenadas polares:

```
N4 G02 A194.036 I40 K10
```

Programación de radio:

```
N4 G02 X100 Z10 R41.231
```



Punto inicial P0 (X60 Z60):

Coordenadas cartesianas:

```
N4 G03 X140 Z20 I-10 K-50
```

Coordenadas polares:

```
N4 G03 A78.69 I-10 K-50
```

Programación de radio:

```
N4 G03 X140 Z20 R50.99
```

7. PROGRAMACIÓN DE CILOS FIJOS (TORNO FAGOR CNC 8025) (I)

N110 G90 G00 G42 X150 Z115

N120 G66 P0=K0 P1=K85 P4=K20 P5=K5 P7=K1 P8=K1 P9=K100 P12=K40 P13=K200
P14=K290

N130 G40 X160 Z135

N140 M30

N200 G36 R5 X50 Z85

N210 X50 Z70

N220 X40 Z60

N230 G36 R2 X40 Z50

N240 G39 R2 X60 Z50

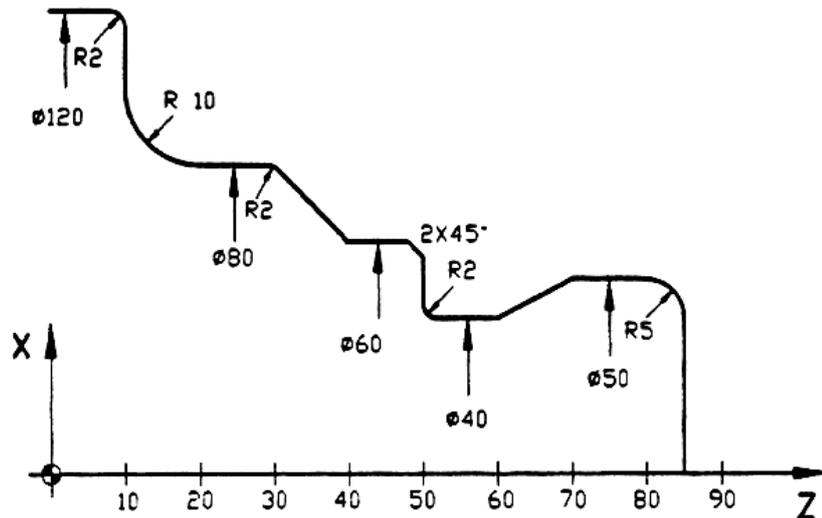
N250 X60 Z40

N260 G36 R2 X80 Z30

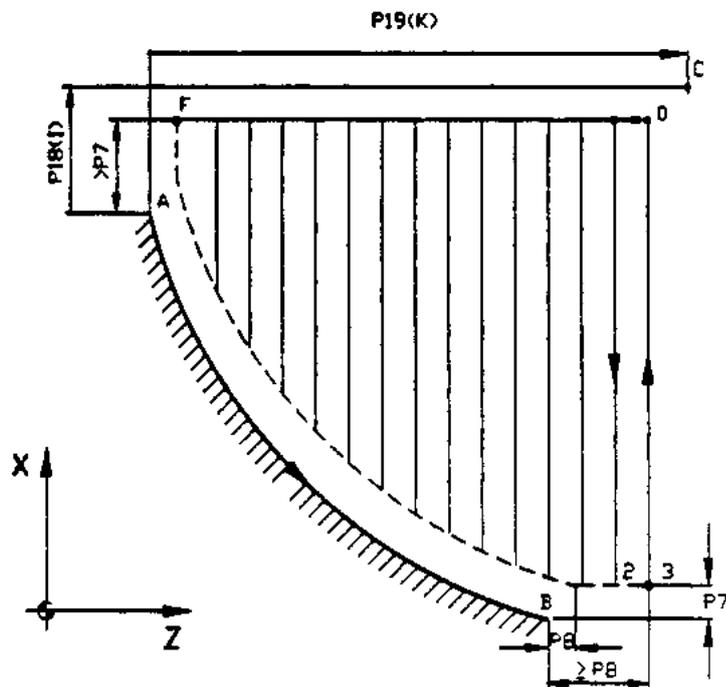
N270 G36 R10 X80 Z10

N280 G36 R2 X120 Z10

N290 X120 Z0



8. CICLO FIJO DE REFRENTADO DE TRAMOS CURVOS (G85)



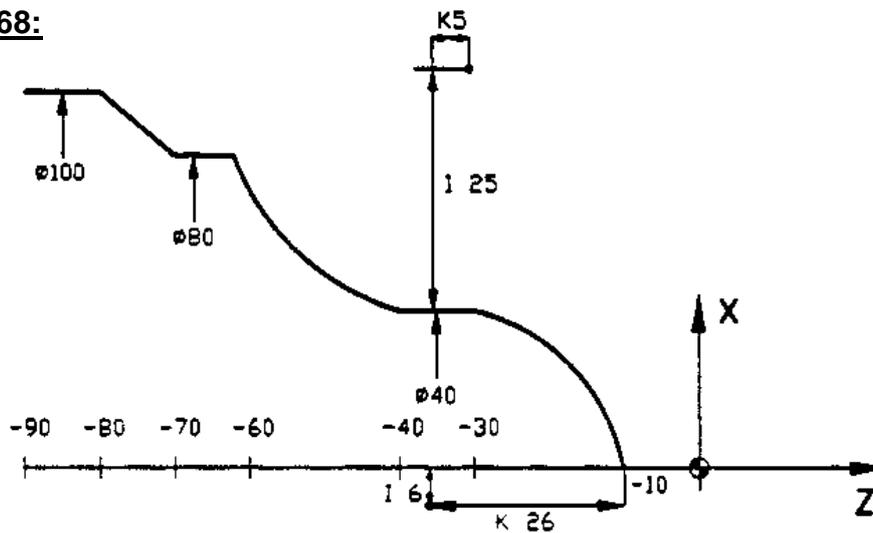
Ejemplo: supongamos que las coord. de los puntos son: 0(X150 Z85) A(X118 Z11) B(X0 Z70) C(X160 Z91) y la programación del eje X en diámetros.

N90 G00 X150 Z85 (Posicionamiento de la herramienta en el punto 0)

N100 G85 P0=K118 P1=K11 P2=K0 P3=K70 P5=K5 P7=K4 P8=K4 P9=K100 P18=K21
P19=K80

9. PROGRAMACIÓN DE CILOS FIJOS (TORNO FAGOR CNC8025) (II)

Ejemplo G68:



```

N110 G42 G00 X120 Z0
N120 G68 P0=K0 P1=K-10 P5=K2 P7=K0.8 P9=K100 P13=K200 P14=K250
N130 G40 X130 Z10
N140 M30
N200 G03 X40 Z-30 I-6 K-26
N210 G01 X40 Z-40
N220 G02 X80 Z-60 I25 K5
N230 G01 X80 Z-70
N240 X100 Z-80
N250 X100 Z-90
    
```

Ejemplo G69

```

N200 G41 G0 X90 Z-5
N210 G69 P0=K80 P1=K-80 P5=K2 P7=K0.8 P8=K0.8 P9=K100 P13=K300 P14=K340
N220 G40 X100 Z0
N230 M30
N300 G01 X80 Z-60
N310 G03 X60 Z-50 I5 K15
N320 G01 X40 Z-40
N330 G03 X10 Z-25 I5 K20
N340 G01 X10 Z-10
    
```

