

**CONTROL NUMERICO (II)**

PROGRAMACIÓN EN CONTROL NUMÉRICO.

1. INTRODUCCIÓN. (El proceso de programación).
 - 1.1. Tipos de programación
 - 1.1.1. Programación manual.
 - 1.1.2. Programación pseudo-asistida por ordenador.
 - 1.1.3. Programación asistida por ordenador.
 - 1.1.4. Programación conversacional.
 - 1.2. Proceso de programación manual.
 - 1.2.1. Fases de programación.
 - 1.2.2. Características del control numérico (CN).
 - 1.2.3. Características de la máquina herramienta (MH).
 - 1.2.4. Definición del proceso. Preparación del trabajo.
 - 1.2.5. Elaboración y codificación del programa.
 - 1.2.6. Pruebas y puesta a punto.
 - 1.2.7. Ejecución del programa.
 - 1.3. Ejes y sistema de referencia.
 - 1.3.1. Nomenclatura de ejes y movimiento.
 - 1.3.2. Referencias, orígenes.
 - 1.4. Distribución de programas de CN.
2. ESTRUCTURA GENERAL DE UN PROGRAMA DE CN.
 - 2.1. Cabecera.
 - 2.2. Programa.
 - 2.3. Final programa.
3. PROGRAMACIÓN ISO.
 - 3.1. Lenguaje de programación ISO.
 - 3.2. Tipos de funciones.
 - 3.2.1. Funciones preparatorias.
 - 3.2.2. Funciones auxiliares y complementarias.
 - 3.2.3. Función avance (F) y velocidad del cabezal (S).
 - 3.2.4. Función número de herramienta.
 - 3.3. Ciclos fijos
 - 3.3.1. Concepto.
 - 3.3.2. Ejemplos
 - 3.3.2.1. Ciclos fijo de torneado.
 - 3.3.2.2. Ciclos fijos de fresado.
4. PROGRAMACIÓN PARAMÉTRICA.
 - 4.1. Objetivos.
 - 4.2. Parámetros.
 - 4.2.1. Definición.
 - 4.2.2. Operaciones con parámetros.
5. PROGRAMACIÓN ASISTIDA (CAM).
 - 5.1. Concepto.
 - 5.1.1. Lenguaje APT.
 - 5.1.2. CAD/CAM.

**INTRODUCCIÓN. (El proceso de programación).**

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.

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:

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.

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.

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.

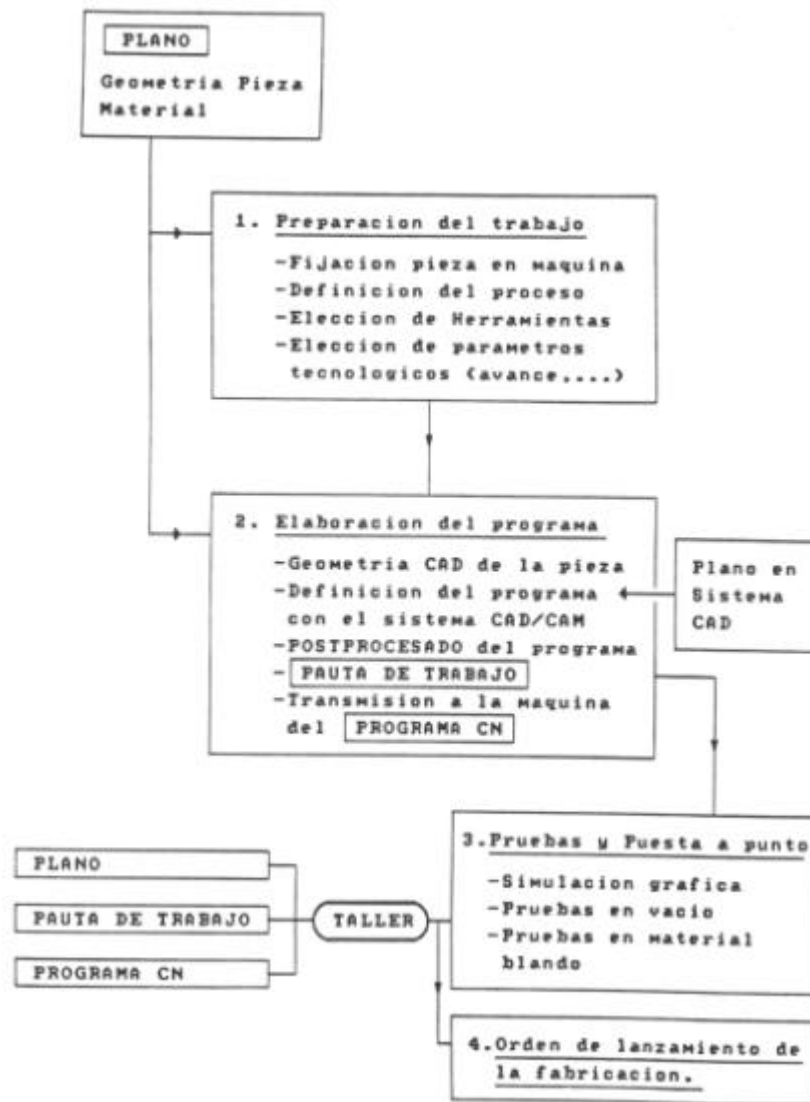
El proceso de programación comienza con la definición de geometrías utilizando el programa de CAD. Normalmente esta geometría ya ha sido definida en la etapa de diseño, por lo que se ahorra este paso.

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.



Tecnología de Fabricación y Tecnología de Máquinas



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 menú 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.

Proceso de programación manual.

Para conseguir que la MHCNC 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.

*Tecnología de Fabricación y Tecnología de Máquinas***- 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 utilizadas, 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.

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.

Características del Control Numérico

A continuación se expone un resumen de las características de un CNC moderno:

- Generales:

- * Tipo de control: punto a punto, paraxial o contorneado.
- * Número de microprocesadores y función principal.
- * Número de ejes principales y auxiliares.
- * Número de ejes controlados simultáneamente.
- * Interpolaciones: lineal, circular, 3D, cónica, cúbica, etc.
- * Velocidad de avance: mínima, máxima y resolución.
- * Campo de desplazamiento e interpolación.
- * Precisión de entrada y salida.
- * Sistema de unidades: métrico, inglés.
- * Sistemas de medida: absoluto o incremental.
- * Roscado y paso de rosca.
- * Desplazamiento rápido.
- * Autómatas programables incorporados.
- * Funciones auxiliares: preparatorias y tecnológicas programables.
- * Limitación de la velocidad del cabezal.
- * Parada orientada del cabezal.
- * Batería y plazo de mantenimiento de datos en memoria.
- * Características de la alimentación eléctrica.
- * Módulo de comunicaciones.

- De programación:

- * Posibilidad de diálogo mediante menú con el operador para la entrada de datos.
- * Introducción de programas en código ISO, EIA o ASCII.
- * Programación en radios o diámetros.
- * Cotas absolutas o incrementales.
- * Programación del contorno de la pieza; compensación de radio de corte.
- * Descripción abreviada del contorno.
- * Ciclos fijos de mecanizado y medida.
- * Temporización programable.
- * Posicionamiento suave en el contorno.
- * Programación de origen de pieza.
- * Número de programas y subprogramas (o subrutinas).
- * Programación paramétrica; número de parámetros.
- * Saltos de programa condicionales e incondicionales.
- * Operaciones matemáticas y lógicas.
- * Bloqueo de entrada de datos.
- * Velocidad de corte constante.
- * Distancias máximas programables.
- * Numeración automática de bloques.
- * Simetría.
- * Factor de escala.
- * Número de decalajes de orígenes.
- * Memoria para programas, parámetros de máquina, ficheros de herramientas.

- De operación:

- * Entrada manual de datos por teclado.
- * Edición y corrección de programas, bloques y caracteres.
- * Gráficos para facilitar la entrada de programas.
- * Simulación gráfica del mecanizado para ayudar a la depuración de programas.
- * Textos en pantalla en distintos idiomas.
- * Modos de operación: automático, bloque a bloque, repeticiones, enseñanza (teach-in), en vacío, manual.
- * Variación de la velocidad de avance entre 0% y 200%.

*Tecnología de Fabricación y Tecnología de Máquinas*

- * Variación de la velocidad del cabezal entre 50% y 120%.
- * Movimiento manual en continuo o incremental.
- * Volante electrónico.
- * Edición y entrada de datos simultánea con la ejecución del trabajo.
- * Inspección de la herramienta simultánea con la ejecución del trabajo.
- * Cálculo automático de compensación de la herramienta.

- Correcciones:
 - * Corrección de la herramienta según geometría y desgaste.
 - * Corrección del radio de la herramienta.
 - * Compensación del juego mecánico de cada eje.
 - * Compensación de errores de paso de los husillos.

- Visualización:
 - * Tamaños de pantalla del monitor.
 - * Textos: idiomas.
 - * Comentarios: cantidad de caracteres.
 - * Gráficos con ampliación (zoom).
 - * Valores actuales y error de seguimiento.
 - * Valores de los parámetros.
 - * Visualización de secuencia del programa.
 - * Diodos luminiscentes indicadores de alarmas y avisos.

- Entradas y salidas:
 - * Entrada-salida de datos simultáneos al procesamiento del programa.
 - * Entrada de bloques condicionales.
 - * Salidas analógicas.
 - * Salidas para herramientas motorizadas.
 - * Salida de funciones M.
 - * Salida de comunicaciones para ordenador, lector de cinta magnética, etc.
 - * Entrada para palpadores.

- Diagnóstico:
 - * Rutinas activas para circuito de medida, sobretensión, temperatura, tensión de red, memoria.
 - * Límites software de recorrido de trabajo.
 - * Errores de interface.
 - * Errores de transmisión.
 - * Errores programables por el usuario.
 - * Estado de entradas-salidas.
 - * Vigilancia del contorno de la pieza.
 - * Vigilancia del cabezal.

En cada caso particular muchas de estas funciones pueden no estar presentes, mientras que aparecerán otras que se precisan para una determinada aplicación.

Características de la Máquina-herramienta

La máquina-herramienta limita el tamaño de las piezas y las operaciones a efectuar en cada pasada.

Definido el tipo de máquina y la posición vertical u horizontal del eje o husillo principal, las características más destacadas son:

- Número de husillos.
- Dimensiones del campo de trabajo.
- Número de ejes.
- Dimensiones del plato o de la mesa de fijación de la pieza.
- Posicionamiento de la mesa giratoria.
- Gama de velocidades de rotación del eje principal.
- Campo de velocidades de avance programables en los distintos ejes.

*Tecnología de Fabricación y Tecnología de Máquinas*

- Velocidad máxima de desplazamiento.
- Potencia del motor principal.
- Precisión y repetibilidad.
- Número de torretas portaherramientas.
- Número de herramientas disponibles.
- Sistema de cambio automático de herramientas.
- Sistema de cambio automático de piezas.
- Capacidad del almacén de piezas.
- Sistema de búsqueda de la herramienta.
- Máxima carga admitida.
- Peso máximo de la herramienta.
- Banco de prerreglaje de herramientas.
- Medición de piezas y herramientas.
- Medición y corrección de gradientes térmicos.

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.



Tecnología de Fabricación y Tecnología de Máquinas

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

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.

En sucesivos capítulos introduciremos los conceptos de programación basados en el código ISO, siendo éste el más extendido en la actualidad en máquinas de CNC.

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 exclusiva de las funciones G (funciones preparatorias).
- Ejecución de las funciones G, S, T y M.
- 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 (F) 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.

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.

Es fundamental en dicho modo de trabajo el atender a la información presentada por el control en la pantalla, así como el recorrido efectuado por la herramienta. Para ello los sistemas suelen disponer de los siguientes tipos de visualización:

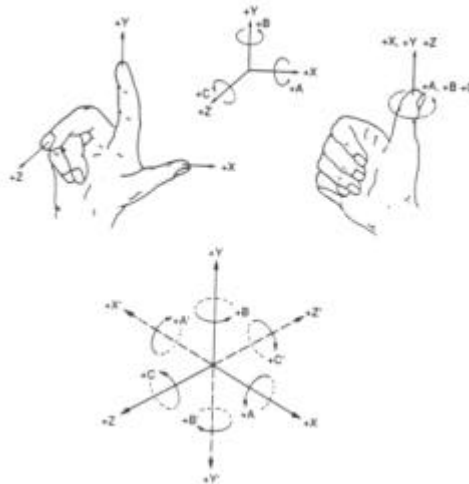
- Estándar.- En este modo que es seleccionado por defecto se suele presentar:
 - * Modo de funcionamiento y número de programa en ejecución.
 - * Bloque en ejecución y siguientes.
 - * Cotas de llegada de ejes, posición actual y resto a recorrer.
 - * Valor de % de la S y F programadas.
 - * T programada.
 - * Mensajes de carácter general (autómatas, alarmas, etc.).
- Posición actual.- Se visualizan con caracteres grandes la posición de los ejes. Se visualiza, asimismo, el número de programa, el de bloque, estado de las funciones G, M, T, S y F, y mensajes.
- Error de seguimiento.- Se visualiza el error de seguimiento de los ejes, número de programa, número de bloque, estado de las funciones G, M, T, S y F, y mensajes.
- Parámetros aritméticos.- Valor de los parámetros en dicho momento.
- Estado de subrutinas.- Aparecen las subrutinas activas en dicho momento.
- Gráfica.- Representación gráfica en el plano de trabajo seleccionado de las trayectorias recorridas por la herramienta.
- Edición.- Algunos controles permiten la edición de un programa mientras se está ejecutando otro (BACKGROUND), como medida de seguridad no debe utilizarse dicho modo de operación a menos que el programa que se ejecuta esté totalmente probado.
- Verificación y corrección de los valores de la tabla de herramientas.- Ello permite corregir dichos valores sin detener el ciclo del programa.

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.

Ejes y sistemas de referencia.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



- **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 (caso de los 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, taladros horizontales, 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 siendo su sentido positivo el que se deduce de la aplicación de los criterios anteriormente 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).

- **Otros ejes:** 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.

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.

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)

Veamos la definición de los mismos:

- 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 de la brida del mismo. En las fresadoras es la esquina inferior izquierda delantera de su campo de trabajo.

- 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.

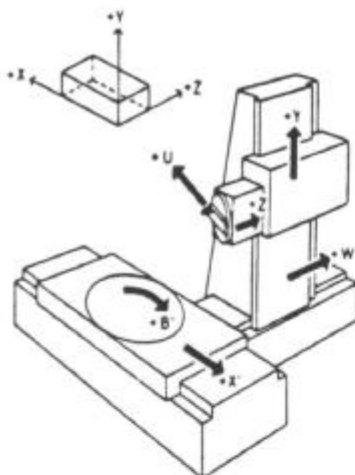
Esto es una complicación adicional para el programador, que para simplificar sus cálculos geométricos desea en cada caso escoger el origen más adecuado. No obstante, existen funciones dentro de la programación de los CN que permiten dicha opción como veremos más adelante.

Cuando una pieza se mecaniza por varias caras en el mismo programa, se acostumbra a referir los puntos de cada cara a orígenes distintos.

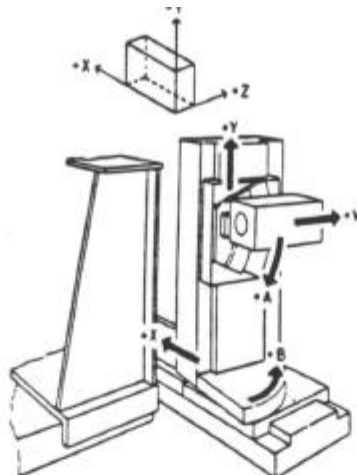
- Punto cero de la pieza (W): En las máquinas de origen móvil el programador puede elegir el origen de coordenadas para la pieza W que más le facilite su trabajo. Pero en todos los casos deberá conocer las coordenadas del origen pieza W que se ha considerado con respecto al cero máquina M. En una fase del programa se efectúa el decalaje del cero máquina al cero pieza, indicando la distnacia 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.

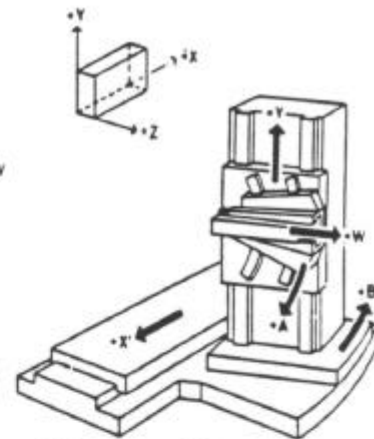
- Punto de ajuste de la herramienta (E): Es el punto cero de la herramienta a partir del cual se determinan las cotas de la punta. Una vez montada la herramienta en la máquina, en general los puntos E y R coinciden. Así, conocida la distnacia de la punta de la herramienta al punto de referencia, el control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



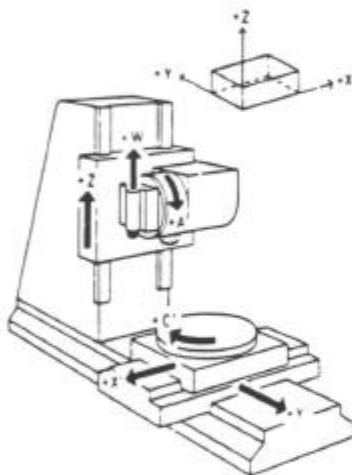
a) Mandrinadora-fresadora de husillo horizontal



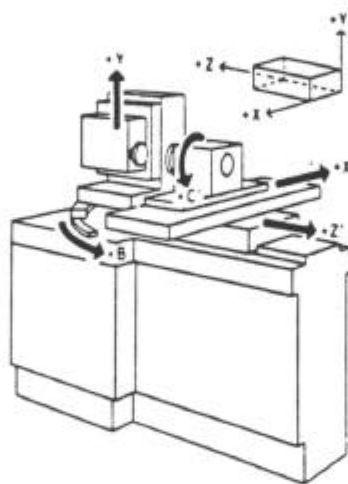
b) Fresadora-perfiladora de husillo horizontal (5 coordenadas)



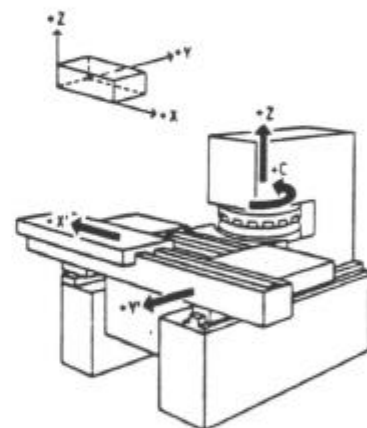
c) Fresadora-perfiladora de mesa móvil (5 coordenadas)



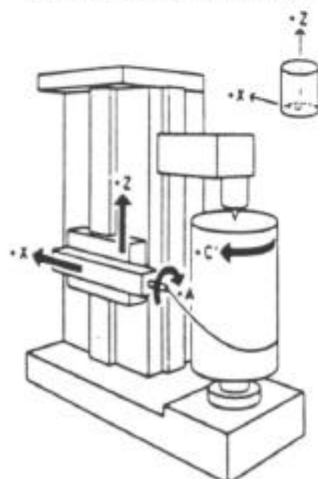
d) Fresadora-perfiladora de mesa inclinada (5 coordenadas)



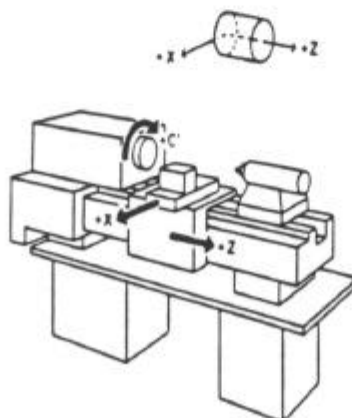
e) Afiladora.



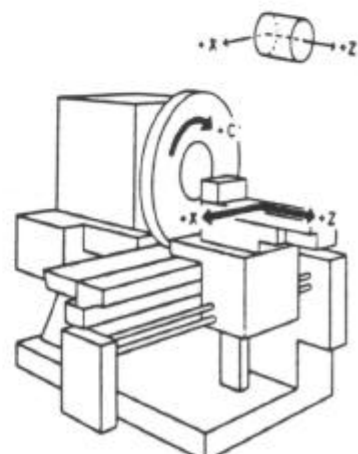
f) Punzonadora de torreta



g) Bobinadora vertical



h) Torno paralelo



i) Torno frontal

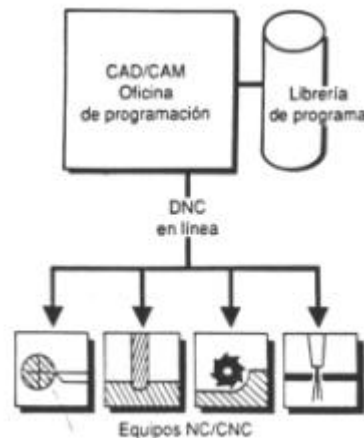
Distribución de programas de CN.

Comunmente, a los programas CN se les ha almacenado en forma de cinta perforada, cinta cassette o diskette de ordenador, pero, actualmenete, y más con el empleo de los sitemas 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 cad 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.



Distribución de programas según el método tradicional



Distribución utilizando un programa de comunicaciones

ESTRUCTURA GENERAL DE UN PROGRAMA DE CN.

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:

- a) Cabecera de programa.
- b) Programa de mecanizado.
- c) Final de programa.

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.



Tecnología de Fabricación y Tecnología de Máquinas

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.

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 renumerar 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.

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,...

PROGRAMACIÓN ISO.

Lenguaje de programación ISO. (Formato de línea)

El control numérico 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. En un taller convencional la información que requiere el operario para mecanizar una pieza en una máquina-herramienta, está constituida por los datos recogidos en el 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.

La utilización de máquina de CN en el taller ha provocado la necesidad de codificar estas operaciones en el 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 escritura en lenguaje CN exige, pues, una traducción del lenguaje corriente escrito, una codificación de las operaciones a realizar. La codificación del programa de la pieza se plasma en un documento nuevo denominado hoja de programa de pieza

Los programas de control numérico están compuestos de sentencias numeradas, denominadas bloques. Los bloques se referencian por un número y se ejecutan secuencialmente.



Tecnología de Fabricación y Tecnología de Máquinas

Veamos de que partes se compone un bloque en el formato de dirección de palabras:

- 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. Un ejemplo de formato en sistema métrico sería el siguiente:

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

%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 decimal 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.

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.



Tipos de funciones

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.

Veamos sucintamente algunas de ellas:

- FUNCION 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 esto, 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.
- FUNCION G01: Interpolación lineal. Mientras no se especifique otro tipo de interpolación, los bloques siguientes realizarán los movimientos entre puntos siguiendo rectas.
- FUNCION G02, G03: Interpolación circular. Indica que el movimiento al punto final se realiza siguiendo una circunferencia. G02 (sentido horario) y G03 (antihorario).
- FUNCION G04: Temporización o espera entre bloques. La temporización se programa mediante la letra K.
- FUNCION G06: Interpolación parabólica. Un arco de parábola se programa mediante el extremo del arco de parábola y el punto de intersección de la tangente del arco en los puntos inicial y final.
- 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.
- FUNCION 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:

*Tecnología de Fabricación y Tecnología de Máquinas*

- * 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.
- FUNCION G92: Mediante esta función se puede desplazar el cero a cualquier punto del sistema de coordenadas de la máquina.
- FUNCION G94: La velocidad de avance viene en mm/minuto.
- FUNCION G95: Velocidad de avance en mm/revolución. Muy útil en tornos.
- FUNCION 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.
$$V_{\text{corte}} = W_{\text{husillo}} \cdot R$$
- FUNCION 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.

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.

*Tecnología de Fabricación y Tecnología de Máquinas*

- FUNCION 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.

- FUNCION M01: Parada programada (condicionada). M01 actúa como M00, si se conecta la función "parada condicionada activa" mediante el pulsador del panel de control.
- FUNCION 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.
- FUNCIONES M07 y M08: Control del refrigerante
- FUNCION M09: Mecanizado sin refrigerante.
- FUNCIONES M13 y M14: Combinaciones de uso de refrigerante con rotación de eje.
- FUNCION M30: Fin de programa. M30 actúa como M02. Indica fin de programa.
- FUNCIONES M03, M04, M05, M19: 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, M03, M04, M05, M19, M30, M36 y M37.

Funciones avance (F) y velocidad del cabezal (S)

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.

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 un nuevo valor F. 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.

*Tecnología de Fabricación y Tecnología de Máquinas*

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 nº 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 $0,1^{-1} \text{ X}$.
- 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 nº de cabezal, por ejemplo, para un fabricante:

$$S2 = 1000$$

2 indicación del nº del cabezal
1000 velocidad de giro del cabezal

Función número de herramienta

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

T 12.34

T	Función herramienta
12	Nº de herramienta en la tabla de datos de herramienta.
34	Posición de la herramienta en el almacén de la máquina.



Ciclos Fijos

Concepto de ciclo fijo

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.

Ejemplos. 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.

Los ciclos fijos se ejecutan siempre en el plano ZX.

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.

Ejemplos. Ciclos fijos de fresado

El CNC dispone 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.

*Tecnología de Fabricación y Tecnología de Máquinas*

G88: Ciclo fijo de cajera circular.

G89: Ciclo fijo de mandrinado con retroceso en avance de trabajo G01.

Todos los ciclos fijos de mecanizado 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.

PROGRAMACIÓN PARAMÉTRICA.**Objetivos**

En los párrafos anteriores 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

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



Tecnología de Fabricación y Tecnología de Máquinas

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		

N37: Definición del parámetro.

N38: Llamada del subprograma 51 con 2 pasadas.

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

*Tecnología de Fabricación y Tecnología de Máquinas*

F15: Valor absoluto
F16: Complementación
F17 y F?: Operaciones especiales

Asignación de valor bajo parámetros:

Si un parámetro ha de mantener el valor de otro parámetro, rige:

$$R1 = R3$$

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 R1=9,7 R2=-2,1
N40 X=20.3+R1
N41 Y=32.9-R2
N42 Z=19.7-R1
Resultado: X = 30, Y = 35, Z = 10

Operaciones con números y parámetros:

La multiplicación, división, adición y sustracción de números absolutos y parámetros R es posible.

$$R10 = 15 + R11$$

Encadenamiento de parámetros:

$$R1 = R2 + R3 - R4 * R5 / R6 \dots\dots$$

Las cuatro clases de operaciones básicas están permitidas en cualquier orden. En una serie de parámetros pueden encadenarse 10 parámetros 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

**PROGRAMACION ASISTIDA. (CAM)****Concepto.**

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 producir 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.

Lenguaje APT.

En un principio, la programación asistida constaba de las siguientes fases:

- Definición del contorno de la pieza con los elementos geométricos que la componen (líneas, puntos, arcos, planos, cilindros, esferas, superficies regladas, ...) y codificándolos según el lenguaje de programación utilizado.
- Definición del recorrido de la herramienta sobre los elementos geométricos definidos anteriormente.
- Introducción de los parámetros de corte.

El lenguaje más utilizado es el APT, lenguaje universal válido para mecanizados en 3, 4 y 5 ejes, en el que cada instrucción del programa está compuesta de palabras de vocabulario, valores numéricos y símbolos, separados por caracteres especiales como la barra (/) o la coma (,).

Se trata de un lenguaje cuya utilización resulta pesada, por la rigidez de sus reglas y ello provoca errores.

El 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 herrameinta 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