



## **1. Tipos de programación**

### **Programación manual**

- Las trayectorias se calculan a partir del plano
- El programa se codifica manualmente sobre una consola o PC

### **Programación pseudo-asistida por computador**

- Existe descripción CAD de la pieza pero no existe módulo CAM
- Los puntos de la trayectoria se obtienen sobre la descripción CAD
- El programa se codifica manualmente sobre una consola o PC

### **Programación asistida por computador (CAM)**

- Interfaz para la generación cómoda de trayectorias de forma manual
- Posibilidad de generación automática de trayectorias a partir de la descripción CAD
- Detección de colisiones herramienta/pieza/soportes
- Posibilidad de simulación del proceso de mecanizado

### **Programación conversacional**

- El operario es guiado a través de las preguntas que le hace el sistema
- Apariencia y metodología dependen del fabricante



## **2. Programación manual**

### **Pasos necesarios para la creación de un programa**

#### **1. Análisis del plano de la pieza a fabricar**

- Dimensiones
- Tolerancias y acabados superficiales requeridos
- Material

#### **2. Definición de las operaciones elementales**

- Datos de partida: mecanizados a realizar en cada plano
- Resultado: trayectorias elementales realizables por una herramienta
- En general trayectorias rectas o circulares

#### **3. Selección de máquinas y secuenciación de operaciones**

- Elección de las máquinas más adecuadas para cada operación elemental
- Interesará reducir el número de cambios de máquina

#### **4. Selección de herramientas**

- Para cada operación elemental
- A considerar: geometría herramienta, tolerancias y acabados superficiales obtenibles

**5. Definición de condiciones de mecanizado**

- Velocidad de avance
- Velocidad de corte
- Profundidad de pasada

**RESULTADO PASOS 1 A 5: HOJA DE PROCESO****6. Codificación del programa**

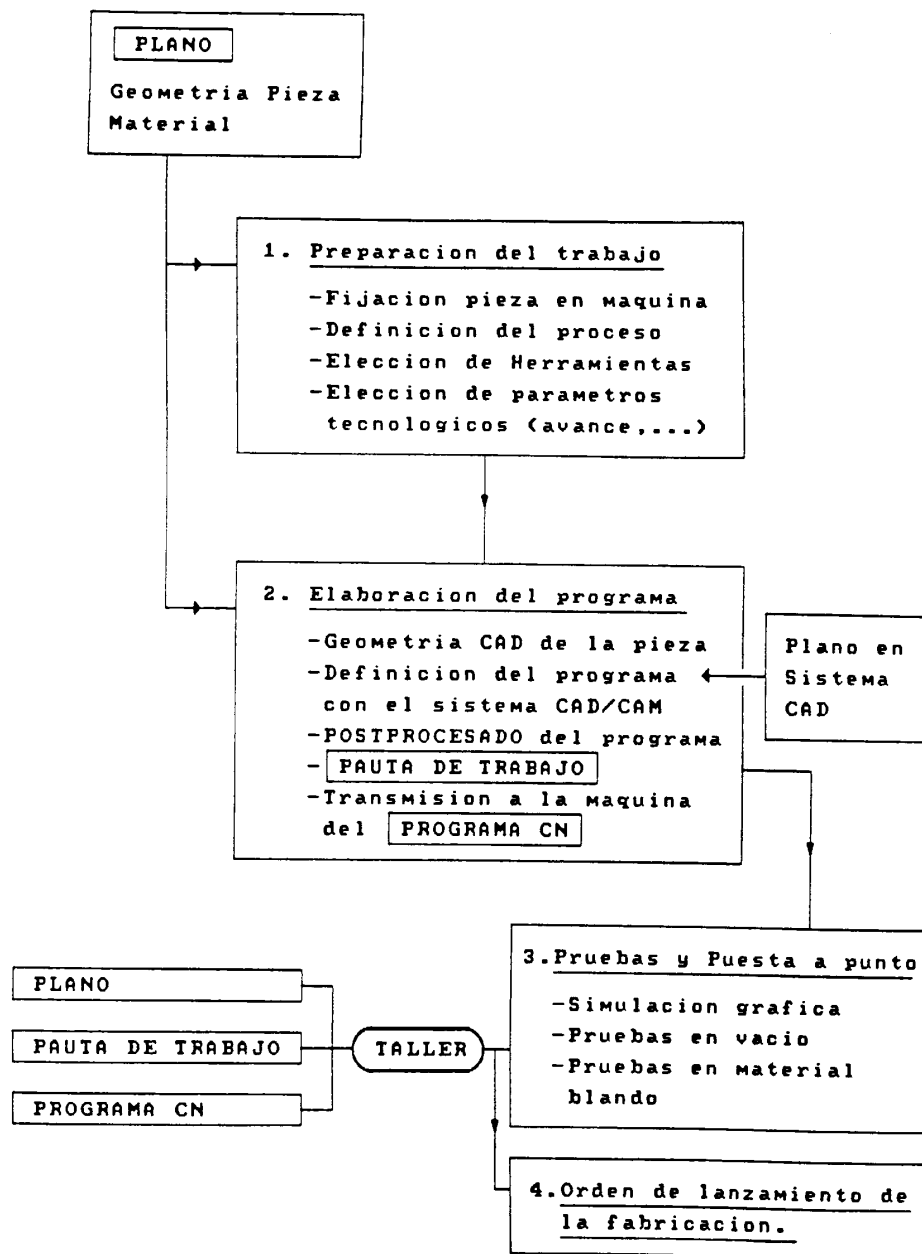
- En general siguiendo el estándar ISO de programación

**7. Pruebas de funcionamiento**

- Simulación de movimientos de la máquina herramienta en pantalla
- Prueba en vacío (sin pieza, sólo se observan los movimientos de la máquina)
- Prueba sobre modelo de material blando (madera, cera)
- Prueba con eje Z corregido (se devasta menos material del necesario)

**8. Ejecución del programa**

- Ejecución bloque a bloque (se supervisa cada operación antes de continuar)
- Operación en modo automático (funcionamiento normal)





## Ejes y sistemas de referencia

Existe una normativa para la designación de ejes en función de la máquina herramienta utilizada (**ISO R841, RS267-1**)

### **Eje Z**

- Dirección del husillo principal (proporciona la potencia de corte)
- Si la máquina no tiene husillo o su eje es variable, Z es perpendicular a la superficie de sujeción de la pieza
- Sentido positivo del eje Z: se aleja de la pieza

### **Eje X**

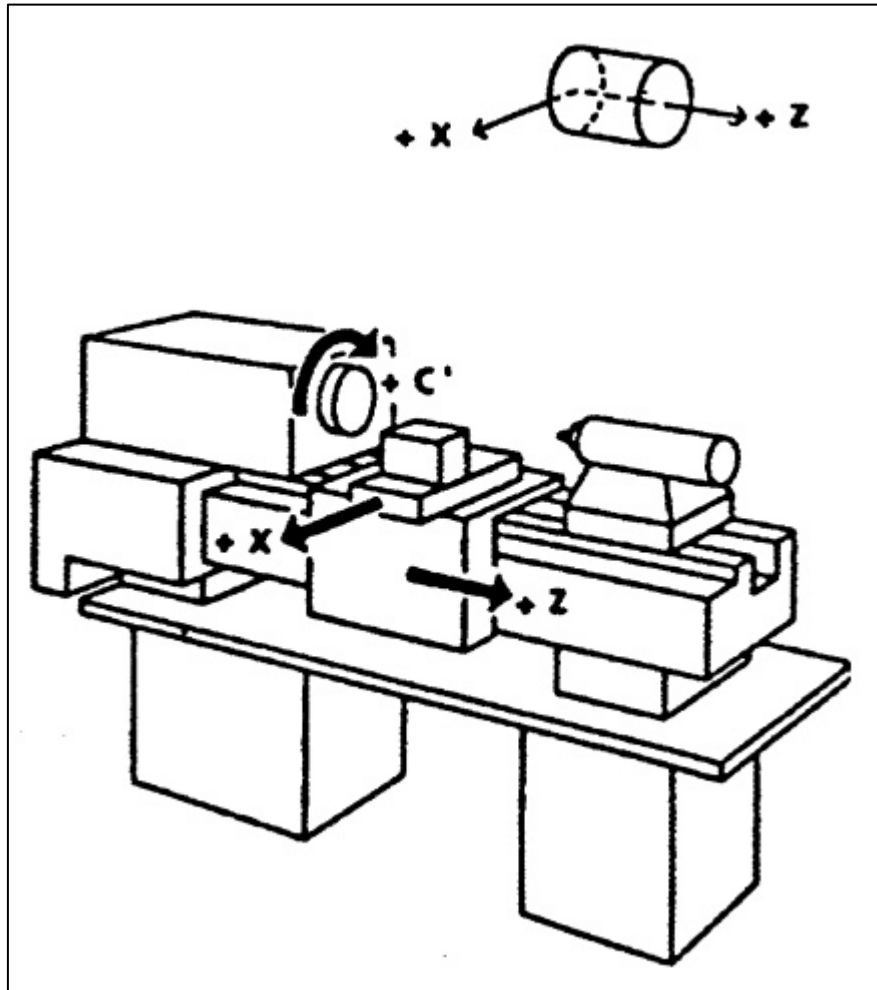
- Perpendicular al eje Z
- Eje de traslación horizontal
- Sentido positivo del eje X: en función de que Z sea vertical u horizontal, según distintas normas

### **Eje Y**

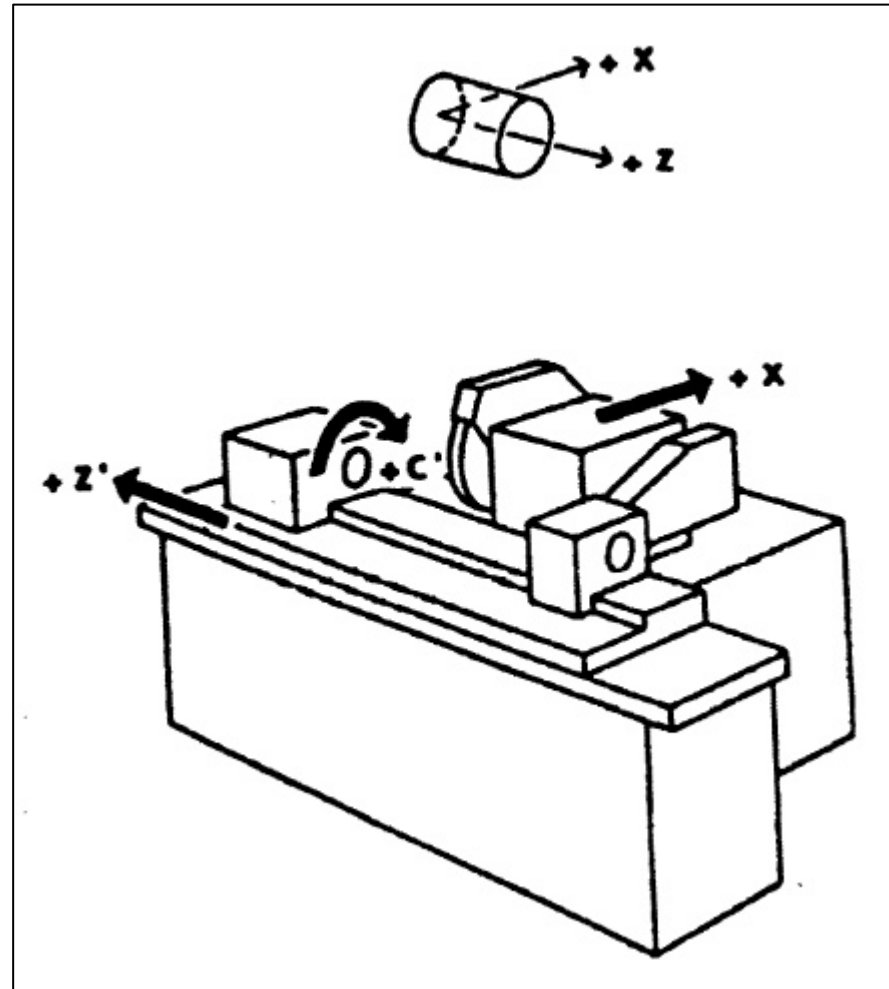
- Elegido de modo que forme un triédro a derechas con X y Z ( $\mathbf{X} \times \mathbf{Y} = \mathbf{Z}$ )

### **Otros ejes**

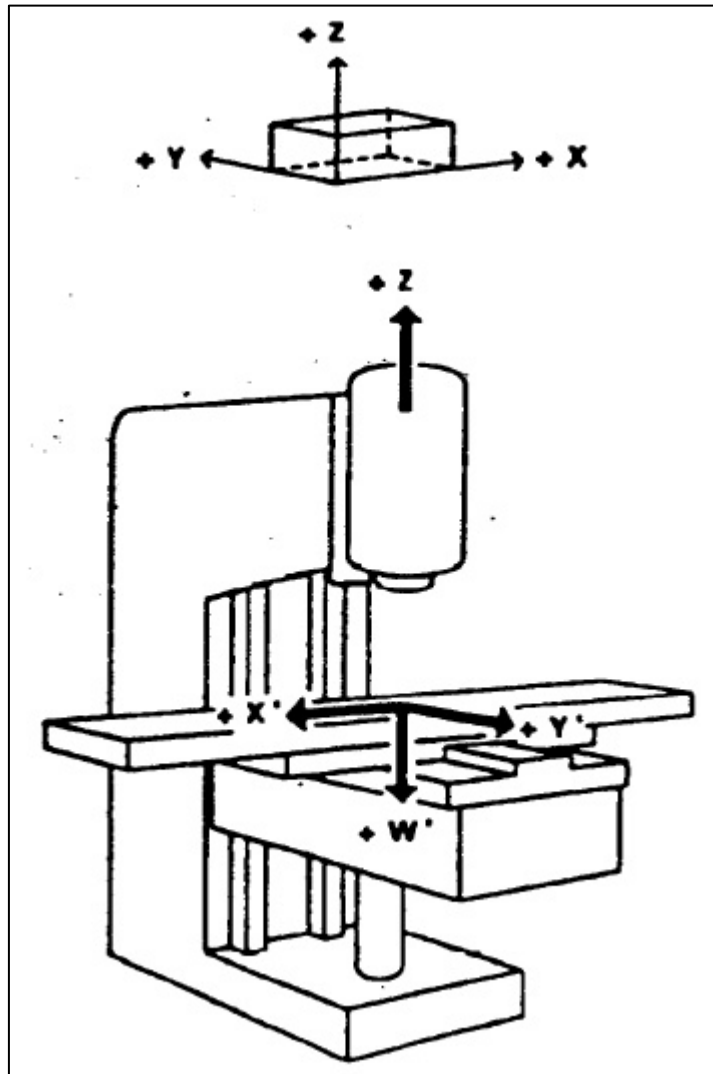
- U, V, W: ejes secundarios de traslación (paralelos a los principales X, Y, Z)
- P, Q, R: ejes terciarios de traslación (paralelos o no a los principales)
- A, B, C: ejes de movimiento circular (desplazamientos de rotación alrededor de X, Y, Z)



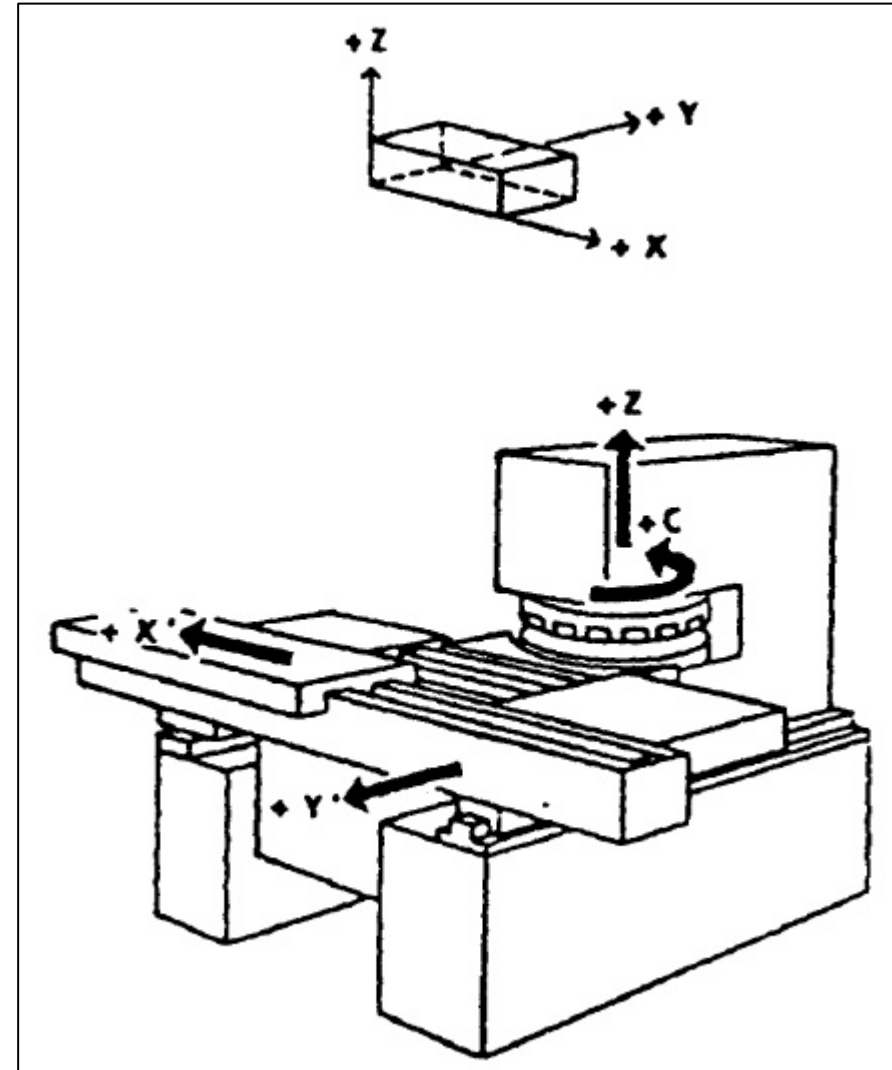
torno horizontal



rectificadora



fresadora



Punzonadora de torreta

Puntos de referencia considerados:**Punto cero de la máquina (M)**

- Origen de coordenadas de la máquina
- Definido de forma estándar en función de sus ejes

**Punto de referencia de la máquina (R)**

- Punto de referencia para el cambio de herramientas
- M y R son fijos en cada máquina

**Punto cero de la pieza (W)**

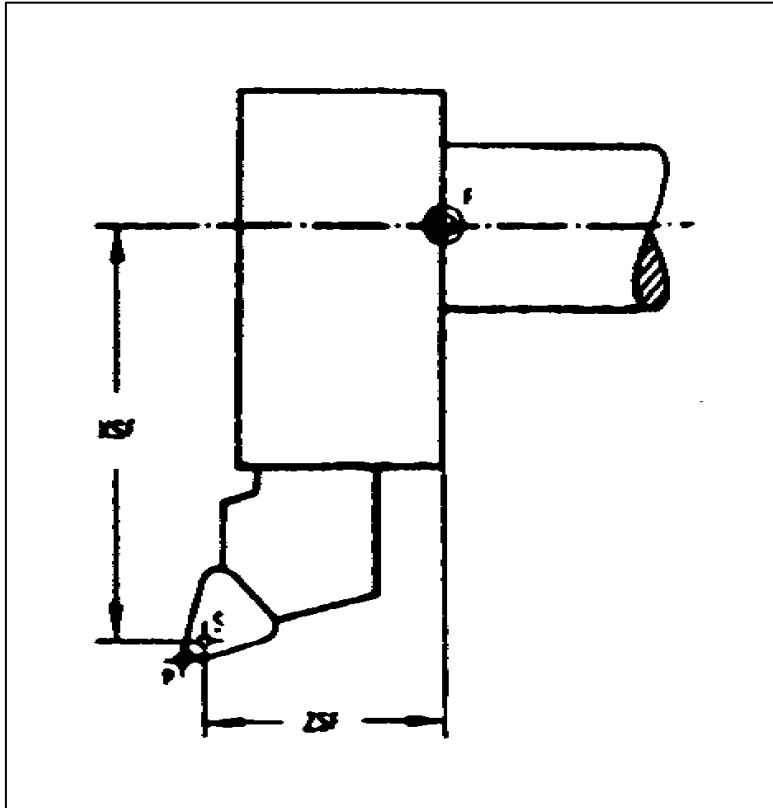
- Permite referenciar la pieza con respecto a la máquina herramienta
- Lo puede elegir libremente el programador
- Decalaje: distancia entre **M** y **W** medida sobre cada eje

**Punto de ajuste de la herramienta (E)**

- Punto de la herramienta a partir del cual se obtienen las cotas de la punta
- Es necesario conocer la geometría de la herramienta para poder calcular correctamente las trayectorias del punto E

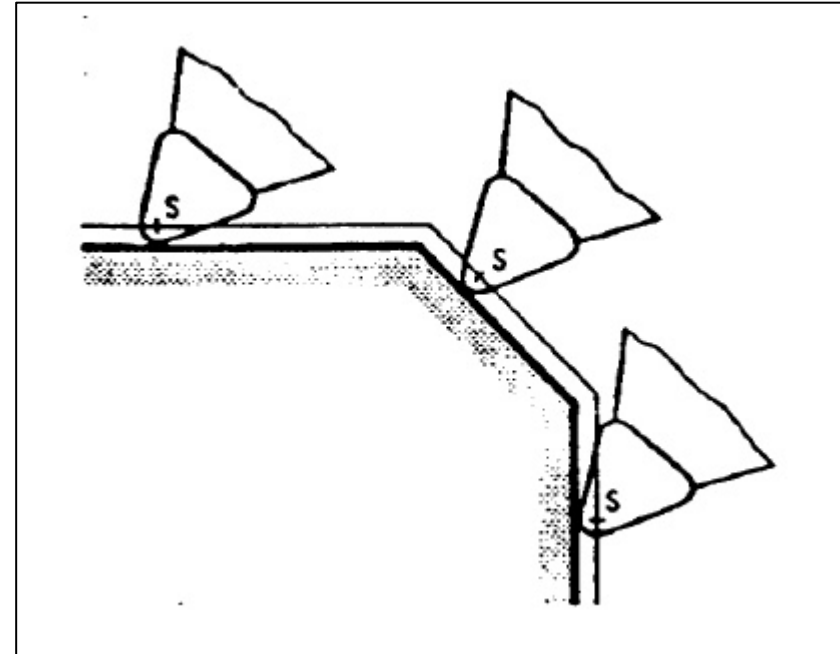


## Compensación del radio de la herramienta



### **1. Relación entre los puntos R (f) y E (S):**

- R: punto de referencia de la máquina
- E: punto de ajuste de la herramienta

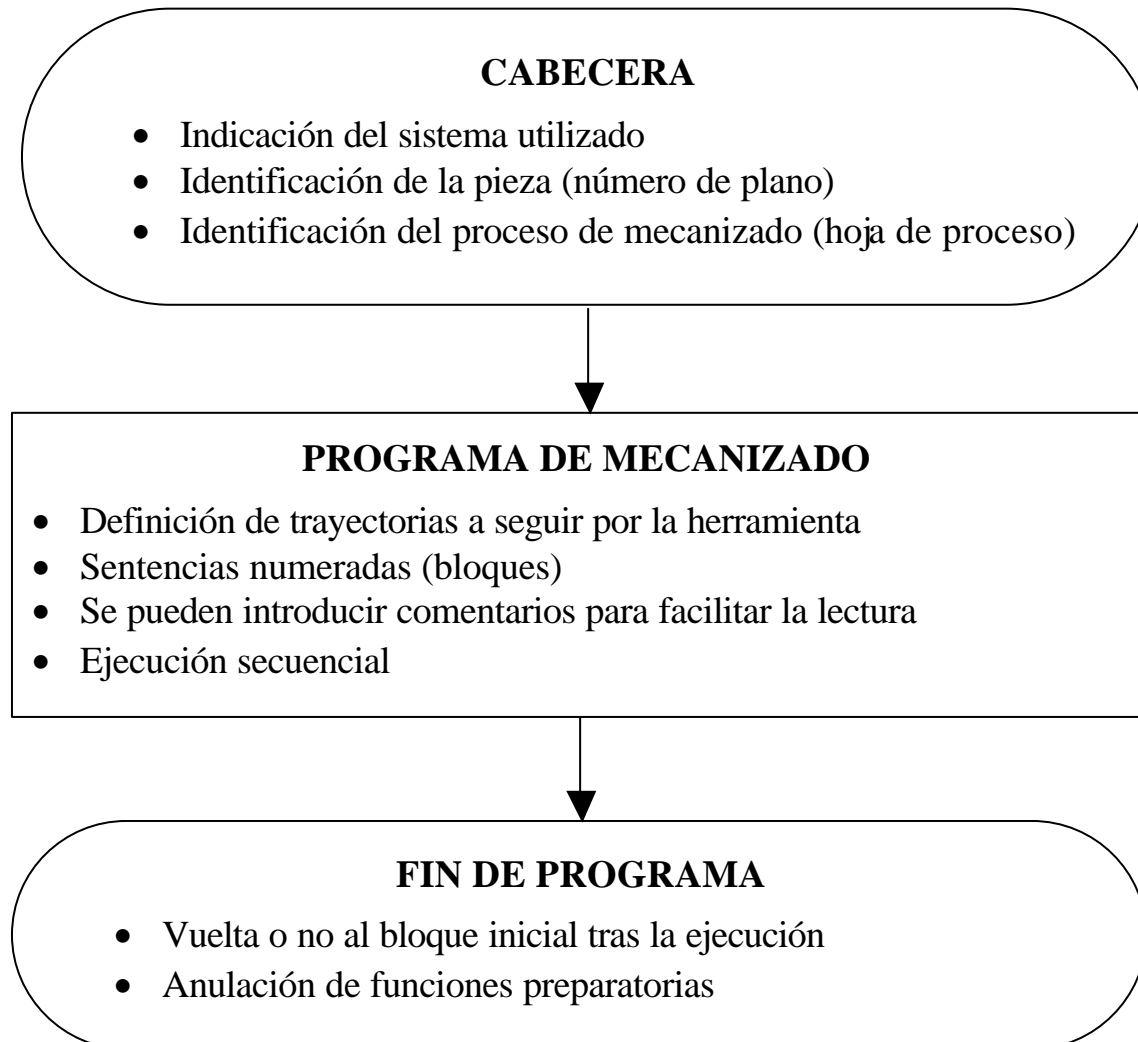


### **2. Compensación del radio de la herramienta:**

- A partir del punto E (S en el dibujo)
- La geometría de la herramienta no tiene por qué ser conocida por el programador
- La compensación de la trayectoria se realiza automáticamente
- El mismo programa es válido para distintas herramientas



## Lenguaje de programación ISO



Formato más extendido actualmente: programación mediante palabras (words)

- Cada bloque de programa (instrucción para la máquina herramienta) requiere una serie de datos:
  - ✓ Valores finales para cada uno de los ejes
  - ✓ Velocidades de avance y de cabezal
  - ✓ Datos auxiliares
- Cada dato se especifica mediante una palabra, con el siguiente formato:
  - ✓ Identificador del dato (prefijo estándar: **S** significa velocidad de husillo, **X** posición 'x' a alcanzar, etc)
  - ✓ Valor del dato

**Secuencia de palabras en un bloque:**

N ----	número de bloque
G ----	funciones preparatorias
X ----	posición final eje X
Y ----	idem eje Y
Z ----	idem eje Z
F ----	velocidad de avance
S ----	velocidad de cabezal
T ----	número de herramienta
M ----	funciones auxiliares
EOB	fin de bloque

**Ejemplo de código:**

```
N001 G01 X07500 Y06250 Z10000 F612 S718 EOB  
N002 X08752 Y06750 EOB  
N003 Z05000 F520 S620 M01 EOB
```



### Principales funciones preparatorias (G)

función	descripción	función	descripción
G00	Movimiento rápido (sin mecanizar)	G40	Anula la compensación de radio de herram.
G01	Movimiento lineal	G41	Compensación radio (herram. a a derecha)
G02	Movimiento circular (sentido horario)	G42	Compensación radio (herram. a la izquierda)
G03	Movimiento circular (s. antihorario)	G70	Valores en pulgadas
G04	Parada	G71	Valores en mm
G08	Curva de aceleración exponencial	G74	Emulación NC cableado (1 cuadrante)
G09	Curva de deceleración exponencial	G75	Fin emulación (4 cuadrantes)
G17	Elige plano XY para movim. circular	G80	
G18	Idem ZX	G81-89	Llamadas a ciclos fijos (subrutinas)
G19	Idem YZ	G90	Coordenadas absolutas
		G91	Coordenadas incrementales

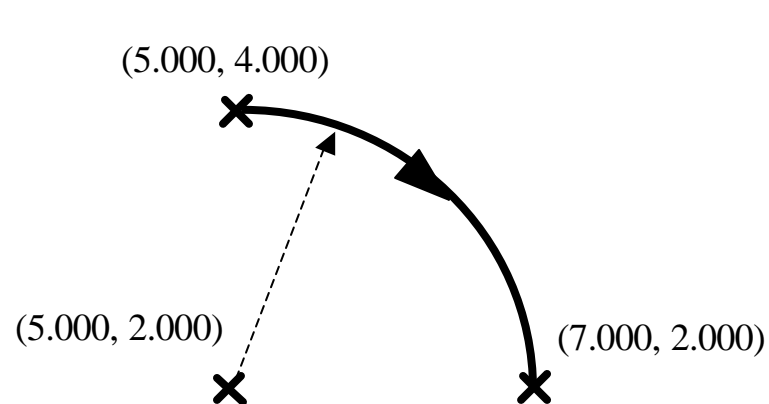


## Ejemplo de bloque

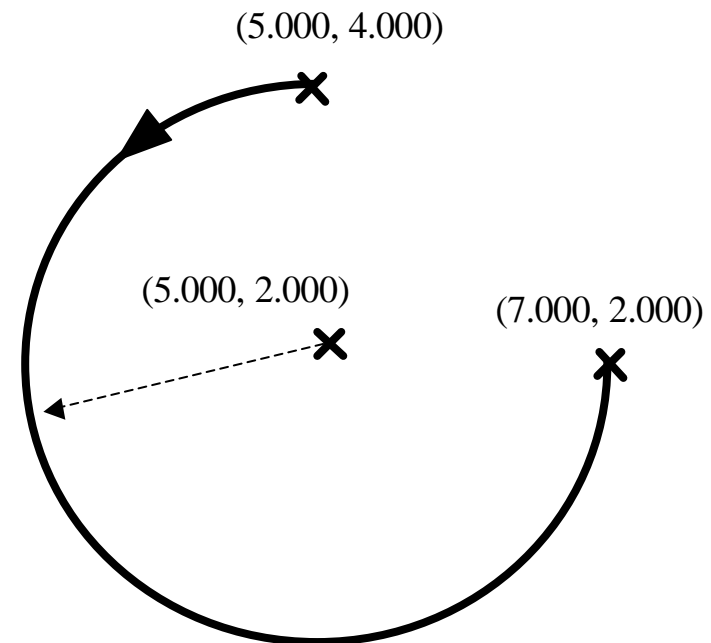
### Objetivo: trayectoria circular

- Posición actual: **5.000, 4.000**
- Posición final: **7.000, 2.000**
- Centro de la circunferencia: **5.000, 2.000**

N0100 **G02** X7.000 Y2.000 I5.000 J2.000



N0100 **G03** X7.000 Y2.000 I5.000 J2.000



*Nota: en ambos casos I, J especifican las coordenadas del centro*

Principales funciones auxiliares

función	descripción	función	descripción
M00	Detención del programa	M06	Cambio de herramienta
M01	Detención opcional (botón)	M07	Activa refrigerante 1
M02	Final de programa y vuelta al inicio	M08	Activa refrigerante 2
M03	Activa el cabezal (sentido horario)	M09	Desactiva refrigerante
M04	Activa el cabezal (sentido antihorario)	M30	Fin de programa

Otras funciones

**F: velocidad de avance.** Puede especificarse de dos maneras:

- En mm/min (si está activa la función preparatoria **G94**)
- En mm/vuelta (si está activa **G95**)

**S: velocidad del cabezal.** También puede especificarse de dos maneras:

- En m/min o velocidad de corte constante (si está activa la función preparatoria **G96**)
- En r.p.m. (si está activa **G97**)

**T: número de herramienta.** Por lo general también se indica su posición en el carrusel

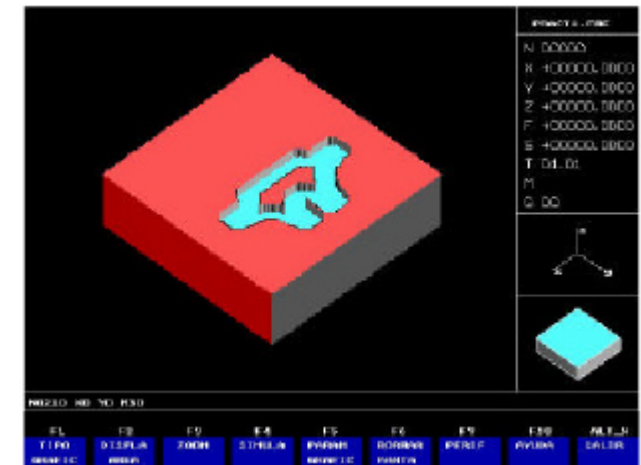
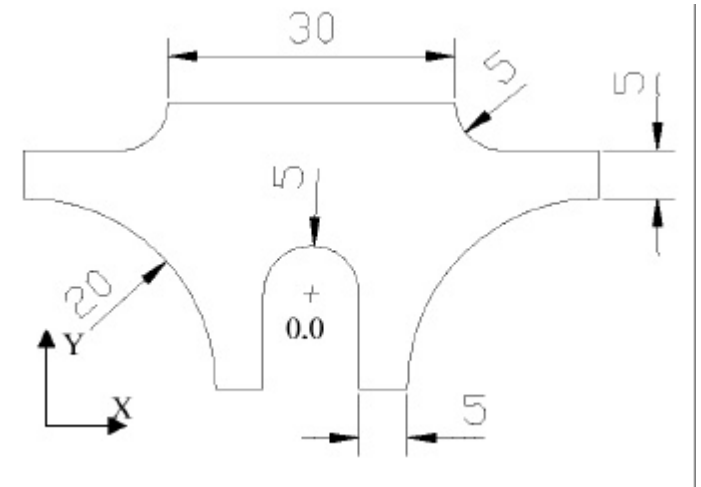


## Ejercicio

Realizar el código ISO de la siguiente figura:

Una solución es la mostrada en el cuadro siguiente:

Nº línea	Código	Comentario
N10	G90 G71 G94 G17 F300 S2000	Coordenadas absolutas, programación en milímetros, avance en mm/min, plano de trabajo XY, avance 300mm/min, giro a 2000rpm
N20	G00 X5 Y0 Z2 M03	Desplazamiento rápido a X=5, Y=0, Z=2, giro del cabezal a derechas
N30	G01 Z-2 M08	Avance lineal a Z=-2, activa refrigerante
N40	G01 Y-10	Desplazamiento lineal, avance de trabajo a Y=-10
N50	X10	Avance a X=10
N60	G02 X30 Y10 I20 J0	Interpolación circular al punto X=30 Y=10 con centro situado a X=20 J=0 respecto del punto de partida
N70	G01 Y15	Desplazamiento lineal a Y=15
N80	X20	Avance a X=20
N90	G02 X15 Y20 I0 J5	Interpolación circular al punto X=15 Y=20 con centro relativo en X=0 Y=5
N100	G01 X-15	Avance lineal a X=-15
N110	G02 X-20 Y15 I-5 J0	Interpolación circular al punto X=-20 y=15 con centro en el punto X=-5 Y=0 medido desde el punto de partida
N120	G01 X-30	Avance lineal al punto X=-30
N130	Y10	Avance al punto Y=10
N150	G01 X-5	Avance al punto X=-5
N160	Y0	Avance a Y=0
N170	G02 X5 Y0 I5 J0	Avance circular a X=5 Y=0 con centro relativo en X=5 J=0
N180	G01 Z2 M09	Avance lineal a Z=2, desconexión del refrigerante
N190	G00 Z60 M05	Avance rápido a Z=60 y parada del cabezal
N200	M30	Fin del programa





### Ciclos fijos

- Equivalen a subrutinas
- Son secuencias de operaciones fijas bien definidas de modo estándar o bien definidas por el usuario
- Al llamar a cada secuencia hay que especificar los parámetros que la definen
- Reduce el tiempo de programación y el número de errores

ciclos fijos para tornos		ciclos fijos para centros de mecanizado	
G68	Debastado en el eje X	G79	Definible por el usuario
G69	Debastado en el eje Z	G81	Taladrado
G81	Torneado de tramos rectos	G82	Taladrado con temporización
G82	Refrentado de tramos rectos	G83	Taladrado profundo
G84	Torneado de tramos curvos	G84	Roscado con macho
G85	Refrentado de tramos curvos	G85	Escariado
G86	Roscado longitudinal	G86	Mandrinado con retroceso rápido
G87	Roscado frontal	G87	Cajera rectangular
G88	Ranurado en el eje X	G88	Cajera circular
G89	Ranurado en el eje Z	G89	Mandrinado con retroceso lento





## Programación paramétrica

- Parámetros: sustituyen a los valores numéricos. Equivalen a variables
- Un solo programa es válido para distintas aplicaciones
- Es posible incluso introducir bifurcaciones en los programas

### Definición de parámetros:

- Por lo general se nombrarán como **R<sub>x</sub>** donde **x** es un número que identifica la variable
- Un ejemplo de bloque de definición de parámetros sería el siguiente:

**N37      R1=10      R29=20.05      R5=50**

### Utilización de parámetros previamente definidos:

- La dirección toma el valor que en ese momento posea el parámetro
- Ejemplo:

**N38      Z=R5      X=-R29      Y=-R1**

### Operaciones con parámetros:

- Dependiendo de los controladores se permitirán operaciones más o menos complejas
- Ejemplo:

**N39      Y=10+R1    X=-R29/2      Z=R1+R5**



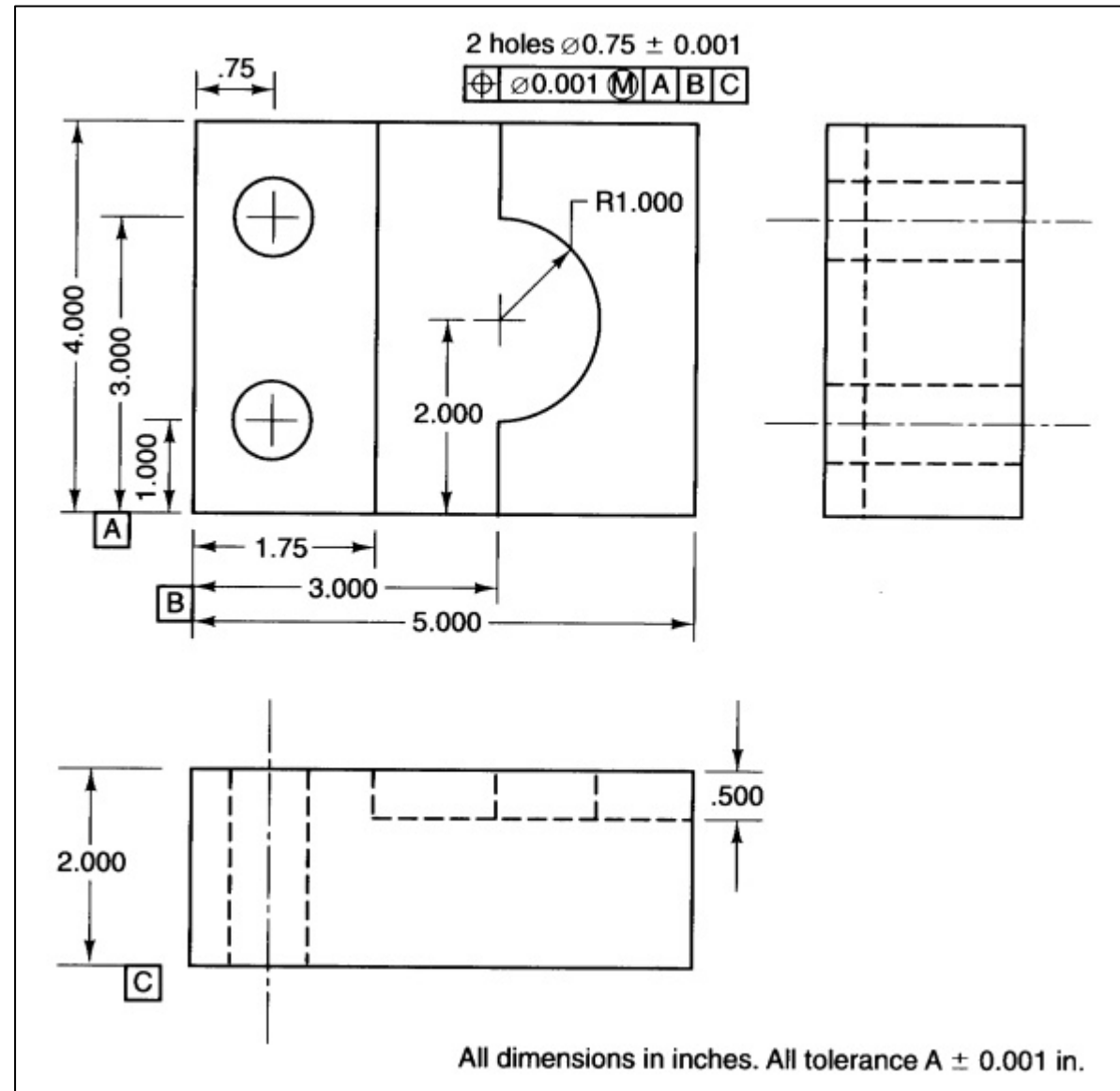
### 3. Ejemplo de mecanizado

Objetivo: crear la pieza del plano

Pieza de partida: paralelepípedo

Operaciones a realizar:

- Fresado del recorte
- Taladrado de los dos agujeros





### Consideraciones previas

**Ajuste del punto cero de la máquina:** se hace coincidir con el punto de la pieza donde se toman las referencias

#### **Datos de la herramienta de fresado:**

- Tipo: fresa plana de acero rápido con 4 filos de corte
- Diámetro: 3/4 in. (pulgadas)
- Velocidad de avance recomendada: 0.005 in./tooth/rev (pulgadas por diente y por revolución)
- Velocidad de corte recomendada: 620 fpm (pies por minuto)

#### **Obtención de los parámetros requeridos por la máquina herramienta para el fresado:**

- Velocidad de giro (n) :  $n = \frac{12 \cdot v}{p \cdot D} = \frac{12 \cdot 620}{p \cdot 0.75} = 3157 rpm$  (1 pie = 12 pulgadas)
- Avance (s) :  $s = n \cdot s_N = n \cdot z \cdot s_z = 3157 \cdot 4 \cdot 0.005 = 63 ipm$  (pulgadas / minuto)

#### **Datos de la herramienta de taladrado:**

- Tipo: broca helicoidal de acero rápido
- Diámetro: 3/4 in. (pulgadas)
- Velocidad de avance recomendada: 0.018 in./tooth/rev (pulgadas por revolución)
- Velocidad de corte recomendada: 100 fpm (pies por minuto)

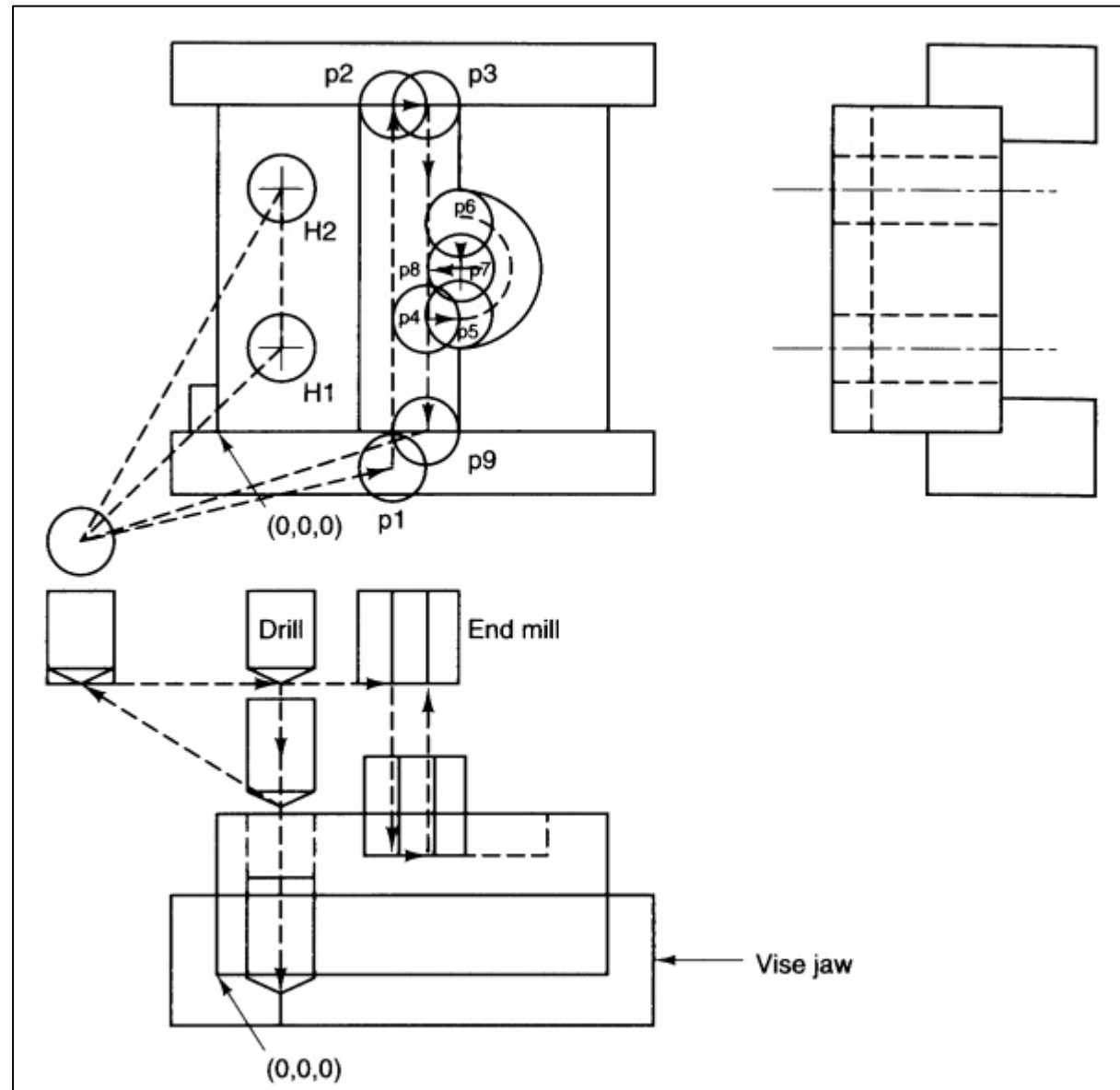
#### **Obtención de los parámetros requeridos por la máquina herramienta para el torneado:**

- Velocidad de giro (n) :  $n = \frac{12 \cdot v}{p \cdot D} = \frac{12 \cdot 100}{p \cdot 0.75} = 509 rpm$  (1 pie = 12 pulgadas)
- Avance (s) :  $s = n \cdot s_N = 509 \cdot 0.018 = 9.16 ipm$  (pulgadas / minuto)



Colocación de la pieza y trayectorias a seguir:

- La pieza se sujeta sobre dos soportes laterales
- La superficie a mecanizar queda libre y en el sentido del eje Z de la máquina (vertical)
- En el gráfico se muestran las trayectorias que han de seguir las herramientas de fresado (p1...p9) y taladrado (H1, H2)





Coordenadas de cada uno de los puntos de la trayectoria:

<b>Punto</b>	<b>X</b>	<b>Y</b>	<b>Z</b>	<b>comentario</b>
p1'	2.125	-0.475	4.000	p1' elevado sobre p1
p1	2.125	-0.475	1.500	Y fuera de la pieza para comenzar
p2	2.125	4.100	1.500	
p3	2.625	4.100	1.500	
p4	2.625	1.375	1.500	
p5	3.000	1.375	1.500	comienzo tramo circular
p6	3.000	2.625	1.500	fin tramo circular
p7	3.000	2.000	1.500	elimina el material en el centro del círculo
p8	2.625	2.000	1.500	
p9	2.625	-0.100	1.500	
p9'	2.625	-0.100	4.000	p9' elevado sobre p9
H1	0.750	1.000	-0.100	
H2	0.750	3.000	-0.100	

Programa resultante:

código	comentario
N0010 G70 G90 T08 M06	Pulgadas. Coordenadas absolutas. Selección y cambio herr.
N0020 G00 X2.125 Y-0.475 Z4.000 S3157	Rápido a posición inicial superior. Velocidad cabezal
N0030 G01 Z1.500 F63 M03	Velocidad fresado y sentido giro. Punto inicial.
N0040 G01 Y4.100	Tramo recto de fresado
N0050 G01 X2.625	Tramo recto de fresado
N0060 G01 Y1.375	Tramo recto de fresado
N0070 G01 X300	Tramo recto de fresado
N0080 G03 Y2.625 I3.000 J2.000	Tramo circular de fresado
N0090 G01 Y2.000	Tramo recto de fresado
N0100 G01 X2.625	Tramo recto de fresado
N0110 G01 Y0.100	Tramo recto de fresado
N0120 G00 Z4.000 T02 M05	Rápido a posición final superior. Paro cabezal. Selección herr.
N0130 F9.16 S509 M06	Nuevas velocidad cabezal y avance. Cambio herramienta
N0140 G81 X0.750 Y1.000 Z-0.1 R2.100 M03	Ciclo fijo de taladrado con parámetros. Sentido giro
N0150 G81 X0.750 Y3.000 Z-0.1 R2.100	Ciclo fijo de taladrado con parámetros
N0160 G00 X-1.000 Y-1.000 M30	Rápido a posición inicial. Parada de la máquina



Simulación funcionamiento:

