Aprende a programar tornos CNC

Incluye ejercicios prácticos

Freddy Alejandro Mijares Leal

2019 – Edición 1

- Dedicatoria -

Este es mi primer libro y no ha sido fácil comenzarlo, desarrollarlo y terminarlo, así que se lo dedico con todo mi corazón a mis dos hermosos hijos: Alejandro y Rebecca, de igual manera a mi amada esposa Fabiana, que me ha tenido mucha paciencia durante las horas que he pasado frente a la computadora.

- Índice -

- Introducción
1. Tornos CNC
2. Ejes en un torno CNC
3. Cero de trabajo y de máquina
4. Maquinabilidad
5. Cálculo de condiciones de corte
6. Sistema de coordenadas
7. Planeación de un programa
8. Códigos G
9. Códigos M
10. Movimiento rápido G00
11. Movimiento lineal controlado G01
12. Movimiento circular controlado G02 y G03
13. Ciclo de desbaste – cilindrado G71
14. Ciclo de refrentado – careado G72
15. Ciclo de desbaste contorno irregular – Cilindrado G73
16. Compensación de radio de punta G41, G42 y G40
17. Ciclo de acabado de contorno G70
18. Ciclos de barrenado G81, G83, G85
19. Ciclos de machueleado G84 y G74
20. Ciclo de roscado G76
21. Ciclos de ranurado y tronzado G75
22. Traslado de coordenadas G52
23. Documentación de un programa CNC
24. Control CNC
25. Ejercicios

- Tablas de Referencia
- Agradecimientos

- Introducción -

En el mundo moderno ya ni siquiera vale la pena comparar un torno convencional con uno controlado por computadora, hasta hablar de su concepto parece cosa del pasado. Los tornos a control numérico o centros de torneado nos traen ventajas muy grandes con respecto a sus predecesores, algunas de estas ventajas son:

- Repetitividad
- Precisión
- Complejidad de maquinados
- Alta producción

Y esto es sólo por nombrar algunas porque la lista sigue y sigue.

En Latinoamérica tenemos un problema muy grande en cuanto a profesionales preparados de manera adecuada para programar máquinas CNC. La gran mayoría ha aprendido de forma empírica trabajando en pequeños talleres, otros han tenido la suerte de estar en empresas que los envían al extranjero a realizar cursos más específicos y/o especializados, por último, y estoy seguro debe representar menos del 5%, han aprendido en la universidad o alguna institución que imparta este tipo de educación.

Este libro está dirigido a todas aquellas personas que quieran aprender a programar máquinas a control numérico de una manera práctica, sencilla, siguiendo una metodología ordenada, tratando de no "*mojarnos el dedo, levantarlo y ver hacia dónde sopla el viento*" para tomar decisiones.

El programador debe estar entrenado para realizar cálculos matemáticos, lectura e interpretación de planos, tipos de materiales, selección de herramientas de corte, etc.

A pesar de ser una guía útil para aprender a programar tornos a control numérico, no representa la solución a todos los problemas que se les vayan a presentar. La práctica, la formación y el trabajo continuo son las mejores formas de ir siendo cada vez mejores en lo que hacemos. Espero que disfruten mucho el libro.

- Tornos CNC -

Son máquinas que se utilizan para remover material, mediante el arranque de viruta, de piezas con forma cilíndrica o de tubo básicamente. El principio consiste en sujetar en el husillo la pieza que vamos a maquinar, empieza a girar y vamos pasando una herramienta de corte por la superficie de la pieza hasta que tenga la forma deseada.

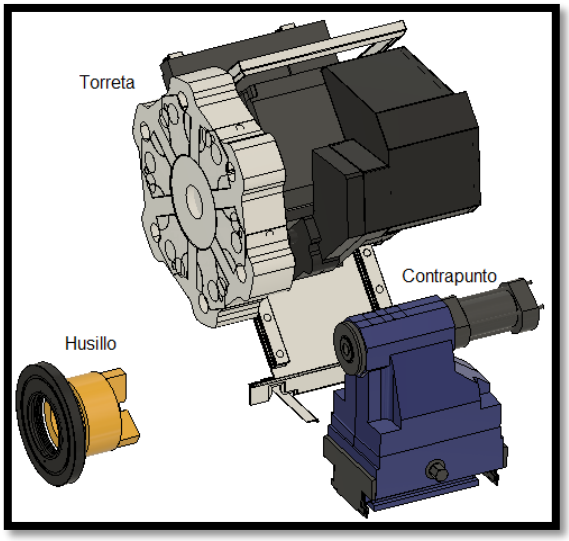


Figura 1

También se les puede llamar centros de torneado, aunque es de uso poco común. Las partes principales de un torno son:

- Husillo: mecanismo que sujeta la pieza para ser torneada.
- Torreta: Dispositivo donde se colocan las herramientas de corte.
- Contrapunto: dispositivo que sirve como apoyo para las piezas. Sujeta la pieza por el lado contrario del husillo (alineado con este) y se utiliza para piezas que son largas en longitud (por lo general cuando superan la relación diámetro – longitud 3:1. Ejemplo: Si una pieza tiene 25mm de diámetro y su longitud es de 100mm, requiere un contrapunto.

Los tornos se pueden dividir en varios tipos, dependiendo de la orientación del husillo (horizontal y vertical), diseño de la bancada (inclinada o recta) y por el número de ejes (torno fresa, multitasking, etc).

- Ejes en un torno CNC -

En este manual veremos la programación en lo que se considera lo más estándar en los tornos, la configuración con dos ejes. El eje **X**, representa el movimiento de la herramienta en forma diametral (hacia arriba y hacia abajo, transversal)

El eje **Z**, representa el movimiento de la herramienta en forma longitudinal (hacia adelante o hacia atrás)

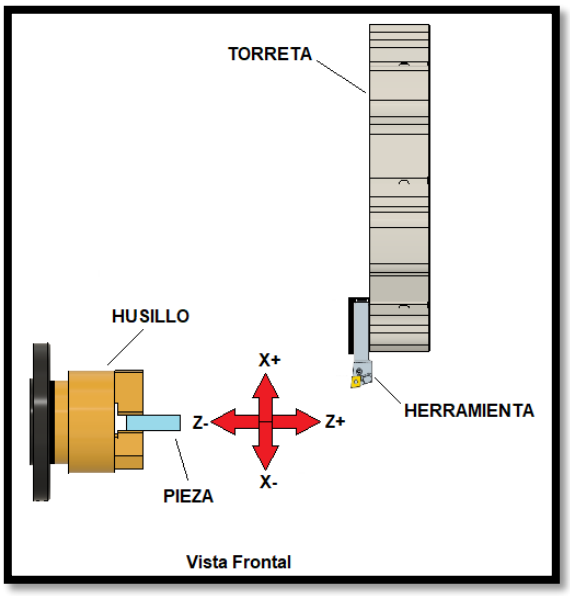


Figura 2

A la hora de planificar la producción de una pieza en un torno, se debe tener muy en cuenta las especificaciones de este.

La mayoría de los tornos CNC cuentan con características comunes. Aquí enumeraremos algunas:

- Para programar en coordenadas absolutas se utilizan las letras **X** y **Z**.
- Para programar en coordenadas incrementales se utilizan las letras **U** y **W**.
- En la mayoría de controles, la mínima medida programable es 0.001mm para el sistema métrico y 0.0001in en sistema inglés.
- El avance se mide en mm/rev para el sistema métrico y in/rev para el sistema inglés.

Pueden existir de igual manera tornos CNC que puedan tener más ejes como el **"C"** para orientar en una posición el husillo, también con eje **"Y"** cuando hay montadas en la torreta herramientas vivas o de fresado. En las máquinas con las configuraciones que hemos nombrado aumenta el costo de la inversión debido a los accesorios extras que deben colocarse.

- Maquinabilidad -

La maquinabilidad es un concepto utilizado en el mecanizado que se refiere a la facilidad con la que puedes arrancar la viruta a un material. Se toma como patrón el valor de un acero tipo 1212 (100% de maquinabilidad) y mientras más bajo sea su valor es más difícil maquinarlo. Lo voy a poner en un ejemplo:

Material	Maquinabilidad
Acero 4140	66%
Aluminio	320%

Esto quiere decir que arrancar la viruta del aluminio es más fácil que hacerlo en el acero 4140.

A continuación, les muestro unas tablas con valores de maquinabilidad de algunos materiales:

Aceros al carbono	
Material	**Maquinabilidad**
1015	72%
1018	78%
1020	72%
1040	64%
1212	100% (patrón)
1215	136%
Aceros aleados	
Material	**Maquinabilidad**
4130	72%
41L42	77%
4150	60%
4340	57%
8620	66%
9310	51%
Aceros inoxidables	
Material	**Maquinabilidad**
302	45%
304	45%
316	45%
321	36%
416	110%
420	45%
Super aleaciones	
Material	**Maquinabilidad**
Rene 41	9%
Hastelloy X	19%
Inconel 718	14%
Inconel 625	17%
Titanio Ti6Al4V	33%
Waspalloy	16%

Aceros endurecidos	
Material	**Maquinabilidad**
A-2	42%
D-2	27%
D-3	27%
M-2	39%
O-1	42%
O-2	42%
Fundiciones de hierro	
Material	**Maquinabilidad**
ASTM clase 20	73%
ASTM clase 25	55%
ASTM clase 30	48%
ASTM clase 35	48%
ASTM clase 40	48%
ASTM clase 45	36%
Aleaciones de aluminio, cobre…	
Material	**Maquinabilidad**
Aluminio 6061	320%
Aluminio 6262	320%

- Maquinabilidad -

Cobre 834	160%
Cobre 905	140%
Cobre 801	68%
Cobre 976	160%

La maquinabilidad va a depender de la composición química y física de los materiales. Como pueden ver en las tablas, las súper aleaciones, que son los materiales que se utilizan generalmente en la industria aeroespacial, son los más difíciles de maquinar ya que su valor de maquinabilidad es bastante bajo.

En todo caso, antes de empezar a maquinar un material es totalmente recomendable ver las tablas para saber qué condiciones utilizaremos para maquinar las piezas (Si el material que necesitas no aparece en las tablas, puedes buscar en las especificaciones del material que te entrega el proveedor. En el siguiente capítulo estaremos viendo la relación que existe entre la maquinabilidad con la velocidad de corte.

- Cálculo de condiciones de corte -

Esta sección es una de las más importantes para un programador, saber qué condiciones de corte utilizar a la hora de programar una pieza. La buena noticia es que los fabricantes de herramientas, en sus catálogos, nos muestran las condiciones recomendadas para empezar a maquinar.

Ahora nos vamos a encontrar un concepto nuevo, **VELOCIDAD DE CORTE (Vc)**. Esta se refiere a la velocidad superficial que tiene un punto al girar en el husillo, viene dado en m/min. Lo vamos a ver mejor en un gráfico.

Figura 3

En el capítulo anterior decía que la maquinabilidad está ligada a la velocidad de corte y esto lo vemos en que mientras menor sea la maquinabilidad del material, menor es la velocidad superficial que debemos utilizar para maquinarlo.

La velocidad de corte es necesaria para hallar las revoluciones por minuto mediante las siguientes fórmulas:

$$Rpm = \frac{Vc * 1000}{\pi * d} \quad (métrico)$$

$$Rpm = \frac{Vc * 12}{\pi * d} \quad (inglés)$$

Donde:

Rpm: revoluciones por minuto

Vc: velocidad de corte

d: diámetro del material (torno)

π: 3.1416 (constante pi)

Entonces nos preguntamos, ¿Dónde obtengo el valor de ***Vc*** para utilizarlo en la fórmula? La respuesta es fácil, el proveedor de herramientas nos da ese valor en su catálogo o en la caja de insertos que vamos a utilizar. Por ejemplo, voy a utilizar un inserto WNMG432-MM para hacer un desbaste. El material es acero inoxidable 321 y su diámetro menor de desbaste es 16mm. De esta manera revisamos la caja del inserto y nos da los valores recomendados.

- Cálculo de condiciones de corte -

Figura 4

Si estamos trabajando en el sistema métrico sólo sustituimos los valores en la fórmula

$$Rpm = \frac{180 * 1000}{\pi * 16} = 3580$$

Y en el sistema inglés

$$Rpm = \frac{590 * 12}{\pi * 0.6299} = 3577$$

Recuerden convertir el diámetro a pulgadas y como pueden ver los valores son muy similares. Dependiendo del sistema de unidades en el que vayan a programar, ustedes van a utilizar una formula o la otra.

Otro aspecto muy importante a tomar en consideración es el código de colores ISO. Esto nos indica para qué material se pueden utilizar los insertos. A continuación, les presento el significado de cada uno:

- P : Aceros al carbono y aleado
- M : Aceros inoxidables
- K : Fundiciones de hierro
- N : Aleaciones de aluminio
- S : súper aleaciones
- H : aceros endurecidos

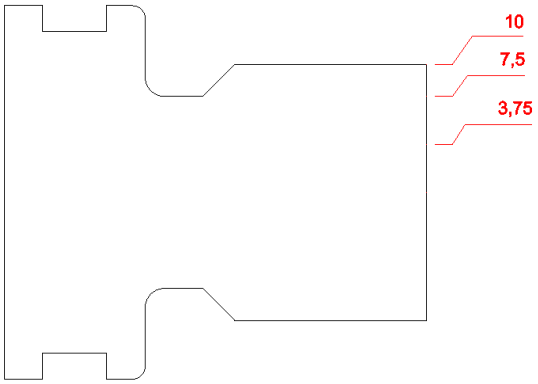
El diámetro es inversamente proporcional a las RPM. Esto quiere decir que a menor diámetro las RPM aumentarán y a mayor diámetro las RPM disminuirán, conservando siempre la misma velocidad de corte.

Para mantener la velocidad superficial constante utilizamos el siguiente código:

G96 S… (Velocidad superficial)

Un ejemplo práctico lo veremos en un capítulo más adelante.

- Cálculo de condiciones de corte -



En la imagen anterior, supongamos que la herramienta se dirige hacia abajo para hacer un corte y hemos programado con G96 S120.

La máquina hará el cálculo respectivo por cada diámetro por el que pase y aumentará sus RPM para mantener siempre la misma velocidad de corte.

$$Rpm = \frac{50 * 1000}{\pi * 10} = 1591$$

$$Rpm = \frac{50 * 1000}{\pi * 7.5} = 2122$$

$$Rpm = \frac{50 * 1000}{\pi * 3.75} = 4244$$

Ahora que empezamos a ver códigos, la manera de establecer el sistema de unidades en un programa CNC se realiza con los siguientes códigos:

G20 para trabajar en pulgadas

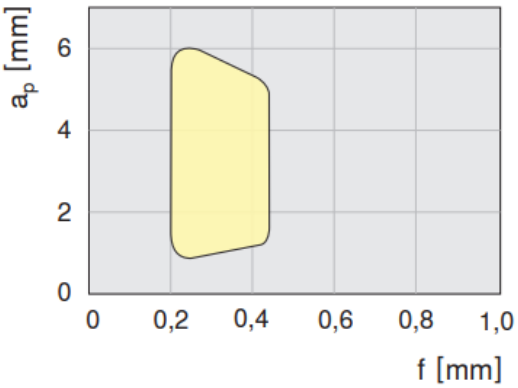
G21 para trabajar en milímetros

Como recomendación, sólo se debe trabajar en un sistema dentro del programa para evitar confusiones. El código se coloca después del nombre del programa para establecer las unidades y nunca cambia a menos que se le diga lo contrario.

No olvides que el valor de π es 3.1416

En ocasiones los proveedores de herramientas no colocan los datos de condiciones de corte en las cajas de los insertos. Cuando esto pase debemos ir hasta el catálogo y buscar esas condiciones según el código y nomenclatura de los insertos.

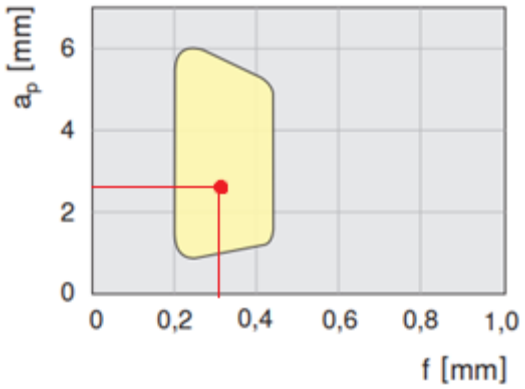
Pueden encontrase gráficas de este tipo:



- Cálculo de condiciones de corte -

En el gráfico anterior indica la relación de profundidad de corte (ap) vs. Avance (F) que pueden utilizar con cierto tipo de inserto.

Supongamos que quiero empezar con una profundidad de corte (ap) de 2.5mm esto me da un rango de avance desde 0.2 a 0.45 mm/min



- Sistema de Coordenadas -

Es un sistema utilizado para localizar puntos en un plano en dos dimensiones y que están definidos, para el caso de tornos, con dos letras: ***X*** y ***Z***.

También nos sirve para establecer el origen que vamos a establecer como referencia para inicio de la programación.

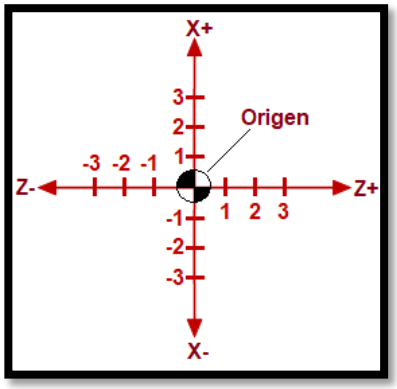


Figura 5

En la figura 5 podemos ver que el origen (*también puede llamarse: cero de trabajo, cero de referencia, origen de trabajo, work offset*) se establece en la intersección del eje ***X*** con el eje ***Z***.

Es importante recalcar que **SIEMPRE DEBEMOS ESTABLECER EL ORIGEN DE TRABAJO**, para que la máquina a control numérico sepa dónde se encuentra la pieza que vamos a maquinar.

Para no estarnos imaginando cómo funciona esto del origen vamos a sobreponer la figura anterior en un plano de un eje (pieza).

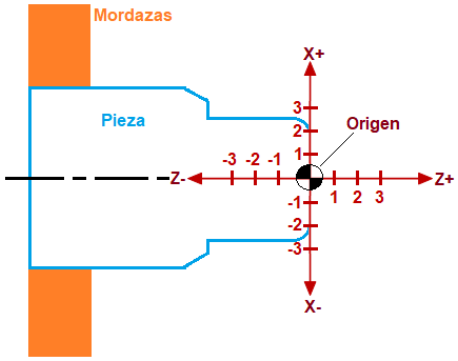


Figura 6

En la figura 6 podemos apreciar que se ha establecido un cero de trabajo en la cara derecha de la pieza y a partir de ese sistema de coordenadas podemos empezar a programar.

El origen puede tomarse a criterio del programador, la recomendación es que lo haga en el lugar donde tenga que hacer menos cálculos.

Además del cero de trabajo existe el cero de máquina y es el lugar más alejado en el que se encontraría la torreta del husillo. Viene establecido por parámetro, es decir, el fabricante de la máquina establece las coordenadas. En la siguiente figura se

pueden apreciar los diferentes ceros en una máquina CNC.

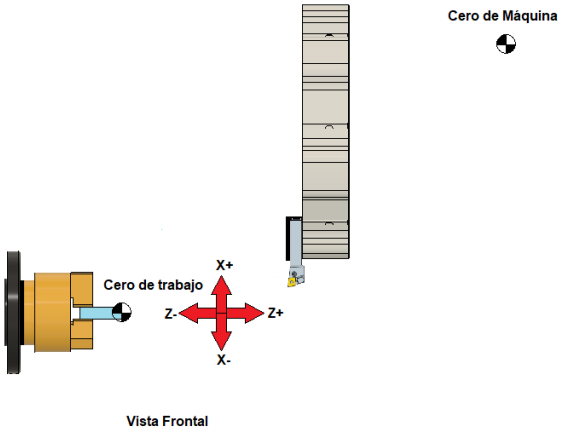


Figura 7

El sistema de coordenadas también se divide en cuatro cuadrantes que van a determinar el signo de las coordenadas del programa.

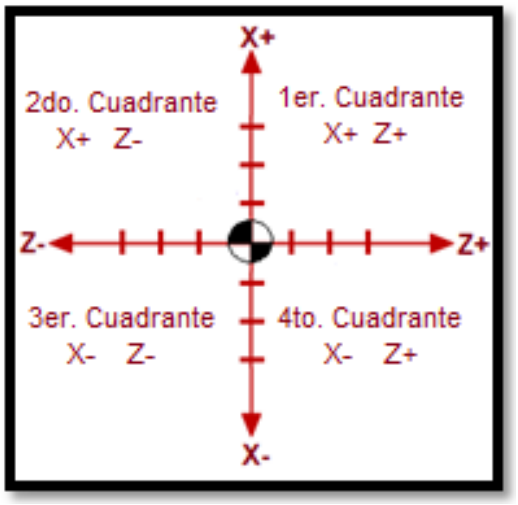


Figura 8

Ahora vamos a realizar un ejercicio para localizar puntos en un plano.

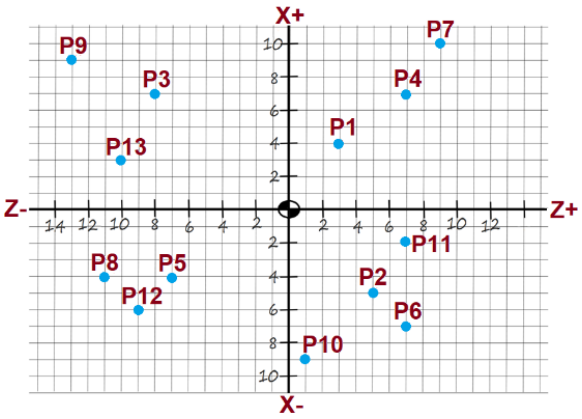


Figura 9

En este, vamos a localizar los puntos que en la práctica representarían el movimiento de la herramienta de corte.

P1 X4.Z3.
P2 X-5.Z5.
P3 X7.Z-8.
P4 X7.Z7.
P5 X-4.Z-7.
P6 X-7.Z7.
P7 X10.Z9.

Y así continuamos con los siguientes puntos o coordenadas:

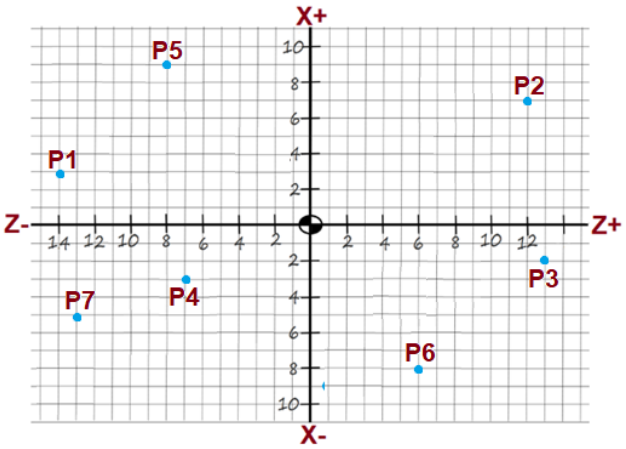
P8_____
P9_____
P10_____
P11_____
P12_____
P13_____

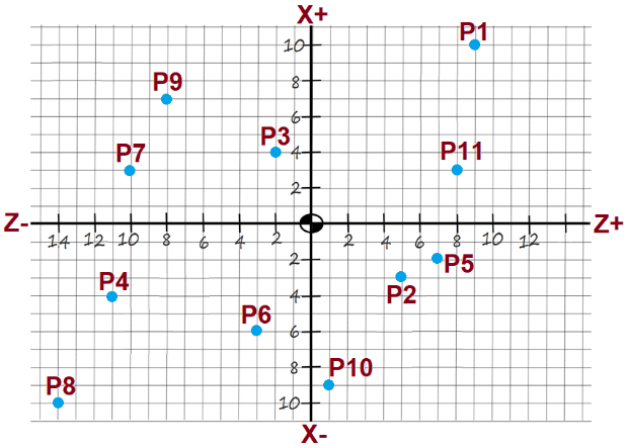
Como pueden observar en el ejercicio anterior, nuestros puntos

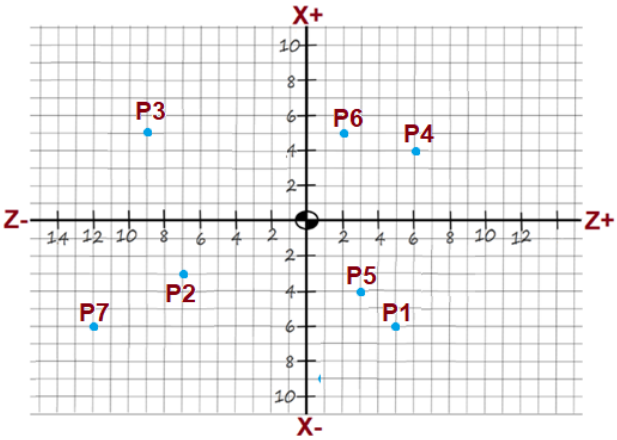
- Sistema de Coordenadas -

siempre toman como referencia el mismo origen, a esto se le llaman **COORDENADAS ABSOLUTAS**. Y es la manera cómo vamos a estar programando. En un curso más avanzado veremos las coordenadas incrementales.

Pueden resolver estos ejercicios de identificación de coordenadas para practicar.





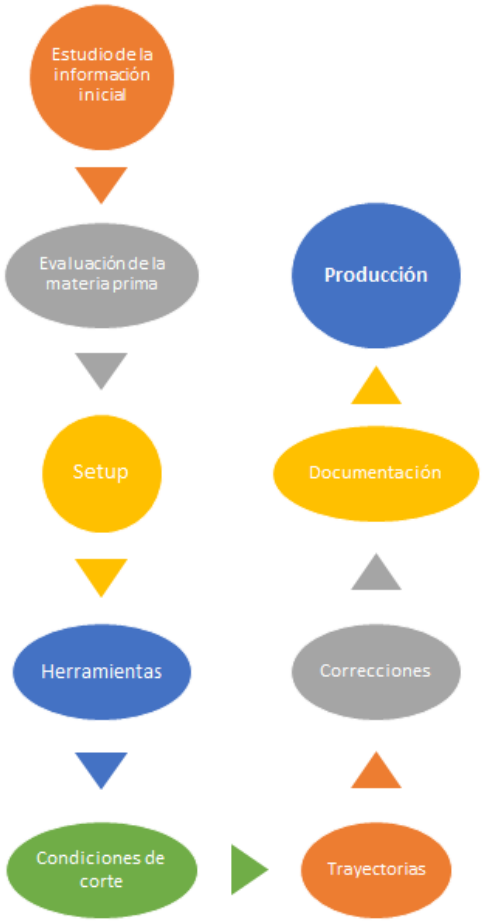


- Planeación de un programa -

A pesar de no haber un método definitivo para planear un programa debido a los diferentes tipos de trabajo que puede haber, sí es necesario tomar en consideración estos aspectos antes de comenzar la planeación del programa:

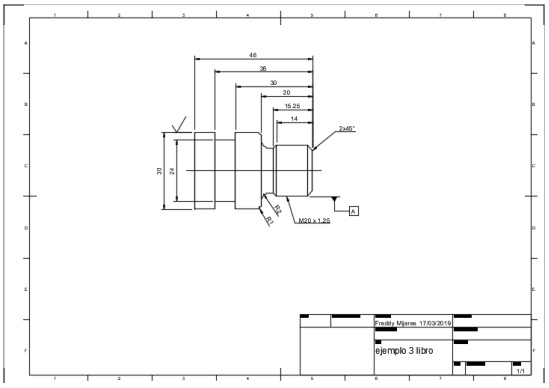
- Máquina: esto se refiere a qué tipo vamos a utilizar y si tiene la capacidad para realizar el trabajo. Ejemplo: si se desea hacer un molde que pesa 400Kg y la máquina tiene capacidad para 300Kg, ya está descartada, debemos buscar una con mayor capacidad. Lo mismo pasa con las RPM, memoria del control, capacidad de leer programas largos y con *look-ahead* para superficies, si es el caso.
- Tipo de programación: en este caso tomaremos la decisión de utilizar un programa de CAD/CAM o haremos la programación manualmente.
- Utillajes o herramentales (jigs): considerar la utilización de utillajes, complejidad de las piezas, número de atadas.

Habiendo dicho esto, podemos ver el diagrama para la realización del trabajo encomendado.



- Planeación de un programa -

El primer paso, que es el estudio de la información, consiste en revisar todos los aspectos del plano: material de la pieza, sistema de unidades, revisión del plano, tolerancias dimensionales y geométricas, acabado superficial, etc. Con esta información podemos saber si en realidad tenemos la capacidad, en maquinaria, para realizar el trabajo.



El segundo paso es revisar la materia prima que utilizaremos. Se debe considerar que, al comprar barras cilíndricas, estas vienen por medidas estándares y debemos acoplarnos a ellas. Por ejemplo, si vamos a maquinar una pieza cuyo diámetro mayor de maquinado exterior es 22mm, debemos comprar una barra de 25.4mm (1 pulgada, medida estándar). Es conveniente comprar algo cercano al diámetro (aproximadamente 3 milímetros más de sobre material) que vamos a maquinar para ahorrar dinero en el costo de las herramientas, en tiempo y material.

Continuando con el paso 3, tenemos el SETUP (preparación del proceso). En este paso determinamos si es necesario utilizar algún tipo de utillaje o herramental especial, ¿cuántas atadas se necesitan para hacer las piezas?, ¿Se van a utilizar tanto el torno como un centro de maquinado?

En el cuarto paso escogemos las herramientas a utilizar, tratando de quedarnos dentro de lo estándar en lo posible. Agregar herramientas especiales incrementará el costo de la pieza y sólo se recomienda hacerlo en caso de ser necesario.

El quito paso es determinar las condiciones de corte. Como ya lo hemos dicho en un capítulo anterior, se determinará sabiendo el material, la maquinabilidad y las herramientas a utilizar. Ya veremos ejemplos concretos.

Sexto paso, ¡**A PROGRAMAR!**

- Planeación de un programa -

El séptimo paso es para depurar nuestro programa de posibles errores en el código, verificar trayectorias, evitar colisiones y tratar de hacer el proceso más rápido y eficiente. En el mercado existen varias opciones de simuladores de trayectorias de programas CNC.

Y el último paso antes de la corrida en producción es la documentación. En el capítulo 30 se explica de manera más clara cómo hacer la documentación para un programa CNC junto con todo el proceso.

- Códigos G -

Los códigos G se refieren a las funciones preparatorias de la máquina. Por ejemplo, la función G03 prepara a la máquina para realizar un movimiento circular. Existen códigos G modales y no modales:

Modales: son los códigos que se mantienen activos hasta que se desactiven con otro código (G01, G02, G03, G00)

No modales: son códigos que se desactivan una vez realizada su función (G04, G28, G71, G72, G73, G74, G75)

Existe una regla general en la programación donde se establece que dos códigos modales no deben existir en el mismo bloque (misma línea).

A continuación podemos apreciar una tabla con los códigos G más comunes y que estaremos utilizando en esta guía.

Código	Descripción
G00	Movimiento rápido
G01	Movimiento lineal controlado
G02	Interpolación circular horaria
G03	Interpolación circular anti – horaria
G04	Tiempo de espera
G17	Selección de plano XY
G18	Selección de plano XZ
G19	Selección de plano YZ
G20	Selección de unidades imperiales (pulgadas)
G21	Selección de unidades métricas (milímetros)
G28	Retornar a posición HOME de máquina
G40	Cancelar compensación de corte
G41	Compensación de corte izquierda
G42	Compensación de corte derecha
G50	Límite máximo de RPM
G52	Cambio de sistema de coordenadas
G54	Sistema de coordenada de trabajo 1
G55	Sistema de coordenada de trabajo 2
G56	Sistema de coordenada de trabajo 3
G57	Sistema de coordenada de trabajo 4
G58	Sistema de coordenada de trabajo 5
G59	Sistema de coordenada de trabajo 6
G70	Ciclo de acabado
G71	Ciclo de torneado

- Códigos G -

G72	Ciclo de careado/refrentado
G73	Taladrado/Barrenado por repetición (picoteo)
G75	Ciclo de ranurado
G76	Ciclo de roscado con pasadas múltiples
G80	Cancelar ciclos de barrenado
G81	Ciclo de barrenado directo
G83	Taladrado/Barrenado por repetición (picoteo)
G84	Ciclo de machueleado
G96	Velocidad superficial (Vc)
G97	Revoluciones por minuto (RPM)
G98	Retorno a punto de inicio en ciclo
G99	Retornar al plano R en ciclo

- Códigos M -

Estos se refieren a las funciones misceláneas de la máquina y se les llaman así porque puede afectar tanto a funciones mecánicas (prender y apagar el husillo, activar o desactivar el refrigerante, poner en marcha el recolector de viruta, orientar el husillo, etc.) como a funciones del programa CNC en sí (llamada de un sub – programa, finalizar un programa, hacer una pausa, etc.). Los códigos M no pueden coexistir en la misma línea/bloque.

A continuación, les dejo una lista de códigos M comunes y que estaremos utilizando en este libro:

Código	Descripción
M00	Parada obligatoria de programa
M01	Parada Opcional del programa
M02	Fin del programa
M03	Enciende husillo sentido horario
M04	Enciende husillo sentido anti horario
M05	Detener husillo
M08	Encender refrigerante
M09	Apagar refrigerante
M10	Abrir mordazas
M11	Cerrar mordazas
M21	Contrapunto hacia adelante
M22	Contrapunto hacia atrás
M30	Finaliza programa y vuelve a inicio
M40	Relación de engranaje medio
M41	Selección relación baja de engranaje
M42	Selección relación alta de engranaje
M97	Llamada de subrutina local
M98	Llamada de sub programa
M99	Final de sub programa o subrutina y volver al programa principal

También pueden coexistir códigos G y M dentro de la misma línea o bloque.

G01 Z-30. F0.2 M08

- Estructura de un programa -

Un programa CNC consiste en una serie de comandos colocados en líneas. A cada una de estas líneas se les llama bloque.

Estos bloques pueden contener códigos de preparación, funciones misceláneas, velocidades de corte, rpm y es como está formado el programa de la pieza.

Para maquinar de manera correcta se debe tener mucho cuidado en el orden en el cual se colocan estos bloques.

Los controles actuales leen un bloque completo a la vez, no carácter por carácter. Ejemplo:

N51 G01 G42 X5. Z10.

En este caso el control leerá toda la línea al mismo tiempo, es decir, realizará el movimiento lineal hasta X5. Z10. simultáneamente y además activará la compensación.

Habiendo dicho esto, lo primero que debe ser colocado en un programa es su identificación. Bajo norma ISO se establece que se debe establecer un número de programa que comience con la letra O y luego 4 dígitos en el rango de 1-9999.

Ej: O1234

Existen controles más actuales que pueden manejar hasta 5 dígitos.

Acompañado del número de programa, se puede colocar el nombre del programa para identificar la pieza o el trabajo que se está haciendo.

Ej: O1234 (EJE PIÑON CENTRAL)

Cualquier comentario que se coloque dentro del programa debe estar encerrado entre paréntesis para que el control no lo confunda con algún código y marque error.

Dicho de manera más clara, lo que está dentro de los paréntesis, el control NO lo lee para ejecutarlo.

Estos comentarios dentro de los paréntesis son muy recomendados porque ayudan al operador durante el proceso de maquinado, se recomienda en gran manera su utilización. Pueden contener avisos de medición, número de operación, herramientas a utilizar, etc.)

Otro punto importante es el carácter [;] (**en español, el punto y coma**). Este símbolo es de vital importancia ya que nos indica el final de un bloque (una línea) y le dice al control que ya ha terminado y que comience a leer el siguiente bloque.

- Estructura de un programa -

Dependiendo del control, puede encontrarse como un botón que dice EOB, *End of Block* o simplemente aparece el [;].

Figura 12

Luego que hemos establecido el número y nombre del programa empezamos con los códigos de inicio o como en muchos lugares lo llaman, el **bloque de seguridad**, en donde colocamos algunos códigos preparatorios ya sea para activar o desactivar funciones. Esto se hace en todos los programas para dejar la máquina lista para trabajar. Les coloco un ejemplo para el inicio de un programa de torno:

O1234 (EJE PIÑON CENTRAL)
G21 G40 G80 G54 G18

Ninguno de estos códigos representa un movimiento en la máquina, pero la prepara para las funciones siguientes. El código G21 la está preparando para trabajar en el sistema métrico, G40 está cancelando alguna compensación (esto es un valor) que haya quedado grabado en el control de algún programa anterior, G80 cancela cualquier ciclo de taladrado que también haya podido quedar activado de otro programa, el G54 le está diciendo que vamos a trabajar en ese sistema de coordenada o cero de trabajo y el G18 le dice que estamos trabajando en los ejes XZ (porque es un torno).

Lo que veremos a continuación es la estructura de un programa completo y su significado (en color rojo):

O1234 (EJE CENTRAL)	(Número y nombre del programa) (Datos)
G21	(Sistema de unidades mm)
G40 G80 G54 G18	(Bloques de seguridad)
G28 U0. W0.	(Torreta a casa de máquina)
T0101	(Llama a herramienta 01 y offset 01)
G50S2500	(Límite de RPM)
G96S120	(Velocidad superficial)
M03	(Prende Husillo – sentido horario)
G00X...Z…	(Movimiento rápido acercamiento)
M08	(Activa refrigerante)
…	
(CICLOS Y MOVIMIENTOS DE CORTE)	
…	
G28 U0. W0.	(Torreta a cero de máquina)
M09	(Apaga refrigerante)
M05	(Detiene husillo)
M01	(Parada opcional)
T00202	(Cambia a herramienta 2 y offset 2)
G50S2130	(Límite de RPM)
G96S110	(Velocidad superficial)
M04	(Prende Husillo – sentido horario)
G00X...Z…	(Movimiento rápido acercamiento)
M08	(Activa refrigerante)

- Estructura de un programa -

```
(CICLOS Y MOVIMIENTOS DE CORTE)

G28 U0. W0.          (Torreta a cero de máquina)
M09                  (Apaga refrigerante)
M05                  (Detiene husillo)
M30                  (Fin del programa)
```

Más que en el contenido del programa del ejemplo anterior debemos fijarnos en la estructura del mismo y darnos cuenta que hay un orden en la programación.

En la segunda línea pueden ver que coloqué la palabra “datos” y esto se refiere a la información que debe llevar el programa CNC para que pueda ser identificable y tenga trazabilidad.

Aquí les dejo un programa con algunos datos que debe incluir, queda a criterio del programador agregarle y quitarle datos:

```
O1234 (EJE CENTRAL)
(PROGRAMADOR: FREDDY MIJARES)
(FECHA DE CREACION: 14-01-2019)
(FECHA DE ACTUALIZACION: 15-01-2019)
(UNIDADES: MILIMETROS)
(OPERACION: 10)
(MAQUINA:)
(CONTROL:)
(ESTATUS: DESARROLLO)
(MATERIA PRIMA: BARRA DIA 25.4MMx100MM LONG)

(PROGRAMA CNC)
(PROGRAMA CNC)
(PROGRAMA CNC)

M30 (FIN DEL PROGRAMA)
```

Los mensajes entre paréntesis se pueden ir incluyendo a lo largo del programa con notas que ayuden al operador a realizar el trabajo de manera más segura y efectiva. Es recomendable colocar el nombre y código de herramientas, mensajes de ceros de trabajo, etc.

- Movimiento rápido G00 -

En los programas CNC aparte de haber movimientos de corte también hay movimientos de acercamiento o posicionamiento, que no se utilizan para cortar material. Estos movimientos a pesar de ser improductivos, son imprescindibles en la programación CNC ya que son movimientos rápidos que pueden ser utilizados para apartarse de pieza para hacer un cambio de herramienta, esquivar obstáculos acercarse a la pieza después de haber hecho otro cambio de herramienta, etc.

El código para activar el movimiento rápido es ***G00***. Ahora los plasmaremos a manera de ejemplo:

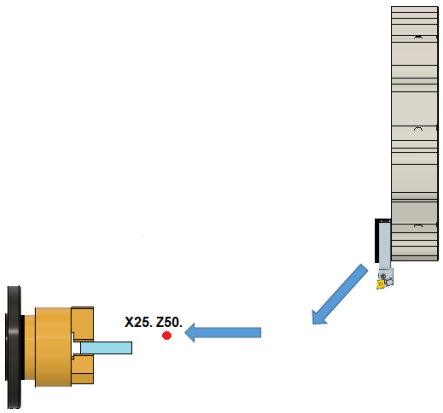


Figura 13

Cuando se programan los dos ejes en el mismo bloque **G00X25.Z50.**, la máquina realizará el movimiento de los dos ejes al mismo tiempo pero llegará primero al eje que tenga más cerca en coordenadas (*Ver. Figura 13*).

Si se desea esquivar algún obstáculo y debemos realizar el movimiento en un eje para después realizar el movimiento en otro eje, debemos programar en diferentes líneas o bloques (*Ver Figura 14*).

N1 G00Z50.

N2 G00X25.

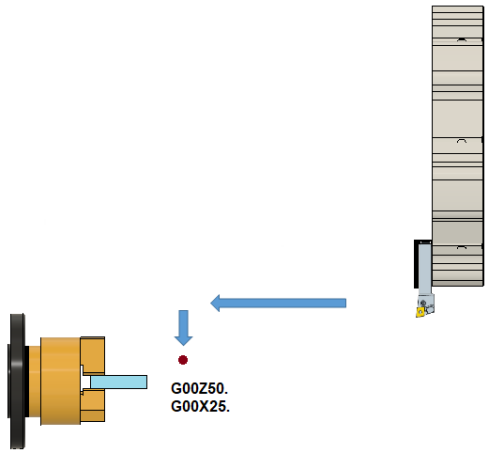


Figura 14

Nota: con el comando G00 la máquina se mueve lo más rápido que pueda. Se debe mirar las especificaciones de la máquina para revisar a qué velocidad se mueve en movimiento rápido G00.

Ej: Rapid Feedrate 30m/min

Una ventaja que tiene el código G00 es que puede controlarse su

velocidad mediante un potenciómetro ubicado en el control.

Cuando estamos “corriendo” un programa por primera vez, es recomendable colocar el potenciómetro al 5% hasta estar seguros que nuestro programa no contiene errores y evitar una colisión.

La primera pieza se “corre” a baja velocidad en los movimientos con G00 hasta asegurarnos que todo está bien.

- Movimiento lineal G01-

Este comando es el utilizado para hacer corte en la pieza y siempre de manera recta o lineal. A diferencia del G00, en este código podemos controlar qué tan rápido queremos que se mueva. El formato para dirigir el G01 es el siguiente:

G01 X… Z… F…

Donde:

X y ***Z***: representan las coordenadas que deseamos programar.

F: se refiere al avance y se refiere a la cantidad de milímetros o pulgadas por revolución a la que avanza la herramienta montada en la torreta.

G01 X25. Z2. F0.25 (Métrico)

G01 X1. Z.05 F0.01 (inglés)

Este valor de avance lo podemos encontrar en los catálogos de herramientas o en las cajas de los insertos. Los fabricantes colocan un valor recomendado y unos límites (*Ver figura 15*).

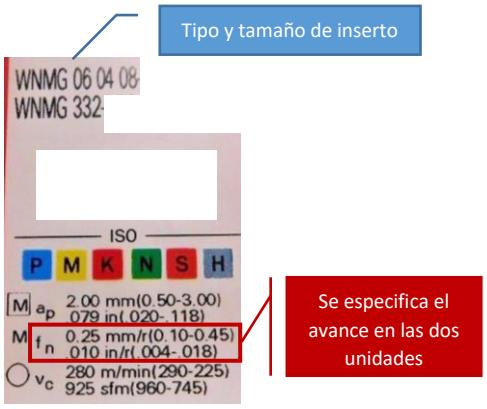


Figura 15

Otro punto importante que se debe tomar en cuenta es que al programar dos coordenadas en el mismo bloque con el G01, la herramienta llegará a ese punto al mismo tiempo en las dos coordenadas mencionadas.

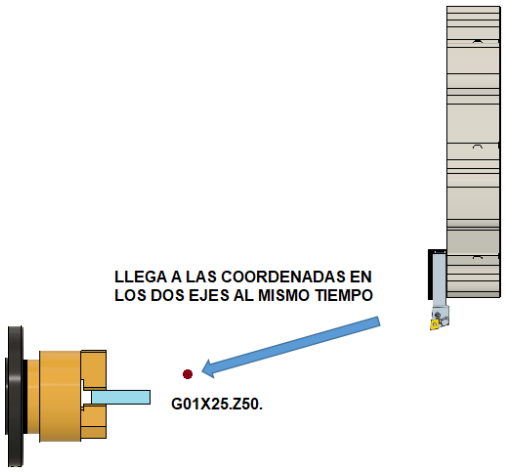


Figura 16

Ahora veremos un ejemplo de programación con G01.

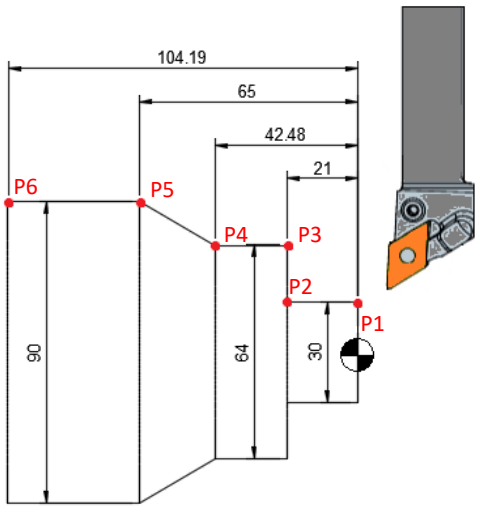


Figura 17

- Movimiento lineal G01-

Las coordenadas que colocamos no son más que las medidas que aparecen en los planos de fabricación y es por donde va a pasar nuestra herramienta de corte. Los puntos rojos en la **Figura 17** representan los cambios de direcciones de las líneas y cada una de las coordenadas que debemos colocar en el programa CNC. A pesar que el centro de la pieza hace especular que debemos programar dividiendo entre dos todas las medidas del plano, no es así. En la gran mayoría de los tornos se programa tomando en cuenta las medidas diametrales.

Empecemos la programación:

```
O1234 (EJE CENTRAL)          (Número y nombre del programa)
                             (Datos)
G21                          (Sistema de unidades mm)
G40 G80 G54 G18              (Bloques de seguridad)
G28 U0. W0.                  (Torreta a casa de máquina)
T0101                        (Llama a herramienta 01 y offset 01)
G50S2500                     (Límite de RPM)
G96S120                      (Velocidad superficial)
M03                          (Prende Husillo – sentido horario)
G00X30.Z2.                   (Movimiento rápido acercamiento)
M08                          (Activa refrigerante)
(EMPIEZAN LOS MOVIMIENTOS DE CORTE DE MATERIAL)
G01X30.Z0.                   (P1)
G01X30. Z-21.                (P2)
G01X64. Z-21.                (P3)
G01X64. Z-42.48              (P4)
G01X90. Z-65.                (P5)
G01X90. Z-104.19             (P6)
G00X95. Z-104.19             (Retirada de herramienta)
G28 U0. W0.                  (Torreta a cero de máquina)
M09                          (Apaga refrigerante)
M05                          (Detiene husillo)
M30                          (Fin del programa)
```

Lo que sigue es una pieza que deben programar a manera de ejercicio:

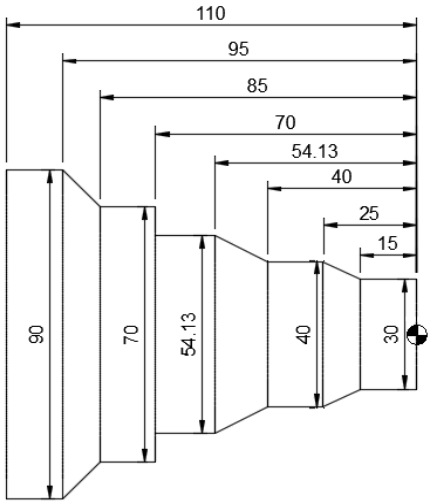


Figura 18

- Movimiento circular G02 y G03-

En casi la totalidad de los programas nos encontramos con el comando G01 para los movimientos lineales (rectos) y los comandos G02 y/o G03 que se refieren a movimientos circulares.

Empecemos con el primero, G02. Este comando hará que la herramienta haga un movimiento circular en sentido horario (dirección en la que van las agujas del reloj)

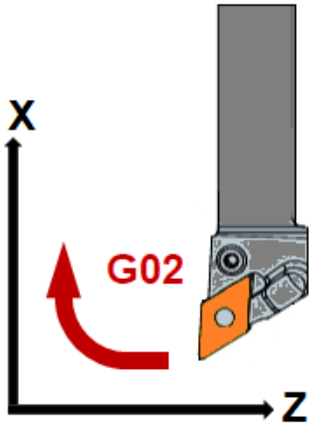


Figura 19

Por el otro lado el comando G03 hará que la herramienta haga un movimiento en sentido anti – horario (contrario a la dirección de las agujas del reloj)

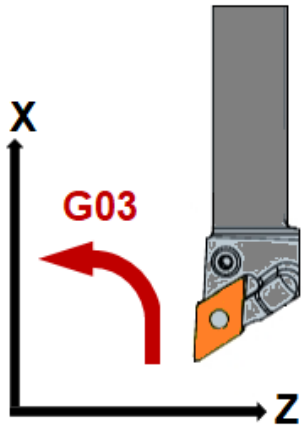


Figura 20

Estos comandos se utilizan principalmente para hacer radios o arcos en las piezas, también para matar filos, algunos tipos de ranuras, etc.

El formato de programación de los códigos G02 y G03 es el mismo.

G02X…Z…R…

G03X…Z…R…

Donde:

X y **Z**: representan las coordenadas hasta donde llega el arco (punto final del arco).

R: Radio de programación.

Existe otra forma de programar movimientos circulares donde se involucran las letras **I** y **K** pero lo veremos en un manual más avanzado, de momento nos quedaremos con la

- Movimiento circular G02 y G03-

forma más simple que es utilizando la **R**.

Ahora veremos un ejemplo.

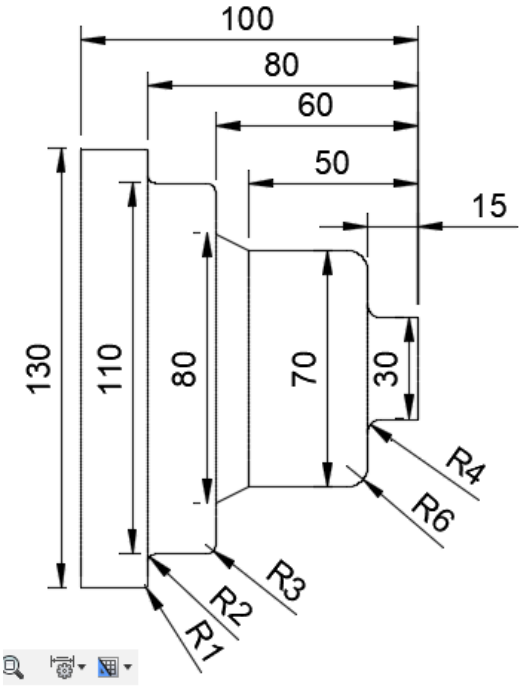
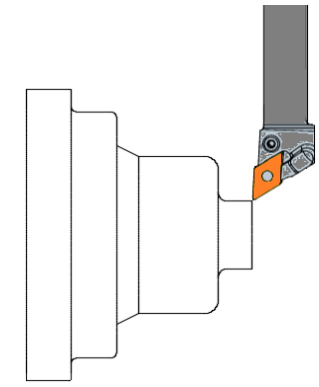


Figura 21

En este ejemplo vamos explicando punto por punto ya que se verá un concepto que debe quedar muy claro, la programación de las coordenadas usando radios.

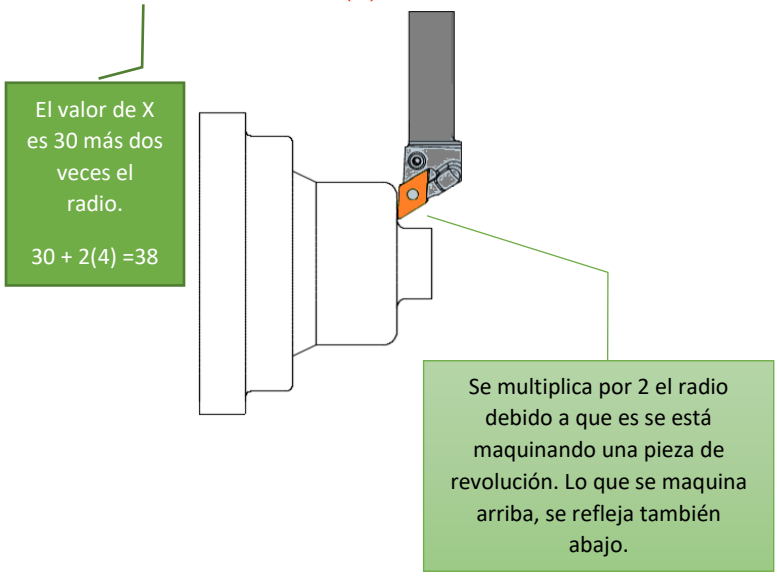
Empezamos

```
O1234 (EJE TRASERO)                (Número y nombre del programa)
                                   (Datos)
G21                                (Sistema de unidades mm)
G40 G80 G54 G18                    (Bloques de seguridad)
G28 U0. W0.                        (Torreta a casa de máquina)
T0101                              (Llama a herramienta 01 y offset 01)
G50S2200                           (Límite de RPM)
G96S110                            (Velocidad superficial)
M03                                (Prende Husillo – sentido horario)
G00X30.Z2.                         (Movimiento rápido acercamiento)
M08                                (Activa refrigerante)
(EMPIEZAN LOS MOVIMIENTOS DE CORTE DE MATERIAL)
G01X30.Z0.                         (P1)
```



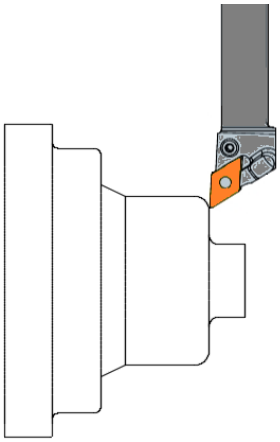
G01 X30. Z-11. (P2)

G02 X38. Z-15. R4. (P3)

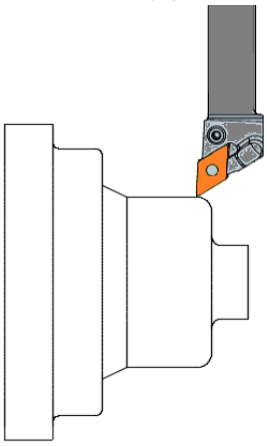


- Movimiento circular G02 y G03-

G01 X58. Z-15. (P4)



G03X70. Z-21. R6. (P5)



G01X70. Z-50. (P6)
G01X80. Z-60. (P7)
G01X104. Z-60. (P8)
G03X110. Z-63. R3. (P9)
G01X110. Z-77. (P10)
G02X114. Z-80. R2. (P11)
G01X130. Z-80. (P12)
G01X130. Z-100. (P13)
G00X140. Z-100. (Retirada de herramienta)
G28 U0. W0. (Torreta a cero de máquina)
M09 (Apaga refrigerante)
M05 (Detiene husillo)
M30 (Fin del programa)

Hay varios puntos que debemos ver ahora que hemos terminado de programar esta pieza.

- El radio se multiplica por dos para sumarse o restarse al diámetro. Esto no aplica para movimientos en **Z**, sólo en **X**.
- Para cancelar un movimiento circular se debe usar G01 o G00, de lo contrario seguirá activo en los bloques siguientes.
- Siempre se debe colocar el valor del radio (R).

Les dejo a continuación la imagen de los puntos por donde pasó la herramienta.

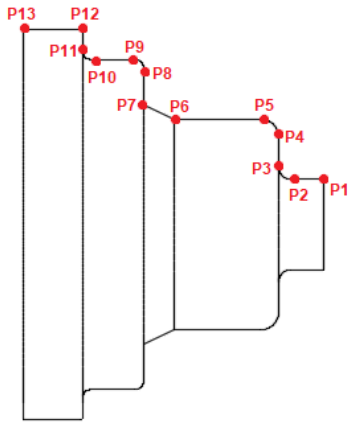
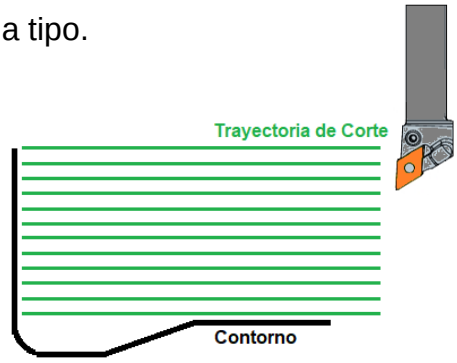


Figura 22

- Ciclo de desbaste G71-

Una de las operaciones que demandan más tiempo y trabajo en el maquinado son los desbastes. La programación manual o punto por punto puede ser una tarea muy extenuante y es por esto que existen ciclos o códigos especiales que nos ayudan a reducir tanto el tiempo como el número de líneas de programación. El primer código que estaremos viendo es el G71 y sirve para hacer desbaste en dirección horizontal (longitudial) tomando en cuenta el contorno de la pieza.

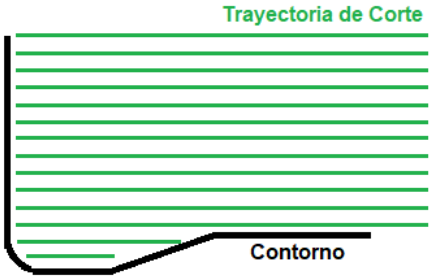
Existen ciertas reglas que se deben cumplir para programar de la forma adecuada y esto nos lleva a dos tipos de desbaste: tipo I y tipo II. Veremos en gráficos la explicación de cada tipo.



Desbaste Tipo I

Figura 23

En este tipo de desbaste no hay un cambio de dirección en la herramienta mientras está desbastando. Los cortes siempre son hacia la izquierda y hacia arriba (*figura 23*).



Desbaste Tipo II

Figura 24

Por el contrario, en el desbaste tipo II, si el contorno de la pieza tiene un cambio de dirección, la herramienta seguirá el contorno para hacer el desbaste (Ver figura 24).

La manera en cómo vamos programar de un tipo u otro lo explicaremos más adelante.

El formato para usar el código de desbaste es el siguiente:

G71 P… Q… U… W… D… F…

Donde:

P: primer punto del contorno

Q: último punto del contorno

U: sobrematerial dejado en X.

W: sobrematerial dejado en Z.

D: Profundidad de corte (radio)

F: avance

Ahora veremos unos ejemplos para entender mejor el código G71.

- Ciclo de desbaste G71-

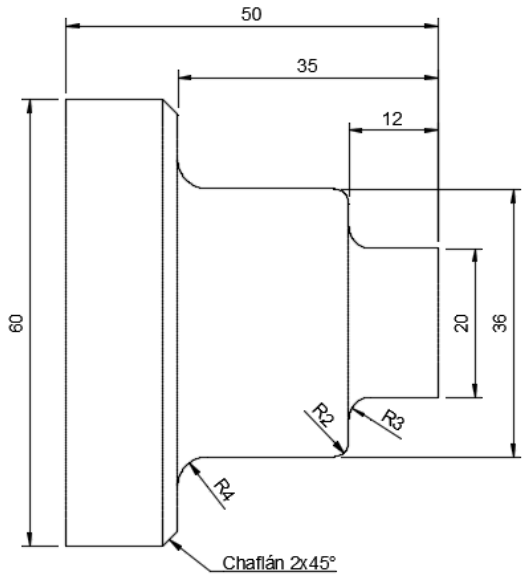


Figura 25

La materia prima es de 63.5mm de diámetro.

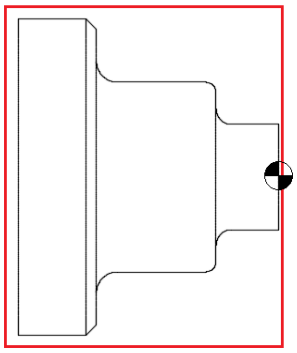
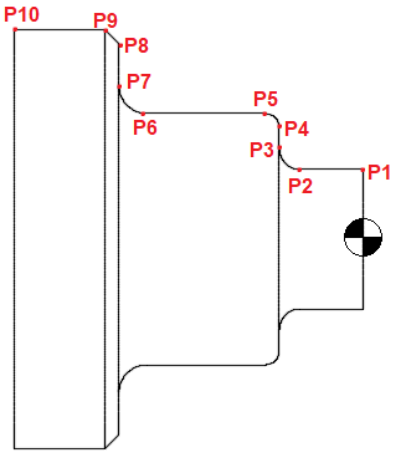


Figura 26

Lo próximo que hacemos es establecer los puntos del contorno.



Y ahora empezamos el programa:

```
O1236 (EJE PRINCIPAL)
(PROGRAMADOR: FREDDY MIJARES)
(MATERIAL: ACERO 4140)
(FECHA CREACION: 26/01/19)
(ACTUALIZACION: 02/02/19)
(MAQUINA:)
(CONTROL:)
G21
G40 G80 G54 G18
G28 U0. W0.
T0101 (DESBASTE DE CONTORNO)
G50S3500
G96S200
M03
G00X63.5 Z2.
M08
G71P1Q11U0.2W0.05D1.0F0.3
N1G01X20.
N2G01X20.Z-9.
N3G02X26.Z-12.R3.
N4G01X32.Z-12.
N5G03X36.Z-14.R2.
N6G01X36.Z-31.
N7G02X44.Z-35.R4.
N8G01X56.Z-35.
N9G01X60.Z-37.
N10G01X60.Z-50.
N11X62.
G28U0.W0.
M09
M05
M30
```

Información útil para el operador

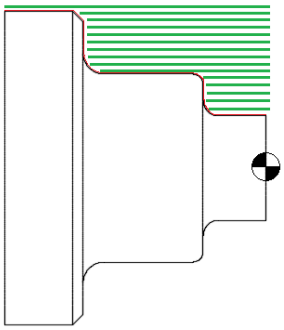
El valor de X en la coordenada que está justo antes del ciclo G71 le indica a la máquina el diámetro de la materia prima

Primer punto del contorno

Para desbaste tipo I, en el punto de inicio, sólo se coloca una coordenada, la X.

Último punto del contorno. Se recomienda que sea un movimiento de retirada de la pieza

- Ciclo de desbaste G71-



Ahora veremos un ejemplo con desbaste tipo II.

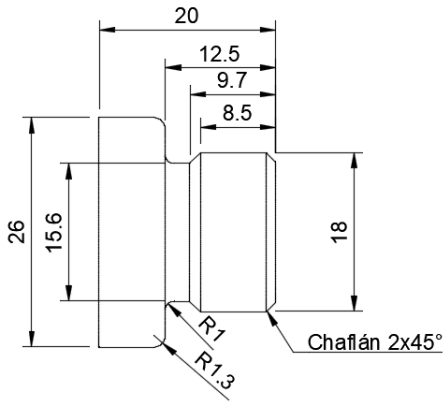
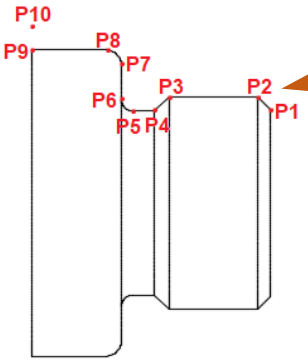


Figura 28

La materia prima será una barra cilíndrica de medida estándar de 31.75mm (1-1/4 pulgadas).

Seguidamente establecemos los puntos del contorno.



Recuerden que los puntos del contorno se establecen donde hay cambio de dirección en las líneas

Figura 29

```
O1237 (PERNO CONECTOR)
(PROGRAMADOR: FREDDY MIJARES)
(MATERIAL: ALUMINIO 6061)
(FECHA CREACION: 26/01/19)
(ACTUALIZACION: 02/02/19)
(MAQUINA:)
(CONTROL:)
G21
G40 G80 G54 G18
G28 U0. W0.
T0101 (DESBASTE DE CONTORNO)
G50S6000
G96S350
M03
G00X31.75 Z3.
M08
G71P1Q10U0.4W0.05D1.5F0.35
N1G01X16.Z0.
N2G01X18.Z-2.
N3G01X18.Z-8.5
N4G01X15.6Z-9.7
N5G01X15.6Z-11.5
N6G02X17.6Z-12.5R1.
N7G01X23.4Z-12.5
N8G03X26.Z-13.8R1.3
N9G01X26.Z-20.
N10G01X32.Z-20.
G28U0.W0.
M09
M05
M30
```

El valor de X en la coordenada que está justo antes del ciclo G71 le indica a la máquina el diámetro de la materia prima

Para desbaste tipo II, en el punto de inicio, se colocan las coordenadas X y Z.

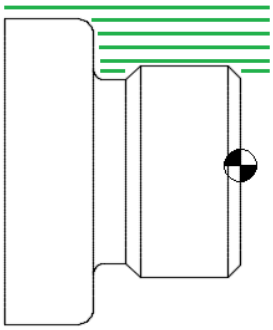


Figura 30

- Ciclo de refrentado G72-

Este ciclo, llamado comúnmente careado o refrentado, se refiere al desbaste en forma vertical (en dirección de X). En cuanto al formato usado para este ciclo, se asemeja mucho al del ciclo G71, aunque su principal diferencia es el punto de inicio y final del contorno ya que en el caso del G72 se toman las coordenadas desde atrás hacia adelante.

Se suele utilizar este tipo de desbaste cuando hay menos cantidad de movimientos en sentido vertical que horizontal.

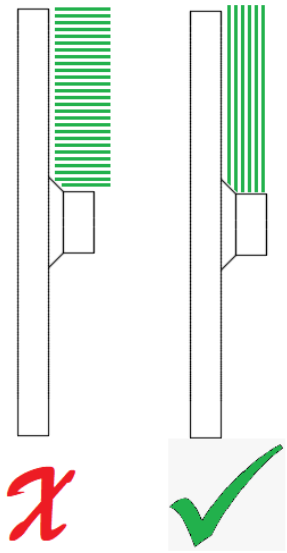


Figura 31

Su formato es el siguiente:

G72 P… Q… U… W… D… F…

Donde:

P: primer punto del contorno

Q: último punto del contorno

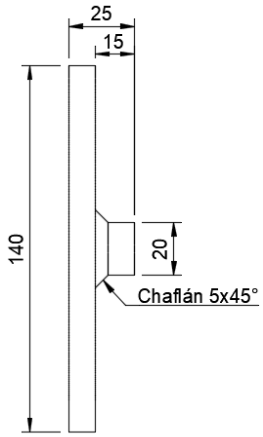
U: sobrematerial dejado en X.

W: sobrematerial dejado en Z.

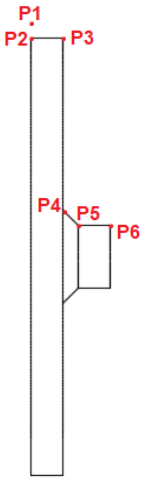
D: Profundidad de corte (axial)

F: avance

Ahora veremos un ejemplo:



Como siempre, lo primero es determinar los puntos de la trayectoria de la herramienta:



O1238 (BRIDA)

- Ciclo de refrentado G72-

```
(PROGRAMADOR: FREDDY MIJARES)
(MATERIAL: FUNDICION NODULAR)
(FECHA CREACION: 27/01/19)
(ACTUALIZACION: 03/02/19)
(MAQUINA:)
(CONTROL:)
G21
G40 G80 G54 G18
G28 U0. W0.
T0101 (DESBASTE DE CONTORNO)
G50S6000
G96S350
M03
G00X152.4 Z1.
M08
G72P1Q6U0.1W0.05D0.8F0.25
N1G01Z-25.
N2G01X140.Z-25.
N3G01X140.Z-15.
N4G01X30Z-15.
N5G01X20Z-10.
N6G01X20.Z0.
G28U0.W0.
M09
M05
M30
```

El valor de X en la coordenada que está justo antes del ciclo G72 le indica a la máquina el diámetro de la materia prima

Tanto en el ciclo G71 como en el G72, la máquina al terminar de leer todo el ciclo enviará a la herramienta a la coordenada que está antes de empezar el mismo.

- Ciclo de desbaste contorno irregular G73 -

Este ciclo, también de desbaste, es muy útil a la hora de maquinar piezas cuya materia prima viene de fundición o forja. Consiste en asignarle el sobre-material, tanto en ***X*** como en ***Z***, necesario al contorno de la pieza que vamos a maquinar y evitar pasadas en vacío de la herramienta.

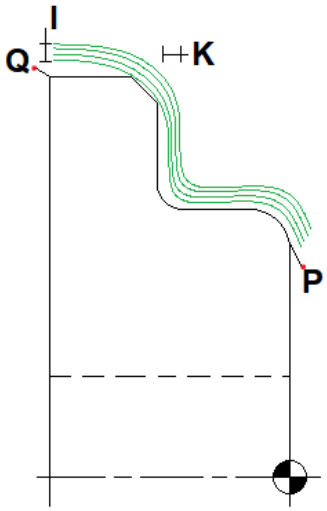


Figura 34

Tomando en cuenta la información de la figura 34 podemos explicar el formato del código G73:

G73P…Q…U…W…I…K…D…F…

Donde:

P: punto inicial de la trayectoria

Q: punto final de la trayectoria

U: sobrematerial dejado en X

W: sobrematerial dejado en Z

I: material en bruto en X

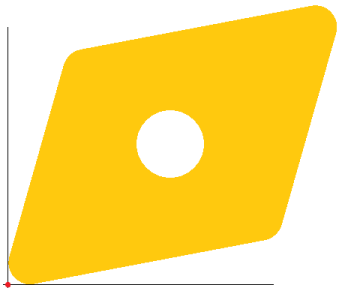
K: material en bruto en Z

D: número de pasadas

F: avance de corte

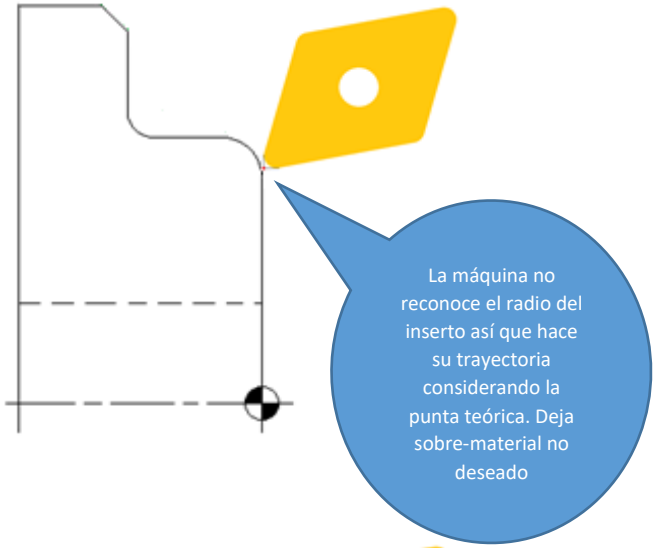
- Compensación G41 y G42 -

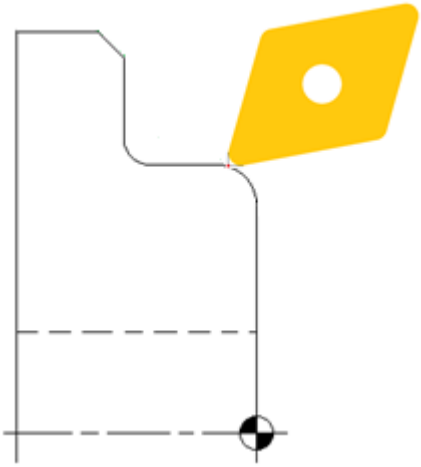
Esta sección es de gran importancia para la programación de piezas de una manera correcta. La compensación del radio de la punta de herramienta calcula el área faltante de la punta del inserto para acomodarse de la manera correcta en la trayectoria. Esto sucede cuando se maquinan chaflanes y radios. Vamos a verlo más claro en una imagen donde se representa un inserto.

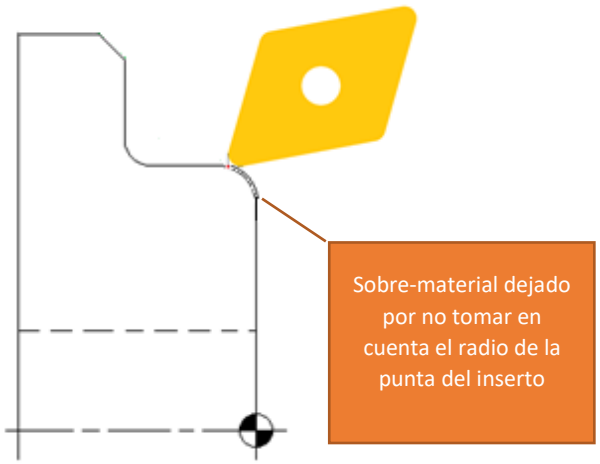


El punto rojo representa la punta teórica o punto de referencia del inserto, es decir, como si no tuviera radio.

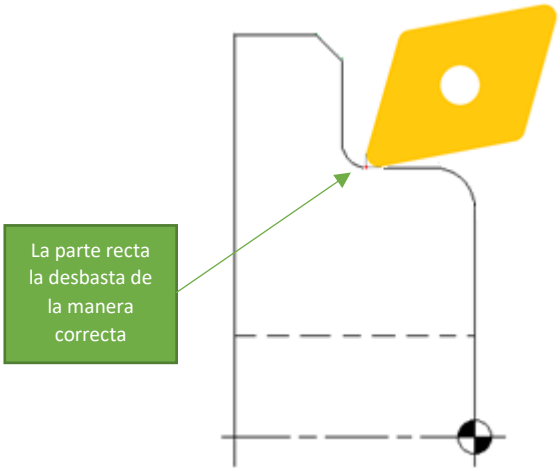
En primera instancia la máquina no sabe cuánto es ese radio y por ende no sabría qué trayectoria tomar para hacer un radio o un chaflán. Por ejemplo,

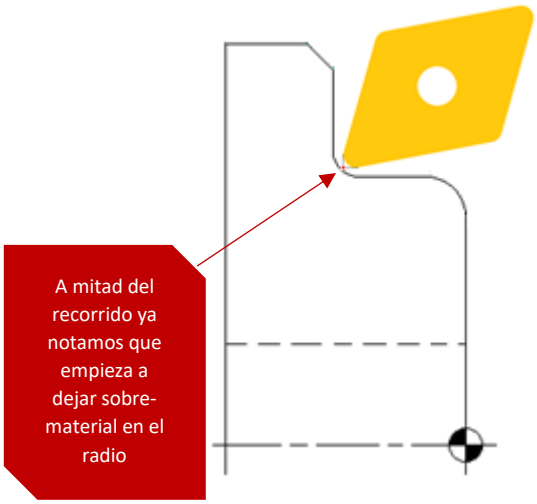


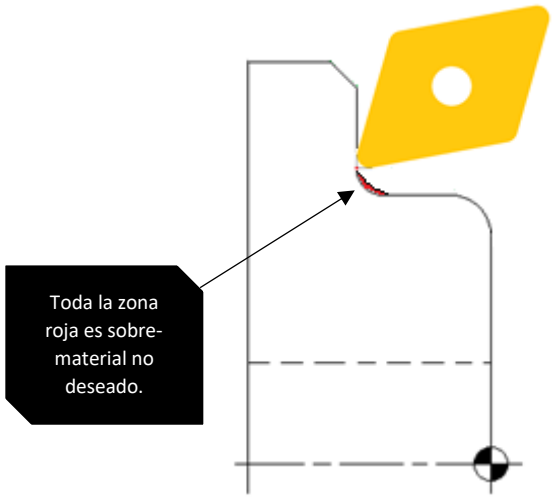




- Compensación G41 y G42 -

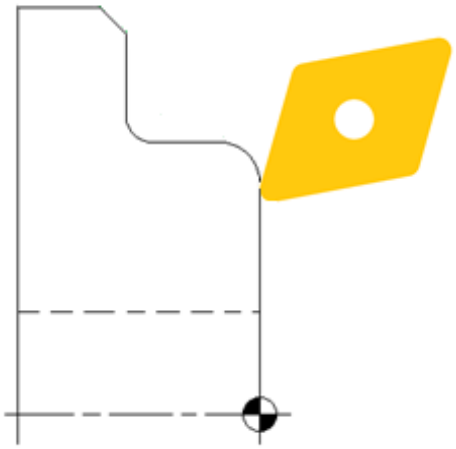


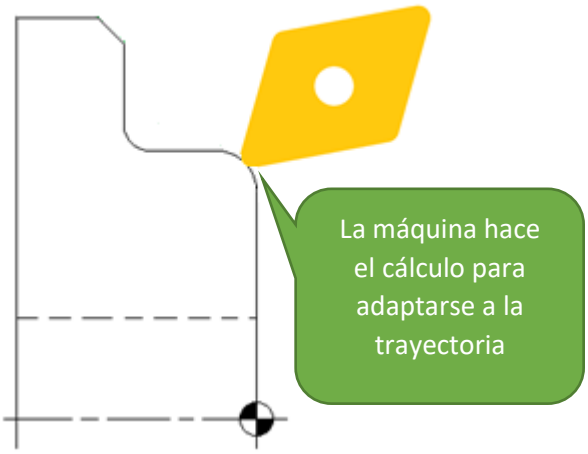




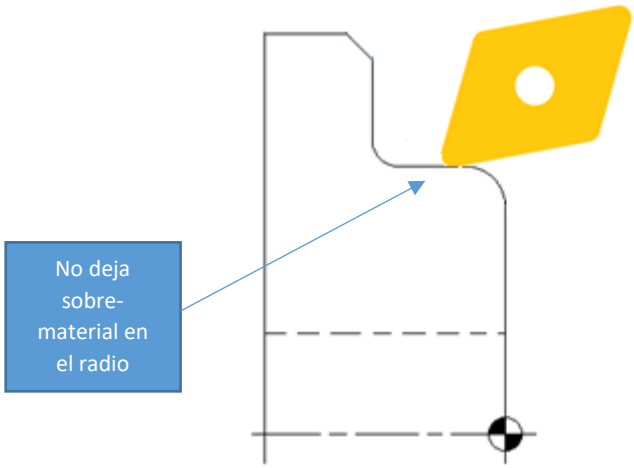
Esto pasa también pasa con los chaflanes.

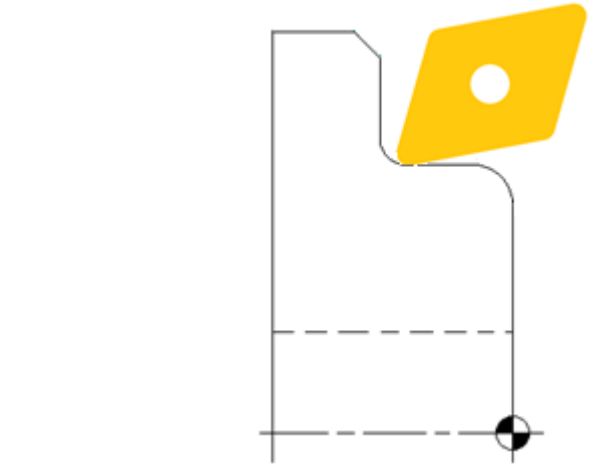
Ahora, cuando se programa con G41 o G42 le estamos diciendo al control que debe considerar el radio de la punta del inserto y este efectuará el cálculo correspondiente para adecuarse a la trayectoria de los radios y chaflanes.



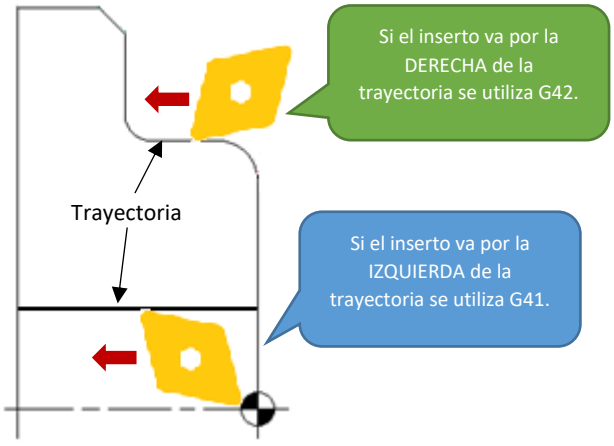


- Compensación G41 y G42 -





Ya hemos visto cómo afecta el radio de la punta del inserto en las trayectorias programadas, lo siguiente es saber utilizar los códigos G41 o G42 para activar la compensación. Una vez terminado el contorno hay que cancelar la compensación con el código G40.



Dependiendo del tipo de control que estemos utilizando se debe colocar la dirección hacia dónde va la punta del inserto. En las siguientes

figuras lo explicamos y damos unos ejemplos.

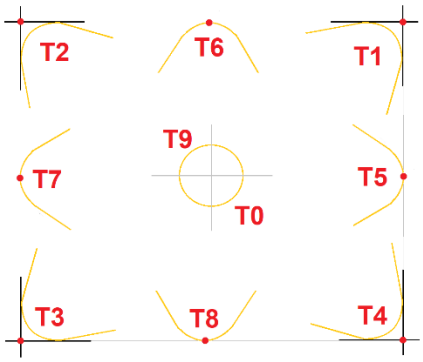


Figura 49

En la figura anterior vemos la dirección de la punta del inserto y es el valor numérico que colocaremos en el control. Generalmente viene en la tabla de offset de herramienta y se llama "*TOOL TIP*" o "PUNTA".

Algunos ejemplos de selección de punta de la herramienta los vemos en la figura 50.

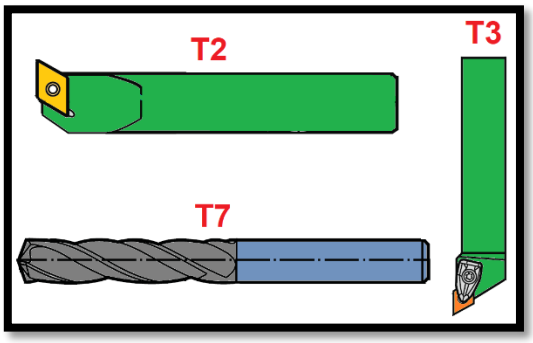


Figura 50

- Ciclo de acabado de contorno G70 -

Como lo describe el título, el código G70 se emplea para dar la última pasada, de acabado, al contorno de la pieza. La ventaja de utilizar este código es que nos ahorra líneas de programación y nos aseguramos que las coordenadas que utilizamos en el desbaste son las mismas que las del acabado.

El formato utilizado en este código es el siguiente:

G70P…Q…F…

Donde:

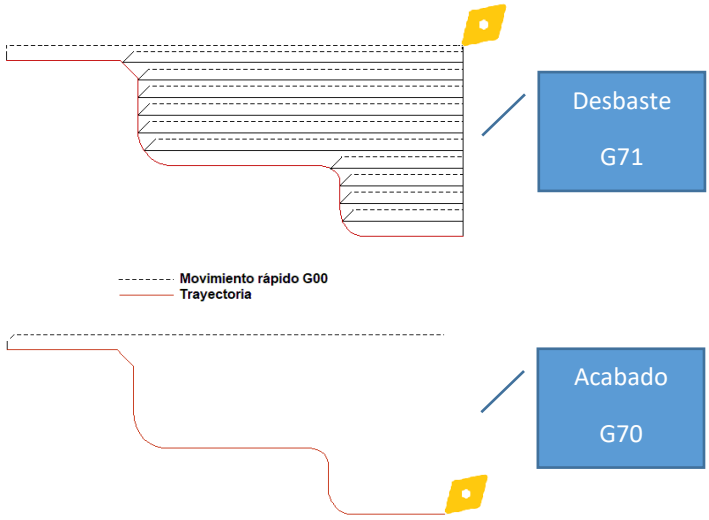
P: primer punto del contorno

Q: último punto del contorno

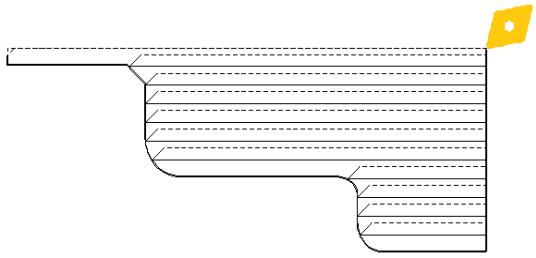
F: avance en mm/rev

En este caso, los valores de **P** y **Q** son los mismos que se utilizaron en la operación de desbaste anterior. Utilizaremos como ejemplo la pieza programada en el capítulo 13.

```
 O1236 (EJE PRINCIPAL)
(PROGRAMADOR: FREDDY MIJARES)
(MATERIAL: ACERO 4140)
(FECHA CREACION: 26/01/19)
(ACTUALIZACION: 02/02/19)
(MAQUINA:)
(CONTROL:)
G21
G40 G80 G54 G18
G28 U0. W0.
T0101 (DESBASTE DE CONTORNO)
G50S3500
G96S200
M03
G00X63.5 Z2.
M08
G71P1Q11U0.2W0.05D1.0F0.3
N1G01X20.
N2G01X20.Z-9.
N3G02X26.Z-12.R3.
N4G01X32.Z-12.
N5G03X36.Z-14.R2.
N6G01X36.Z-31.
N7G02X44.Z-35.R4.
N8G01X56.Z-35.
N9G01X60.Z-37.
N10G01X60.Z-50.
N11G01X62.
G70P1Q11F0.06
G28U0.W0.
M09
M05
M30
```



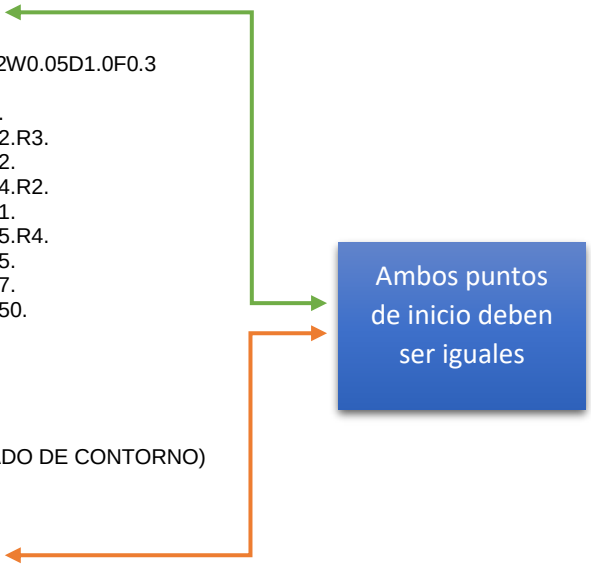
Ahora veremos las dos trayectorias juntas.



Generalmente no se hace el desbaste y el acabado con la misma herramienta ya que el inserto podría presentar cierto desgaste y al pasar la última trayectoria no coincida con la medida deseada, así que lo

recomendable es tener una herramienta para desbaste y una para acabado. Si este es el caso, la programación cambia un poco ya que habría que activar la otra herramienta. Veamos un ejemplo de este caso

```
O1236 (EJE PRINCIPAL)
(PROGRAMADOR: FREDDY MIJARES)
(MATERIAL: ACERO 4140)
(FECHA CREACION: 26/01/19)
(ACTUALIZACION: 02/02/19)
(MAQUINA:)
(CONTROL:)
G21
G40 G80 G54 G18
G28 U0. W0.
T0101 (DESBASTE DE CONTORNO)
G50S3500
G96S200
M03
G00X63.5 Z2.
M08
G71P1Q11U0.2W0.05D1.0F0.3
N1G01X20.
N2G01X20.Z-9.
N3G02X26.Z-12.R3.
N4G01X32.Z-12.
N5G03X36.Z-14.R2.
N6G01X36.Z-31.
N7G02X44.Z-35.R4.
N8G01X56.Z-35.
N9G01X60.Z-37.
N10G01X60.Z-50.
N11G01X62.
G28U0.W0.
M09
M05
M01
T0202 (ACABADO DE CONTORNO)
G50S3500
G96S250
M03
G00X63.5 Z2.
M08
G70P1Q11F0.06
G28U0.W0.
M09
M05
M30
```



- Ciclos de barrenado G81, G83 y G85-

Una de las operaciones más comunes en el maquinado de piezas es el barrenado y para esto existen varios códigos que se pueden ajustar a la forma en la que queremos arrancar la viruta, el tipo de material, la herramienta, etc.

El primer ciclo que veremos es el barrenado directo con **G81 – Barrenado directo**. A continuación presentamos el formato:

G81X…Z…R…F…

Donde:

X: para torno este valor siempre es cero.

Z: profundidad de barreno

R: plano de retracción

F: avance mm/rev

Ahora lo veremos en un ejemplo mientras explicamos las diferentes funciones. Utilizaremos una broca de 10mm de diámetro y según el fabricante la Vc=120m/min

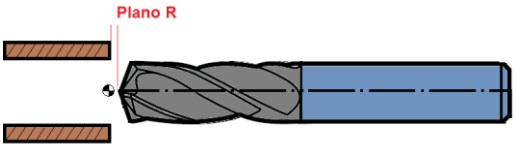
```
O1240 (BUJE)
(PROGRAMADOR: FREDDY MIJARES)
(MATERIAL: ACERO ACERO INOXIDABLE 316L)
(FECHA CREACION: 13/02/19)
(ACTUALIZACION: 13/02/19)
(MAQUINA: TORNO)
(CONTROL:)
G21
G40 G80 G54 G18
G28 U0. W0.
T0303 (BARRENADO 10MM)
G50S6000
G97S3819
M03
G00X0Z25.
M08
G81X0.Z-10.R2.F0.15
G80
G00Z50.
G28 U0. W0.
M09
M05
M30
```

Calculamos las RPM's

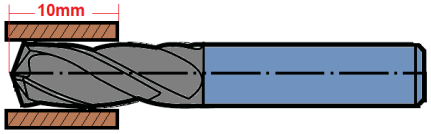
$$RPM = \frac{165 * 1000}{\pi * 10} = 3819$$

Explicamos un poco el programa:

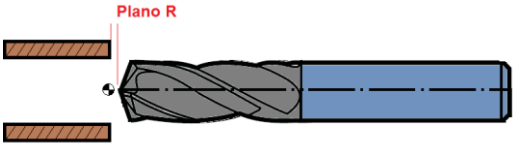
a.- Luego de estar en la coordenada X0.Z25. La herramienta va en movimiento rápido hasta R2. Que es a 2 milímetros del cero de trabajo (R2. se refiere a Z2.)



b. Luego hace el barrenado hasta la profundidad programada de 10mm.



c. Una vez alcanzada la profundidad, se devuelve hasta el mismo plano R2.



c. Lo siguiente que hacemos es cancelar el ciclo de barrenado con el

código G80 (ESTO ES OBLIGATORIO)

d. Nos retiramos en Z a un lugar más seguro (en este caso Z50.).

e. Enviamos la torreta a casa.

f. Terminamos el programa con M30.

En el ejemplo anterior pudimos notar que utilizamos G97 en vez de G96. Esto se debe a que las brocas no se mueven en la dirección de **X** para arrancar viruta así que su velocidad de corte permanece igual. Siempre que se utilicen brocas para barrenar se utilizará G97 y debemos hacer el cálculo de las RPM's.

Ahora veremos el ciclo de barrenado con **G83 – Barrenado con picoteo**. Este tipo de barrenado se utiliza generalmente para agujeros profundos donde es importante desalojar la viruta. La forma de trabajar es que la herramienta avanza hasta ciertas profundidades y se retrae al punto R hasta que llega a la profundidad programada.

El formato del ciclo G83 es el siguiente:

G83X…Z…R…Q…F…

Donde:

X: para torno este valor siempre es cero.

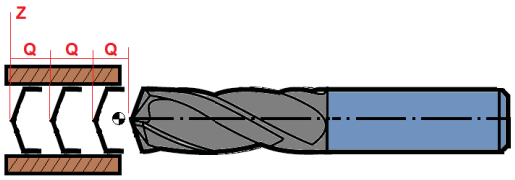
Z: profundidad de barreno

R: plano de retracción

Q: profundidad de "picoteo"

F: avance mm/rev

A continuación presentamos una imagen para verlo más claro:



Ahora vamos a tomar el ejemplo anterior y lo haremos con el ciclo G83.

```
O1240 (BUJE)
(PROGRAMADOR: FREDDY MIJARES)
(MATERIAL: INCONEL 625)
(FECHA CREACION: 13/02/19)
(ACTUALIZACION: 13/02/19)
(MAQUINA: TORNO)
(CONTROL:)
G21
G40 G80 G54 G18
G28 U0. W0.
T0303 (BARRENADO 10MM)
G50S6000
G97S1591
M03
G00X0Z25.
M08
G83X0.Z-10.Q3.R2.F0.15
G80
G00Z50.
G28 U0. W0.
M09
M05
M30
```

Calculamos las RPM's

$$RPM = \frac{50 * 1000}{\pi * 10} = 1591$$

- Ciclos de barrenado G81, G83 y G85-

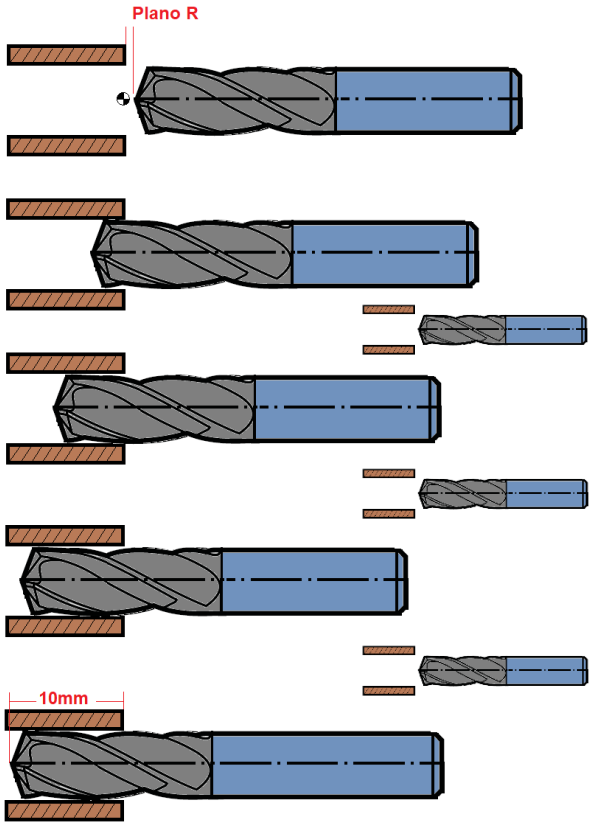


Figura 58

En la figura anterior podemos apreciar como la broca parte desde el plano R que está a 2 milímetros de la cara y desde ahí empieza a barrenar con picoteos de 3 milímetros. Cada vez que hace un picoteo se devuelve al plano R para desalojar la viruta y así hasta llegar a la profundidad programada.

Por último veremos el ciclo G85 el cual se parece mucho al ciclo G81 (barrenado directo) con la única diferencia que el movimiento de retirada o retracción del G85 es con avance controlado (la misma F que la entrada). Este ciclo es muy utilizado para las rimas, donde se necesitan obtener tolerancias muy ajustadas, acabados superficiales buenos en las paredes del agujero, ayuda también a la circularidad, etc.

El formato del ciclo G85 es el siguiente:

G85X…Z…R…F…

Donde:

X: para torno este valor siempre es cero.

Z: profundidad de barreno

R: plano de retracción

F: avance mm/rev (entrada y salida)

Ahora lo veremos en un ejemplo:

```
O1240 (BUJE AGUJERO PRECISO)
(PROGRAMADOR: FREDDY MIJARES)
(MATERIAL: ACERO 4140)
(FECHA CREACION: 15/02/19)
(ACTUALIZACION: 15/02/19)
(MAQUINA: TORNO)
(CONTROL:)
G21
G40 G80 G54 G18
G28 U0. W0.
T0403 (RIMADO 8MM)
G50S3500
G97S1074
M03
G00X0Z25.
M08
G85X0.Z-12.R2.F0.05
G80
G00Z50.
G28 U0. W0.
M09
M05
M30
```

Calculamos las RPM's

$$RPM = \frac{27 * 1000}{\pi * 8} = 1074$$

- Ciclos de barrenado G81, G83 y G85-

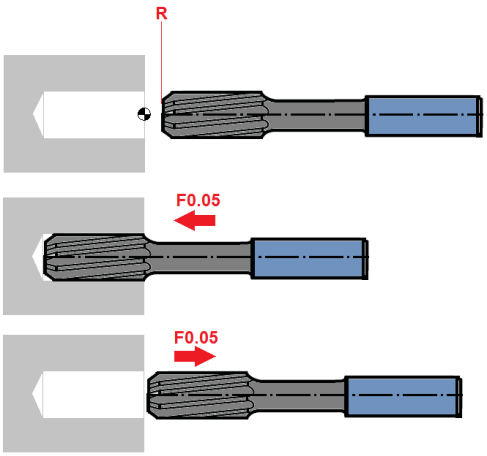


Figura 59

Estos son 3 de los ciclos más comunes de barrenado en tornos CNC y serán suficientes para programar la mayoría de las piezas.

- Ciclos de machueleado (TAP) G84 -

Estos ciclos se utilizan para hacer cuerdas (roscas) en agujeros que ya hemos hecho. Este tipo de ciclo tiene algunas particularidades:

a.- Dependiendo del tipo de cuerda, debemos realizar cálculos previos para programar el avance adecuado.

b.- El avance (F) y las RPM deben funcionar de manera sincronizada para que la cuerda quede hecha de la manera correcta.

c.- Una vez que la herramienta llega hasta la profundidad programada, el husillo gira en sentido contrario de manera automática.

d.- Para cada medida de machuelo existe una medida de agujero previo. (Ver tablas)

La diferencia entre los ciclos de machueleado (tapping) es la dirección de la rosca:

G84: Cuerda derecha (M03)

G74: Cuerda izquierda (M04)

En este capítulo sólo explicaremos el ciclo G84, pero todo aplica igualmente para el ciclo G74. El formato para el ciclo de machueleado es el siguiente:

G84X…Z…R…F…

Donde:

X: para torno de dos ejes este valor siempre es cero porque va al centro de la pieza.

Z: profundidad de barreno

R: plano de retracción

F: avance mm/rev (Paso de rosca)

A continuación, haremos dos ejercicios para programar un machuelo: En el primer caso usaremos una rosca métrica y en el segundo caso una rosca en el sistema inglés.

1.75 representa el paso de la rosca

Nos piden hacer una rosca M12x1.75 a 10 milímetros de profundidad DE ROSCA. Lo primero que debemos hacer es buscar la broca correspondiente para hacer el agujero previo.

Según las tablas, para ese machuelo debemos barrenar a ∅10.2mm

Empezamos la programación para verlo más claro:

```
O1236 (MACHUELEADO)
(PROGRAMADOR: FREDDY MIJARES)
(MATERIAL: FUNDICION NODULAR)
(FECHA CREACION: 19/02/19)
(ACTUALIZACION: 19/02/19)
(MAQUINA: TORNO)
(CONTROL:)
G21
G40 G80 G54 G18
G28 U0. W0.
T0505 (BARRENADO – BROCA 10.2MM)
(VC=135M/MIN)
G50S5000
G97S4212
M03
G00X0.Z20.
M08
```

Calculamos las RPM's

$$RPM = \frac{135 * 1000}{\pi * 10.2} = 4212$$

- Ciclos de machueleado (TAP) G84 -

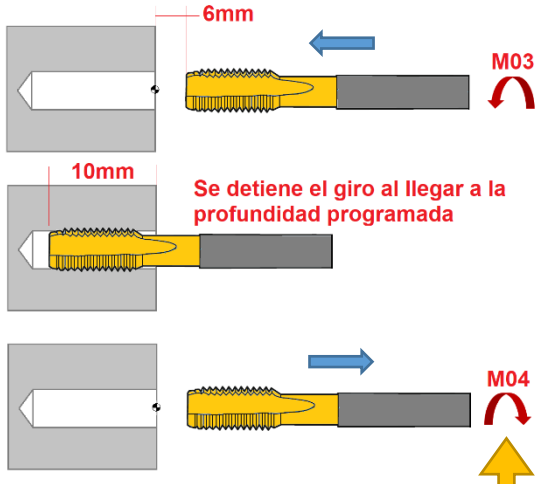
```
G81X0.Z-10.R2.F0.15
G80
G00Z50.
G28 U0. W0.
M09
M05
M01
T0606 (MACHUELEADO M12x1.75)
(VC=18M/MIN)
G50S3500
G97S477
M03
G00X0Z20.
M08
G84Z-12.R6.F1.75
G28U0.W0.
M09
M05
M30
```

Calculamos las RPM's

$$RPM = \frac{18 * 1000}{\pi * 12} = 477$$

Al utilizar el ciclo G84, el avance siempre se sincroniza con las revoluciones para dejar el paso adecuado

Se coloca R6. Para que al torno le dé tiempo de llegar a las RPM programadas. Si empezamos muy cerca de la pieza (R2.) es posible que tengamos problemas



El cambio de giro es automático cuando se devuelve. No hay que programarlo

Al programar G84 y G74 mantener el Feed Override y Spindle Override al 100%

A continuación le presento la programación del machuelo en imágenes:

El otro caso es cuando tenemos que hacer una cuerda estándar programando en el sistema métrico.

Nos piden elaborar una rosca ¼-20 a 10 milímetros de profundidad DE ROSCA. Lo primero que debemos hacer es buscar la broca correspondiente para hacer el agujero previo.

Según las tablas, para ese machuelo debemos barrenar a ∅5.1 milímetros.

```
O1236 (MACHUELEADO ROSCA ESTANDAR)
(PROGRAMADOR: FREDDY MIJARES)
(MATERIAL: INCONEL 718)
(FECHA CREACION: 20/02/19)
(ACTUALIZACION: 20/02/19)
(MAQUINA: TORNO)
(CONTROL:)
G21
G40 G80 G54 G18
G28 U0. W0.
T0505 (BARRENADO – BROCA 5.1MM)
(VC=65M/MIN)
G50S5000
G97S4056
M03
G00X0.Z20.
```

Calculamos las RPM's

$$RPM = \frac{65 * 1000}{\pi * 5.1} = 4056$$

- Ciclos de machueleado (TAP) G84 -

```
M08
G81X0.Z-12.R2.F0.15
G80
G00Z50.
G28 U0. W0.
M09
M05
M01
T0606 (MACHUELEADO ¼-20)
(VC=15M/MIN)
G50S3500
G97S752
M03
G00X0Z20.
M08
G84Z-10.R6.F1.27
G28U0.W0.
M09
M05
M30
```

Calculamos las RPM's

$$RPM = \frac{15 * 1000}{\pi * 6.35} = 752$$

Convertimos ¼ de pulgada a milímetros.

$$\frac{1}{4} = 0.25 * 25.4 = 6.35mm$$

Para determinar el paso en el sistema métrico usamos la fórmula

$$Paso = \frac{25.4}{TPI}$$

TPI = Hilos por pulgada

$$Paso = \frac{25.4}{20} = 1.27$$

Y ese va a ser nuestro avance

Ahora vamos a programar en el sistema inglés y en el primer caso nos piden una rosca estándar.

Hacer una rosca 3/8-16 a 0.5 pulgadas de profundidad DE ROSCA.

Según las tablas, para ese machuelo debemos barrenar a ∅17/64 pulgadas.

```
O1242 (MACHUELEADO ROSCA ESTANDAR)
(PROGRAMADOR: FREDDY MIJARES)
(MATERIAL: acero 1020)
(FECHA CREACION: 20/02/19)
(ACTUALIZACION: 20/02/19)
(MAQUINA: TORNO)
(CONTROL:)
G20
G40 G80 G54 G18
G28 U0. W0.
T0505 (BARRENADO – BROCA 17/64)
(VC=295sfm)
G50S5000
G97S4252
M03
G00X0.Z0.75
M08
G81X0.Z-0.6R0.1F0.006
G80
```

$$\frac{17}{64} = 0.265''$$

Calculamos las RPM's

$$RPM = \frac{295 * 12}{\pi * 0.265} = 4252$$

```
G00Z2.
G28 U0. W0.
M09
M05
M01
T0606 (MACHUELEADO 3/8-16)
(VC=82sfm)
G50S3500
G97S835
M03
G00X0Z0.75
M08
G84Z-0.5R0.25F0.0625
G28U0.W0.
M09
M05
M30
```

$$\frac{3}{8} = 0.375''$$

Calculamos las RPM's

$$RPM = \frac{82 * 12}{\pi * 0.375} = 835$$

Para determinar el paso en el sistema inglés usamos la fórmula

$$Paso = \frac{1}{TPI}$$

TPI = Hilos por pulgada

$$Paso = \frac{1}{16} = 0.0625$$

Y ese va a ser nuestro avance

Y por último tenemos el caso de programación en pulgadas pero nos piden una rosca métrica. Veamos el ejemplo.

Hacer una rosca M12x1.5 a 0.5 pulgadas de profundidad DE ROSCA.

Según las tablas, para ese machuelo debemos barrenar a ∅0.4133 pulgadas (10.5mm).

```
O1243 (MACHUELEADO ROSCA METRICA)
(PROGRAMADOR: FREDDY MIJARES)
(MATERIAL: ACERO 4140)
(FECHA CREACION: 25/02/19)
(ACTUALIZACION: 25/02/19)
(MAQUINA: TORNO)
(CONTROL:)
G20
G40 G80 G54 G18
G28 U0. W0.
T0505 (BARRENADO – BROCA 0.4133)
(VC=243sfm)
G50S5000
G97S2245
M03
G00X0.Z0.75
M08
G81X0.Z-0.6R0.1F0.006
G80
```

$$\frac{12}{25.4} = 0.472''$$

Calculamos las RPM's

$$RPM = \frac{243 * 12}{\pi * 0.4133} = 2245$$

- Ciclos de machueleado (TAP) G84 -

```
G00Z2.
G28 U0. W0.
M09
M05
M01
T0606 (MACHUELEADO M12x1.5)
(VC=72sfm)
G50S3500
G97S582
M03
G00X0Z0.75
M08
G84Z-0.5R0.25F0.059
G28U0.W0.
M09
M05
M30
```

Calculamos las RPM's

$$RPM = \frac{72 * 12}{\pi * 0.472} = 582$$

Para determinar el paso en el sistema inglés usamos dividimos el paso entre 25.4

$$Avance = \frac{Paso}{25.4}$$

$$Avance = \frac{1.5}{1625.4} = 0.059$$

Y ese va a ser nuestro avance

Los cuatro ejemplos que hemos visto sólo aplican para tornos CNC, en centros de maquinado funciona de manera diferente.

- Ciclos de Roscado G76 -

Entre los diferentes códigos de roscado, el ciclo ejecutado con G76 es uno de los más populares debido a su fortaleza y que su programación requiere pocas líneas (generalmente 1 sola), en resumen, es el ciclo utilizado en la mayoría de los casos. Este ciclo se utiliza cuando estamos haciendo la cuerda con un inserto de roscado y no con un machuelo.

A pesar que debemos calcular las RPM con la velocidad de corte que nos recomienda el fabricante, no existe una sincronización entre el mismo y el avance.

El formato para programar el ciclo G76 es el siguiente:

G76X…Z…D…K…I…A…F…

Dónde:

X: Diámetro de la última pasada de roscado.

Z: Longitud de cuerda

K: altura de la diente

I: ángulo con respecto a longitud (en caso de roscas cónicas o NTP)

A: ángulo de diente (60, 55, 29, etc)

F: avance o paso de la rosca

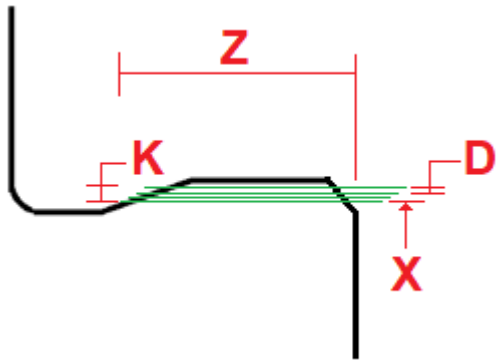


Figura 60

Para programar este tipo de roscas también debemos aplicar fórmulas para determinar diámetros internos o externos.

Procedemos hacer un ejemplo práctico.

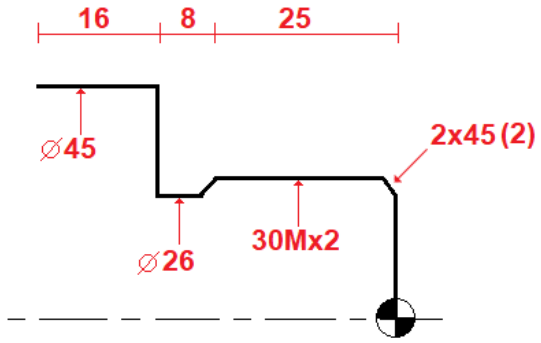


Figura 61

Podemos notar que la rosca es M30 (métrica). Vamos a suponer que ya hemos hecho el desbaste y el acabado, sólo vamos a programar la rosca.

Antes de seguir debemos calcular los valores de **K**, **X** y **D**.

- Ciclos de Roscado G76 -

Utilizamos las siguientes fórmulas para el caso de roscas métricas:

$$K(altura\ de\ diente) = Paso * 0.614$$

$$K(altura\ de\ diente) = 2 * 0.614 = 1.228$$

Ahora que tenemos el valor de **K**, calculamos el valor de **X** con la siguiente fórmula:

$$X(diámetro\ menor) = \emptyset_{mayor} - (K * 2)$$

$$X(diámetro\ menor) = 30 - (1.228 * 2)$$

$$X(diámetro\ menor) = 27.544mm$$

El valor de **D**, está relacionado con el número de pasadas que queramos dar en el ciclo de roscado. IMPORTANTE, los proveedores de herramientas nos deben dar una recomendación en el número de pasadas, incluso en las cajas de insertos viene este valor.

Ahora, supongamos que queremos dar 7 pasadas en nuestro ciclo de roscado, entonces usamos la fórmula:

$$D = K \div \sqrt{n}$$

n: número de pasadas

$$D = 1.228 \div \sqrt{7}$$

$$D = 0.464$$

Y ya teniendo los tres valores podemos programar el ciclo.

```
O1245 (ROSCADO ROSCA METRICA)
(PROGRAMADOR: FREDDY MIJARES)
(MATERIAL: ACERO 4140)
(FECHA CREACION: 26/02/19)
(ACTUALIZACION: 26/02/19)
(MAQUINA: TORNO)
(CONTROL:)
G21
G40 G80 G54 G18
G28 U0. W0.
T0606 (ROSCA M30X2)
(VC=130mm/min)
G50S4500
G97S1379
M03
G00X40.Z25.
G00X30.Z5.
M08
G76X27.544Z-28.D0.464K1.228A60F2.
G00Z20.
G28 U0. W0.
M09
M05
M30
```

Calculamos las RPM's

$$RPM = \frac{130 * 1000}{\pi * 30} = 1379$$

El valor de X en el punto de inicio debe coincidir con el diámetro mayor de la rosca

Nota: El valor de **D** irá en decremento con cada pasada.

La salida de la rosca puede ser a 45° o a 90°, en algunas máquinas podemos modificar su funcionamiento desde los "*settings*" y en otras con códigos, como se detalla a continuación:

Para salida a 45° utilizar M23.

Para salida a 90° utilizar M24.

En el siguiente ejemplo vamos a programar una rosca estándar.

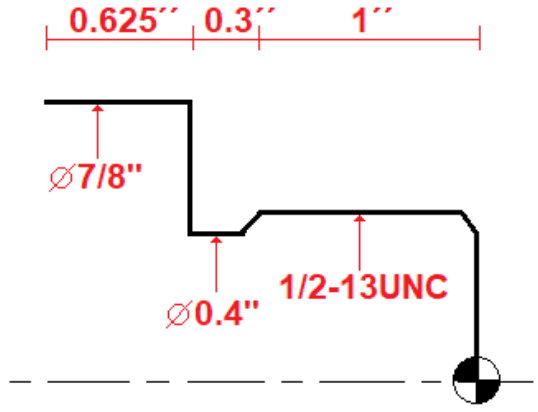


Figura 62

- Ciclos de Roscado G76 -

Lo primero que hacemos es hallar el paso o avance y utilizamos la siguiente fórmula:

$$P = F(avance) = \frac{1}{TPI}$$

TPI: hilos por pulgada

$$P = F(avance) = \frac{1}{13} = 0.0769$$

Luego procedemos al calcular el valor de **K**:

$$K = F * 0.541$$

$$K = 0.0769 * 0.541 = 0.0416$$

Ahora el valor de **X**:

$$X = D_{mayor} - (P * 0.541 * 2)$$

$$X = 0.5 - (0.0769 * 0.541 * 2)$$

$$X = 0.4168$$

Por último queremos dar 8 pasadas en nuestro ciclo de roscado, entonces usamos la fórmula:

$$D = K \div \sqrt{n}$$

n: número de pasadas

$$D = 0.0416 \div \sqrt{8}$$

$$D = 0.0147$$

Y ya teniendo los valores podemos programar el ciclo.

```
O1249 (ROSCADO ROSCA METRICA)
(PROGRAMADOR: FREDDY MIJARES)
(MATERIAL: ACERO 4140)
(FECHA CREACION: 26/02/19)
(ACTUALIZACION: 26/02/19)
(MAQUINA: TORNO)
(CONTROL:)
G20
G40 G80 G54 G18
G28 U0. W0.
T0606 (ROSCA ½-13UNC)
(VC=248sfm)
G50S4500
G97S1894
M03
G00X1.Z1.
G00X0.5Z0.25
M08
G76X0.4168Z-1.1D0.0147K0.0416A60F0.0769
G00Z2.
G28 U0. W0.
M09
M05
M30
```

El valor de X en el punto de inicio debe coincidir con el diámetro mayor de la rosca

Calculamos las RPM's

$$RPM = \frac{248 * 12}{\pi * 0.5} = 1894$$

TIPS:

- Recuerden que debe estar el avance a 100% en el control y desactivado el **SINGLE BLOCK**.
- No cambiar el punto de inicio en Z.
- Es recomendable utilizar el G97 en vez de G96.
- Una vez desmontada la pieza no volver a correr el ciclo ya que perdió su referencia.
- Iniciar a 5mm aprox. de la pieza en Z para que la torreta pueda alcanzar el paso requerido.
- No cambiar el avance.

Y con esto terminamos el capítulo de roscado.

- Ciclos de Ranurado y/o Tronzado G75 -

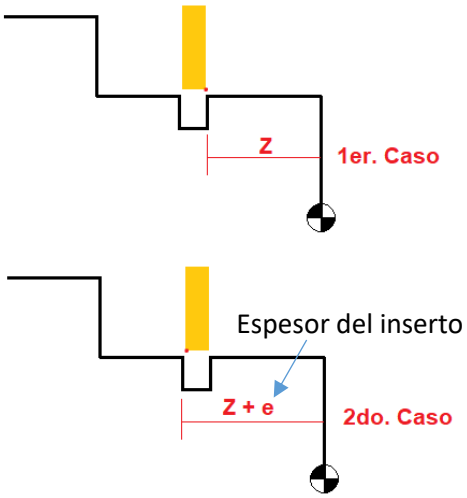
En este capítulo conoceremos sobre el ciclo para hacer ranuras en piezas o para tronzarlas (cortarlas). Existen diferentes tipos de ranuras, como pueden ser: ranuras rectas (para desahogos), ranuras circulares (para colocar Orings), con formas trapezoidales (paras hacer poleas).

La ventaja es que los fabricantes de herramientas se han adaptado al mercado y nos ofrecen insertos para ranurar con formas muy variadas.

Figura 63

Un aspecto muy importante a tomar en cuenta antes de programar una ranura es el punto dónde vamos a referenciar o medir nuestra herramienta, ya que esto influye de manera directa en el valor de **Z** de nuestro código.

Vamos a verlo en una imagen.



En el primer caso la herramienta medida del lado derecho así que en nuestro formato incluirá el valor de **Z** de nuestro plano.

Si la herramienta está medida del lado izquierdo, como en el segundo caso, a nuestro valor de **Z** debemos sumarle el espesor del inserto.

Como recomendación les diría que es preferible utilizar el primer caso.

El formato para programar el código de ranurado es el siguiente:

G75X…Z…D…K…I…F…

Dónde:

X: Diámetro de la ranura

Z: valor de profundidad de ranura.

K: desplazamiento en Z (cuando requiera)

I: valor de picoteo

- Ciclos de Ranurado y/o Tronzado G75 -

F: avance

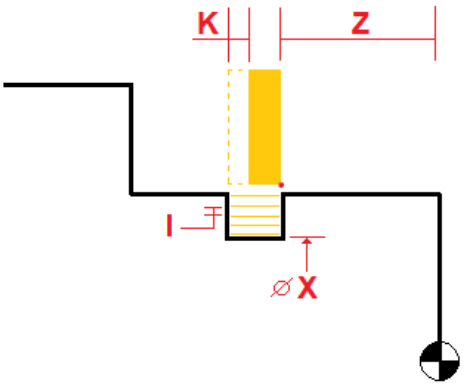


Figura 65

Para ver un poco más claro el propósito del ciclo G75 lo veremos en un par de ejemplos.

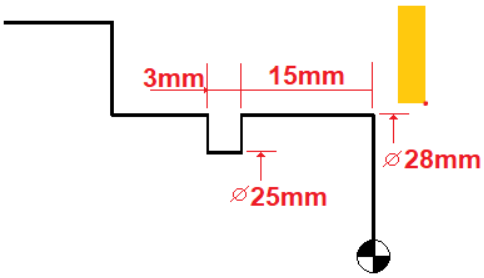


Figura 66

El espesor del inserto es de 3mm así que será un ranurado directo.

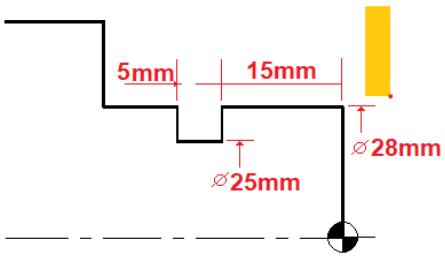
```
O1250 (RANURADO 3MM)
(PROGRAMADOR: FREDDY MIJARES)
(MATERIAL: ACERO 4140)
(FECHA CREACION: 01/03/19)
(ACTUALIZACION: 01/03/19)
(MAQUINA: TORNO)
(CONTROL: )
G21
G40 G80 G54 G18
G28 U0. W0.
T0707 (RANURADO INSERTO 3MM ESPESOR)
(VC=175MM/MIN)
G50S5000
G96S175
M03
G00X50.Z20.
G00X29.Z6.
M08
G00Z-15.
G75X25.Z-15I0.05F0.08
G00Z6.
G28 U0. W0.
M09
M05
M30
```

El punto inicial en X está un poco más arriba por seguridad

Posicionar la herramienta en Z antes de comenzar el ciclo.

Una vez que termina el ciclo G75, la herramienta vuelve a subir al valor de X29. (Último valor de X antes del ciclo) para luego retirarse de manera segura.

En el siguiente ejemplo haremos una ranura más grande con el mismo inserto.




```
O1251 (RANURADO5MM)
(PROGRAMADOR: FREDDY MIJARES)
(MATERIAL: ACERO 4140)
(FECHA CREACION: 01/03/19)
(ACTUALIZACION: 01/03/19)
(MAQUINA: TORNO)
(CONTROL:)
G21
G40 G80 G54 G18
G28 U0. W0.
T0707 (RANURADO INSERTO 3MM ESPESOR)
(VC=175MM/MIN)
G50S5000
G96S175
M03
G00X50.Z20.
G00X29.Z6.
M08
G00Z-15.
G75X25.Z-17.I0.05K1.F0.08
G00Z6.
G28 U0. W0.
M09
M05
M30
```

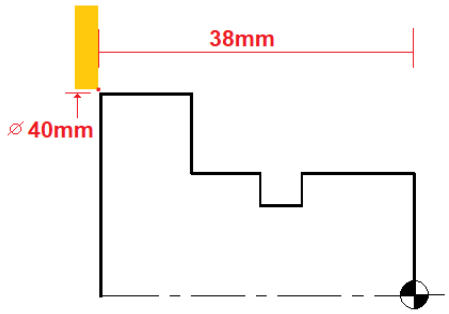
El punto inicial en X está un poco más arriba por seguridad

Posicionar la herramienta en Z antes de comenzar el ciclo.

El valor de Z corresponde a la longitud a la que llega la ranura menos el espesor del inserto. Recuerden que el inserto está referenciado o medido del lado derecho (donde está el punto rojo

- Ciclos de Ranurado y/o Tronzado G75 -

En el caso de querer tronzar podemos utilizar el mismo código G75.



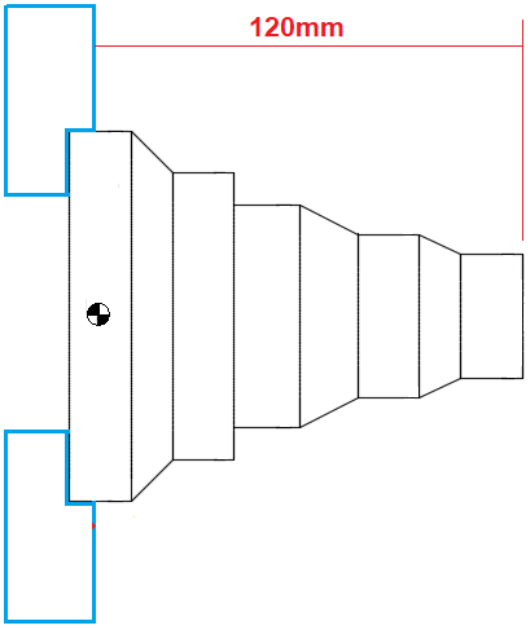

```
O1251 (RANURADO5MM)
(PROGRAMADOR: FREDDY MIJARES)
(MATERIAL: ACERO 4140)
(FECHA CREACION: 01/03/19)
(ACTUALIZACION: 01/03/19)
(MAQUINA:)
(CONTROL:)
G21
G40 G80 G54 G18
G28 U0. W0.
T0707 (RANURADO INSERTO 3MM ESPESOR)
(VC=175MM/MIN)
G50S5000
G96S175
M03
G00X50.Z20.
G00X41.Z6.
M08
G00Z-38.
G75X0.Z-38.I0.05F0.08
G00Z6.
G28 U0. W0.
M09
M05
M30
```

- Traslado de Coordenadas G52 -

El comando G52 se utiliza para trasladar cualquiera de nuestros ejes mediante su activación.

El valor que le asignemos al G52 se le sumará o restará al offset de trabajo (G54, G55, G56…, etc.)

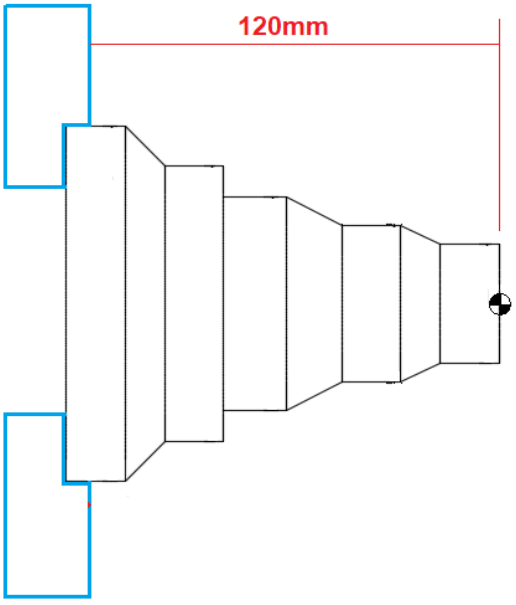
Ahora vamos a verlo con un ejemplo:



En la pieza anterior hemos tomado como referencia la cara de la mordaza para obtener el cero de trabajo (en G54) y queremos llevarlo hasta el extremo de la pieza.

```
O1282 (TORNEADO)
(PROGRAMADOR: FREDDY MIJARES)
(MATERIAL: ACERO 4140)
(FECHA CREACION: 01/03/19)
(ACTUALIZACION: 01/03/19)
(MAQUINA: TORNO)
(CONTROL:)
G21
G40 G80 G54 G18
G28 U0. W0.
G52 Z120.

CONTINÚA EL PROGRAMA
CONTINÚA EL PROGRAMA
CONTINÚA EL PROGRAMA

G28 U0. W0.
M09
M05
M30
```

Al leer el código G52 Z120. El cero de trabajo se traslada hacia la derecha (porque el valor de Z es positivo) 120 milímetros y queda de la siguiente manera establecido.



El G52 se mantiene activo hasta que lee M30 o pulsando la tecla RESET.

- Documentación de un programa CNC -

Un aspecto muy importante a la hora de programar es mantener una documentación adecuada del proceso. Estos documentos nos pueden ayudar a preparar de manera más rápida la máquina si tenemos que hacer los mismos trabajos.

Estas hojas pueden incluir la siguiente información:

- Plano de fabricación o diseño
- Herramientas
- Ceros de trabajo
- Utillajes o herramentales (jigs)
- Cálculos realizados
- Diferentes operaciones

O también puede incluir información que se encuentre dentro del programa y pueda ser muy útil, por ejemplo, cambio de insertos en cierto número de bloque.

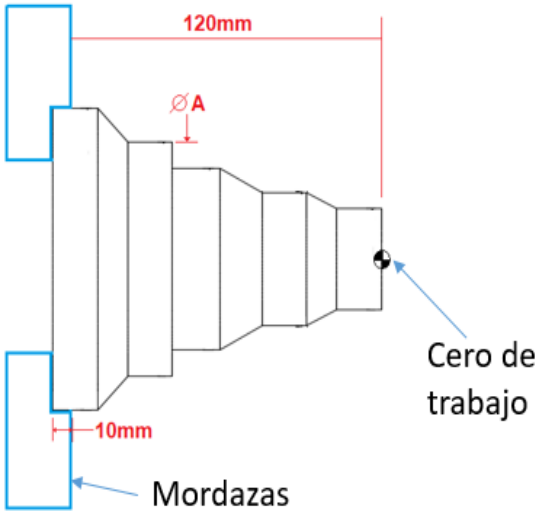
N965 M00 (CAMBIAR INSERTOS)

La mayoría de los programas de CAM (*Computer Aided Manufacturing*) incluyen una opción para generar estas hojas de manera automática.

De igual manera la hoja de setup debe estar estructurada de manera tal que el operador o maquinista puedan leerla y entenderla sin problemas.

En la siguiente página les mostraremos una hoja de setup de ejemplo que les puede servir de guía para realizar las suyas. Se puede complementar con cualquier tipo de información que ustedes crean necesaria agregar.

- Documentación de un programa CNC -



Plano: 123456789
Edición: C
Cliente: MAQUINADO FREDDY SA DE CV
Material: Acero Inoxidable 316
Mordazas: FM-01 (MORDAZAS DURAS)
Número de programa: O1345

Posición	Herramienta	Holder	Punta	Longitud mínima	Operación	Velocidad de corte
T0101	DNMG 332	PDNMG	3	45mm	Desbaste exterior	125m/min
T0202	CCMT	ASJDGQ	2	27mm	Desbaste interior	120m/min
T0303	ASMD BROCA	UDFTS	7	38mm	Barrenado	118m/min

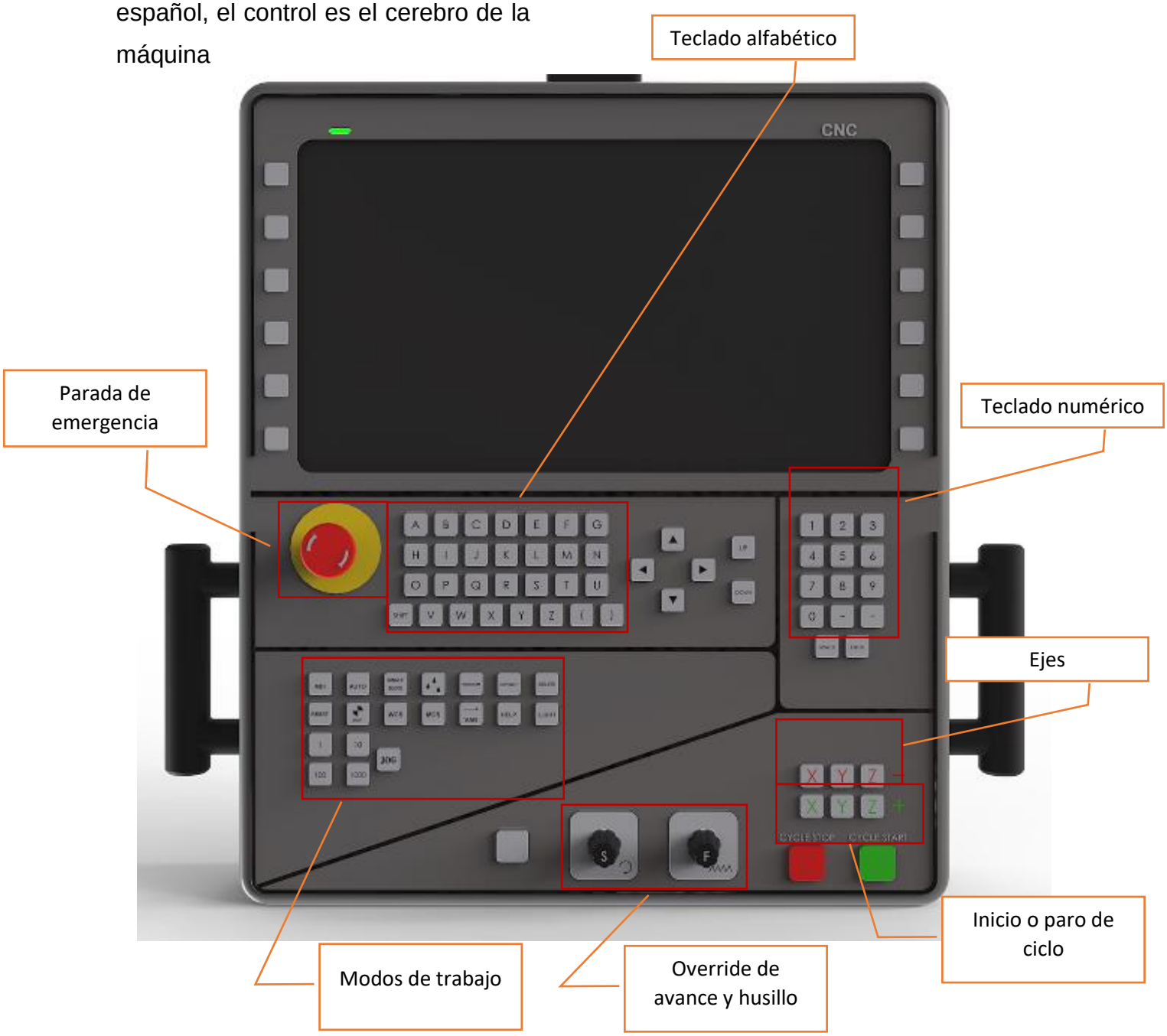
Notas:

- Las cotas están en milímetros (ver plano de cliente)
- Utilizar micrómetro para medir cota A
- Dejar sobrematerial de 0.1mm para tratamiento térmico

- Control CNC -

Los centros de torneado o tornos CNC son llamados de esa manera debido a que cuentan con un control o computadora, la cual controla todos sus movimientos y sensores que activan otras características. Dicho en español, el control es el cerebro de la máquina

Aquí describiremos algunas de estas características similares que tienen estos controles.



Ahora explicaremos algunas opciones que se encontrarán en los controles numéricos:

- **PARADA DE EMERGENCIA:** este botón apaga la máquina totalmente.
- **Teclado alfabético y numérico:** son utilizados para escribir el código CNC, hacer modificaciones en ofsett, etc.
- **EJES:** estas teclas se utilizan para mover la torreta en diferentes direcciones. Debe estar activado el modo **JOG**.
- **OVERRIDE DE HUSILLO:** modifica la velocidad programada del husillo.
- **OVERRIDE DE AVANCE:** modifica la velocidad programada del avance (G01, G02 y G03).
- **INICIO Y PARO DE CICLO:** son los botones que harán iniciar (botón verde) o pausar (botón rojo) el programa CNC.

En los botones de modo de trabajo encontramos las siguientes opciones:

- **AUTOMATIC:** presionar ese botón cuando se quiere iniciar con el programa CNC.
- **MANUAL o JOG:** este modo se utiliza cuando queremos mover los ejes a cualquier posición manualmente, utilizando los botones de **EJES** o el control de pulsos.
- **MDI:** significa "*manual data input"* y nos ayuda a ejecutar una o varias líneas (bloques) de código específicas. Por ejemplo, si quisiéramos encender el husillo a dos mil revoluciones por minuto y nos hacer más nada, nos colocamos en el modo **MDI** y escribimos el siguiente código:

  M03 S2000

Y presionamos el botón verde de **INICIO.**

- **EDIT:** este modo se activa cuando queramos escribir o modificar un programa CNC directo en el control.

- EJERCICIOS -

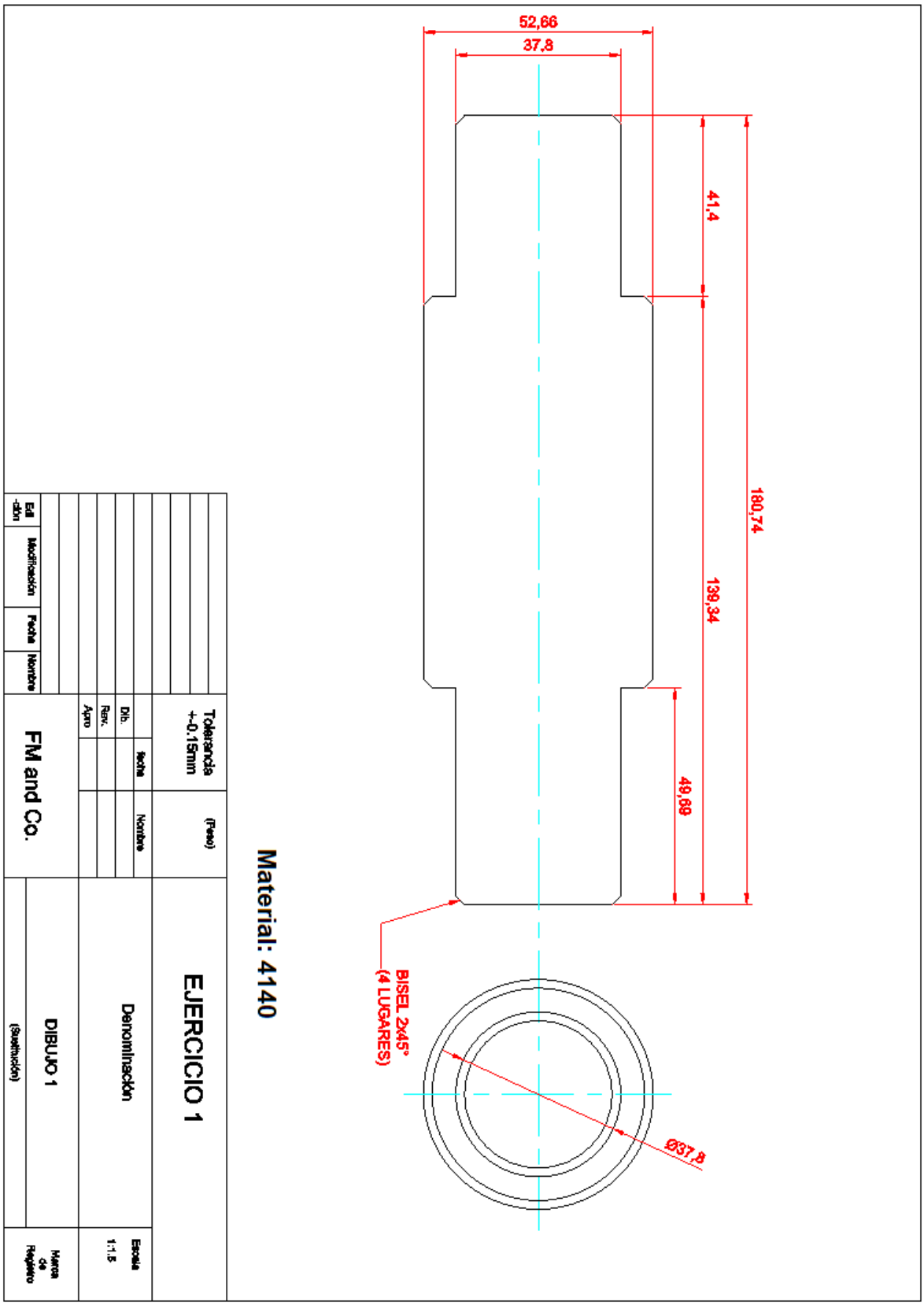
En esta sección nos dedicaremos a programar piezas partiendo de la información inicial que nos da el cliente (plano).

Durante los primeros ejercicios iremos colocando comentarios de ayuda al ir desarrollando el programa.

Las estrategias de maquinados pueden no ser las ideales para los procesos pero la intención de los ejercicios es enseñar a programar. Les tocará a Uds. Determinar los procesos ideales en cada ocasión.

El primer ejercicio se encuentra en la página siguiente:

- EJERCICIOS -


52,66
37,8
41,4
180,74
139,34
49,69
BISEL 2x45°
(4 LUGARES)
Ø37,8
Material: 4140
EJERCICIO 1
Denominación
DIBUJO 1
FM and Co.
Tolerancia
+-0,15mm
(Peso)
Escala
1:1,5

- EJERCICIOS -

Lo primero que hacemos es determinar qué materia prima vamos a utilizar. Nos fijamos que el diámetro mayor de la pieza es de 52,66 milímetros y la longitud total es de 180,74 milímetros. Con estos datos compramos una barra de diámetro estándar y que esté más cerca del diámetro mayor para tratar de no cortar tanto material.

MATERIA PRIMA: ∅57.15mm (2 – ¼“ pulgadas) x 186mm longitud. AISI 4140

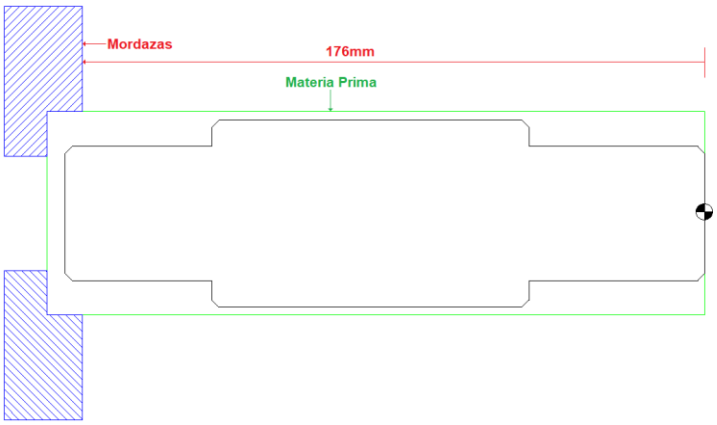


Figura 71

En la figura anterior vemos un dibujo esquemático de cómo quedaría nuestro arreglo. Supongamos que ya hemos escogido las herramientas para desbastes y acabados entonces podríamos empezar a programar. Identificamos los puntos por dónde pasará nuestra herramienta.

```
O1260 (EJE PRINCIPAL FASE 1)
(PROGRAMADOR: FREDDY MIJARES)
(MATERIAL: ACERO 4140)
(FECHA CREACION: 07/03/19)
(ACTUALIZACION: 07/03/19)
(MAQUINA: TORNO)
(CONTROL:)
G21
G40 G80 G54 G18
G28 U0. W0.
T0101 (DESBASTE DE CONTORNO)
G50S3500
G96S180
M03
G00X57.15Z2.
M08
G71P1Q7U0.2W0.05D2.0F0.3
N1G01X33.8
N2G01X37.8 Z-2.
N3G01X37.8 Z-49.69
N4G01X48.66 Z-49.69
N5G01X52.66 Z-51.69
N6G01X52.66 Z-174.
N7G01X57.15 Z-174.
G28U0.W0.
M09
M05
```

Insertos para aceros al carbono

Caja de insertos
CNMG 080404

P	M	K	N	S	H

Vc= 180m/min

ap= 2mm

fn= 0.25mm/rev

El valor de velocidad superficial lo tomamos de la caja de insertos

El valor de X en la coordenada que está justo antes del ciclo G71 le indica a la máquina el diámetro de la materia prima

M00

T0202 (**ACABADO DE PRIMERA FASE**)
G50S3500
G96S180
M03
G00X57.15 Z2.
M08
G70P1Q7F0.08
G28U0.W0.
M09
M05
M30

Caja de insertos
VNMG 080402

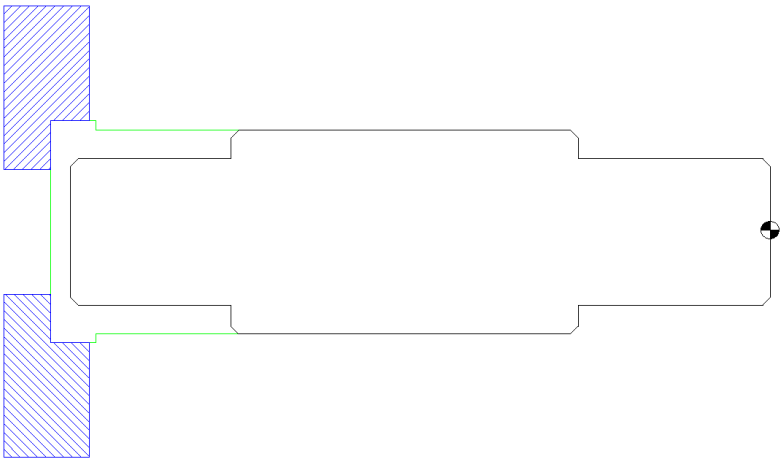
P	M	K	N	S	H

Vc= 180m/min

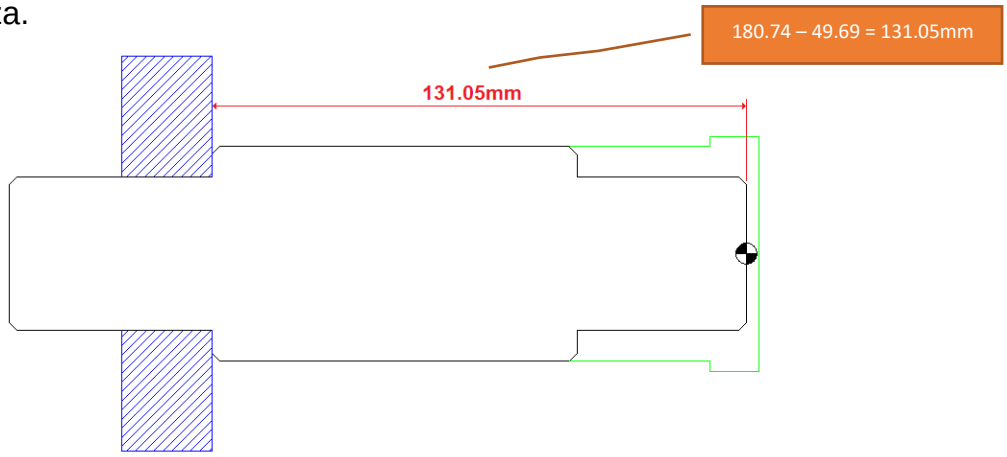
ap= 0.15mm

fn= 0.08mm/rev

Con esto hemos acabado la primera fase de nuestra pieza y nos ha quedado de la siguiente manera.



Y lo que vamos hacer es desbastar y dar acabado final al material que nos queda. Volteamos la pieza y sujetamos con mordazas suaves para no dejar marcas en la pieza.

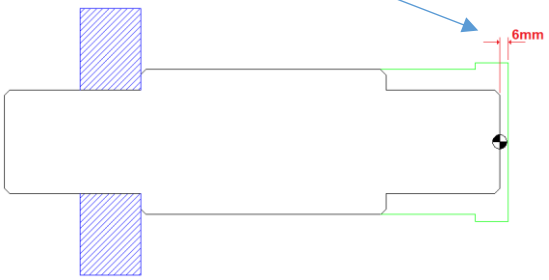


- EJERCICIOS -

```
O1261 (EJE PRINCIPAL – FASE 2)
(PROGRAMADOR: FREDDY MIJARES)
(MATERIAL: ACERO 4140)
(FECHA CREACION: 10/03/19)
(ACTUALIZACION: 10/03/19)
(MAQUINA: TORNO)
(CONTROL:)
G21
G40 G80 G54 G18
G28 U0. W0.
T0101 (REFRENTADO - CAREADO)
(INSERTO CNMG 080404)
G50S3500
G96S180
M03
G00X59.Z6.
M08
G72P8Q9U0.W0.D2.F0.3
N8G00Z0.
N9.G01ZX-1.
G00X57.15Z2.
(DESBASTE DE CONTORNO)
G71P10Q16U0.2W0.05D2.0F0.3
N10G01X33.8
N11G01X37.8 Z-2.
N12G01X37.8 Z-41.4
N13G01X48.66 Z-41.4
N14G01X52.66Z-43.4
N15G01X57-. Z-43.4
N16G01X57.15 Z-43.4
G28U0.W0.
M09
M05
M00
T0202 (ACABADO DE SEGUNDA FASE)
(VNMG 080402)
G50S3500
G96S180
M03
G00X57.15Z20.
G00G42X30.Z2.
M08
G01X30. Z0.F0.08
G01X33.8
G01X37.8 Z-2.
G01X37.8 Z-41.4
G01X48.66 Z-41.4
G01X52.66Z-43.4
G01X57-. Z-43.4
G01X57.15 Z-43.4
G00G40X60.
G28U0.W0.
M09
M05
M30
```

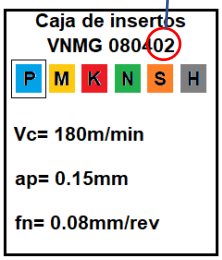
El valor de Z antes del G72 nos indica el punto desde donde inicia el refrentado o careado.

El valor de velocidad superficial lo tomamos de la caja de insertos



El valor de X para refrentar se coloca +- 1mm por encima del material en bruto para que el inserto no choque con la pieza

Las dos últimas cifras nos indican el radio de la punta del inserto.
0.2mm (métrico)



Esta línea es de posicionamiento y nos ayuda a activar la compensación del radio de la punta del inserto (G42).

Una regla que se debe cumplir a la hora de cancelar la compensación de la punta del radio del inserto es que es valor de la coordenada X debe ser por lo menos 2 veces el valor del radio del inserto. Ejemplo:
Si estamos desbastando en ∅57.15 y el radio del inserto es 0.8mm el valor de retirada debe ser como mínimo:

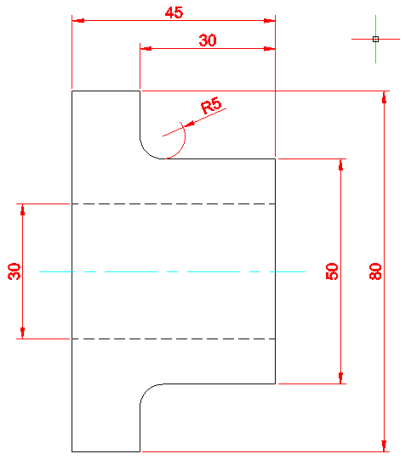
57.15 + 2(0.2) = 57.55mm

Hemos colocado 60mm para estar más seguros

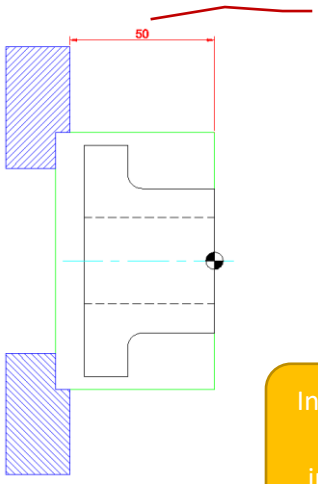
La intención de este ejercicio fue hacer parte del programa sin compensación de herramienta y la segunda fase con compensación, además de los criterios que hay que tomar en cuenta a la hora de seleccionar la materia prima y condiciones de corte para empezar a maquinar.

- EJERCICIOS -

Para esta pieza debemos considerar que tenemos un diámetro interior el cual debemos barrenar primero, hacer el desbaste y por último el acabado final. Se utiliza la misma estrategia que para el diámetro externo.



La materia prima que utilizaremos es una barra de ∅88.9mm x 55mm de longitud, el material es Acero inoxidable 316L



Siempre tomar en cuenta la distancia que hay desde nuestro cero de trabajo hasta las mordazas para evitar colisiones

Caja de insertos WNMG 080412

P M K N S H

Vc= 120m/min

Ap= 1.5mm

fn= 0.25mm/rev

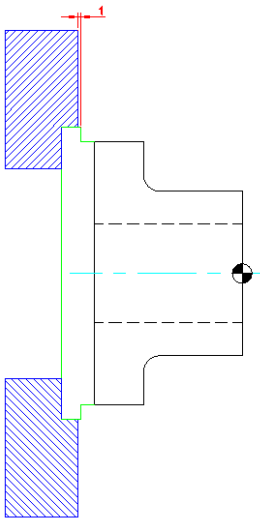
Insertos para aceros inoxidables

```
O1263 (BRIDA DE ACERO INOXIDABLE)
(PROGRAMADOR: FREDDY MIJARES)
(MATERIAL: SS 316L)
(FECHA CREACION: 11/03/19)
(ACTUALIZACION: 11/03/19)
(MAQUINA: TORNO)
(CONTROL:)
G21
G40 G80 G54 G18
G28 U0. W0.
T0101 (DESBASTE DE CONTORNO)
G50S3500
G96S120
M03
G00X88.9 Z20.
G00G42X88.9Z2.
M08
G71U1.5R1.
G71P1Q7U0.15W0.1F0.25
N1G00X50.
N2G01X50 Z-25.
N3G02X60. Z-30.R5.
N4G01X80. Z-30.
N5G01X80. Z-49.
N6G01X88.9 Z-49.
N7G00X92.
G00G40X95.Z10.
G28U0.W0.
M05
M09
M01 (PARADA OPCIONAL)
```

Otro formato para el G71 utilizado por algunos controles es el siguiente:

G71U…R…
G71P…Q…U…W…F…
Donde:
U (primera línea): profundidad de corte
R: retracción por cada corte
P: primer punto del contorno
Q: último punto del contorno
U (segunda línea): sobrematerial en X
W: sobrematerial en Z
F: avance de corte

- EJERCICIOS -



En esta primera fase hemos desbastado el diámetro exterior. Lo recomendable es tratar de hacer todos los desbastes primero y por último los acabados. En el programa hemos llegado hasta Z-49. Por dos razones:

1. Desbastar lo más cercano posible a las mordazas sin tocarlas.
2. Dejar espacio suficiente para un inserto de tronzado de 3mm de espesor.

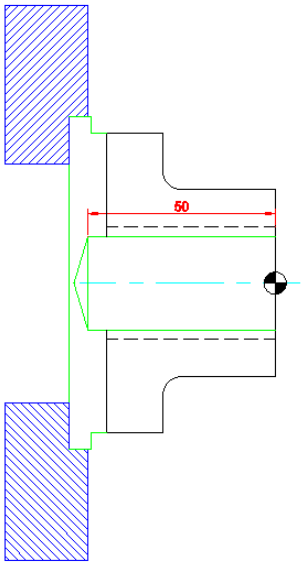
Continuamos con el programa.

T0303 (**BARRENADO PREVIO**)
(**BROCA DE ∅25MM)**
G50S3500
G97S1527
M03
G00X0.Z20.
M08
G81Z-50.R4.F0.09
G80
G00 Z20.
G28U0.W0.
M05
M09
M00 (**PARADA OBLIGATORIA**)
(**SACAR VIRUTAS DEL BARRENO**)

Calculamos las RPM's

$$RPM = \frac{120 * 1000}{\pi * 25} = 1527$$

Siempre cancelar los ciclos de barrenado con G80



T0404 (**DESBASTE INTERIOR**)
(**CCMT 080408)**
G50S3500
G97S120
M04
G00X25.Z20.
G00X25.Z2.
M08
G71U1.R0.25
G71P8Q9U-0.1W0.F0.25
N8G00X30.
N9G01X30.Z-50.
G28U0.W0.
M05
M09
M01 (PARADA OPCIONAL)

En los ciclos de torneado es importante el posicionamiento antes del ciclo porque el control calcula hacia dónde está el contorno para determinar si es un desbaste exterior o interior.

Si el punto de inicio está por encima del contorno, entiende que es exterior. Si está por debajo, el control entiende que es un desbaste interior

Caja de insertos CCMT 080408

P	M	K	N	S	H

Vc= 120m/min

Ap= 1mm

fn= 0.2mm/rev

Caja de insertos VNMG 080402

P	M	K	N	S	H

Vc= 120m/min

ap= 0.15mm

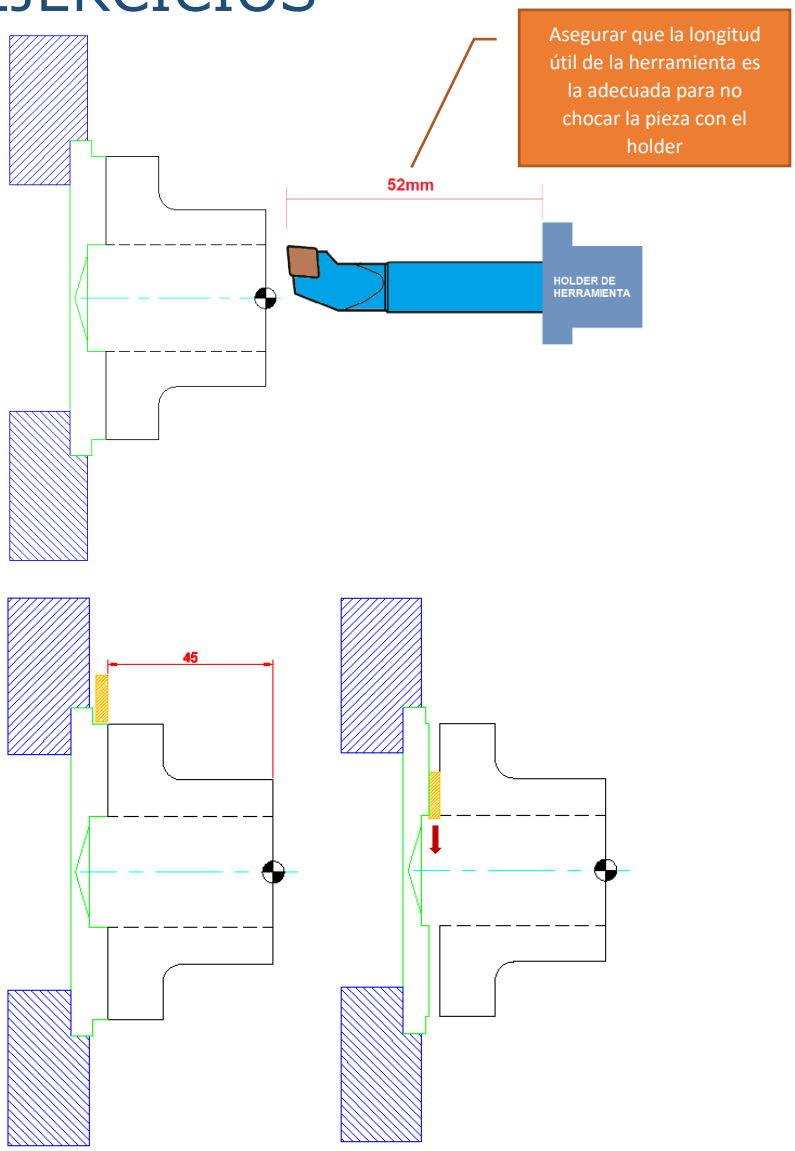
fn= 0.08mm/rev

T0202 (**ACABADO EXTERIOR**)
(**INSERTO VNMG 080402**)
G50S3500
G96S120
M03
G00X88.9 Z20.
G00G42X88.9Z2.
M08
G70P1Q7F0.08
G00G40X92.Z10.
G28U0.W0.
M09
M05

- EJERCICIOS -

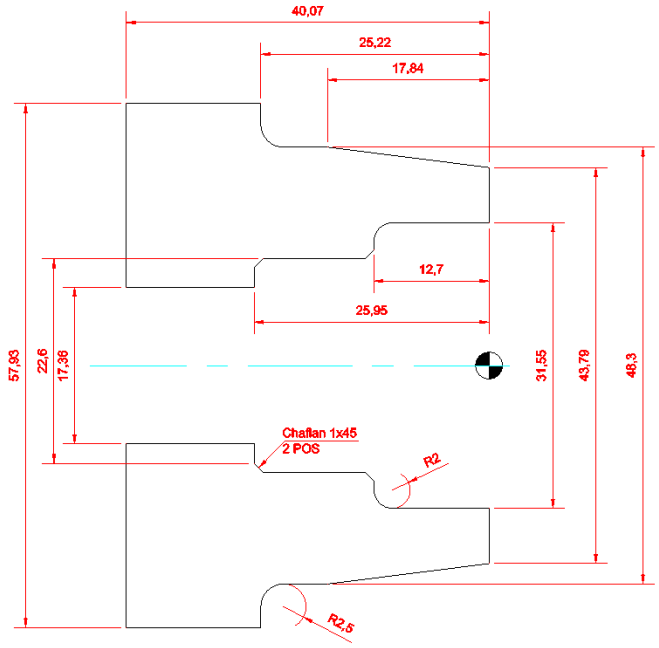
M01 (PARADA OPCIONAL)
T0505 (**ACABADO INTERIOR**)
(**INSERTO CMCT 080402**)
G50S3500
G96S120
M03
G00X25.Z20.
G00X25.Z2.
M08
G70P8Q9F0.08
G00Z20.
G28U0.W0.
M09
M05
M01 (PARADA OPCIONAL)
(AHORA TRONZAMOS LA PIEZA)

T0606 (**TRONZADO**)
(**INSERTO TRONZADO 3MM ESPESOR**)
(**MEDIDO DEL LADO DERECHO)**
G50S3500
G96S120
M04
G00X81.Z20.
G00X81.Z-45.
M08
G75X29.I0.1F0.02
G00X81.
G00Z20.
G28U0.W0.
M09
M05
M30 (**TERMINA PROGRAMA**)



- EJERCICIOS -

La materia prima que utilizaremos es una barra de ∅63.5 x 46mm de longitud, el material es D2




```
O1267 (HUB)
(PROGRAMADOR: FREDDY MIJARES)
(MATERIAL: D2)
(FECHA CREACION: 01/04/19)
(ACTUALIZACION: 01/04/19)
(MAQUINA: TORNO)
(CONTROL:)
G21
G40 G80 G54 G18
G28 U0. W0.
T0101 (DESBASTE DE CONTORNO EXTERIOR)
G50S3500
G96S120
M03
G00X64. Z20.
G00G42X64.Z2.
M08
G71U1.R0.5
G71P10Q70U0.1W0.05F0.15
N10G00X43.79
N20G01X48.3 Z-17.84
N30G01X48.3 Z-22.72
N40G02X53.3. Z-25.22R2.5
N50G01X57.93
N60G01X57.93 Z-44.
N70G01X60.
G00G40X65.Z10.
G28U0.W0.
M05
M09
M01 (PARADA OPCIONAL)
```

Caja de insertos
CNMG 080404

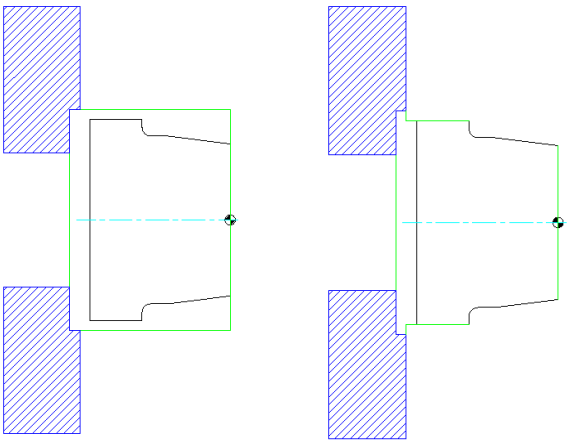
P	M	K	N	S	H

Vc= 60 m/min

Ap= 2 mm

fn= 0.2 mm/min

Insertos para aceros inoxidables



Desbaste exterior

```
T0303 (BARRENADO PREVIO)
(BROCA DE ∅17MM)
G50S3500
G97S1123
M03
```

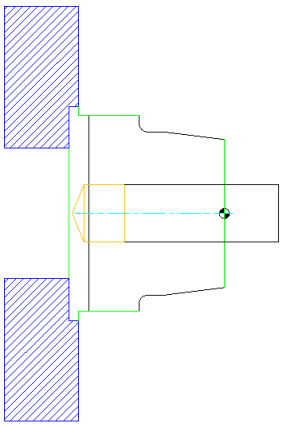
Calculamos las RPM's

$$RPM = \frac{60 * 1000}{\pi * 17} = 1123$$

- EJERCICIOS -

```
G00X0.Z20.
M08
G83Z-45.R4.Q3.F0.05
G80
G00 Z20.
G28U0.W0.
M05
M09
M01 (PARADA OPCIONAL)
```

Siempre cancelar los ciclos de barrenado con G80



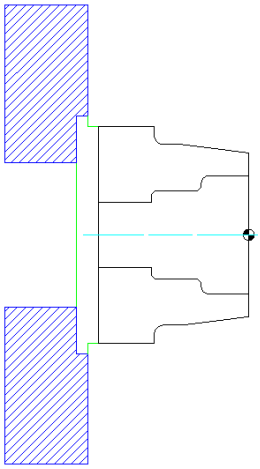
Barrenado

```
T0404 (DESBASTE INTERIOR)
(CCMT 080408)
G50S3500
G97S120
M04
G00X17.Z20.
G00G41X17.Z2.
M08
G71U1.R0.2
G71P80Q170U-0.05W0.F0.2
N80G00X31.55
N90G01X31.55Z-10.7
N100G03X27.55Z-12.7R2.
N110G01X22.6
N120G01X20.6Z-13.7
N130G01Z-24.95
N140G01X20.6Z-25.95
N150G01X17.36
N160G01Z-44.
N170G01X15.
G00G40Z10.
G28U0.W0.
M05
M09
M01 (PARADA OPCIONAL)
```

Para dejar sobre material en un diámetro interno, el valor de U debe ser negativo.

31.55 – (dos veces el radio)

31.55 – 2(2) = 27.55



Desbaste interior

```
T0202 (ACABADO EXTERIOR)
(INSERTO VNMG 080402)
G50S3500
G96S60
M03
G00X64.Z20.
G00G42X64.Z2.
M08
G70P10Q70F0.05
G00G40X66.Z10.
G28U0.W0.
M09
M05
M01 (PARADA OPCIONAL)
```

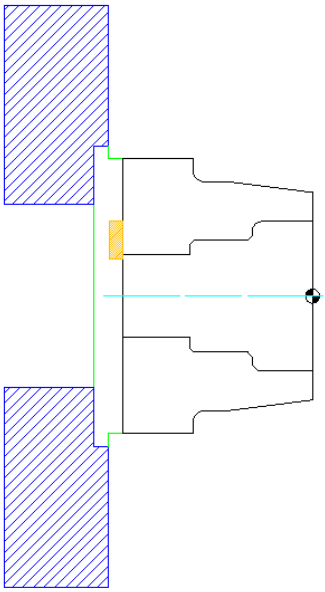
```
T0505 (ACABADO INTERIOR)
(INSERTO CMCT 080402)
G50S3500
G96S60
M03
G00X17.Z20.
G00G41X17.Z2.
M08
G70P80Q170F0.08
G00G40Z20.
G28U0.W0.
M09
M05
M01 (PARADA OPCIONAL)
(AHORA TRONZAMOS LA PIEZA)
```

Activamos la compensación izquierda G41

No olviden desactivar la compensación

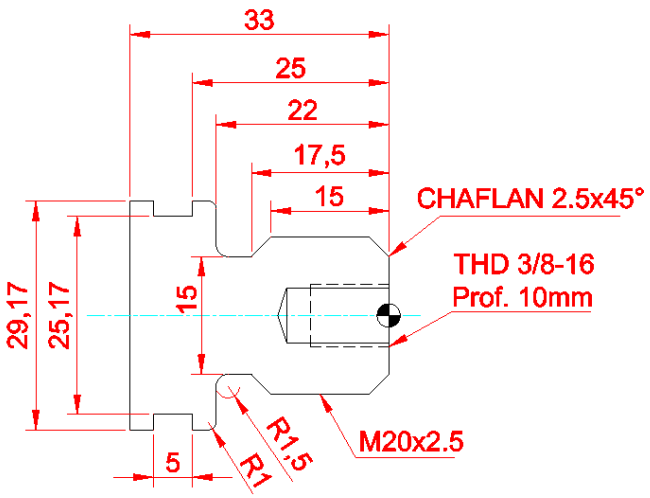
- EJERCICIOS -

```
T0606 (TRONZADO)
(INSERTO TRONZADO 3MM ESPESOR)
(MEDIDO DEL LADO DERECHO)
G50S3500
G96S60
M04
G00X59.Z20.
G00X59.Z-40.07
M08
G75X17.I0.05F0.025
G00X64.
G00Z20.
G28U0.W0.
M09
M05
M30 (TERMINA PROGRAMA)
```



- EJERCICIOS -

Considerar materia prima barra de cobre con ∅31.75mm



O1264 (**PERNO - SUJETADOR**)
(PROGRAMADOR: FREDDY MIJARES)
(MATERIAL: COBRE)
(FECHA CREACION: 22/03/19)
(ACTUALIZACION: 22/03/19)
(MAQUINA: TORNO)
(CONTROL:)
G21
G40 G80 G54 G18
G28 U0. W0.
T0101 (**DESBASTE DE CONTORNO**)
G50S4000
G96S200
M03
G00X32.Z20.
G00G42X32.Z2.
M08
G71U2.5R1.
G71P1Q10U0.2W0.05F0.3
N1G00X25.Z0.
N2G01X20.Z-2.
N3G01X20.Z-15.
N4G01X15. Z-17.5
N5G01X15. Z-20.5
N6G02X18.Z-22.R1.5
N7G01X27.17Z-22.
N8G03X29.17Z-23.R1.
N9G01X29.17Z-36.
N10G01X33.Z-36.
G00G40X38.Z10.
G28U0.W0.
M05
M09
M01 (PARADA OPCIONAL)

Activamos la compensación con G42 antes del ciclo

Colocamos un valor de Z en la primera N del ciclo para hacer desbaste tipo II. Ver capítulo 13

Caja de insertos
DNCT 060408

P	M	K	N	S	H

Vc= 200 m/min

Ap= 2.5 mm

fn= 0.3 mm/rev

Insertos para aleaciones de aluminio y cobre

T0606 (**RANURADO**)
(**INSERTO RANURADO 2MM ESPESOR**)
(**MEDIDO DEL LADO DERECHO)**
G50S4000
G96S190
M04
G00X30Z20.
G00X30.Z-25.
M08

- EJERCICIOS -

```
G75X25.17I0.2K1.25Z-28.F0.05
G00X30.
G00Z20.
G28U0.W0.
M09
M05
M01 (PARADA OPCIONAL)
```

La ranura llega hasta Z-30 pero debemos tomar en cuenta por dónde está medido el inserto y su espesor

Como estamos programando en el sistema métrico (G21), debemos convertir esta medida a milímetros.

$$\frac{5}{16} = 0.3125"$$

$$mm = 0.3125 * 25.4 = 7.937$$

```
T0303 (BARRENADO PREVIO)
(BROCA DE Ø5/16)
G50S8000
G97S7218
M03
G00X0.Z20.
M08
G83Z-13.R2.Q3.F0.15
G80
G00 Z20.
G28U0.W0.
M05
M09
M01 (PARADA OPCIONAL)
```

Calculamos las RPM's

$$RPM = \frac{180 * 1000}{\pi * 7.937} = 7218$$

Otro formato del código G76 utilizado por algunos controles es el siguiente:
G76P…Q…R…
G76X…Z…R…P…Q…F…
Donde:
P (primera línea): va ordenado en pares de números.
1er. Par: número de pasadas finales
2do. Par: valor de achaflanado
3er. Par: ángulo del diente
Q (primera línea): mínima profundidad de corte
R: valor de última pasada
X: valor en X de la raíz de la rosca (díametro)
Z: longitud de la rosca
R: (segunda línea): valor de incremento de cono (roscas cónicas)
P: altura del diente
Q: profundidad de la primera pasada
F: avance o paso

```
T0202 (ACABADO EXTERIOR)
G50S6000
G96S180
M03
G00X32.Z20.
G00X32.Z2.
M08
G70P1Q10F0.08
G00Z20.
G28U0.W0.
M09
M05
M01 (PARADA OPCIONAL)
```

Calculamos las RPM's

$$RPM = \frac{50 * 1000}{\pi * 7.937} = 2005$$

```
T0606 (MACHUELEADO 5/16-16)
(VC=50M/MIN)
G50S3500
G97S2005
M03
G00X0Z20.
M08
G84Z-10.R6.F1.587
G80G00Z10.
G28U0.W0.
M09
M05
M01
```

Para determinar el paso en el sistema métrico usamos la fórmula

$$Paso = \frac{25.4}{TPI}$$

TPI = Hilos por pulgada

$$Paso = \frac{25.4}{16} = 1.587$$

Y ese va a ser nuestro avance

Cálculos de la rosca (cuerda) externa

$$K(altura\ de\ diente) = Paso * 0.614$$

$$K(altura\ de\ diente) = 2.5 * 0.614 = 1.535$$

$$X(diámetro\ menor) = \emptyset_{mayor} - (K * 2)$$

$$X(diámetro\ menor) = 20 - (1.535 * 2)$$

$$X(diámetro\ menor) = 16.93$$

Vamos a dar 8 pasadas

$$D = K \div \sqrt{n}$$

n: número de pasadas

$$D = 1.535 \div \sqrt{8}$$

$$D = 0.542$$

```
T0606 (ROSCA M20X2.5)
(VC=150mm/min)
G50S4500
G97S2387
M03
G00X40.Z25.
G00X20.Z5.
M08
G76P011560
G76X16.93Z-18.R0P1535Q542F2.5
G00Z20.
G28 U0. W0.
M09
M05
M30
```

Calculamos las RPM's

$$RPM = \frac{150 * 1000}{\pi * 20} = 2387$$

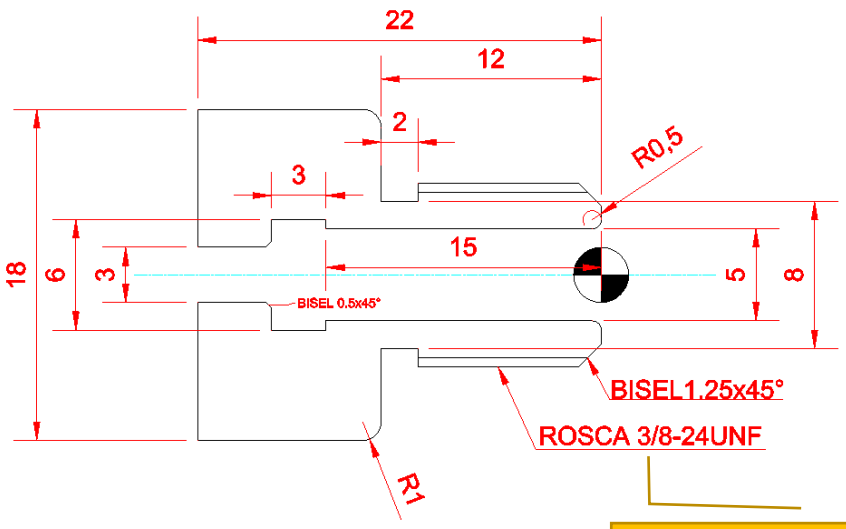
Si el valor de R es cero, se refiere a que es una rosca recta

Los valores de P y Q se colocan sin puntos decimales

P = K ; Q = D

- EJERCICIOS -

Considerar materia prima barra de titanio con ∅19.05mm (3/4”)




```
O1265 (TORNILLO MEDICO)
(PROGRAMADOR: FREDDY MIJARES)
(MATERIAL: TITANIO TI6AL4V)
(FECHA CREACION: 22/03/19)
(ACTUALIZACION: 22/03/19)
(MAQUINA: TORNO)
(CONTROL:)
G21
G40 G80 G54 G18
G28 U0. W0.
T0101 (DESBASTE DE CONTORNO EXTERIOR)
G50S3500
G96S60
M03
G00X25.Z20.
G00G42X20.Z2.
M08
G71U2.R1.5
G71P1Q8U0.1W0.1F0.2
N1G00X7.025
N2G01X9.525Z-1.25
N3G01X20.Z-15.
N4G01X20. Z-12.
N5G01X16.
N6G03X18.Z-13.R1.
N7G01Z-24.
N8X20.
G00G40X24.Z10.
G28U0.W0.
M05
M09
M01 (PARADA OPCIONAL)

T0303 (BARRENADO PREVIO)
(BROCA DE ∅3MM)
G50S8000
G97S6366
M03
G00X0.Z20.
M08
G83Z-24.R2.Q1.F0.08
G80
G00 Z20.
G28U0.W0.
```

Como estamos programando en el sistema métrico (G21), debemos convertir esta medida a milímetros.

$$\frac{3}{8} = 0.375"$$

$$mm = 0.375 * 25.4 = 9.525$$

Caja de insertos
CNMG 080404

P M K N S H

Vc= 60 m/min

Ap= 2 mm

fn= 0.2 mm/min

Insertos para aleaciones de aluminio y cobre

Calculamos las RPM’s

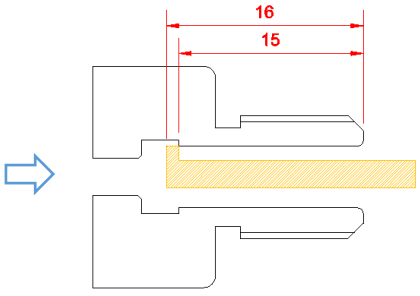
$$RPM = \frac{60 * 1000}{\pi * 3} = 6366$$

```
M05
M09
M01 (PARADA OPCIONAL)

T0808 (DESBASTE DE CONTORNO INTERIOR)
G50S8000
G96S60
M03
G00X3.Z20.
G00G41X3.Z2.
M08
G71U0.5R0.2
G71P9Q16U0.05W0.05F0.15
N9G00X7.
N10G01X6.
N11G02X5.Z-0.5R0.5
N12G01Z-18.
N13G01X4.
N14G01X3.Z-18.5
N15G01Z-24.
N16X2.7
G00G40Z10.
G28U0.W0.
M05
M09
M01 (PARADA OPCIONAL)
```

Al estar el punto de inicio en X por debajo de la trayectoria o contorno, el control asume que se va a realizar un desbaste interno. Hay que fijarse que también usamos G41, compensación por el lado izquierdo de la trayectoria

```
T0606 (RANURADO EXTERIOR)
(INSERTO RANURADO 2MM ESPESOR)
(MEDIDO DEL LADO DERECHO)
G50S4000
G96S60
M04
G00X30Z20.
G00X30.Z-25.
M08
G75X8.I0.08Z-10.F0.03
G00X12.
G00Z20.
G28U0.W0.
M09
M05
M01 (PARADA OPCIONAL)

T0606 (RANURADO INTERIOR)
(INSERTO RANURADO 1MM ESPESOR)
(MEDIDO DEL LADO IZQUIERDO DEL INSERTO)
G50S5000
G96S60
M04
G00X4Z20.
G00X4.Z-16.
M08
G75X6.I0.04Z-18K0.5F0.03
G00X5.
G00Z20.
G28U0.W0.
M09
M05
M01 (PARADA OPCIONAL)
```

El inicio de la ranura es Z-16 porque debemos sumar el espesor del inserto. Esto se debe a que el inserto está medido por el lado izquierdo




```
T0202 (ACABADO EXTERIOR)
G50S6000
G96S60
M03
G00X20.Z20.
G00G42X20.Z2.
M08
```

- EJERCICIOS -

G70P1Q8F0.08
G00Z20.
G28U0.W0.
M09
M05
M01 (PARADA OPCIONAL)

T0909 (**ACABADO INTERIOR**)
G50S8000
G96S60
M03
G00X3.Z20.
G00G41X3.Z2.
M08
G70P9Q16F0.03
G00G40Z20.
G28U0.W0.
M09
M05
M01 (PARADA OPCIONAL)

T0606 (ROSCA 3/8-24UNF)
(VC=80mm/min)
G50S4500
G97S2673
M03
G00X20.Z25.
G00X9.525Z5.
M08
G76P011560
G76X8.379Z-11.5R0P571Q18F1.056
G00Z20.
G28 U0. W0.
M09
M05
M30

$P = 0.0071 * 25.4 = 0.018$

$X = 0.3299 * 25.4 = 8.379$

$P = 0.0225 * 25.4 = 0.571$

Para la rosca, procedemos hacer todo el cálculo en el sistema inglés y los resultados los pasamos a milímetros (sistema métrico)

$$P = F(avance) = \frac{1}{TPI}$$

TPI: hilos por pulgada

$$P = F(avance) = \frac{1}{24} = 0.0416$$

Luego procedemos al calcular el valor de **K**:

$$K = F * 0.541$$

$$K = 0.0416 * 0.541 = 0.0225$$

Ahora el valor de **X**:

$$X = D_{mayor} - (P * 0.541 * 2)$$

$$X = 0.375 - (0.0416 * 0.541 * 2)$$

$$X = 0.3299$$

Por último queremos dar 10 pasadas en nuestro ciclo de roscado, entonces usamos la fórmula:

$$D = K \div \sqrt{n}$$

n: número de pasadas

$$D = 0.0225 \div \sqrt{10}$$

$$D = 0.0071$$

- Fórmulas -

a. Tenemos velocidad de corte (Vc) y diámetro. Queremos hallar las RPM

$$RPM = \frac{Vc * 1000}{\pi * \emptyset}$$ **(Sistema métrico)**

$$RPM = \frac{Vc * 12}{\pi * \emptyset}$$ **(Sistema inglés)**

b. Tenemos las RPM y queremos verificar la velocidad de corte (Vc)

$$Vc = \frac{RPM * \pi * \emptyset}{1000}$$ **(Sistema métrico)**

$$Vc = \frac{RPM * \pi * \emptyset}{12}$$ **(Sistema inglés)**

c. Avance de corte

$$F = RPM * f' * Zn$$

f'**= avance por diente (este dato lo da el fabricante de herramientas)**
Zn**= número de filos**

d. Tenemos pulgadas y las queremos convertir a milímetros

$$milímetros = pulgadas * 25.4$$

e. Tenemos milímetros y los queremos pasar a pulgadas

$$pulgadas = \frac{milímetros}{25.4}$$

f. Paso de una rosca estándar

$$Paso = \frac{1}{TPI}$$

TPI: hilos por pulgada

- Tablas -

ROSCAS MÉTRICAS

Rosca	∅ Mayor (mm)	∅ Mayor (pulgadas)	Paso	∅ Taladro (mm)	∅ Taladro (pulgadas)
M1.6 x 0.35	1,6mm	.0630	.35	1,25mm	#55
M2 x 0.4	2mm	.0787	.4	1,6mm	#52
M2.5 x 0.45	2,5mm	.0984	.45	2,05mm	#46
M3 x 0.5	3mm	.1181	.5	2,5mm	#39
M3.5 x 0.6	3,5mm	.1378	.6	2,9mm	#32
M4 x 0.7	4mm	.1575	.7	3,3mm	#30
M5 x 0.8	5mm	.1969	.8	4,2mm	#19
M6 x 1	6mm	.2362	1	5mm	#8
M8 x 1.25	8mm	.3150	1.25	6,8mm	H
M8 x 1	8mm	.3150	1	7mm	J
M10 x 1.5	10mm	.3937	1.5	8,5mm	R
M10 x 1.25	10mm	.3937	1.25	8,8mm	11/32
M12 x 1.75	12mm	.4724	1.75	10,2mm	13/32
M12 x 1.25	12mm	.4724	1.25	10,8mm	27/64
M14 x 2	14mm	.5512	2	12mm	15/32
M14 x 1.5	14mm	.5512	1.5	12,5mm	1/2
M16 x 2	16mm	.6299	2	14mm	35/64
M16 x 1.5	16mm	.6299	1.5	14,5mm	37/64
M18 x 2.5	18mm	.7087	2.5	15,5mm	39/64
M18 x 1.5	18mm	.7087	1.5	16,5mm	21/32
M20 x 2.5	20mm	.7874	2.5	17,5mm	11/16
M20 x 1.5	20mm	.7874	1.5	18,5mm	47/64
M22 x 2.5	22mm	.8661	2.5	19,5mm	49/64

- Tablas -

M22 x 1.5	22mm	.8661	1.5	20,5mm	13/16
M24 x 3	24mm	.9449	3	21mm	53/64
M24 x 2	24mm	.9449	2	22mm	7/8
M27 x 3	27mm	1.0630	3	24mm	15/16
M27 x 2	27mm	1.0630	2	25mm	1

- Tablas -

ROSCAS ESTÁNDAR

Rosca	NF/NC UNF/UNC	Hilos por pulgada	Ø Mayor (pulgadas)	Ø Efectivo (pulgadas)	Ø Menor (pulgadas) Roscas ext	Ø Menor (pulgadas) Roscas int	Taladro
0-80	UNF	80	.0600	.0519	.0447	.0465	3/64
1-64	UNC	64	.0730	.0629	.0538	.0561	#54
2-56	UNC	56	.0860	.0744	.0641	.0667	#50
2-64	UNF	64	.0860	.0759	.0668	.0691	#50
4-40	UNC	40	.1120	.0958	.0813	.0849	#43
4-48	UNF	48	.1120	.0985	.0864	.0894	#42
5-40	UNC	40	.1250	.1088	.0943	.0979	#38
5-44	UNF	44	.1250	.1102	.0971	.1004	#37
6-32	UNC	32	.1360	.1177	.0997	.1042	#36
6-40	UNF	40	.1360	.1218	.1073	.1109	#33
8-32	UNC	32	.1640	.1437	.1257	.1302	#29
8-36	UNF	36	.1640	.1460	.1299	.1339	#29
10-24	UNC	24	.1900	.1629	.1389	.1449	#25
10-32	UNF	32	.1900	.1697	.1517	.1562	#21
1/4-20	UNC	20	.2500	.2175	.1887	.1959	#7
1/4-28	UNF	28	.2500	.2268	.2062	.2113	#3
5/16-18	UNC	18	.3125	.2764	.2443	.2524	F
5/16-24	UNF	24	.3125	.2854	.2614	.2674	I
3/8-16	UNC	16	.3750	.3344	.2983	.3073	5/16
3/8-24	UNF	24	.3750	.3479	.3239	.3299	Q
7/16-14	UNC	14	.4375	.3911	.3499	.3602	U

7/16-20	UNF	20	.4375	.4050	.3762	.3834	25/64
1/2-13	UNC	13	.5000	.4500	.4056	.4167	27/64
1/2-20	UNF	20	.5000	.4675	.4387	.4459	29/64
9/16-12	UNC	12	.5625	.5084	.4603	.4723	31/64
9/16-18	UNF	18	.5625	.5264	.4943	.5024	33/64
5/8-11	UNC	11	.6250	.5660	.5135	.5266	17/32
5/8-18	UNF	18	.6250	.5869	.5568	.5649	37/64
3/4-10	UNC	10	.7500	.6650	.6273	.6417	21/32
3/4-16	UNF	16	.7500	.7094	.6733	.6823	11/16
7/8-9	UNC	9	.8750	.8028	.7387	.7547	49/64
7/8-14	UNF	14	.8750	.8286	.7874	.7977	13/16
1-8	UNC	8	1.000	.9188	.8466	.8647	7/8
1-14	UNF	14	1.000	.9459	.8978	.9098	15/16
1 1/8-7	UNC	7	1.1250	1.0322	.9497	.9704	63/64
1 1/8-12	UNF	12	1.1250	1.0709	1.0228	1.0348	1 3/64
1 1/4-7	UNC	7	1.2500	1.1572	1.0747	1.0954	1 7/64
1 3/8-6	UNC	6	1.3750	1.2667	1.1705	1.1946	1 13/64
1 1/2-6	UNC	6	1.5000	1.3917	1.2955	1.3196	1 11/32
1 3/4-5	UNC	5	1.7500	1.6201	1.5046	1.5335	1 35/64
2-4.5	UNC	4 1/2	2.0000	1.8557	1.7274	1.7594	1 25/32

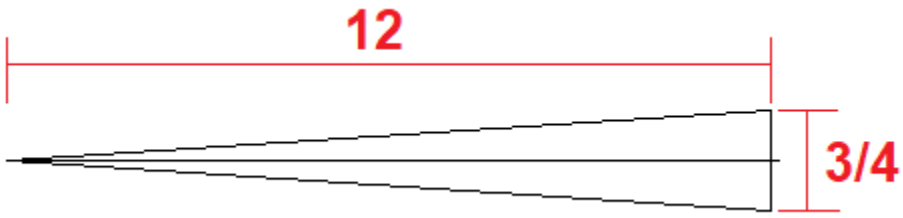
- Tablas -

ROSCAS NPT

Medida Nominal (pulg)	∅ Exterior (mm)	Hilos por pulgada (n)	Paso, P (pulg)
1/8	10.3	27	0.03704
1/4	13.7	18	0.05556
3/8	17.1	18	0.05556
1/2	21.3	14	0.07143
3/4	26.7	14	0.07143
1	33.4	11.5	0.08696
1 1/4	42.2	11.5	0.08696
1 1/2	48.3	11.5	0.08696
2	60.3	11.5	0.08696

Según ASME B1.20.1

La conicidad en este tipo de roscas viene dada por la relación que se indica a continuación.

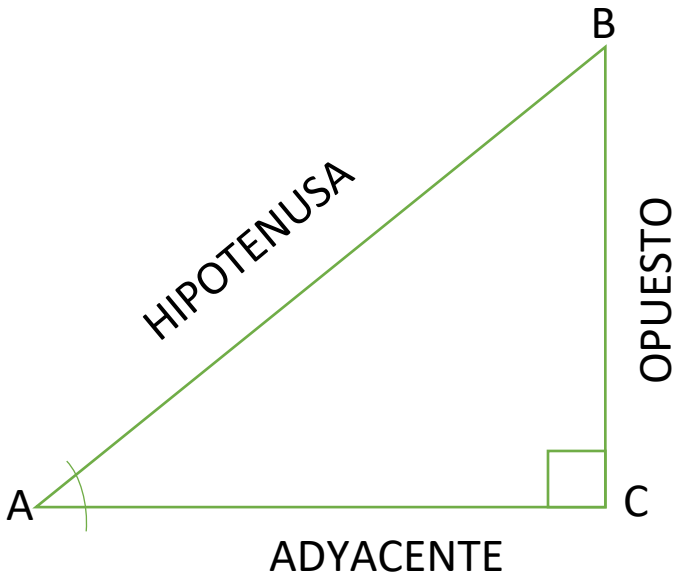


Hacemos el cálculo para determinar el ángulo

$$\alpha = tan^{-1}\left(\frac{12}{0.75}\right) = 1.78°$$

Esto quiere decir que la conicidad en las roscas NPT es de 1.78 grados

- Tablas -



$$sen(A) = \frac{opuesto}{hipotenusa}$$

$$cos(A) = \frac{adyacente}{hipotenusa}$$

$$tan(A) = \frac{opuesto}{adyacente}$$

- Tablas -

Valores de Maquinabilidad

Aceros al Carbono	
1015	72%
1018	78%
1020	72%
1022	78%
1030	70%
1040	64%
1042	64%
1050	54%
1095	42%
1117	91%
1137	72%
1141	70%
1141	81%
1144	76%
1144	85%
1144	83%
1212	**100%**
1213	136%
12L14	170%
1215	136%

Fundición de hierro	
ASTM class 20 annealed	73%
ASTM class 25	55%
ASTM class 30	48%
ASTM class 35	48%
ASTM class 40	48%
ASTM class 45	36%
ASTM class 50	36%

Aceros Aleados	
2355	70%
4130	72%
4140	66%
4142	66%
41L42	77%
4150	60%
4340	57%
4620	66%
4820	49%
52100	40%
6150	60%
8620	66%
86L20	77%
9310	51%

Aleaciones de aluminio y otros	
aluminum, cold drawn	360%
aluminum, cast	450%
aluminum, die cast	76%
magnesium, cold drawn	480%
magnesium, cast	480%

Aceros endurecidos	
A-2	42%
A-6	33%
D-2	27%
D-3	27%
M-2	39%
O-1	42%
O-2	42%

Aceros Inoxidables	
302	45%
303	78%
304	45%
316	45%
321	36%
347	36%
410	54%
416	110%
420	45%
430	54%
431	45%

Súper aleaciones	
15-5PH condition A	48%
17-4PH condition A	48%
A286 aged	33%
Hastelloy X	19%

- RESUMEN DE CICLOS -

CICLO DE DESBASTE LONGITUDINAL G71 (CILINDRADO)

G71 P… Q… U… W… D… F…

Donde:

P: primer punto del contorno

Q: último punto del contorno

U: sobrematerial dejado en X.

W: sobrematerial dejado en Z.

D: Profundidad de corte (radio)

F: avance

G71U…R…

G71P…Q…U…W…F…

Donde:

U (primera fila): profundidad de corte

R: retracción por cada corte

P: primer punto del contorno

Q: último punto del contorno

U (segunda fila): sobrematerial en X

W: sobrematerial en Z

F: avance de corte

CICLO DE DESBASTE RADIAL G72 (CAREADO O REFRENTADO)

G72 P… Q… U… W… D… F…

Donde:

P: primer punto del contorno

Q: último punto del contorno

U: sobrematerial dejado en X.

W: sobrematerial dejado en Z.

D: Profundidad de corte (radio)

F: avance

G72U…R…

G72P…Q…U…W…F…

Donde:

U (primera fila): profundidad de corte

R: retracción por cada corte

P: primer punto del contorno

Q: último punto del contorno

U (segunda fila): sobrematerial en X

W: sobrematerial en Z

F: avance de corte

- RESUMEN DE CICLOS -

CICLO DE DESBASTE IRREGULAR G73

G73P…Q…U…W…I…K…D…F…

Donde:

P: punto inicial de la trayectoria

Q: punto final de la trayectoria

U: sobrematerial dejado en X

W: sobrematerial dejado en Z

I: material en bruto en X

K: material en bruto en Z

D: número de pasadas

F: avance de corte

G73U…W…R…

G73P…Q…U…W…F…

Donde:

U (primera fila): material en bruto en X

W (primera fila):

R: retracción por cada corte

P: primer punto del contorno

Q: último punto del contorno

U (segunda fila): sobrematerial en X

W: sobrematerial en Z

F: avance de corte

CICLO DE ACABADO

Todos los controles

G70P…Q…F…

Donde:

P: primer punto del contorno

Q: último punto del contorno

F: avance en mm/rev

- RESUMEN DE CICLOS -

CICLO DE RANURADO Y/O TRONZADO

G75X…Z…D…K…I…F…

Dónde:

X: Diámetro de la ranura

Z: valor de profundidad de ranura.

K: desplazamiento en Z (cuando requiera)

I: valor de picoteo

F: avance

G75R…

G75X…Z…D…Q…P…F…

Donde:

R: retracción por cada corte

X: Diámetro de la ranura

Z: valor de profundidad de ranura.

Q: desplazamiento en Z (cuando requiera)

P: valor de picoteo

F: avance

CICLO DE ROSCADO G76

G76X…Z…D…K…I…A…F…

Dónde:

X: Diámetro de la última pasada de roscado.

Z: Longitud de cuerda

K: altura de la diente

I: ángulo con respecto a longitud (en caso de roscas cónicas o NTP)

A: ángulo de diente (60, 55, 29, etc)

F: avance o paso de la rosca

G76P…Q…R…
G76X…Z…R…P…Q…F…
Donde:
P (primera línea): va ordenado en pares de números.
1er. Par: número de pasadas finales
2do. Par: valor de achaflanado
3er. Par: ángulo del diente
Q (primera línea): mínima profundidad de corte
R: valor de última pasada
X: valor en X de la raíz de la rosca (díametro)
Z: longitud de la rosca
R: (segunda línea): valor de incremento de cono (roscas cónicas)
P: altura del diente
Q: profundidad de la primera pasada
F: avance o paso

- Agradecimientos -

A toda mi familia por siempre apoyarme en cada una de las locuras que nunca terminé, menos mal que este no fue el caso.

A mis amigos que siempre creyeron en este proyecto y me ayudaron de una u otra forma a completar este libro. ¡Son unos cracks!

A todos los programadores, operadores, estudiante, *hobbistas* y cualquier persona que haya adquirido este libro, espero lo hayan disfrutado y muchas gracias. ¡Nos vemos en las redes sociales para seguir aprendiendo!

Freddy

- Sobre mí -

Visita la página web www.freddycnc.com donde encontrarás videos, tips, ejercicios de programación CNC y además suscribirte a mi canal de Youtube y Facebook.

- Sobre mí -

Bueno chicos, mi nombre es Freddy Alejandro Mijares Leal, soy ingeniero mecánico y actualmente me desempeño como ingeniero de manufactura y programación CNC en una empresa aeroespacial. También he trabajado como ingeniero de aplicaciones en empresas de maquinaria CNC y como ingeniero de diseño. Soy venezolano y vivo en el hermoso país de México desde hace 5 años y he hecho de este mi segundo hogar.

Me apasionan los maquinados así como también enseñar (también el fútbol). Es por esto que he escrito el libro de programación de tornos CNC, que será el primero de una serie que estaré publicando. No se preocupen, ya estoy trabajando en el de fresado CNC y otros.

Les dejo mi contacto para cualquier comentario o sugerencia. Espero lo disfruten.

Correo electrónico: fremij@gmail.com