



# FABRICACIÓN ASISTIDA POR ORDENADOR

## Control Numérico

---

E.T.S.I. de Bilbao

Curso 2010-2011

Aitzol Lamikiz Mentxaka



# FABRICACIÓN ASISTIDA POR ORDENADOR

## Control Numérico

---

**Tema 07: Descripción de los sistemas  
CAD/CAM**

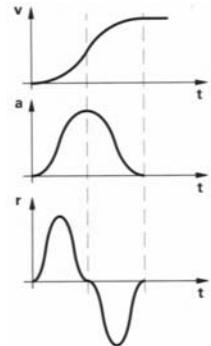
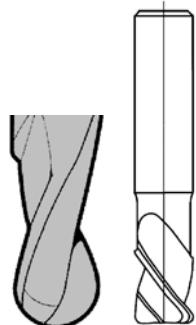
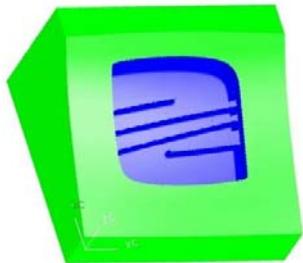


- 1. Introducción**
- 2. Geometría de CAD**
- 3. Geometría de las herramientas**
- 4. Parámetros de mecanizado**
- 5. Estrategias de mecanizado**
- 6. Cálculo de trayectorias de mecanizado**
- 7. APT y CNC: Generadores de Postprocesadores**

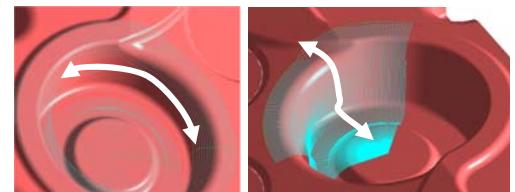
# Introducción

Geometría de la herramienta      Parámetros de mecanizado

Geometría CAD



Estrategia de mecanizado



CAM

POSTPROCESADOR

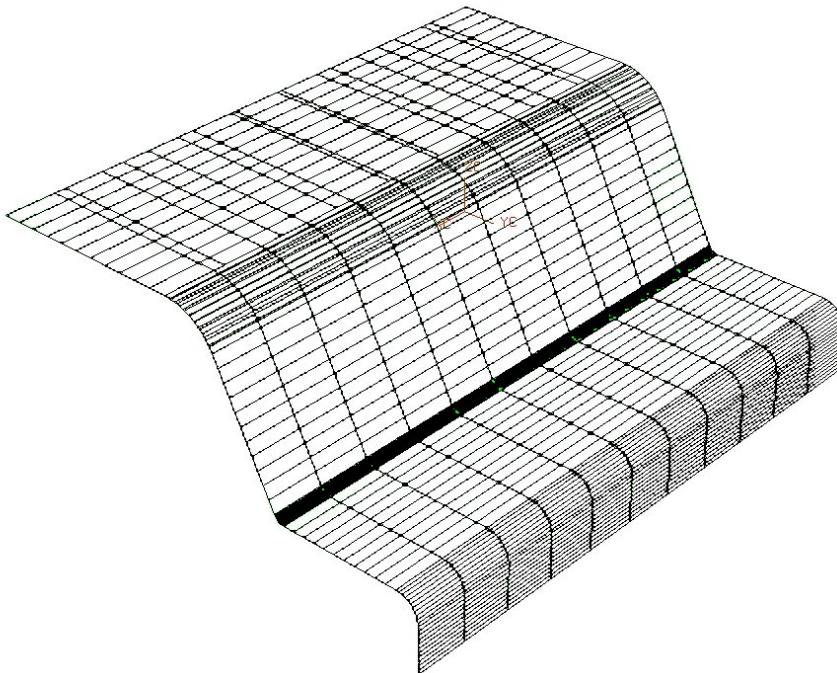


Máquina - Herramienta

# Tipo de geometría (I)

## Wireframe

- **Tipo de representación obsoleta.**
- **Se basa en almacenar nudos y líneas que forman una malla.**
- **La gran ventaja es que ocupa poco espacio en memoria.**
- **La principal desventaja es que es una representación imprecisa.**
- **NO SE UTILIZA**

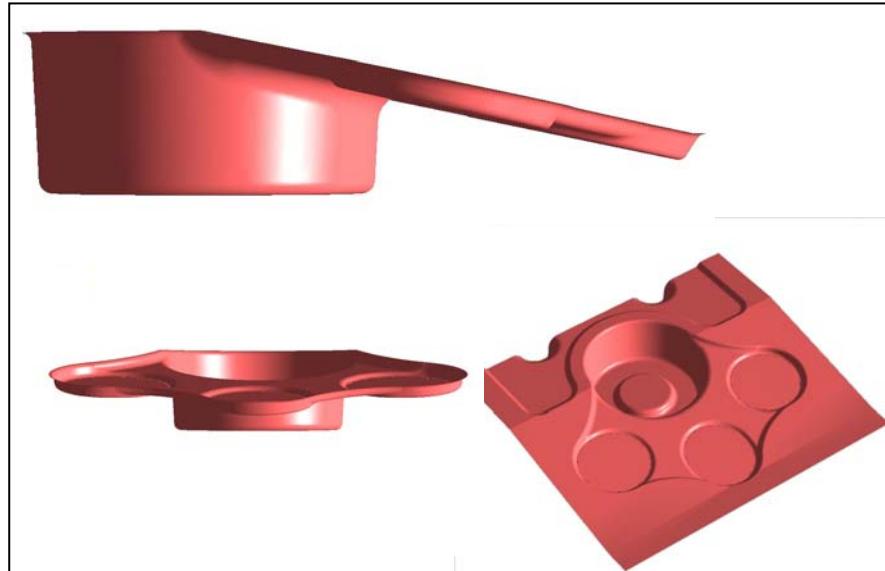


**Es importante tener en cuenta que es diferente la representación de la geometría en pantalla y la definición interna de la geometría en el sistema CAM.**

# Tipo de geometría (II)

## Superficies

- **Tipo de representación muy precisa.**
- **Se emplea para representar formas muy complejas que no siguen un patrón uniforme.**
- **Su principal característica es que no definen un volumen, sino una piel que rodea la pieza.**
- **Elevado control en la geometría.**

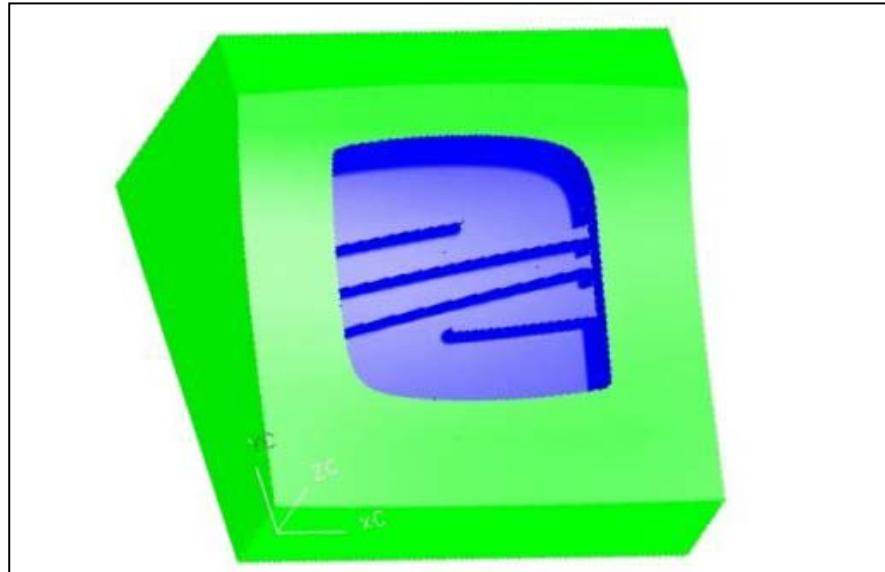


**Es importante tener en cuenta que es diferente la representación de la geometría en pantalla y la definición interna de la geometría en el sistema CAM.**

# Tipo de geometría (III)

## Sólidos

- **Tipo de representación muy precisa.**
- **Se construyen a base de geometrías simples.**
- **Se define un volumen cerrado.**  
**Esto ayuda a definir datos en el CAM, como tocho, pieza, etc..**
- **Se crean objetos parametrizados:**  
**Se actualizan automáticamente trayectorias.**



**Es importante tener en cuenta que es diferente la representación de la geometría en pantalla y la definición interna de la geometría en el sistema CAM.**

# Tipo de geometría (IV)

## Formatos de intercambio Neutro de Archivos

- Se emplean cuando el software CAD y CAM no emplean la misma representación de geometría CAD.
- Suelen ser formatos estandarizados, pero es común la aparición de problemas en las fases de importación de geometría.
- La tendencia actual es a estandarizar sistemas, más que formatos.

## Principales Formatos de Intercambio Neutro de Archivos

- IGES: El primer formato neutro. Con origen en USA pero extendido a todo el mundo.
- VDA: Origen en los fabricantes de automoción alemanes.
- STEP: Formato internacional basado en normas ISO.
- STL: Origen en el proceso de estereolitografía.
- Otros: Formatos comerciales como DXF.

# Tipo de geometría (IV) - IGES

## Ejemplo IGES

- Archivo ASCII
  - Convierte toda la geometría a superficies y curvas.
  - Asocia cada tipo de elemento a un código y guarda sus propiedades.

## Tipo de entidad

# Propiedades

\*\*\*\*\*
VDAIS VERSION/LEIST: 1.0/AF1B0 S 2
----- INFORMATION ABOUT THE SENDER----- S 3
SENDING COMPANY : ACME S 4
SENDER'S NAME : BUGS BUNNY S 5
~ TELEPHONE NO. : 555256365245 S 6
~ ADDRESS : CALLE, NUMERO, CIUDAD S 7
CAD-SYSTEM : XXXCAD VX.X.0 S 8
DATE : 05-FEB-2011 S 9
FILENAME : PIEZA12.IGS S 10
----- INFORMATION ABOUT THE DATA----- S 11
PROJECT : S 12
OBJECT IDENT. : S 13
VARIANT : S 14
CONFIDENTIALITY : S 15
VALIDITY DATE : S 16
----- INFORMATION ABOUT THE RECEIVER----- S 17
RECEIVING COMPANY : S 18
RECEIVER'S NAME/DEPT. : S 19
----- S 20
1H,,1H,,2H ,11H1268inf.igs,21HECAD Version v5.5.0,32HVDAIS PreprocessG 1
or Version 4.3-0,32,36,6,36,15,2H ,1.0,2,2HMM,35,0.349999999999994,13H9G 2
81103.161507,0.999999999999997E-6,84.7342792736308,5Hjulen,7HCAD/CAM,6,6;G 3

114	1	0	1	1	0	0	0	0	1	0	OD	1
114	35	0	88	0	0	0	OFL-1			OD		2
106	89	0	1	1	0	0		0	0	1	OD	3
106	35	0	1	63	0	0				OD		4
106	90	0	1	1	0	0		0	0	1	OD	5
106	35	0	11	63	0	0				OD		6
106	101	0	1	1	0	0		0	0	1	OD	7
106	35	0	1	63	0	0				OD		8
106	102	0	1	1	0	0		0	0	1	OD	9
106	35	0	1	63	0	0				OD		10
102	103	0	1	1	0	0		0	0	1	OD	11
102	35	0	1	0	0	0				OD		12
126	104	0	1	1	0	0		0	0	1	OD	13
126	35	0	6	0	0	0				OD		14
126	110	0	1	1	0	0		0	0	1	OD	15

114,3,0,2,3,0,0,1.0,2,0,0,0,1.0,2,0,3.0,-0.138857076455748E-4, 1P 1
-0.253632157594039E-14,0.186505292174251E-4, 1P 2
-0.476482157084485E-5,-7.66112398893526,0.7105427357601E-14, 1P 3
10.2900061298504,-2.62888214091512,0.490834333261247E-2, 1P 4
-0.7105427357601E-14,-0.65926204892186E-2,0.168427715661321E-2, 1P 5
0.979145182530949E-2,0.35527136788005E-14,-0.131513469104689E-1, 1P 6
0.335989508515588E-2,-0.153080844123503E-14, 1P 7
0.230065937197794E-4,-0.435606450077837E-5, 1P 8
-0.476482157189544E-5,0,0,12.6933658369554,-2.40335970710503, 1P 9
-2.6288821409151,-0.237400976983625E-16,-0.813240950860099E-2, 1P 10
0.153978901937528E-2,0.168427715661326E-2,0.303610656122994E-19, 1P 11
-0.162230085654684E-1,0.307166165501371E-2,0.335989508514523E-2, 1P 12
25.0000000000001,0,0,0,0,0.35527136788005E-14, 1P 13
0.140542397275567E-5,0,0,0,0,0,0.387705232393628,0,0,0,0,0,0, 1P 14
-0.495833848248139E-3,0,0,0,0,0,0,-7.64643807948498,0,0, 1P 15

# Tipo de geometría (IV) - STL

## Ejemplo STL

- Archivo ASCII o Binario
- Convierte toda la geometría a triángulos.
- Almacena los vértices de los triángulos y la normal.
- Desarrollado para RP
- Muy robusto frente a errores.
- Error debido a discretización de superficies.

```

SOLID
  FACET NORMAL +0.00000E+00 +0.00000E+00 +1.00000E+00
    OUTER LOOP
      VERTEX +1.75000E+02 +1.40000E+02 -2.00000E+01
      VERTEX +1.45000E+02 +1.40000E+02 -2.00000E+01
      VERTEX +1.45000E+02 +0.00000E+00 -2.00000E+01
    ENDLOOP
  ENDFACE
  FACET NORMAL +0.00000E+00 +0.00000E+00 +1.00000E+00
    OUTER LOOP
      VERTEX +1.45000E+02 +0.00000E+00 -2.00000E+01
      VERTEX +1.75000E+02 +0.00000E+00 -2.00000E+01
      VERTEX +1.75000E+02 +1.40000E+02 -2.00000E+01
    ENDLOOP
  ENDFACE
  FACET NORMAL +1.00000E+00 +0.00000E+00 +0.00000E+00
    OUTER LOOP
      VERTEX +1.75000E+02 +0.00000E+00 -2.00000E+01
      VERTEX +1.75000E+02 +0.00000E+00 -4.00000E+01
      VERTEX +1.75000E+02 +1.40000E+02 -4.00000E+01
    ENDLOOP
  ENDFACE
  .....
  FACET NORMAL -1.00000E+00 +0.00000E+00 +0.00000E+00
    OUTER LOOP
      VERTEX +0.00000E+00 +0.00000E+00 +0.00000E+00
      VERTEX +0.00000E+00 +1.40000E+02 +0.00000E+00
      VERTEX +0.00000E+00 +1.40000E+02 -2.00000E+01
    ENDLOOP
  ENDFACE
  FACET NORMAL +1.00000E+00 +0.00000E+00 +0.00000E+00
    OUTER LOOP
      VERTEX +1.45000E+02 +0.00000E+00 +0.00000E+00
      VERTEX +1.45000E+02 +0.00000E+00 -2.00000E+01
      VERTEX +1.45000E+02 +1.40000E+02 -2.00000E+01
    ENDLOOP
  ENDFACE
  FACET NORMAL +1.00000E+00 +0.00000E+00 +0.00000E+00
    OUTER LOOP
      VERTEX +1.45000E+02 +1.40000E+02 -2.00000E+01
      VERTEX +1.45000E+02 +1.40000E+02 +0.00000E+00
      VERTEX +1.45000E+02 +0.00000E+00 +0.00000E+00
    ENDLOOP
  ENDFACE
ENDSOLID

```

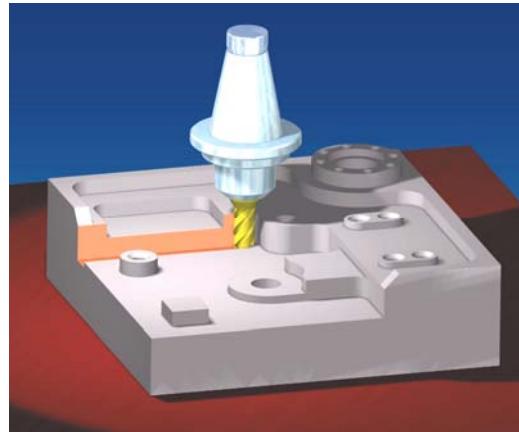
## Vector Normal

## Vértices del triángulo

# Importancia del archivo CAD

**LA GEOMETRÍA DE LA PIEZA ES LA SUPERFICIE DE APOYO PARA LA GENERACIÓN DE LAS TRAYECTORIAS.**

- Es necesario cuidar al máximo el correcto diseño de las superficies.
- Se debe minimizar el parcheo de la geometría después de ser importada.
- Antes de corregir defectos de superficies importadas es aconsejable comprobar las opciones del importador.



# Creación de una herramienta

- No es necesario definir la geometría interna de los filos de una herramienta: Nº de filos, ángulo de desprendimiento, hélice, etc.
- Se define la evolvente de la herramienta.
- La evolvente definida se emplea para compensar la posición de la máquina respecto de la máquina.
- El tipo de herramientas que se pueden crear depende de cada sistema CAM.
- Hay algunos datos: material de herramienta, número de filos, etc. que solo se emplean a modo de base de datos.



# Base de datos de herramientas

- Es común disponer de un almacén predeterminado de herramientas en el carrusel de la máquina herramienta.
  - En ese caso es útil definir una base de datos de herramientas que coincida con dicho almacén.
  - La **identificación** de cada herramienta debe ser la misma en el CAM y en la máquina.
  - En caso de disponer de una célula compuesta por diferentes máquinas se debe crear **una base de datos para cada máquina**.
  - En caso de que se trabaje sobre piezas similares, se pueden asociar unas **condiciones por defecto** a cada herramienta.

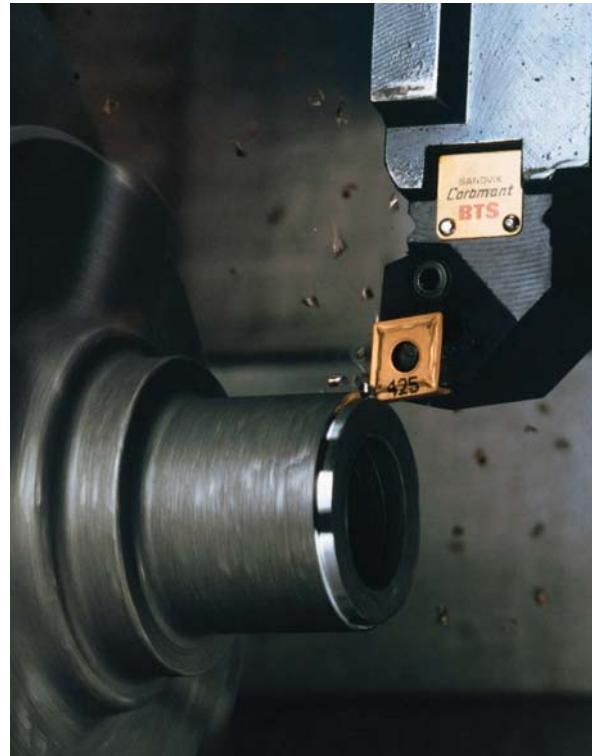


# Conceptos Previos (I)



**Es importante tener en cuenta que el CAM solamente genera las trayectorias desde un punto de vista geométrico.**

- Los sistemas de CAM no calculan los parámetros de mecanizado ni garantizan el correcto mecanizado de una pieza.
- La selección de parámetros de mecanizado se hace en base a datos de fabricantes de herramientas, experiencia, bases de datos, etc.



# Conceptos Previos (II)



El mecanizado de una pieza suele constar de varias operaciones. Éstas se dividen en operaciones de desbaste, semiacabado y acabado según su objetivo.



## Desbaste

- Se intenta maximizar la cantidad de material mecanizado.
- No se controlan las tolerancias ni la rugosidad



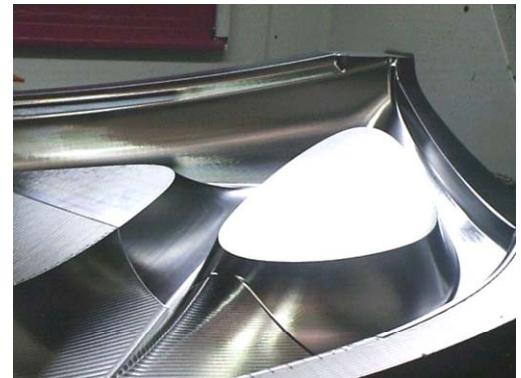
## Semiacabado

- Se intenta dejar la superficie lo más uniforme posible.
- Se deja una demasia de 0.2 – 0.5 mm.
- No se ejecuta siempre



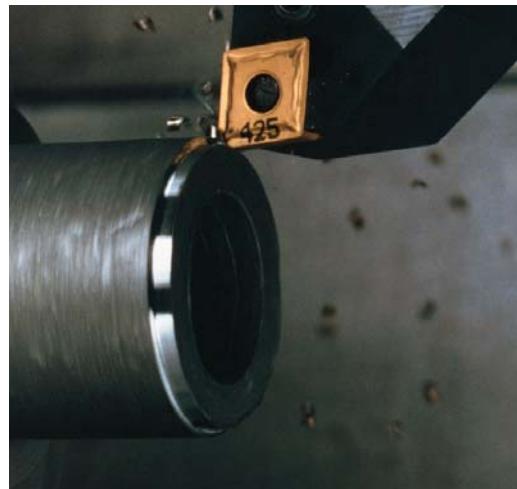
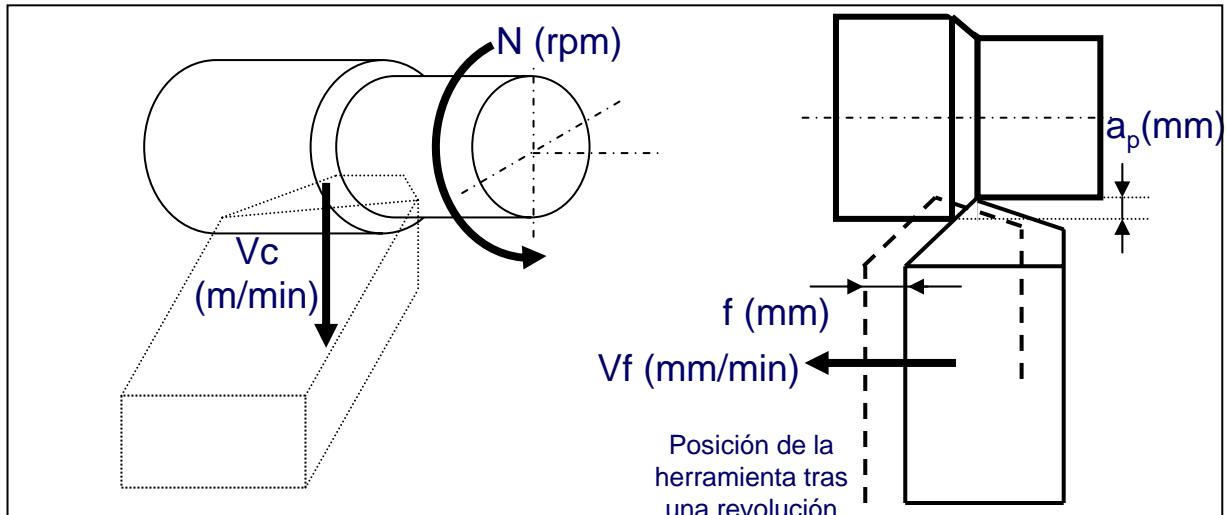
## Acabado

- El objetivo es dejar la pieza en tolerancias y con la rugosidad superficial exigida.
- El tiempo de mecanizado queda en segundo plano.



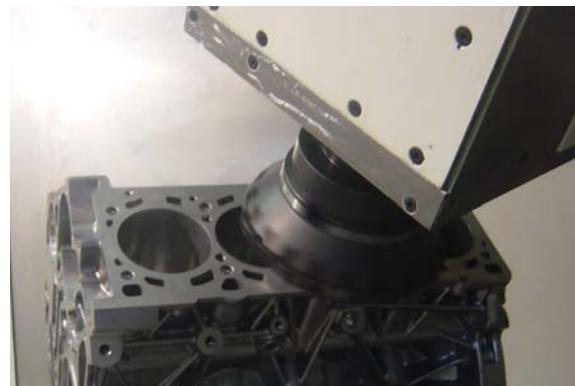
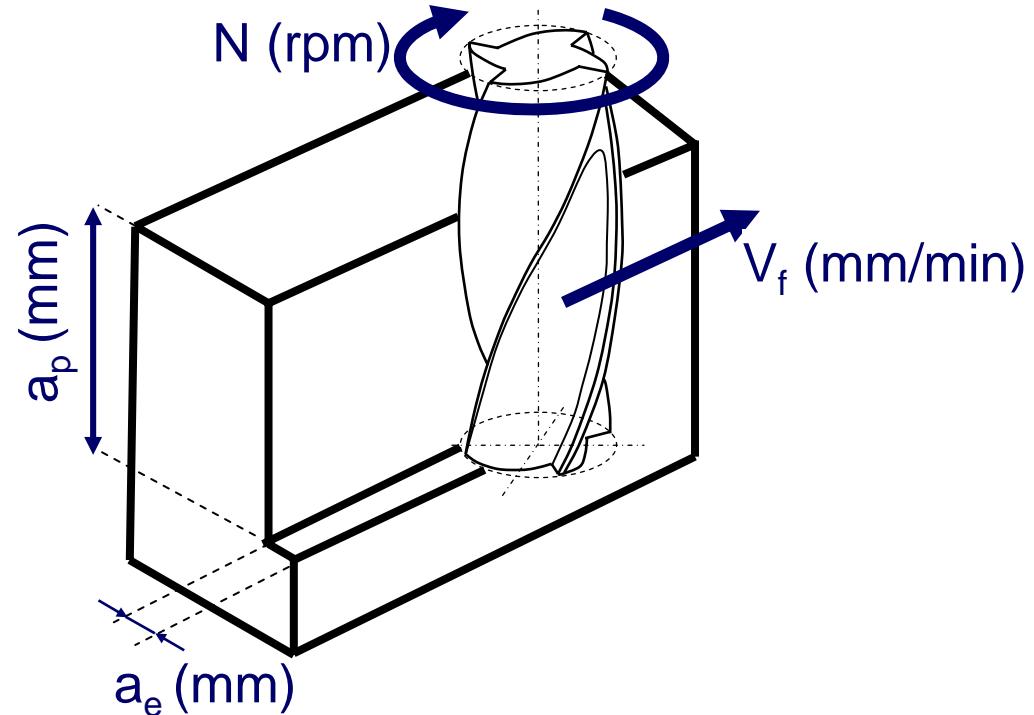
# Parámetros de Torneado

- **Velocidad de corte**
- **Revoluciones**
- **Avance**
- **Velocidad de avance**
- **Profundidad de pasada**
- **Demasía**

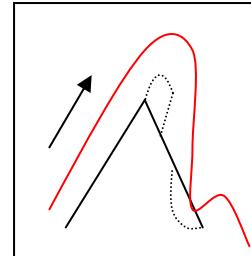


# Parámetros de fresado

- **Velocidad de corte**
- **Revoluciones**
- **Avance por filo**
- **Velocidad de Avance**
- **Profundidad de pasada radial y axial**
- **Demasiá**



# Concurrencia de problemas

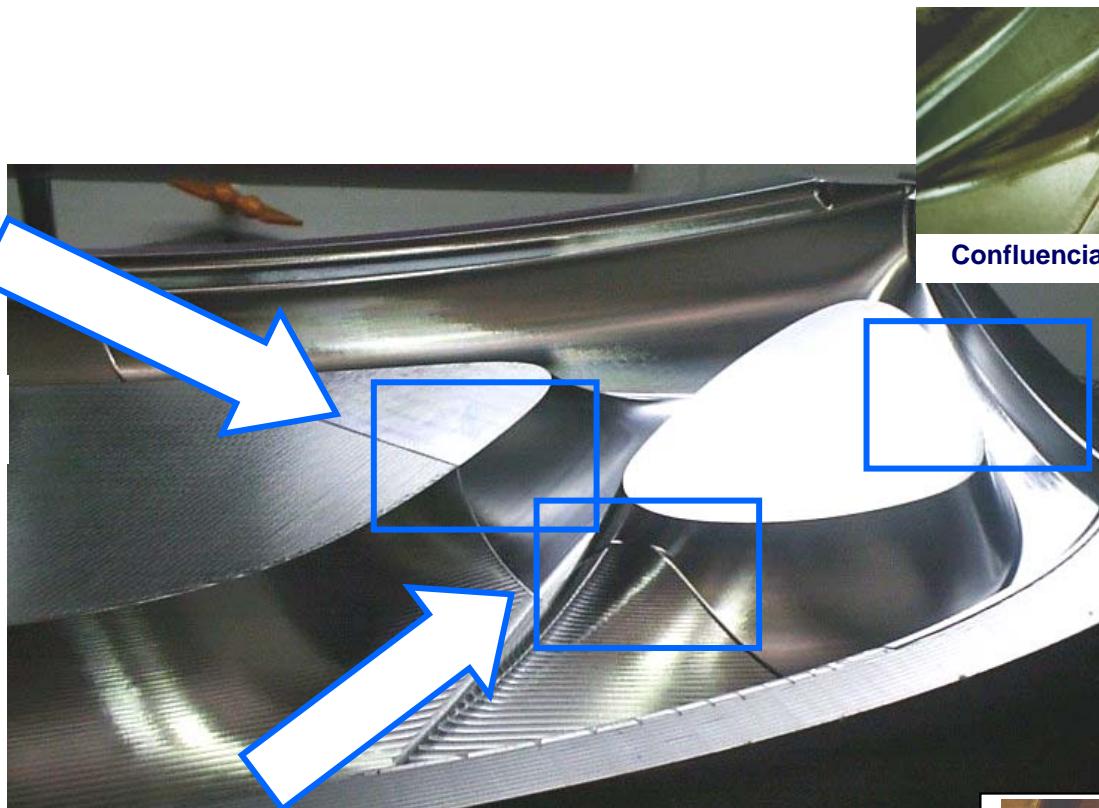


Discontinuidades C1  
 — Trájetoria hta. Real  
 .... Superficie real  
 — Superficie teórica

Error en la trayectoria de la herramienta.



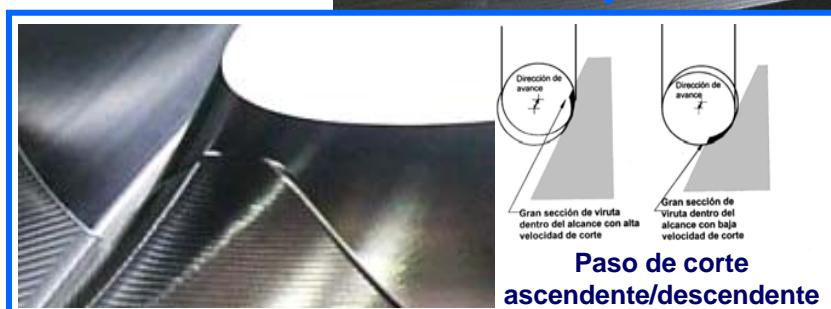
Sombra de refrigerante



Confluencia de varias superficies



Zonas de difícil acceso



Paso de corte ascendente/descendente



Marcas en la pieza debido a un cambio de herramienta

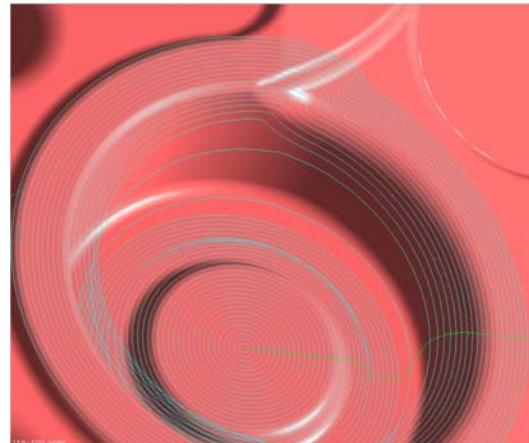
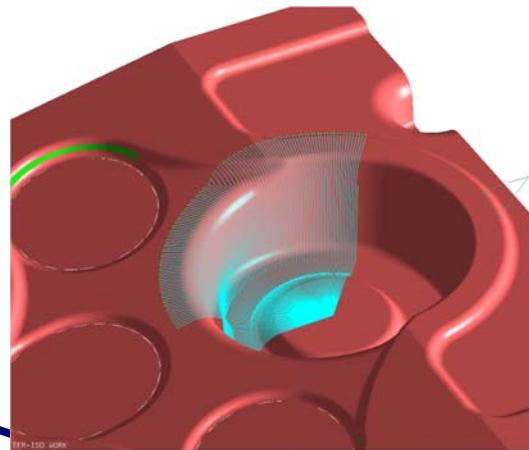


# ¿Qué son las estrategias de mecanizado?

La selección de la estrategia de mecanizado marca el tipo de trayectorias que se van a generar.



- ZIG – ZAG →
- Z - LEVEL →
- PROFILE
- COUNTOUR
- FLOW CUT
- ....



# Torneado: Tipos de Operaciones

Depende del Tipo de máquina que se emplea

- Cilindrado Exterior
- Cilindrado Interior
- Taladrado
- Roscado
- ...



# Torneado: Tipos de Operaciones

Depende del Tipo de máquina que se emplea

- Cilindrado Exterior
- Cilindrado Interior
- Taladrado
- Roscado
- ...



# Fresado: Tipos de Operaciones

- ZIG – ZAG
- Z – Level
- Bitangencias
- ....

**La selección influye directamente en el resultado de la pieza.**

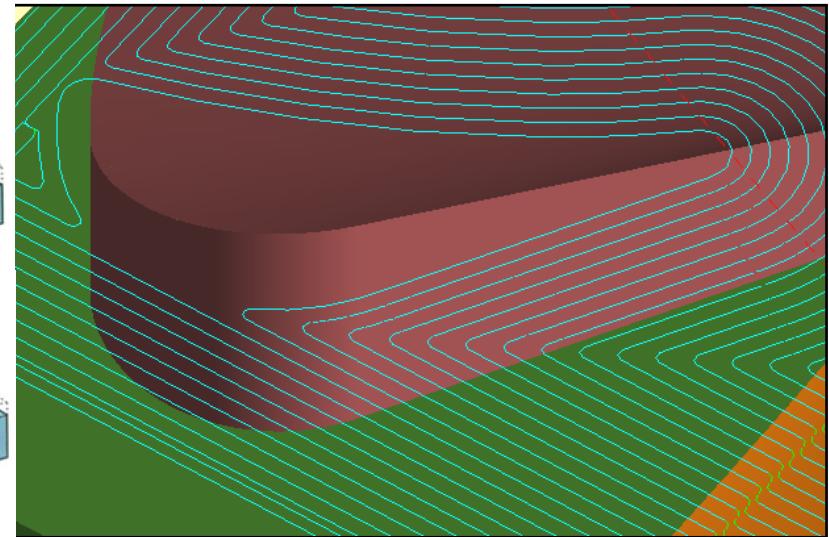
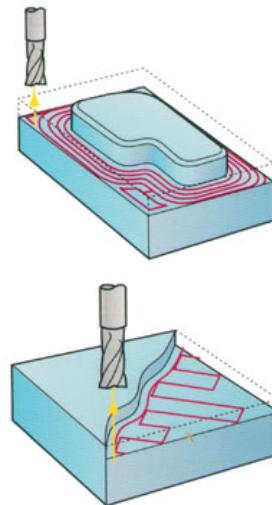
**Se deben elegir en función de:**

- Geometría: Ángulo y orientación de la superficie.
- Tipo de operación: Desbaste o Acabado.
- Tipo de máquina: Rigidez, ejes, etc.

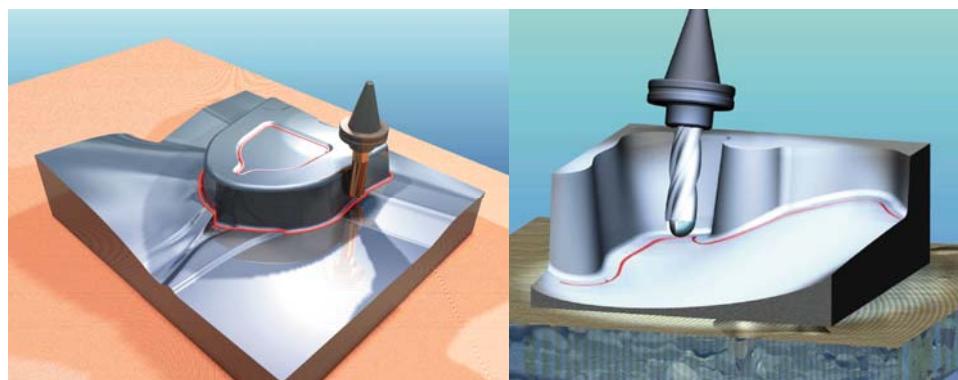
# Estrategias de desbaste

## Objetivos

- Evacuar el máximo material posible.
- Dejar sobrematerial lo más uniforme posible para operaciones de acabado.
- Evitar roturas de herramienta prematuras y cargas excesivas en el husillo de la máquina.



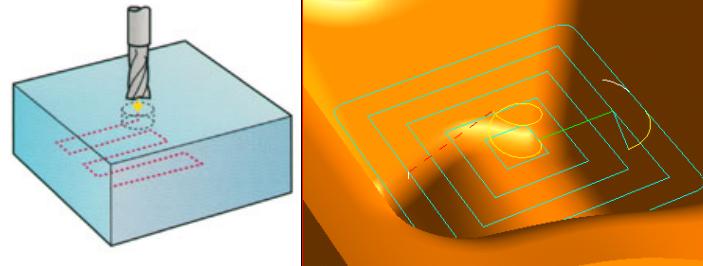
Z-LEVEL: EN ZIG-ZAG Y CONTORNEADO.



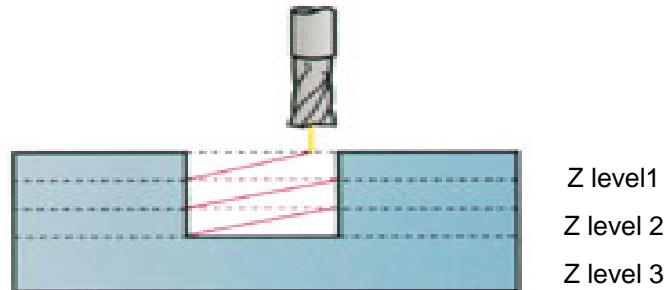
BITANGENCIAS

# Estrategias de entrada

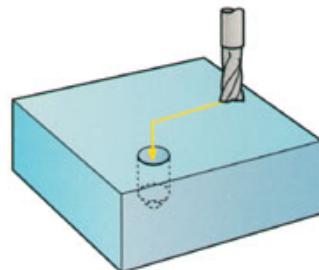
**Entradas helicoidales en penetración**



**Entradas en rampa**



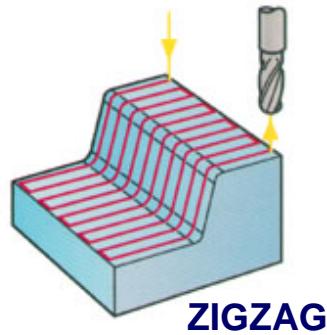
**Entradas con pretaladrados**



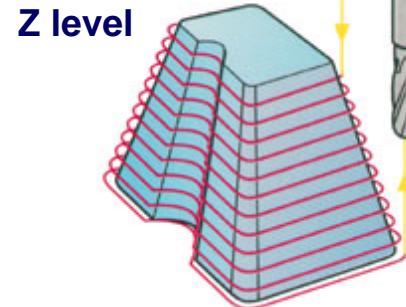
# Estrategias de acabado

## Objetivos

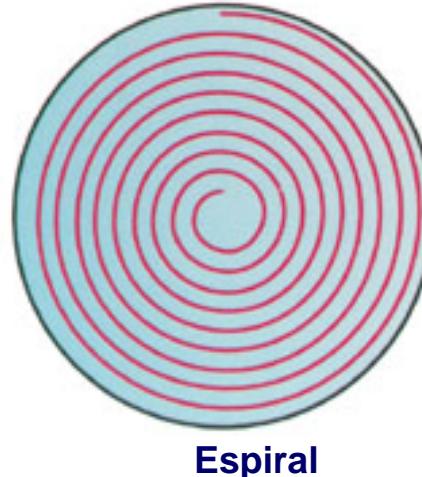
- Obtener el acabado superficial exigido.
- Obtener la geometría final de la pieza minimizando o eliminando acabados posteriores.



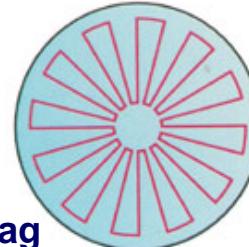
ZIGZAG



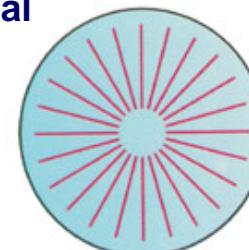
Z level



Espiral



Zigzag  
radial



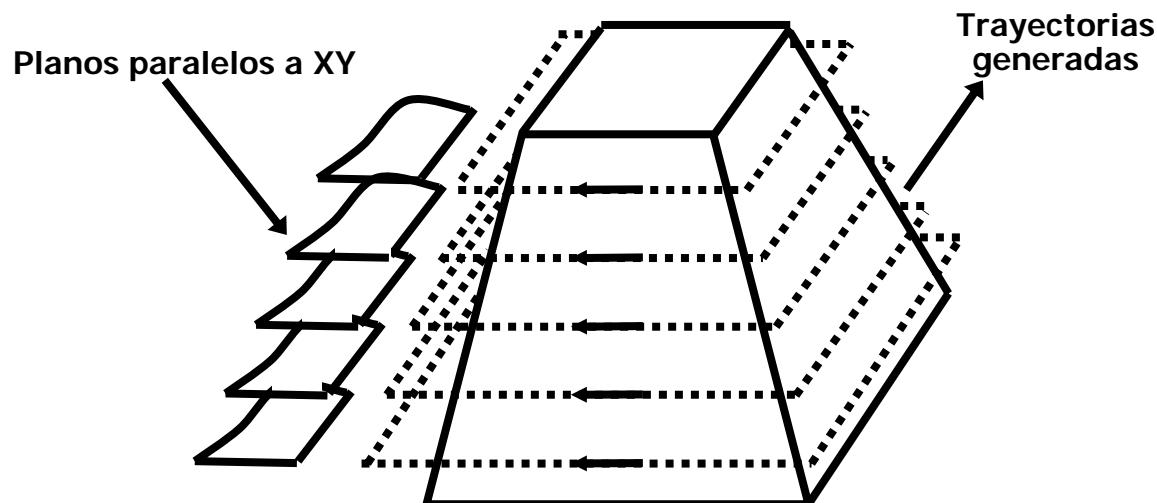
# Cálculo de trayectorias (I)

## Cálculo de trayectorias

Una vez cargados todos los datos, el sistema CAM calcula la trayectoria de la herramienta como una sucesión de posiciones a los que debe ir la herramienta.

Este cálculo se realiza en función de los parámetros introducidos, “apoyando” la geometría de la herramienta sobre la superficie de la pieza.

En primer lugar, se calculan las trayectorias teóricas en función de las estrategias de mecanizado, los parámetros de corte y la geometría de la pieza.

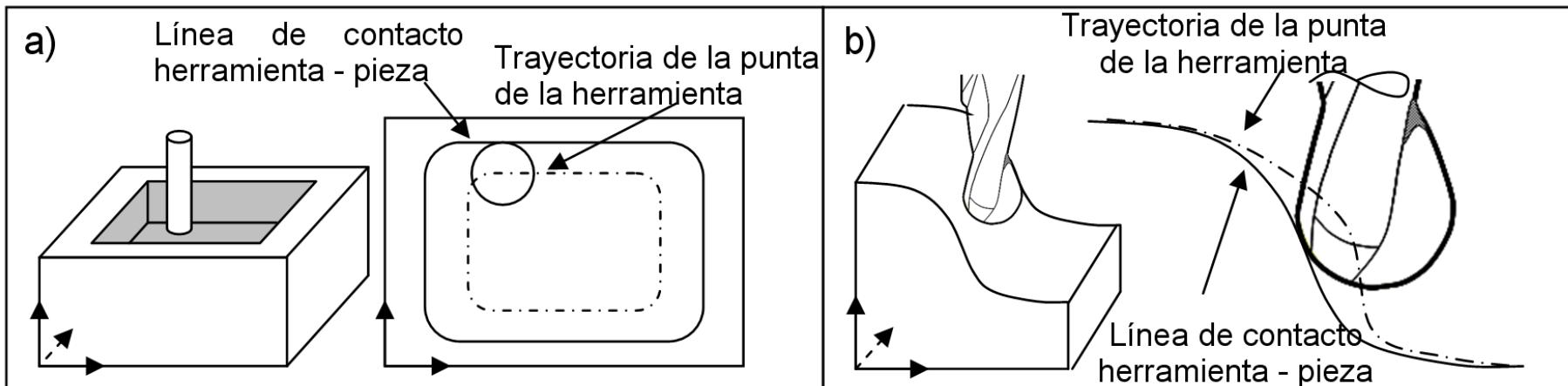


# Cálculo de trayectorias (I)

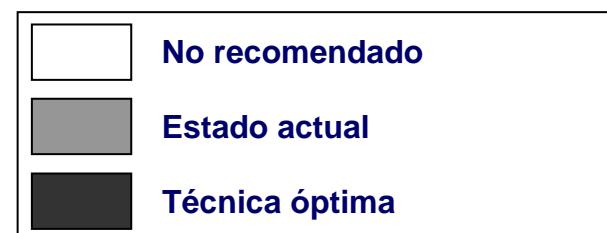
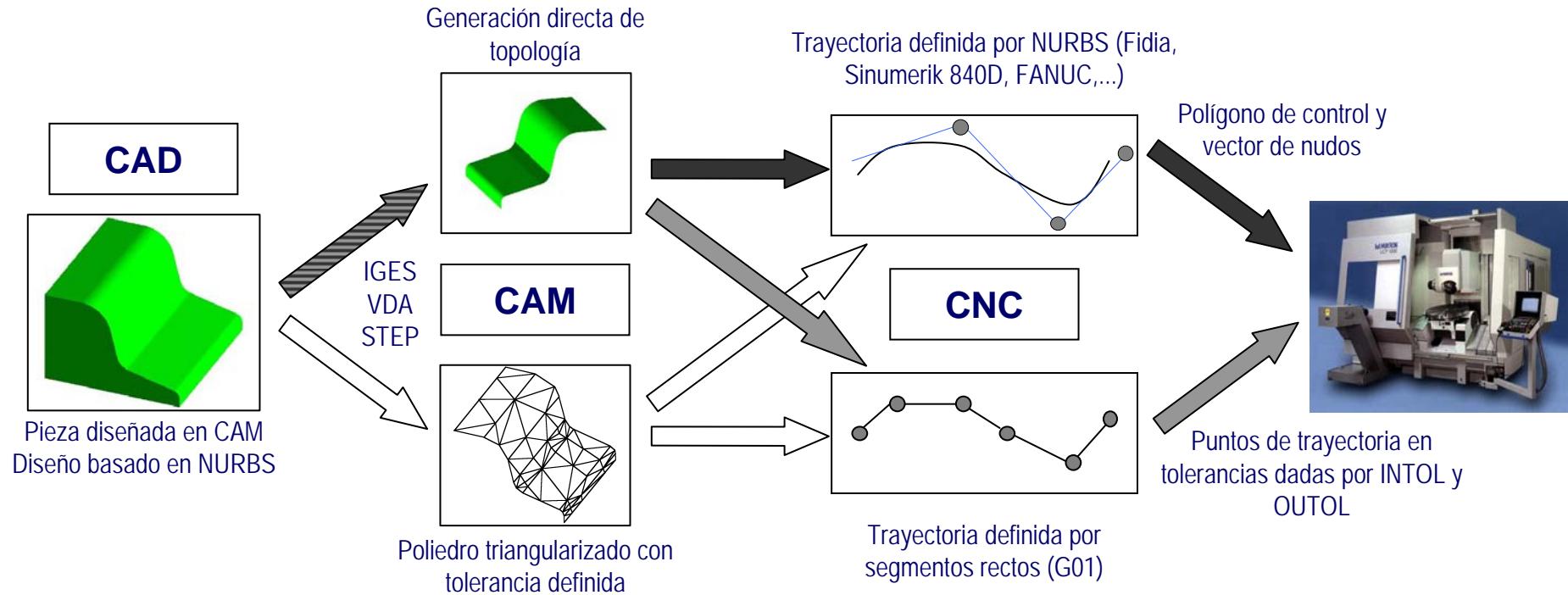
## Cálculo de trayectorias

Una vez obtenidas las trayectorias de los puntos de contacto herramienta-pieza, **se obtiene la trayectoria compensada**. Para ello se utiliza la geometría de la herramienta y se calculan las posiciones de la punta de la herramienta (TCP).

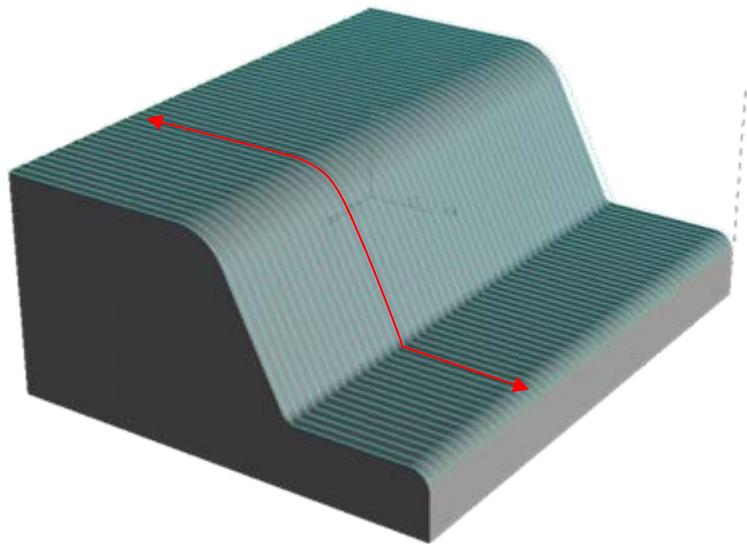
El programa de mecanizado recogerá la posición de todos los puntos que sigue la punta de la herramienta desde un origen definido por el usuario. Este origen deberá coincidir en la máquina con el cero pieza.



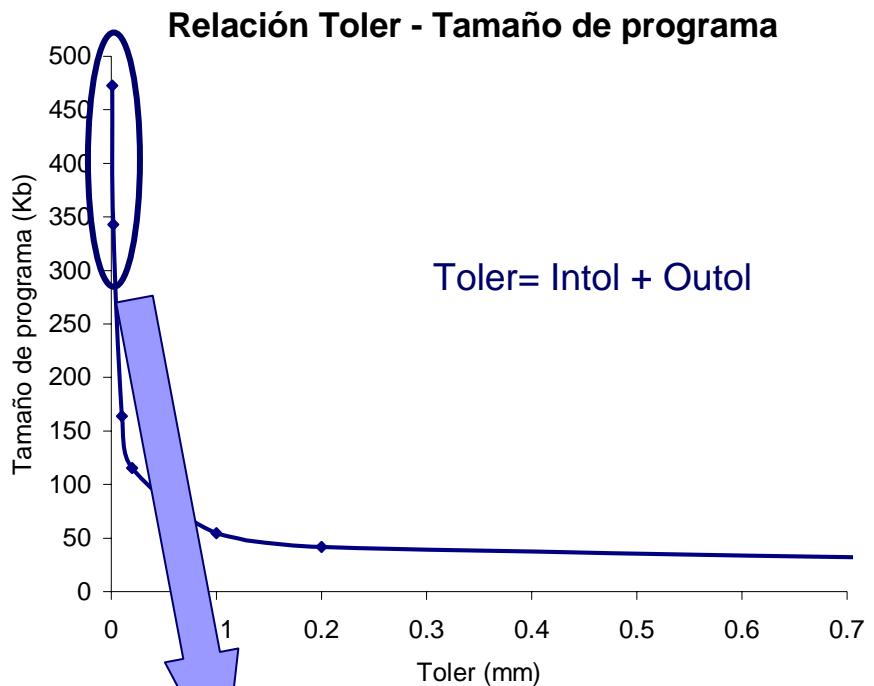
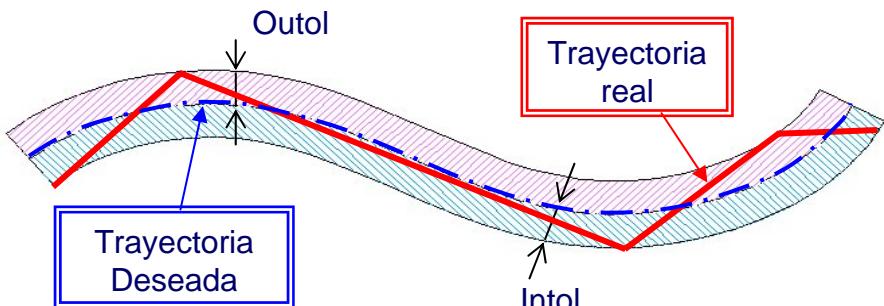
# Cálculo de trayectorias (I)



# Cálculo de trayectorias (II)



Pieza donde se han realizado los cálculos.  
Trayectoria Zig-Zag.

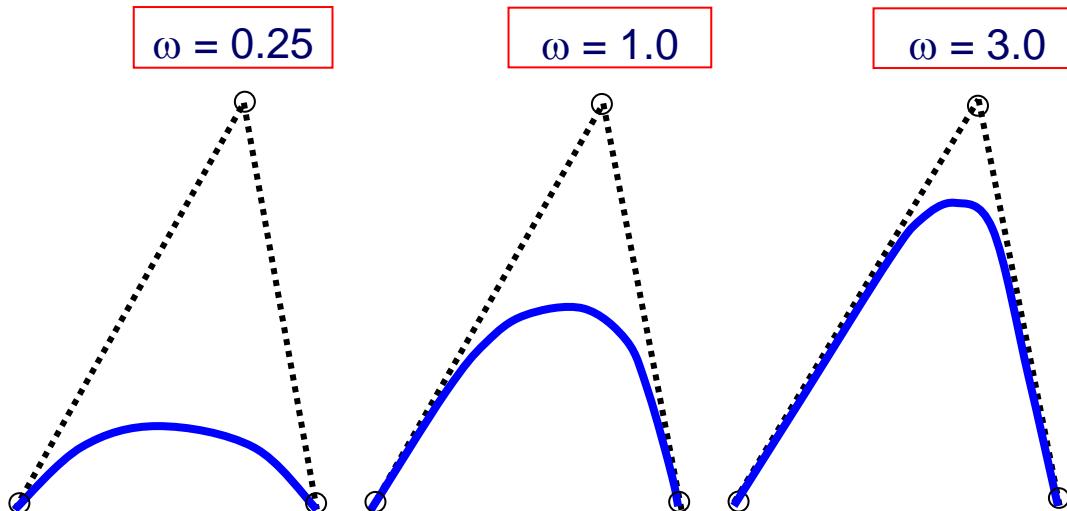


Problema:  
DATA STARVATION

# Cálculo de trayectorias (III)

## Utilización de NURB/SPLINE

- Posibilidad de definir trayectorias con menor volumen de datos.
- El CNC recibe menos datos.
- El control *decide* los puntos a interpolar en función de los datos de la curva.
- El CNC debe estar preparado para la interpolación de NURB/Splines.
- No existe en la actualidad un estándar de código ISO para interpolación de curvas.



# Cálculo de trayectorias (IV)

## Utilización de trayectoria punto a punto

- La tolerancia está definida en función del outtol - intol con la que se ha generado la trayectoria.
- La trayectoria es una sucesión de segmentos lineales unidos que unidos, pueden generar cualquier trayectoria.
- Ocupan gran espacio en memoria, sobretodo con intol-outtol muy estrechos.
- Para obtener resultados satisfactorios es necesario disponer de CNC con tiempos de bloque muy bajos (1 ó 2 ms) y con gran capacidad de disco y/o conexión Ethernet

## Utilización de NURB/SPLINE

- Posibilidad de definir trayectorias con menor volumen de datos.
- El CNC recibe menos datos.
- El control decide los puntos a interpolar en función de los datos de la curva.
- El CNC debe estar preparado para la interpolación de NURB/Splines.
- No existe en la actualidad un estándar de código ISO para interpolación de curvas.

## ¿Cuál es mejor?

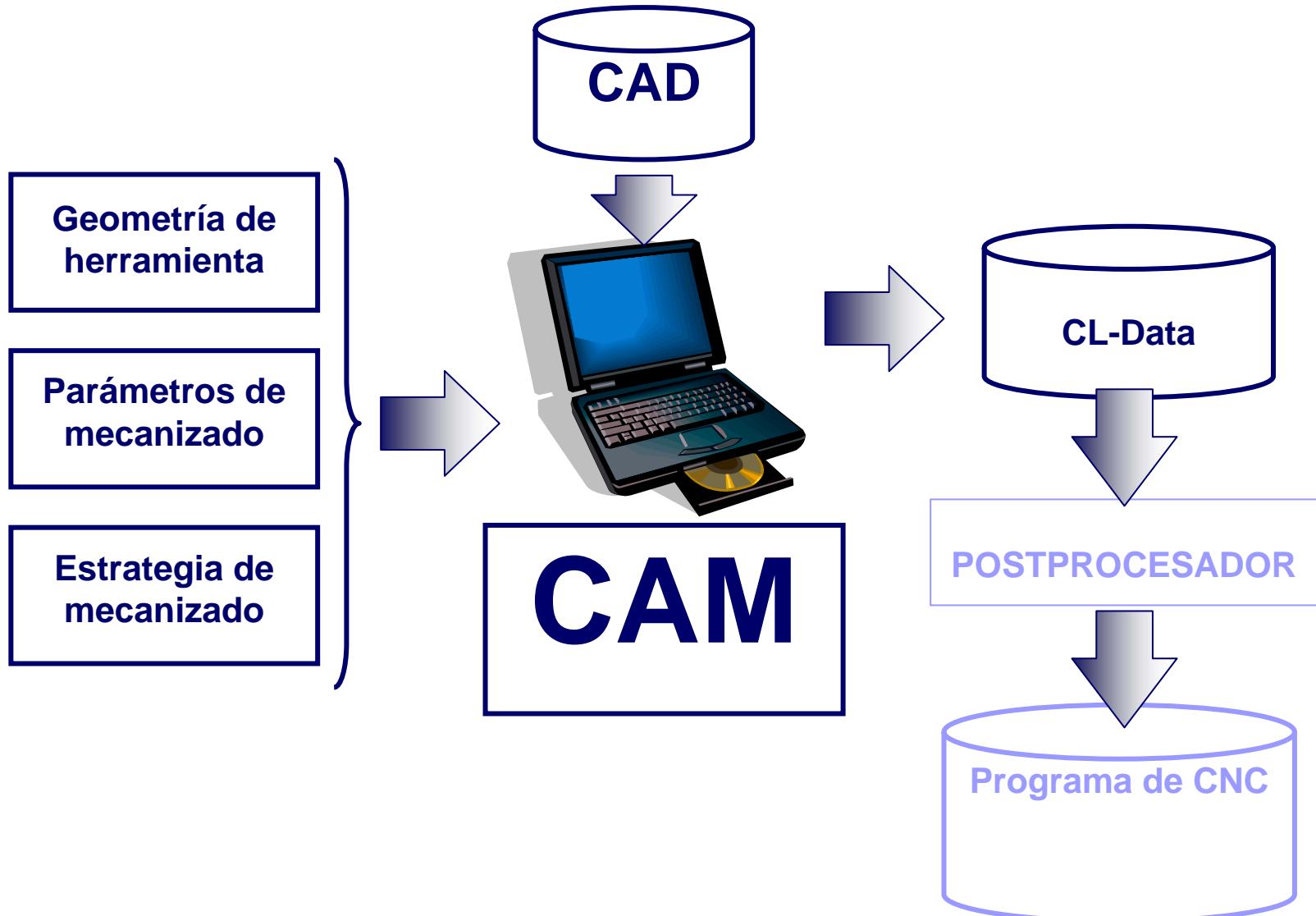
### Punto a punto

- Tamaño de programa
- Precisión
- *Data starvation*

### NURB/Spline

- Falta estándar
- Tecnología en desarrollo
- Diferentes técnicas empleadas: NURBS, Splines, sucesión de G02 y G03, ...

# Programa CL-Data



# Programa CL-Data

## APT: Automatic Tool Programming

```
TOOL PATH/SEMIACABADO,TOOL,ESF20
TLDATA/MILL,20.0000,10.0000,60.0000,0.0000,0.0000
MSYS/27.2400,7.0000,4.2649,0.0000000,1.0000000,0.0000000,
1.0000000,0.0000000,0.0000000
PAINT/PATH
PAINT/COLOR,4
FROM/189.7600,-10.0000,46.9255
LOAD/TOOL,5,ADJUST,5
COOLNT/ON
SPINDL/RPM,3000,CLW
PAINT/COLOR,2
FEDRAT/MMPM,800.0000
GOTO/0.0878,5.5297,0.3000
PAINT/COLOR,3
GOTO/5.5297,0.0878,0.3000
PAINT/COLOR,2
GOTO/7.0219,0.0000,0.3431
GOTO/8.4263,0.0000,0.3893
PAINT/COLOR,3
GOTO/6.3197,2.1066,0.3200
GOTO/4.2131,4.2131,0.3000
GOTO/2.1066,6.3197,0.2946
GOTO/0.1317,8.2946,0.2653
```

## CNC

```
N10 G71
N25 S3000 M03
N30 G90
N35 G01 X.088 Y5.53 Z.3 F800
N40 X5.53 Y.088
N45 X7.022 Y0. Z.343
N50 X8.426 Z.389
N55 X6.32 Y2.107 Z.32
N60 X4.213 Y4.213 Z.3
N65 X2.107 Y6.32 Z.295
N70 X.132 Y8.295 Z.265
N75 X.088 Y11.147 Z.223
N80 X2.809 Y8.426 Z.263
N85 X5.618 Y5.618 Z.3
N90 X8.426 Y2.809 Z.389
N95 X11.147 Y.088 Z.478
N100 X13.934 Y.11 Z.565
N105 X8.777 Y5.266 Z.401
N225 X14.219 Y11.06 Z.508
N230 X11.06 Y14.219 Z.361
N235 X6.32 Y18.959 Z.13
N240 X4.74 Y20.539 Z.084
N245 X.099 Y25.18 Z.01
```

# Lenguaje CNC

## FUNCIONES PREPARATORIAS

Son las que implican movimiento

Las más comunes son:

G01 o L: Línea Recta

G02 o C: Circulo en sentido horario

G03 o CC: Círculo en sentido antihorario

...

## FUNCIONES AUXILIARES

Se emplean para activar elementos de la MH

Las más comunes son:

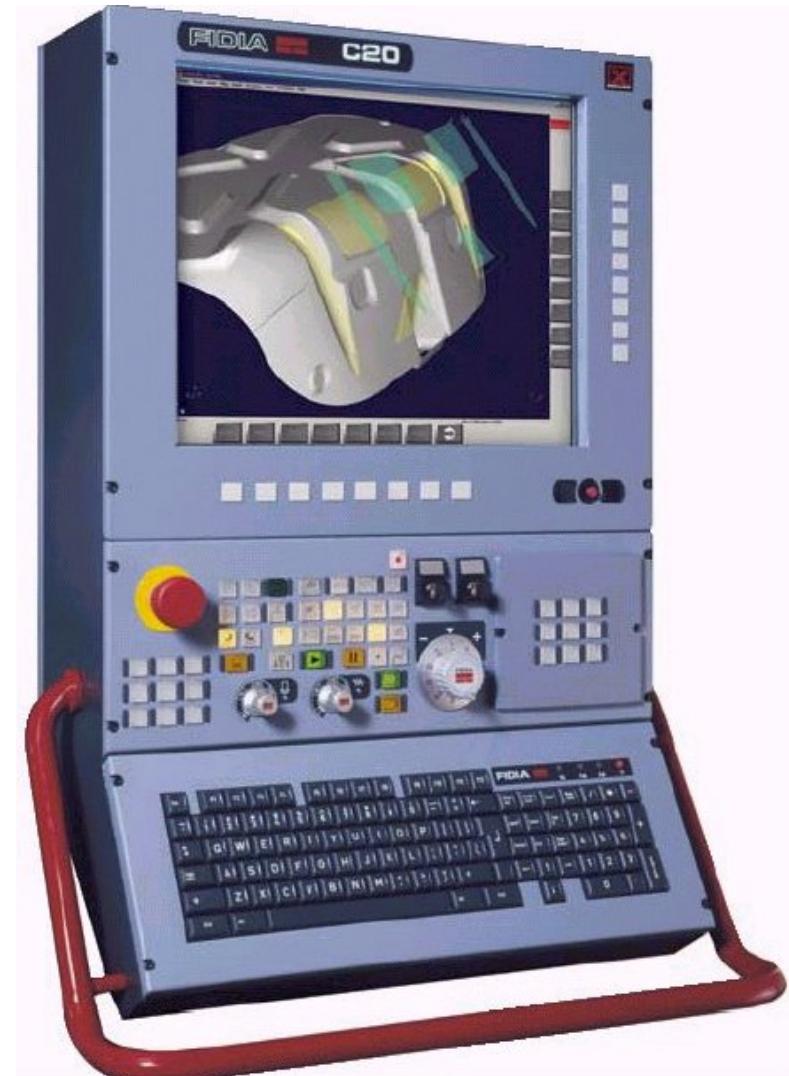
M03: Arranca el husillo principal en sentido horario.

M04: Arranca el husillo principal en sentido antihorario.

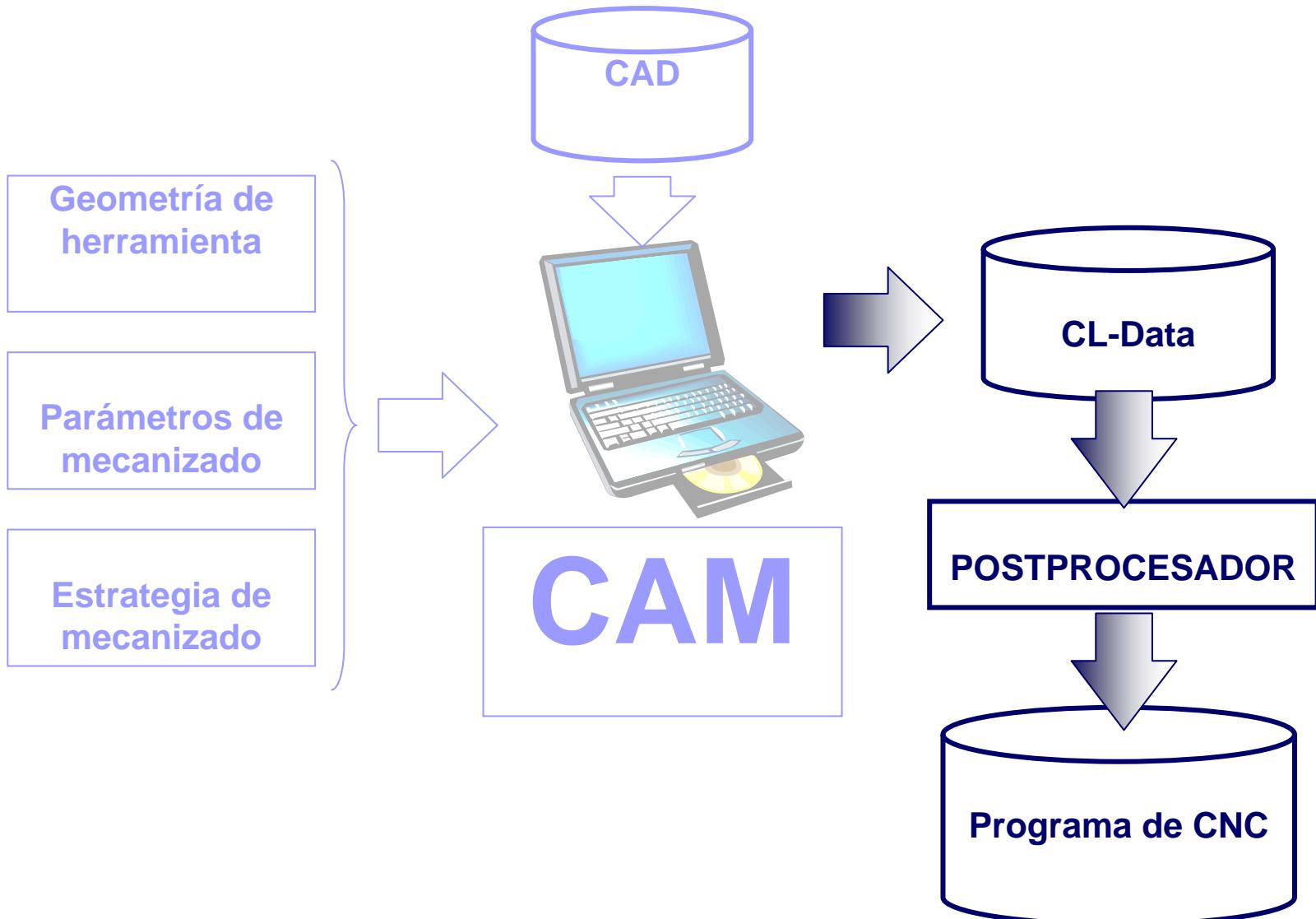
M05: Para el husillo principal.

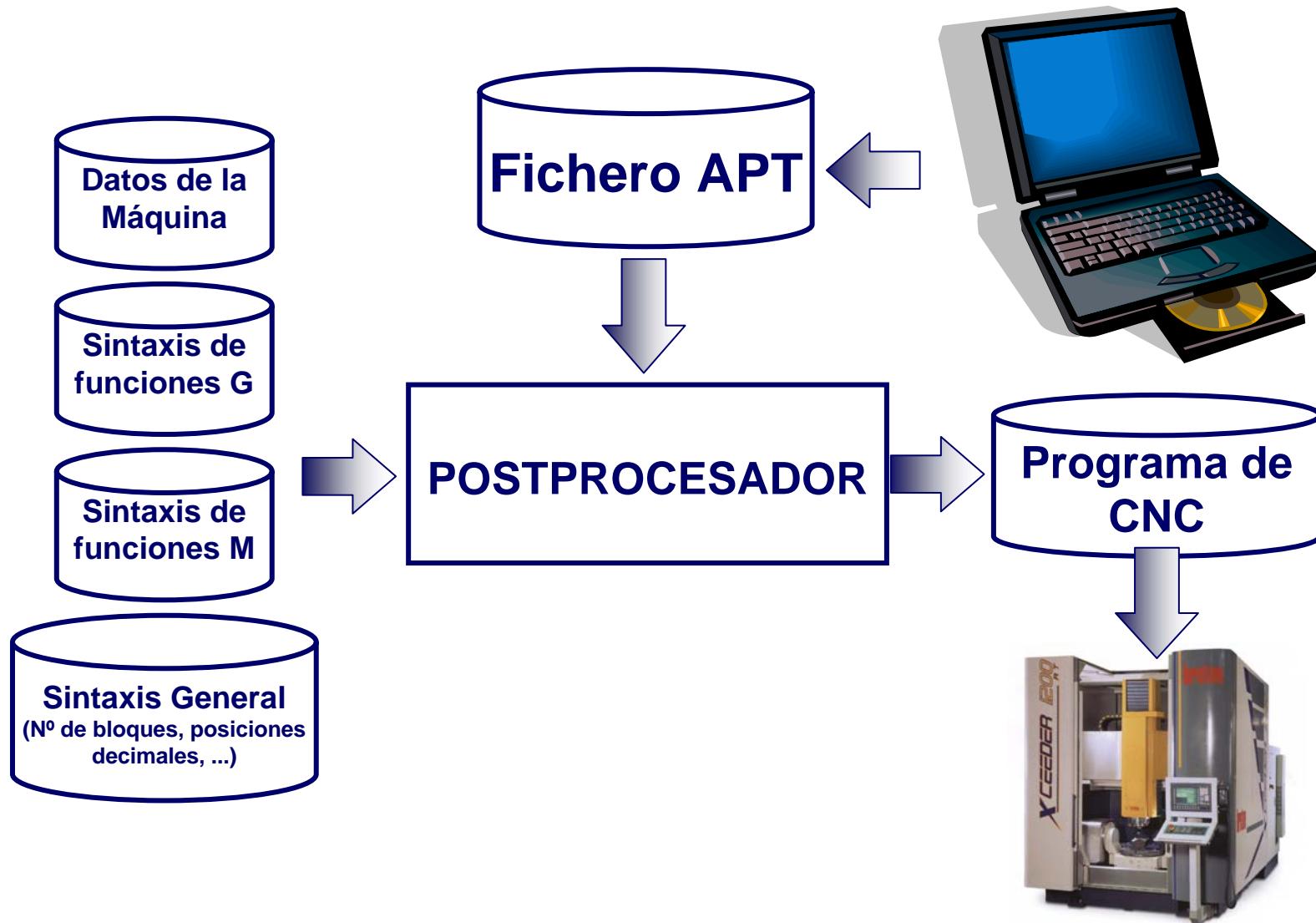
M08,M09: Refrigerante

...



# Función del Postprocesador





# Programa CNC

## APT: Automatic Tool Programming

```
TOOL PATH/SEMIACABADO,TOOL,ESF20
TLDATA/MILL,20.0000,10.0000,60.0000,0.0000,0.0000
MSYS/27.2400,7.0000,4.2649,0.0000000,1.0000000,0.0000000,
1.0000000,0.0000000,0.0000000
PAINT/PATH
PAINT/COLOR,4
FROM/189.7600,-10.0000,46.9255
LOAD/TOOL,5,ADJUST,5
COOLNT/ON
SPINDL/RPM,3000,CLW
PAINT/COLOR,2
FEDRAT/MMPM,800.0000
GOTO/0.0878,5.5297,0.3000
PAINT/COLOR,3
GOTO/5.5297,0.0878,0.3000
PAINT/COLOR,2
GOTO/7.0219,0.0000,0.3431
GOTO/8.4263,0.0000,0.3893
PAINT/COLOR,3
GOTO/6.3197,2.1066,0.3200
GOTO/4.2131,4.2131,0.3000
GOTO/2.1066,6.3197,0.2946
GOTO/0.1317,8.2946,0.2653
```

## CNC

```
N10 G71
N25 S3000 M03
N30 G90
N35 G01 X.088 Y5.53 Z.3 F800
N40 X5.53 Y.088
N45 X7.022 Y0. Z.343
N50 X8.426 Z.389
N55 X6.32 Y2.107 Z.32
N60 X4.213 Y4.213 Z.3
N65 X2.107 Y6.32 Z.295
N70 X.132 Y8.295 Z.265
N75 X.088 Y11.147 Z.223
N80 X2.809 Y8.426 Z.263
N85 X5.618 Y5.618 Z.3
N90 X8.426 Y2.809 Z.389
N95 X11.147 Y.088 Z.478
N100 X13.934 Y.11 Z.565
N105 X8.777 Y5.266 Z.401
N225 X14.219 Y11.06 Z.508
N230 X11.06 Y14.219 Z.361
N235 X6.32 Y18.959 Z.13
N240 X4.74 Y20.539 Z.084
N245 X.099 Y25.18 Z.01
```