



## **Máster en Diseño y Fabricación Integrada Asistidos por Computador.**

Técnicas de mecanizado en 4 ejes.  
Aplicación a la fabricación de moldes de soplado y piezas de  
interés aeronáutico.



Escuela Técnica Superior de Ingeniería del Diseño

**Autor: Jesrel Durán Romero**  
Director: Juan A. García

---



Hasta aquí me ayudó Jehová



Valencia, España, 16 de Septiembre de 2011

---

Autor: Jesrel Durán Romero

---

Director: Juan A. García M.

---

Tribunal



## Contenido

1.	INTRODUCCIÓN .....	3
2.	OBJETIVOS .....	3
3.	INTRODUCCIÓN A LA MANUFACTURA .....	5
3-1.	DESARROLLOS HISTÓRICOS .....	5
3-1-1.	<i>Primeros Desarrollos</i> .....	5
3-1-2.	<i>La Primera Revolución Industrial</i> .....	7
3-1-3.	<i>La Segunda Revolución Industrial</i> .....	8
4.	MANUFACTURA.....	9
4-1.	PROCESO DE REALIZACIÓN DEL PRODUCTO .....	9
4-1-1.	<i>Desarrollo de especificaciones</i> .....	9
4-1-2.	<i>Diseño conceptual</i> .....	10
4-1-3.	<i>Diseño básico</i> .....	10
4-1-4.	<i>Diseño a detalle</i> .....	11
4-1-5.	<i>Diseño del proceso</i> .....	11
4-1-6.	<i>Producción</i> .....	12
4-2.	INGENIERÍA CONCURRENTE O SIMULTÁNEA .....	13
4-3.	MANUFACTURA INTEGRADA POR COMPUTADORA .....	14
4-4.	CONTROL DE LOS PROCESOS DE MANUFACTURA .....	15
4-4-1.	<i>Estrategias de control</i> .....	15
4-4-2.	<i>Automatización</i> .....	16
4-4-3.	<i>Control Numérico</i> .....	17
5.	MAQUINADO .....	19
5-1.	ARRANQUE DE VIRUTA .....	19
5-2.	TIPOS DE MÁQUINAS HERRAMIENTAS CONVENCIONALES DE ARRANQUE DE VIRUTA.....	20
5-2-1.	<i>Taladro</i> .....	20
5-2-2.	<i>Torno</i> .....	20
5-2-3.	<i>Fresadora</i> .....	21
5-3.	INTRODUCCIÓN AL MECANIZADO CON MÁQUINAS HERRAMIENTAS CONVENCIONALES.....	23
5-3-1.	<i>Preparación de la máquina</i> .....	23
5-3-2.	<i>Sistemas de montaje</i> .....	24
5-3-3.	<i>Centrado de piezas</i> .....	25
5-3-4.	<i>Parámetros de mecanizado</i> .....	26
5-3-5.	<i>Mecanizado</i> .....	27
5-3-6.	<i>Control</i> .....	29
6.	MÁQUINAS CNC.....	31
6-1.	INTRODUCCIÓN A MÁQUINAS CNC .....	31
6-1-1.	<i>Tipos y características</i> .....	31
6-1-2.	<i>Controles</i> .....	33
6-1-3.	<i>Resolución y precisión</i> .....	34
6-2.	CONTROLES NUMÉRICOS Y CONOCIMIENTOS BÁSICOS.....	35
6-2-1.	<i>Fases de realización</i> .....	35
6-2-2.	<i>Desarrollo del programa</i> .....	36



6-2-3.	<i>Sistemas de introducción de datos</i> .....	39
<b>7.</b>	<b>MOLDEO POR SOPLADO</b> .....	<b>41</b>
7-1.	<b>PROCESO BÁSICO</b> .....	41
7-2.	<b>HISTORIA</b> .....	42
7-3.	<b>TIPOS DE MOLDEO POR SOPLADO</b> .....	42
<b>8.</b>	<b>CARACTERÍSTICAS PRINCIPALES DEL MOLDE</b> .....	<b>45</b>
8-1.	<b>MATERIALES PARA EL MOLDE</b> .....	45
8-2.	<b>SISTEMA DE REFRIGERACIÓN</b> .....	46
<b>9.</b>	<b>DISEÑO ASISTIDO POR COMPUTADORA E INGENIERÍA PARA LA CREACIÓN DE MOLDES</b> .....	<b>47</b>
9-1.	<b>VENTAJAS</b> .....	47
9-2.	<b>MÉTODOS Y SISTEMAS</b> .....	47
9-2-1.	<i>Computadora personal</i> .....	47
9-2-2.	<i>Minicomputadora</i> .....	48
9-2-3.	<i>Estaciones en red</i> .....	48
<b>10.</b>	<b>INTRODUCCIÓN AL MECANIZADO EN NX</b> .....	<b>49</b>
<b>11.</b>	<b>SECUENCIA DE TRABAJO</b> .....	<b>49</b>
11-1.	<b>ARRANQUE DE LA APLICACIÓN</b> .....	49
11-2.	<b>INTERFAZ DE FABRICACIÓN</b> .....	52
11-3.	<b>DEFINICIÓN DE LA GEOMETRÍA</b> .....	53
11-4.	<b>DEFINICIÓN DE HERRAMIENTAS</b> .....	56
11-5.	<b>DEFINICIÓN DE LAS OPERACIONES DE MECANIZADO</b> .....	62
<b>12.</b>	<b>SIMULACIÓN</b> .....	<b>85</b>
12-1.	<b>INTRODUCCIÓN A LA GENERACIÓN DE MÁQUINAS</b> .....	86
12-2.	<b>DEFINICIÓN DE COMPONENTE BASE DE LA MÁQUINA</b> .....	88
12-3.	<b>DEFINICIÓN DEL CERO MÁQUINA</b> .....	89
12-4.	<b>DEFINICIÓN DEL PRIMER EJE</b> .....	90
12-5.	<b>DEFINICIÓN DEL SEGUNDO EJE</b> .....	92
12-6.	<b>DEFINICIÓN DEL SETUP</b> .....	94
12-7.	<b>DEFINICIÓN DEL TERCER EJE</b> .....	95
12-8.	<b>DEFINICIÓN DEL CUARTO EJE</b> .....	97
12-9.	<b>DEFINICIÓN DE LAS UNIONES</b> .....	98
<b>13.</b>	<b>POSTPROCESADO</b> .....	<b>101</b>
<b>14.</b>	<b>ACTIVACIÓN DE LA MÁQUINA Y SIMULACIÓN</b> .....	<b>107</b>
<b>15.</b>	<b>DOCUMENTACIÓN DE TALLER</b> .....	<b>113</b>
<b>16.</b>	<b>MAQUINADO DE PIEZA AERONÁUTICA</b> .....	<b>115</b>
16-1.	<b>SIMULACIÓN DE MAQUINADO DE PIEZA AERONÁUTICA</b> .....	123
<b>17.</b>	<b>CONCLUSIONES Y TRABAJOS FUTUROS</b> .....	<b>127</b>
<b>18.</b>	<b>BIBLIOGRAFÍA Y REFERENCIAS DE INTERNET</b> .....	<b>129</b>



## 1. Introducción

La presente tesina se divide en tres grandes grupos:

Los primeros cuatro capítulos (3 a 6) pretenden dotar al lector de los conceptos básicos sobre manufactura e igualmente suministrarle los conocimientos sobre los procesos industriales usados para convertir las ideas en productos. En el capítulo 3 se ofrece un panorama general de la manufactura y su historia; en el capítulo 4 se resume la interacción del diseño y la manufactura y se introducen los conceptos básicos del control del proceso. El capítulo 5 se enfoca en la remoción de metal por formación de virutas con máquinas herramientas convencionales, seguido de tipos y características de las máquinas CNC (capítulo 6).

Los capítulos del 7 al 9 tratan sobre el proceso de moldeo por soplado, donde se pretende dar una idea general en cuanto al proceso (capítulo 7), las características principales de los moldes (capítulo 8) y los métodos de fabricación usados (capítulo 9).

El último grupo está formado por los capítulos del 10 al 16, donde se trabaja con el programa de diseño Unigraphics NX 7 de Siemens. Primeramente dando un introducción al modo de fabricación (capítulo 10), para seguir con la selección de herramientas y la generación de trayectorias para el maquinado de un molde de soplado (capítulo 11). El capítulo 12 explica una herramienta muy poderosa con la que cuenta NX que consiste en la simulación del maquinado en una máquina herramienta virtual, la cual requiere un postprocesador (capítulo 13) y su activación dentro del programa (capítulo 14). La documentación de taller (capítulo 15) es un proceso de generación de información que incluye listados de métodos de mecanizado, listados de operaciones, herramientas, instrucciones al operador, etc. El capítulo 16 trata el maquinado de un alabe de turbina mediante el uso de una máquina herramienta de 4 ejes.

Para finalizar con las conclusiones y los trabajos futuros.

## 2. Objetivos

Desarrollar conceptos de fabricación virtual de moldes de soplado y otras geometrías, así como la simulación virtual del maquinado en un centro de mecanizado de cuatro ejes, por medio del software de diseño CAD-CAM-CAE, Unigraphics NX 7 de Siemens.



### **3. Introducción a la manufactura**

La palabra manufactura se deriva del latín (manus, manos, y factus, hecho), y en los diccionarios se define como “la fabricación de bienes y artículos a mano o, especialmente por maquinaria, frecuentemente en gran escala y con división del trabajo”. La manufactura es una actividad humana que se difunde a lo largo de toda nuestra vida y muerte. Los productos de la manufactura se encuentran en todo nuestro alrededor. Lo que vestimos, en lo que viajamos, los diferentes utensilios que usamos diariamente, donde vivimos e incluso la mayor parte de nuestros alimentos, han pasado a través de algún proceso de manufactura.

#### **3-1. Desarrollos Históricos**

A lo largo de la historia, la manufactura ha estado marcada por avances graduales, pero ésta ha sido esencial en los diferentes cambios sociales que han ocurrido hasta nuestros tiempos, los cuales en algunos casos se pueden considerar revolucionarios.

##### **3-1-1. Primeros Desarrollos**

La manufactura se ha practicado durante varios miles de años, más como una artesanía que como se le conoce hoy en día. No se conoce con exactitud la fecha en la que se descubrió la técnica de fundir mineral de hierro para producir metal, sin embargo se tiene registrado que los primeros utensilios de hierro descubiertos por antiguos arqueólogos en Egipto datan del año 3000 a.C. Hacia el año 1000 a.C. los griegos ya dominaban la técnica de endurecer armas de hierro mediante tratamiento térmico. Los antiguos romanos contaban con fábricas para la producción en masa de artículos de vidrio, pero los procedimientos se basaban en la habilidad puramente manual.

En muchas actividades, incluyendo la minería, la metalurgia, y la industria textil se ha empleado desde hace mucho tiempo el principio de la división de trabajo. Sin embargo como se mencionó anteriormente, gran parte de la manufactura permaneció como una actividad esencialmente individual, practicada por artesanos mantenida a lo largo del tiempo por sus aprendices. El ingenio humano de distintas generaciones condujo al desarrollo de muchos procesos y productos (tabla 3-1), pero la producción estaba limitada por la potencia disponible, inicialmente a la fuerza de los artesanos, seguido de la potencia del agua que sustituyó a la fuerza animal en la Edad Media, pero solo hasta el punto permitido por la disponibilidad de agua en movimiento, por lo que limitaba la localización de las industrias. Fue sin duda hasta la revolución industrial cuando se comenzó a cambiar los hábitos de la producción.

**Tabla 3-1** Desarrollo histórico de procesos unitarios de manufactura

Año	Maquinado	Máquinas y controles
4000 a.C.	Abrasión: piedra, esmeril, granate, pedernal	Cuña, control manual
2500	Perforado, aserrado	Rueda, taladro de cuerda
1000	Sierras de hierro, torneado (madera)	Palanca, polea, torno de cuerda
d.C.0	Limado	Manivela
1000		Rueda hidráulica
1400	Lija, fabricación de relojes	Biela, volante de inercia
1600		Levas, torno de rueda
1800	Perforado, torneado, corte de tornillos	Máquina de vapor, máquina de perforación, taladro de banco, tarjetas perforadas
1850	Formado, fresado, fresado químico	Mecanización, torno de copiado, máquina fresadora
1875		Torno revólver, máquina universal
1900	Fresa madre, acero para alta velocidad	Motor eléctrico, máquina automática de tornillos, torno engranado, calibrador PASA-NO PASA
1920		Automatización dura (eléctrica), línea de producción
1940	ECM	Medición de la rugosidad
1950	EDM	Control numérico (CN)
1960	Diamante sintético	CNC,CAD,CMM, tecnología de grupo, robot, cambiador automático de herramientas
1970	Herramientas revestidas	CAD/CAM, control adaptable, controlador programable
1980	Maquinado de alta velocidad	CIM, manufactura flexible, AGV, inteligencia artificial
1990	Maquinado duro	Manufactura esbelta, manufactura ágil.

### 3-1-2. La Primera Revolución Industrial

Durante la segunda mitad del siglo XVIII se inició en Inglaterra, para luego extenderse por toda Europa la llamada Revolución Industrial. Debido a la conquista de América y por lo tanto la creación de nuevos mercados se inició una gran actividad comercial, causando una gran necesidad de la producción en serie de mercaderías, sobre todo en telas, requeridas por los mercados coloniales. La fuerza hidráulica fue la que obligó a los trabajadores a asentarse en un mismo espacio físico cercano a los ríos. La primera lanzadera mecánica surgió en 1773, que hizo posible la aparición del telar mecánico, y luego la invención de la máquina de vapor. La mayoría de los libros de historia coinciden en que el ingeniero escocés James Watt (1736-1819), realizó mejoras fundamentales a la máquina de Newcomen —un instrumento de vapor atmosférico inventado en 1711—, y con ello se desencadenó la Revolución Industrial. Inicialmente utilizada en las minas de carbón, se extendió a la industria textil, sustituyendo la fuerza hidráulica. Esto agilizó los avances en los procesos de manufactura y facilitó el crecimiento de la producción, proporcionando una abundancia de bienes y, con la mecanización de la agricultura, de productos agrícolas. Como resultado, la sociedad también se transformó, ya que mediante ella surgió el capitalismo como sistema económico, el dinero como motor fundamental de la economía. La Revolución Industrial se caracterizó porque la potencia mecánica reemplaza a la física del trabajador. Muchas máquinas eran accionadas por bandas a partir de un eje motor común, y el alcance de la mecanización era limitado.

El desarrollo de componentes mecánicos, tales como levas y palancas, trajo consigo que varias funciones del trabajador se reemplazaran con máquinas, ya que gracias a la invención de ellas se podían realizar trabajos simples y repetitivos. Esta mecanización, o “automatización dura”, eliminó algunos empleos, causando que algunos trabajadores se desplazaran a la creciente área de la manufactura y en sectores de economía. A principios del siglo XX, el desarrollo se disparó debido a la entrada de la potencia eléctrica. Las máquinas ahora podían ser accionadas individualmente y gracias a los controles por medio de circuitos eléctricos se pudieron crear máquinas más complejas.

### 3-1-3. La Segunda Revolución Industrial

En el último cuarto del siglo XIX surgen una serie de transformaciones tecnológicas y organizativas que dieron origen a la Segunda Revolución Industrial. En ella aparecen muchos aspectos que siguen siendo cotidianos en nuestro mundo actual: la electricidad, los motores movidos por derivados del petróleo, la concentración de empresas, etc. Las computadoras comenzaron a ofrecer un avance inmejorable, y los dispositivos electrónicos de estado sólido – desarrollados a partir del transistor – permitieron la fabricación de dispositivos de gran flexibilidad a un costo cada vez menor.

A principios de los años setenta la disponibilidad del microchip, así como de diversos componentes electrónicos, hicieron posible la obtención de tareas computacionales de control, de planeación y de administración a altas velocidades y a bajo costo. Actualmente se cree que estamos en medio de la segunda Revolución Industrial, una característica de ésta es que, además de la posibilidad de reemplazar la mayoría del trabajo físico, ahora es posible intensificar y algunas veces incluso sustituir el esfuerzo mental. Algunas consecuencias de este desarrollo ya son evidentes: muchos trabajos peligrosos, físicamente exigentes o aburridos, los realizan máquinas o robots controlados por computadoras; la variedad de los productos se incrementa, la calidad mejora; la productividad se eleva; la demanda de recursos naturales disminuye.

## **4. Manufactura**

La definición de manufactura como la transformación de materias primas en bienes y artículos revela poco la complejidad del problema que conlleva. Una definición más acertada se da por CAM-I (Computer Aided Manufacturing International, Austin, Texas): “Una serie de actividades y operaciones interrelacionadas que involucran diseño, selección de materiales, planeación, producción, aseguramiento de calidad, administración y mercadeo de bienes discretos y durables de consumo.” Con esta definición se puede ver que desde épocas antiguas donde el artesano proporcionaba todos los insumos, tanto físicos como mentales, la manufactura ha crecido hasta convertirse en un sistema de varios componentes interactuando entre sí.

### **4-1. Proceso de realización del producto**

La realización de un nuevo producto incluye una gran variedad de actividades. La manufactura se considera un sistema con actividades interdependientes, donde la interacción entre las diferentes etapas del proceso que a continuación se revisarán, se pueden reforzar manteniendo una base de datos computarizada común.

#### **4-1-1. Desarrollo de especificaciones**

Esta primera fase se considera la más importante, donde las necesidades se definen en términos de función, desempeño, restricciones de tiempo, costo y otros criterios. Las especificaciones que no cumplen con las necesidades del cliente llevan a la caída de producto en el mercado, pero al sobrepasar las especificaciones se eleva el costo conduciendo a la falta de competitividad. En general, se ha determinado que un producto que satisface los requisitos mínimos se puede producir a un costo mínimo.

Para asegurar el éxito del producto, se compara contra el mejor en el ramo, con el propósito de transferir el conocimiento de las mejores prácticas y su aplicación, este proceso se conoce con el anglicismo benchmarking.

Otro proceso que ayuda a la obtención de especificaciones comparando con otros productos es la ingeniería inversa, la cual es usada cuando no se dispone de dibujos y especificaciones. El método se denomina así porque va en dirección contraria a las tareas habituales de la ingeniería. Por último también se conoce el proceso de disección de producto para el desarrollo de especificaciones, que consiste en desensamblar el producto y tomar nota de sus mejores características y funcionamiento.

### **4-1-2. Diseño conceptual**

Se trata de capitalizar recursos para conformar una idea, el producto se diseña en bosquejos generales para cumplir su función, algunos le denominan fase de síntesis del diseño. En esta fase se generan principios de solución, pero no se crean los suficientes resultados válidos para llevarlos a cabo. Sin embargo, es la etapa que demanda del diseñador una alta dosis de abstracción y creatividad, caracterizada por la incertidumbre del éxito. En esta etapa no se necesitan dibujos detallados; es suficiente hacer bosquejos conceptuales que muestren las partes y la relación entre ellas.

### **4-1-3. Diseño básico**

El producto sea cual sea su rama, se diseña en base a ciertos criterios que se tienen como parámetros para satisfacer las necesidades del cliente. En esta etapa se avanza en la concretización de una solución al problema, determinando componentes e interacciones con el suficiente detalle para poderla evaluar. Se obtienen formas y materiales específicos, así como planos más detallados sobre las piezas y su interrelación y ensamble.

Actualmente se conocen distintos tipos de diseño que ayudan al diseño del producto llamado diseño para X, donde X denota una lista creciente de criterios. Por ejemplo el DPE (diseño para el montaje) cuyo objetivo es simplificar el producto para que el costo por ensamblaje se reduzca, al igual que mejorar la calidad y confiabilidad, reducir el inventario de partes y reducir el equipo de producción. Estos beneficios secundarios suelen pesar más que las reducciones de costes en el montaje. Otro ejemplo es el diseño orientado a la fabricación o DFM por sus siglas en inglés (Design for Manufacturing) es en general, la ingeniería en diseño de productos para su fácil manufactura. El diseño para la calidad (DPQ) conduce a elecciones del diseño y proceso que reducen la magnitud de las variaciones a las que están sujetas todos los procesos de manufactura, y minimizan su impacto en el desempeño del producto. El proceso de diseño a menudo revela áreas donde se necesita investigación y desarrollo, la investigación conduce con frecuencia a ideas para productos nuevos. Así, la investigación y el desarrollo del producto (I & D del producto) es una parte integral de la manufactura.

El diseño del producto es un tema de enorme magnitud e importancia, es por esto que actualmente se cuentan con infinidad de publicaciones y cursos, al igual que software especializado para que el trabajo se facilite.

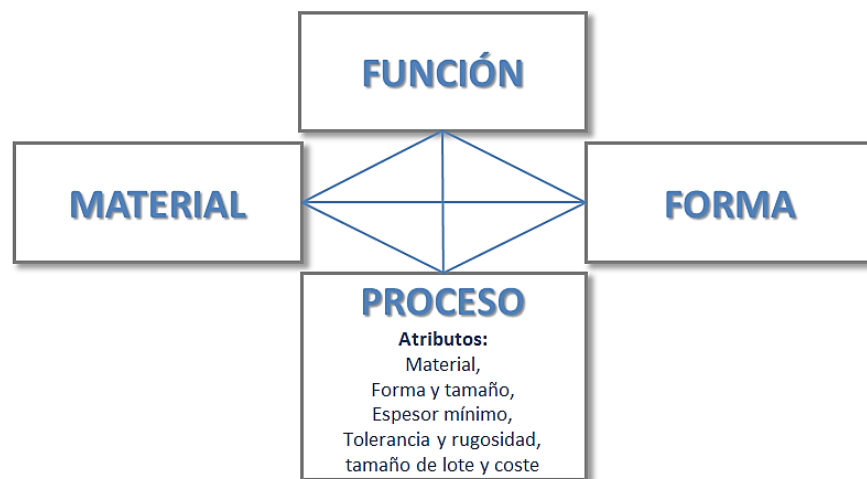


#### 4-1-4. Diseño a detalle

La fase de diseño de detalle corresponde a la generación de todas las especificaciones necesarias para la producción del producto. La elaboración de planos de detalle, la determinación de etapas de fabricación, la identificación de componentes, etc. Entonces se pueden tomar decisiones sobre que partes se deben comprar a proveedores externos y cuáles se deben producir. Como regla general, casi siempre es más económico comprar componentes y módulos disponibles como productos estándar.

#### 4-1-5. Diseño del proceso

Para los componentes producidos internamente se lleva a cabo el diseño del proceso. Al igual que con el diseño del producto, no es una actividad aislada. Las decisiones del diseño del proceso interactúan en cada una de las áreas de decisión de la función de operaciones. Las decisiones de capacidad afectan el tipo de proceso seleccionado. El tipo de diseño del proceso a su vez afecta los trabajos disponibles y el tipo de fuerza de trabajo empleada. El proceso también afecta la calidad del producto, debido a que algunos procesos se controlan más fácilmente que otros. Los procesos también se miden a través de pruebas de laboratorio contra el mejor en el ramo. Al igual que en el diseño del producto, el proceso se selecciona en cuanto a las especificaciones del cliente, los conocimientos que se tengan sobre los diferentes procesos al igual que en base a experiencias anteriores. Actualmente existen diferentes herramientas computacionales que nos ayudan en la selección de procesos, tal es el caso del Cambridge Engineering Selector (CES), el cual compara atributos necesarios del diseño (material, tamaño, forma, etc.) contra características del proceso de producción (Fig. 4-1).



**Figura 4-1** Método de trabajo del Cambridge Engineering Selector.

Ahora existe una tendencia hacia un esquema cooperativo en que solamente se dan las especificaciones funcionales y restricciones espaciales, y el vendedor es responsable del diseño, manufactura y calidad. Este enfoque exige una asociación cercana entre el proveedor y el productor final, desde las primeras etapas del diseño, ya que la experiencia del proveedor puede ayudar a mejorar el diseño básico mismo.

#### **4-1-6. Producción**

El proceso de producción tiene lugar en el piso del taller. Una vez establecido el producto, se realizan los siguientes puntos:

1. Se elige la configuración de la planta o layout para ajustarla a las características de la producción.
2. Se monitorea el proceso para observar las características críticas y se activan procesos de control.
3. La función auxiliar más importante es el movimiento de materiales. Un buen manejo de materias primas, ensambles, partes terminadas etc. puede traer consigo muchos beneficios en cuanto a costes y tiempos de entrega.
4. El control de inventario retroalimenta información al proceso de producción con base en el desempeño de ventas.
5. El estado de la producción debe ser conocido. Se requiere establecer métodos formales de aseguramiento de la calidad, junto con un plan de mantenimiento preventivo del equipo. Para un análisis en marcha del desempeño, se monitorea la carga en las máquinas y el desempeño de éstas y de la mano de obra. Una buena organización puede conducir a una buena ventaja competitiva.

## 4-2. Ingeniería Concurrente o Simultánea

La ingeniería concurrente, también llamada por muchos autores ingeniería simultánea, es un fenómeno que aparece a principios de la década de los ochenta en el Japón y que llega a Europa a través de Estados Unidos. Como su nombre lo indica, las actividades ya no están aisladas ni son sucesivas; ahora se traslapan o tienen lugar simultáneamente. La ingeniería concurrente es un esfuerzo sistemático para un diseño integrado, concurrente del producto y de su correspondiente proceso de fabricación y de servicio. Pretende que los desarrolladores, desde un principio, tengan en cuenta todos los elementos del ciclo de vida del producto, desde el diseño conceptual, hasta su disponibilidad incluyendo calidad, costo y necesidades de los clientes.

En las primeras etapas del diseño, los cambios son hechos fácilmente y se tiene un bajo costo, y el producto puede ser planeado para asegurar un costo de manufactura bajo y una calidad alta. El costo del diseño real será más alto, pero el relativo a la manufactura será menor y el tiempo de generar una buena producción se reduce. Cuando se aplica adecuadamente, la ingeniería concurrente puede reducir a la mitad los tiempos de fabricación e incluso más. El desarrollo del producto en un tiempo más corto es importante no sólo debido al costo, sino también porque la vida de los productos disminuye. Con el desarrollo de nuevos softwares capaces de visualizar los productos en tres dimensiones, se pueden realizar prototipos digitales de ensambles completos. Esto permite la exploración de nuevas alternativas y al evitar la construcción de prototipos físicos, se acelera el desarrollo de diferentes productos.

La Ingeniería Concurrente es una estrategia de desarrollo del producto que afecta en su funcionamiento a todas las áreas de la empresa. Esto hace necesario que todas las personas relacionadas directa o indirectamente con el producto se responsabilicen, en la medida correspondiente, en el diseño del mismo, desde el departamento de estudios de mercado hasta el servicio postventa.

### 4-3. Manufactura Integrada por Computadora

Los beneficios del diseño asistido por computadora (CAD) y la manufactura asistida por computadora (CAM) se pueden alcanzar sólo si se establece entre ellos una interfaz efectiva, creando lo que se conoce como CAD/CAM. Para que esto funcione, el flujo de información debe ser en ambas direcciones, asegurando así que las partes y ensambles diseñadas cumplan con las capacidades y limitaciones de los materiales y los procesos de manufactura. Un beneficio importante es que la introducción del CAD/CAM fuerza una revisión y mejoramiento del diseño y de las prácticas de manufactura, así como de la planeación de la producción. El CAD/CAM es una herramienta importante en la ingeniería concurrente.

La manufactura Integrada por Computadora (CIM) incluye todas las actividades desde la percepción de la necesidad de un producto; la concepción, el diseño y el desarrollo del producto; también la producción, ventas, etc. Si se va a hacer un cambio, éste se realiza en la base de datos; de esta forma se refleja en toda la organización, la base de datos se debe actualizar continuamente con la información más reciente para llegar a una máxima efectividad. Se cree que aún no existe ninguna empresa que haya logrado una integración total del sistema. Sin embargo, se sabe con certeza que ése es el próximo paso a seguir.

## 4-4. Control de los procesos de Manufactura

Para que un producto se pueda realizar de forma correcta, cumpliendo los requisitos del cliente, se debe tener un cierto control sobre la máquina, dispositivo o procedimiento que se esté utilizando. Un sistema de control está definido como un conjunto de componentes que pueden regular su propia conducta o la de otro sistema con el fin de lograr un funcionamiento predeterminado, de modo que se reduzcan las probabilidades de fallos y se obtengan los resultados buscados.

### 4-4-1. Estrategias de control

En la actualidad existen diferentes tipos de controles y estrategias para controlar un sistema, desde los más rústicos como el manual, hasta los más avanzados como la automatización y el control numérico, a continuación se explicaran de forma general estas estrategias.

**Control manual** El sistema de control por naturaleza es el cuerpo humano, por lo tanto hablamos de control manual toda vez que existe la presencia y la intervención de una persona en la acción de controlar y regular el comportamiento de un sistema. Esta persona según su experiencia y entrenamiento verifica el cumplimiento de determinadas normas a través de sus sentidos. La persona encargada de aplicar el control toma decisiones lógicas en su cerebro y las comunica al sistema por medio de movimientos generados gracias a sus músculos.

**Control de lazo abierto** En éste tipo no existe una retroalimentación hacia el controlador, por lo tanto las acciones se toman sin verificar los resultados de la acción, evitando con esto que se genere un ajuste por medio del control. Los accionadores pueden ser mecánicos (leva, palanca, eslabones), electromecánicos (motor de corriente directa o alterna, motor a pasos), neumáticos o hidráulicos (cilindro o motor).

**Control de lazo cerrado** El circuito de control se considera cerrado cuando existe una retroalimentación de la señal de salida, o dicho de otra forma, cuando la señal de salida tiene efecto sobre la acción de control. En el caso más simple, se añade un transductor para que la señal de salida se procese por un comparador que la comprueba con la señal de control y después si es necesario se realiza la corrección. Un sistema de control de circuito cerrado sencillo ignora posibles entradas secundarias para el sistema.

**Control adaptativo** Éste es un nivel de control más alto, el cual, en su desarrollo más completo, puede reemplazar completamente al operador. Es un controlador que tiene parámetros ajustables y cuenta con un mecanismo automático que le permite ajustarlos. Se usan detectores para proporcionar retroalimentación de entradas secundarias, estas señales se procesan de manera que la unidad de control pueda aplicar una acción correctiva apropiada.

**Inteligencia artificial** Como su nombre lo indica, el programa de control se diseña para resolver el problema en la forma que los humanos lo hacen. Aquí la potencia de una computadora se usa para dotar al control de alguna medida de inteligencia. Es la estrategia de control más similar al cerebro humano, capaz de razonar y aprender de la experiencia, y gracias a esto se puede autoprogramar.

#### **4-4-2. Automatización**

La palabra automatización deriva del griego auto que significa guiado por uno mismo. Esta palabra se utiliza para indicar cuando en la producción, inspección o manipulación de los productos, se realiza o controla por medio de máquinas operadas por sí mismas, sin la intervención humana.

Un sistema automatizado consta de dos partes principales:

- Parte de Mando
- Parte Operativa

La Parte de Mando suele ser un autómatas programable, aunque hasta hace poco se utilizaban relevadores electromagnéticos o tarjetas electrónicas. Es la parte donde se toman las decisiones.

La Parte Operativa es la parte que actúa directamente sobre la máquina. Son los elementos que hacen que la máquina se mueva y realice la operación deseada. Los elementos que forman la parte operativa son los accionadores de las máquinas.

En el ámbito de la industrialización, la automatización es un paso más allá de la mecanización. Donde la mecanización se provee de operadores humanos con maquinaria para asistirlos en sus requerimientos físicos de trabajo, no así en la automatización que como se comentó anteriormente, la necesidad humana no es necesaria, y en ocasiones incluso mentalmente. La automatización juega un papel cada vez más importante en la economía mundial y en la experiencia cotidiana.

### 4-4-3. Control Numérico

Control Numérico (CN) es el uso de instrucciones codificadas simbólicamente para el control automático de un proceso o maquinaria. Las primeras máquinas de control numérico se construyeron en Inglaterra, las cuales eran máquinas de tejer cuyo controlador era a base de tarjetas perforadas. Se han desarrollado varias formas de CN:

**Control numérico** El hardware para el CN básico incluye la unidad de control de la máquina (UCM), que contiene la lógica que se requiere para traducir información a una acción apropiada; servomotores o accionadores, y, si el control es de lazo cerrado, dispositivos de retroalimentación y transductores. Las instrucciones son proporcionadas por la UCM en forma de un programa en una tarjeta perforada, cinta magnética o disco. El CN es particularmente valioso cuando se tiene que seguir un contorno complejo. En estos casos la UCM se programa para descomponer el contorno en segmentos más cortos y para interpolar entre los puntos extremos de los segmentos. La interpolación lineal aproxima el perfil curvo en pequeñas longitudes rectas; una mejor aproximación se obtiene con trayectorias circulares, curvas suaves y, especialmente, con curvas suaves-B racionales no uniformes (NURBS).

La información se lee en bloques, y una memoria intermedia evita la discontinuidad de la operación, que en el caso de maquinado, soldado o en operaciones de corte, resultaría en marcas de paro visibles en la superficie. Las máquinas de control numérico han sido diseñadas para simplificar y optimizar los procesos de mecanizado.

**Control numérico por computadora (CNC)** En comparación con el CN, las funciones de la unidad de control de la máquina son parcial o completamente asumidas por una computadora asignada únicamente a la máquina herramienta, el programa en su totalidad se lee en la memoria. Este tipo de control adquiere una gran flexibilidad gracias a que las computadoras se pueden reprogramar muy fácilmente. Los microprocesadores usados en lugar de los circuitos de CN equipados son más confiables y pueden tener características de autodiagnóstico. El CNC minimiza los errores introducidos por el lector de cinta, ya que se lee una vez; también reduce los gastos generales relativos al CN. El control computacional ha cambiado la tecnología de la manufactura más que ningún otro adelanto por sí solo, pues introdujo el concepto de automatización que hoy manda en la industria.

***Control numérico directo (DNC)*** Es un concepto que abarca unir un computador a varias máquinas CNC para controlarlas y también recibir información de ellas, para así poder manejar de mejor manera la administración de la manufactura. Ya no se usa esta aproximación desde hace mucho tiempo a causa del control numérico distribuido, en el cual cada máquina tiene su propia computadora y la central solo se emplea para almacenar, bajar, editar y monitorear programas, así como para proporcionar funciones de control de calidad, supervisión y administración.

***Controladores lógicos programables (PLC)*** La programación de la máquina herramienta se ha simplificado enormemente con el paso de los años y se ha difundido del maquinado a otros procesos. Los PLC son mini computadoras específicamente diseñadas para soportar condiciones adversas de temperatura, suciedad y ruido eléctrico. Están preparados para ser programados como relevadores de escala lógica. La gran aceptación de estos controladores provocó mejoras en su diseño, agregándoseles varias funciones y subrutinas, haciéndolos cada vez más parecidos a las computadoras convencionales.



## 5. Maquinado

El maquinado tiene como objetivo generar la forma de la pieza de trabajo partiendo de un cuerpo sólido, o mejorar las tolerancias y el acabado superficial de una pieza de trabajo previamente formada, al retirar el material en exceso en forma de viruta. El maquinado es capaz de crear configuraciones geométricas, tolerancias y acabados superficiales que no se pueden obtener con otras técnicas. Sin embargo, el maquinado elimina material por el cual ya se ha pagado, en forma de partículas relativamente pequeñas y que en ocasiones no son reciclables. Por lo tanto, con frecuencia los avances tienen como objetivo reducir o, si es posible, eliminar el maquinado, especialmente en la producción en masa. Por estas razones ha perdido algunos mercados importantes, pero de igual forma ha evolucionado y crecido y, especialmente con la aplicación del control numérico por computadora, ha obtenido nuevos mercados. El maquinado es un término genérico, aplicado a toda la remoción de material, en tanto el corte de metal se refiere a los procesos en que el exceso de metal (o aleación) se elimina por medio de una herramienta más dura, a través de un proceso de deformación plástica extensa o por fractura controlada.

### 5-1. Arranque de viruta

La viruta constituye uno de los mayores problemas que surgen desde el punto de vista de la seguridad. La forma de la viruta depende del material a mecanizar. Se pueden encontrar infinidad de formas, pero todas tienen un elemento en común: son peligrosas, unas por ser elementos cortantes y otras por ser partículas incandescentes que producen quemaduras. La forma de la viruta varía en función del trabajo que se realiza:

*En torneado*, la viruta suele ser en forma de espiral cuando se trabaja aceros al carbón; cuando se trabajan fundiciones con bronce, estas espirales se rompen en pequeñas partículas en forma de espiral.

*En fresado*, la forma de la viruta depende del material y de la herramienta que se utilice. Las más típicas suelen tener forma de pequeñas medias lunas cuando se trabaja con la parte frontal de la fresa y de una forma alargada como agujas cuando se trabaja con la parte tangencial de la misma.

*En taladrado*, la forma suele ser muy similar a las del torno, con forma de una espiral para aceros al carbono y pequeños trozos de esa espiral para fundiciones con bronce.

*En mecanizado por abrasión*, la viruta está compuesta por pequeñas partículas incandescentes sin otra forma que diminutas esferas.

## **5-2. Tipos de máquinas herramientas convencionales de arranque de viruta**

Existen diferentes tipos de máquinas herramientas las cuales se identifican por el tipo de movimientos que realizan. Por ejemplo la pieza de trabajo puede girar con respecto de su eje o ser la herramienta la que gira mientras la pieza se mantiene inmóvil. A continuación se describen las máquinas herramientas más utilizadas al día de hoy.

### **5-2-1. Taladro**

Los taladros son máquinas herramientas cuya función es hacer agujeros en piezas, utilizando una herramienta denominada broca, que se sujeta por un portabrocas que gira movido por un motor y que, al ir penetrando en la pieza, convierte en viruta el diámetro de la herramienta. Una de las primeras clasificaciones es la dada por el desplazamiento de la herramienta, este desplazamiento puede ser manual o automático.

El taladro de columnas más sencillo tiene un husillo giratorio individual que avanza axialmente, a una rapidez fija o bajo una fuerza constante, en una pieza de trabajo sostenida rígidamente en una mesa. Un taladro de brazo radial tiene un brazo oscilante que da mayor libertad. Cuando deben producir varios agujeros en un gran número de piezas de trabajo, el taladro simultáneo con un cabezal de taladrado de husillos múltiples asegura mejor precisión de la localización relativa del agujero. Se logra una exactitud excepcional en la localización de los agujeros en la perforadora con plantilla, que es en realidad un taladro equipado con una mesa con movimiento de alta precisión en dos direcciones. Con frecuencia se emplea el control numérico.

Las brocas se pueden montar en el contrapunto de un torno para maquinar agujeros de buena concentricidad; las brocas son herramientas importantes para todas las máquinas automáticas.

### **5-2-2. Torno**

La máquina herramienta que se utiliza más ampliamente es el torno mecánico, en el cual la pieza a mecanizar tiene un movimiento de rotación alrededor de su eje, así pues, es la pieza la que tiene el movimiento de giro para facilitar el corte y la herramienta la que tiene el movimiento de avance. Dado que el torno es la máquina ideal para fabricar piezas de revolución, proporcionando la producción más económica, esta máquina se encuentra en formas y tamaños adecuados a funciones particulares.

Si se clasifican, atendiendo al tipo de trabajo que realizan, se establecen los siguientes tipos:

**Torno paralelo** Es el tipo de torno ideal para la construcción de piezas unitarias o de pequeñas series, ya que con él se pueden ejecutar casi todas las formas geométricas de revolución.

**Torno vertical** Es una máquina ideada para trabajar piezas de gran tamaño, se denominan así por tener el eje principal en posición vertical; en esta máquina las piezas a mecanizar son fijadas en sentido horizontal con lo cual es más sencillo el montaje y centraje de las mismas, así como su amarre.

**Tornos automáticos o por control numérico** Estas máquinas funcionan sin la intervención del operario, solamente la requieren cuando es necesario cambiar la pieza y poner la máquina a punto para iniciar el trabajo. Estos tornos son los aconsejables para mecanizar grandes series de piezas, funcionan ininterrumpidamente, gestionando todos los movimientos por medio de un sistema mecánico a través de un conjunto de levas que desarrollan automáticamente un conjunto de operaciones seguidas. Hoy en día, estas operaciones son gestionadas por un autómatas electrónico, pasándose a denominar tornos de control numérico.

### 5-2-3. Fresadora

El fresado se caracteriza por utilizar una herramienta cortante que efectúa un movimiento de rotación, mientras la pieza a maquinar va efectuando lentamente el movimiento de avance. La fresadora es quizás una de las máquinas herramientas más versátiles, pues facilita la realización de infinidad de trabajos de mecanizado mediante el uso de herramientas y accesorios adecuados. Esta característica ha generado una gran variedad de fresadoras adaptadas a aplicaciones concretas. Todos estos tipos pueden reducirse a estos:

**Fresadoras horizontales** Estas máquinas tienen el eje de la fresa paralelo a la superficie de la pieza de trabajo y con ambos extremos de la fresa apoyados. El movimiento primario es la rotación de la fresa mientras que el avance se imparte a la pieza de trabajo. Ambos movimientos, el primario y el de avance son continuos. Los movimientos de fresado pueden ser de forma descendente o ascendente, en el primero el movimiento de avance se da en dirección de la rotación de la fresa; así el corte comienza en la superficie con un espesor de viruta sin deformar bien definido y la calidad superficial es buena. Sin embargo, la fuerza inicial es alta y la máquina debe tener una construcción robusta. En el segundo tipo de movimiento, el convencional o ascendente, el diente actúa desde una profundidad mínima, la superficie se puede rayar y ser más ondulada, pero las fuerzas iniciales son menores.

***Fresadoras verticales*** Estas máquinas tienen el eje de la fresa perpendicular a la superficie de la pieza de trabajo. El husillo porta-fresa está apoyado verticalmente en un cabezal porta-fresa generalmente giratorio. La fresadora vertical se aplica generalmente para trabajos de fresado frontal. Algunas están provistas de aditamentos giratorios o mesas de trabajo giratorias para permitir el fresado de ranuras circulares o el fresado continuo de piezas en trabajo de baja producción. Todos los cortadores son el tipo cilíndricos frontales. Los usos de la máquina incluyen: taladro, rimado, mandrinado y refrentado.

***Fresadoras universales*** Este tipo de máquinas engloba a todas las anteriores y constituye casi el 100% de las fresadoras convencionales utilizadas en la actualidad. En apariencia es similar al tipo de Fresadora simple, pero diferente en que la mesa de trabajos esta provista de un cuarto movimiento que le permite girar horizontalmente y está equipada con un divisor o cabezal divisor localizado en el extremo de la mesa. La característica de giro en las máquinas universales permite el corte de helicoidales como las encontradas en las brocas, fresas, levas y algunos engranes. Las fresadoras universales puede también estar equipadas con un aditamento para fresado vertical y un dispositivo de mesa giratoria, prensa y cabezal mortajador así como otros accesorios todos los cuales añaden utilidad como máquina para hacer herramientas.

### **5-3. Introducción al mecanizado con máquinas herramientas convencionales**

El proceso de realización del mecanizado en máquinas herramientas es uno de los procesos de fabricación técnicamente más exigentes, desde el punto de vista de los trabajos de taller. Hay que tener en cuenta que el mecanizado no se ajusta al momento en que la herramienta está realizando, por ejemplo, el arranque de viruta, sino que antes de todo se hace la toma de decisiones para alcanzar los mejores parámetros de calidad y coste en el proceso productivo. Una vez seleccionados los materiales de las piezas a maquinar, las herramientas y máquinas a utilizar; a continuación se listan los pasos básicos que se pueden seguir para la realización de un proceso de mecanizado.

1. Preparación de la máquina y herramientas.
2. Montaje de la pieza en máquina.
3. Centrado de la pieza.
4. Selección de los parámetros de mecanizado.
5. Mecanizado.
6. Control.

#### **5-3-1. Preparación de la máquina**

Un aspecto muy importante a la hora de llevar a cabo el proceso de mecanizado es el conocimiento de la máquina. Teniendo en cuenta que estamos hablando de máquinas herramientas convencionales, debemos indicar que la máquina debe ser conocida por su operador, debe saber cuáles son las capacidades y limitaciones para obtener las máximas prestaciones de la misma.

A lo largo de la vida de la máquina herramienta, esta puede llegar a sufrir pequeños problemas de desgaste de guías, desalineamientos, falta de lubricación, etc. Es por ello que, a la hora de preparar la máquina, el operario debe poner los medios para minimizar en lo posible el efecto de estos errores. La preparación en sí de la máquina consiste, básicamente, en llevar a cabo el montaje de la pieza de la forma adecuada según la operación a realizar. Después de ello se realiza la alineación en función de las necesidades de las máquinas y fases del proceso y, finalmente, se calculan los parámetros de velocidades de giro y avance.

### 5-3-2. Sistemas de montaje

La sujeción de las piezas a la máquina y la selección de los sistemas a utilizar son unas de las técnicas más determinantes en el proceso de mecanizado, ya que el resultado del proceso de mecanizado depende mucho del sistema de montaje utilizado para la fijación de la pieza. Para poder dar una idea de cuáles son los sistemas de fijación principales podemos dividir las piezas en dos tipos:

***Piezas de revolución*** Para llevar a cabo el montaje y fijación de las piezas de revolución, se usan cuatro formas fundamentales:

***Entre puntos*** Una vez identificados los dos centros, se coloca la pieza entre el punto del plato y el contrapunto y se introduce una pieza llamada “perro de arrastre” en la pieza a mecanizar, que se ocupa de darle el movimiento de giro. Cuando se maquinan piezas largas con este sistema suelen vibrar, esto se corrige introduciendo unos puntos de apoyo intermedios por medio de una luneta.

***Montaje al aire*** Las piezas cilíndricas se trabajan al aire, sujetándose entre garras de un plato universal que se ocupa de centrar la pieza. Normalmente, estos platos son de tres garras, pero también pueden ser de cuatro y tienen la particularidad de abrirse o cerrarse concéntricamente con el eje central. También existen platos de garras independientes, es decir, que cada garra se aproxima o se separa del eje unitariamente; este tipo de platos se usan para piezas irregulares.

***Entre plato y contrapunto o entre plato y luneta*** Cuando la pieza no presenta seguridad de ser mecanizada mediante un montaje al aire sobre un plato, se sujeta con un contrapunto exactamente igual al utilizado en la sujeción entre puntos. En caso de no poder utilizar el punto, se puede usar una luneta para asegurar el giro de la pieza.

***Sobre la mesa*** Este tipo de montajes suele hacerse en las fresadoras, mandrinadoras, punteadoras, rectificadoras planas, etc., montando las piezas cilíndricas sobre dos o más uves. La fijación se lleva a cabo colocando las piezas encima de las uves y fijándolas por medio de bridas y tornillos.

***Piezas de formas paralelepípedas*** La presente descripción engloba a todas las piezas cuya forma no es de revolución. Los montajes de este tipo de piezas son los montajes típicos de un taladro, una fresadora, una mandrinadora, una punteadora, etc. Según la forma y el tamaño de las piezas y en función de cuál sea el tipo de mecanizado que se va a realizar, habrá que variar la forma de sujetar la pieza para evitar deformaciones

durante y después del mecanizado. En general podemos distinguir cuatro formas de sujetar las piezas:

*Sujeción directa sobre la mesa* Normalmente se usan con grandes piezas, para sujetarlas se emplean bridas con tornillos y cuñas de presión

*Sujeción mediante tornillo o mordaza* Es quizás la más empleada en las máquinas que tienen el portaherramientas vertical. Presentan el inconveniente de estar condicionadas a la longitud de apertura de las mismas. Existen mordazas manuales o mecánicas y mordazas hidráulicas.

*Sujeción en mesas magnéticas* Son las mesas utilizadas en las rectificadoras; consisten en un electroimán accionado por corriente. El inconveniente de este método es que el imán tan solo atrae piezas férricas.

*Sujeción mediante escuadras o dados rectangulares* Las escuadras y dados se sujetan a las mesas de las máquinas con tornillos o bridas y las piezas a mecanizar sobre éstos por medio de bridas y tornillos. Este método se utiliza cuando se debe llevar a cabo la sujeción de una pieza apoyada sobre una de las caras que no faciliten el apoyo.

### 5-3-3. Centrado de piezas

La operación del centrado de las piezas es una de las más importantes en el proceso de preparación de la máquina. Hay que tener en cuenta que un buen alineamiento será un porcentaje muy elevado del resultado final del mecanizado. Para llevar a cabo el alineado se utilizan los indicadores de carátula análogos y digitales (Fig. 5-1).



**Figura 5-1** Indicador de carátula análogo y digital Mitutoyo. (Catálogo Travers Tool, Flushing, New York)

El proceso de alineación se realiza de una forma sencilla. Tras haber realizado el amarre de la pieza, se procede a montar en el cabezal de la máquina un indicador o comparador, como se le conoce en otros lugares, ya sea en algún accesorio del que la máquina disponga o simplemente sobre una base magnética. Para comprobar la alineación, se pasa el comparador a lo largo de la pieza, moviendo la máquina a lo largo del eje que va a realizar el mecanizado. En principio, existirán variaciones de la aguja, debido al desalineado de la pieza. Si se va corrigiendo la posición de la pieza, las variaciones del comparador son cada vez menores. Cuando la aguja del comparador permanezca inmóvil se da como buena la alineación. Cuando el mecanizado se efectúa en relación a un plano, se debe repetir el proceso anterior con todos los ejes de la máquina que participen en el proceso de mecanizado.

Cuando se ejecute algún trabajo en serie para un número significativo de piezas, se debe realizar el alineado sobre el elemento de fijación que alojará a las piezas a mecanizar.

#### 5-3-4. Parámetros de mecanizado

Son aquellos que se deben transmitir a la máquina para poder llevar a cabo el trabajo de mecanizado, logrando un compromiso entre la calidad del mismo y el coste final del producto. Esto es así porque, en muchas ocasiones, los parámetros de calidad del mecanizado deben sujetarse a los valores de coste y viceversa. Se pueden definir como parámetros fundamentales de mecanizado los siguientes:

**Velocidad de corte** Es la velocidad a la que se ejecuta el arranque de viruta.

**Avance** Es la cantidad de material que se ha de eliminar en cada pasada de la herramienta.

Debido a la gran cantidad de parámetros que influyen en el cálculo de los parámetros de fabricación, no se procederá a una explicación profunda de los mismos. Sin embargo una forma aproximada de obtener los valores de velocidad de corte es la siguiente:

$$V_c = \frac{\pi \cdot D \cdot n}{1000}$$

$V_c$  = Velocidad de corte

$D$  = Diámetro de la herramienta o de la pieza en el torneado

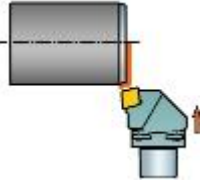
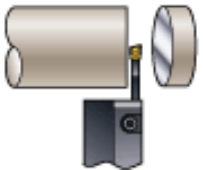
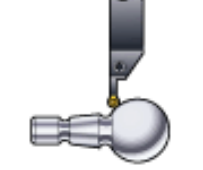
$n$  = Número de revoluciones (valor tabulado en función del material y de la herramienta)



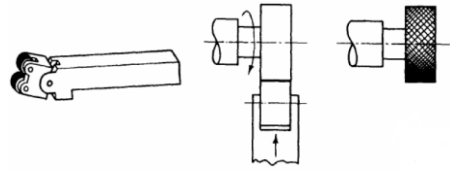
### 5-3-5. Mecanizado

Existen infinidad de procesos de mecanizado, al menos, tantos como distintas características a mecanizar. La realización de cada una de estas operaciones puede ser englobada en cualquiera de los tipos de mecanizado básico que se comentarán a continuación (tabla 5-1). Aunque cada uno de los procesos presente sus particularidades, hay que saber cuál es el término general dado para la realización de trabajos concretos.

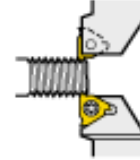
**Tabla 5-1** Operaciones básicas y forma de realización (Catálogo Sandvik, Sandviken, Suecia)

Operación	Figura explicativa
<p><b>Refrentado</b> Operación de mecanizar caras a escuadra con el cilindro. Se ejecuta desplazando el carro transversal, se utiliza para poner a largo una pieza.</p>	
<p><b>Cilindrado</b> Consiste en dar forma según medidas a un volumen de revolución. Se realiza generalmente en dos operaciones: desbaste, que consiste en eliminar casi todo el material de excedente en el menor tiempo posible, dejando un sobre espesor para realizar una segunda operación denominada acabado.</p>	
<p><b>Tronzado</b> Consiste en separar una o más piezas, puede considerarse un refrentado de dos caras a la vez, llegando hasta el eje de la pieza.</p>	
<p><b>Contorneado</b> Consiste en seguir una trayectoria definida a lo largo del eje de revolución.</p>	
<p><b>Ranurado</b> Consiste en efectuar ranuras de forma redonda, puede considerarse un refrentado de dos caras a la vez, sin llegar hasta el eje de la pieza.</p>	

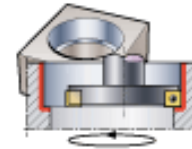
**Moletado** Consiste en deformar la superficie de la pieza cilíndrica para hacer rugosas al tacto.



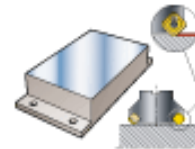
**Roscado** Se lleva a cabo mediante dos técnicas principales: El uso de machos y terrajas: Son elementos de corte roscados que transmiten su forma al agujero o al eje a roscar mediante el arranque de viruta progresivo sobre el mismo.



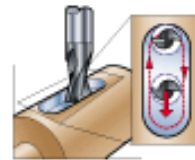
**Mandrinado** Consiste en agrandar un agujero hasta una medida fijada, también se le llama torneado cilíndrico interior



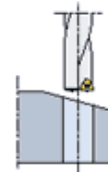
**Planeado** Consiste en poner plana una superficie. Se realiza con fresas cilíndricas de dientes periféricos y también con fresas frontales.



**Cajeado** Consiste en abrir ranuras, que pueden atravesar, en su espesor, la pieza totalmente o hasta una profundidad determinada, teniendo una longitud concreta que no le permite tener salida, por lo que, normalmente, acaban en radio.



**Taladrado** Es la operación de separación de viruta con el objetivo de realizar agujeros. Esta operación se realiza con una herramienta denominada broca.



### 5-3-6. Control

El control referido en ésta sección es muy diferente al de la sección 4-4-1 (Estrategias de control), este control se refiere al control del producto. Este sistema ignora el proceso productivo del producto y se basa en la búsqueda de la optimización de los controles de los productos. Mediante el sistema de control del producto se puede tener una seguridad muy alta de que las piezas que se enviarán al cliente están dentro de las tolerancias por él requeridas, pues cada uno de los productos pasará por métodos de control, que lo someterán a una verificación de todas las magnitudes previstas en el plan.

Los sistemas de control actual se basan normalmente en tecnologías muy avanzadas, como la visión artificial, los rayos infrarrojos, ultrasonidos, etc., los cuales son implementados en línea con el proceso productivo y controlan el 100% de las piezas en flujo, por lo que no influyen prácticamente en el tiempo de fabricación.

Otro tipo de control es el del proceso, el cual se basa en que un producto producido en serie se encuentra inspirado, de forma general, en un proceso específico y que tiene un comportamiento predecible. Si se conoce el proceso de producción y se puede asegurar que se encuentra dentro de unos límites de variabilidad aceptables, podemos decir que sabemos con gran seguridad que el producto que genere será bueno.



## **6. Máquinas CNC**

Hoy en día, el trabajo en un taller o en la industria donde se usen las máquinas herramientas es impensable sin el uso de las máquinas CNC. Se puede decir que el control numérico computarizado es una evolución lógica de los distintos sistemas de control utilizados para el mando de máquinas herramientas. Las máquinas herramientas CN y CNC nacieron como respuesta a nuevas necesidades de la industria que, para satisfacer los nuevos requerimientos de calidad y costes, buscaban máquinas que cumplieran el proceso de fabricación sin ninguna intervención manual. Igualmente se necesitaba una mayor versatilidad y flexibilidad para poder realizar diferentes maquinados en un mismo centro sin perder mucho tiempo.

Con el nacimiento de las máquinas CNC, se originaron nuevas tendencias en el sector del diseño, como la generación del diseño asistido por computadora (CAD), la manufactura asistida por computador (CAM), así como la fusión de las dos nuevas tecnologías (CAD-CAM) e igualmente el control de piezas.

Para poder explicar este tipo de tecnologías se tiene que hacer una distinción del funcionamiento de las máquinas CNC, la constitución de la máquina y el programa CNC que la gestiona. En los siguientes puntos se llevará a cabo una concreta explicación de ambos elementos.

### **6-1. Introducción a máquinas CNC**

Con el paso del tiempo las computadoras son cada vez más pequeñas y económicas, y gracias a esto el uso del CNC se ha extendido a todo tipo de maquinaria: fresas, tornos, soldadoras, taladradoras, centros de maquinado, etc.

#### **6-1-1. Tipos y características**

La arquitectura de las primeras máquinas CNC era igual que las máquinas que contaban con un control convencional. Donde solo se llevaban modificaciones sobre la máquina antigua, cambiando el accionamiento de sus ejes a sistemas automáticos y visualizados. Con el paso del tiempo se fue definiendo un tipo de máquina específica para mandos CNC, las cuales debían cumplir con varias condiciones, donde la precisión y exactitud debían ser las características más importantes.

Algunas de las características que sirven para el reconocimiento de una máquina CNC son las siguientes:

**Montaje** Los movimientos generados por un control CNC pueden generar grandes inercias que se convierten en vibraciones, es por ello que los bastidores de las máquinas deben poseer una gran rigidez. Lo que exige cojinetes y husillos sin juego, motores, husillos y transmisiones equilibradas y guías estables sin rozamiento.

**Precisión de desplazamiento** Las máquinas CNC en lugar de utilizar los husillos tradicionales, usan husillos de bolas de rozamiento reducido y sin juego, cuyo grado de efectividad llega al 98% en su desplazamiento. Gracias a dicho sistema se logra mayor precisión de paso y mayor transmisión de fuerzas de avance.

**Cambiador de herramientas** Debido a los requerimientos de automatización de los procesos realizados por máquinas CNC, se hace necesario disponer de un almacén de herramientas automático. Normalmente, esta necesidad se cubre con un almacén de herramientas propio de la máquina, mediante estructuras revolver, cadena, plato o disco, al que la máquina tiene acceso de forma automática mediante el uso de cambiadores. La identificación de las herramientas se realiza en función del control CNC utilizado, esto es: codificación de la posición de la herramienta, codificación de cada herramienta y codificación de posición variable.

**Cambiador de piezas** Cuando la máquina está destinada a producciones en serie, se hace imprescindible la introducción de dispositivos que alimenten la máquina de piezas, para lograr con esto una mejora de los costes y los tiempos de fabricación. Los sistemas cambiadores de piezas pueden estar integrados en la propia máquina, como los alimentadores de barras o pueden alimentar desde dispositivos exteriores como los robots.

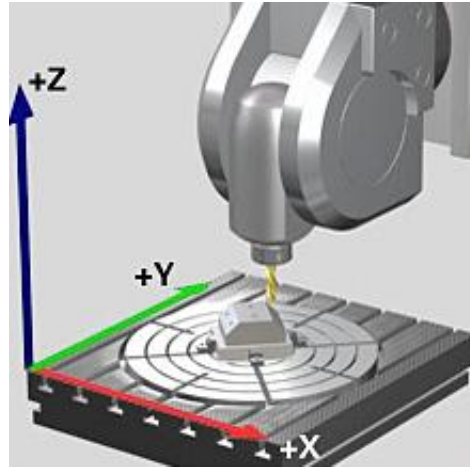
**Sistemas de supervisión** Debido a que el proceso se debe desarrollar sin ningún tipo de intervención exterior, éste debe poseer sistemas de supervisión automáticos que aseguren la supervisión de las herramientas, las tolerancias de amarre, la supresión de errores así como la localización inmediata de errores.

**Denominación de los ejes** El sistema de coordenadas utilizado en las máquinas de control numérico (fig. 6-1), es el sistema cartesiano o rectangular, donde:

El eje Z se encuentra situado en la dirección del husillo principal (el que proporciona la potencia de corte). Si no existiera husillo principal, el eje Z se obtiene según la norma saliente al plano de sujeción de la pieza. Su sentido positivo es aquel en que la herramienta se aleja de la pieza

El *eje X* es perpendicular a *Z* y se elige sobre un plano horizontal paralelo a la superficie de sujeción de la pieza. Su sentido positivo es aquel tal que la herramienta se aleja de la pieza. En las máquinas donde el eje *Z* es horizontal, *X* también lo es.

El *eje Y* siempre es perpendicular al eje *X*.



**Figura 6-1** Sistema de coordenadas. (Heidenhain, Traunreut, Alemania)

Además de los ejes de desplazamiento, se definen otros tipos de ejes auxiliares para el mecanizado. Los *ejes de giro A, B y C* que tienen un valor de giro positivo en sentido contrario a las agujas del reloj, alrededor de los ejes *X, Y y Z* respectivamente.

### 6-1-2. Controles

La función principal del control numérico es controlar. En el caso de las máquinas herramientas, de lo que se trata es de controlar la posición de los motores que llevarán a cabo el posicionamiento de los diferentes ejes. Por lo tanto la función de los controles numéricos no es tan sólo dar una orden de desplazamiento al motor, sino ser capaz de controlar si la orden dada es respetada y si el resultado final de posición es el solicitado.

Se debe tomar en cuenta que en los procesos de mecanizado lo que se debe controlar son los desplazamientos en tiempo real. Lo cual se complica cuando, hay que controlar a la vez 3, 4 o incluso 5 ejes que están modificando su posición simultáneamente.

El control de ejes se basa en una retroalimentación de información por medio de los sensores y transductores que, procesada por el control de movimiento, el control numérico genera unas señales de corrección o error que modifican la posición del eje en tiempo real.

### 6-1-3. Resolución y precisión

La resolución y precisión son dos de los parámetros que definen la capacidad de una máquina de control numérico que realiza un trabajo determinado con unos buenos parámetros de calidad. Estos parámetros se refieren a la capacidad de la máquina para llevar a cabo de forma fiable el desplazamiento y el posicionamiento.

La *resolución* se refiere a la capacidad de la máquina para dar pasos lo más pequeños posible. La capacidad de resolución varía en función del motor que lleve a cabo el movimiento y el paso del husillo que genere el desplazamiento. La resolución de una máquina solo puede ser mejorada mediante una modificación estructural de la misma.

La *precisión* es la capacidad de la máquina para asegurar la consecución de un valor determinado dentro de la tolerancia exigida. El valor de precisión va ligado al de resolución, pero contempla más parámetros que éste. En muchos casos, la precisión de la máquina no es un valor que se obtenga de forma sencilla, pues en ella inciden muchas variables independientes para los distintos procesos.



## 6-2. Controles numéricos y conocimientos básicos

Las máquinas de control numérico están pensadas para el trabajo en taller, y es por ello que disponen de interfaces, tanto en hardware como en software para facilitar la comunicación con el operador. En cuanto al lenguaje de comunicación entre el operario y la máquina existen diferentes tipos de códigos adaptados a las particularidades de los distintos controles numéricos.

La estructura básica de programación se basa en la disposición secuencial de determinados códigos, de los cuáles los más usados son los ISO. En este tipo de códigos se basan la mayoría de los controles numéricos, con la particularidad de que cada uno de ellos tiene instalados subprogramas específicos que facilitan el desarrollo de funciones complejas o repetitivas.

### 6-2-1. Fases de realización

Para optimizar la fase de programación se deben de seguir los siguientes pasos:

***Estudio de la gama de trabajo*** Se estudia la operación a realizar analizando de forma profunda los aspectos técnicos de la misma para decidir:

- Secuencias de operaciones a realizar.
- Velocidades de corte y avances.
- Herramientas a utilizar
- Posibles trayectorias
- Medios auxiliares necesarios.

***Desarrollo del programa de la pieza*** Tras determinar cuáles son los medios técnicos que se utilizan, se deben establecer las líneas de código que comunicarán al control numérico toda la información necesaria para el desarrollo de la aplicación. Dicho programa debe reproducir lo más fielmente posible las condiciones definidas en el estudio anterior.

***Depuración y simulación*** Se realiza una simulación de la operación a nivel de software para asegurar que el programa cumple con los requerimientos. De esta forma se comprueba el recorrido virtual de la herramienta, la efectividad de la operación y la ausencia de errores y colisiones.

## 6-2-2. Desarrollo del programa

Un programa no es más que una sucesión de códigos cuyo principal objetivo es pasar una serie de información al control. El primer tipo de información es de índole geométrica, donde se transfieren cotas, medidas de piezas, medidas de herramientas y parámetros de superficies. Igualmente es necesario pasar información de índole tecnológica, que es lo relativo a cómo tiene que hacer su trabajo el control numérico, las fases operacionales, los parámetros de control, las velocidades de corte y avance, etc.

La forma de estructurar esta información es por bloques que contienen secuencialmente una serie de funciones en el código de programación, a fin de facilitar la comprensión por medio del control numérico, se debe seguir una serie de pautas que el lenguaje de programación requiera, en este caso a la programación en código ISO. El cual se compone de lo siguiente:

- **Funciones preparatorias de movimientos (G)** Determinan los valores geométricos y cuáles las condiciones de trabajo para conseguirlos.
- **Funciones de control de avances y velocidad (F:Feed y S:Spin)** Establecen las velocidades de avance de los ejes y el giro del cabezal.
- **Funciones de control de herramientas (T)** Guardan información sobre las herramientas.
- **Funciones auxiliares (M)** Contienen información tecnológica que generan acciones en la máquina de asistencia al mecanizado.

Los programas de control numérico deben estar encabezados por un símbolo de control y un número que haga referencia al número de programa, para que se pueda identificar de forma sencilla. Por ejemplo: %00023 (Programa número 23).

Un programa está constituido por un grupo consecutivo de bloques que indican secuencias concretas de operaciones, los cuales deben incluir los siguientes parámetros:

- N: Número de bloque.
- G: Funciones preparatorias.
- M: funciones auxiliares
- X, Y, Z: Cotas de eje.
- F: Velocidades de avance
- S: Velocidades de giro del cabezal
- T: Número de la herramienta.

Los bloques del programa deben desarrollarse de forma que sean lo más estandarizados y comprensibles posible. A continuación se presentan los principios básicos para el desarrollo de bloques de programa.

**Bloques del programa** Consisten en un conjunto de palabras que, a su vez, están compuestas por una letra de dirección y una secuencia de números.

**Palabras de programa** Se emplean como instrucciones o como condiciones suplementarias, dependiendo de la letra de dirección con la que comience.

**Letra de dirección de instrucción** La más importante es la G. Las instrucciones G (G00 a G99) controlan los desplazamientos de herramienta. Las letras de dirección para funciones suplementarias son: X, Y, Z, F y S.

En el lenguaje de programación de un sistema de control CNC, el fabricante especifica que instrucciones pueden programarse, que funciones suplementarias son posibles en conexión con instrucciones individuales y que letras de dirección y secuencias de números forman las instrucciones. A continuación, se enlistan (tabla 6-1) según la norma DIN los caracteres utilizados para identificar las distintas funciones.

**Tabla 6-1** Caracteres utilizados según la norma DIN

<b>A</b>	Rotación sobre el eje X.
<b>B</b>	Rotación sobre el eje Y.
<b>C</b>	Rotación sobre el eje Z.
<b>D</b>	Memoria de offset de corrección de herramienta.
<b>E</b>	Segunda velocidad de avance.
<b>F</b>	Velocidad de avance.
<b>G</b>	Función de desplazamiento.
<b>H</b>	Sin asignar.
<b>I</b>	Parámetro de interpolación paralelo al eje X.
<b>J</b>	Parámetro de interpolación paralelo al eje Y.
<b>K</b>	Parámetro de interpolación paralelo al eje Z.
<b>L</b>	Sin asignar.
<b>M</b>	Función complementaria.
<b>N</b>	Número de bloque.
<b>O</b>	Sin asignar.
<b>P</b>	Tercer movimiento paralelo al eje X.

<b>Q</b>	Tercer movimiento paralelo al eje Y.
<b>R</b>	Desplazamiento rápido en dirección al eje Z o tercer movimiento paralelo al eje Z.
<b>S</b>	Velocidad de giro.
<b>T</b>	Herramienta.
<b>U</b>	Segundo movimiento paralelo al eje X.
<b>V</b>	Segundo movimiento paralelo al eje Y.
<b>W</b>	Segundo movimiento paralelo al eje Z.
<b>X</b>	Movimiento en dirección del eje X.
<b>Y</b>	Movimiento en dirección del eje Y.
<b>Z</b>	Movimiento en dirección del eje Z.

Existen instrucciones básicas (tabla 6-2) que son más importantes que el resto y son unas de las funciones que son comúnmente usadas por la totalidad de los CNC.

**Tabla 6-2** Instrucciones básicas en código ISO

<b>G00</b>	Desplazamiento rápido.
<b>G01</b>	Desplazamiento lineal con avance o interpolación lineal.
<b>G02</b>	Desplazamiento circular, sentido horario o interpolación lineal en sentido horario.
<b>G03</b>	Desplazamiento circular, sentido antihorario o interpolación lineal en sentido antihorario.

Los datos de coordenadas necesarios como funciones suplementarias además de las instrucciones antes listadas, pueden ser introducidos de varias formas dependiendo el control:

- En dimensiones absolutas
- En dimensiones incrementales
- Mediante sentencias de ángulo suplementario
- En coordenadas polares

Para simplificar la programación de sistemas de control CNC, las palabras de control actúan modalmente, esto quiere decir que la función permanece activa hasta que se reemplaza por una nueva instrucción o función suplementaria.

Para la realización de un programa y evitar futuros problemas, es preciso conocer las funciones definidas por los distintos fabricantes. Hoy en día, a pesar de que con los parámetros mostrados anteriormente se pueden llevar a cabo todos los programas para realizar el mecanizado de piezas, se utilizan otro tipo de herramientas. Mediante programas de CAD/CAM se pueden obtener directamente los programas de mecanizado en CN partiendo del diseño de la pieza. Se basa en una transferencia de datos partiendo desde un diseño parametrizado de la pieza a fabricar, ya sea en 2D o en 3D.

### **6-2-3. Sistemas de introducción de datos**

En las primeras aplicaciones que empleaban máquinas de control numérico se planteaba un grave problema al realizar la transferencia de información y las cargas del programa. En ocasiones se perdía más tiempo en la introducción del programa que en la realización del mismo. Algunos de los antiguos dispositivos usados eran tarjetas perforadas, teclado, cintas magnéticas, disquetes y tarjetas de memoria.

Actualmente la transmisión de datos se lleva a cabo mediante redes, ya sea de área local o por Internet. Este tipo de transferencia constituye un paso más en el proceso de integración de los sistemas de diseño, fabricación y medida. Igualmente facilita la posibilidad de obtener datos en tiempo real de la realización del proyecto.



## 7. Moldeo por soplado

El moldeo de plásticos por soplado es un proceso que se usa para producir piezas de componentes huecas. Está destinado para el uso de resinas termoplásticas como el polietileno, policloruro de vinilo (PVC), polietileno, tereftalato de polietileno (PET), y plásticos de ingeniería como el policarbonato. Las mayores tres variantes del moldeo por soplado para producir componentes de plástico soplado son: moldeo de soplado por extrusión, inyección y estirado.

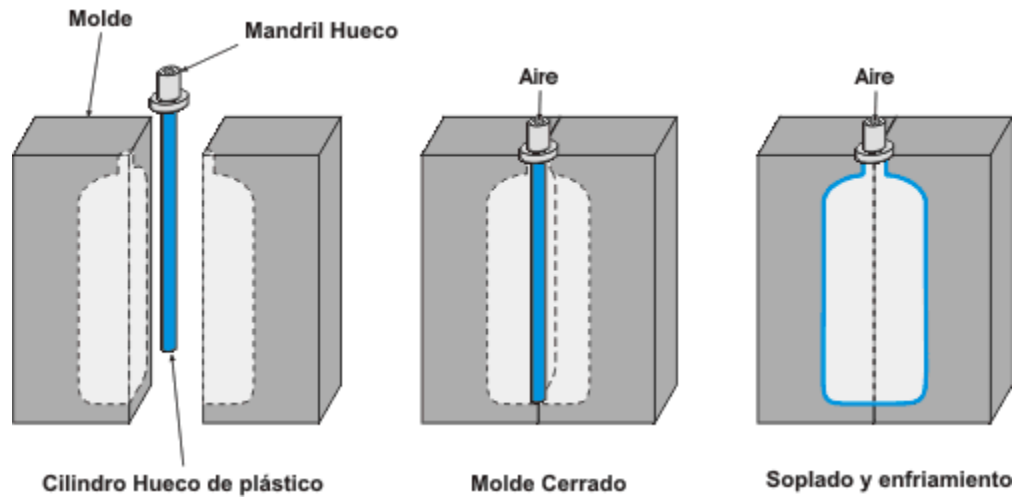
### 7-1. Proceso básico

La planta de producción para moldeo por soplado debe consistir de tres etapas:

- *Fundición y plastificación* Se debe usar una máquina de extrusión o inyección para producir la fundición.
- *Formación de párison o preforma* Se realiza a través de la matriz y dado o molde de inyección.
- *Soplado y moldeo* Compresores auxiliares proveen de aire y una prensa hidráulica cierra el molde.

En estos procesos el primer paso incluye la producción del tubo, conocido como parison o preforma, término usado en la industria del vidrio. El párison se puede producir por medio de extrusión o inyección. Se le llama preforma, si se trata de inyección-soplado, o párison, si hablamos de extrusión-soplado.

Se calienta el párison o la preforma y seguido se coloca dentro del molde de soplado, éste se cierra abrazándolo y luego se expande el tubo caliente contra las paredes del molde de fundición mediante presión interna (por lo general con aire caliente), enseguida se enfría la pieza para que por último sea expulsada. En muchos casos el producto requiere de operaciones de acabado, por ejemplo, para remover sobrantes, impresión y etiquetado, llenado de producto, etc. Para el proceso básico se puede ver la figura 7-1.



**Figura 7-1** Proceso básico de moldeo por soplado

## 7-2. Historia

Vidrio, plástico y aluminio son las tres clases de material que existen actualmente y se usan para formar piezas sopladas. La técnica moderna de moldeo de plástico por soplado se generó a partir del arte de soplado de vidrio. Este método se atribuye a trabajadores sirios en el primer siglo a.C., quienes se dieron cuenta que al tener una masa de vidrio fundido al final de una caña de soplador se podían generar infinidad de formas huecas. Durante la edad media, principalmente en Inglaterra y otros lugares de Europa, el proceso se rediseñó y sofisticó, transformándose en una importante industria de comercio.

## 7-3. Tipos de moldeo por soplado

Como ya se mencionó antes, existen diferentes maneras de realizar el moldeo por soplado, a continuación se explicara brevemente su proceso.

***Moldeo por extrusión y soplado*** Un tubo continuo se extruye y estrangula de manera que se produce una soldadura en estado sólido en la línea de estrangulación, y la preforma producida de esta manera se sopla posteriormente, con frecuencia a una razón de soplado de 1.5 a 3, y rara vez a 7. Este método tiene la productividad más alta. Incluso se pueden moldear partes muy grandes como barriles o tinacos. Las presiones son relativamente bajas (0.5-0.8 MPa); por lo que se pueden fabricar matrices de paredes más delgadas y de materiales más económicos como aluminio o acero.



***Moldeo por inyección y soplado*** Éste es el mismo proceso que se usa para las botellas de vidrio, excepto que el párison se moldea por inyección completo con el cuello, alrededor de un núcleo hueco, y luego se sopla a través de éste. Se pueden permitir que las preformas se enfríen y se recalienten para el soplado. Muchas botellas de PVC, PP, PET y policarbonato de tamaños menores son soplados en máquinas de posicionamiento.

***Moldeo por estirado y soplado*** Este término se aplica a la expansión axial y radial simultánea de un párison, lo cual produce un envase orientado axialmente. El párison se alarga en forma mecánica a través de la varilla del núcleo, mientras se expande mediante el aire. El proceso está sujeto a las reglas de la extrusión de la película soplada. El párison extruido o moldeado por inyección primero se acondiciona, ya sea controlando su temperatura inmediatamente después de la extrusión, o recalentando el párison frío. De esta manera, las botellas de PET se refuerzan biaxialmente.



## 8. Características principales del molde

El molde determina la forma final del producto con todos sus detalles. Ayuda al producto a obtener sus propiedades físicas esenciales y la apariencia deseada.

El molde de soplado (fig. 8-1) puede estar formado por varias partes, contando sus insertos, pero usualmente consta de dos partes. Cuando se encuentra cerrado, estas mitades forman una o más cavidades que encerrarían una o más preformas para ser sopladas. Para botellas y contenedores las dos partes del molde suelen ser idénticas. Existen partes industriales que suelen ser muy complejas, donde se tiene que recurrir a correderas e insertos, pero en general en estos moldes no existen las partes macho y hembra como en los demás, a excepción de cuando se trabaja con moldes para generar dobles capas.

Por lo general en los extremos de las dos mitades del molde para botellas, se coloca una zona para pellizcar la preforma. A las dos mitades se les tiene que construir canales para que circule el líquido refrigerante. Una serie de ejes guía o placas laterales se les suele colocar a ambas mitades para que se asegure una perfecta alineación y cierre de la cavidad. Al lograr un buen dispositivo de alineación los tiempos de fabricación se reducen en gran medida.

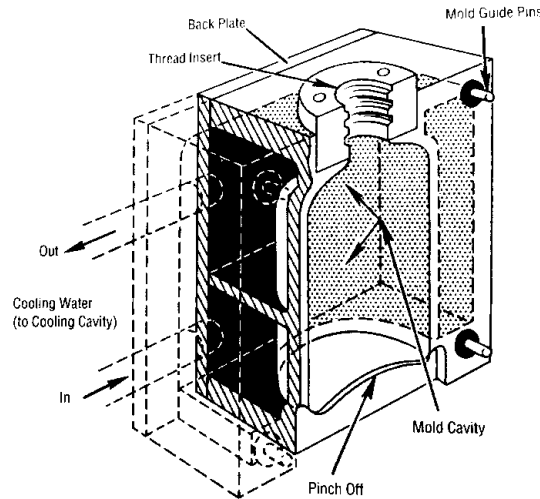
### 8-1. Materiales para el molde

Debido a la presión relativamente baja de prensado y soplado, los moldes de soplado no necesitan ser de materiales de alta resistencia a la tracción, con la posible excepción de moldes para una gran producción en serie, digamos, cientos de miles o millones, los cuales regularmente son fabricados en acero. Los materiales que se usan en la construcción de moldes de soplado son el cobre-berilio, aleaciones de aluminio fundido, aleaciones de zinc como el Kirksite, y placas de aluminio de grado aeroespacial.

**Aluminio fundido y berilio** Los moldes de aluminio fundido y cobre-berilio suelen ser un poco porosos, y ocasionalmente los diseñadores de moldes han experimentado un poco de permeabilidad con resinas viscosas. Esto puede afectar el acabado final de la pieza soplada.

**Placas de aluminio** Las placas o bloques de aluminio de grado aeroespacial son usadas comúnmente en nuestros tiempos debido a que son duras como el acero al carbono, y las cavidades se pueden maquinar muy fácilmente usando la manufactura asistida por computador.

**Acero** Los moldes de acero son pesados, más caros, y más difíciles de maquinar en comparación con aquellos hechos de materiales no ferrosos. Debido al mayor peso, se requiere de mayor tiempo para realizar las configuraciones. Además, la conducción de calor en el acero es inferior a los otros tres materiales no ferrosos. Esto causa un enfriamiento más lento y por lo tanto aumento de tiempo en el ciclo de refrigeración y un rango de producción más bajo.



**Figura 8-1** Esquema de una mitad de molde de soplado, con los canales de refrigeración indicados

## 8-2. Sistema de refrigeración

Una rápida conducción de calor es de suma importancia en la selección del material para el molde, ya que como se explicó anteriormente, la fase de refrigeración controla gran parte del tiempo del ciclo de soplado (la fase de refrigeración toma alrededor de dos terceras partes del ciclo). Una buena propiedad de conducción de calor significa que la refrigeración es más rápida, y un enfriamiento más rápido significa más productos soplados por hora, finalizando con un ahorro en los gastos de producción.

Los refrigerantes pueden ser circulados a través del molde de varias formas. Una de las más simples es realizar un vaciado de la parte trasera del molde, dejando un área abierta, para después tajarla con una placa y haciendo circular el refrigerante en grandes cantidades por la nueva cavidad obtenida. Otro método es realizar orificios a través del bloque del molde de arriba abajo y de lado a lado para que se entrecrucen. Después se unen las conexiones para realizar un circuito cerrado por donde circulará el refrigerante. Este tipo de configuración puede proveer refrigeración extra donde más se necesite, como en el final del cuello o en las áreas de corte, donde las paredes son más gruesas.

## **9. Diseño asistido por computadora e ingeniería para la creación de moldes**

La industria de creación de moldes actualmente opera en un mercado altamente competitivo, las empresas que sobreviven a este ambiente son las que ofrecen un servicio excepcional a un precio razonable. Se ha mostrado que las nuevas tecnologías han sustituido a lo que antes se conocía como el arte del diseño. Esto no quiere decir que el proceso que se realiza actualmente no sea artístico, sino que simplemente en estos nuevos tiempos se basa más en las capacidades de una máquina que en las capacidades de la mente humana. La alta velocidad de las computadoras permite cálculos más complejos, abriendo con esto nuevas oportunidades para los diseñadores/ingenieros. Los que tomen ventaja de estas nuevas tecnologías crearán nuevos y mejores diseños. El arte y la experiencia no son reemplazados, sino tomados en cuenta y mejorados.

### **9-1. Ventajas**

El propósito aquí es mostrar al fabricante de moldes como usar esta información para ganar una ventaja competitiva. Algunas de las ventajas al usar el diseño asistido por computadora son:

- Completa documentación de figuras complejas.
- Análisis volumétrico sin la creación de prototipos sólidos.
- Flujo del material y rigidez
- Imágenes virtuales del producto final para marketing y presentación.

Las bases de datos pueden ayudar para la programación de herramientas, velocidades y parámetros de construcción de las máquinas de control numérico por computadora (CNC).

### **9-2. Métodos y sistemas**

#### **9-2-1. Computadora personal**

La computadora personal ha traído al CAD y CAE al escritorio. Hace unas décadas, la inversión en tecnología computacional significaba un gran gasto en la compra de costosos mainframes y minicomputadores, así como la contratación de personal calificado para su mantenimiento. Gracias a las mejoras en las interfaces, haciéndolas más amigables, el poder de procesamiento, velocidad y sobre todo el costo, las computadoras personales han traído un gran aliento económico, incluso en las pequeñas empresas.

### **9-2-2. Minicomputadora**

Las minicomputadoras o actualmente más conocidos como servidores, es una clase de computadoras multiusuario, que se encuentran en el rango intermedio del espectro computacional; es decir entre los grandes sistemas multiusuario (mainframes), y los más pequeños sistemas monousuarios (microcomputadoras, computadoras personales, o PC). Estas se usan para realizar tareas primarias de diseño, dibujo y evaluación (Análisis de Elementos Finitos y simulación de flujo). Una importante ventaja de las estaciones individuales es que se pueden conectar en red, para que la impresión, ploteo, escaneo, librerías y almacenamiento se pueda usar por un mayor número de empleados de la organización.

### **9-2-3. Estaciones en red**

Grandes compañías con varios proyectos desarrollándose al mismo tiempo instalan varios centros de trabajo y cuentan con una central que soporta a todos ellos. Esta computadora central cuenta con poderosos programas que hacen el trabajo sea más rápido. Estas centrales son caras al igual que su mantenimiento y en ocasiones son sobreexplotadas. Cuando las computadoras centrales se sobreexplotan, el costo para agregar capacidad extra es muy alto, lo cual causa que pasen a ser sistemas obsoletos. Por esta razón muchas de las organizaciones están optando por un sistema en red, ajustándose a sus necesidades en CAD/CAM y si es necesaria alguna otra estación, simplemente se agrega a la red sin afectar la productividad de otros.

## 10. Introducción al mecanizado en NX

Esta sección de la tesina pretende ser un manual de la aplicación de fabricación de NX, el lector podrá adquirir los conocimientos fundamentales de la aplicación para fresado en cuatro ejes. Las próximas secciones suponen un grado básico de conocimientos sobre el programa Unigraphics NX 7 por parte del lector, es por esta razón que no se profundizarán algunos temas. Se generará un programa de mecanizado completo, desde la geometría, la cual será la mitad de un molde de soplado previamente modelado, hasta la generación del programa en código máquina y la documentación de taller. Igualmente se explicará el proceso para generar una máquina herramienta virtual para simular y verificar las trayectorias. Se finalizará con otro ejemplo práctico para demostrar las capacidades del software, cuya geometría será un alabe de turbina, siendo esta figura una de las más representativas en el maquinado de cuatro ejes.

## 11. Secuencia de trabajo

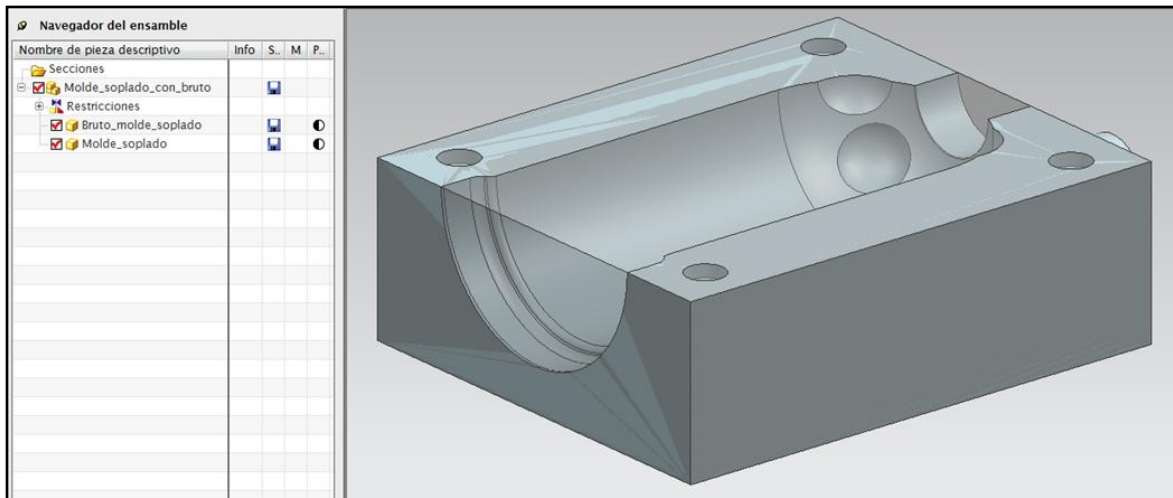
La secuencia de trabajo iniciará con una breve explicación de la aplicación de fabricación, seguido de ajuste de datos, la definición de las herramientas y operaciones de mecanizado; y para finalizar la simulación en una máquina virtual creada por el usuario y la creación de la documentación de taller.

### 11-1. Arranque de la aplicación

La aplicación de fabricación de NX se basa en una serie de plantillas de datos. Al iniciar la aplicación de fabricación por primera vez en una pieza se debe seleccionar una plantilla, la cual puede cambiarse por otra a lo largo de la programación. Asimismo, hay una estructura de datos que presenta una serie de niveles de jerarquía que pueden ser alterados para cumplir los objetivos del usuario.

La primera etapa a desarrollar se ejecuta de la computadora hacia dentro, se trata de información que no va a salir de ella; donde se definen las operaciones para un correcto mecanizado de la pieza final.

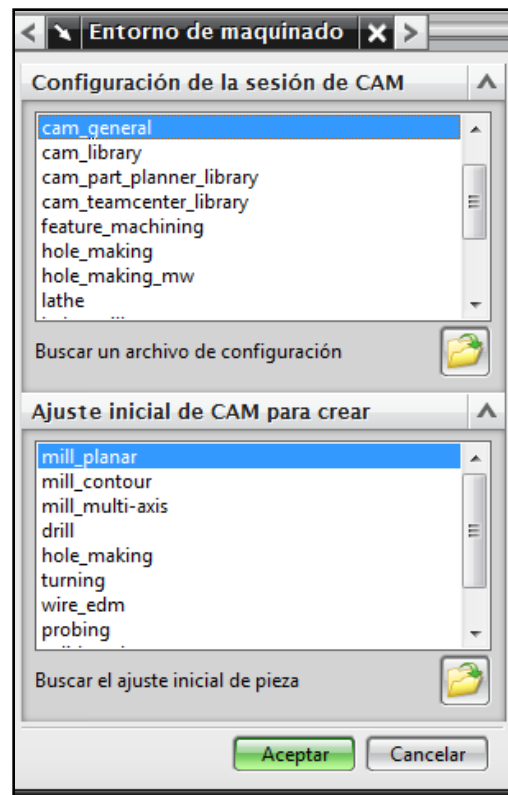
Se inicia abriendo la pieza *Molde\_soplado\_con\_bruto.prt*, el archivo consta de un ensamble de dos elementos: la pieza final *Molde\_soplado.prt*, que es la mitad de un molde de soplado simplificado, y el tocho a maquinar *Bruto\_molde\_soplado.prt*. En la siguiente imagen (fig. 11-1) se puede apreciar la pieza translúcida que representa el tocho y la figura de color sólido que representa a la pieza ideal mecanizada.



**Figura 11-1** Configuración de sistema

Este archivo sólo se ha utilizado en la aplicación de diseño, por lo tanto no se ha definido nada en la aplicación de fabricación, gracias a esto se podrá ver el proceso desde el inicio.

Se selecciona la orden Iniciar → Fabricación para entrar al módulo de mecanizado de NX. Al ser esta la primera vez que se entra al módulo, aparecerá la ventana con el título “Entorno de maquinado” (fig. 11-2) la cual solicita la configuración de la sesión y el ajuste inicial de CAM. La configuración de la sesión se refiere a la plantilla que se utilizará. Las plantillas hacen referencia a una serie de ficheros que contienen la definición de las operaciones de mecanizado. Dichas plantillas se encuentran en la carpeta *MACH\resource\configuration* del directorio de instalación de NX. Son una serie de ficheros ASCII con la extensión *dat*. Las plantillas direccionan un conjunto de otras plantillas más específicas donde las más importantes corresponden a:



**Figura 11-2** Entorno de maquinado



- `TEMPLATE_OPERATION`: Direcciona a la plantilla que contendrá el listado de operaciones de mecanizado disponibles
- `TEMPLATE_DOCUMENTATION`: Direcciona a la plantilla que contiene los procesadores disponibles para generar la documentación de taller.
- `TEMPLATE_POST`: Direcciona a la plantilla que contiene los listados de postprocesadores disponibles para generar el código de máquina herramienta.
- `USER_DEFINED_EVENTS`: Direcciona al fichero que contiene la definición de los eventos definidos por el usuario.

Entre la información interesante que se puede encontrar, se encuentra la lista de materiales de mecanizado `LIBRARY_PART_MATERIAL`, la lista de materiales de herramienta `LIBRARY_TOOL_MATERIAL`, la tabla de velocidades de avance de mecanizado `LIBRARY_FEEDS_SPEEDS` y la tabla de datos de mecanizado `LIBRARY_MACHINING_DATA`. La única diferencia entre una plantilla y otra es el contenido de la variable `TEMPLATE_OPERATION` y el contenido de la variable `WIZARD`.

Las plantillas de operaciones, que es a lo que apunta la variable `TEMPLATE_OPERATION` son ficheros de texto con extensión *opt*. Dichos ficheros son un listado de operaciones disponibles.

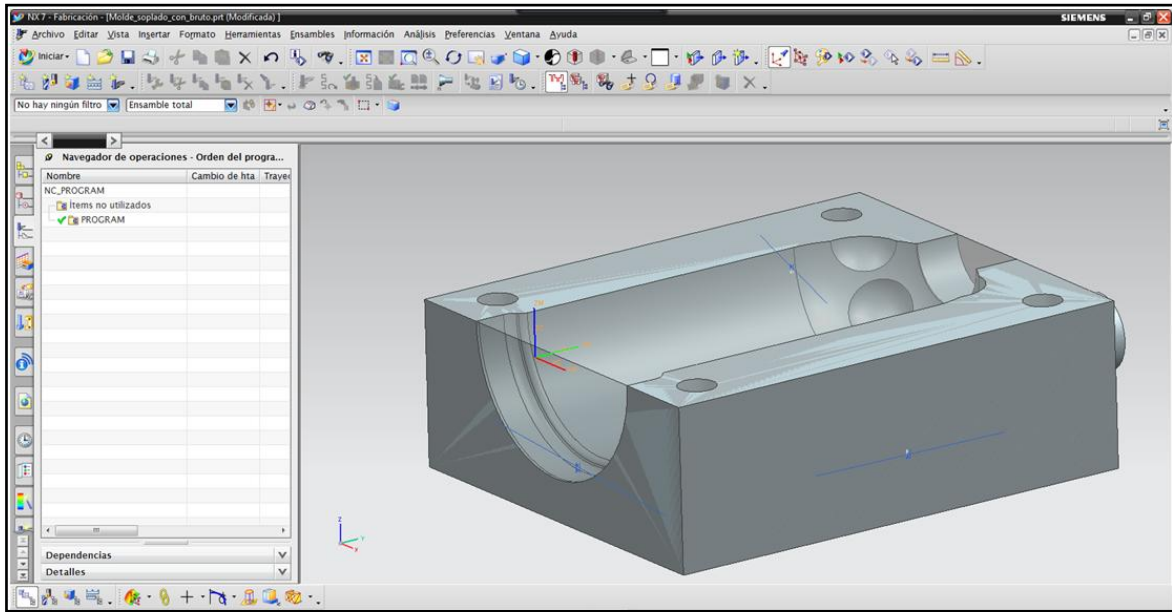
Por ejemplo en la plantilla *cam\_general* se disponen de las operaciones correspondientes a dos, tres y cinco ejes, taladrado y vaciado, torneado y corte por hilo; lo único que le hace falta a esta plantilla son las secuencias de moldes, mecanizado de alta velocidad, secuencias de matricería, y plantillas de reconocimiento de figuras.

Ésta es la plantilla más adecuada para la mayoría de situaciones. Las demás son más específicas y recortan operaciones. Siempre se puede seleccionar una plantilla más específica o crear la propia.

La segunda elección de la ventana, ajuste inicial de CAM, hace referencia al menú de operaciones que aparecerá la primera vez que se defina una operación.

En este caso se efectuará la selección, *cam\_general* y *mill\_multi-axis*. Una vez seleccionados se pulsa el botón Aceptar.

Aparecerá la interfaz de la aplicación de fabricación, que tendrá un aspecto similar al mostrado en la figura de la página siguiente (fig. 11-3).



**Figura 11-3** Interfaz de la aplicación de fabricación en NX

Como en las demás aplicaciones, la de fabricación cuenta con una serie de barras de herramientas y de operaciones que son específicas de la aplicación y que sólo aparecen cuando se está dentro de ella.

## 11-2. Interfaz de fabricación

Uno de los cambios más importantes que se realiza al entrar en la aplicación de fabricación es la nueva pestaña que aparece en el navegador de recursos, la cual se encuentra desplegada en la figura 11-3. Esta nueva pestaña es el navegador de operación, el cual sirve para ver las operaciones de mecanizado que se hayan definido. Las operaciones de mecanizado cuentan con cuatro vistas que sirven para clasificar las operaciones por grupos de pertenencia, las cuales son: vista por orden de programa, máquina herramienta, geometría y de método de mecanizado.

NX automáticamente ha creado un programa con el nombre PROGRAM que está vacío. También ha creado una estructura de datos de geometría que se tiene que rellenar y una serie de métodos de mecanizado con los nombres MILL\_ROUGH (desbaste), MILL\_SEMIFINISH (semiacabado), MILL\_FINISH (acabado) Y DRILL\_METHOD (taladrado).

Existen tres formas para acceder a las diferentes vistas. La primera es mediante el menú emergente del navegador. Se sitúa el cursor sobre la barra de título de las columnas y pulsar el botón derecho del ratón para acceder al menú emergente, en el que las cuatro

primeras opciones corresponden a las cuatro vistas. La segunda opción es accediendo a través del menú principal. Se selecciona la opción Herramientas → Navegador de operaciones → Vista. La tercera opción es a través de la barra de herramientas navegador de operación. Es una barra de íconos específica de la aplicación de fabricación, se trata de una barra de herramientas con cuatro íconos que corresponden a las diferentes vistas. Esta barra se encuentra en la parte inferior izquierda de la figura 11-3. Los íconos son modales, es decir, una de las cuatro vistas ha de estar activa, por lo que el ícono correspondiente a la vista activa aparece resaltado.

### 11-3. Definición de la geometría

Aunque el diseño contenga geometría, es necesario informar a la aplicación en que consiste cada cuerpo, en primer lugar lo que se tiene que hacer es ajustar el navegador de operaciones a vista por geometría. Seguidamente, se da doble clic en el elemento MCS, que es el indicativo correspondiente al sistema de coordenadas de fabricación. Al efectuar dicha acción aparecerá una nueva ventana como la mostrada en la figura 11-4.

El área de especificar SCM se refiere a la definición del cero pieza. Por defecto, ya existe uno definido que coincide con el sistema de coordenadas de diseño. El mecanismo de definición del sistema de coordenadas es exactamente el mismo que en la aplicación de diseño.

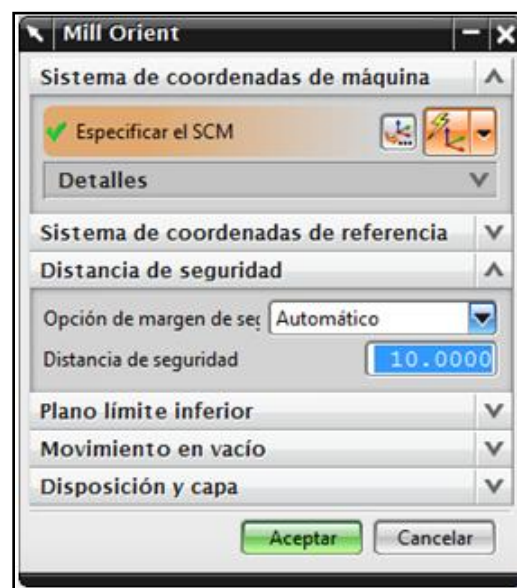
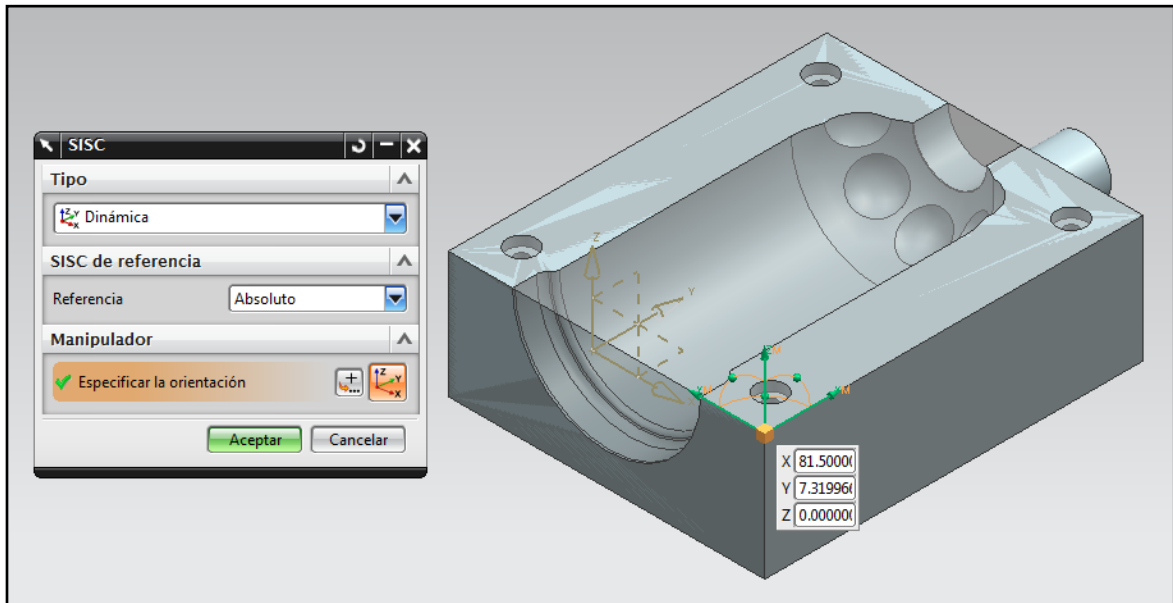


Figura 11-4 Ventana desplegada MCS


La figura 11-5 muestra el resultado conseguido al utilizar un ajuste dinámico, donde el cero pieza se ha situado en el extremo superior izquierdo como se muestra en la figura.

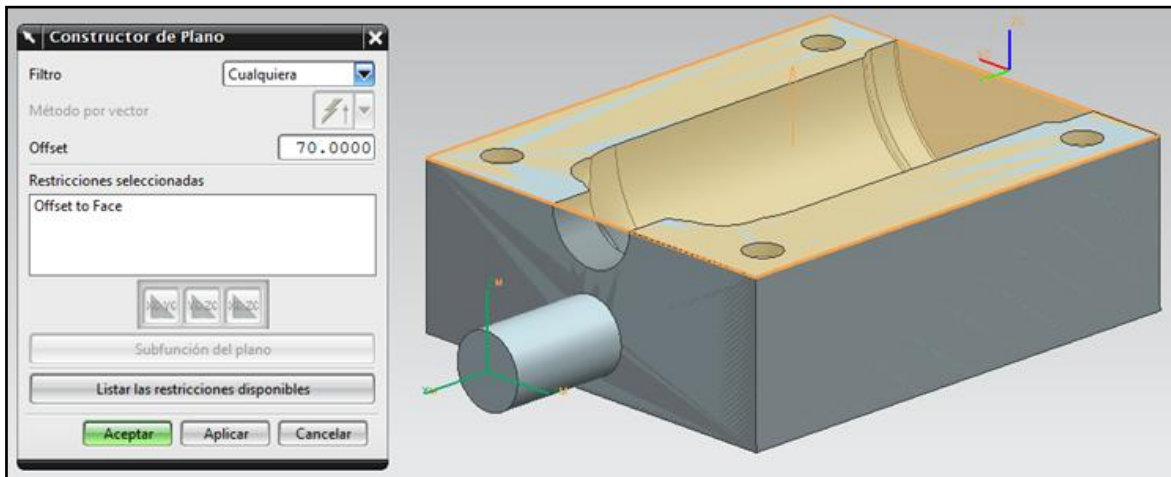


**Figura 11-5** Definición del cero pieza

Seguidamente se pulsa Aceptar, nótese que el sistema de coordenadas de fabricación aparece reflejado en la pantalla con las siglas XM, YM, ZM para que se diferencie del sistema de coordenadas de trabajo.

El siguiente paso es la definición del nivel de seguridad, el cual es un plano en donde el programa efectuará operaciones secundarias con la herramienta, como entradas y salidas, reposicionamientos, etc. es conveniente definirlo y debe ser un plano ubicado a cierta altura que garantice que en dicho punto no habrá colisión entre la herramienta y el resto de elementos. Por defecto se calcula de forma automática, pero es recomendable que se defina manualmente para que se tenga conocimiento de su ubicación.

Para ello, en la ventana desplegada MCS opción de margen de seguridad se selecciona la opción plano. Al hacerlo, aparecerá un nuevo ícono con la leyenda especificar el plano, . Se da clic a dicho ícono para acceder al cuadro de diálogo de definición del nivel de seguridad. Tal como se muestra en la figura 11-6, se introduce en la casilla offset un valor que será la distancia entre el nivel de seguridad y la geometría que se indique. En este caso se introduce un valor de 70 milímetros. Seguido se marca la geometría que define el nivel de seguridad. Se aconseja marcar el elemento más alto de toda la geometría, en este caso se marca la cara superior del tocho (resaltada en naranja en la figura 11-6).



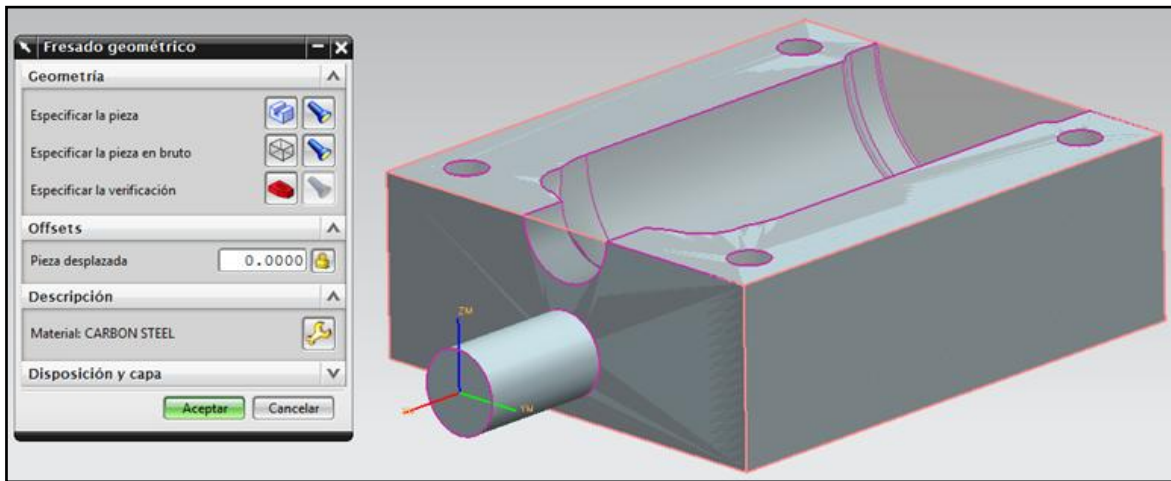
**Figura 11-6** Definición del plano de seguridad

Finalmente se pulsa Aceptar. Con lo que se vuelve a la ventana inicial, se pulsa nuevamente Aceptar para finalizar con la definición. En el espacio de trabajo habrá aparecido un pequeño triángulo naranja que indica la posición del nivel de seguridad.

El siguiente paso es la definición de los elementos geométricos, pieza, tocho y amarres. Opcionalmente se tiene la posibilidad de definir el material de la pieza. Desde el punto de vista geométrico no tendrá incidencias en el cálculo de trayectorias, pero sí en las velocidades de mecanizado cuando se recuperen desde tabla.

En el navegador de operaciones hacer doble clic sobre el elemento WORKPIECE, el cual se encuentra al desplegar MCS, para editarlo. Al igual que en el caso anterior, aparecerá una ventana con una serie de opciones de configuración. En el área de geometría se encuentran tres elementos a definir con las leyendas *especificar la pieza*, *especificar la pieza en bruto* y *especificar la verificación*. En primer lugar se selecciona el ícono de *especificar la pieza* y se selecciona el componente localizado en el interior del bloque rectangular, una vez seleccionado se pulsa Aceptar. En segundo lugar se pulsa el ícono correspondiente a *especificar la pieza en bruto* y se selecciona el tocho, el bloque rectangular translúcido. En esta ocasión no se seleccionará *especificar la verificación* ya que no existe ningún elemento a esquivar. De igual forma las mordazas encargadas de la sujeción de la pieza se encuentran dadas de alta dentro de la máquina herramienta como se explicará más adelante.

La figura 11-7 muestra los elementos seleccionados activando el ícono de la linterna para cada uno de ellos. En color magenta está resaltada la pieza y en color rosa el tocho de material en bruto.



**Figura 11-7** Definición de geometría

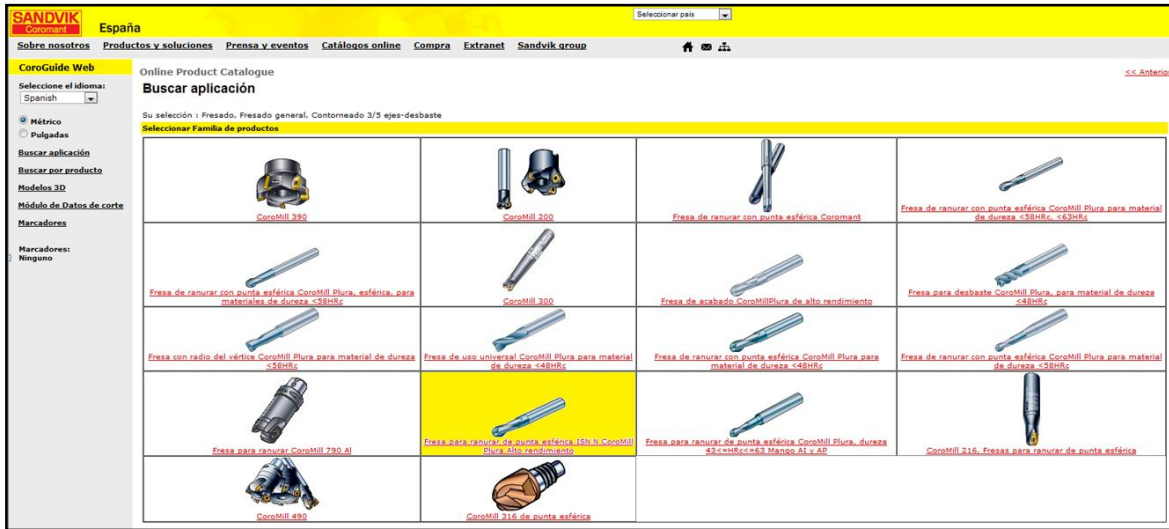
Por último en la sección de Descripción se presiona el ícono de Material para seleccionar al aluminio 7050 (dureza 75-150 HB) como el tipo de material de la pieza.

#### 11-4. Definición de herramientas

Por defecto, NX ha creado los métodos de mecanizado, y un programa que se encuentra vacío. En el apartado anterior se han definido todos los elementos geométricos necesarios para el mecanizado a falta de definir las herramientas de mecanizado. En este apartado se van a definir las herramientas de la forma más sencilla posible y sin accesorios (mango, portaherramientas, etc.) con el fin de acelerar el proceso.

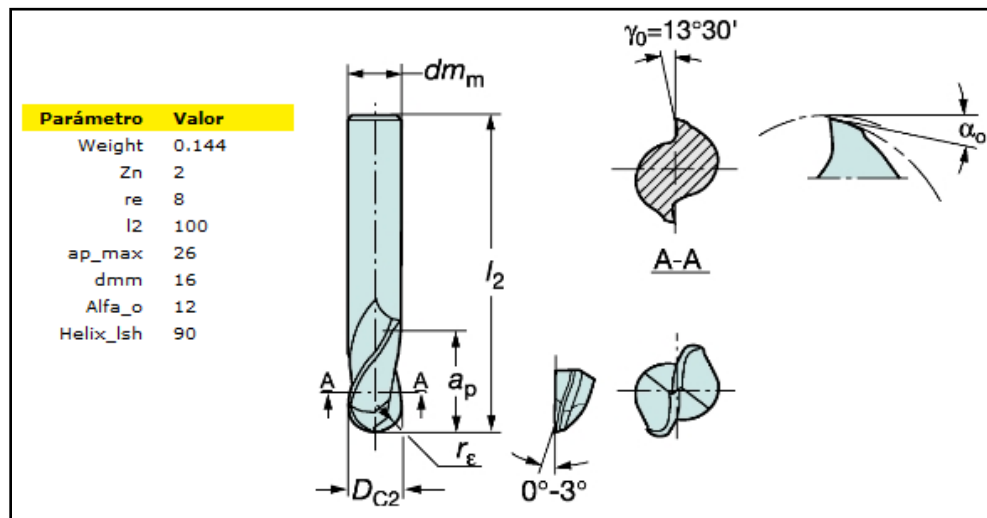
Sin embargo es conveniente saber que desde el punto de vista de la máquina herramienta, la jerarquía sólo puede crecer hacia arriba, es decir, hacia un orden superior. En el orden más elevado se tiene la máquina completa y bajando se encuentra la posibilidad de contar con portaherramientas, cabezales y alojamientos portaherramientas. La combinación portaherramientas y alojamiento es especialmente útil para poder gestionar los números de herramientas mediante herencia y se recomienda su uso cuando se genera la plantilla para la máquina herramienta que se programará. El cabezal sólo se utiliza en máquinas herramienta con múltiples cabezales de mecanizado y el postprocesador ha de estar específicamente preparado para la gestión de cabezales múltiples. Cabe resaltar que la estructura definida por encima de la herramienta no incidirá en el cálculo de la trayectoria, pero el postprocesador podrá hacer uso de la información para gestionar información del programa.

Se usarán dos tipos de herramientas, una para el desbaste y otra para el acabado. Para la selección de herramientas se usará el catálogo en línea de la compañía sueca Sandvik. Primeramente se seleccionará la herramienta de desbaste, se busca por medio de la aplicación de fresado general, bajo la sección de desbaste. Y se selecciona la categoría *Fresa para ranurar de punta esférica ISN N CoroMill Plura Alto rendimiento* (fig. 11.8).



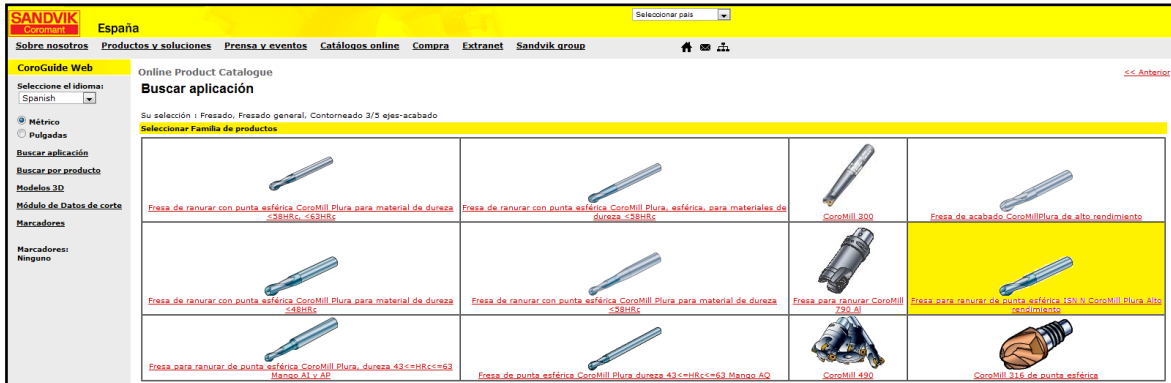
**Figura 11-8** Selección de herramienta de desbaste (Catálogo Sandvik, Sandviken, Suecia)

Una vez dentro de la categoría se seleccionará la herramienta de radio 16 cuyo código es R216.42-16030-AK26A H10F y se toma nota de sus medidas principales, radio de punta, longitud total, longitud de filos y número de filos (fig. 11-9).



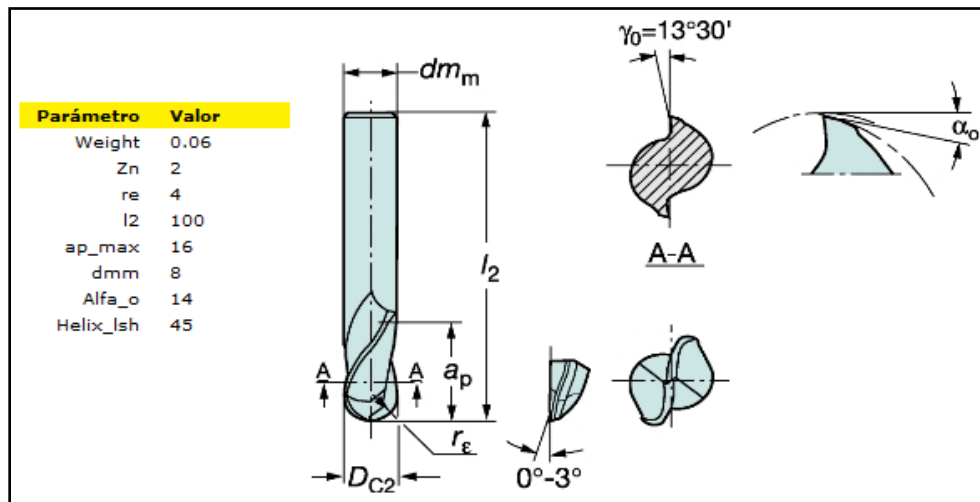
**Figura 11-9** Herramienta de desbaste (Catálogo Sandvik, Sandviken, Suecia)

Una vez seleccionada la herramienta de desbaste se regresa a la sección de fresado general y se entra en la sección de acabado. Y se selecciona la categoría *Fresa para ranurar de punta esférica ISN N CoroMill Plura Alto rendimiento* (fig. 11-10)



**Figura 11-10** Selección de herramienta de acabado (Catálogo Sandvik, Sandviken, Suecia)

Una vez dentro de la categoría se seleccionará la herramienta de radio 8 cuyo código es R216.42-08030-AK16A H10F y al igual que la anterior, se toma nota de sus medidas principales, radio de punta, longitud total, longitud de filos y número de filos (fig. 11-11).




**Figura 11-11** Herramienta de acabado (Catálogo Sandvik, Sandviken, Suecia)

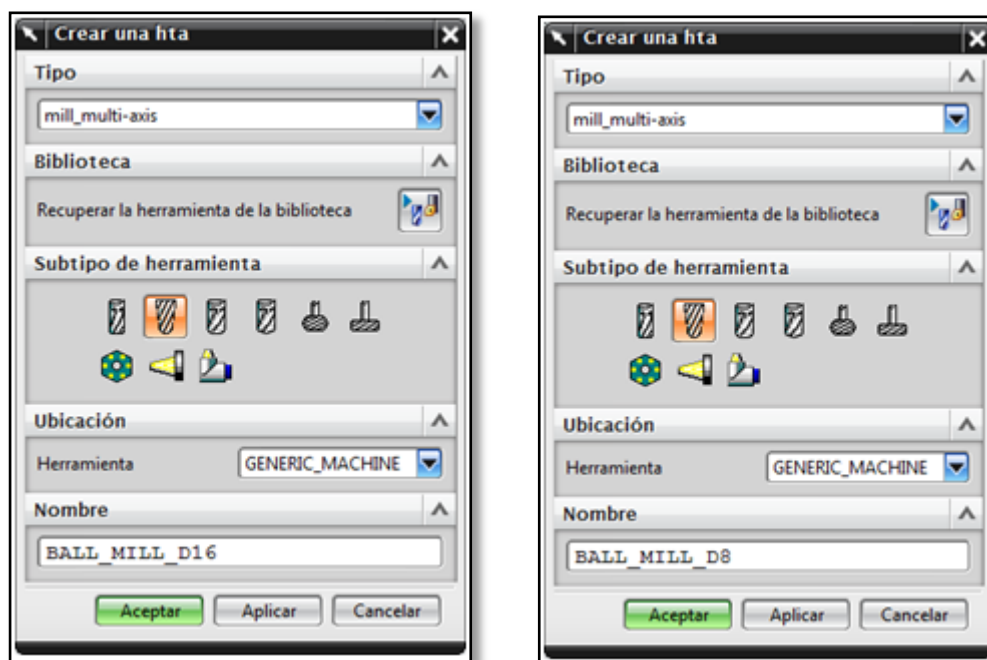
Cualquier operación de mecanizado que se defina deberá realizarse utilizando una herramienta. Por tanto, para obtener el éxito en la definición de operaciones es necesario generar en NX un modelo de herramienta que represente la herramienta real que se utilizará al mecanizar.



Los recursos que proporciona NX son lo suficientemente flexibles para que se puedan generar modelos de las herramientas de forma rápida y eficiente. Adicionalmente se dispone de la posibilidad de recuperar un modelo de herramienta directamente desde la biblioteca de herramientas de NX.

Para cada tipo de herramienta, fresa plana, redonda, toroidales, brocas, avellanadores, escariadores, etc. NX ofrece una plantilla de herramienta, de modo que el trabajo se limita a seleccionar la plantilla adecuada y rellenar los datos.

Para crear un modelo de herramienta se debe seleccionar la orden Insertar → Herramienta o seleccionar el ícono . La plantilla adecuada para la definición se encuentra seleccionando el subtipo adecuado de herramienta dentro de la definición de tipos. En primer lugar se creará la herramienta de desbaste, para esto se selecciona el tipo *mill\_multi-axis* y el segundo ícono correspondiente a la fresa de punta esférica, y se le da el nombre de “BALL\_MILL\_D16” como se muestra en la ventana en la parte izquierda de la figura 11-12.



**Figura 11-12** Creación de herramientas para maquinado

Una vez seleccionadas las opciones e introducido el nombre se acepta para desplegar la ventana de definición de la herramienta, donde se ingresarán las medidas del cortador obtenidas del manual.

La primera pestaña, herramienta, sirve para la definición de la herramienta propiamente dicha. El primer campo leyenda contiene un diagrama que muestra el perfil de definición de herramienta y el significado de los parámetros.

El segundo campo, *cotas* contiene los parámetros numéricos de definición de la herramienta, diámetro, longitud, radio, longitud y número de filos, etc. la letra entre paréntesis corresponde con el identificativo de dicha cota en el diagrama. El número de canaladuras, corresponde con el número de filos de corte.

El tercer campo, *descripción*, contiene una casilla de texto que puede contener un texto de descripción de la herramienta y el indicador del material de la herramienta. Si el material de la herramienta no es el adecuado, al seleccionar el ícono de la llave, se accede a una tabla de selección de materiales. La selección del material de la herramienta no afectará el cálculo de la trayectoria. Para lo que afectará es para la documentación de taller, puesto que es un parámetro que se puede documentar y sobre todo a la hora de recuperar desde tabla las velocidades de mecanizado. En función del material de la pieza, para una misma operación y con la misma herramienta las velocidades de corte variarán según las características del material de la herramienta.

El siguiente campo *números* no tiene efecto directo sobre la herramienta, sino sobre el código de lenguaje máquina. Bajo dicha leyenda se ha de definir tres números, el número de herramienta, el ajuste de longitud y la compensación de la herramienta. De estas tres cifras, cuyo valor por defecto es cero, no se extrae ningún valor geométrico. En el caso del número de herramienta, es el único valor que puede ser obtenido mediante herencia y hace referencia al número de herramienta dentro de la máquina. El *ajuste de longitud* es el dígito identificativo que hace referencia al número de corrector de longitud de la herramienta, así como la *compensación de herramienta* se refiere al registro utilizado para la corrección del diámetro de herramienta.

Teniendo en conocimiento esta información se procede a la creación de la herramienta de desbaste, ingresando los valores que se muestran en la ventana de la parte izquierda de la figura 11-13.

De igual forma se creará la herramienta de acabado de tipo *mill\_multi-axis*, de punta esférica, y se le da el nombre de “BALL\_MILL\_D8” como se muestra en la ventana en la parte derecha de la figura 11-12. Y sus valores de definición se muestran en la ventana de la derecha de la figura 11-13.

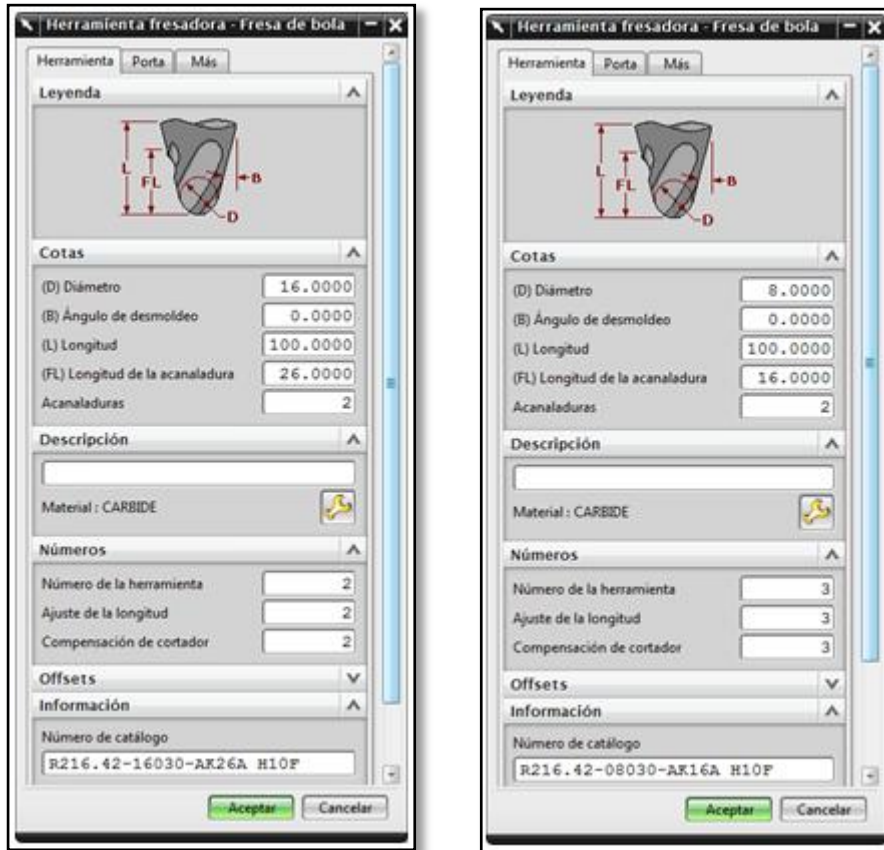


Figura 11-13 Definición de herramientas para maquinado

Al definir la herramienta, en el origen del sistema de coordenadas de diseño aparecerá una representación de la misma. Se pulsa aceptar para finalizar la definición de las herramientas y volver al cuadro de diálogo anterior.

De este modo ya se tienen definidas las herramientas que se utilizarán para mecanizar la pieza. Y el aspecto del navegador de operación sería el mostrado en la figura 11-14.

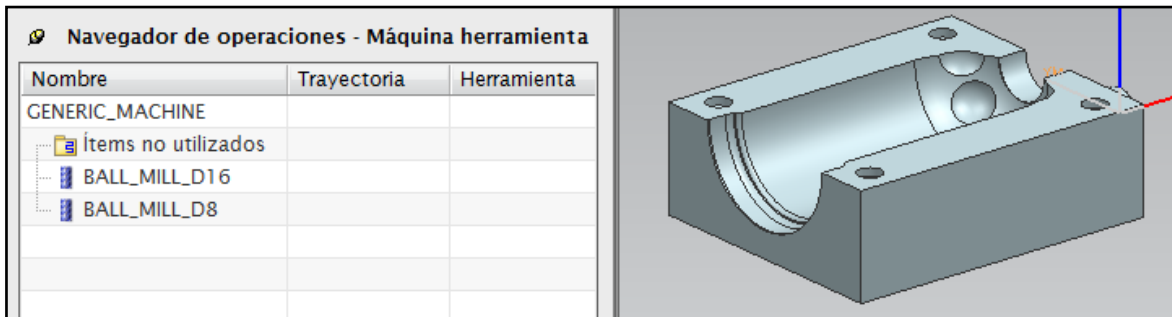



Figura 11-14 Estructura de herramientas

## 11-5. Definición de las operaciones de mecanizado

En este momento ya se tienen definidos todos los elementos necesarios para poder definir las operaciones de mecanizado. Antes de poder crear las operaciones de mecanizado es necesario cumplir una serie de etapas ajustando una serie de datos necesarios. Ahora se definirán una serie de operaciones que mecanizarán la pieza.

La clave del éxito reside en conocer las diferentes operaciones de mecanizado que ofrece el programa y poder determinar en cada momento cuales son las operaciones disponibles para acometer la tarea que se ha de efectuar.

Inicialmente se realizará un desbaste de la cavidad, para esto se selecciona la orden Insertar → Operación o seleccionar el ícono *crear operación*  de la barra de herramientas.

Aparecerá un cuadro de dialogo como el de la figura 11-15 en el que se tiene que efectuar una serie de ajustes. En el desplegable del tipo de operación, seleccionar el tipo *mill\_contour*, en el apartado subtipo de operación, seleccionar el primer ícono, correspondiente a la operación CAVITY\_MILL

Ajustar los grupos de ubicación de la operación tal como indica la figura 11-15. Programa PROGRAM, para que la operación esté dentro del programa creado por defecto de NX, herramienta BALL\_MILL\_D16, para hacer el desbaste de la pieza con dicha herramienta, geometría sobre la que se efectúa la operación WORKPIECE. Al colgar la operación del WORKPIECE, que es hijo del MCS, la operación hereda los datos de ambos elementos. En cuanto al método de mecanizado, ajustar la opción a

MILL\_ROUGH para indicar que es un desbaste, ello implica que la operación dejará 1 milímetro de material sin mecanizar, que es el ajuste de la demasía por defecto en el método. El nombre de la operación se cambia a DESBASTE\_CAVIDAD para identificarlo.

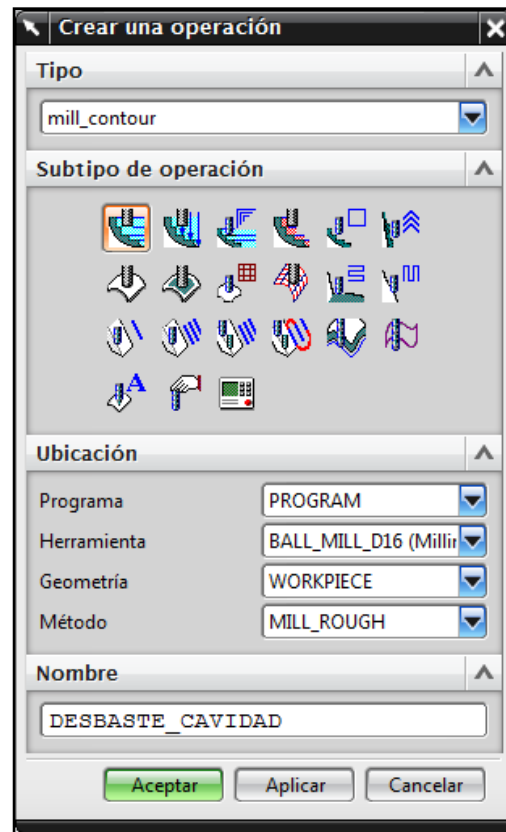


Figura 11-15 Creación de operación

A continuación se explicarán algunas de las opciones seleccionadas para tener un poco más de conocimiento sobre las mismas.

Las operaciones que se encuentran dentro de la familia *mill\_contour* son algorítmicamente complejas y se conocen como operaciones de corte en tres ejes. Estas operaciones tienen la capacidad de desplazar la herramienta en los ejes X, Y, Z mientras se está mecanizando, lo único que no puede variar durante el corte es la orientación de la herramienta. Sin embargo, al igual que en las operaciones *mill\_planar*, existe la opción de variar el eje de la herramienta, de forma que la herramienta se reorienta antes de empezar a cortar y su orientación permanece constante a lo largo de la trayectoria hasta que finaliza la operación.

Se encuentran dos tipos de operaciones. El primer grupo genera una serie de niveles de corte y calcula una trayectoria de herramienta distinta por cada nivel de corte, los representantes de esta familia son *cavity\_mill* y *z\_level\_profile*. La otra familia de operaciones calcula una trayectoria de herramientas siguiendo la superficie a mecanizar, sin calcular niveles de corte, son las operaciones del tipo *contour\_surface*.

CAVITY\_MILL es una operación cuyo nombre se traduce por fresado de cavidades. Esta operación necesita de la definición del material en bruto y de la pieza a mecanizar. Se establecen una serie de niveles de corte a distintas alturas y en cada nivel de corte, la operación mecaniza la diferencia entre el material en bruto y la pieza final. El resultado es una aproximación escalonada a la pieza final. Algorítmicamente no es una operación compleja, es muy intuitiva y efectiva.

Del método de mecanizado se heredan una serie de datos muy importantes. Ir al navegador de operación y acceder a la vista por método de mecanizado. Hacer doble clic sobre el método MILL\_ROUGH para acceder al cuadro de diálogo de definición de parámetros tal como muestra la figura 11-16. El primer dato que se hereda es la demasía de la pieza. Es decir, la cantidad de material que se deja sin mecanizar. En el caso del desbaste MILL\_ROUGH, el valor por defecto es de un milímetro. Salvo que se indique lo contrario en la propia operación, la demasía se hereda desde el método.

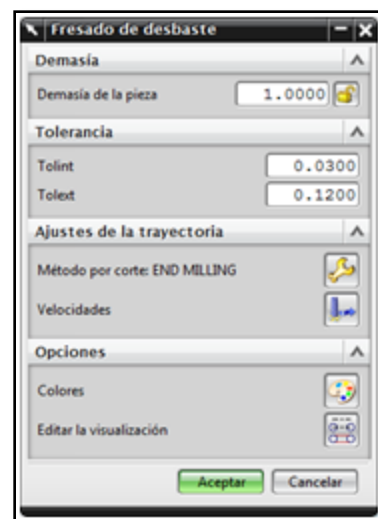


Figura 11-16 Parámetros de mecanizado

El segundo apartado hace referencia a la tolerancia en el cálculo de puntos de la trayectoria de la herramienta a lo largo de una superficie. Hay dos valores, una tolerancia interna y una externa. El primer valor permite acotar cuánto puede entrar la trayectoria calculada dentro de la superficie y el valor de la tolerancia externa cuánto se puede salir de la superficie a mecanizar. Hay dos valores que son antagonistas, la tolerancia de cálculo y la rapidez del mismo. Una tolerancia de cálculo elevada dará como resultado una trayectoria imprecisa pero rápida de calcular, mientras que una tolerancia pequeña dará una trayectoria aproximadamente exacta pero muy lenta de calcular.

Teniendo en cuenta esta idea también se debe tener en cuenta la demasía utilizada en el método. Es decir, si todavía quedara 1 milímetro de material a mecanizar, una tolerancia de cálculo interna de 0.03 hará que el valor de la demasía pueda ser en vez de ese milímetro de 0.97 y el valor de tolerancia externa de 0.12 que la demasía pueda llegar a ser de 1.12. De esta idea se deduce que en consecuencia, las tolerancias de cálculo deberían estar en consonancia con la demasía del método. A mayor demasía, aumentar la tolerancia. Conforme la demasía disminuya, se debe disminuir la tolerancia de cálculo.

El apartado de ajustes de la trayectoria hace referencia exclusivamente a velocidades de corte, donde se tienen dos apartados, el método de corte y avances y velocidades. Solamente útiles cuando se recuperan las velocidades desde tabla.

Finalmente las opciones de visualización, colores y editar la visualización, no afectan al cálculo de la trayectoria, sino al color y tipo de trazo en el que se representa la misma en pantalla.


Se pueden hacer todas las variaciones que se deseen, pero a modo de ejemplo, los valores por defecto de los ajustes de los métodos se reflejan en la tabla 11-1.

**Tabla 11-1** Valores por defecto de los diferentes métodos

Método	Demasia	Tolerancia interna	Tolerancia externa
MILL_ROUGH	1	0.03	0.12
MILL_SEMIFINISH	0.25	0.03	0.03
MILL_FINISH	0	0.03	0.03

En el método MILL\_FINISH la demasía final es cero porque es el último paso y se está acabando la pieza. La tolerancia de cálculo en dicho método puede resultar demasiado elevada. Teniendo en cuenta que no hay demasía, esos valores pueden provocar un error de  $\pm 0.03$  milímetros en el mecanizado. Este valor debería estar en consonancia con la precisión de la máquina que se vaya a utilizar. Si se dispone de una máquina muy exacta se puede bajar la tolerancia.

Una vez se han explicado un poco las diferentes opciones con las que cuenta NX, se regresará al programa para definir los parámetros de la operación. Una vez que se ha presionado Aceptar en la ventana de crear operación se desplegará una nueva (fig. 11-17) donde se definirán los parámetros de la operación.

Al haber seleccionado WORKPIECE como el tipo de geometría ya no es necesario especificar la pieza ni el bruto ya que han sido heredadas, por lo que se procederá directamente a especificar el área de corte, ya que en el maquinado no existen geometrías a evitar como amarres. Para esto se pulsa el ícono  donde se desplegará una nueva ventana para fijar la zona de corte de la operación, y se seleccionan todas las caras de la cavidad a ser maquinadas, como se muestra en la figura 11-18 y se da clic a Aceptar.

Si se especifica un área de corte, sólo se efectuará el desbaste en la zona seleccionada, pero si no se especifica área de corte, en esta operación tomará como área a toda la pieza.

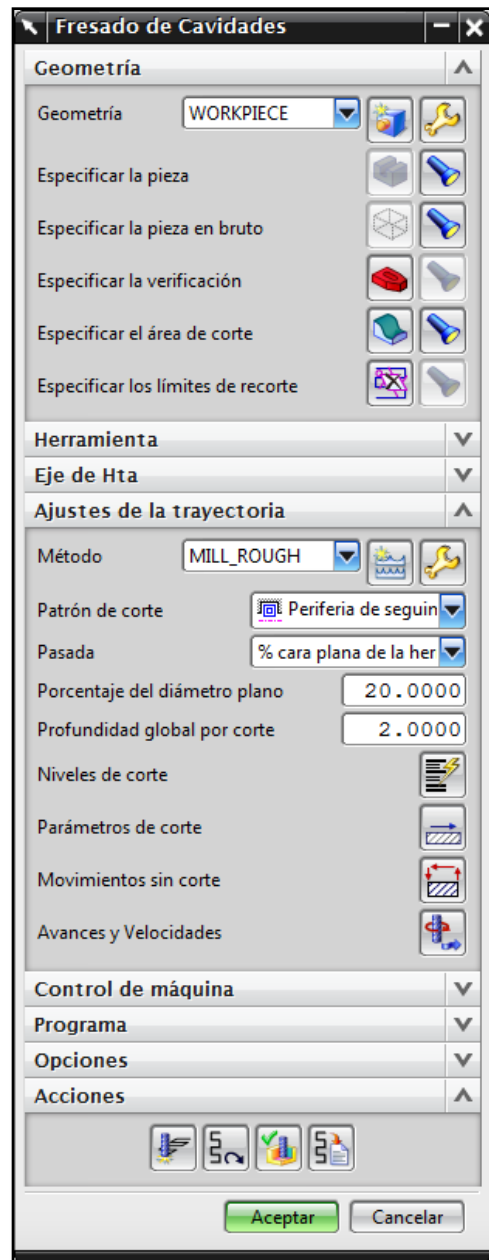
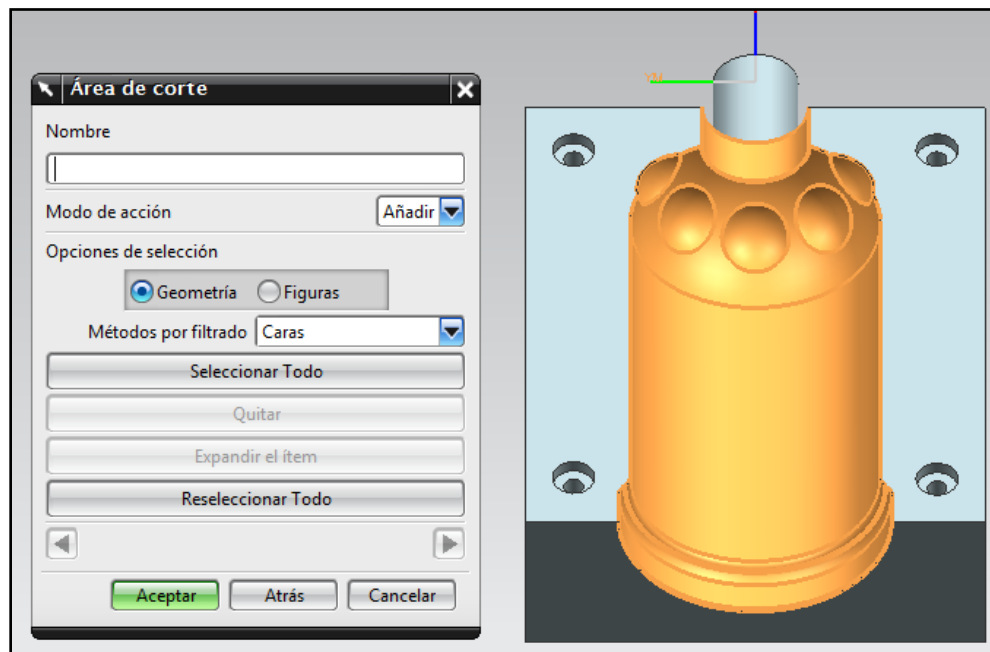


Figura 11-17 Parámetros de la operación

Una vez realizado esto se pasará al área de ajustes de la trayectoria, donde se definirán las estrategias de corte, el avance y velocidad de corte, profundidad por corte, etc.



**Figura 11-18** Selección de área de corte

Todas las operaciones de corte se basan en la aplicación de una estrategia de corte a una determinada geometría con la aplicación de determinados parámetros adicionales. Es decir, el problema que resuelve la aplicación al aplicar una estrategia de corte en concreto es como abarcar el área de corte seleccionada con la herramienta.

Para ello, se dispone de una serie de opciones, donde la estrategia a usar para la operación de desbaste será la de *periferia de seguimiento*. Esta estrategia reconoce el contorno exterior de la superficie a mecanizar y va copiando dicho patrón desde el borde de la superficie hacia al interior de la misma, determinando las pasadas según el ancho ajustado. Posteriormente, el mecanizado de dichas pasadas puede hacerse desde el exterior hacia el interior, en el orden que han sido calculadas o en orden inverso, desde el interior de la superficie de corte hacia el exterior de la misma.

Se selecciona un porcentaje del diámetro plano del 20%, que será el porcentaje del diámetro de la herramienta que avanzará en cada nuevo paso. Y la profundidad global por corte de 2 milímetros.



Por último se calcularán e ingresarán el avance y velocidad de corte. Para esto se necesitarán las tablas creadas por el proveedor de herramientas donde se muestran los valores recomendados para dichos cálculos.

**Tabla 11-2** Recomendación de velocidad y Avance (Catálogo Sandvik, Sandviken, Suecia)

CoroMill® Plura				GC1620 GC1630 H10F									
ISO	CMC	HB	HRC	v <sub>c</sub> m/min	v <sub>c</sub> pies/min	v <sub>c</sub> m/min	v <sub>c</sub> pies/min	v <sub>c</sub> m/min	v <sub>c</sub> pies/min	v <sub>c</sub> m/min	v <sub>c</sub> pies/min	v <sub>c</sub> m/min	v <sub>c</sub> pies/min
P	01.1	125		155	510	200	660	375	1230	690	2260		
	01.2	150		135	440	185	610	340	1120	630	2070		
	01.4	200		120	390	140	460	255	840	470	1540		
	02.2	250		100	330	130	430	245	800	450	1480		
	02.2	300		90	300	120	390	220	720	410	1350		
	03.22	400		75	250	95	310	180	590	335	1100		
M	05.11	200		60	200	90	300	165	540	300	980		
	05.21	200		60	200	75	250	145	480	270	890		
	05.51	230		45	150	55	180	110	360	200	660		
K	07.1	150		135	440	180	590	330	1080	610	2000		
	09.2	200		100	330	130	430	240	790	440	1440		
	08.1	180		85	280	110	360	210	690	385	1260		
N	30.22	90		1000	3280	1100	3610	1250	4100	1300	4270		
S	20.22	350		50	165	60	195	100	330	150	490		
	23.22	350		70	230	80	260	160	525	300	985		
H	04.1		50	55	180	80	260	GC1610					
	04.1		55	-	-	55	180						
	04.1		60	-	-	40	130						

CoroMill® Plura		GC1620 GC1630 H10F									
Métrica	Dc o Dc2 mm	Dc2 pulgadas	f <sub>z</sub> mm/tooth	f <sub>z</sub> inch/tooth	f <sub>z</sub> mm/tooth	f <sub>z</sub> inch/tooth	f <sub>z</sub> mm/tooth	f <sub>z</sub> pulg./ diente	f <sub>z</sub> mm/tooth	f <sub>z</sub> pulg./ diente	
$n = \frac{1000 \times v_c}{\pi \times D_c}$ (rpm)	0.5	.020	Guía Plura								
$v_f = n \times f_z \times Z_n$ (mm/min)	1	.039	0.002	.0001	0.002	.0001	0.013	.0005	0.023	.0009	
$D_a = 2 \times \sqrt{a_p \times (D_{c2} - a_p)}$ (mm)	2	.079	0.004	.0002	0.003	.0001	0.032	.0013	0.056	.0022	
$n = \frac{v_c \times 12}{\pi \times D_a}$ (rpm)	3	.118	0.006	.0002	0.007	.0003	0.039	.0015	0.07	.0028	
	4	.157	0.008	.0003	0.014	.0006	0.045	.0018	0.08	.0031	
$v_f = n \times f_z \times Z_n$ (inch/min)	4.76	.188 (3/16")	0.010	.0004	0.019	.0008	0.046	.0018	0.078	.0031	
	5	.197	0.011	.0004	0.021	.0008	0.046	.0018	0.078	.0031	
$D_a = 2 \times \sqrt{a_p \times (D_{c2} - a_p)}$ (inch)	6	.236	0.014	.0006	0.03	.0012	0.055	.0022	0.099	.0039	
	6.35	.250 (1/4")	0.015	.0006	0.031	.0012	0.056	.0022	0.102	.0040	
Nota: En la fórmula de n los parámetros v <sub>c</sub> y D <sub>c</sub> se pueden sustituir por v <sub>s</sub> y D <sub>c2</sub> .	8	.315	0.020	.0008	0.033	.0013	0.063	.0025	0.114	.0045	
	9.525	.375 (3/8")	0.025	.0010	0.050	.0020	0.069	.0027	0.124	.0049	
	10	.394	0.027	.0011	0.055	.0022	0.071	.0028	0.127	.0050	
	12	.472	0.036	.0014	0.071	.0028	0.077	.0030	0.139	.0055	
	12.7	.500 (1/2")	0.039	.0015	0.074	.0029	0.079	.0031	0.143	.0056	
	15.875	.625 (5/8")	0.054	.0021	0.089	.0035	0.089	.0035	0.160	.0063	
	16	.630	0.055	.0022	0.09	.0035	0.089	.0035	0.161	.0063	
	19.05	.750 (3/4")	0.073	.0029	0.105	.0041	0.097	.0038	0.175	.0069	
	20	.787	0.078	.0031	0.11	.0043	0.1	.0039	0.18	.0071	
	25	.787	0.11	.0043	0.11	.0043	0.11	.0043	-	-	

Los valores calculados en estas tablas son específicos del tipo de herramienta seleccionada. En primer lugar se busca la velocidad recomendada por el tipo de material a

maquinar, en este caso como se mencionó en la sección 11-3 el material seleccionado es un aluminio 7050 (dureza 75-150 HB), por lo tanto se busca bajo la sigla “N” código ISO para el aluminio y se toma el valor rodeado del rectángulo rojo ( $V_c = 1000$  m/min). Este valor sirve para calcular la velocidad del husillo (S) con la siguiente formula:

$$n = \frac{1000 \cdot V_c}{\pi \cdot D_c} \quad \begin{array}{l} V_c = \text{Velocidad de tabla} \\ D_c = \text{Diámetro de la hta.} \end{array}$$


$$n = \frac{1000 \cdot 1000}{\pi \cdot 16} \rightarrow n = 19,894.4 \text{ rpm}$$

Una vez obtenida la velocidad de giro se procede a obtener la velocidad de avance (F) con la siguiente formula:

$$V_f = n \cdot f_z \cdot Z_n$$

Donde  $f_z$  es el avance por diente obtenido de la tabla inferior, donde el valor se encuentra rodeado del rectángulo rojo ( $f_z = 0.055$ ) y  $Z_n$  es el número de filos de la herramienta, el cual se puede obtener de los datos del cortador en la sección 11-4 ( $Z_n = 2$ ). Sustituyendo los datos en la formula se obtiene el siguiente resultado.

$$V_f = 19,894.4 \cdot 0.055 \cdot 2 \rightarrow V_f = 2,188.38 \text{ mm/min}$$

Una vez obtenidos estos valores se ingresan dando clic en el ícono de avances y velocidades . Donde se desplegará una ventana como la de la imagen 11-19 y los valores se ingresan en las casillas correspondientes a *velocidad del husillo* y *velocidades de avance*, resaltadas en amarillo, verificando que las unidades sean las deseadas. La velocidad de la superficie y el avance por diente se calcularán automáticamente al ingresar los valores anteriores. Al finalizar se presiona Aceptar para regresar a la ventana de parámetros de la operación. Se verifica que los valores sean iguales a los mostrados en la figura 11-19.

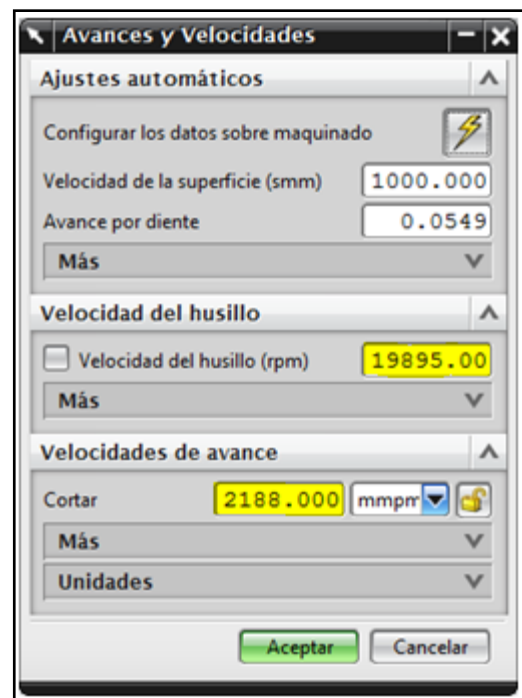

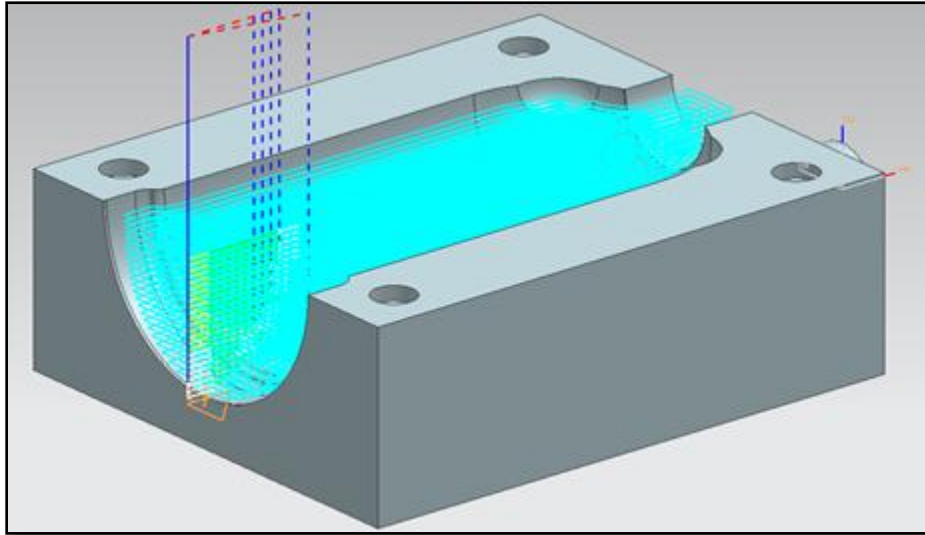



Figura 11-19 Definición de velocidades

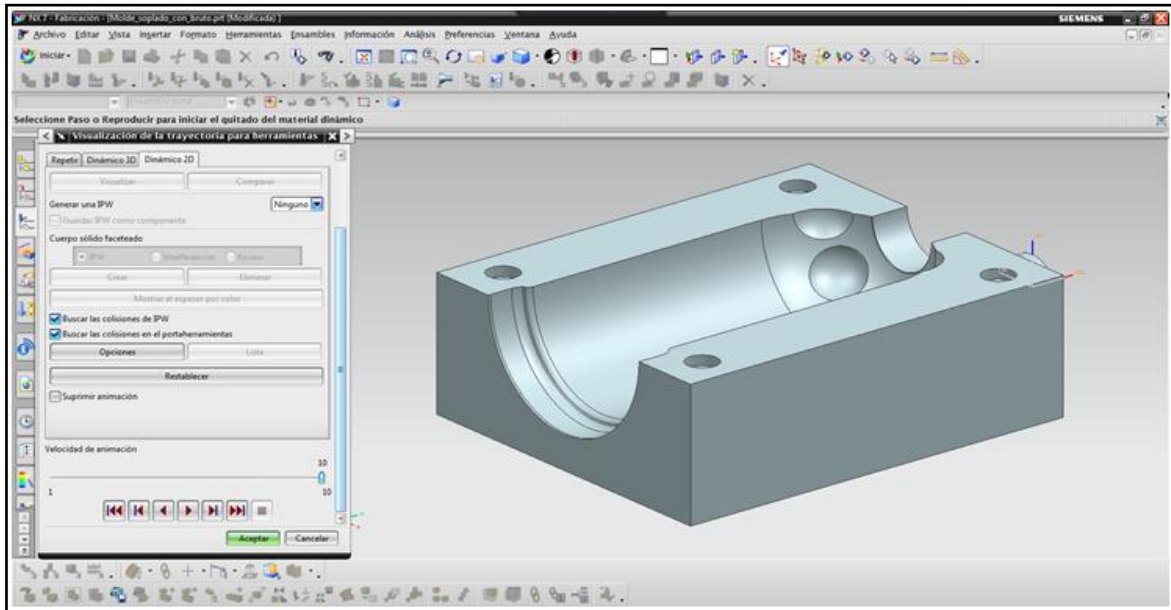
Para terminar se da clic en el ícono de generar trayectoria , localizado en el área de acciones. De esta forma el programa calculará las trayectorias de herramienta de acuerdo a los parámetros de la operación. Es probable que aparezca un mensaje de advertencia, no un error. Si se pulsa aceptar para ver el contenido del mensaje, en este caso indica que debido a que el diámetro de herramienta es muy grande, habrá zonas sin mecanizar. Una vez terminados los cálculos, la trayectoria es representada en pantalla (fig. 11-20).



**Figura 11-20** Trayectoria de herramienta

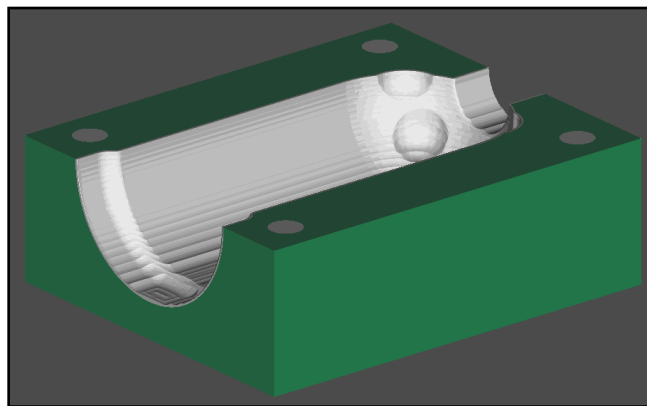
El siguiente paso es la verificación de las trayectorias. En este ejercicio sólo se utilizará una de las distintas operaciones de simulación de trayectoria y el resto de opciones serán explicadas de forma breve, igualmente la simulación con la máquina herramienta virtual será tratada en la sección dedicada a simulación. Para hacer una verificación rápida de las trayectorias del programa la opción más sencilla es activar en el navegador de operación la vista de orden del programa, se sitúa el cursor encima de PROGRAM y se pulsa el botón derecho para activar el menú emergente y seleccionar la opción Trayectoria para herramientas → Verificar.

Al activar dicha opción aparecerá una nueva ventana (fig. 11-21), seleccionar la pestaña *dinámico en 2D*. Este tipo de verificación es una simulación de trayectoria de herramienta aproximada, es bastante rápida pero tiene sus limitaciones, de modo que una vez calculada la simulación, la imagen que da como resultado es como una fotografía y no se puede hacer zoom ni girar la vista. Por ello, antes de ejecutar la simulación se tienen que ajustar las vistas, al contar con una buena vista se pulsa el botón *reproducir* .



**Figura 11-21** Activación de la simulación de trayectorias

Empezará la simulación de la trayectoria y se puede ver cómo se va ejecutando el mecanizado y va eliminando material hasta obtener el resultado final. Una serie de herramientas permitirán comparar el resultado obtenido con la pieza deseada. Si se selecciona el botón *comparar* del cuadro de diálogo cambiará el aspecto de la pieza a un código de colores (fig. 11-22). Donde el color gris significa que hay un exceso de material, el color verde que el resultado es el adecuado y el color rojo significa que se ha mecanizado más de lo debido y ha existido invasión dentro de la pieza. Como se comentó anteriormente, esta herramienta es rápida de ejecución pero sus resultados son aproximados. El resultado depende en gran manera de las tolerancias de cálculo utilizadas y en zonas curvas, debido a los cálculos aproximados y a redondeos es frecuente que aparezcan alternados los colores rojo o plata cuando el resultado es el adecuado.



**Figura 11-22** Comparacion rápida

Este tipo de simulaciones no se analizan códigos de máquina, para verificar la trayectoria no se postprocesan las mismas, por lo que en ningún momento se verifica o analiza el código máquina correspondiente a las operaciones de mecanizado. El formato de dichos datos en un formato propio conocido como CLSF y reúne los datos suficientes para poder calcular el desplazamiento de la herramienta a lo largo de toda la trayectoria.

En la ventana de *visualización de trayectoria* si se selecciona la pestaña *Repetir*, solamente se mostrará la trayectoria de la herramienta mediante el trazado de curvas, en el mismo formato que aparecen cuando se genera la trayectoria. Adicionalmente, se obtiene la animación del desplazamiento de la herramienta sobre la pieza, pero no se muestra el mecanizado como tal. A nivel de animación es la opción que necesita menos recursos del computador pero también la menos intuitiva, ya que no se simula el arranque de material. Sin embargo, es buena cuando se trata de analizar las zonas de paso de la herramienta o la configuración geométrica de las trayectorias respecto a la geometría de la pieza.

La opción *Dinámico 3D* es la más completa de todas, tiene la posibilidad de representar la trayectoria de herramienta a la vez que también simula el arranque del material. El resultado de esta animación es un objeto 3D y no solo una imagen, el resultado será mucho más preciso pero la ejecución será más lenta.

La siguiente operación a realizar será un semiacabado de las paredes de la cavidad usando la misma fresa de bola de 16 milímetros. Esta vez se usará el cuarto eje de la máquina herramienta, usando la operación tipo *mill\_multi-axis* y la suboperación *VARIABLE\_CONTOUR*. Al igual que en la operación anterior el programa se realizará bajo *PROGRAM*, seleccionando la herramienta *BALL\_MILL\_D16*, el tipo de geometría *WORKPIECE* y en esta ocasión el método *MILL\_SEMI\_FINISH*; por último para identificar la operación se le dará el nombre *SEMIACABADO\_CAVIDAD*. Todo tal como se muestra en la figura 11-23.



Figura 11-23 Creación de operación

La operación VARIABLE\_CONTOUR se utiliza para terminar áreas formadas por geometría contorneada por el control del eje de la herramienta, vector de proyección y método guía. Las trayectorias de herramienta se crean mediante la generación de puntos del método guía y, a continuación, proyectando los puntos a lo largo de un vector de proyección a la geometría de la pieza. Los puntos guía son creados a partir de geometría de la pieza o pueden crearse desde otra geometría que no esté asociada con la parte.

La trayectoria de herramienta la mueve desde el punto guía sobre el vector de proyección hasta que hace contacto con la geometría de la pieza. La posición puede coincidir con el punto de unidad proyectada, o si otra geometría evita que la herramienta llegue al punto proyectado, se genera un nuevo punto de salida y se omite el punto de unidad inutilizable.

La operación VARIABLE\_CONTOUR se puede posicionar a puntos existentes en la geometría de la pieza (que incluye el borde de un objeto), pero la herramienta no puede colocarse a una extensión de la geometría de la pieza.

Alguna de la terminología usada en este tipo de operación es:

- *Método guía* - método para definir los puntos necesarios para crear una trayectoria de herramienta; algunos métodos permiten la creación de una cadena de puntos a lo largo de una curva, mientras que otros permiten la creación de una matriz de puntos guía dentro de un área.
- *Vector de proyección* - utilizado para describir cómo los puntos son proyectados a la superficie de la pieza y sobre qué lado de la superficie de la pieza se realiza el contacto con la herramienta; el método seleccionado determina que vectores de proyección se pueden usar. El vector de proyección no tiene que coincidir con el eje de la herramienta.

Dentro de los métodos guía existen una serie de alternativas para crear la trayectoria, a continuación se explicaran brevemente algunos:

El método **Curva/Punto** permite al usuario definir la geometría guía por medio de puntos y curvas. Usando puntos, la trayectoria que se crea es un segmento lineal entre ellos. Usando curvas, los puntos guía son generados a lo largo de ellas.

El método *Límite* permite definir regiones cortadas especificando los límites y bucles. Los límites no son dependientes de la forma y el tamaño de las superficies de la pieza mientras los bucles corresponden a aristas de superficie de la parte exterior. Las regiones de corte están definidas por límites, bucles o una combinación de ambos.

El método de *Espiral* permite definir puntos guía para crear un movimiento en espiral hacia fuera desde un punto central especificado. Los puntos se crean dentro del plano normal al vector de proyección. Los puntos se proyectan sobre las superficies de la pieza a través del vector de proyección. Los pasos de este método son una transición suave y constante hacia el exterior. Este método mantiene un movimiento de corte constante y es ajustable a las aplicaciones de mecanizado de alta velocidad.

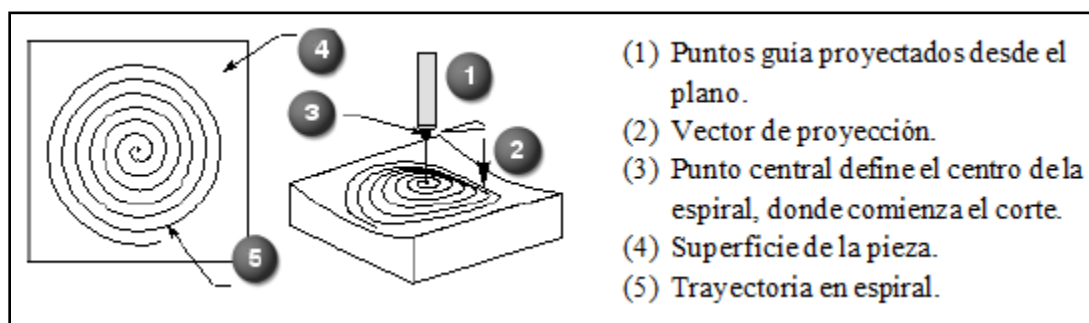
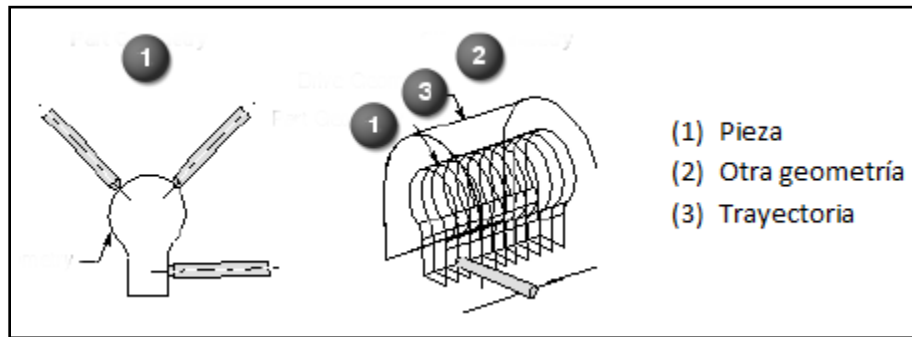


Figura 11-24 Método de Espiral

El método de *Área de superficie* permite crear una matriz de puntos guía que se encuentren en el mallado de una superficie de guía. Este método es útil en el mecanizado de superficies muy complejas. Proporciona un control adicional del eje de la herramienta y el vector de proyección. Para generar puntos de la geometría de la pieza, se seleccionan las superficies como geometría de guía y ninguna geometría de la pieza. De esta forma los puntos se generan en la geometría guía. Para generar puntos desde otra geometría, se selecciona la guía y parte de la geometría. A continuación, los puntos de unidad se generan en la geometría guía y se proyectan en la geometría de la pieza según el vector de proyección. En cualquier caso, el eje de la herramienta puede seguir el contorno de la geometría.

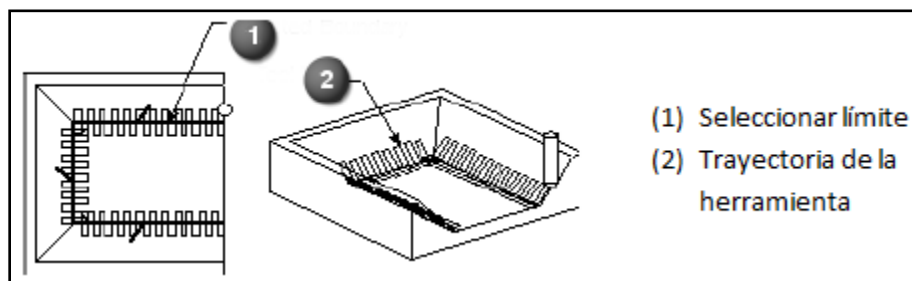
El método de área de superficie también proporciona una opción adicional de proyección vectorial, *Normal a la guía*, lo cual permite distribuir puntos uniformemente en geometrías convexas. El factor limitante del método de área de superficie es que las superficies deberán disponerse en una malla ordenada.



**Figura 11-25** Método de Área de superficie

El método *Trayectoria para herramientas* permite definir puntos a lo largo de la trayectoria de la herramienta de una fuente de archivos de localización de cortes (CLSF) para crear una trayectoria similar de la herramienta de contorno variable. Los puntos guía son generados a lo largo de la trayectoria de herramienta existente y luego proyecta sobre la superficie de la parte seleccionada, para crear la nueva trayectoria de herramienta que sigue los contornos de la superficies. La dirección en la que se proyectan los puntos en la superficie está determinada por el vector de proyección.

El método de *Guía por corte radial* permite generar trayectorias perpendiculares y a lo largo de un límite determinado, utilizando un ancho de paso de distancia especificado, ancho de banda y tipo de corte. Este método es útil en aplicaciones de tipo limpieza.




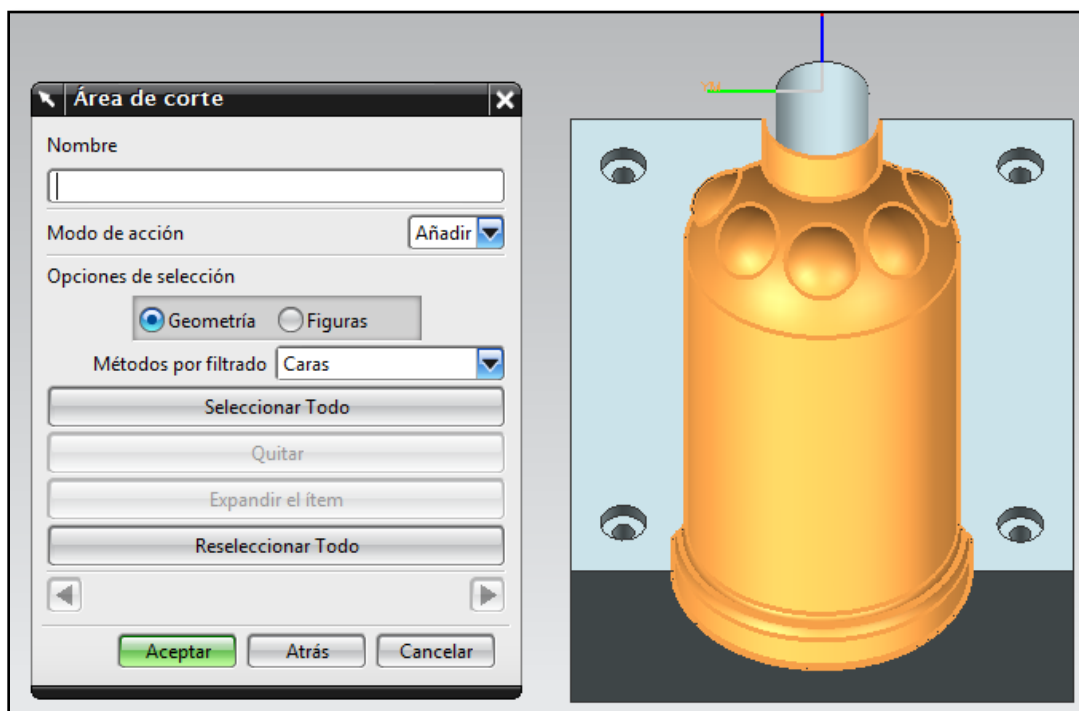
**Figura 11-26** Método de Guía por corte radial

El método de *Perfil de contorno* es una forma sencilla para cortar la contrasalida o restos de las paredes de una pieza y es especialmente eficaz en el mecanizado de cajas de tipo multi-nivel. La selección de la parte inferior de la caja, configuración de diversos parámetros de corte y la generación de la operación son los únicos pasos requeridos para su uso.




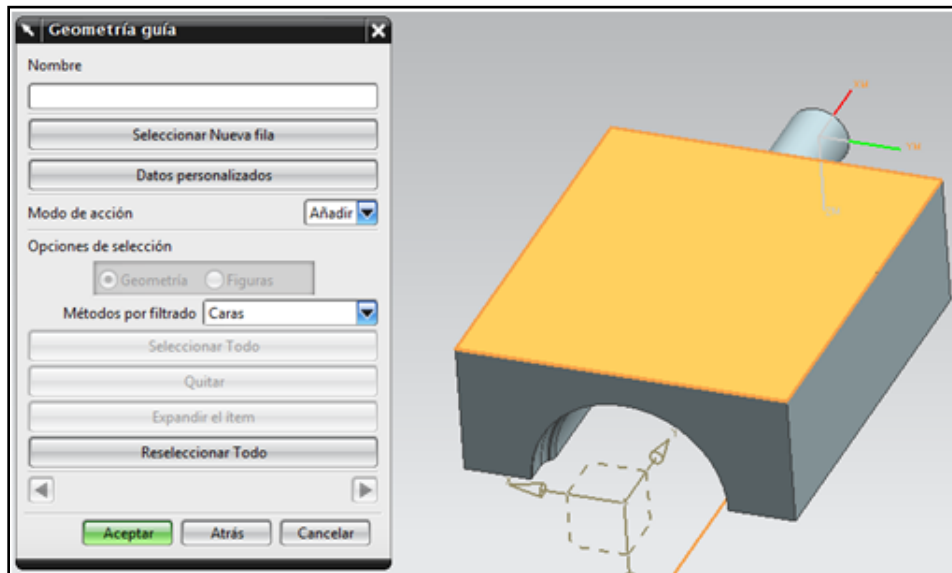
El método guía *Definido por el usuario* crea trayectorias de herramienta de métodos especiales desarrollados mediante la programación de funciones de usuario. Estas son rutinas personalizadas opcionales, altamente especializadas y desarrolladas para aplicaciones específicas.

Una vez que se han explicado brevemente los métodos guía y los conceptos de eje de herramienta, se prosigue con la programación de la trayectoria de semiacabado. Para esto, lo primero que se tiene que realizar es especificar el área de corte pulsando el ícono  en la ventana de parámetros de la operación. Y al igual que en la operación anterior se selecciona el interior de la cavidad como se muestra en la figura 11-27. Al estar heredada la geometría no es necesario especificar la pieza.




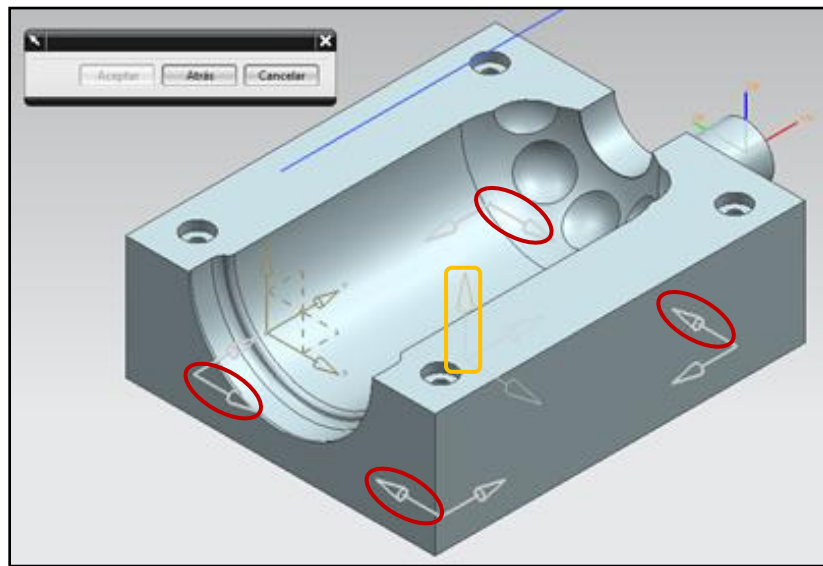
**Figura 11-27** Selección de área de corte

El método guía a utilizar será el de Área de superficie, al seleccionar el método se abrirá una nueva ventana de parámetros del método. En primer lugar se tiene que especificar la geometría guía, para esto se da clic en el ícono . Y se selecciona la parte inferior del molde como se muestra en la figura 11-28.




**Figura 11-28** Selección de geometría guía

Una vez seleccionada la geometría guía se tiene que especificar la dirección de corte. Para esto, se da clic en el ícono  con lo cual aparecerán una serie de flechas en la pieza (fig. 11-29) y se da clic en cualquiera de ellas que apunte hacia dentro de la pieza para que el corte se realice a lo ancho del molde.



**Figura 11-29** Dirección de corte

De igual forma se verifica que la flecha, rodeada de un cuadro amarillo en la imagen, apunte hacia el interior del material, si no es el caso se presiona el ícono  para invertir la dirección.

Por último en el área de Ajustes guía se selecciona *Zigzag* como el patrón de corte y se cambia el tipo de pasada a *Cresta*, ingresando un valor de altura de cresta de 0.1 milímetros. Para terminar se presiona Aceptar para regresar a la ventana de parámetros de la operación verificando que los datos sean iguales a los mostrados en la figura 11-30.

Ya en la ventana de parámetros se selecciona al *Eje de Hta* como vector de proyección y bajo el Eje de Herramienta se selecciona *Hacia línea*. Esto para que la herramienta siga una trayectoria antes definida como se explicará más adelante. Para esto, el ensamble debe contener una línea que servirá como trayectoria de herramienta.

Se desplegará una nueva ventana con tres opciones, donde la elegida será *Línea existente* y se selecciona la línea antes creada, tal como se muestra en la figura 11-31.

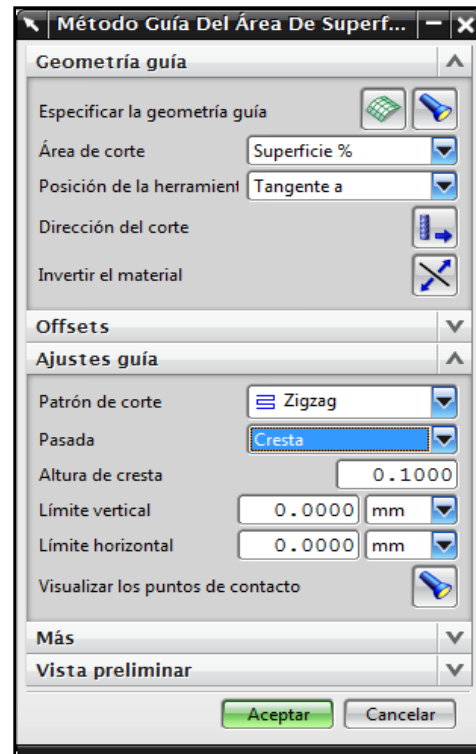


Figura 11-30 Definición de método guía

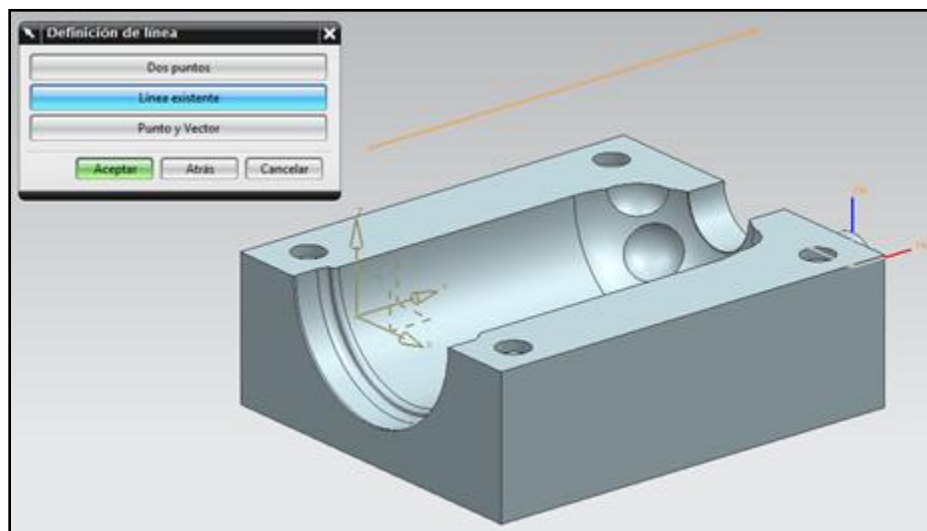


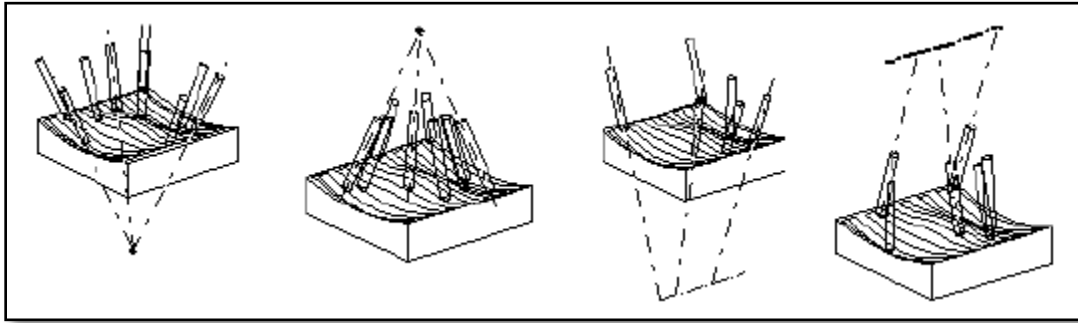
Figura 11-31 Definición de eje de herramienta

Los ejes de herramienta de VARIABLE\_CONTOUR pueden agruparse en función de la geometría que determina el eje de la herramienta. La elección del eje de la herramienta depende del método guía que se elija. Por ejemplo, el método de área de superficie permite especificar 4 y 5 ejes de herramienta, posiciones que no están disponibles mediante cualquier otro método. La tabla siguiente muestra los diversos métodos con el eje de la herramienta admisible:

**Tabla 11-3** Eje de herramienta disponible según método guía

Eje de hta.	Métodos guía						
	Curva /punto	Espiral	Límite	Área de superficie	Línea aerodinámica	Trayectoria para hta.	Corte radial
Alejado del punto	•	•	•	•	•	•	•
Hacia punto	•	•	•	•	•	•	•
Alejado de la línea	•	•	•	•	•	•	•
Hacia la línea	•	•	•	•	•	•	•
Relativo al vector	•	•	•	•	•	•	•
4 ejes normal a la pieza	•	•	•	•	•	•	•
4 ejes relativos a la pieza	•	•	•	•	•	•	•
4 ejes dobles en la pieza	•	•	•	•	•	•	•
Interpolar	•	•		•	•		
Guía de virutas				•	•		
Optimizado para guiar				•	•		
Normal a la guía				•	•		
Relativo a la guía				•	•		
4 ejes normales a la guía				•	•		
4 ejes relativos la guía				•	•		
4 ejes duales a la guía				•	•		

Cuando se elige el eje de herramienta de tipo punto o línea se pueden crear movimientos en cuatro o cinco ejes. En la siguiente imagen se muestra el tipo de movimiento realizado por cada uno en orden de mención. Para crear movimientos en cinco ejes se usan los ejes de herramienta alejado del punto y hacia punto. Para movimientos en cuatro ejes se usan los ejes de herramienta alejado de la línea y hacia la línea.





**Figura 11-32** Eje de herramienta de tipo punto o línea

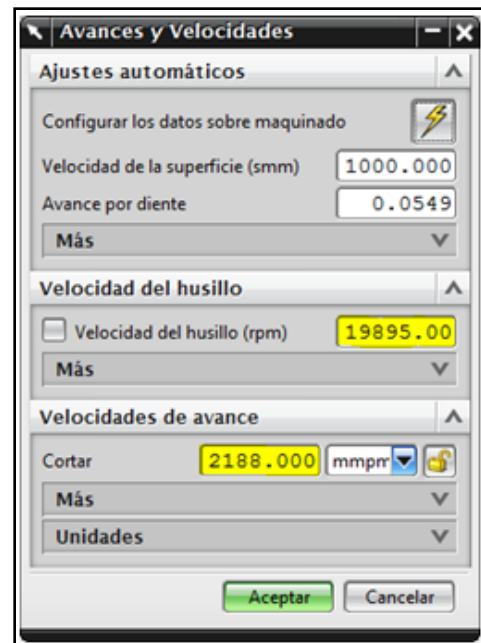
Alejado y hacia se refiere a la dirección de un vector. Debe prestarse atención a la configuración del equipo, amarre y cantidad de oscilación o inclinación de la mesa y/o cabezal al seleccionar el tipo de eje de herramienta.

Por último se ingresarán los mismos valores de avance y velocidad de corte que en la operación anterior.

$$n = 19,894.4 \text{ rpm} \quad V_f = 2,188.38 \text{ mm/min}$$

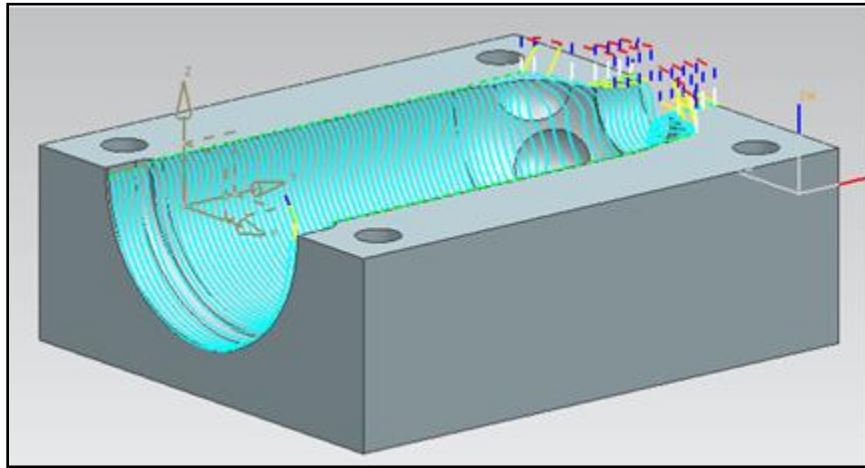
Éstos valores se definen dando clic en el ícono de avances y velocidades . Donde se desplegará una ventana como la de la imagen 11-33 y los valores se ingresan en las casillas correspondientes a *velocidad del husillo* y *velocidades de avance*, resaltadas en amarillo, verificando que las unidades sean las deseadas. Al finalizar se presiona Aceptar para regresar a la ventana de parámetros de la operación.

Para terminar se da clic en el ícono de generar trayectoria , localizado en el área de acciones.




**Figura 11-33** Definición de velocidades

De esta forma el programa calculará las trayectorias de herramienta de acuerdo a los parámetros de la operación. Una vez terminados los cálculos, la trayectoria es representada en pantalla (fig. 11-34). Y se da clic a Aceptar.

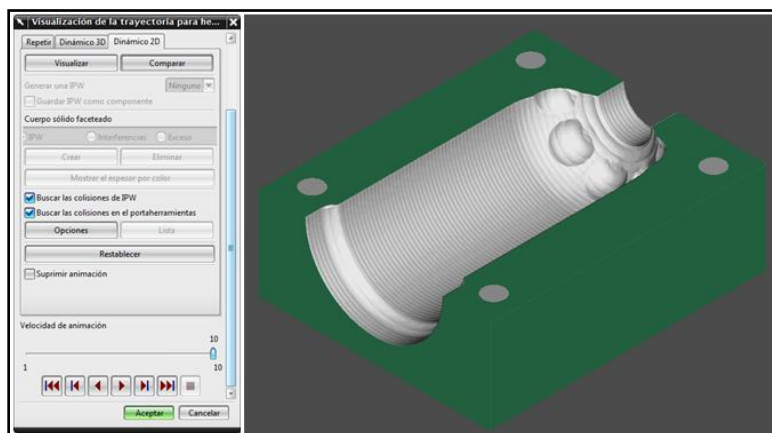


**Figura 11-34** Trayectoria de herramienta

Se realiza una verificación rápida de las trayectorias del programa, para esto se sitúa el cursor encima de PROGRAM y se pulsa el botón derecho para activar el menú emergente y seleccionar la opción Trayectoria para herramientas → Verificar.

Al activar dicha opción aparecerá una nueva ventana donde se selecciona la pestaña *dinámico en 2D*. Al contar con una buena vista se pulsa el botón *reproducir* . Se podrá apreciar que se simulan las dos operaciones listadas en el orden de creación.

Al realizar la comparación de la nueva operación, se puede apreciar que el material excedente ha disminuido gracias al tipo de acabado realizado tal como se muestra en la figura 11-35.



**Figura 11-35** Comparación rápida

Para que se pueda dar por terminado el maquinado del molde, es necesaria una última operación de acabado.

Se utilizará el tipo de operación *mill\_multi-axis*, bajo el programa PROGRAM, y en ésta ocasión se usara la herramienta BALL\_MILL\_D8, la geometría usada será WORKPIECE y el método MILL\_FINISH. El nombre con el que se identificará la operación será ACABADO CAVIDAD. Todo como se indica en la figura 11-36.

Todos los pasos a seguir serán iguales que en la operación anterior, con la excepción de las velocidades de giro y de avance, y la altura de cresta.

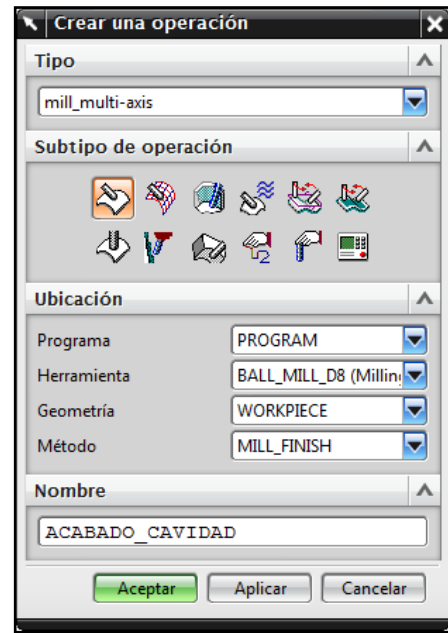


Figura 11-36 Creación de operación

Para la altura de cresta una vez que se está dentro de la selección de la geometría guía y se ha seleccionado la base del molde, la dirección y el patrón de corte, y la pasada tipo cresta; la altura de cresta para esta operación será de 0.01 milímetros, tal como se muestra en la figura 11-37.

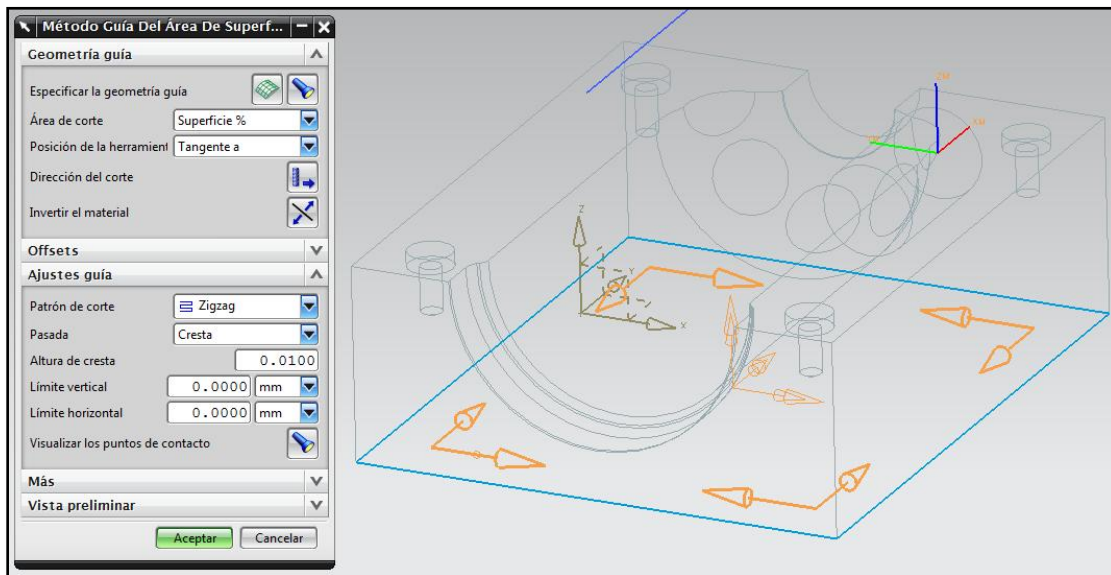


Figura 11-37 Definición de método guía

Para las nuevas velocidades de avance y de corte, se calcularán e ingresarán usando nuevamente las tablas creadas por el proveedor de herramientas (Tabla 11-2).

Se busca la velocidad recomendada por el tipo de material a maquinar, en este caso como se mencionó en la sección 11-3 el material seleccionado es un aluminio 7050 (dureza 75-150 HB), por lo tanto se busca bajo la sigla “N” código ISO para el aluminio y se toma el valor rodeado del rectángulo verde ( $V_c = 1300$  m/min). Este valor sirve para calcular la velocidad del husillo (S) con la siguiente formula:

$$n = \frac{1000 \cdot V_c}{\pi \cdot D_c} \quad \begin{array}{l} V_c = \text{Velocidad de tabla} \\ D_c = \text{Diámetro de la hta.} \end{array}$$


$$n = \frac{1000 \cdot 1300}{\pi \cdot 8} \rightarrow n = 51,725.4 \text{ rpm}$$


Una vez obtenida la velocidad de giro se procede a obtener la velocidad de avance (F) con la siguiente formula:

$$V_f = n \cdot f_z \cdot Z_n$$

Donde  $f_z$  es el avance por diente obtenido de la tabla inferior, donde el valor se encuentra rodeado del rectángulo verde ( $f_z = 0.114$ ) y  $Z_n$  es el número de filos de la herramienta, el cual se puede obtener de los datos del cortador en la sección 11-4 ( $Z_n = 2$ ). Sustituyendo los datos en la formula se obtiene el siguiente resultado.

$$V_f = 51,725.4 \cdot 0.114 \cdot 2 \rightarrow V_f = 11,793.4 \text{ mm/min}$$

Una vez obtenidos estos valores se ingresan dando clic en el ícono de avances y velocidades . Donde se desplegará una ventana como la de la imagen 11-38 y los valores se ingresan en las casillas correspondientes a *velocidad del husillo* y *velocidades de avance*, resaltadas en amarillo, verificando que las unidades sean las deseadas. Al finalizar se presiona Aceptar para regresar a la ventana de parámetros de la operación.

Para terminar se da clic en el ícono de generar trayectoria , localizado en el área de acciones. De esta forma el programa calculará las trayectorias de herramienta de acuerdo a los parámetros de la operación.

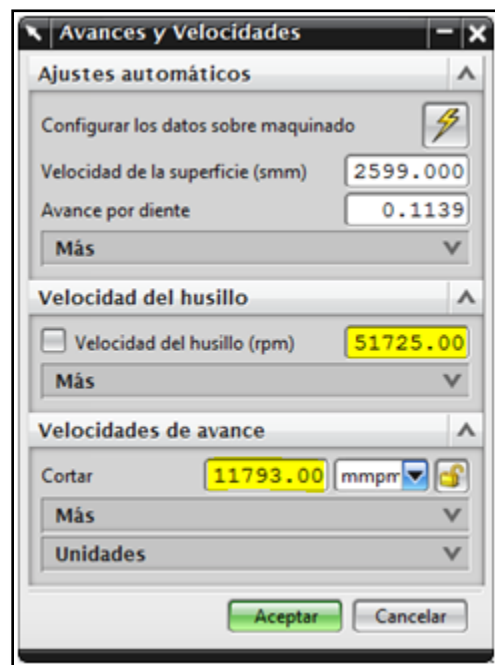
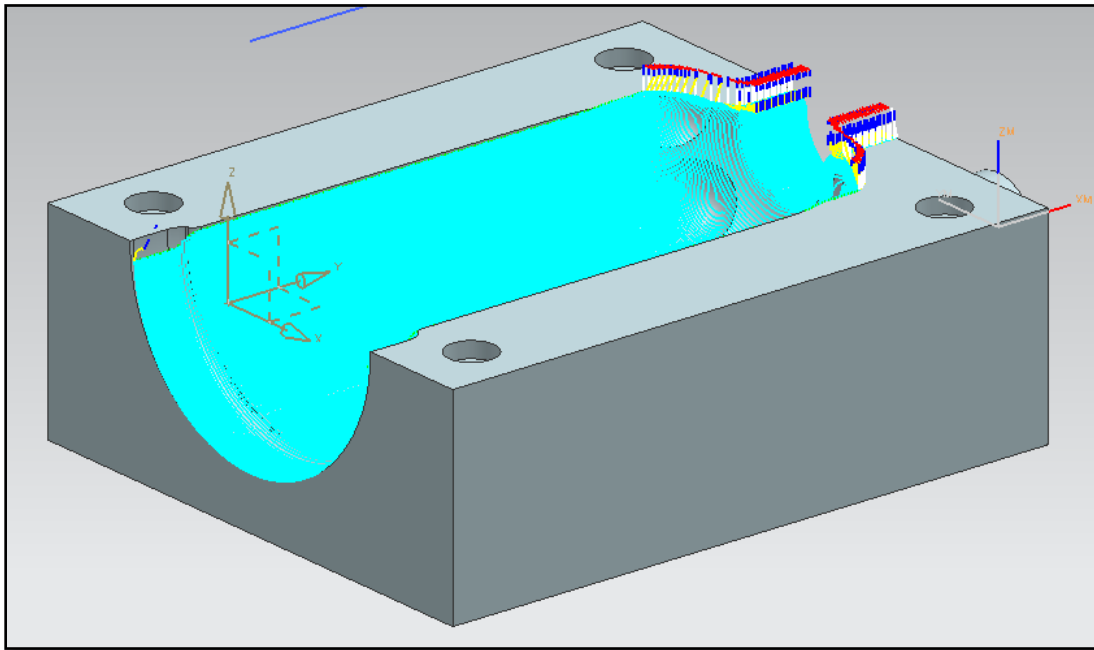


Figura 11-38 Definición de velocidades

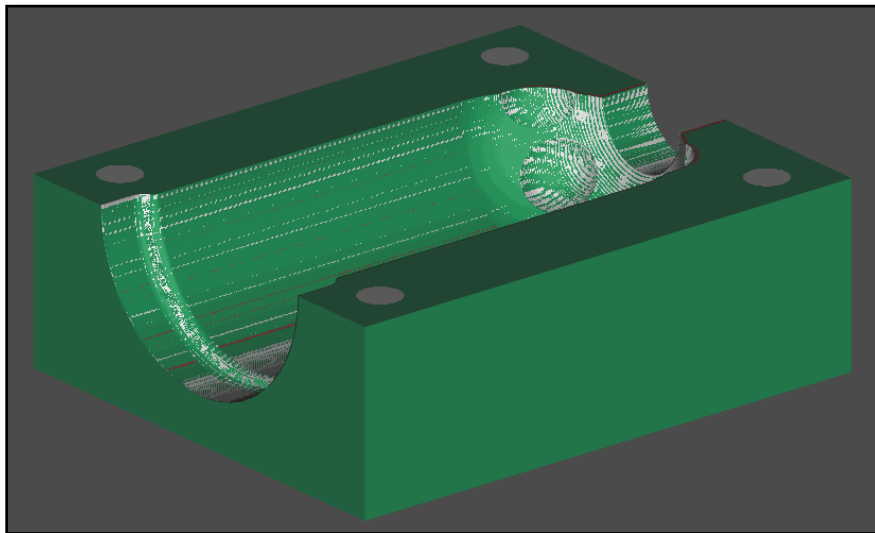


Una vez terminados los cálculos, la trayectoria es representada en pantalla (fig. 11-39). Se da clic a Aceptar.



**Figura 11-39** Trayectoria de herramienta

Para terminar con el mecanizado del molde, se realiza una verificación rápida de las trayectorias del programa y se efectúa la comparación de la nueva operación. Donde se observa que se ha llegado a la forma deseada, gracias al tipo de acabado realizado tal como se muestra en la figura 11-40.



**Figura 11-40** Comparación rápida



## 12. Simulación

Dentro del menú de *Trayectorias para herramientas* existe una opción llamada *Simular*, la cual se trata no de simular la trayectoria de la herramienta, como se ha visto en los casos anteriores, sino que corresponde a la simulación completa de la máquina herramienta, simulando no sólo el movimiento de la herramienta sino el movimiento de toda la máquina.

Esta función constituye el bloque que NX denomina ISV (Integrated Simulation and Verification). La cual permite que los programadores verifiquen sus programas antes de enviarlos al taller. Esto puede reducir el tiempo de prueba de la máquina herramienta y permite que los programadores optimicen su proceso de maquinado.

En la mayoría de los sistemas CAM el movimiento de los modelos de la pantalla 3D se acciona a partir de la trayectoria interna de la herramienta y no de la salida del postprocesador. Esta forma de simulación dirigida por la trayectoria básica de la herramienta es útil para una revisión simple de una estrategia de maquinado, pero no es lo suficientemente completa ni precisa para una plena validación de programa de NC. Para enfrentar esto muchas empresas han comprado software de simulación de máquina herramienta autónomos para usarlos fuera del sistema CAM. El costo de comprar y mantener estas aplicaciones de terceros separadas puede ser significativo.

También exige la traducción de datos y la duplicidad de toda la configuración de la máquina ya que se trabaja entre los diferentes paquetes de software. Con NX se tiene la opción de usar la simulación de máquina herramienta completamente integrada, esta simulación está dirigida por la salida del código G del postprocesador NX. Así mismo no hay necesidad de traducir ni duplicar datos. A esto se le llama simulación dirigida por código G integrada.

NX usa el postprocesador correspondiente a la máquina seleccionada e inmediatamente prepara la salida del código G para dirigir la simulación. Puede buscar errores como colisiones o infracciones del límite de desplazamiento.

Los modelos 3D de máquina herramienta se crean mediante funciones de modelado de NX CAD estándar. La opción de creador de máquina herramienta permite agregar la cinemática completa de la máquina en el modelo 3D incluidos los ejes, los límites de desplazamiento, etc.

Las máquinas se componen de un modelo gráfico (el dibujo de la máquina), un modelo lógico (el modelo de ejes y articulaciones), un postprocesador (para procesar las trayectorias) y un controlador numérico virtual (VNC) para traducir las instrucciones de código máquina en movimientos de los distintos elementos de la máquina.

NX tiene integrado una serie de máquinas de demostración que se pueden utilizar para aprender el funcionamiento de la utilidad de simulación y también utilizar como modelo guía para desarrollar la propia. Los modelos de máquina herramienta se encuentran dentro de la carpeta *mach\resource\library\machine\installed\_machines* del directorio de instalación de NX.

### 12-1. Introducción a la generación de máquinas

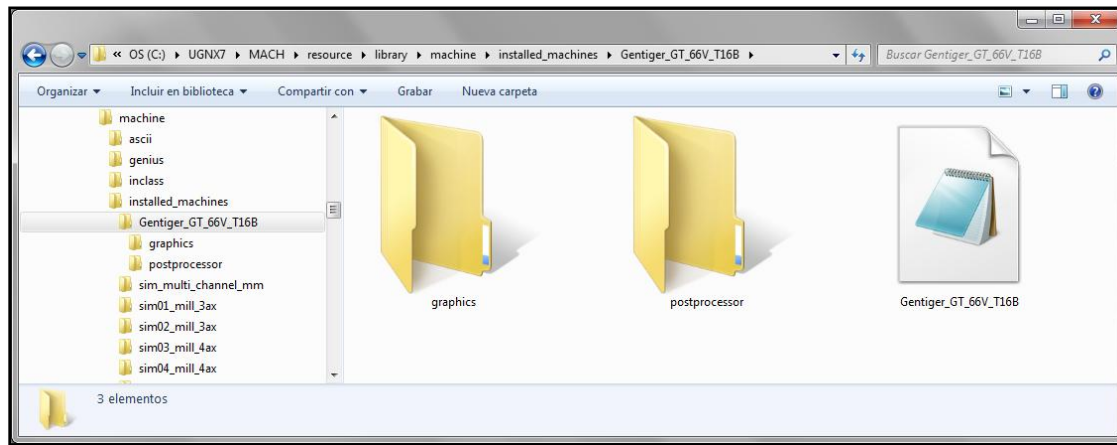
En la presente sección de la tesina se creará una máquina herramienta a partir de un modelo creado con anterioridad y que tiene una similitud, en cuanto a tipos de movimientos, al centro de maquinado de cuatro ejes Gentiger GT-66V-T16B (fig. 12-1).



Figura 12-1 Centro de maquinado Gentiger

En primer lugar hay que observar una serie de condiciones. Una máquina, deberá desarrollarse teniendo en cuenta una serie de condicionantes. En primer lugar, se elige un nombre para la máquina que no contenga ni acentos ni “Ñ” ni caracteres extraños. El nombre elegido para esta máquina será *Gentiger\_GT\_66V\_T16B*.

En la carpeta `mach\resource\library\machine\installed_machines` se tiene que crear una carpeta con el nombre elegido. Dentro de dicha carpeta se debe crear una carpeta con el nombre *GRAPHICS* que contendrá los dibujos que representan la máquina y otra con el nombre *POSTPROCESSOR* que contendrá los ficheros del postprocesador.



**Figura 12-2** Directorio de la máquina

Dentro de la carpeta principal, tal como se muestra en la figura 12-2, se tiene que crear un fichero de texto que identifica la localización de la máquina. Es indispensable que el fichero tenga exactamente el mismo nombre que la carpeta y que la extensión sea *dat*. El contenido se muestra a continuación, pero teniendo en cuenta que la estructura siempre es la misma, se puede copiar de cualquier otro de los ficheros *dat* correspondientes a una máquina de ejemplo y editar el contenido para adaptarlo a la máquina a crear.

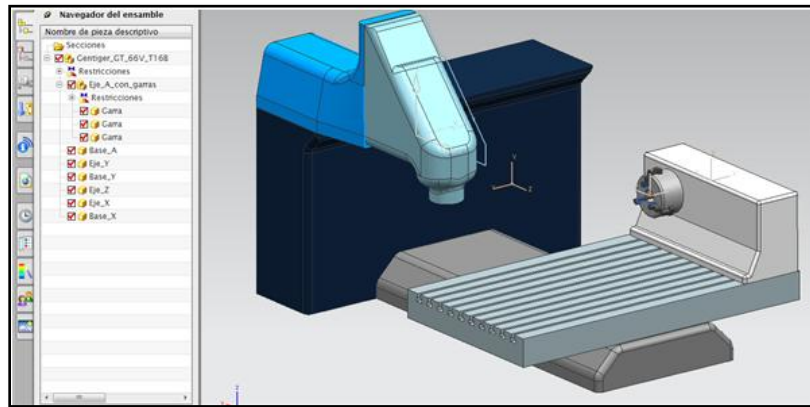
El texto a ingresar dentro del archivo *dat* es el siguiente:

```
Gentiger_GT_66V_T16B,{UGII_CAM_LIBRARY_INSTALLED_MACHINES_DIR}Gentiger_GT_66V_T16B\postprocessor\Gentiger_GT_66V_T16B.tcl,{UGII_CAM_LIBRARY_INSTALLED_MACHINES_DIR}Gentiger_GT_66V_T16B\postprocessor\Gentiger_GT_66V_T16B.def
```

La otra condición a seguir es que dentro de la carpeta *graphics*, que es donde se ubicarán los ficheros de modelos de la máquina (ensamble), el fichero principal también ha de llamarse como la carpeta, es este caso el fichero principal será *Gentiger\_GT\_66V\_T16B.prt*

El modelo gráfico (ensamble) está formado por el fichero *Gentiger\_GT\_66V\_T16B.prt*, el subensamble *Eje\_A\_con\_garras.prt* y otros componentes.

Se abre el fichero padre *Gentiger\_GT\_66V\_T16B.prt* (fig. 12-3) que es donde se tiene el modelo del centro de maquinado como componente y en donde se definirán los elementos del modelo lógico.



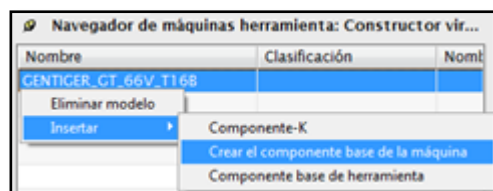
**Figura 12-3** Modelo gráfico del centro de maquinado

Para iniciar con la definición del modelo lógico se selecciona la orden Iniciar → Todas las aplicaciones → Constructor virtual de máquinas herramientas. El cual permitirá entrar en una aplicación específica donde se podrán generar los datos necesarios para obtener un modelo lógico del ISV.

## 12-2. Definición de componente base de la máquina

Necesariamente, el primer paso consiste en definir el componente base de la máquina. Se trata del primer elemento, generalmente la bancada, que ha de ser fijo y respecto al cual se referenciarán los movimientos. Para ello, se va al navegador de máquinas herramienta y se sitúa el cursor sobre el elemento máquina, en este momento NO\_NAME y se pulsa F2 en el teclado para ingresar el nombre GENTIGER\_GT\_66V\_T16B.

Seguidamente, se accede al menú emergente sobre el elemento raíz (GENTIGER\_GT\_66V\_T16B) y seleccionar la orden Insertar → Componente base de la máquina.



**Figura 12-4** Creación del componente base de la máquina

Es muy importante que se genere este elemento en primer lugar, ya que es un elemento especial. Al seleccionar la orden aparecerá una nueva ventana (fig. 12-5). Se pulsa el botón agregar y se marca la BASE\_Y como elemento a agregar. Se pulsa Aceptar para terminar la definición. En el navegador de la máquina herramienta aparecerá el nuevo elemento.

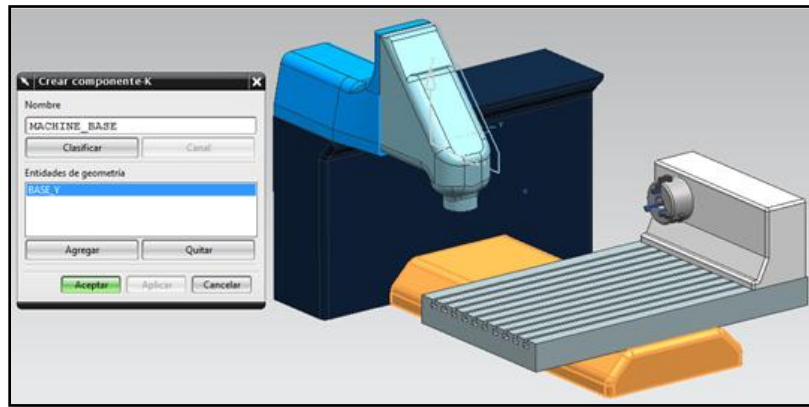


Figura 12-5 Asignación de geometría base

### 12-3. Definición del cero máquina

La máquina necesita la definición de un sistema de coordenadas, una unión que actuará como sistema de coordenadas de referencia para definir los ejes de desplazamiento.

Se sitúa el cursor sobre el elemento MACHINE\_BASE en el navegador de máquina herramienta y se pulsa el botón derecho del ratón para acceder al menú emergente. A continuación se selecciona la opción Uniones.

En la nueva ventana, se pulsa Agregar para definir un sistema de coordenadas. Se desplegará una nueva ventana donde primeramente se asigna a la unión el nombre MACHINE\_ZERO y se pulsa el botón Definir el sistema de coordenadas. Se posiciona el sistema de coordenadas en el centro del eje de giro del cuarto eje.

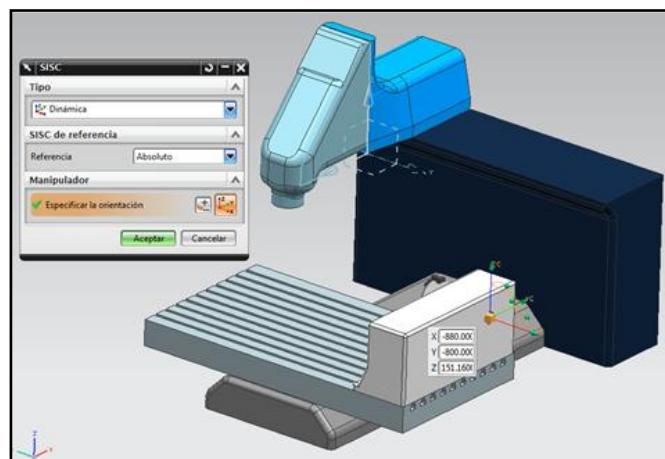
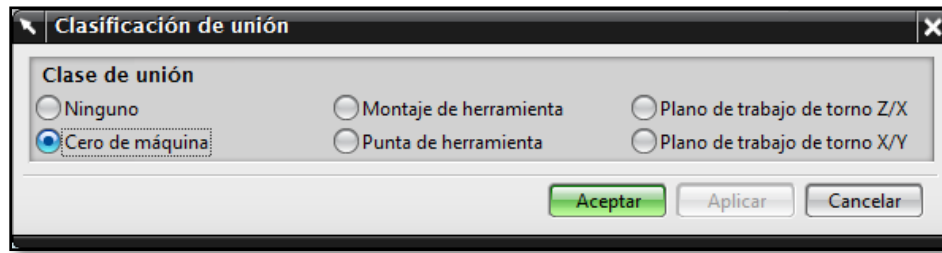


Figura 12-6 Posición del cero máquina

Al volver al cuadro de diálogo, se selecciona el nombre de coordenadas y se pulsa el botón clasificar. Se desplegará una ventana que permite especificar el tipo de unión. Tal como se muestra en la figura, se selecciona el tipo *cero de máquina*.



**Figura 12-7** Clasificación de unión

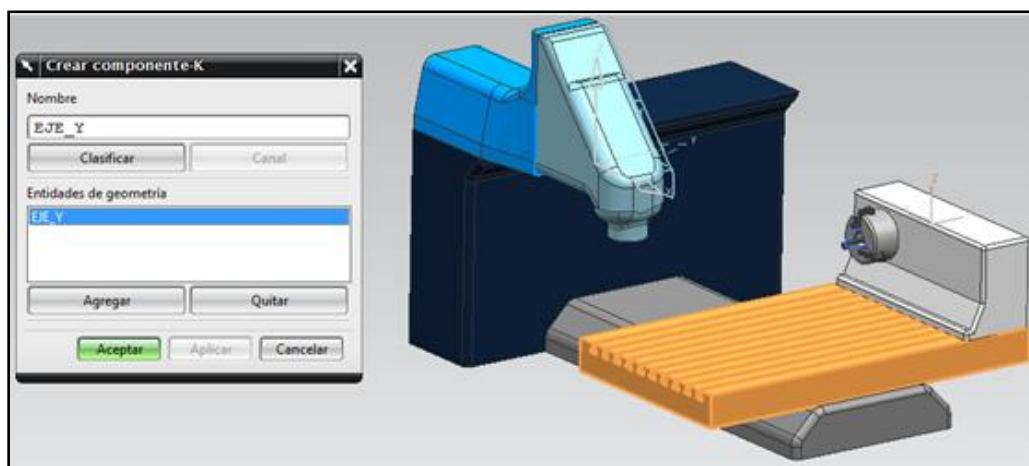
Se pulsa aceptar para finalizar la orden

#### 12-4. Definición del primer eje

Se definirá un componente-K que corresponderá a la geometría que define el movimiento en el eje Y, que es el primero que se encuentra en la cadena cinemática. Una vez que sea determinado, se continuará la definición del eje de movimiento Y.

Se sitúa el cursor sobre el elemento MACHINE\_BASE en el navegador de operación y se despliega el menú emergente, donde se selecciona la opción Insertar→Componente-K.

En el cuadro de diálogo, se asigna el nombre EJE\_Y. Se pulsa agregar y seleccionar la banca que modeliza el eje Y para asignar la geometría correspondiente.



**Figura 12-8** Definición del eje Y



Se sitúa el cursor sobre el elemento EJE\_Y en el navegador de máquina herramienta y se despliega el menú emergente. Se selecciona la orden Insertar → Eje. Al hacerlo se inserta una posibilidad de movimiento respecto a un eje que determinará el movimiento del elemento que contiene el eje y sus hijos, formando así los diversos eslabones de una cadena cinemática.

Lo primero es asignar un nombre al eje. El nombre es muy importante, ya que el enlace entre la animación y el modelo de simulación se hace a través de los nombres de los ejes. En este caso, se asigna el nombre Y, (si no se le da ese nombre la simulación no funcionará). Seguidamente se selecciona una unión (sistema de coordenadas) que definirá el movimiento del eje definido.

Se selecciona el eje de la unión que definirá el movimiento, puede ser de traslación o rotación alrededor de los ejes X, Y o Z (de la unión seleccionada), no del sistema de coordenadas de trabajo. En este caso el movimiento será de traslación y definido según el eje -Y (sentido negativo porque un desplazamiento de la pieza en el eje -Y significa que la herramienta avanza en el eje Y).

A continuación aparece una casilla que marca si el eje definido es de control numérico o no. NX puede gestionar múltiples ejes de movimiento, pero de ellos sólo cinco pueden ser de control numérico, es decir, que directamente determinen la posición y orientación de la herramienta. Esos cinco ejes son fáciles de gestionar en simulación ya que NX suministra plantillas de programación, mientras que los ejes adicionales que se declaran, se tienen que codificar de forma manual. Los ejes que no son de control numérico suelen utilizarse para modelizar elementos tales como ejes externos, elementos divisores, etc.

Seguido se definen los rangos de movimiento del eje. En este caso se define la posibilidad de movimiento de 0 a -380 milímetros. Los controladores del final de la ventana sirven para probar el movimiento, permitiendo llevar el elemento a una posición específica.

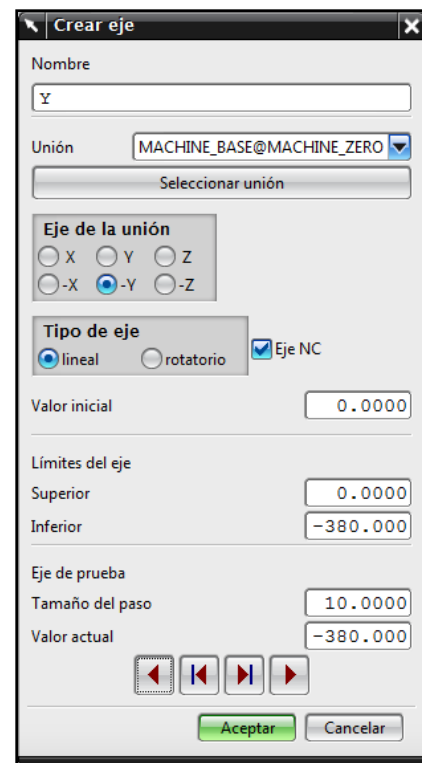
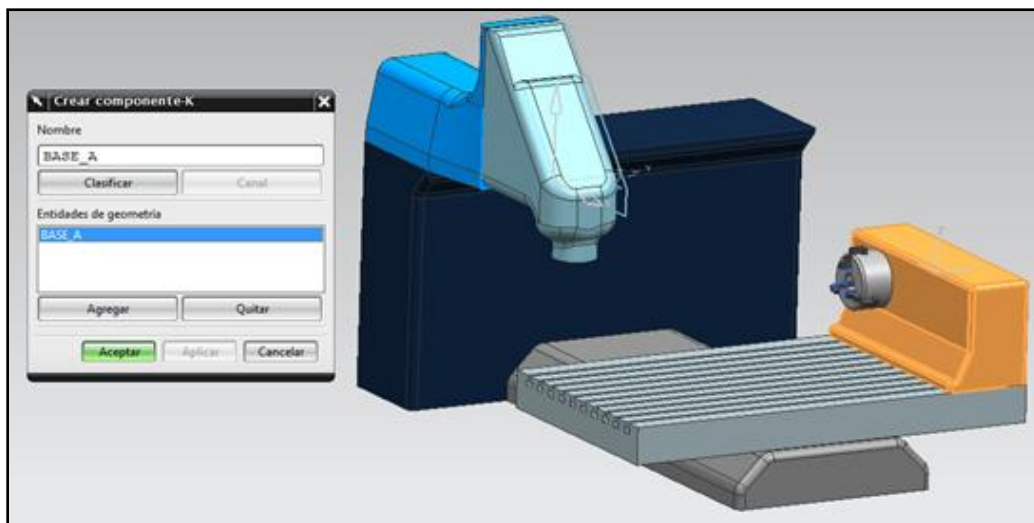


Figura 12-9 Parámetros de movimiento

## 12-5. Definición del segundo eje

A continuación se definirá el segundo eje de la máquina, que en este caso será el eje A. Ya que el eje se encuentra sobre una base apoyada sobre la mesa, es necesario que primero se defina la base para después asignar el eje.

Se sitúa el cursor sobre el elemento EJE\_Y en el navegador de máquinas herramienta y se despliega el menú emergente para seleccionar la opción Insertar → Componente-K. Al igual que en casos anteriores, aparecerá una nueva ventana donde se podrá asignar el nombre al componente y agregar una geometría al mismo. Tal como muestra la figura 12-10, se le asigna el nombre BASE\_A y como elemento de geometría se selecciona el elemento situado sobre la banca, es decir, el elemento que está resaltado en la figura.



**Figura 12-10** Definición de la base para el eje A

Una vez completados estos pasos se pulsa aceptar para finalizar la definición y terminar la orden.

Como se mencionó anteriormente es necesario definir una cadena cinemática, es por esta razón que primero se tiene que definir la base en la cual rotará el eje A la cual está ligada al movimiento del eje Y.

Ahora se procede a definir el eje A, para esto se coloca el cursor sobre el nuevo elemento creado BASE\_A y se despliega el menú emergente para agregar la opción Insertar → Componente-K.

Se le asigna el nombre EJE\_A y como elemento de geometría se selecciona el elemento situado sobre la base, es decir, el elemento que está resaltado en la figura.

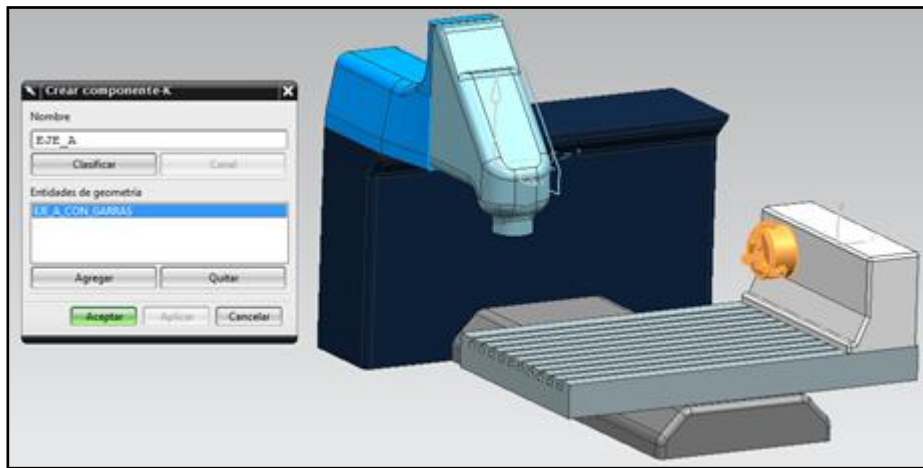


Figura 12-11 Definición del eje A

Por último en este apartado, se necesario definir el eje, que en este caso será el A. se sitúa el cursor sobre el elemento EJE\_A y en el menú emergente seleccionar la orden Insertar → Eje.

En este caso el nombre del eje será A, se desplazará según la única unión que se tiene definida, el eje de la unión que determinará el movimiento será el -X, el tipo de eje será rotatorio y se activa la casilla de Eje NC.

Se deshabilita la opción de límites del eje para que el sistema de rotación no tenga límites. Todo esto tal como se muestra en la figura 12-12.

Una vez ajustados todos los datos se pulsa aceptar para finalizar la definición.

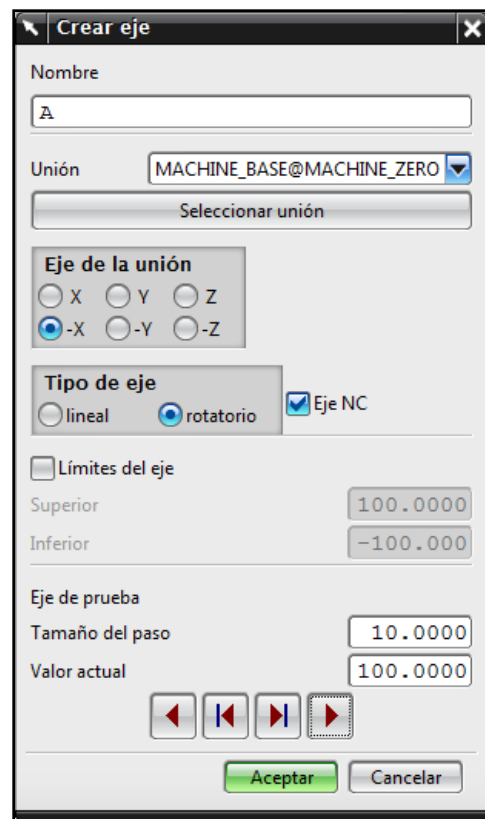


Figura 12-12 Parámetros de movimiento

## 12-6. Definición del setup

El setup es una estructura de datos formada por tres campos que modeliza el conjunto sistema de amarre, pieza y tocho. Se trata de un estructura jerárquica compuesta por cuatro componentes K.

Según interese definirlo puede que ninguno de los componentes tenga geometría asignada. En este caso, el tocho y la pieza estarán vacíos y el usuario tendrá que asignar la geometría al cargar la máquina. El sistema de amarre serán las garras del subensamble Eje\_A\_con\_garras. Finalmente se insertará una unión que servirá como el montaje de la pieza.

Situar el cursor sobre el elemento EJE\_A en el navegador de máquina herramienta y acceder al menú emergente para seleccionar la opción Insertar → Componente-K. En el cuadro de diálogo, asignar el nombre *setup*. Este elemento no tiene geometría, así que esta vez no se pulsa agregar, sin embargo, es de tipo especial; por lo tanto se pulsa el botón *clasificar* y en el cuadro de diálogo que aparece se marca la casilla correspondiente al tipo *\_SETUP\_ELEMENT*. Se pulsa aceptar hasta finalizar la orden.

Situar el cursor sobre el elemento *SETUP* y seleccionar la orden Insertar → Componente-K del menú emergente. Se crea un elemento de nombre *BLANK*, sin geometría y clasificado con el tipo *\_WORKPIECE*. Aceptar para finalizar la definición.

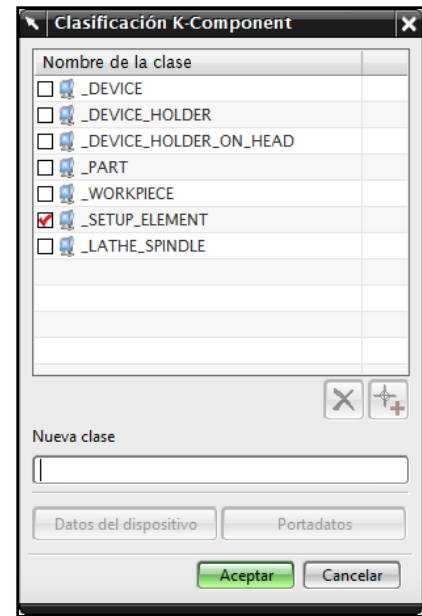


Figura 12-13 Clasificación de componentes

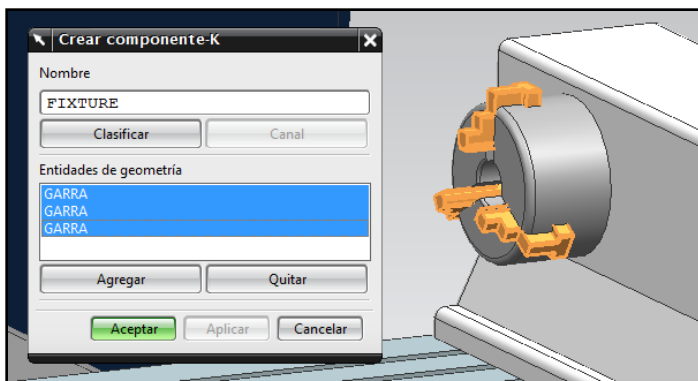


Figura 12-14 Definición de amarre

Situar nuevamente el cursor sobre el elemento *SETUP* y crear un nuevo componente-K de nombre *FIXTURE*, del tipo *\_SETUP\_ELEMENT* y esta vez, como geometría se seleccionan todas las garras dentro del ensamble.

Por último se sitúa el cursor sobre el elemento *SETUP* y se selecciona la orden Insertar → Componente-K del menú emergente.

Se crea un elemento de nombre *PART*, sin geometría y clasificado como el tipo *\_PART*. Aceptar para finalizar la definición.

Tras finalizar la etapa, el navegador de máquina herramienta debe reflejar la estructura mostrada en la siguiente figura.

Nombre	Clasificación	Nombre de eje	Valor inicial	Eje NC	Uniones
GENTIGER_GT_66V_T1 6B					
└ MACHINE_BASE	_MACHINE_BASE				MACHINE_ZERO*
└└ EJE_Y		Y	0	✓	
└└└ BASE_A					
└└└└ EJE_A		A	0	✓	
└└└└└ SETUP	_SETUP_ELEMENT				
└└└└└└ BLANK	_WORKPIECE, _SETUP_E...				
└└└└└└ FIXTURE	_SETUP_ELEMENT				
└└└└└└ PART	_PART, _SETUP_ELEMENT				

Figura 12-15 Definición de SETUP para máquina herramienta

### 12-7. Definición del tercer eje

El eje X en esta máquina es una cadena cinemática distinta, ya que por un lado se mueve la bancada y por el otro el eje X con el cabezal. Para crear el tercer eje, primero se debe crear la base por donde se traslada.

Para esto se sitúa el cursor sobre el componente base de la máquina (*MACHINE\_BASE*) y se despliega el menú emergente, donde se inserta un componente-K de nombre *BASE\_X* y se selecciona a la figura resaltada (fig.12-16).

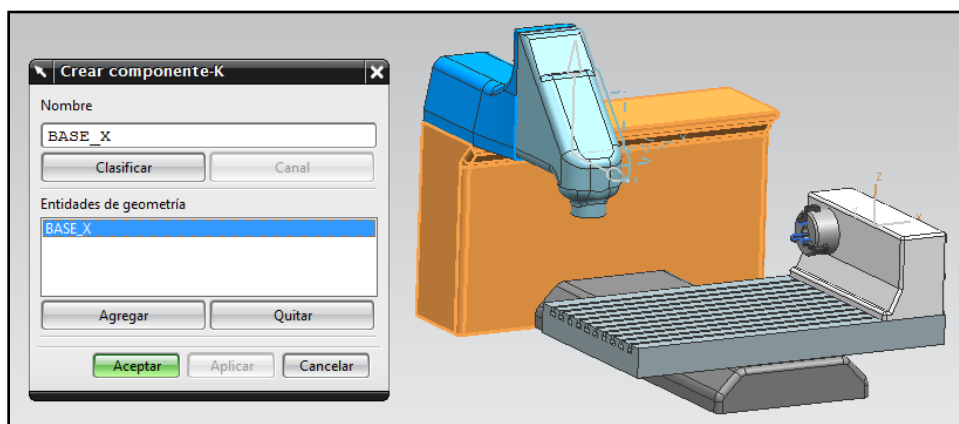
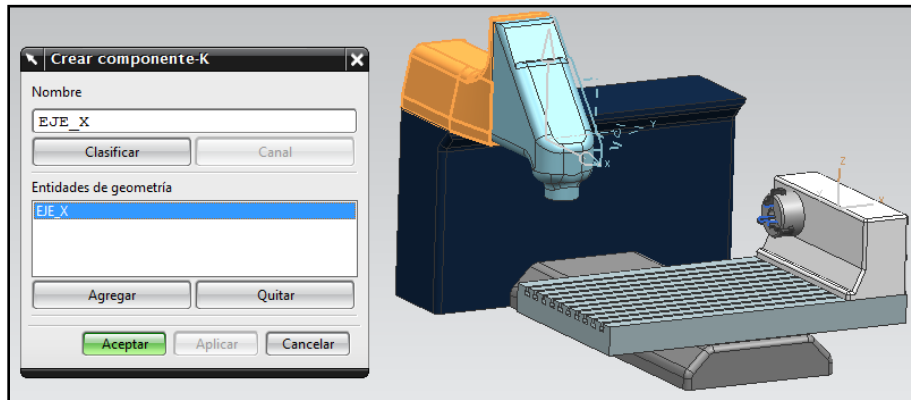


Figura 12-16 Selección de componente-K para la base del eje X

Seguido, se sitúa el cursor sobre el nuevo componente creado (BASE\_X) y se agrega un nuevo componente-K que se llamará EJE\_X. Seleccionando el componente resaltado en la figura.



**Figura 12-17** Selección del eje X

Ahora se sitúa el cursor sobre el EJE\_X, para que se puedan agregar sus movimientos y definir el eje como tal, se despliega el menú emergente y se selecciona la opción Insertar → Eje. Se asigna al eje el nombre de X, al ser ahora la herramienta la que realiza el movimiento el eje de la unión seleccionado será el X positivo. El rango de desplazamiento será de cero a 590 para el superior, tal como se muestra en la figura.



**Figura 12-18** Parámetros de movimiento

## 12-8. Definición del cuarto eje

Para definir el último eje de la máquina herramienta que en este caso será el eje Z, se sitúa el cursor sobre el componente EJE\_X y se inserta un nuevo componente-K de nombre EJE\_Z y como geometría se selecciona la figura resaltada en la siguiente imagen.

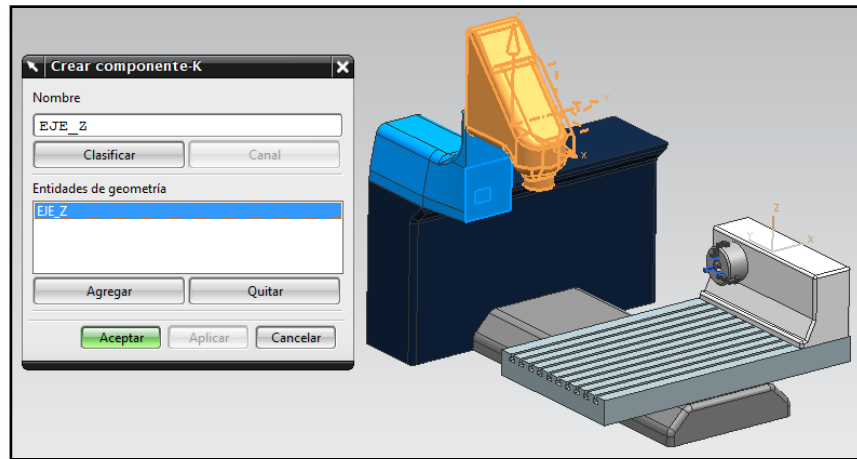


Figura 12-19 Selección del eje Z

Se define el eje como tal posicionando el cursor sobre el nuevo componente agregado (EJE\_Z) y se despliega el menú emergente con el botón derecho del ratón y se selecciona la opción Insertar → Eje Z. Se le da el nombre de eje Z y como es la herramienta la que realiza el movimiento se selecciona Z positivo como el eje de la unión. Por último se agregan los valores 0 y -430 para los límites tal como se muestra en la siguiente figura.

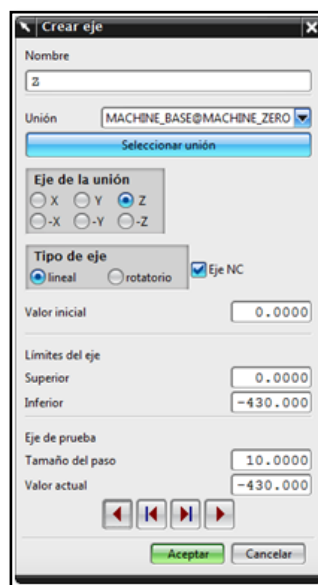


Figura 12-20 Parámetros de movimiento

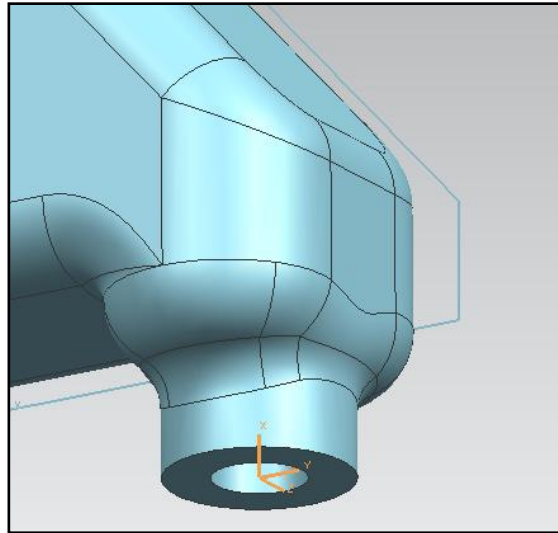
## 12-9. Definición de las uniones

El último paso para poder finalizar la definición de la máquina es la definición de dos uniones (sistemas de coordenadas) adicionales. Uno donde se montará la herramienta y otro para la pieza.

Para insertar la herramienta, se debe tener en cuenta que el punto de montaje de la misma será el origen del sistema de coordenadas (unión) que se defina y la herramienta se ubicará en la dirección del eje  $-X$  de dicha unión.

La unión tiene que desplazarse con el cabezal (EJE\_Z). En el navegador de máquina herramienta se sitúa el cursor sobre el elemento EJE\_Z y se pulsa el botón derecho para que se despliegue el menú emergente y se selecciona la orden *Uniones*.

Aparecerá una nueva ventana vacía con una serie de pulsadores. Se presiona *Agregar*. Aparecerá un nuevo cuadro de diálogo que permitirá asignar un nombre y definir el sistema de coordenadas de la unión. Se asigna el nombre S (de spindle) y se pulsa el botón *Definir sistema de coordenadas*. En la nueva ventana se usa la forma dinámica u otro método equivalente para llevar el sistema de coordenadas hasta el centro de la circunferencia del cabezal de modo que el eje X vaya hacia dentro del mismo, tal como se muestra en la figura.



**Figura 12-21** Unión de montaje de herramienta

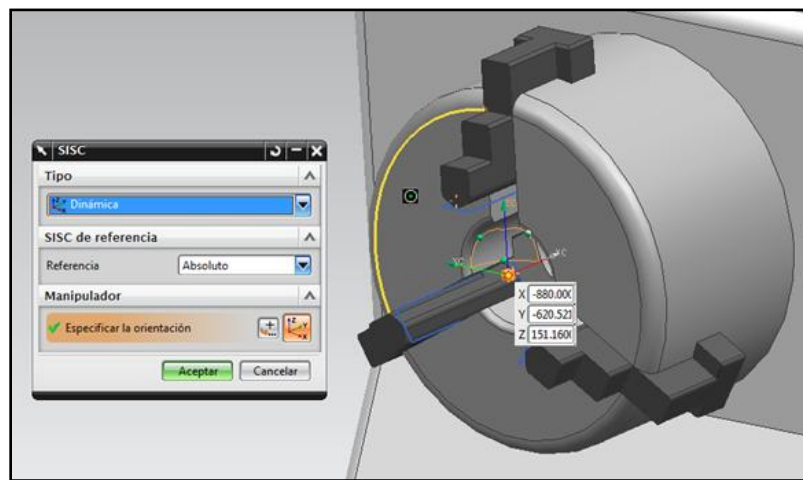
Al presionar aceptar se volverá a la ventana anterior, sólo que ahora la unión S aparecerá en el cuadro de diálogo, seleccionar la unión con el cursor y pulsar el botón *Clasificar* para ajustar su tipo. Dentro de la ventana de clasificación se selecciona la opción *Montaje de herramienta*. Finalmente se pulsa aceptar para finalizar la definición.

Para definir la unión de montaje de la pieza se procederá de forma similar. La unión del montaje de la pieza se coloca sobre el *SETUP*, y se moverá con la bancada y el eje A, por lo tanto la pieza se moverá con ellas.



Se sitúa el cursor sobre el elemento *SETUP* del navegador de máquina herramienta y se accede al menú emergente. Igual que en el caso anterior se selecciona la orden *Uniones*. Y cuando se abra la nueva ventana se pulsa el botón *Crear*.

Seguidamente, en el campo nombre, se introduce el nombre *part\_mount\_jct*. Se trata del acrónimo del inglés part mount junction (unión de montaje de la pieza) y se pulsa el botón *Definir sistema de coordenadas*. Al igual que en el caso anterior se selecciona la forma dinámica u algún otro método equivalente y se mueve el sistema hasta el centro del eje A donde en este caso la orientación será la natural de los ejes de la máquina, tal como se muestra en la figura 12-22, es decir, las direcciones de los ejes X, Y, Z coinciden con los ejes X, Y, Z del sistema de coordenadas absoluto.



**Figura 12-22** Unión de montaje de la pieza

Pulsar aceptar para finalizar la edición hasta finalizar la orden. Para éste tipo de unión no es necesario que se clasifique. Finalmente, la estructura de la máquina será como la mostrada en la siguiente figura.

Nombre	Clasificación	Nombre de eje	Valor inicial	Eje NC	Uniones
GENTIGER_GT_66V_T16B					
MACHINE_BASE	_MACHINE_BASE				MACHINE_ZERO*
EJE_Y		Y	0	✓	
BASE_A					
EJE_A		A	0	✓	
SETUP	_SETUP_ELEMENT				PART_MOUNT_JCT
BLANK	_WORKPIECE_SETUP_E...				
FIXTURE	_SETUP_ELEMENT				
PART	_PART_SETUP_ELEMENT				
BASE_X					
EJE_X		X	0	✓	
EJE_Z		Z	0	✓	S*

**Figura 12-23** Máquina herramienta definida



### 13. Postprocesado

Como se comentó en la sección anterior, para que se pueda realizar la simulación de las trayectorias en una máquina herramienta, ésta debe contar con el modelo gráfico, el modelo lógico y un postprocesador. En este caso se generará un postprocesador muy sencillo que servirá para poder simular la máquina herramienta.

Desde Windows, en el menú de Inicio, ir al grupo de NX y seleccionar la herramienta *Creador virtual de postprocesamiento* tal como muestra la figura.

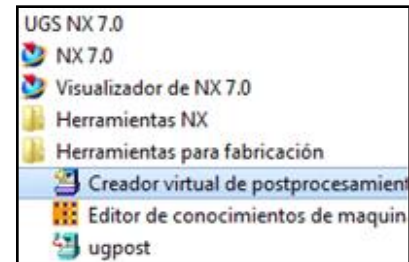


Figura 13-1 Localización del programa para crear el postprocesador

Se cargará el programa y aparecerá el menú principal, donde se crea un nuevo archivo con la opción File → New. Se abrirá una nueva ventana como la de la figura 13-2 en la que se harán los siguientes ajustes. En Post Name (nombre del postprocesador), se ingresará el nombre Gentiger\_GT\_66V\_T16B, en Post Output Unit (unidades de salida), el valor será millimeters (milímetros), se verifica que el tipo de máquina es Mill (fresadora) y el desplegable se encuentra ajustado con la opción 4-Axis with Rotary Table. En el tipo de controller (controlador) se selecciona la opción Generic. En *description* se puede poner el comentario que se quiera y una vez terminado se pulsa OK.

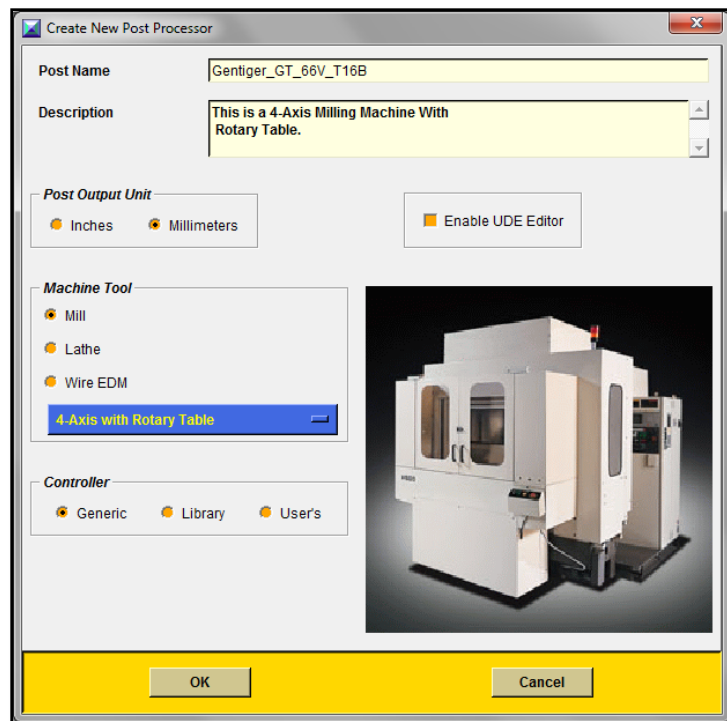
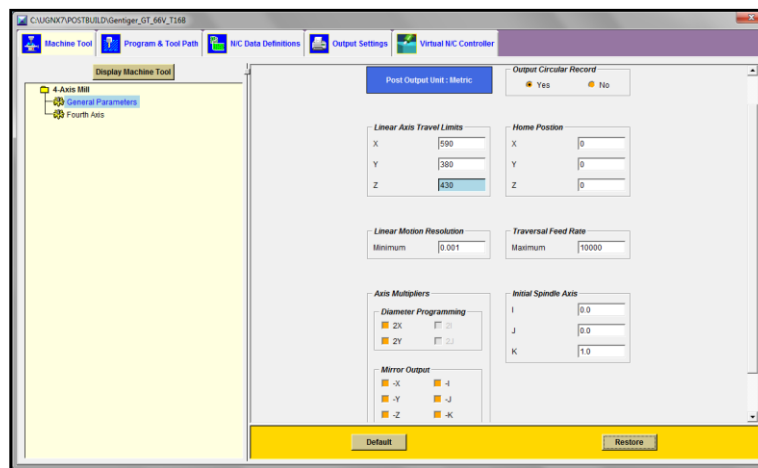


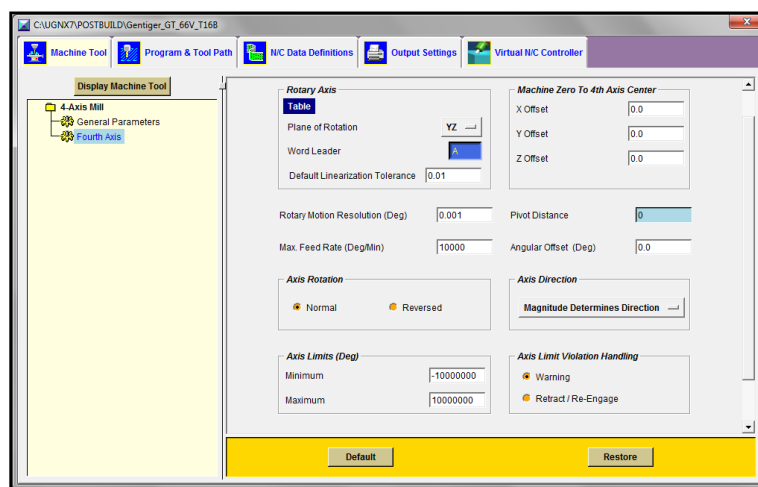
Figura 13-2 Creación del nuevo postprocesador

Aparecerá la ventana principal de trabajo en el *post builder*, la cual se trata de un entorno gobernada por pestañas. Se despliega la pestaña *Machine Tool* que es la que normalmente aparece por defecto y se ajustan una serie de parámetros. Se selecciona la opción *yes* en el área de *Output circular record* para que se permitan trayectorias curvas, si no se seleccionase las curvas se aproximarían mediante rectas. Se ajustan los valores en *Linear axis travel limits* (valores máximos de desplazamiento de los ejes) a 590, 380 y 430 para X, Y, Z respectivamente. El valor *transversal feed rate* es la velocidad la que se mueve la máquina en G0 (movimiento libre). Solo se utiliza para calcular los tiempos de mecanizado.



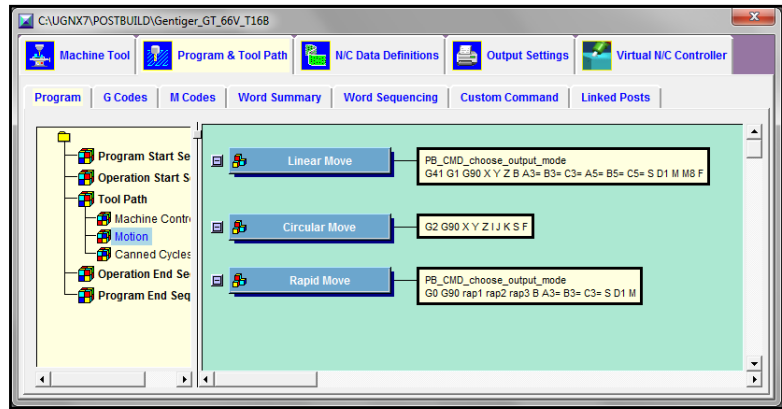
**Figura 13-3** Selección de parámetros generales

Se verifica que en la opción del cuarto eje (*Fourth Axis*) se encuentre con los datos mostrados en la figura siguiente.



**Figura 13-4** Selección de parámetros del cuarto eje

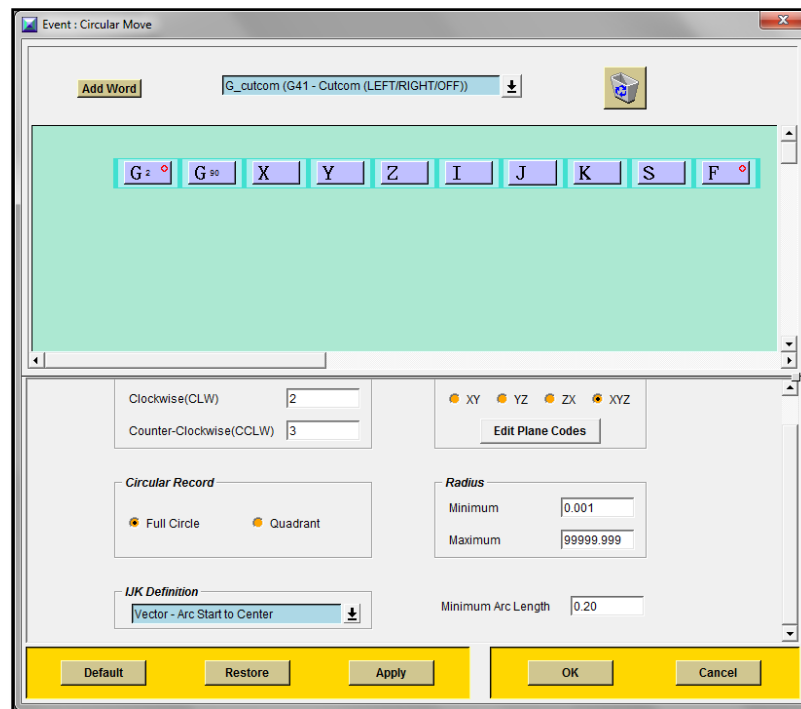
Una vez realizado esto, se abre la pestaña *Program & Tool Path*, esta pestaña contiene una serie de pestañas hijas. Ir a la pestaña *Program* y dar doble clic sobre *Motion* para acceder a los bloques de definición de movimiento.



**Figura 13-5** Definición de movimientos y trayectorias

Doble clic en el elemento *Circular move* (en el área de la derecha) para acceder a la definición del movimiento circular.

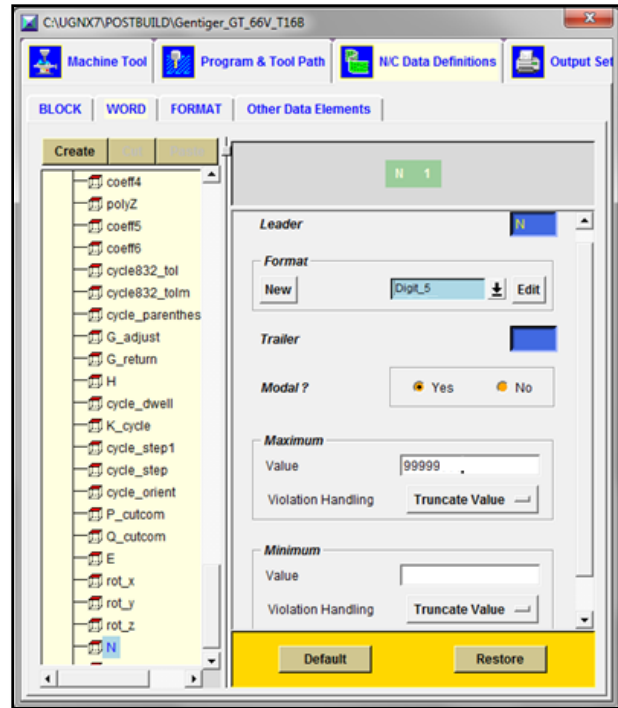
De esta manera se abrirá una nueva ventana como se muestra en la figura 13-5. Se ajusta la salida de *Circular record* a full circle para que sea posible hacer una circunferencia completa con una única orden, y en el desplegable *IJK definition* se selecciona la opción de definición *Vector-Arc start to center*. Se pulsa *Apply* y seguidamente *OK* para finalizar la definición.



**Figura 13-6** Definición de movimientos circulares

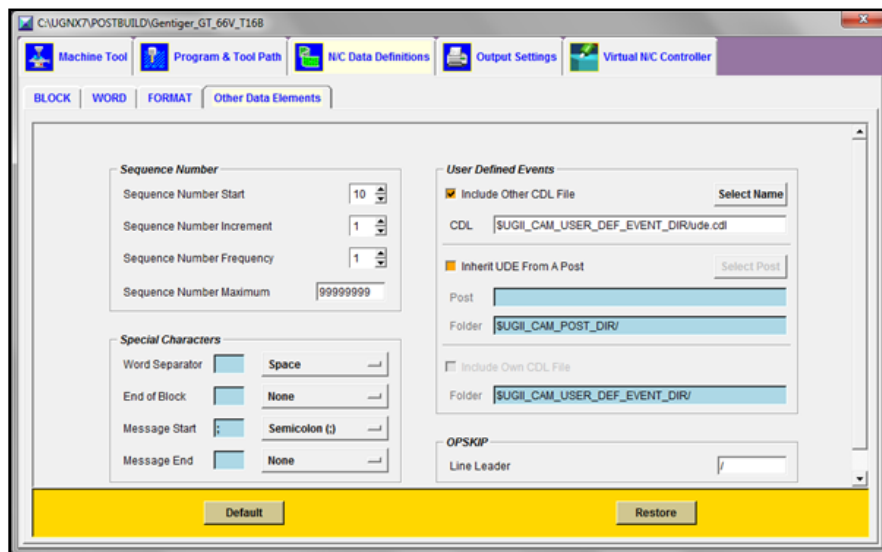
Ahora se despliega la pestaña *N/C data definition* y se selecciona la pestaña hija *WORD*. En la ventana de la parte izquierda se busca el elemento *N* que identifica al dato que sirve para numerar las líneas de código.

Una vez seleccionada, en la ventana derecha, se despliega el elemento de *Format* y se selecciona el elemento *Digit\_5*. En *máximo value* se asigna el valor 99999 (cinco nueves).



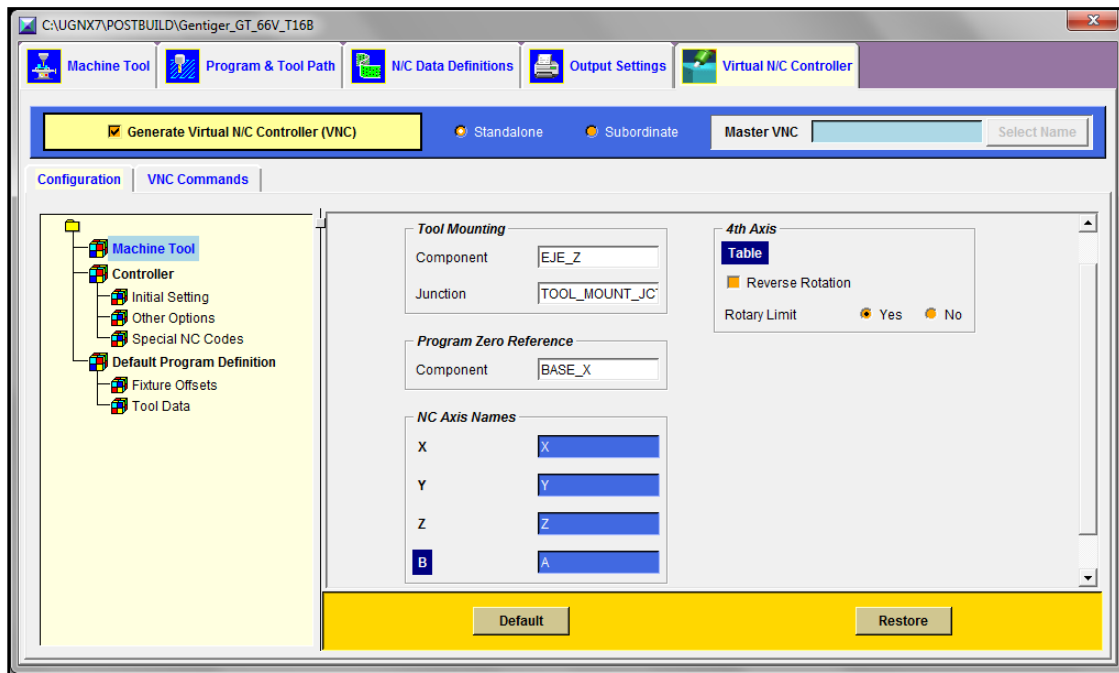
**Figura 13-7** Formato de salida de código

Al finalizar se selecciona la pestaña hija *Other data elements* y en el campo *Sequence number*, que es el que controla la numeración de líneas, se indica el valor de start a 10 para que empiece por diez, el valor de *sequence number increment* se ajusta a 1 para que incremente en uno el valor del número de línea y se ajusta el valor de *sequence number frequency* a uno para que se numeren todas las líneas.



**Figura 13-8** Formato de líneas de código

Se despliega la pestaña Virtual N/C Controller y se marca la casilla Generate Virtual N/C Controller(VNC). Este paso es importante porque activa la generación del código de simulación de la máquina, que va en un fichero adicional. Si no se activa la casilla, no se generará el código necesario para que se simule el movimiento de la máquina.



**Figura 13-9** Activación de controlador virtual

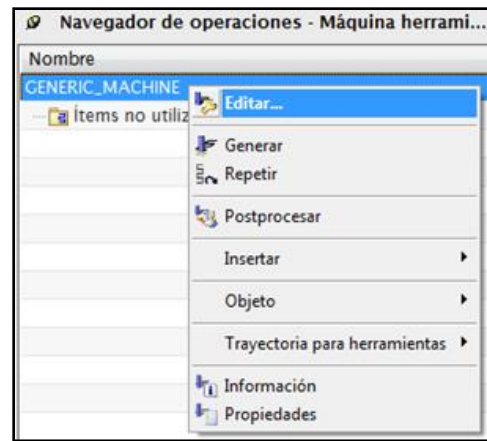
Con esto ya se han hecho las definiciones del postprocesador, para finalizar es necesario que sea guardado. Para ello se selecciona en el menú principal la orden File → Save as y se guarda con el nombre *Gentiger\_GT\_66V\_T16B.pui* en la carpeta destinada para la ubicación del postprocesador cuando se creó la estructura de directorios de la máquina. Una vez guardado ya es posible salir del *post builder*.





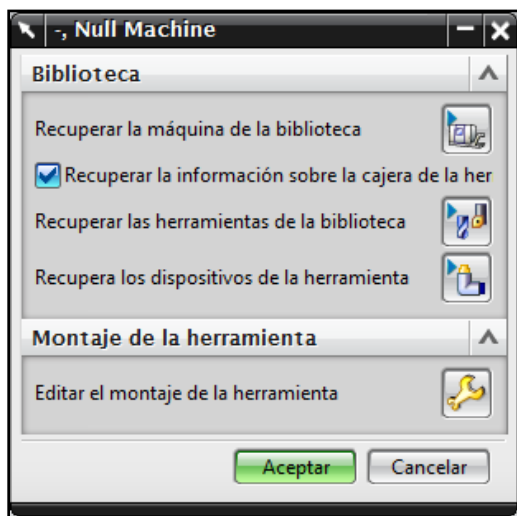


Se inicia la aplicación de fabricación y se activa la vista de la máquina herramienta. Siempre que se realiza un programa, la máquina por defecto es *GENERIC\_MACHINE*. Esto significa que no hay una máquina asignada y si se intenta simular alguna trayectoria se desplegará un mensaje de error. La forma más rápida de cargar una máquina se realiza por medio del menú desplegable. Para ello se sitúa el cursor sobre el nombre de la máquina, en este caso *GENERIC\_MACHINE* y con el botón derecho del ratón se despliega el menú seleccionando la opción *Editar*.



**Figura 14-2** Menú desplegable

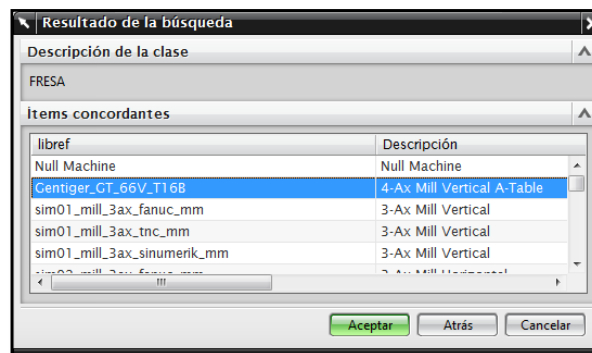
Se desplegará una nueva ventana con una serie de opciones donde se selecciona la primera *Recuperar la máquina de la biblioteca*.



**Figura 14-3** Recuperación de máquina

Con esto se accederá a un sistema de búsqueda donde las máquinas se encuentran filtradas. (MILL para fresadoras, LATHE para tornos, WEDM para corte por hilo, MILLTURN para tornos fresadores y MIXED para híbridas). Al ser instalado NX sólo se encuentran máquinas definidas en MILL y en LATHE.

La máquina creada se encuentra dentro del conjunto MILL por lo tanto se despliega dando doble clic sobre él.

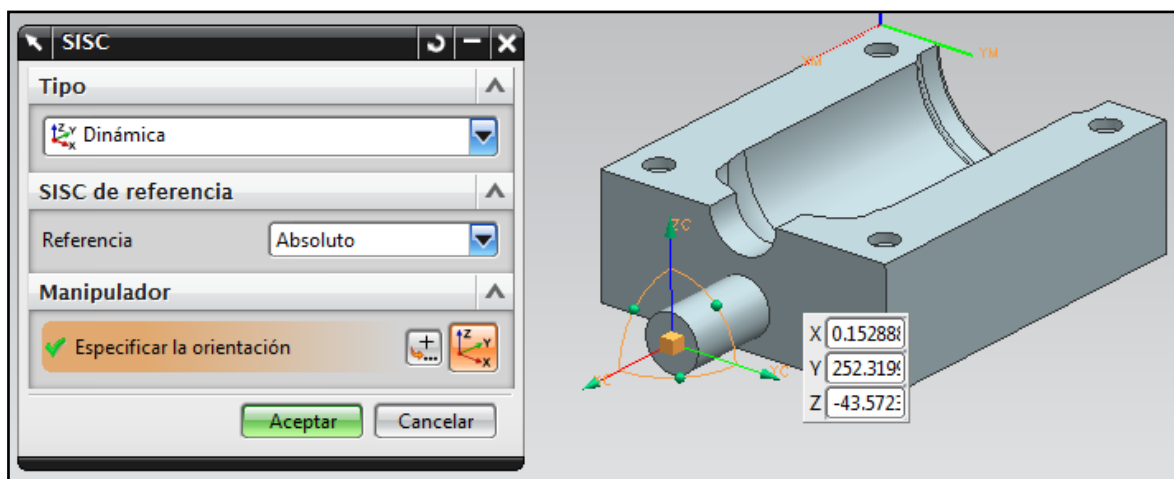


**Figura 14-4** Selección de máquina herramienta

Al principio y al final del listado se repite el mismo elemento *Null\_machine*, el cual sirve para descargar la máquina. Se selecciona la máquina con el nombre antes creado *Gentiger\_GT\_66V\_T16B* y se presiona aceptar (fig. 14-4).

Se desplegará una nueva ventana donde se cuenta con dos posibilidades, si se selecciona la opción por defecto *Usar posición del ensamble*, se tendrá que ajustar la posición de la máquina como en un ensamblaje normal, mediante restricciones y reposicionamiento de componentes. Por el contrario, si se selecciona la opción *Crear unión para ensamblaje de piezas*, se tendrá que generar una unión (sistema de coordenadas) que NX emparejará con la unión de la máquina.

Se selecciona la opción crear unión para el ensamblaje de piezas y aparecerá un nuevo cuadro de diálogo, el cual muestra los diferentes métodos para definir un sistema de coordenadas. Se selecciona alguno de ellos y se posiciona al extremo del centro del eje de sujeción, tal como se muestra en la figura 14-5.



**Figura 14-5** Definición de la unión de montaje de la pieza

Una vez fijadas las opciones se pulsa aceptar. Se creará un sistema de coordenadas en la posición fijada y reaparecerá el cuadro de diálogo anterior. Puesto que se ha definido la unión, se activa la opción usar la unión para el montaje de la pieza como opción por defecto. Se pulsa aceptar y se espera a que finalice la carga de la máquina. Todavía no se encuentra lista para la simulación, es necesaria la definición lógica de la máquina.

El modelo lógico de la máquina, estructura de datos con ejes, articulaciones y algunos elementos adicionales se encuentran accesibles a través del navegador de recursos, más específicamente en la pestaña *navegador de máquinas herramienta*.

Si se despliega dicha pestaña y se expande el árbol de datos se puede acceder a la estructura de la máquina, donde *SETUP* corresponde a la estructura de datos de la pieza. A esta estructura de datos se le tiene que asignar la geometría correspondiente. Para ello se sitúa el cursor sobre *BLANK* (tocho) y se despliega el menú emergente, donde se selecciona la orden Editar → Componente-K. Y se agrega el bloque correspondiente al tocho tal como muestra la figura 14-6. Cuando se encuentre correctamente seleccionado se pulsa aceptar.



Figura 14-6 Definición del tocho

De igual forma se realiza para el elemento *PART*, seleccionando como geometría la pieza a mecanizar.

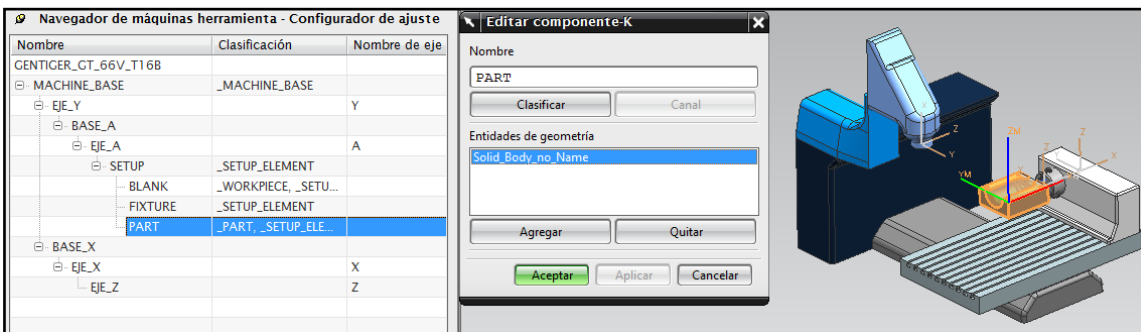
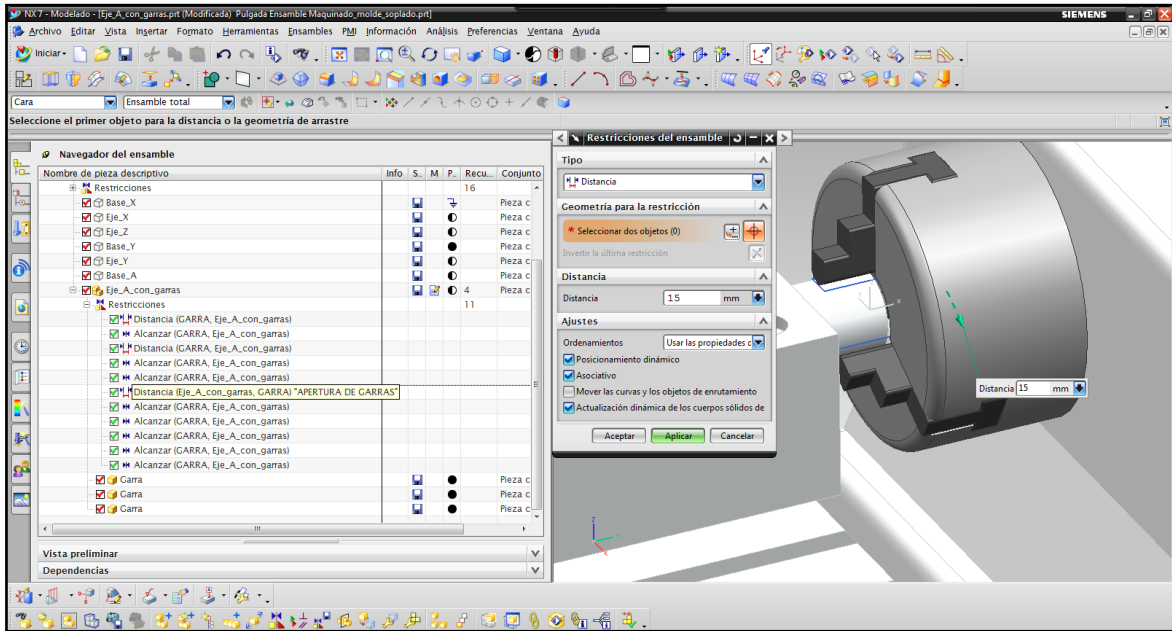


Figura 14-7 Definición del tocho

Una vez efectuados estos pasos, el programa ya se encuentra configurado con todos los datos necesarios para realizar la simulación.

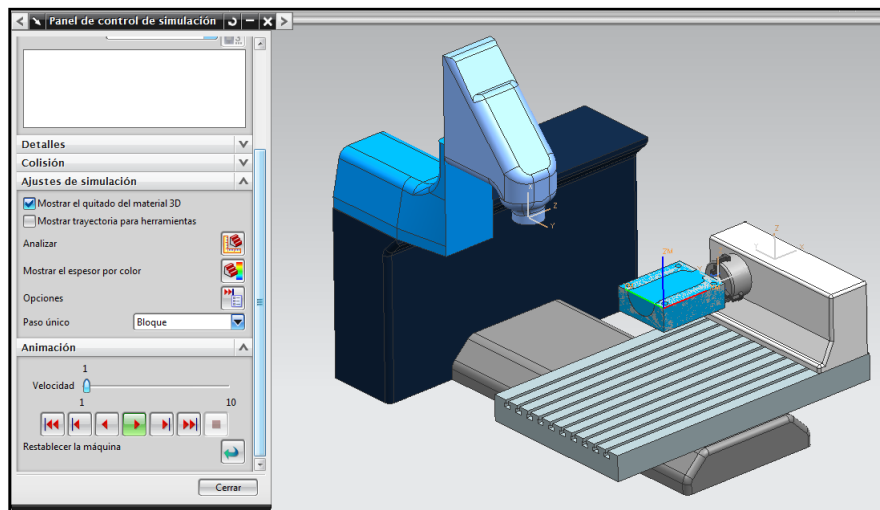
Por último antes de realizar la simulación se ajustarán los valores de apertura de las garras para que la simulación sea más real. En el modo de *Modelado* en la sección de restricciones de *Eje\_A\_con\_garras*, existe una restricción de *Distancia* con el nombre “*APERTURA DE GARRAS*” se presiona doblemente para acceder a las opciones donde se ingresa el radio del eje de sujeción, el cual es de 15 milímetros. Se presiona *Aceptar* para que se realicen los cambios y se vuelve al modo de fabricación.



**Figura 14-8** Definición de apertura de garras


Para realizar la simulación, se va al navegador de pieza en la vista de orden del programa, se sitúa el cursor sobre la carpeta PROGRAM y en el menú emergente se selecciona la orden Trayectoria para herramientas → Simular.

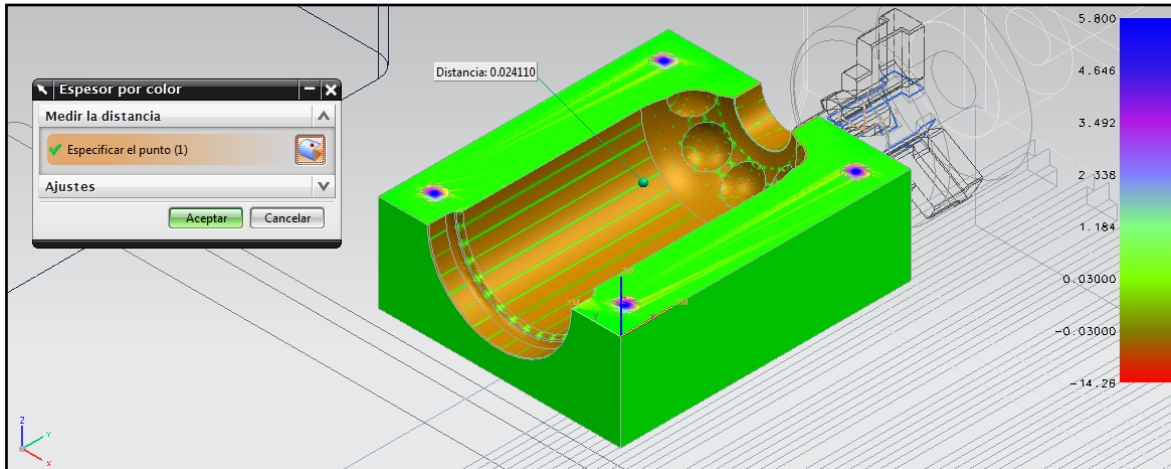
El panel de control que aparece tiene el mismo funcionamiento que en la opción Verificar. Aquí siempre se moverá la máquina al completo y las opciones de animación son las equivalentes a repetir (marcando la casilla mostrar trayectoria de herramientas) y dinámico 3D (marcando la casilla mostrar la remoción del material en 3D).



**Figura 14-9** Simulación de maquinado

Al igual que en la verificación de trayectorias, la simulación tiene una herramienta que sirve para analizar los resultados. En la cual se muestran por colores los diferentes espesores al finalizar el maquinado.

Para esto, una vez que la simulación ha terminado se presiona el ícono *Mostrar el espesor por color* . Esto abrirá una nueva ventana que permitirá mostrar los diferentes espesores al presionar sobre ellos con el cursor. Siempre teniendo en cuenta que como se comentó antes estos representan valores aproximados.




**Figura 14-10** Análisis de resultados

## 15. Documentación de taller

La creación de la documentación de taller es la generación de listados de instrucciones que ayudarán a documentar los programas, incluyendo listados de métodos de mecanizado, listados de operaciones, herramientas, instrucciones al operador, etc.

Al igual que el postprocesamiento, el proceso consiste en invocar a una orden que utiliza una plantilla y sigue una serie de instrucciones.

Para generar la documentación de taller se puede seleccionar la orden, Información → Documentación de taller o el ícono .

En esta parte se generarán listados de información, no código máquina, por lo que el número de plantillas suele ser más reducido.

Al seleccionar la orden, se desplegará una nueva ventana como la que se muestra en la figura 15-1, donde se selecciona la plantilla a utilizar, ya sea en formato de texto ascii o en html, y el fichero de destino.

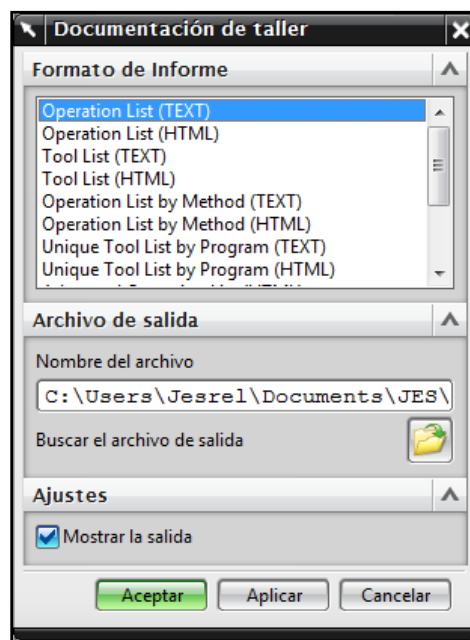


Figura 15-1 Selección de formato

Para este maquinado se usará el listado más completo, que consiste en todo un *site* en formato html. Se selecciona la plantilla *Advanced Web Page Mill (HTML)*, con lo que se obtendrá un completo listado de información.

En la página principal (fig. 15-2) se muestra la información básica y la imagen del setup. En la zona de la izquierda se tienen los distintos enlaces a los campos de información. Para acceder a la información basta con presionar en el link correspondiente.

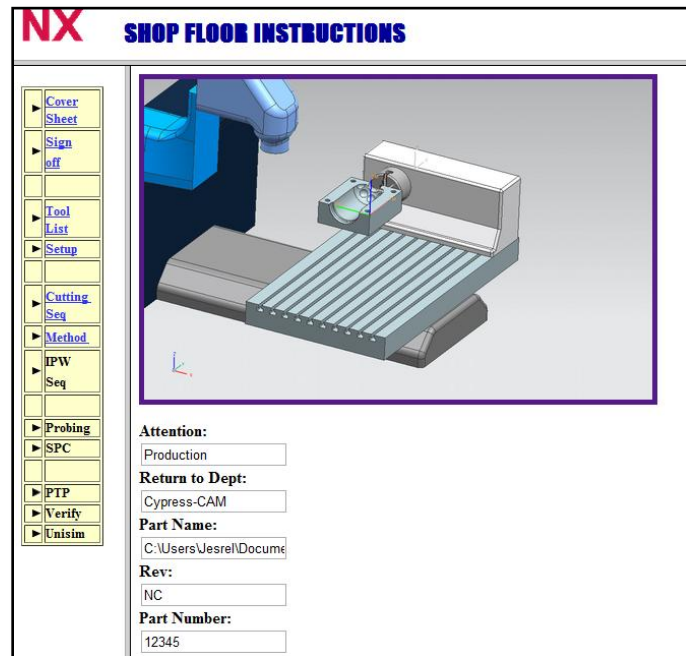


Figura 15-2 Página principal

UNIQUE TOOL LIST IN ORDER OF USE							
Tool Name	Description	Tool Dia	Tool Length	Corner Radius	Adjust Register	Z Offset	Tool Type
<a href="#">BALL_MILL_D16</a>	Milling Tool-Ball Mill	16.0000	100.0000	8.0000	2	0.0000	Milling Tool-Ball Mill
<a href="#">BALL_MILL_D8</a>	Milling Tool-Ball Mill	8.0000	100.0000	4.0000	3	0.0000	Milling Tool-Ball Mill

CUTTING SEQUENCE WITH TOOL CHANGE				
Tool Change	Oper Name	Oper Type	Cut Feed	Part Stock
BALL_MILL_D16	<a href="#">DESBASTE_CAVIDAD</a>	Cavity Milling	2188.0000	1.0000
	<a href="#">SEMIACABADO_CAVIDAD</a>	Variable-axis Surface Contouring	2188.0000	0.2500
BALL_MILL_D8	<a href="#">ACABADO_CAVIDAD</a>	Variable-axis Surface Contouring	11793.0000	0.0000

Figura 15-3 Listado de herramientas y operaciones



## 16. Maquinado de pieza aeronáutica

En la presente sección se realizará el acabado de una pieza aeronáutica (alabe de turbina). El cual es un ensamble que consta de dos elementos, el tocho que representa un excedente de material de 1.5 milímetros de espesor, mostrado en azul translucido en la figura 16-1, y el alabe mostrado en la figura de color gris.

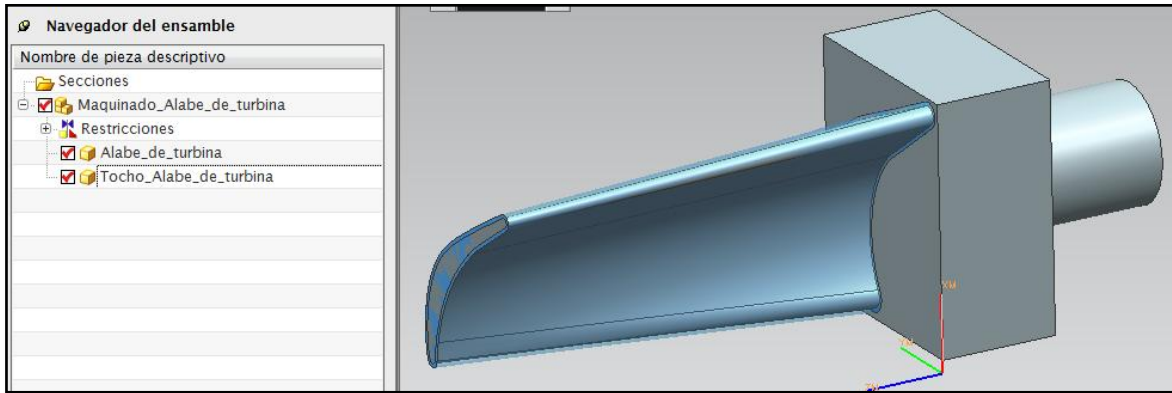


Figura 16-1 Pieza a maquinar

Los pasos a seguir son los mismos que en el maquinado anterior, por lo tanto en el entorno de maquinado se elegirá la plantilla *cam\_general* y el ajuste inicial será el *mill\_multi-axis*.

El primer paso será la selección de geometría, donde se selecciona como pieza al alabe y como pieza en bruto al tocho.

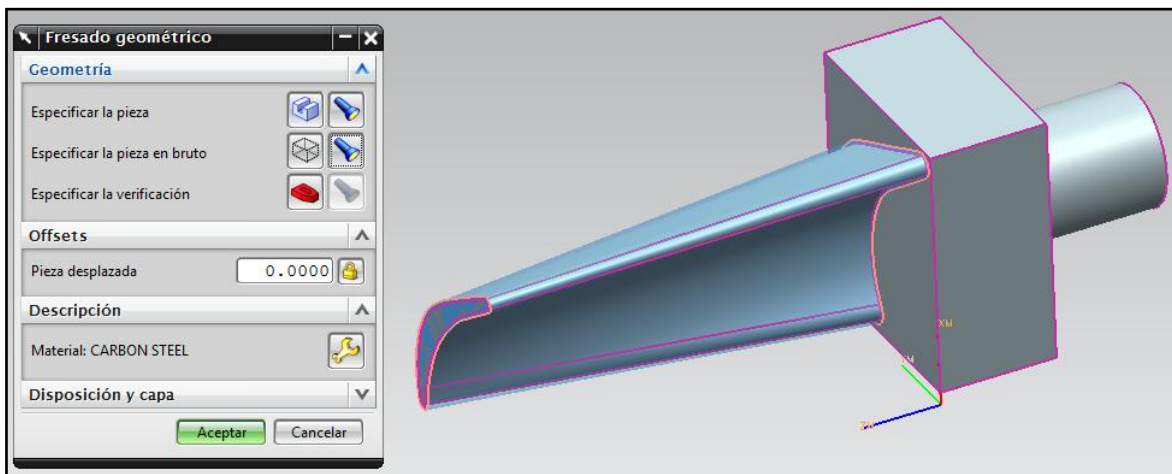


Figura 16-2 Definición de geometría

Una vez seleccionada la geometría, el siguiente paso será la definición del cero pieza. Se elegirá algún método para especificar el punto que se muestra en la figura.

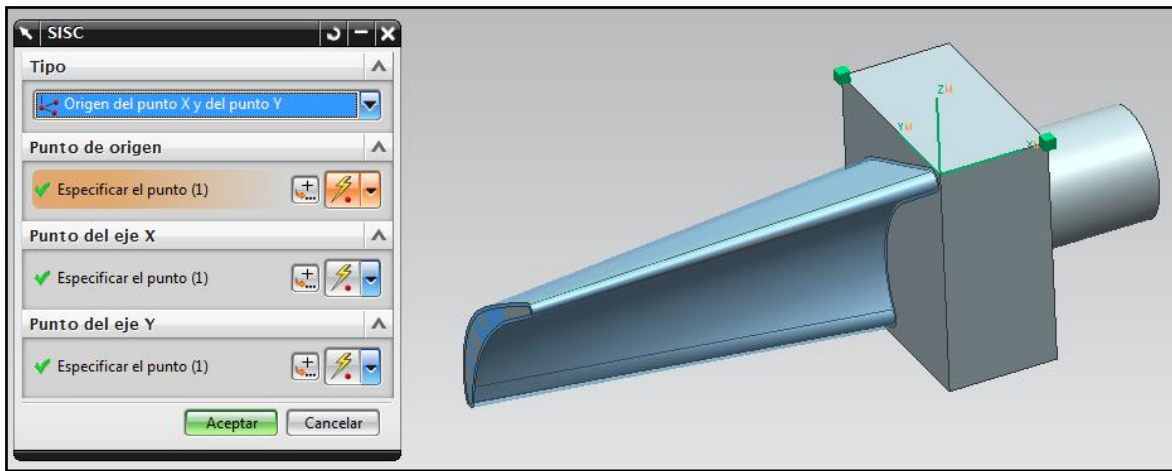


Figura 16-3 Definición de cero pieza

Al crear la operación por default como tipo estará seleccionado *mill\_multi-axis* y como subtipo *VARIABLE\_CONTOUR*. El programa se realizará bajo *PROGRAM*, seleccionando la herramienta *BALL\_MILL\_D16*, creada en el maquinado anterior, el tipo de geometría *WORKPIECE* y en esta ocasión el método *MILL\_SEMI\_FINISH*; por último para identificar la operación se le dará el nombre *SEMIACABADO\_ALABE*. Todo tal como se muestra en la figura 16-4.

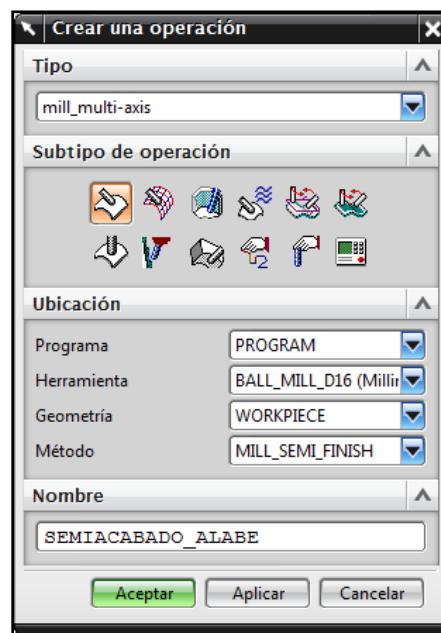

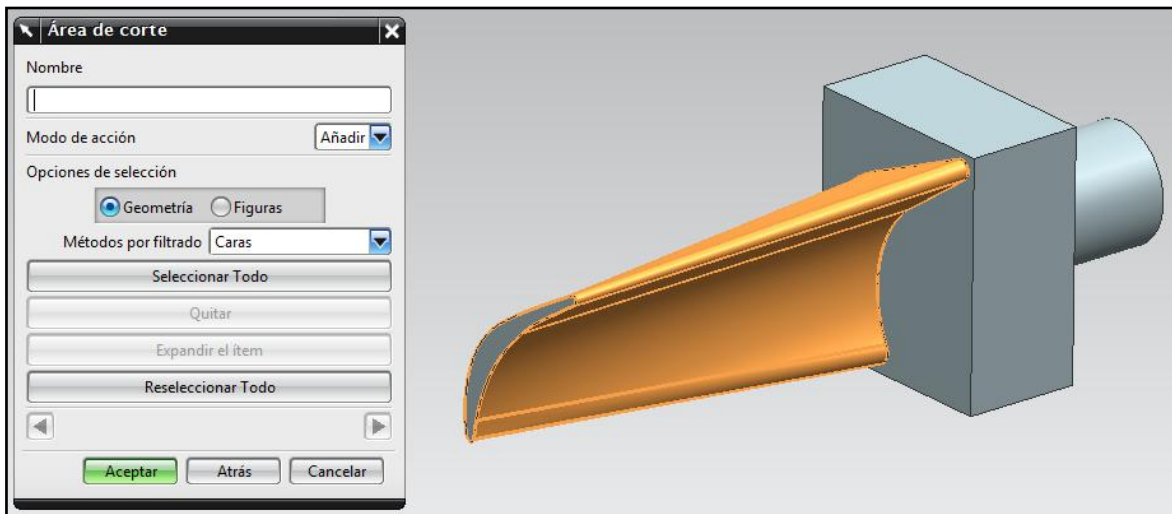


Figura 16-4 Creación de operación

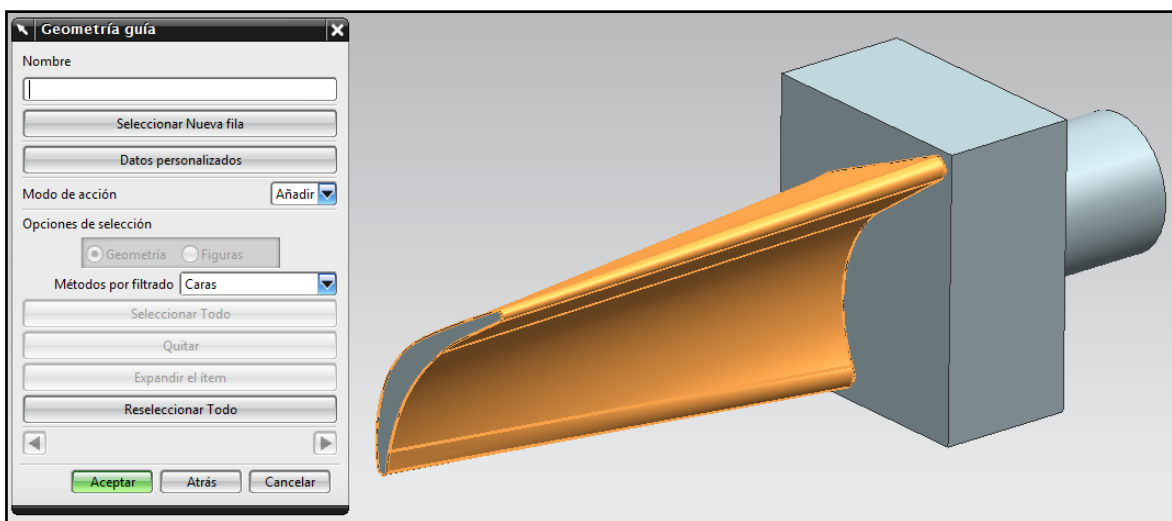
Una vez que se ha presionado Aceptar en la ventana de crear operación se desplegará una nueva donde se definirán los parámetros de la operación.

Al haber seleccionado WORKPIECE como el tipo de geometría ya no es necesario especificar la pieza ni el bruto ya que han sido heredadas, por lo que se procederá directamente a especificar el área de corte. Para esto se pulsa el ícono  donde se desplegará una nueva ventana para fijar la zona de corte de la operación, y se seleccionan todas las caras del alabe, como se muestra en la figura 16-5 y se da clic a Aceptar.



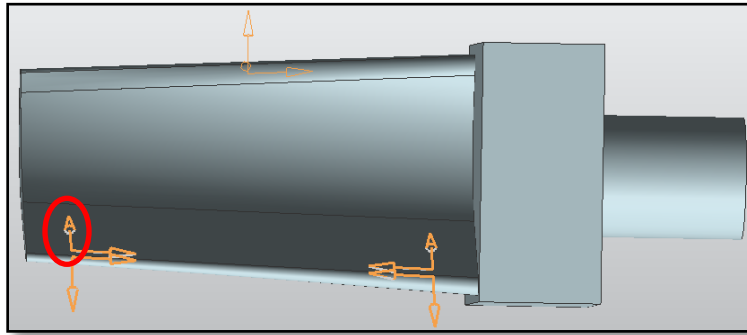
**Figura 16-5** Definición de área de corte

El método guía utilizado en este maquinado será el del Área de superficie donde la geometría guía será la misma que en el área de corte, tal como se muestra en la figura 16-6.



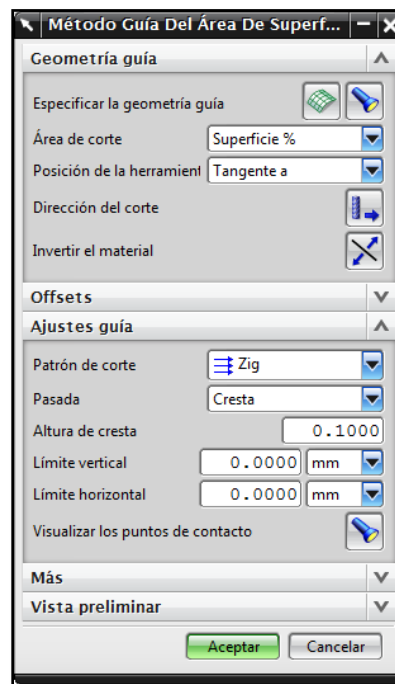
**Figura 16-6** Definición de geometría guía

Como dirección de corte se seleccionará la flecha externa en dirección hacia el eje de rotación tal como se muestra en la figura. Esto para que el corte comience por la parte opuesta al amarre y sus cortes serán a lo ancho de la pieza.



**Figura 16-7** Definición de dirección de corte

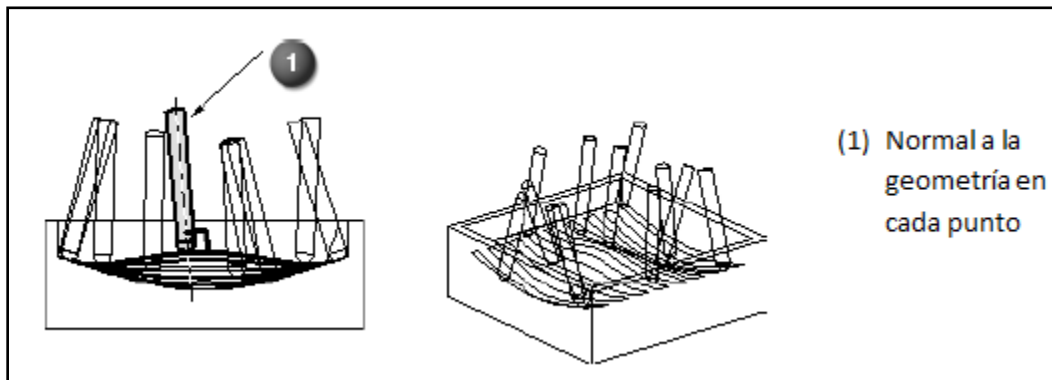
Se usará un patrón de corte Zig donde las pasadas serán con una cresta de 0.1 milímetros. Al definir todos estos valores se presiona Aceptar para regresar a la definición del maquinado.



**Figura 16-8** Definición de método guía

El vector de proyección será el *Eje de la herramienta* y el eje seleccionado para la herramienta será *Cuatro ejes normal a la guía*.

Al seleccionar al eje de la herramienta normal a la guía, se refiere a que el eje de la herramienta se mantendrá perpendicular a la guía, en este caso la geometría del alabe seleccionada. Este método se usa cuando la geometría a ser maquinada no tiene cambios radicales en forma y dirección.



**Figura 16-9** Eje de la herramienta normal a la guía

La opción de cuatro ejes normal a la guía permite que se aplique un ángulo de rotación al eje de la herramienta. Este eje de rotación permite que la pieza gire alrededor de un eje, tal como lo haría en una mesa rotatoria. La orientación del cuarto eje causa que la herramienta se mueva entre los planos que son normales al eje de rotación definido.


Por lo tanto a la hora de seleccionar este tipo de eje de herramienta, es necesario definir el eje de rotación del cuarto eje. En la opción de *Eje de rotación* se despliega el menú y se selecciona la opción *Puntos finales de la línea*. En la nueva ventana se elige la opción *Línea existente* y se selecciona la línea que atraviesa la pieza.




**Figura 16-10** Definición de eje de rotación

Por último, al ser la misma herramienta usada en el maquinado anterior y el mismo material a maquinar, se ingresarán los mismos valores de avance y velocidad de corte.

$$n = 19,894.4 \text{ rpm} \quad V_f = 2,188.38 \text{ mm/min}$$

Estos valores se definen dando clic en el ícono de avances y velocidades . Donde se desplegará una ventana como la de la imagen 16-11 y los valores se ingresan en las casillas correspondientes a *velocidad del husillo* y *velocidades de avance*, verificando que las unidades sean las deseadas. Al finalizar se presiona Aceptar para regresar a la ventana de parámetros de la operación.

Para terminar se da clic en el ícono de generar trayectoria , localizado en el área de acciones.

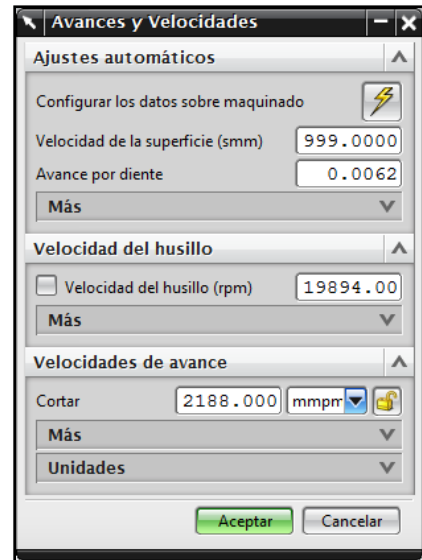


Figura 16-11 Definición de velocidades

De esta forma el programa calculará las trayectorias de herramienta de acuerdo a los parámetros de la operación. Una vez terminados los cálculos, la trayectoria es representada en pantalla (fig. 16-12). Y se da clic a Aceptar.

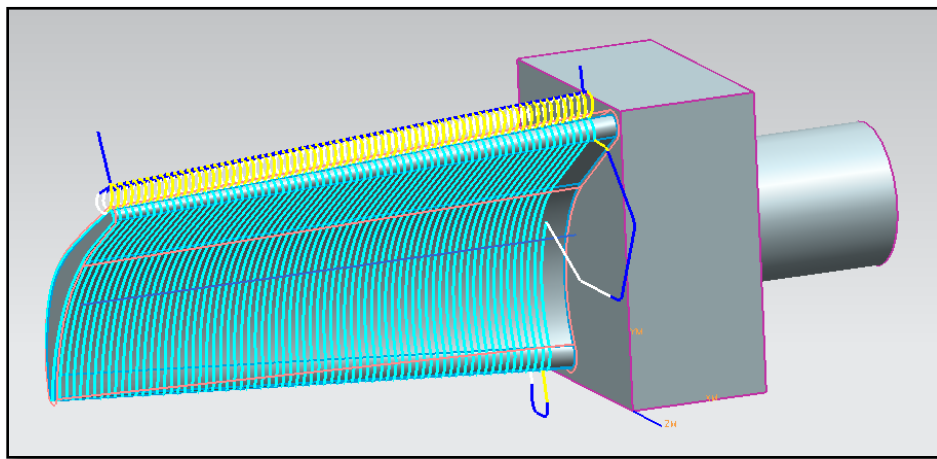

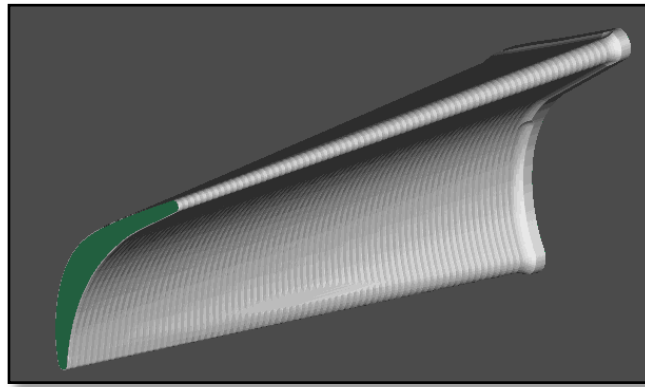


Figura 16-12 Trayectoria de herramienta

Se realiza una verificación rápida de las trayectorias del programa, para esto se sitúa el cursor encima de PROGRAM y se pulsa el botón derecho para activar el menú emergente y seleccionar la opción Trayectoria para herramientas → Verificar.

Al activar dicha opción aparecerá una nueva ventana donde se selecciona la pestaña *dinámico en 2D*. Al contar con una buena vista se pulsa el botón *reproducir* .

Al realizar la comparación de la nueva operación, se puede apreciar que el material excedente ha disminuido gracias al tipo de acabado realizado tal como se muestra en la figura, dejando solo la tolerancia específica del tipo de acabado de 0.25 milímetros.



**Figura 16-13** Verificación de trayectoria

Para que se pueda dar por terminado el maquinado del alabe, es necesaria una última operación de acabado.

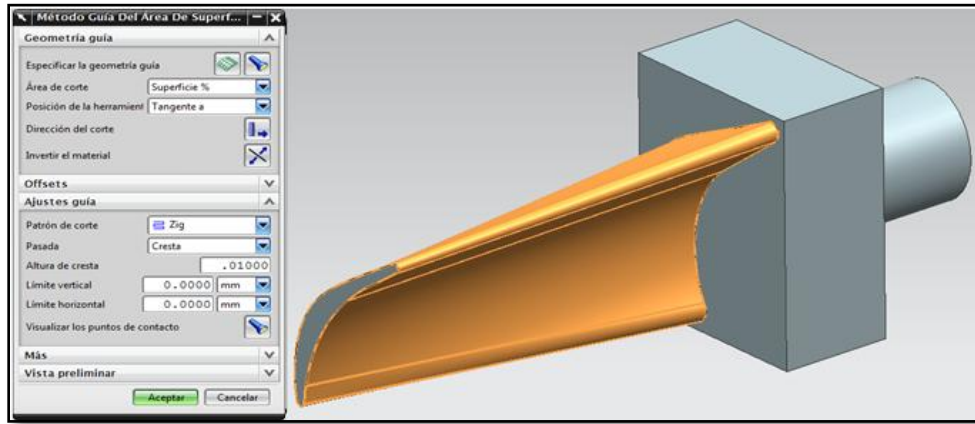
Se utilizará el tipo de operación *mill\_multi-axis*, bajo el programa PROGRAM, y en esta ocasión se usará la herramienta BALL\_MILL\_D8, la geometría usada será WORKPIECE y el método MILL\_FINISH. El nombre con el que se identificará la operación será ACABADO\_ALABE. Todo como se indica en la figura 16-14.

Todos los pasos a seguir serán iguales que en la operación anterior, con la excepción de las velocidades de giro y de avance, y la altura de cresta.



**Figura 16-14** Creación de operaciones


Para la altura de cresta una vez que se está dentro de la selección de la geometría guía y se ha seleccionado las caras del alabe, la dirección y el patrón de corte, y la pasada tipo cresta; la altura de cresta para esta operación será de 0.01 milímetros, tal como se muestra en la figura 16-15.




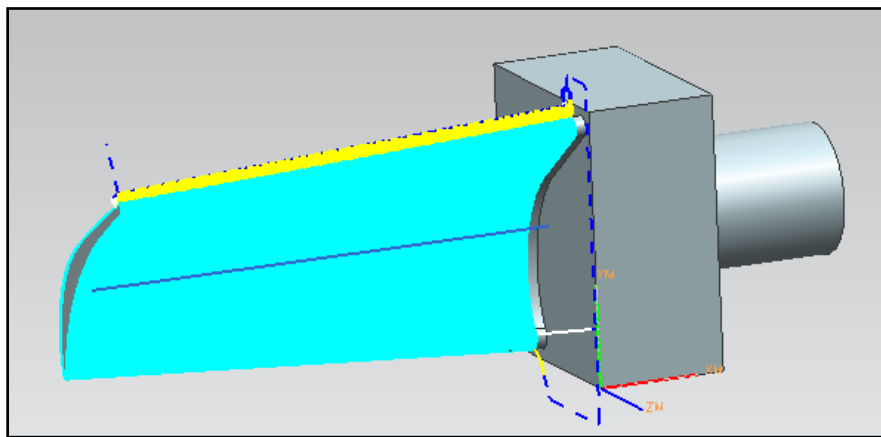
**Figura 16-15** Definición de método guía

Para las velocidades de avance y de corte, se usarán las mismas calculadas para el acabado del molde de soplado.

$$n = 51,725.4 \text{ rpm} \quad V_f = 11,793.4 \text{ mm/min}$$

Estos valores se ingresan dando clic en el ícono de avances y velocidades . Donde se desplegará una ventana y los valores se ingresan en las casillas correspondientes a *velocidad del husillo* y *velocidades de avance*. Al finalizar se presiona Aceptar para regresar a la ventana de parámetros de la operación.

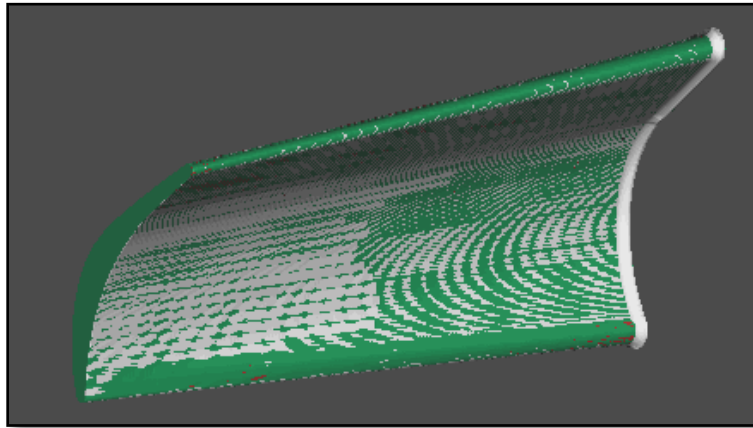
Para terminar se da clic en el ícono de generar trayectoria , localizado en el área de acciones. De esta forma el programa calculará las trayectorias de herramienta de acuerdo a los parámetros de la operación. Una vez terminados los cálculos, la trayectoria es representada en pantalla. Se da clic a Aceptar.



**Figura 16-16** Trayectoria de herramienta



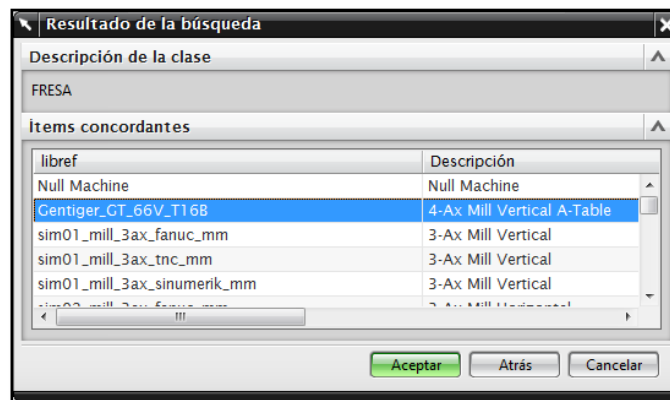
Para terminar con el mecanizado del molde, se realiza una verificación rápida de las trayectorias del programa y se efectúa la comparación de la nueva operación. Donde se observa que se ha llegado a la forma deseada, gracias al tipo de acabado realizado.



**Figura 16-17** Comparación rápida

### 16-1. Simulación de maquinado de pieza aeronáutica

Una vez definidas las operaciones se procede a simular el maquinado de la pieza con la máquina antes creada.



**Figura 16-18** Selección de máquina herramienta

Se selecciona la opción crear unión para el ensamblaje de piezas y aparecerá un nuevo cuadro de diálogo, el cual muestra los diferentes métodos para definir un sistema de coordenadas. Se selecciona alguno de ellos y se posiciona al extremo del centro del eje de sujeción, tal como se muestra en la figura 16-19.

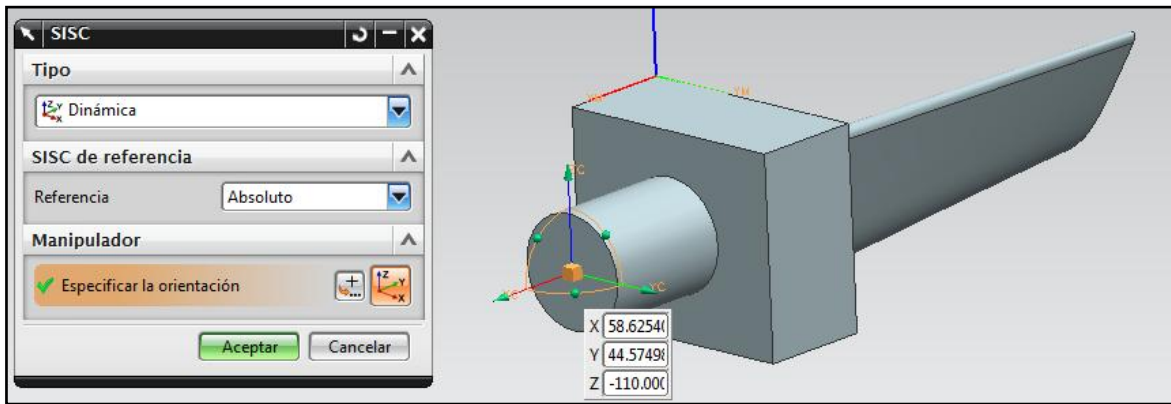


Figura 16-19 Definición de la unión de montaje de la pieza

Una vez fijadas las opciones se pulsa aceptar. Se creará un sistema de coordenadas en la posición fijada y reaparecerá el cuadro de diálogo anterior. Puesto que se ha definido la unión, se activa la opción usar la unión para el montaje de la pieza como opción por defecto. Se pulsa aceptar y se espera a que finalice la carga de la máquina.

Ahora se definirá el modelo lógico de la máquina, se despliega la pestaña *navegador de máquinas herramienta* y se expande el árbol de para acceder a la estructura de la máquina, donde *SETUP* corresponde a la estructura de datos de la pieza. Se sitúa el cursor sobre *BLANK* (tocho) y se despliega el menú emergente, donde se selecciona la orden Editar → Componente-K. Y se agrega la geometría correspondiente al tocho tal como muestra la figura 16-20. Cuando se encuentre correctamente seleccionado se pulsa aceptar para finalizar la orden.

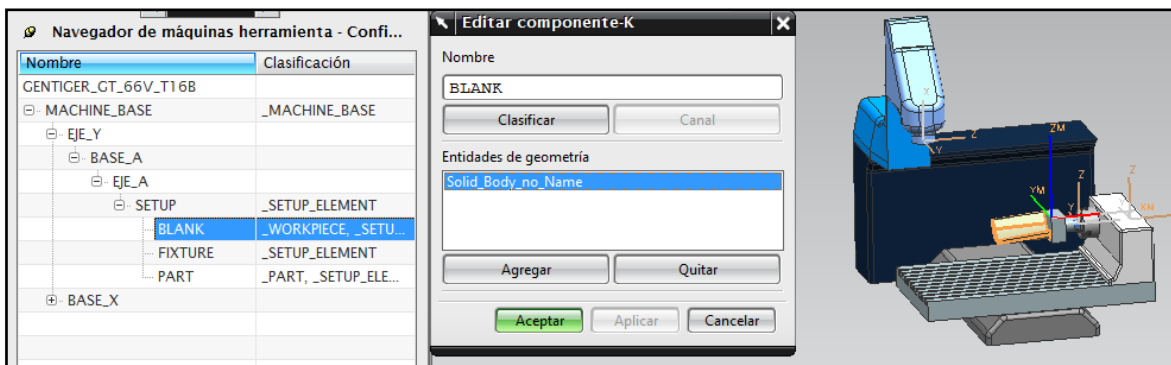


Figura 16-20 Definición del tocho

De igual forma se realiza para el elemento PART, seleccionando como geometría la pieza a mecanizar.

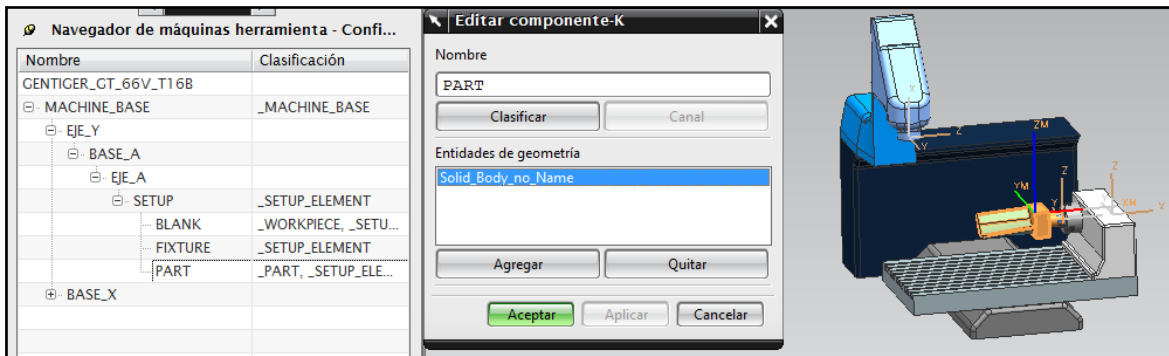


Figura 16-21 Definición del tocho

Una vez efectuados estos pasos, el programa ya se encuentra configurado con todos los datos necesarios para realizar la simulación.

Por último antes de realizar la simulación se ajustarán los valores de apertura de las garras para que la simulación sea más real. En el modo de *Modelado* en la sección de restricciones de *Eje\_A\_con\_garras*, existe una restricción de *Distancia* con el nombre “*APERTURA DE GARRAS*” se presiona doblemente para acceder a las opciones donde se ingresa el radio del eje de sujeción, el cual es de 25 milímetros. Se presiona Aceptar para que se realicen los cambios y se vuelve al modo de fabricación.

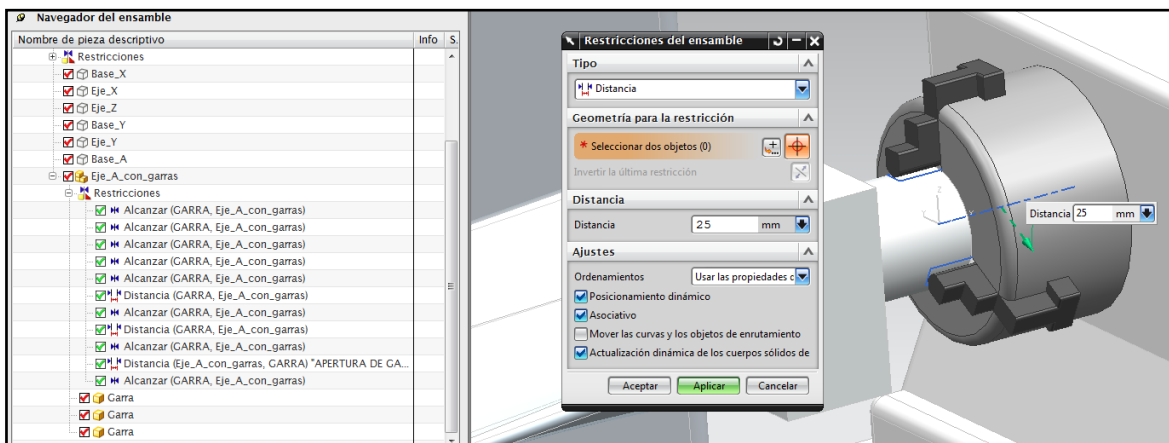
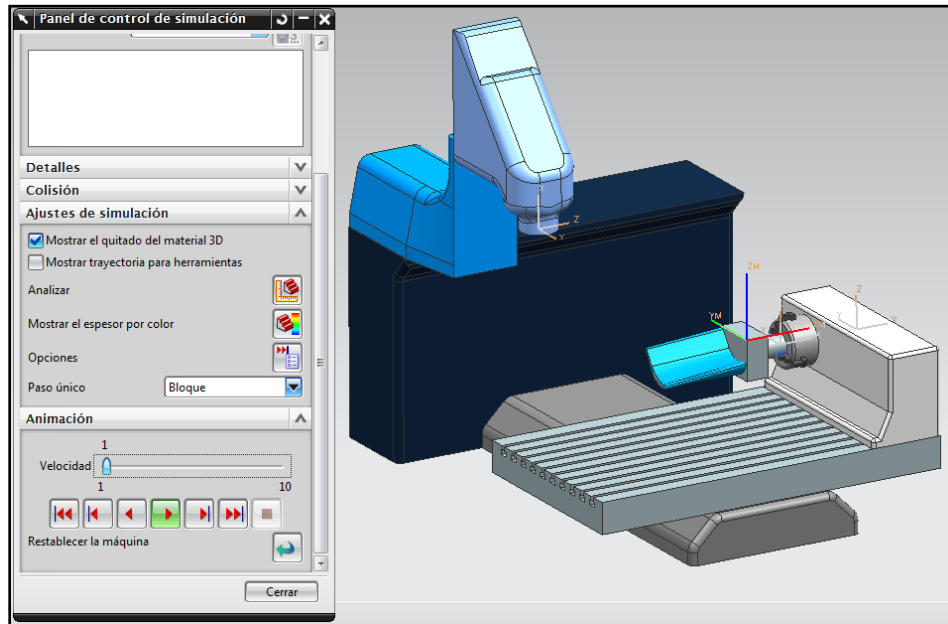



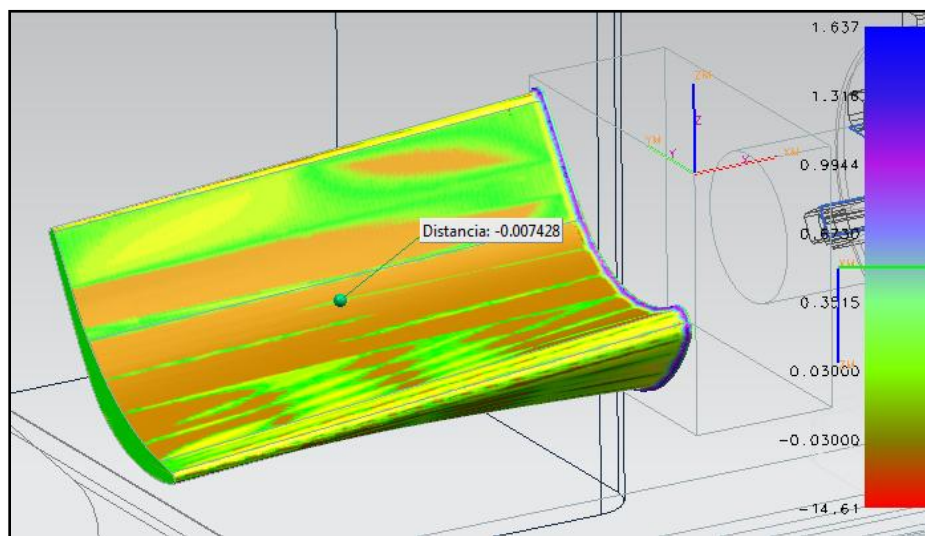
Figura 16-22 Definición de apertura de garras

Para realizar la simulación, se va al navegador de pieza en la vista de orden del programa, se sitúa el cursor sobre la carpeta PROGRAM y en el menú emergente se selecciona la orden Trayectoria para herramientas → Simular.



**Figura 16-23** Simulación de maquinado

Una vez que la simulación ha terminado se presiona el ícono *Mostrar el espesor por color*  para realizar un análisis de los resultados. Esto abrirá una nueva ventana que permitirá mostrar los diferentes espesores al presionar sobre ellos con el cursor. Siempre teniendo en cuenta que como se comentó antes estos representan valores aproximados.



**Figura 16-24** Análisis de resultados

## 17. Conclusiones y trabajos futuros

El software de diseño Unigraphics NX 7 es un paquete CAD/CAM/CAE muy amplio cuyas opciones son muy bastas. Con los maquinados realizados a lo largo de la tesina se puede ver la potencia y flexibilidad de la herramienta, sin embargo cabe mencionar que lo descrito aquí es un panorama enfocado a un área solamente y que con el debido trabajo con NX se pueden llegar a realizar grandes proyectos.

El diseño completo y exacto del centro de maquinado Gentiger con su respectivo control Siemens Sinumerik 840D, sería el trabajo futuro ideal a realizar para que las simulaciones realizadas sean lo más exactas posibles y con el código generado desde su postprocesador se puedan realizar los maquinados antes propuestos.

De igual forma con los nuevos sistemas CAD/CAM/CAE y sus futuras actualizaciones, lo ideal sería tener una máquina virtual completa, integrando componentes internos mecánicos y lógicos, tiempos de fabricación y condiciones reales, sistemas de amarre precisos y simulación de materiales exactos. Para que con esto no solo se tenga una vaga idea del maquinado sino una representación virtual del maquinado real.

Para finalizar, cabe destacar que gracias a los adelantos tecnológicos ha habido una proliferación de aplicaciones computacionales en la manufactura. Los sistemas como el CAD y CAM se basan en una computadora desde hace algún tiempo, con muchos beneficios como productividad y calidad. Estos beneficios se completan gracias a la integración de todas las acciones de la manufactura por medio de una base de datos común. Las computadoras y otros dispositivos microelectrónicos, tales como PLC, se han usado extensivamente para el control de los procesos de producción y maquinaria con la ayuda de CN, CNC y DNC.

Con toda esta información se podría concluir que el conocimiento de los principios físicos está perdiendo importancia y que el procesamiento de información, más estrechamente del procesamiento de datos, se convertirá en la actividad central de la manufactura. Sin embargo, el procesamiento de información, aunque de gran importancia, es sólo una herramienta que por sí misma no puede asegurar la competitividad. La aplicación de la computadora a un proceso no actualizado o básicamente defectuoso no puede resolver los problemas de fondo. Por lo tanto, es más importante adquirir una comprensión sólida de los principios físicos sobre los cuales se puede basar el control del proceso.



## 18. Bibliografía y referencias de Internet

- SCHEY, John A. *Procesos de manufactura*. León Cárdenas, Javier (trad.). Tercera edición. México, D.F.: McGraw-Hill, 2001. 1003 p.
- COMESAÑA COSTAS, Pablo. *Tornero Fresador. Mecanización de piezas, procesos de fabricación y verificación del producto y preparación y ajuste de máquinas*. Primera edición. Vigo, España: IdeasPropias Editorial, 2004.
- NORMAN, C Lee. *Understanding Blow Molding*. Primera edición. München, Germany: Carl Hanser Verlag, 2000.
- NORMAN, C Lee. *Blow Molding Design Guide*. Primera edición. München, Germany: Carl Hanser Verlag, 1998.
- ROSATO, Dominik, ROSATO, Andrew, DIMATTIA, David. *Blow Molding Handbook*. Segunda edición. München, Germany: Carl Hanser Verlag, 2004.
- SELKE, Susan, CULTER, John, HERNANDEZ, Ruben. *Plastics Packaging*. Segunda edición. München, Germany: Carl Hanser Verlag, 2004.
- KALPAKIJAN, Serope. *Manufactura, ingeniería y tecnología*. Cuarta edición. México : Pearson Educación, 2002
- ALTING, Leo. *Procesos para ingeniería de manufactura*. Primera edición. México: Alfaomega, 1990
- <http://www.cam-i.org/>
- <http://www.traverstool.com.mx/>
- <http://www.coromant.sandvik.com/>
- <http://content.heidenhain.de/presentation/elearning/ES/index.html>
- <http://www.textoscientificos.com/polimeros/moldeado>