

# Proyecto Fin de Grado

## Ingeniería de las Tecnologías Industriales

### Diseño de una familia de piezas paramétricas bajo la Tecnología de Control Numérico

Autor: Marta Ruiz García

Tutor: Fernando Más Morate

**Dep. de Proyectos de Ingeniería**  
**Escuela Técnica Superior de Ingeniería**  
**Universidad de Sevilla**

Sevilla, 2014



Proyecto Fin de Grado  
Ingeniería de las Tecnologías Industriales

# Diseño de una familia de piezas paramétricas bajo la Tecnología de Control Numérico

Autor:  
Marta Ruiz García

Tutor:  
Fernando Más Morate  
Profesor Sustituto Interino

Dep. De Proyectos de Ingeniería  
Escuela Técnica Superior de Ingeniería  
Universidad de Sevilla

Sevilla, 2014

Proyecto Fin de Grado

Diseño de una familia de piezas paramétricas bajo la Tecnología de Control Numérico

Autor: Marta Ruiz García

Tutor: Fernando Más Morate

El tribunal nombrado para juzgar el Proyecto arriba indicado, compuesto por los siguientes miembros:

Presidente:

Vocales:

Secretario:

Acuerdan otorgarle la calificación de:

Sevilla, 2014

El Secretario del Tribunal

# AGRADECIMIENTOS

---

Quisiera expresar mi agradecimiento a mi familia y amigos que me han animado no sólo en el desarrollo de este trabajo, sino a lo largo de la carrera.

A todos mis compañeros de prácticas, porque sin su ayuda y apoyo no habría sido posible realizar este proyecto.

A Fernando Más Morate, mi tutor. Por brindarse a tutorizarme el proyecto. Por darme libertad en cuanto al enfoque y distribución del trabajo y proporcionarme las herramientas necesarias para la realización del mismo.

# RESUMEN

---

El proyecto que pasaremos a desarrollar a continuación, trata de plasmar los aspectos que son necesarios tener en cuenta tanto en el diseño como en la fabricación de una familia de piezas paramétricas.

Con la finalidad de implementar este hecho, nos apoyaremos en herramientas CAD/CAM.

Las herramientas CAD se utilizan en las primeras fases del diseño del producto. La información que se genera con este tipo de herramientas es solamente de tipo geométrico.

Nuestros modelos se reducirán a ficheros donde podemos encontrar información de las entidades que lo componen, o bien de las funciones que hemos utilizado para construirlos. Hay que tener presente que este tipo de herramientas son herramientas de dibujo, por lo que antes de llevar a cabo el diseño será necesario tener claro las especificaciones de partida, número de pieza y ensamblaje, método de fabricación, etc.

Las herramientas CAM nos permiten generar automáticamente a partir de la geometría proveniente del sistema CAD, programas de CNC que pueden ser interpretados por los controles numéricos de las máquinas que llevarán a cabo la fabricación de las piezas previamente diseñadas. Para ello, habrá que elegir el tipo de máquina donde deseamos fabricar la pieza, y definir una serie de operaciones y secuencias de trabajo. Dependiendo del tipo de máquina, se configurarán los distintos parámetros de las secuencias definidas.

Con estas herramientas, no solamente generamos el programa CNC, sino que también es posible simular el proceso de fabricación, lo cual nos permite localizar errores antes de lanzar la pieza a fabricar.

Por tanto, se observa que en el ciclo de desarrollo del producto, la fase de definición de la geometría, CAD, juega un papel importante, ya que tanto las herramientas de análisis como las de fabricación se apoyan en dicha geometría. Además de esto, la aplicación de CAD ha de ser suficientemente flexible, para que una modificación en el modelo no suponga rehacerlo de nuevo.

Ha de existir asociatividad entre la fase de diseño y de fabricación, a nivel de estructura de archivos y de gestión de la información, de tal modo que si se modifica la geometría, los análisis que dependen de esta varíen consecuentemente.

El diseño asistido por ordenador es hoy en día una tecnología plenamente integrada en el proceso productivo. Por la forma en que funcionan y por el modo en que facilitan la actividad de diseño pasaremos a denominarlo diseño paramétrico.

Es muy importante tener una visión clara de las aplicaciones y del potencial del diseño paramétrico, ya que nos permite optimizar diversos procesos en nuestros diseños, como el cálculo de estructuras, costos, simulaciones físicas, producción digital, exploración de formas arquitectónicas e industriales para facilitar su construcción digital.

El objetivo del diseño paramétrico es transmitir una representación visual de un concepto, pudiendo crear todos los conceptos de diseño posible mediante el establecimiento de parámetros y relaciones entre los mismos, para poder manipular con mayor facilidad y precisión nuestros diseños y llegar así a resultados óptimos. A partir del diseño paramétrico se puede generar diseño inteligentes estableciendo un criterio de diseño. Al llevar a cabo un diseño paramétrico desarrollamos una colección de relaciones matemáticas y geométricas, pudiendo de este modo manipular sus variables y propiedades modificándolas en tiempo real.

Las herramientas de diseño paramétrico son algo nuevo e interesante, que pueden ser aplicadas a diferentes escalas, tanto a diseño industrial, arquitectura y urbanismo. Unas de las mayores ventajas de este tipo de diseño es la simbiosis entre disciplinas. Nos permite integrar la fabricación digital directamente al diseño al integrar la producción digital por medio de máquinas de control numérico.

Para llevar a cabo la definición de nuestro diseño, será necesario cumplimentar una serie de etapas:

-Definición del producto. Esta primera etapa, consiste en la especificación de las características físicas funcionales del producto.

-Creación de modelos. Esta es la fase en la que se especifica cómo desarrollar el producto, mediante la determinación de todas las características físicas del mismo: dimensiones, materiales, especificaciones, etc.

Para llevar a cabo el modelado, es muy importante seleccionar adecuadamente el orden y el tipo de funciones que utilizaremos en nuestro modelado. Una gran ventaja que proporciona el programa seleccionado para abordar este proyecto, CATIA V5, es la posibilidad de generar la geometría de forma paramétrica; proporcionando este aspecto flexibilidad al diseño.

Ha de existir asociatividad entre los elementos definidos en la creación de modelos. Este hecho permitirá extender las modificaciones a los elementos asociados a dichos componentes.

Posteriormente, esta asociatividad se extenderá a los módulos de fabricación (CAM), siendo este un aspecto clave en la implementación del diseño y fabricación desde un punto de vista paramétrico, ya que permite trasvasar la información de manera bidireccional pudiendo implementar los cambios en las distintas etapas y permitiendo así reproducir las distintas piezas que conformarán una familia.

Para ello, será necesario estructurar el proceso de mecanizado en un árbol PPR: Process (operaciones), Product (conjuntos, piezas), Resources (máquinas, herramientas) permite la rápida y clara edición de operaciones de mecanizado. Este hecho permitirá relacionar la pieza final con el proceso de mecanizado, por lo que al realizar cambios en la pieza, éstos se extenderán al archivo del conjunto en el que esté insertada y al archivo del proceso.

El modelado paramétrico proporciona un enfoque centrado en el diseño que permite al diseñador prever y definir restricciones y dependencias que le permitirán asegurar actualizaciones en la geometría una vez impuestas sobre ella los parámetros de diseño.

En el modelado paramétrico, la geometría se importa como una entidad, lo que significa que no posee prestaciones para utilizar, mantener, editar y cambiar de finalidad datos heredados como soporte de programas actuales y futuros.

-Análisis y optimización. Esta tercera fase engloba los métodos de cálculo que permiten simular el comportamiento del producto.

-Proceso de fabricación del modelo. En esta etapa se estudia y establece los métodos y tiempos de fabricación.

Los medios están constituidos por las máquinas herramientas y los utillajes que se han de emplear en las posteriores fases del ciclo. Éstos corresponden con los elementos que intervienen en el proceso de arranque de viruta.

- Máquinas herramienta. Dispositivo que permitirá llevar a cabo el proceso de mecanizado.
- Herramientas de corte. Son las encargadas de realizar el corte del material. Deben producir viruta discontinua, evacuar el calor producido por el corte, soportar las fuerzas producidas, poseer dureza y resistencia al desgaste.
- Elementos de sujeción. Permiten la unión sólida entre pieza- máquina y herramienta- máquina.

-Fabricación y montaje. Esta fase del ciclo productivo cuenta con las máquinas herramienta de control numérico y los computadores como elemento de control para fabricar y montar el producto.

Para abordar este proyecto, los elementos a definir en el proceso de diseño serán:

- Pieza Final. Se definirá la pieza final de diseño cuando se establezcan los parámetros necesario para generar la familia de piezas. Esta pieza final deberá satisfacer unas condiciones tecnológicas y de diseño dependiendo del fin al que estén destinadas.  
Será necesario diseñar imponiendo relaciones que posteriormente permitan vincular estos parámetros al tocho de partida y a los elementos de sujeción.
- Pieza en bruto. Corresponderá a un tocho de dimensiones estándar que permita, mediante el proceso de fabricación, llegar a obtener la pieza final. Este tocho de partida, puede albergar el sistema de fijación.  
Los parámetros definidos en la pieza final estarán correctamente vinculados al material de partida para que automáticamente se alteren las dimensiones de éste en función de la pieza diseñada.
- Piezas intermedias si son necesarias. El diseño de estas piezas se llevará a cabo teniendo en cuenta que su finalidad es facilitar el posterior montaje en la máquina, buscando siempre simplificar los movimientos y operaciones de cara al proceso de fabricación.
- Mesa de trabajo y sistema de cogida. Existen distintos sistemas de cogidas y distintas posibilidades de disponer la mesa de trabajo, seleccionaremos aquella que nos permita fijar la pieza de cara a su posterior fabricación y que permita llevar a cabo el proceso de mecanizado de la manera más simplificada posible.
- Máquina herramienta. Dentro de las distintas máquinas herramientas existentes, seleccionaremos aquella que nos permita satisfacer las condiciones de diseño y fabricación, es decir, en cuanto a dimensiones y potencia de trabajo.
- Herramientas y portaherramientas. Estos serán los elementos que permitan llevar a cabo el proceso de mecanizado. Se seleccionarán aquellos que permitan realizar este proceso con las condiciones de corte adecuadas, y que permitan satisfacer los requerimientos de tolerancia y acabado propios de la pieza a realizar.

El programa seleccionado, permite la creación y administración de librería de herramienta, incluyendo la posibilidad de asociarlas a una pieza modelada con CATIA, por lo que este hecho nos permitirá llevar a cabo el diseño de las herramientas necesarias de forma paramétrica para favorecer la fabricación de la familia de piezas.

Una vez definidos los elementos de diseño que permitirán implementar nuestro modelo, será necesario determinar los pasos que nos posibilitarán la definición de una estrategia de mecanizado. Éstos son:

- 1) Analizar la pieza final. Ésta es la que a la que pretendemos llegar una vez llevado a cabo el proceso de mecanizado.
- 2) Definir el material de partida. Será necesario seleccionar el tocho previamente diseñado, sobre el que aplicaremos el proceso de mecanizado.
- 3) Definir del utillaje necesario para llevar a cabo el proceso.
- 4) Plantear la estrategia (posturas, máquinas y herramientas). Éstas dependerán de la geometría a reproducir.
- 5) Definición de las condiciones técnicas de mecanizado. En nuestro caso únicamente definiremos el tipo de mecanizado que llevaremos a cabo, es decir, convencional o alta velocidad, sin centrarnos en velocidades de avance, profundidad de pasada, velocidad de corte, etc.
- 6) Programación del mecanizado en CATIA. Establecimiento del orden lógico de secuencias que será necesario seguir para llevar a cabo el proceso de fabricación.
- 7) Simulación. Esta herramienta es propia del programa y permite reproducir la secuencia de operaciones determinadas en el proceso, permitiéndonos detectar posibles colisiones de las herramientas con la pieza o con los útiles, o posibles acabados superficiales no aptos.
- 8) Post-procesado. Mediante la generación del control numérico en lenguaje APT, existe la posibilidad de traducir este lenguaje a lenguaje máquina con idea de una posterior implementación que posibilite la fabricación de dicho modelo.
- 9) Verificación. El código generado por el programa habría posibilidad de introducirlo en otro programa que permita reproducir las secuencias de operaciones establecidas con el fin de hacer las verificaciones pertinentes antes de llevar a cabo el proceso de fabricación definitivo.

Es necesario tener en cuenta que se ha considerado conveniente diseñar bajo la tecnología de control numérico por las múltiples ventajas que este hecho proporciona. Las máquinas herramienta de control numérico reciben la información directamente del programa de diseño. De esta forma puede agilizarse notablemente una parte importante del ciclo productivo.

Es decir, las modificaciones en cuanto a dimensiones geométricas son directamente extrapolables a los módulos de Assembly y Machining siempre y cuando estén correctamente definidas las constraints. Este hecho nos permitirá llevar a cabo el diseño y fabricación de una familia de piezas paramétricas, ya que como su propio nombre indica, únicamente difiere de unas a otras las relaciones dimensionales, sin diferir entre ellas la geometría.

Las máquinas que trabajan con este tipo de tecnología poseen mayor precisión que las convencionales, reducen los desechos debido a la gran fiabilidad y repetitividad de la máquina herramienta, permite fabricar piezas con geometría compleja y permite aumentar la productividad gracias a la disminución del tiempo total de mecanizado.

Siendo el objeto del proyecto el diseño y fabricación de una familia de piezas paramétricas mediante la tecnología de control numérico, se ha creído conveniente desarrollar en un apartado del proyecto las posibilidades que se presentan a la hora de abordar un trabajo de esta índole.

Tras llevar a cabo una exposición de las posibilidades existentes, pasaremos a particularizar lo comentado para una familia paramétrica en particular.

Por lo que en la primera parte comentaremos los aspectos generales que permiten llevar a cabo el diseño y fabricación de una familia de piezas paramétricas, para posteriormente ejemplificarlo basándonos en las costillas que constituyen el ala de un avión. Se ha elegido esta pieza porque ejemplifica perfectamente la funcionalidad de dicho concepto pero es necesario tener en cuenta que en ningún caso será objeto del proyecto realizar el diseño desde un punto de vista aeronáutico.

# INDICE

---

|                                                                 |           |
|-----------------------------------------------------------------|-----------|
| <b>AGRADECIMIENTOS</b>                                          | <b>4</b>  |
| <b>RESUMEN</b>                                                  | <b>5</b>  |
| <b>1 MEMORIA DESCRIPTIVA</b>                                    | <b>14</b> |
| 1.1 INTRODUCCIÓN                                                | 14        |
| 1.2 OBJETO DEL PROYECTO                                         | 14        |
| 1.3 ESTRUCTURA DEL DOCUMENTO                                    | 15        |
| 1.3.1 BIBLIOGRAFÍA                                              | 15        |
| 1.3.2 PROGRAMAS DE CÁLCULO                                      | 16        |
| 1.3.3 OTRAS REFERENCIAS                                         | 16        |
| <b>2 USO DE CATIA EN EL PROYECTO</b>                            | <b>17</b> |
| 2.1 INTRODUCCIÓN AL CAD/CAM                                     | 17        |
| 2.2 JUSTIFICACIÓN DEL USO DE CATIA EN EL PROYECTO               | 17        |
| 2.3 MÓDULOS DE CATIA UTILIZADOS EN EL PROYECTO                  | 19        |
| <b>3 MEMORIA JUSTIFICATIVA</b>                                  | <b>20</b> |
| 3.1 DISEÑO PARAMÉTRICO                                          | 20        |
| 3.2 MODELADO EN CATIA V5                                        | 22        |
| 3.2.1 HERRAMIENTAS DE MODELADO                                  | 22        |
| 3.3 PROCESO DE DISEÑO                                           | 23        |
| 3.3.1 SECUENCIA DE DISEÑO                                       | 24        |
| 3.3.2 CREACIÓN DEL MODELO 2D                                    | 24        |
| 3.3.3 CREACIÓN DEL MODELO 3D                                    | 24        |
| 3.3.4 ENSAMBLAJE DE PIEZAS                                      | 26        |
| 3.3.5 MESA DE TRABAJO. ELEMENTOS DE COGIDA. SISTEMA DE SUJECIÓN | 26        |
| 3.3.6 DEFINICIÓN DEL SISTEMA DE EJES                            | 29        |
| 3.4 PROCESO DE MECANIZADO                                       | 29        |
| 3.5 CONDICIONES TÉCNICAS DE MECANIZADO                          | 31        |
| 3.6 MÓDULOS DE MECANIZADO                                       | 34        |
| 3.7 OPERACIONES DE MECANIZADO                                   | 37        |
| 3.7.1 CREACIÓN DEL PRODUCT DE MECANIZADO                        | 38        |
| 3.7.2 ESTUDIO DE LOS PARÁMETROS DE MECANIZADO                   | 39        |
| 3.7.3 POSICIONES DE MECANIZADO                                  | 40        |
| 3.7.4 TIPO DE MÁQUINA HERRAMIENTA                               | 40        |
| 3.7.5 EJES DE MECANIZADO                                        | 46        |
| 3.7.6 UTILLAJE AUXILIAR Y MESA DE TRABAJO                       | 47        |
| 3.7.7 SELECCIÓN DE HERRAMIENTAS DE CORTE Y PORTAHERRAMIENTAS    | 47        |
| 3.7.8 DEFINICIÓN DE LA SECUENCIA DE MECANIZADO                  | 49        |
| 3.7.9 ELECCIÓN DEL POSTPROCESADOR                               | 49        |

|                                                                 |           |
|-----------------------------------------------------------------|-----------|
| 3.8 GENERACIÓN DEL CÓDIGO DE CONTROL NUMÉRICO                   | 50        |
| 3.8.1 POSTPROCESADO DEL CÓDIGO APT                              | 51        |
| 3.8.2 SIMULACIÓN Y VERIFICACIÓN                                 | 52        |
| <b>4 MODELADO DE UNA COSTILLA</b>                               | <b>53</b> |
| 4.1 INTRODUCCIÓN                                                | 53        |
| 4.2 DESCRIPCIÓN BÁSICA DE UN AVIÓN                              | 53        |
| 4.3 HIPÓTESIS DE PARTIDA                                        | 57        |
| 4.3.1 DISEÑO                                                    | 57        |
| 4.3.2 MATERIALES                                                | 58        |
| 4.4 SECUENCIA DE DISEÑO                                         | 59        |
| 4.4.1 DISEÑO PARAMÉTRICO                                        | 60        |
| 4.4.2 DISEÑO DE LA PIEZA FINAL                                  | 62        |
| 4.4.3 DISEÑO DE LA PIEZA EN BRUTO                               | 68        |
| 4.5 ENSAMBLAJE DE PIEZAS                                        | 70        |
| 4.6 MESA DE TRABAJO. SISTEMAS DE COGIDA. ELEMENTO DE SUJECCIÓN. | 71        |
| 4.7 MÁQUINA HERRAMIENTA                                         | 75        |
| 4.8 POSICIONES O POSTURAS DE MECANIZADO                         | 76        |
| 4.9 EJES DE MECANIZADO                                          | 76        |
| 4.10 HERRAMIENTAS                                               | 76        |
| 4.10.1 HERRAMIENTAS DE TALADRADO.                               | 78        |
| 4.10.2 HERRAMIENTAS DE PLANEADO                                 | 78        |
| 4.10.3 HERRAMIENTAS DE FRESADO                                  | 79        |
| 4.11 SECUENCIAS DE MECANIZADO                                   | 79        |
| 4.12 GENERACIÓN DEL CÓDIGO DE CONTROL NUMÉRICO.                 | 85        |
| <b>5 RESULTADOS FINALES</b>                                     | <b>87</b> |
| <b>6 CONCLUSIONES</b>                                           | <b>88</b> |

# INDICE DE FIGURAS

---

|                                                                                                    |    |
|----------------------------------------------------------------------------------------------------|----|
| Ilustración 1. Esquema de ejecución de un diseño paramétrico                                       | 22 |
| Ilustración 2. Matriz de taladros.                                                                 | 29 |
| Ilustración 3. Máquina herramienta de 3 ejes                                                       | 42 |
| Ilustración 4. Máquina herramienta de 3 + 2 ejes.                                                  | 43 |
| Ilustración 5. Máquina herramienta de 5 ejes.                                                      | 43 |
| Ilustración 6. Máquina herramienta de 5 ejes con 2 ejes giratorios en el cabezal.                  | 44 |
| Ilustración 7. Máquina herramienta de 5 ejes con 2 ejes giratorios en la mesa.                     | 44 |
| Ilustración 8. Máquina herramienta de 5 ejes con un eje giratorio en el cabezal y otro en la mesa. | 44 |
| Ilustración 9. Máquina herramienta de 6 ejes.                                                      | 46 |
| Ilustración 10. Secuencia de actividades en Programación Automática.                               | 51 |
| Ilustración 11. Partes del ala.                                                                    | 54 |
| Ilustración 12. Forma en planta del ala.                                                           | 55 |
| Ilustración 13. Reparto de materiales por zonas.                                                   | 58 |
| Ilustración 14. Diseño final.                                                                      | 63 |
| Ilustración 15. Esqueleto.                                                                         | 63 |
| Ilustración 16. Refuerzos.                                                                         | 63 |
| Ilustración 17. Paso de larguerillos.                                                              | 64 |
| Ilustración 18. Faldillas.                                                                         | 64 |
| Ilustración 19. Parámetros seleccionados en el diseño de la pieza final.                           | 65 |
| Ilustración 20. Relaciones asociadas al diseño de la pieza final.                                  | 66 |
| Ilustración 21. Pieza en bruto.                                                                    | 68 |
| Ilustración 22. Parámetros asociados al diseño de la pieza en bruto.                               | 70 |
| Ilustración 23. Relaciones asociadas al diseño de la pieza en bruto.                               | 70 |
| Ilustración 24. Ensamblaje.                                                                        | 70 |
| Ilustración 25. Matriz de taladros.                                                                | 71 |
| Ilustración 26. Fijación matriz - mesa.                                                            | 71 |
| Ilustración 27. Mesa de trabajo vertical.                                                          | 72 |
| Ilustración 28. Disposición mesa-matriz.                                                           | 72 |
| Ilustración 29                                                                                     | 74 |
| Ilustración 30                                                                                     | 74 |

|                                                                       |    |
|-----------------------------------------------------------------------|----|
| Ilustración 31                                                        | 74 |
| Ilustración 32                                                        | 74 |
| Ilustración 33                                                        | 74 |
| Ilustración 34                                                        | 74 |
| Ilustración 35                                                        | 74 |
| Ilustración 36                                                        | 74 |
| Ilustración 37                                                        | 74 |
| Ilustración 38. Máquina herramienta.                                  | 75 |
| Ilustración 39. Herramientas de corte.                                | 77 |
| Ilustración 40. Relaciones y parámetros en las herramientas de corte. | 78 |
| Ilustración 41. T13100310                                             | 78 |
| Ilustración 42. T43600266                                             | 78 |
| Ilustración 43. T43160182                                             | 78 |
| Ilustración 44. T23502140.                                            | 79 |
| Ilustración 45. T23630122                                             | 79 |
| Ilustración 46. T23521120.                                            | 79 |
| Ilustración 47. Planeado primera postura.                             | 80 |
| Ilustración 48. Contorneado exterior.                                 | 80 |
| Ilustración 49. Rebaje de los aligeramientos.                         | 81 |
| Ilustración 50. Material de partida en la segunda postura.            | 81 |
| Ilustración 51. Planeado segunda postura.                             | 82 |
| Ilustración 52. Cajeadó.                                              | 83 |
| Ilustración 53. Rebaje de la altura de los nervios.                   | 84 |
| Ilustración 54. Pestañas de unión.                                    | 84 |
| Ilustración 55. Pestañas generación de código CN.                     | 87 |

# 1 MEMORIA DESCRIPTIVA

---

## 1.1 INTRODUCCIÓN

Actualmente el sector industrial está evolucionando, existiendo una gran tendencia hacia la automatización de sistemas y procesos, sucediéndose vertiginosamente los cambios de productos, modelos, técnicas de fabricación, etc.

Para adaptarse a este mercado, las empresas tienden a automatizar cada vez más sus sistemas y procesos, entendiendo por automatizar la implantación de equipos y software necesario para disminuir el componente humano en la realización de una tarea. Este tipo de sistema, permite cambiar la secuencia de operaciones para acomodar diferentes configuraciones de productos.

Las cuatro variables fundamentales que inciden en la bondad del automatismo son: productividad, rapidez, precisión y velocidad.

Un tipo de automatismo es el control numérico. En nuestro caso consideraremos la posibilidad de diseñar bajo la tecnología de control numérico por las múltiples ventajas que este hecho proporciona. Esta tecnología permite realizar piezas con geometría compleja y con una mayor precisión, gracias a que las máquinas que trabajan con este tipo de tecnología poseen mayor precisión que las convencionales, permite reducir los desechos de material gracias a la gran fiabilidad y repetitividad de la máquina herramienta y permite aumentar la productividad gracias a la disminución del tiempo total de mecanizado.

## 1.2 OBJETO DEL PROYECTO

El objetivo del proyecto es implementar desde un punto de vista técnico el diseño y fabricación de una familia de piezas paramétricas. Para llevar a cabo este hecho, nos hemos centrado en analizar los elementos estructurales que forman el avión.

Al observar su estructura típica, se puede apreciar la existencia de gran cantidad de elementos que se repiten, por lo que podemos basarnos en el diseño paramétrico para analizar las relaciones entre elemento y poder automatizar el diseño y la fabricación de dichos elementos estructurales.

Es necesario tener en cuenta que el campo de aplicación del diseño paramétrico no está únicamente vinculado a este sector.

Como objeto del proyecto, se abordará de forma paramétrica el diseño y el proceso de fabricación de las costillas de las alas de un supuesto avión, que pasará a definirse más adelante. Se ha elegido como familia de piezas paramétricas las distintas costillas que conforman el ala al tratarse de una superficie reglada y reproducir perfectamente el concepto de parametrización.

Es necesario tener en cuenta que el aspecto crucial a la hora de llevar a cabo un diseño paramétrico es la elección de los distintos parámetros y la relación que es necesario imponer entre ellos para poder reproducir los distintos diseños.

Con este proyecto, se pretende argumentar la posibilidad de cerrar el ciclo, partiendo por el diseño hasta llegar a la fabricación de forma paramétrica.

Es necesario tener en cuenta que queda fuera del alcance del proyecto la realización del diseño desde un punto de vista aeronáutico, es decir, los criterios de diseño que llevaremos a cabo únicamente pretenden mostrar el concepto de parametrización y la implementación de este hecho, en ningún caso pretenden reproducir un diseño real en cuanto a características estructurales de la pieza atendiendo a su funcionalidad, al cumplimiento de normativa propia del diseño o fabricación de modelos. Por lo que en nuestro caso partiremos de un avión ficticio que servirá para llevar a cabo el proceso de diseño y posterior fabricación de las cuadernas transversales del ala de un avión.

Para ello nos apoyaremos en el uso del programa CATIA V5 R21. Las mejoras de esta versión con respecto a las anteriores, es la posibilidad de establecer relaciones entre los elementos que te permitan realizar variantes del diseño de una forma totalmente automatizada.

### 1.3 ESTRUCTURA DEL DOCUMENTO

El documento se estructura en cuatro partes diferenciadas.

En la primera de ellas se pretende establecer el punto de partida del proyecto. En este apartado se lleva a cabo una breve introducción del mismo, y es donde se recogen los objetivos a abordar en dicho proyecto.

En la segunda parte, nos centraremos en las herramientas utilizadas para la elaboración del proyecto, tanto las herramientas de diseño y fabricación CAD/CAM, como el programa utilizado en la elaboración del mismo.

En el tercer capítulo se recogen las distintas decisiones que son necesarias abordar a la hora de diseñar y fabricar cualquier modelo, enfocándolo al concepto de parametrización, objeto del proyecto.

En el cuarto capítulo será donde nos centremos en una familia de piezas paramétricas en concreto. En él iremos argumentando las distintas decisiones tomadas para llevar a cabo nuestro diseño y fabricación teniendo en cuenta lo recogido en el tercer apartado. Con este apartado se pretende ejemplificar la viabilidad técnica en cuanto al desarrollo teniendo en cuenta el concepto paramétrico. Este capítulo llevará asociadas unas conclusiones, fruto de la implementación de este modelo y unos posibles trabajos futuros.

#### 1.3.1 BIBLIOGRAFÍA

- *Conocimientos del avión*. Ed Thomson. Antonio Esteban Oñate
- *Aircraft Structures for Engineering students*. Ed BH. T.H.G. Megson
- *Aircraft design: a conceptual approach*. Ed AIAA. Daniel P. Raymer.
- *El gran libro de CATIA*. Ed. Marcombo. Eduardo Torrecilla Insagurbe.
- *Ejecución de Procesos de Mecanizado, Conformado y Montaje*. Ed. Thomson. Albert Ginjaume. Felipe Torre.
- *Mecanizado de Alta Velocidad y Gran Precisión*. Miles Arnone.
- *CAD – CAM. Gráficos, Animación y Simulación por Computador*. Ed. Thomson. Félix Sanz Adán. Julio Blanco Fernández.
- *Análisis y Diseño de Piezas con CATIA*. Ed. Marcombo. José Antonio Vázquez Angulo.
- *Introducción al diseño paramétrico con Autodesk Mechanical Desktop*. Rafael Álvarez Cuervo. Jorge Rozes García.

### 1.3.2 PROGRAMAS DE CÁLCULO

CATIA V5. R21.

### 1.3.3 OTRAS REFERENCIAS

- *Mecanizado en 3 y 5 ejes.* Dassault Systemes. CadTech
- *Apuntes de la asignatura de Ingeniería de Fabricación.*

# 2 USO DE CATIA EN EL PROYECTO

---

## 2.1 INTRODUCCIÓN AL CAD/CAM

El diseño asistido por ordenador (CAD – *Computer Aided Design*), se utiliza para generar modelos con las principales características de un determinado producto, manipulando con gran facilidad los datos geométricos, una vez almacenados en el sistema.

La fabricación asistida por ordenador (CAM – *Computer Aided Manufacturing*), implica el uso de computadoras para asistir en las fases de la fabricación de un producto, incluyendo la planificación del proceso, la producción y el mecanizado del mismo. Está basada en una serie de códigos numéricos, almacenados en archivos informáticos que permiten controlar las tareas de fabricación.

Debido a las múltiples ventajas de ambos sistemas, suelen combinarse diseño y fabricación asistida por ordenador en los sistemas CAD/CAM. Este es un sistema interactivo que permite realizar y simular operaciones de diseño y fabricación de forma integrada, permitiendo alcanzar altos niveles de calidad y productividad. La característica principal de este método de programación es el uso de un sistema gráfico que permite la interacción. La base de datos que se desarrolla durante el CAD es procesada por el CAM para obtener los datos e instrucciones necesarios para operar y controlar la maquinaria.

Las principales ventajas que ofrecen estas tecnologías son: simulación de la programación de piezas para comprobar errores, cálculo de tiempos y costes en las operaciones de fabricación, elección óptima de las condiciones y secuencia de operaciones, etc.

## 2.2 JUSTIFICACIÓN DEL USO DE CATIA EN EL PROYECTO

CATIA (Computer-Aided Threedimensional Interactive Application) es un programa informático de diseño, fabricación e ingeniería asistida por ordenador, que incorpora aplicaciones para todas las etapas, desde el diseño a la producción, pasando por la planificación, la gestión documental, etc. CATIA incorpora herramientas para integrar todas las actividades de desarrollo del producto, incluyendo el diseño de estilo y forma, el análisis de ingeniería, la maquetación digital, la simulación de funcionamiento, etc. Este permite reducir el tiempo invertido en los ciclos de exploración, fundamentalmente por el uso de sistemas gráficos interactivos, que permiten realizar modificaciones en el modelo y observar inmediatamente los cambios producidos en el diseño.

Su potencial reside en que engloba en un único entorno unificado los tres ámbitos de diseño CAD/CAE/CAM. Éstos revierten en un incremento de la productividad y una mayor eficiencia. Mediante una interfaz agradable podemos combinar módulos de CAD, CAE y CAM, posibilitando diseñar, analizar y simular la fabricación de nuestro proyecto. La relación entre los tres archivos de CATIA es directa, y cualquier modificación de uno de ellos incide directamente en los otros. De esta manera, podemos tener relacionado en un proceso un conjunto y modificar una pieza de éste, modificándose automáticamente los cambios de todos los demás.

Catia V5 es un software paramétrico de diseño mecánico en 3D con una alta gama de conjuntos de utilidades, enfocado a las diferentes fases de producto, desde la conceptualización del diseño hasta la fabricación. Este hecho es una de las razones fundamentales por la que se ha seleccionado este programa para abordar el proyecto.

Es una de las mejores herramientas que hay en el mercado con una amplia implantación en diferentes sectores de la ingeniería. La gran ventaja que ofrece CATIA V5 para el desarrollo de nuevos productos es su facilidad en la generación de los diferentes lenguajes de programación que actualmente se emplean en el mercado.

Su gran variedad de módulos de diseño y simulación lo convierten en el software más utilizado en las industrias de aeronáutica, automoción y ferroviarias. Éstos módulos que constituyen el programa, van desde el diseño de componentes, su ensamblaje y obtención de los correspondientes planos, hasta módulos para analizar y simular el mecanizado de piezas o realizar análisis por elementos finitos, diseño eléctrico, electrónico y de tuberías o incluso análisis ergonómico, así como el diseño de utillaje; ofreciendo también la posibilidad de generar el código de control numérico.

Los módulos se agrupan en talleres de trabajo, de forma que un taller posee varios módulos destinados a un mismo objetivo. Los talleres más importantes son:

- Infrastructure. Se utiliza para controlar el aspecto de diseño, elaborar catálogos e interactuar con otras versiones de CATIA.
- Mechanical Design. Conjunto de módulos destinados a la concepción de piezas.
- Shape. Agrupa los módulos destinados al diseño de superficies.
- Analysis and Simulation. Se utiliza para hacer cálculos utilizando el método de los elementos finitos.
- NC Manufacturing. Se usa para elaborar programas de Control Numérico.
- Digital Mockup. Agrupa los módulos necesarios para realizar animaciones y análisis de los conjuntos.
- Equipment and Systems. Se utiliza para diseñar tuberías, equipos y todo tipo de sistemas.
- Ergonomic Design. Son módulos destinados al estudio de la interacción humana con el conjunto diseñado.
- Knowledgeware. Módulos de conocimiento. Este módulo ayuda a automatizar el diseño, permitiendo insertar parámetros, fórmulas, tablas, reglas y chequeos. Al aplicar estas herramientas se está minimizando los tiempos de construcción y garantizando que la pieza ha sido construida siguiendo las normas establecidas.

Una vez expuesto el abanico de posibilidades que ofrece al usuario, y teniendo en cuenta que abarca las necesidades para la realización del presente proyecto queda patente la justificación del uso de este programa en la elaboración del proyecto.

## 2.3 MÓDULOS DE CATIA UTILIZADOS EN EL PROYECTO

El programa está configurado por módulos, unos más básicos y otros altamente específicos; desde el diseño de componentes, su ensamblaje 3D, hasta módulos para analizar y simular el mecanizado de piezas.

A continuación pasaremos a comentar los módulos utilizados para la ejecución del proyecto.

- Mechanical Design/Sketcher

Este módulo nos permite crear perfiles 2D y establecer las distintas restricciones necesarias para definir la geometría bidimensional de nuestra pieza. Dichas restricciones pueden ser geométricas o dimensionales.

- Mechanical Design/Part Design

Este módulo es el que se emplea para el modelado de sólidos. Proporciona al usuario distintas herramientas para dar volumen a la geometría bidimensional creada previamente en el Sketcher.

- Prismatic machining / Surface machining

CATIA V5, dispone de tres módulos de mecanizado, en el que podemos definir los productos que queremos obtener: los procesos de mecanizado que llevaremos a cabo y que nos permitirán generar la geometría final, y los recursos que usaremos para llevar a cabo el proceso de mecanizado. Tras definir la secuencia de operaciones de mecanizado, podremos generar el programa de control numérico.

Los módulos de los que dispone el programa son: Mecanizado prismático en 2,5 ejes, de superficies 3 ejes, y superficies en 5 ejes.

# 3 MEMORIA JUSTIFICATIVA

---

Siendo el objeto del proyecto el diseño y fabricación de una familia de piezas paramétricas mediante la tecnología de control numérico, se ha creído conveniente desarrollar en este apartado del proyecto las decisiones que serán necesario abordar para llevar a cabo el diseño y la fabricación siguiendo el concepto de parametrización.

## 3.1 DISEÑO PARAMÉTRICO

Como paso previo es necesario remarcar la diferencia existente entre el CAD de Diseño Asistido por Ordenador tradicional y el CAD de Diseño Asistido por Ordenador Paramétrico.

Un dibujo técnico realizado con CAD tradicional, no es más que una forma geométrica de dimensiones concretas que en el proceso de edición a lo sumo se puede alterar su forma mediante operaciones de escala, en la que en todo caso las figuras antes y después del escalado son semejantes entre sí. Por lo que en este caso no se puede hablar de una alternativa distinta del diseño, sino de distintos tamaños del diseño.

Sin embargo, podemos definir en el CAD paramétrico, leyes no lineales entre las proporciones de un diseño, función de un parámetro mediante ecuaciones de cualquier tipo, y al mismo tiempo establecer relaciones geométricas de ligadura entre las formas, de tal forma que podemos ensayar un modelo de diseño en base a diferentes valores de parámetros, buscando la funcionalidad del modelo o la estética del mismo.

Los programas de CAD paramétricos, al contrario de los programas de dibujo asistido por ordenador tradicionales, están diseñados para controlar la forma geométrica y las dimensiones de los modelos dibujados por medio de variables de diseño y variables dimensionales. Dichas variables son restricciones geométricas que permiten, modificándolas, realizar cambios en los modelos de forma flexible e interactiva. Los programas de CAD paramétricos permiten alterar la forma de un modelo modificando los valores numéricos de sus dimensiones. . De esta manera es posible flexibilizar enormemente el proceso de diseño y mantener bibliotecas de formas básicas que pueden emplearse de forma versátil en diferentes diseños.

El trabajo teniendo en cuenta este modo nos permite hacer modificaciones globales a todas las piezas vinculadas.

Con el CAD paramétrico podemos conseguir los siguientes aspectos que permiten mejorar el diseño:

- Diseño variacional. En el diseño se pueden imponer variables externas que condicionen el diseño, siempre y cuando, los parámetros de otras geometrías estén correctamente vinculados, pudiendo de esta forma una filosofía funcional del diseño.
- Optimización del diseño, equilibrio entre función y coste. Con el diseño paramétrico podemos alterar los parámetros de manera que cambien sus valores en las funciones de tal forma que podamos conseguir un equilibrio entre costes y funcionalidad del diseño.
- Incremento de la productividad en la realización del proyecto y por tanto, reducción de los costes en la ejecución del mismo. Al conjugar los aspectos anteriores conseguimos información que nos permite tomar decisiones del proceso de diseño de forma más rápida. Y llevar a cabo diseño funcionales a un coste inferior, lo que nos permite reducir los costes globales, ya que estos recogen la ejecución del diseño y la realización del proyecto.

El diseño paramétrico es el proceso que define las relaciones entre las entidades geométricas de un objeto, y los parámetros que gobiernan su forma y comportamiento. Éstos últimos incluyen elementos no geométricos que entran a formar parte de la representación digital del objeto modelado y complementan la descripción puramente geométrica con propiedades que permiten múltiples aplicaciones.

El uso de las herramientas y técnicas de modelado paramétrico durante el proceso de diseño tiene consecuencias no sólo en términos de representación, sino también en términos de una aproximación conceptual al problema de diseño. Implica la necesidad de establecer desde el inicio del proceso no sólo las propiedades geométricas y no geométricas del objeto de diseño, sino también el tipo de relaciones que hacen posible cambiar y reconfigurar el modelo, permitiendo la exploración de múltiples soluciones.

Esto se puede llevar a cabo mediante el diseño en contexto. Las piezas de nuestro diseño tendrán vínculos a elementos contenidos en otras. El trabajo teniendo en cuenta este modo nos permite hacer modificaciones globales a todas las piezas vinculadas, habiendo creado vínculos internos entre las formas en la etapa de diseño.

Por otro lado el diseño paramétrico permite asociar cualquier magnitud a un parámetro definido por el usuario. Los cambios en los parámetros afectan al elemento geométrico y a cualquier entidad asociada y dependiente de él, por lo que permite extender las relaciones a elementos entre piezas diferentes.

Los beneficios del diseño paramétrico son múltiples. Este permite comenzar el proceso de diseño partiendo de bocetos poco detallados, e ir incorporando restricciones geométricas y dimensiones paramétricas que permitirán definir completamente el modelo.

Otra ventaja del diseño paramétrico, es la posibilidad de interrelacionar las dimensiones mediante ecuaciones. Esto normalmente se utiliza para controlar los principales valores numéricos del diseño.

Las herramientas y técnicas de modelado nos permiten identificar las relaciones entre elementos y ser capaz de gestionar los vínculos y dependencias de nuestro diseño.

- Creación de parámetros. Estos elementos no son entidades geométricas, sino que almacenan valores de diferentes tipos que después pueden ser utilizados en distintas aplicaciones, es decir, son variables que determinan la configuración del objeto de diseño, por lo que un conjunto de valores de parámetros constituyen una familia de posibles soluciones de diseño. En CATIA se describen fundamentalmente dos tipos de parámetros:
  - Los *parámetros intrínsecos al sistema*, que se definen automáticamente cuando se van generando objetos y geometrías y que permanecen en la estructura interna de CATIA por lo que no son editables.
  - Los *parámetros del usuario*, que son los que se crean desde el exterior y que pueden ser de muchos tipos: parámetros de medida, de masa, reales, incluso booleanos. Pueden tener un solo valor, o múltiples valores, o llevar insertada alguna fórmula, evitándonos esto tener que estar haciendo cálculos repetitivos. Lo más importante que tiene su uso es la posibilidad que da al diseñador de variar su valor después de ser creado.
- Creación de fórmulas. Cuando se asocia un parámetro del diseño a uno generado por el usuario, automáticamente se genera la fórmula donde se indica la relación que tienen. Por lo que las fórmulas son los elementos de enlace entre los parámetros y los elementos que conforman el diseño.

- Creación de tablas de diseño. Cuando tenemos una serie de parámetros que hacen referencia a un mismo conjunto de datos, o que la construcción geométrica a la que hacen referencia esté normalizada y se recogen los resultados en una tabla, podemos crearla de tal forma que sus valores cambien en función de los datos contenidos en ella. Lo más importante que se consigue teniendo los datos agrupados en tablas es darnos la posibilidad de cambiar los valores o incluir otros valores nuevos sin más que editarla, permitiendo ésto asociarlo a nuestro diseño y realizar una familia de piezas que dependan de la serie de parámetros recogidos en la tabla.

El esquema general de la ejecución de un diseño paramétrico será el siguiente:

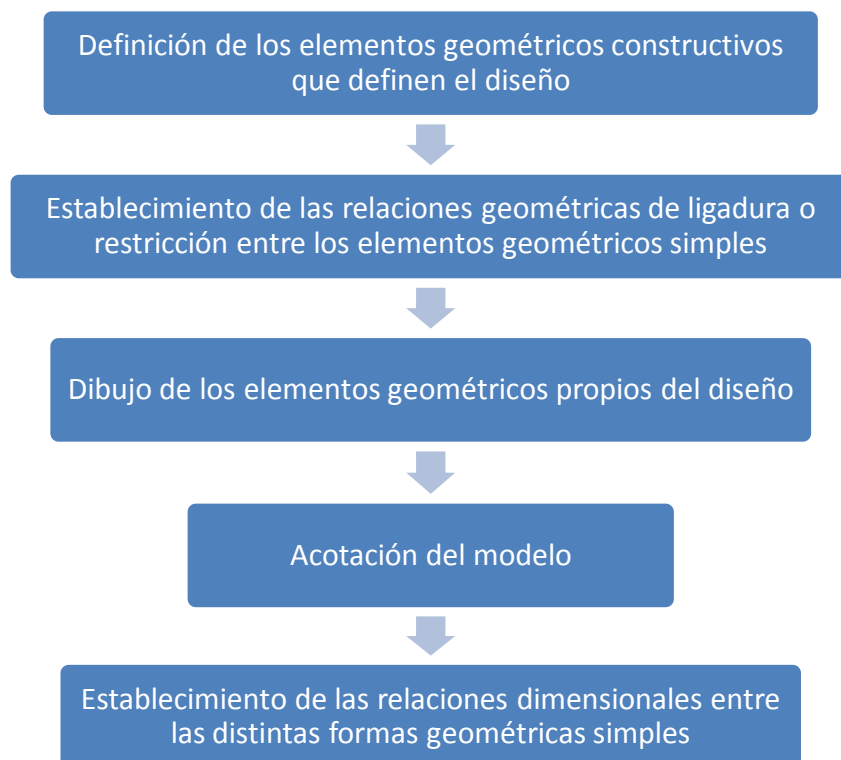


Ilustración 1. Esquema de ejecución de un diseño paramétrico

### 3.2 MODELADO EN CATIA V5

En este apartado se presentan las herramientas disponibles en CATIA para el diseño de una pieza, el entorno de trabajo y las operaciones de mecanizado.

#### 3.2.1 HERRAMIENTAS DE MODELADO

Los tres módulos utilizados durante el transcurso de este proyecto han sido *Part Design*, *Assembly Design* y *Prismatic Machining*.

El primer módulo se utilizará para crear la pieza a final y la pieza en bruto, así como todos los componentes de la máquina y del utillaje necesarios. Será en el diseño de la pieza final cuando definamos los parámetros que nos permitirán generar la familia de piezas paramétricas, objeto de este proyecto.

Mediante las herramientas existentes dentro de este módulo, se puede diseñar cualquier tipo de geometría en formato sólido. Muchas de las operaciones de modelado de sólidos parten de un boceto inicial, al partir del cual se generará la geometría 3D del material sólido. Estos bocetos se dibujan en el módulo *Sketcher*. Este módulo dispone de las herramientas clásicas de dibujo, así como la posibilidad de modificar bocetos y de crear restricciones geométricas y dimensionales.

El módulo de *Assembly Design* se utiliza para el ensamblaje de los elementos conforman la máquina herramienta, los elementos de sujeción y utillaje. Este módulo contiene todas las herramientas necesarias para ensamblar piezas y crear conjuntos. Tiene como principal función representar de la forma más exacta la posible la posición relativa de las piezas en la situación inicial, final, o en cualquier situación intermedia. Esto permite ver el proceso con más claridad además de poder desarrollar distintos tipos de análisis.

El tercer módulo *Prismatic Machining*, se usa para modelar la secuencia de operaciones de mecanizado y obtener el código de control numérico en APT.

### 3.3 PROCESO DE DISEÑO

Todo producto fabricado debe satisfacer unas especificaciones de diseño.

- Atributos geométricos. Dimensiones, acabado superficial y forma
- Atributos de servicio:
  - Propiedades mecánicas: resistencia, ductilidad, resiliencia, tenacidad, dureza...
  - Propiedades físicas: densidad, propiedades eléctricas, térmicas, magnéticas, ópticas, tribológicas...
  - Propiedades químicas: resistencia a la corrosión, degradación, toxicidad, inflamabilidad...

De cara al proceso de modelado, una vez definido el diseño del modelo, se pretende garantizar:

- Mínimo número posible de operaciones
- Mínimo número posible de paradas y cambios en el montaje. Por lo que se usará el mínimo número de posturas que permitan garantizar el correcto mecanizado de la pieza a fabricar.
- Mínimo número de herramientas y de cambios de herramientas. Estas herramientas se diseñarán al igual que la pieza final y el material de partida de forma paramétrica, teniendo en cuenta que sus dimensiones estarán determinadas por la pieza a mecanizar, sus dimensiones y profundidades.

### 3.3.1 SECUENCIA DE DISEÑO

En las operaciones de modelado de sólidos se parte de un boceto inicial, que se dibuja en el módulo Sketcher, a partir del cual se genera la geometría 3D del sólido. El objetivo al trabajar un Sketch consiste en dibujar la geometría que necesitamos en su posición exacta, utilizando constraints de tal modo que faciliten su posterior modificación.

Los elementos a definir serán:

- \_Pieza final
- \_Pieza en bruto
- \_Piezas intermedias si fueran necesarias
- \_Mesa de trabajo y sistema de cogida
- \_Herramientas y portaherramientas si fueran necesarios

### 3.3.2 CREACIÓN DEL MODELO 2D

La creación del modelo 2D servirá de base para obtener la pieza final en 3D. Este tipo de modelo 2D, son la base de partida del proceso de diseño. En él tenemos agrupados los contornos o figuras en los que nos apoyaremos para crear posteriormente el sólido 3D. Será mediante la creación de este modelo 2D cuando definamos la geometría y dimensiones del modelo y definamos las constraints necesarias para parametrizar nuestro diseño.

Existen dos tipos de constraints: las constraints geométricas y las dimensionales. Las geométricas se utilizan para establecer la forma y posición de elementos dentro del Sketch.

Como hemos especificado anteriormente, el objetivo de parametrizar el Sketch, consiste en bloquear por completo la forma y posición de todos los objetos de cara a realizar cambios o definir como es en nuestro caso, una familia de piezas.

### 3.3.3 CREACIÓN DEL MODELO 3D

Una vez definido el modelo 2D pasamos a definir el modelo 3D. En este tipo de modelo, existen tres operaciones características: las operaciones que añaden material, las que quitan material, y las que realizan agujeros o roscas. Hay diversas herramientas para generar material sólido 3D a partir de un boceto 2D.

La herramienta *pad* genera material sólido mediante una extrusión en la dirección perpendicular al plano del boceto, la herramienta *pocket* es similar a *pad* excepto que elimina material en vez de generarlo, la herramienta *rib* genera material sólido igual que *pad* con la diferencia que la extrusión para producir sólido sigue una trayectoria determinada; otras herramientas son *shaft*, *groove*, *hole*, *slot*, etc.

A la hora de llevar a cabo la creación del modelo 3D partiremos del diseño de la pieza final. Esta pieza reflejará las hipótesis de partida y consideraciones generales expuestas en el proceso de diseño. Deberá garantizar estructural y dimensionalmente unos requerimientos que permitan satisfacer su funcionalidad.

Una vez definida la pieza final debe procederse a la defición del Stock o Material de Partida. Este material de partida se definirá buscando la minimización del material, teniendo en cuenta de deberá tener un espesor y unas dimensiones estandarizadas. Para determinar dicha preforma se debe elegir:

- El tipo de material. Atendiendo a su maquinabilidad, sus tratamientos térmicos así como la capacidad de soportar aprietes por parte de los amarres.
- Forma y dimensiones. Se diseñará teniendo en cuenta unas crecidas que permitan albergar en él los taladros de cogida e izado, es decir, los taladros de posicionamiento y cogida del material al útil.

Tendrá un diseño simplificado, siendo la forma de este un paralelepípedo que contenga a la pieza, con seis lados tangentes a las caras del espacio tridimensional, teniendo en cuenta que por cada lado tendrá unas crecidas que le posibiliten el correcto posicionamiento de los taladros de centraje e izado. Deberá albergar en él los taladros de sujeción en el caso en el que este corresponda al sistema de cogida pieza-útil.

Los taladros de izado se llevarían a cabo en el caso de que el taco fuese difícil de manejar por su tamaño o peso. Para ello sería necesario realizar unos taladros roscados, donde posteriormente se montarían unos cáncamos de izado. La cantidad de taladros de izado dependerá del peso y del tamaño del material de partida. Para situar estos taladros es necesario tener en cuenta el tipo de máquina con la que vamos a trabajar.

En el caso en el que la mesa de trabajo estuviera dispuesta horizontalmente, estos taladros de izado serían necesarios si el tocho tuviera un peso superior a 20 kg. Ya que se puede manipular el taco manualmente sin problema por debajo de ese peso en el caso de mesa horizontal.

En cambio, en el caso de una mesa vertical, el peso y el tamaño son más restrictivos que en el de una mesa horizontal, ya que el operario necesitará sujetar el taco para posteriormente atornillarlo a la mesa de trabajo. Por lo que en este caso las limitaciones de tamaño y peso son mayores que en el caso anterior. Los taladros de izado se llevarán a cabo en el caso de piezas a partir de 12 kg.

Una vez tomadas las decisiones sobre los elementos de fijación y posición, es decir, el número y la disposición que garantice una sólida cogida a la mesa de trabajo y permita llevar a cabo el mecanizado de nuestra pieza cumpliendo las tolerancias dimensionales exigidas, pasamos a calcular las dimensiones del material de partida.

Este diseño del material de partida se llevará a cabo teniendo en cuenta:

- Si el lado que se tiene que calcular forma parte de la pieza terminada, se le darán unas creces de 5 mm por cada lado.
- Se diseñará el Stock teniendo en cuenta que el número de tornillos será el mínimo que asegure una sólida sujeción de la pieza, para soportar las cargas de mecanizado en función de los criterios de mecanizado y de la geometría de la pieza.

Siempre que sea posible se embutirán las cabezas de los tornillos para evitar colisiones.

La posición de los taladros de los tornillos será tal que tenga cotas exactas (a ser posible múltiplos de 5mm) e irán colocados estableciendo una simetría de tal manera que cuando volteemos estos coincidirán en ambas posturas.

Además deberá tener una distancia de separación suficiente para garantizar que la herramienta pueda realizar las pasadas necesarias sin colisionar con la pieza o con la fijación, así como las vibraciones del conjunto pieza-herramienta durante el mecanizado. Estas vibraciones pueden ser causadas además por fijaciones incorrectas o poco rígidas o porque la pieza se deforme cuando incida sobre ella la herramienta.

Si se lleva a cabo un mecanizado de alta velocidad, al ser necesarias menores cargas de aplicación, el número de tornillos también será menor; sin embargo, en el caso de mecanizado convencional, será necesario aplicar mayores cargas por lo que el número de tornillos para fijar el tocho a la mesa de trabajo también será mayor.

Un posible criterio a la hora de fijar la pieza es anclarla en los puntos donde las fuerzas de corte son máximas. Mientras que esto aumenta la rigidez del soporte de la pieza, el peso de montaje adicional relacionado puede limitar el desempeño global de la máquina en otros aspectos. Así mismo, sujetar más partes de la pieza puede mejorar la rigidez, pero los puntos de anclaje adicionales también pueden necesitar más espacio en la zona de trabajo. Esto también puede generar problemas de espacios muertos.

- Para determinar las creces en el lado donde se alojan los tornillos es necesario tener en cuenta que éstas vendrán determinadas por: el diámetro de la herramienta mayor que satisfaciendo las condiciones de corte necesarias pase por allí, el diámetro de la cabeza del tornillo, más unas creces adicionales para garantizar las dimensiones requeridas de la pieza final.

### 3.3.4 ENSAMBLAJE DE PIEZAS

Una vez definido el tocho de partida, y el modelo final, es necesario proceder al ensamblaje de piezas, que nos servirá de soporte de cara al posterior mecanizado de las mismas.

El ensamblaje de piezas tiene como principal función representar de la forma más exacta posible la posición relativa de las piezas en la situación inicial, final o en cualquier situación intermedia. Esto permite ver el proceso con más claridad, además de poder aplicar distintos tipos de análisis.

Este ensamblaje se lleva a cabo mediante el módulo de Assembly Design. La forma de situar las piezas en un Assembly de manera adecuada es utilizando condiciones de posición entre piezas, denominadas constraints. Por medio de las constraints se añaden pequeñas referencias de posición entre las piezas, que además de asociar dichas piezas entre sí, restringen la posibilidad de desplazamiento en el espacio.

### 3.3.5 MESA DE TRABAJO. ELEMENTOS DE COGIDA. SISTEMA DE SUJECCIÓN

Una vez diseñado el Stock de partida, pasaremos a determinar los elementos de cogida y el sistema de sujeción. Los modelos diseñados, necesitan estar fijados a la mesa de trabajo para poder llevar a cabo el proceso de mecanizado. En los procesos de mecanizado, el aseguramiento geométrico de una parte depende principalmente de la posición relativa de la pieza y la herramienta. Se ha de procurar que a lo largo del proceso las superficies acabadas que se utilizan como referencia, y por lo tanto de apoyo, en operaciones posteriores no resultan dañadas por indentaciones que producen los propios utillajes.

Atendiendo a su funcionalidad, los elementos o útiles de cogida pueden ser de dos tipos:

- Útiles estándar. Se utilizan para fabricar varias piezas distintas al costar de una serie de taladros roscados donde se pueden montar distintos tamaños de Stock.
- Útiles específicos. Tiene una funcionalidad individualizada.

Los elementos de sujeción, afectan directamente a la calidad, productividad y coste de los productos. El tiempo empleado en el diseño y la fabricación de los amarres influye en la mejora y desarrollo de los productos. Un buen diseño de amarre, por lo tanto, debe:

- Prever, en la medida de lo posible, su capacidad para fabricar dentro de tolerancia, estimando el valor medio y la varianza de las cotas dimensionales o geométricas después del proceso.
- Configurar los amarres asegurando la fijación de la pieza.
- Determinación de las fuerzas de apriete y las fuerzas de fijación.
- Facilitar el control en entornos automatizados. Teniendo datos concretos de fuerzas de apriete mínima y máxima.
- Diseñar el contacto para que no se produzcan indentaciones en superficies acabadas, y evitar deslizamiento cuando así se requiera.

El requisito principal de un amarre es localizar una pieza en una posición dada dentro de la bancada de la máquina-herramienta. Esta posición se ha de asegurar contra las fuerzas de corte, vibraciones, por lo que el amarre debe ser suficientemente rígido y estable. Este amarre también debe permitir cargar y descargar la pieza con facilidad, y garantizar una operación de montaje simple y segura, con un coste reducido, que facilite la automatización del mismo. Esto se llevará a cabo mediante accesorios de utillaje. Éstos son elementos de fijación, apoyo o alineación de los útiles de mecanizado.

En el caso de que la pieza a mecanizar tuviera espesores muy delgados, sería posible que aparecieran vibraciones al mecanizar el fondo de la pieza. Dichas vibraciones afectarían a las tolerancias dimensionales y a las rugosidades obtenidas, por lo que la armonía entre la herramienta y su movimiento de corte junto con la pieza y máquina es esencial para maximizar el mejor acabado.

Para evitar estas vibraciones y asegurar un buen acabado superficial, sería posible utilizar útiles de vacío, cuya misión es asegurar un perfecto asentamiento de la misma. El útil de vacío consta de un circuito ranurado con la forma de la base de asiento de la pieza, y está formado por una serie de pequeñas ranuras, comunicadas entre sí, de forma que toda la superficie de asiento de la pieza esté en contacto con el circuito de tal forma que se forme el vacío. Para independizar este circuito del exterior, en el útil se monta una junta de estanqueidad para evitar posibles fugas. Este tipo de útiles tienen un coste de fabricación muy elevado, y en el caso del diseño paramétrico carecen de sentido, ya que para crear el vacío las ranuras deben reproducir el contorno de la pieza, por lo que en el caso de generar una familia de piezas paramétricas sería necesario construir un útil para cada pieza que formase la familia.

En el resto de los casos, el sistema de fijación puede llevarse a cabo con la utilización de prensillas o con tornillos de fijación. El sistema de prensillas no necesita fabricar ningún útil específico para fijar la pieza, pero no es apropiado su uso en el caso de tener la pieza más de una posición de mecanizado. Entre estos accesorios podemos distinguir:

- Tornillos de fijación. Se utilizan para fijar el Stock o Materia prima al útil de mecanizado, pueden ser montados en taladros redoblonados, para evitar así que los tornillos sobresalgan de la cara superior de la pieza, evitando así una excesiva longitud de herramienta, y permitiendo a su vez que la cara superior de la pieza pueda ser mecanizada en su totalidad.

Suelen ser tornillos de tipo cabeza Allen DIN-912 con una separación entre tornillos inferior a 300mm.

- Suplementos. Estos elementos se utilizan para mejorar el asiento de la pieza al útil como consecuencia de los huecos producidos por un mecanizado en una fase anterior. También se utilizan cuando el Stock se monta sobre un útil estándar con la idea de separar la pieza a mecanizar del útil.
- Bridas. Son elementos de sujeción que están compuestos por paralelepípedos con una ranura central para alojar un tornillo de apriete, y un taladro roscado en un extremo para montar una varilla roscada que pueda ser regulable en su longitud. Se utilizan para fijar zonas que han quedado debilitadas por el mecanizado.

En cuanto a la mesa de trabajo, esta se puede disponer tanto vertical como horizontalmente. Esta decisión se tomará teniendo en cuenta:

\_La disposición horizontal de la mesa de trabajo:

- Es favorable para fresado de piezas más grandes.
- Facilita la evacuación de la viruta en fresado de cavidades y evita el remecanizado.
- Menor masa para acelerar/desacelerar.

\_La disposición vertical de la mesa de trabajo:

Para el caso de pequeños centros de mecanizado verticales:

- Cobertura total pequeña, requiere menos espacio en el taller.
- Muy adecuado para alta velocidad/avance, ligero y rápido.

En el caso de grandes centros de mecanizado verticales:

- Ofrecen mejor estabilidad mientras la pieza descansa sobre la mesa.
- Adecuados para piezas más grandes y pesadas.
- Pueden trabajar con montajes de herramientas más largos y pesados.

En la siguiente figura, se muestra una mesa de trabajo con disposición vertical, sobre la que se ha situado una matriz de taladros sobre la que posicionará el estado de entrada.

Los agujeros de la matriz están separados una cierta distancia que viene normalizada de fábrica. A su vez lleva cuatro tornillos que unen la matriz a la propia máquina de mecanizado.

Esta mesa de trabajo, también puede llevar un útil auxiliar que va cogido a la matriz de taladros y sobre el que posicionaremos en este caso el estado de entrada. Esto es común disponerlo de esta forma cuando:

- Cuando la pieza por sus dimensiones no puede llevar los taladros en posiciones que se adecuen a las posiciones normalizadas de la matriz.
- Cuando la matriz de mecanizado está compuesta de un material caro, se coloca el útil entre la pieza y la matriz quedando ésta salvaguardada de las herramientas en el proceso de mecanizado y sufriendo desperfecto el útil que sale más económico.

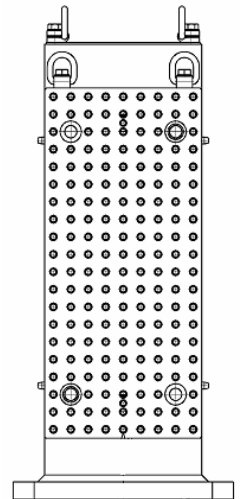


Ilustración 2. Matriz de taladros.

En el caso del diseño paramétrico, este útil auxiliar sería necesario fabricarlo de forma paramétrica, por lo que se considerará de cara al diseño establecer una disposición adecuada de los taladros tal que nos permita fijar sobre la matriz las piezas que conforman nuestra familia, sin necesidad de disponer de dicho útil auxiliar.

### 3.3.6 DEFINICIÓN DEL SISTEMA DE EJES

- Se crearán tantos ejes de referencias como posturas haya.
- El plano XY ( $Z=0$ ) debe coincidir con el plano de asiento del material de partida en cada postura, es decir, con el plano del útil.
- A ser posible se elegirán los puntos de los centros de los ejes de referencia en las fijas de tal manera que permita establecer claramente el volteo en las diferentes posturas.

## 3.4 PROCESO DE MECANIZADO

Los procesos de mecanizado constituyen, en la actualidad, el conjunto de procesos de fabricación más ampliamente difundidos en la industria. Ello es debido, entre otras razones, a su gran versatilidad en la obtención de diferentes tipos de geometría y al nivel de precisión dimensional obtenido en comparación con otros procesos.

Los equipos propios de mecanizado han experimentado una evolución más acusada que los restantes en el campo de la automatización, siendo las Máquinas-Herramienta de Control Numérico el más claro exponente de este hecho.

No es posible establecer y generalizar un Proceso de Mecanizado que sea aplicable a todas las piezas, sin embargo es posible particularizar algunos criterios sobre estrategias de mecanizado, y aplicar una secuencia común de operaciones de mecanizado a diferentes grupos de piezas que tengan una geometría similar.

Los pasos a seguir para una completa definición del proceso son principalmente:

1. Creación del Product de mecanizado, estudio de la pieza a fabricar.
2. Selección de los elementos y equipos. Análisis de las operaciones elementales y selección de las herramientas.
3. Definición de las condiciones técnicas de mecanizado.
4. Definición de las secuencias de mecanizado
5. Post-procesado y adquisición del código de control numérico final
6. Depuración del código generado

Llevar a cabo el proceso de mecanizado siguiendo el concepto de parametrización, quiere decir que las secuencias de serán comunes para las distintas piezas que forman nuestra familia. Teniendo en cuenta que volcando sobre el CatProcess los distintos parámetros de la pieza final y estableciendo los vínculos oportunos, se generarán las trayectorias necesarias para llevar a cabo el proceso de mecanizado.

Es necesario tener en cuenta, como se enunció anteriormente, que para poder implementar el mecanizado de manera paramétrica, únicamente será necesario llevar a cabo este proceso en un mismo árbol de trabajo. Éste está estructurado en tres partes diferenciadas PRR: Process (operaciones), Product (piezas), Resources (máquinas, herramientas) permite la rápida y clara edición de operaciones de mecanizado.

1. El Process incluye las operaciones relacionadas con el mecanizado, como son:

- Elección de máquina
- Elección de herramientas
- Giros auxiliares de mecanizado
- Operaciones de mecanizado. Para definir una operación de mecanizado es necesario tener en cuenta los siguientes conceptos que maneja CATIA en sus módulos.
  - Part Operation. Nivel más alto de selección, enlaza las operaciones a realizar con la máquina y la pieza diseñada.
  - Manufacturing Program. Segundo nivel. Describe el orden en el que se llevarán a cabo las operaciones.
  - Machining Operation. Tercer nivel. Contiene toda la información acerca de una operación concreta.
  - Auxiliary Operation. Tercer nivel. Conjunto de movimientos que realizará la herramienta sin realizar ningún mecanizado.
  - Machining Process. Conjunto de operaciones de mecanizado.
  - Machining Features. Creación de áreas de mecanizado.

Las distintas operaciones se implementarán haciendo referencia a superficies de contacto, no a magnitudes, por lo que al cambiar las dimensiones en el diseño, se podrá llevar a cabo de la misma forma el mecanizado de la misma.

2. En el Product se introducen las piezas y conjuntos que servirán como referencia para realizar las operaciones de mecanizado, es decir, el estado de entrada, la pieza final y los elementos de posicionamiento y sujeción.

3. En los Resources se almacenan las máquinas y herramientas utilizadas durante el proceso. Las herramientas son seleccionadas en la sección Process y son automáticamente copiadas en Resources List para poder ser seleccionadas en las distintas operaciones de mecanizado.

Por lo que operando de esta forma, quedará determinado desde el proceso de diseño al proceso de fabricación de mi pieza, permitiéndonos este hecho generar el conjunto de piezas paramétricas objeto de este proyecto.

De igual manera, esta estructura, al tener definida la pieza final, el material de partida y las herramientas, y estar todas referenciadas a una serie de parámetros definidos en el proceso de diseño de la pieza final, permitirán regenerar el proceso de mecanizado automáticamente únicamente alterando dichos parámetros en las tablas de diseño. Es necesario tener en cuenta que será necesario llevar a cabo las mismas operaciones y en el mismo orden, ya que este proceso de mecanizado no permite alterar la secuencia de operaciones, únicamente permite llevar a cabo el ajuste de las dimensiones paramétricas establecidas previamente.

### 3.5 CONDICIONES TÉCNICAS DE MECANIZADO

En nuestro caso, únicamente nos centramos en definir el tipo de mecanizado que llevaremos a cabo, atendiendo al método de eliminación empleado y a las características de corte usadas, sin centrarnos en la velocidad de avance, profundidad de pasada, etc.

Los Procesos de Conformado por Eliminación de Material, habitualmente denominados Procesos de Mecanizado, se caracterizan por la obtención de la geometría final de la pieza mediante la eliminación del material sobrante de una preforma de partida.

Según el método empleado en la eliminación del material, pueden considerarse incluidas dentro de los procesos de mecanizado las dos siguientes categorías de procesos.

- Procesos Convencionales. La eliminación de material se realiza fundamentalmente por medios mecánicos. Los procesos de torneado, fresado y taladrado, pertenecen a este grupo.
- Procesos No Convencionales. La eliminación de material se debe fundamentalmente a otros medios diferentes de los mecánicos (eléctricos, físico-químicos, etc.). Procesos pertenecientes a este grupo son la electroerosión y el fresado químico entre otros.

Solamente podemos definir el mecanizado de alta velocidad en términos relativos; comparándolo con el rendimiento conseguido a través de métodos y centros de mecanizado convencionales. Mediante el mecanizado de alta velocidad se trata de lograr máximas capacidades mediante la utilización de métodos convencionales con centros de mecanizado CNC.

Generalmente en las aplicaciones en las que se utiliza HSM la profundidad de corte y el espesor de la viruta promedio es mucho menor comparado con el mecanizado convencional. Entonces la tasa de material removido es consecuentemente menor.

El Mecanizado de Alta Velocidad consiste en la optimización del mecanizado con las posibilidades existentes limitado por la pieza/material a mecanizar y las herramientas-máquinas (CAD/CAM-CNC) disponibles. Este se refiere a altas velocidades de rotación con altas velocidades de alimentación del material.

Este tipo de mecanizado es utilizado para conseguir altos grados de terminación, para obtener complejas configuraciones 3D, y también para eliminar etapas respecto a la formación de una pieza por mecanizado convencional. Cambia las necesidades en lo que se refiere al diseño y construcción de la máquina herramienta. Para conseguir tolerancias más ajustadas, las estructuras de las máquinas tienen que ser más precisas geométricamente y además deben tener un alto grado de estabilidad térmica

Es necesario tener en cuenta que existen una serie de razones para aumentar la velocidad de corte:

1. Aumento del calor evacuado por la viruta
2. Reducción de las fuerzas de corte
3. Mejora del acabado superficial
4. Reducción del número de pasadas frente al mecanizado tradicional

Esto puede suponer mecanizar a velocidades de corte entre 5 y 10 veces superiores a las que se utilizan en el mecanizado convencional. A medida que las velocidades del husillo aumentan, las fuerzas de corte decrecen. Pero duplicar las rpm del husillo no significa que el metal pueda ser removido en la mitad del tiempo. Diferentes tipos de operaciones de mecanizado y parámetros imponen diferentes fuerzas dinámicas sobre la máquina.

La base del funcionamiento del mecanizado de alta velocidad radica en la escasa profundidad de corte, significando esto menor calor generado en el corte, pudiéndose en este caso incrementarse considerablemente las rpm.

Además, como la carga de viruta por diente permanece constante o aumenta, se puede alcanzar una velocidad de avance mucho más alta a medida que las rpm se incrementan. El tiempo de contacto herramienta-viruta es muy pequeño, haciendo que el calor generado apenas sea transmitido a la herramienta o a la pieza. Por ello, presenta una gran ventaja en cuanto a la evacuación del calor se refiere, permitiendo que la pieza y la herramienta durante el proceso de mecanizado permanezcan a temperaturas inferiores, lo cual aumenta la vida de la herramienta.

La temperatura es un factor fundamental en los procesos de mecanizado ya que afecta de manera negativa a la pieza y a la herramienta, modificando la geometría superficial, y disminuyendo la vida útil de la misma.

|                              | Convencional | High Speed Machinning |
|------------------------------|--------------|-----------------------|
| Calor hacia la pieza         | 40%          | 10%                   |
| Calor hacia la herramienta   | 40%          | 10%                   |
| Calor evacuado por la viruta | 20%          | 80%                   |

Para llevar a cabo aplicaciones de HSM es necesario utilizar maquinas herramientas rígidas y especialmente preparadas. También se requieren herramientas de corte como carros porta-herramientas específicamente diseñados para este tipo de mecanizado.

Es importante también contar con un software adecuado para calcular y establecer los caminos convenientes para realizar el mecanizado (CAD-CAM).

El MHS presenta las siguientes ventajas:

1. Gran evacuación de calor, permitiendo que la pieza y la herramienta durante el proceso de mecanizado permanezcan a temperaturas inferiores (la temperatura afecta de manera negativa a la pieza y a la herramienta, modificando su geometría superficial, y disminuyendo la vida útil de la misma), lo cual aumenta la vida de la herramienta.
2. FAVORECE LA SEGURIDAD. Mayor precisión de contornos, mejor calidad superficial y tolerancias dimensionales más precisas. De cara al mecanizado permite un mecanizado de una sola pasada para el desbaste y acabado.
3. Reducción del tiempo de mecanizado. La reducción de pasos en el proceso es una ventaja importante del HSM, ya que produce una baja en los costos de inversión y simplifica la logística. Menos espacio de planta es necesario.
4. Hay una disminución del coeficiente de rozamiento viruta-herramienta, reduciendo las fuerzas de corte y el desgaste. La baja fuerza de corte reduce las deflexiones de la herramienta y también las del husillo. Esto protege al cojinete, a las guías y principalmente evita vibraciones dañinas para la máquina y perjudiciales para la terminación de la pieza.
5. Se puede realizar mecanizados de paredes realmente finas.
6. Los diseños y los cambios en el diseño pueden ser hechos muy rápidamente vía CAD/CAM.
7. Puede reducir los requisitos de fijación de piezas. Las fuerzas de corte son más bajas, por tanto las fuerzas de fijación también lo serán.

Teniendo en cuenta lo enunciado anteriormente podemos concluir que el mecanizado de alta velocidad permite un incremento de la calidad, reducción del tiempo de fabricación y de costes.

El MHS también presenta una serie de desventajas que pasamos a comentar a continuación:

1. Mayores gastos de inversión → familia de piezas. Necesidad de formación, infraestructuras, herramientas y controles CAD/CAM adaptados. El gasto de tiempo CAD/CAM es generalmente mayor que el gasto de tiempo en mecanizado.
2. La máquina deber ser capaz de responder a las velocidades de mecanizado deseadas y al perfil objetivo. Debe ser capaz de prever cómo va a cambiar la trayectoria exigida a la herramienta en el instante de tiempo siguiente.
3. Las altas aceleraciones y desaceleraciones, así como el arranque intermitente del husillo provocan un relativamente alto desgaste de las guías, del cojinete, lo que ocasiona costos de mantenimiento mayores.

Es necesario tener en cuenta que las aplicaciones de alta velocidad en máquinas herramienta exigen un mínimo nivel de prestaciones a los CNC que gestionan el proceso de mecanizado, de modo que sean capaces de controlar las altas velocidades y aceleraciones de los ejes con el nivel de precisión requerido.

1. Tiempo de ciclo del servoaccionamiento. El valor de este tiempo marca la precisión en distancia que se puede obtener para un eje moviéndose con un avance determinado.
2. Tiempo de proceso de bloque. Es el mínimo tiempo que transcurre entre la ejecución de dos bloques del programa de CNC. Este influye en el tiempo que necesita el CNC para interpretar un dato del programa, incluyendo todas las funciones preparatorias.
3. Look-Ahead. Es una función en la cual, el procesador de CNC evalúa por adelantado los cambios en los movimientos de los ejes que aparecen en el programa de la pieza que se está ejecutando. Esto permite a la máquina mantener el avance a valores relativamente altos evitando marcas en el mecanizado y paradas de máquina.
4. Control de aceleraciones. El tener altos valores de jerk o sacudida supone fuertes cargas para la mecánica de la máquina herramienta y provoca vibraciones en los ejes. Los controles proporcionan la posibilidad de limitar el valor del jerk.

### 3.6 MÓDULOS DE MECANIZADO

Una vez que se tienen definidos los modelos de la pieza diseñada y del StockSize, que se empleará en el proceso de fabricación, es el momento de empezar a trabajar con el módulo de mecanizado; para ello CATIA dispone de diferentes áreas de trabajo.

En las consideraciones de mecanizado tendremos que tener en cuenta:

- El entorno de los módulos de CATIA que permiten llevar a cabo la operación.
- El tipo de máquinas genéricas que se pueden seleccionar para realizar las operaciones, dentro de la máquina veremos las definiciones características propias.
- Elegir un eje de referencia tanto para la máquina como para la herramienta

En este capítulo se presentan las herramientas disponibles para la definición del entorno de trabajo y las operaciones de mecanizado. Los módulos de mecanizado de CATIA tienen como finalidad la creación y gestión de programas de control numérico. Las principales ventajas de CATIA en mecanizado son:

- CATIA puede simular operaciones de máquina desde 2.5 hasta 5 ejes.
- Uso extremadamente sencillo con cuadros de diálogo altamente intuitivos.
- Estrecha relación entre operación, verificación y generación de código.
- Relación entre la pieza y el proceso de mecanizado; gracias a la integración en CATIA.
- Manejo sencillo de herramientas y catálogos.
- Facilidad de creación y edición de parámetros y su aplicación dentro de las operaciones.
- Facilidad en la generación de código de control numérico gracias a la integración con los accesos a los postprocesadores.

- Creación de la documentación de la secuencia de mecanizado de la pieza.
- Basado en una estructura de mecanizado en árbol de la forma PPR: Process (operaciones), Product (conjuntos, piezas), Resources (máquinas, herramientas) permite la rápida y clara edición de operaciones de mecanizado.
- Los módulos de mecanizado de CATIA están integrados con herramientas del tipo DPM (Digital Process for Manufacturing) como son los simuladores de mecanizado.
- Creación y administración de librerías de herramientas, incluyendo la posibilidad de crear herramientas de forma, asociando la herramienta a una pieza modelada con CATIA.

Gracias a CATIA V5, podemos generar un código de mecanizado y enviarlo directamente a una máquina de control numérico para la producción de piezas.

Es necesario tener en cuenta que CATIA se organiza en distintos módulos, enfocados cada uno de ellos a unas funciones específicas. En nuestro caso, para llevar a cabo el mecanizado de la preforma nos centraremos en dos de los módulos de mecanizado: Machining Operation y Machining simulation.

- Machining Operation. Contiene las herramientas básicas de mecanizado sobre un plano, es decir, las operaciones que se pueden realizar en una máquina de dos ejes y medio. Desde el punto de vista de la programación, esta es la parte más crítica de un proceso de mecanizado, porque el orden de las operaciones determinan la calidad del proceso.

Existen distintos modos de programación a la hora de hacer un programa de CN, en función del tipo de las operaciones de mecanizado que necesite la pieza. Estos modos de programación son las estrategias necesarias para obtener un resultado determinado.

CATIA V5 pone a disposición del Programador estos distintos modos de programación que permiten simplificar la elección del tipo de operaciones en cada momento. Una determinada operación de mecanizado se puede realizar con distintos modos de programación diferentes, en función de los requisitos y geometría que interviene en el mecanizado.

#### ➤ Prismatic Machining.

Este modo de programación es el más elemental de los que pasarán a comentarse posteriormente. Se caracteriza porque el vector de la herramienta permanece constante durante toda la trayectoria de una operación de mecanizado.

Su principal particularidad es que mecaniza de forma prismática aunque la superficie a mecanizar no sea plana. Este modo de programación es aplicable al mecanizado de áreas que tengas sus lados ortogonales a la superficie de la pieza.

#### ➤ Surface Machining.

En este modo de programación, la herramienta tiene en cuenta como es realmente la geometría del fondo y los laterales de la pieza, y realiza el mecanizado adaptándose a esta superficie.

En este caso, el vector de la herramienta permanece constante durante toda la trayectoria de una operación. Éste a su vez puede ser paralelo al eje “Z” del sistema de Referencia, o tener cierta inclinación con algunos de los planos del sistema, por lo que el Surface Machining puede ser mecanizado en una máquina de tres o cinco ejes según las componentes del vector de la herramienta.

- Machining Simulation. NC Machine Tool Simulation. Proporciona herramientas para el análisis con las máquinas herramienta.

Una de las características más ventajosas de los sistemas CAD/CAM actuales es que podemos simular con precisión todos los movimientos de nuestra máquina y de nuestras herramientas. Esto nos permite chequear fácilmente posibles colisiones. CATIA dispone de varias formas de simulación y verificación que permiten comprobar posibles colisiones entre pieza-herramientas, sobrantes de material o discordancia entre la pieza resultante y la modelada.

- “Tool path replay” para visualización de trayectorias. Mediante esta herramienta podemos ver diversas opciones de reproducción, así como los tiempos estimados para esa operación y el mecanizado completo. También podemos comprobar el alcance de la herramienta y las colisiones.
- “Video simulation” para las simulaciones de eliminación de material. Es necesario tener definido un tocho de partida en nuestro “Setup”, de lo contrario CATIA nos asignará uno por defecto. Este módulo es muy útil para comprobar que no nos dejamos partes sin mecanizar o para ver si las trayectorias de transición colisionan con el tocho.
- “Machine simulation” para simular los movimientos de la máquina-herramienta. Para poder utilizar este modo es necesario disponer de un modelo 3D de nuestra máquina. En este modo podemos analizar las colisiones con detalle y, si es necesario, podemos editar las trayectorias para evitar impactos.

CATIA dispone de operaciones auxiliares que pueden ser de ayuda a la hora de definir el proceso. Estas barras de herramientas permiten realizar tareas de forma manual, además contiene un comando para insertar instrucciones de post-procesado.

- Cambio de herramienta.
- Definición de la herramienta. En este menú podemos utilizar herramientas que se encuentran predefinidas. También disponemos de un amplio abanico de opciones para crear y editar nuestras propias herramientas.
- Definición de porta herramientas. También se pueden editar los portaherramientas. Podemos usar uno creado, o bien diseñar uno nuevo, ajustándolo a nuestras necesidades.

Tras elegir una Machining Operation podemos cumplimentar y definir la geometría, la estrategia y los parámetros que son necesarios para definir esta Machining Operation.

\_Se podrá definir la trayectoria de la herramienta, el número de pasadas en sentido axial y radial, dirección y sentido de la senda de corte, etc. También se podrán definir las entidades geométricas que intervienen en la operación de mecanizado. Esta geometría queda vinculada al mecanizado, de forma que una vez definida la operación, esta geometría no puede ser modificada bajo ningún concepto.

\_Además del tipo de herramienta, quedarán establecidas las dimensiones de la misma, así como el Porta herramienta a emplear para la comprobación de colisiones.

\_Tendremos que definir la velocidad de corte, avance y otras características de uso de la herramienta. Estas condiciones de corte deben ser suministradas por el Fabricante de la Herramienta, aunque en la práctica servirán sólo como orientación, ya que será la experiencia del Programador quién imponga estas condiciones como consecuencia de su experiencia profesional.

\_Por último tenemos las “Macros” que servirá para definir unos movimientos auxiliares de comienzo y finalización de la operación. Estos movimientos auxiliares, tienen la misión de imponer las condiciones de penetración de la herramienta en el material cuando inicia el corte, y la retirada a un plano o punto de seguridad para evitar colisiones al inicio de la operación siguiente.

### 3.7 OPERACIONES DE MECANIZADO

El mecanizado es un proceso de fabricación que comprende un conjunto de operación de conformado de piezas mediante eliminación de material, ya sea por arranque de viruta o por abrasión.

Al hablar de las operaciones de mecanizado, nos estamos refiriendo a las distintas operaciones que lleva a cabo la máquina herramienta, sin tener en cuenta los movimientos realizados manualmente por parte del operario o los cambios de herramienta que se llevarán a cabo de forma automática por la máquina.

Una vez identificadas estas operaciones, es tarea del programador, aplicarlas de manera más sencilla y siguiendo un orden lógico, que permita obtener un buen acabado en la pieza a mecanizar. Es necesario tener en cuenta que según se vayan ejecutando las operaciones, la pieza cada vez estará más debilitada, y por tanto el mecanizado deberá tener condiciones más suaves para evitar vibraciones y deformaciones con daños irreparables en la calidad de la pieza.

A continuación se detallan las operaciones básicas de mecanizado. Hay que tener en cuenta que esta clasificación atiende solamente a criterios físicos y tecnológicos, sin tener en cuenta el modo de programación empleado. Hay que señalar que muchas de las operaciones que vamos a citar para 3 ejes tienen su equivalente en 5 ejes y se definen con los mismos parámetros más los relativos a la orientación espacial de la herramienta. Atendiendo a estos criterios, las operaciones básicas de mecanizado pueden agruparse en:

- **Operaciones de desbaste.** Son las que se realizan en el inicio del mecanizado. Este tipo de operaciones se realiza en varias pasadas, en él se dejan unas creces de mecanizado para dar una pasada final con mayor precisión; se pretende en esta etapa quitar la mayor parte de material sobrante. En ellas no se exige ninguna tolerancia de medida ni calidad superficial determinanda. A continuación se enuncian los tipos de operaciones de desbaste:

- *Roughing*. Es un desbastado básico en niveles Z. En esta operación se controlan simultáneamente los ejes X, Y, y Z, pero no hay cambios de orientación en los ejes. Las macros incluyen distintas opciones de entrada al material y en la estrategia se pueden seleccionar parámetros para mecanizado de alta velocidad y mecanizado trocoidal.
- *Cavities Roughing*. Especializado para piezas en las que tenemos muchas cavidades.
- *Sweep Roughing*. El desbastado por barrido puede aplicar offsets de forma progresiva a la pieza para que la forma final se parezca más a nuestras dimensiones de diseño.
- *Plunge milling*. El desbaste por penetración aplica diversas entradas de forma axial al material a modo de taladro. Esto reduce las fuerzas laterales haciéndolo indicado para desbastar cavidades profundas.

➤ **Operaciones de semi-acabado.** En este tipo de operaciones se tiene un mejor control de la trayectoria. En este caso la medida a obtener debe quedar entre dos cotas bien definidas, y ha de conseguirse una calidad superficial determinada. Para cumplir con las condiciones anteriores será preciso que la selección de la viruta sea reducida, por lo que la velocidad de corte podría ser mayor que en la operación de desbaste. A continuación se enuncian los tipos de operaciones de acabado:

- *Sweeping / 4-axis curve sweeping / Multi-axis sweeping*. Las operaciones de barrido son muy adecuadas para superficies tridimensionales y dejan un buen acabado, pero no son las más recomendables cuando se presentan escalones abruptos.
- *Zlevel machining*. Esta operación de 3 ejes da pasadas en los niveles z siguiendo el contorno de la pieza.
- *Contour-driven / Multi-axis contour driven*. Esta estrategia consiste en generar trayectorias mediante la utilización de los contornos de la pieza.
- *Spiral / Multi-axis spiral*. Para el mecanizado de superficie planas o casi planas, esta estrategia consigue uno de los mejores acabados siendo además de las más simples de usar.
- *Isoparametric / Multi-axis isoparametric*. Esta estrategia permite mecanizar superficies cuya anchura va variando con un número dado de trayectoria, generando unas “curvas de nivel” que van barriendo dicha superficie.

### 3.7.1 CREACIÓN DEL PRODUCT DE MECANIZADO

Para comenzar el proceso de diseño de las operaciones de mecanizado, es necesario en primer lugar crear un CATProduct donde se incluya el CATPart que contiene la información de la pieza diseñada y que pasará a contener la información sobre el proceso de mecanizado.

La pieza representa el elemento material objeto de la transformación durante la ejecución del proceso. En su estado inicial o preforma, la geometría de la pieza presenta unas creces o sobredimensiones respecto a la finales a obtener. Este material sobrante se elimina en una serie de operaciones sucesivas que irán aproximando la geometría de la preforma a la de la pieza terminada.

Las operaciones intermedias en este proceso se designan como operaciones de desbaste, mientras que la última pasada se denota como operación de acabado.

Una vez alcanzada la forma geométrica final, la pieza debe encontrarse dentro de las especificaciones dimensionales de diseño. Éstas especificaciones son: tolerancias dimensionales, de forma y posición, acabado superficial, etc..

Además de estas especificaciones dimensionales, la pieza final debe cumplir otras especificaciones de diseño tales como propiedades mecánicas. Estas propiedades a satisfacer serán un condicionante a la hora de elegir el proceso y la forma en la que se llevará a cabo dicho proceso.

### 3.7.2 ESTUDIO DE LOS PARÁMETROS DE MECANIZADO

Antes de comenzar a definir la operación de mecanizado es necesario establecer los parámetros generales de configuración en el programa de mecanizado. Estos parámetros son fundamentales tanto para la generación del programa de control numérico, como para la correcta simulación y pre-visualización de la operación de mecanizado.

También será necesario definir las herramientas de mecanizado requeridas y los parámetros de mecanizado de cada una de las herramientas, teniendo en cuenta que éstas junto con la máquina herramienta, impondrán una serie de limitaciones de diseño.

- Geometría a mecanizar. Representa el material objeto de transformación durante la ejecución del proceso. Una vez alcanzada la geometría final, la pieza debe encontrarse dentro de las especificaciones dimensionales de diseño, éstas son: tolerancias dimensionales, de forma y posición, acabado superficial, etc.

Además deberá cumplir otras especificaciones de diseño tales como propiedades mecánicas requeridas. Éstas serán un condicionante a la hora de elegir el proceso y la forma en la que se llevará a cabo el proceso y la secuencia de mecanizado.

- Sistema de ejes. Es necesario definir el origen y los ejes a los cuales se referirá el código del proceso.
- Tipo de máquina. Puede considerarse constituida por el conjunto de dispositivos que permiten el desplazamiento relativo entre la pieza y la herramienta y la eliminación del material sobrante de la preforma. A la hora de programar la fabricación de una pieza, necesitamos conocer las características del tipo de máquina requerida. Esto se establece estudiando la capacidad, precisión y equipamiento necesario para llevar a cabo las operaciones de mecanizado. Nuestro software CAM de CATIA v5 nos permite trabajar con varios tipos de máquinas distintos: Tornos, Fresadoras de 3 ejes y Fresadoras de 4 y 5 ejes.
- Herramientas. Son los elementos que entran en contacto directo con la pieza y produce la eliminación del material sobrante de la preforma. La tipología existente es muy amplia, ya que depende, entre otras cosas, de la operación a realizar y de las condiciones de la misma, de la máquina herramienta en la que se realiza la operación y de las propiedades que se pretenden conseguir en la pieza una vez finalizado el proceso.
- Utillaje. Es todo conjunto, generalmente mecánico, que cumple misiones de posicionamiento, fijación o cualquier otra función auxiliar en relación con la pieza, la herramienta, o su movimiento relativo.
- Operaciones de mecanizado. La aplicación de una estrategia adecuada nos permite ahorrar tiempo de programación, tiempo de mecanizado y aumenta la vida de las herramientas y la calidad del proceso.

### 3.7.3 POSICIONES DE MECANIZADO

Se entiende por posición de mecanizado cada uno de los montajes o manipulaciones que se deben realizar sobre la pieza o Stock. Este concepto es fundamental, ya que la secuencia de estas posiciones son las que determinan la viabilidad u optimización del proceso.

Cada una de las posiciones de mecanizado tiene una cara de asiento en la mesa de trabajo, es decir, una superficie de contacto o apoyo entre la pieza y la mesa en una determinada posición de mecanizado.

Cuando se trata de piezas con dos o más posiciones de mecanizado, será necesario analizar la geometría de la pieza, para pasar a determinar cuál será más conveniente que sea la posición final. Como norma general, esta decisión se tomará atendiendo a los siguientes criterios:

\_ En el caso de piezas con desbastes leves, la primera cara de mecanizado será la cara más plana, que posteriormente pasará a ser la cara de asiento de la pieza.

\_ En el caso de piezas con grandes desbastes, la primera cara que debe mecanizarse será la que tenga que desprender mayor volumen de viruta. Con este criterio aseguramos que el mayor esfuerzo de corte se realice al principio, cuando el Stock está suficientemente rígido, favoreciendo así una cogida más sólida. Para llevar a cabo esta opción será necesario dejar preparadas unas zonas de asiento para la segunda posición de mecanizado.

### 3.7.4 TIPO DE MÁQUINA HERRAMIENTA

Una máquina herramienta, puede considerarse constituida por un conjunto de dispositivos que permiten el desplazamiento relativo entre la pieza y la herramienta, cuya función principal es favorecer la eliminación del material sobrante de la preforma. Estos dispositivos pueden agruparse dentro de las siguientes categorías:

- Dispositivos de sujeción: Son aquéllos que tienen como misión asegurar que la pieza o la herramienta se mantienen en posiciones tales que permiten la eliminación de material.
- Dispositivos de accionamiento: Son aquéllos encargados de realizar el desplazamiento relativo entre la pieza y la herramienta.

Una de las decisiones primordiales a la hora de planificar el mecanizado es el tipo de máquina herramienta que utilizaremos para fabricar nuestra pieza. Ya que el hecho de elegir una máquina herramienta apropiada junto con las herramientas necesarias permite la optimizar el proceso de fabricación. Para afrontar el estudio de las soluciones constructivas de las máquinas herramientas hay que definir primero las necesidades funcionales de la misma.

Las características técnicas de una máquina herramienta indican, de una forma simple, los elementos de la máquina en cuestión, así como sus posibilidades de trabajo. Dichas características permiten conocer rápidamente las prestaciones y la capacidad de la máquina. Éstas pueden clasificarse en:

1. Características generales. Se refieren a la clase de máquina, mando de la misma, naturaleza de los mecanismos principales, forma geométrica de los órganos másicos principales, etc.
2. Características de capacidad. Se refieren a las distancias entre elementos que definen las dimensiones máximas de las piezas a montar.
3. Características de trabajo. Se refieren a las posibilidades de potencias, velocidades, etc.

Las Máquinas Herramienta permiten el movimiento relativo entre herramienta y pieza. Este se consigue mediante la interpolación del movimiento de varios ejes a la vez. Las principales propiedades de una máquina herramienta son:

- Aporta los grados de libertad necesarios para que el proceso se pueda llevar a cabo.
- Soporta las fuerzas generadas durante el proceso, así como el peso propio y las fuerzas de inercia de la propia máquina. Amortigua dado que las fuerzas que soportan pueden ser dinámicas.
- Realiza movimientos con precisión.

Existen varios tipos de M-H dependiendo del tamaño de las piezas, volumen de producción, tamaño de los lotes, grado de automatización que se desea incorporar, complejidad de las piezas y disponibilidad de superficie en planta. La elección de la máquina-herramienta que satisfaga las exigencias tecnológicas, debe hacerse de acuerdo a los siguientes factores:

1. Según el aspecto de la superficie que se desea obtener. En relación a la forma de las distintas superficies del elemento a maquinar, se deben deducir los movimientos de la herramienta y de la pieza.
2. Según las dimensiones de la pieza a maquinar. Se debe observar si las dimensiones de los desplazamientos de trabajo de la máquina-herramienta son suficientes para mecanizar la pieza.  
  
Además, se debe tomar en consideración la potencia que será necesaria durante el arranque de la viruta; ésta estará en función de la profundidad de corte, la velocidad de avance y la velocidad de corte.
3. Según la cantidad de piezas a producir. Se pueden distinguir las M-H de tipo corriente, semiautomático y automático. En general, se emplean máquinas corrientes para producciones pequeñas y máquinas automáticas para producciones grandes.
4. Según la precisión requerida. Con este factor se está en condiciones de elegir definitivamente la máquina-herramienta adecuada.

Por lo que las máquinas-herramienta se distinguen principalmente por las funciones que desempeñan, así como el tipo de piezas que pueden producir y en general se pueden dividir tomando en consideración los movimientos que efectúan durante el maquinado de las piezas. Según el número de ejes controlados podemos distinguir:

➔ Máquinas de 3 ejes controlados. Son adecuadas para piezas sencillas o para el mecanizado de superficies sin forma con curvaturas uniformes, o lo más planas posibles. Este tipo de máquinas presentan las siguientes propiedades:

- Ejes controlados X, Y, Z
- No puede inclinarse la pieza o la herramienta: no cambia la orientación de la herramienta en el espacio.
- Especialmente en superficies sin forma las condiciones de corte en el extremo de la fresa a menudo no son óptimas.

Por lo que las piezas con contornos sencillos podrán fabricarse en el plano de trabajo X/Y con 3 ejes controlados, en cambio, las piezas más complejas con contornos oblicuos requieren dos ejes adicionales para los dispositivos de inclinación.

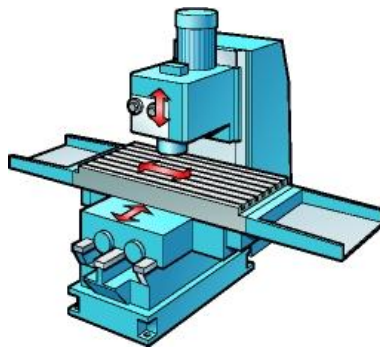


Ilustración 3. Máquina herramienta de 3 ejes

➔ Máquinas de 4 ejes con mesa rotativa. Se caracterizan por tener sincronizados los movimientos de los ejes principales con el movimiento angular del cabezal.

El tipo de piezas que pueden ser mecanizadas en este tipo de máquinas, son piezas prismáticas que tienen una o varias superficies inclinadas respecto a la base de asiento, de forma que el eje de giro de estas superficies sean paralelos a un eje de giro común para todas las superficies.

➔ Máquinas de 3+2 ejes controlados (CLAMP). Es una técnica por medio de la cual un programa de fresado de tres ejes se ejecuta con la herramienta de corte bloqueada en una posición inclinada usando los dos ejes rotativos de una máquina de 5 ejes. En este caso el 4º y 5º eje se usan para orientar la herramienta de corte en una posición fija, no para manipular la herramienta continuamente durante el proceso de mecanizado, esto es lo que distingue el mecanizado 3+2 del mecanizado continuo o simultáneo en 5 ejes. Con el 3+2, el cabezal de husillo puede acercarse a la pieza de trabajo con la herramienta en ángulo hacia la superficie.

La principal ventaja de este tipo de máquina herramienta es que permite el uso de herramientas de corte más rígidas y cortas de lo admitido por el mecanizado convencional en 3 ejes.

Una herramienta más corta permite mayores avances y velocidades con menor deflexión y menores vibraciones de la herramienta. Esto significa que pueden lograrse un buen acabado superficial y resultados dimensionales más precisos en un tiempo de ciclo más corto.

Otros beneficios incluyen movimientos más breves de la herramienta, menos líneas del código de programa y menos alistamientos de la máquina. También la capacidad de orientar los ejes permite a la herramienta trabajar en sus zonas óptimas de corte.

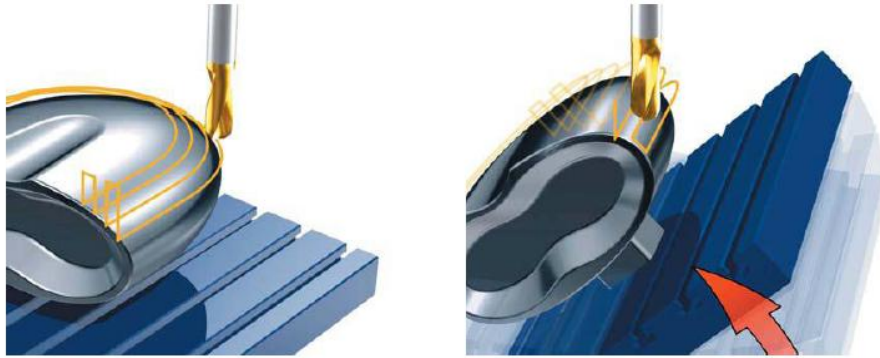


Ilustración 4. Máquina herramienta de 3 + 2 ejes.

➔ Máquinas de 5 ejes controlados. En este tipo de máquinas podemos controlar la orientación del eje de la herramienta en toda la trayectoria.

Con 3 ejes lineales y 2 ejes giratorios se puede alcanzar, en teoría, cualquier punto en el espacio con la orientación deseada de la herramienta. Esos ejes giratorios se los conoce como A, B, C y se definen como el giro alrededor de los ejes cartesianos X, Y, Z respectivamente.

Es necesario tener en cuenta, que este tipo de máquinas permite alinear la herramienta de forma óptima sobre la superficie de la pieza durante el proceso de mecanizado. Todos los ejes lineales y de giro vertical pueden desplazarse simultáneamente.

Estas características adquieren una gran importancia en el mecanizado de alta velocidad.

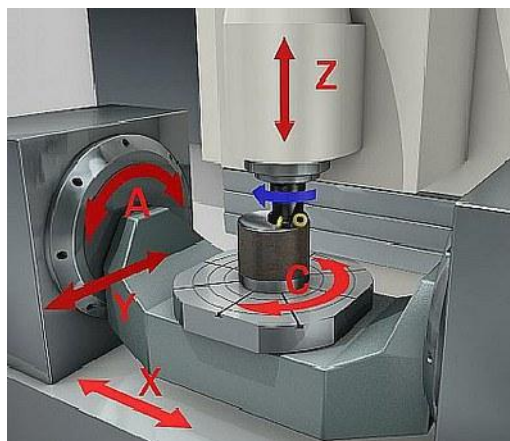


Ilustración 5. Máquina herramienta de 5 ejes.

Para los dos ejes giratorios existen distintas soluciones cinemáticas. Aquí presentaremos de forma esquemática las más usuales.

- Dos ejes giratorios en el cabezal. Normalmente, esta configuración es para máquinas relativamente grandes. Para piezas de cierto tamaño con una gran superficie de trabajo es más difícil hacer que se mueva la mesa, así que el cabezal se desplaza a través de un pórtico para poder llegar a todos lados. Su movimiento es, no obstante, algo más limitado.



Ilustración 6. Máquina herramienta de 5 ejes con 2 ejes giratorios en el cabezal.

- Dos ejes giratorios en la mesa. Todos los movimientos de rotación son llevados a cabo por la mesa. Esta mesa lleva sobre ella otra más pequeña que posee un movimiento de rotación independiente respecto a la principal. Este tipo de máquina herramienta se obtiene fácilmente añadiendo una mesa rotatoria a una máquina de 3 ejes convencional. La capacidad de trayectorias posibles es mayor que en otras configuraciones, pero el tamaño de las piezas a mecanizar es menor.



Ilustración 7. Máquina herramienta de 5 ejes con 2 ejes giratorios en la mesa.

- Un eje giratorio en cabezal y otro en mesa. Además de una mesa rotatoria, estas máquinas tienen un cabezal basculante. El cabezal basculante es el que lleva el peso de la herramienta y el que debe, por tanto, poder soportar las presiones y fuerzas de corte propias de cada proceso. De los tres grupos es posiblemente el más versátil por su capacidad para mecanizar piezas grandes y pesadas.

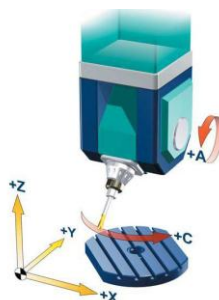


Ilustración 8. Máquina herramienta de 5 ejes con un eje giratorio en el cabezal y otro en la mesa.

Con esto conseguimos no solo condiciones de corte óptimas para la herramienta, sino que además podemos mecanizar zonas más difíciles como cavidades profundas o evitar colisiones con otras partes de la pieza. También nos permiten ajustar las trayectorias para conseguir transiciones más suaves eliminando ángulos o haciendo entradas en rampa o espiral y mantener cargas de viruta constantes o lo más uniforme posible.

Los desarrollos CAM implican que las máquinas de cinco ejes son cada vez más comunes. Es resultado de esta tendencia crea nuevas exigencias y oportunidades para las herramientas:

- Mayor flexibilidad
- Menos máquinas/preparaciones para completar una pieza
- Menor estabilidad
- Mayor longitud en las herramientas
- Menor profundidad de corte.

El incremento de la productividad es uno de los caminos obvios del mecanizado multieje para ayudar a conseguir este objetivo. Pero las decisiones para usar el mecanizado con cinco ejes también se basan en la disminución del número de máquinas necesarias para procesar las piezas completamente, así como en la necesidad de una precisión de mecanizado más uniforme y el mejoramiento de la calidad del producto.

La mayoría de las operaciones de mecanizado con cinco ejes requieren menos potencia en el husillo que las aplicaciones con tres ejes, porque el mecanizado típico usado sobre el cuarto y el quinto eje no puede soportar cortes fuertes. Además, muchas piezas mecanizadas con cinco ejes tienen secciones de pared delgada que no pueden soportar grandes fuerzas de corte.

Aún cuando las piezas puedan ser producidas en máquinas de 3 ejes, hay una serie de consideraciones económicas que a menudo revelan que el mecanizado con 5 ejes ofrece un menor costo:

- Ahorro en costos potenciales mediante la reducción del volumen de máquinas, herramental y fijaciones, con respecto a los requeridos actualmente para alcanzar los mismos resultados. Reducción de la manipulación de la pieza y precisión más uniforme.
- Valor del incremento de la producción (incluido el ahorro de tiempo por la eliminación de montajes separados y por la reducción del tiempo en fila requerido para operación en máquinas separadas).
- Valor del ahorro en tiempo y costo del control de calidad y la inspección.

Todos estos ahorros potenciales y otros más deben ser comparados con la gran inversión inicial requerida por el mecanizado con cinco ejes. Cuando económicamente se justifica la inversión en el mecanizado con cinco ejes, toda una serie de alternativas conducen el proceso a decidir sobre qué formas físicas darán la capacidad deseada a los ejes al costo más efectivo posible.

Una de las consideraciones más importantes para el CNC (*Computer Numerical Control*) en mecanizado con cinco ejes es el tiempo de procesamiento de bloque.

La capacidad de almacenamiento del programa es otra consideración importante del control. La mayoría de programas para cinco ejes son más largos que los programas para tres ejes, por lo que el centro de mecanizado de CNC debe tener una capacidad de memoria mayor.

➔ Mecanizado de 6 ejes. El eje Z de la máquina es un cilindro que aloja el husillo y que puede desplazarse dentro del corazón de la pieza. Esto es una adición para el movimiento de corredera transversal del eje W convencional.

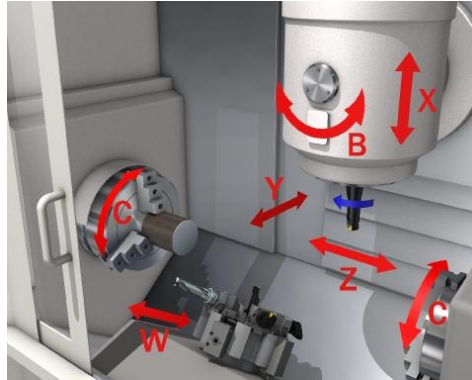


Ilustración 9. Máquina herramienta de 6 ejes.

### 3.7.5 EJES DE MECANIZADO

Éstos están situados exactamente en el mismo punto en que se vayan a situar en la pieza real. Es necesario tener en cuenta que la posición inicial de la herramienta coincidirá con el origen aquí definido.

Es de gran importancia que la situación de los ejes de mecanizado y su posición sean iguales en el proceso en CATIA y en la máquina, pues en caso contrario, el código se reproduciría desplazado provocando operaciones no deseadas o incluso colisiones, ya que las instrucciones APT generadas estarán referidas al sistema de referencia asignado.

Para que el programa se pueda ejecutar en máquina, el “Sistema Local” del útil tiene que estar localizado en el mismo punto que el “Sistema Absoluto” de la máquina, para que las coordenadas del programa coincidan con la situación real de la pieza.

El CNC permite al fabricante seleccionar hasta 28 ejes (debiendo estar definidos adecuadamente como lineales, rotativos, etc., por medio de los parámetros máquina), no existiendo ningún tipo de limitación en la programación de los mismos, pudiendo realizarse interpolaciones con todos ellos a la vez.

La norma DIN- 66217 denomina los diferentes tipos de ejes CNC como:

- X-Y-Z Ejes principales de la máquina. Los ejes X-Y forman el plano de trabajo principal, mientras que el eje Z es paralelo al eje principal de la máquina y perpendicular al plano XY.
- U-V-W Ejes auxiliares, paralelos a X-Y-Z respectivamente.
- A-B-C Ejes rotativos, sobre los ejes X-Y-Z respectivamente.

No obstante, el fabricante de la máquina puede utilizar otros nombres para denominar los ejes de su máquina CNC.

### 3.7.6 UTILLAJE AUXILIAR Y MESA DE TRABAJO

El utillaje es todo conjunto, generalmente mecánico, que cumple misiones de posicionamiento, fijación o cualquier otra función auxiliar en relación con la pieza, la herramienta, o su movimiento relativo.

Algunos de los elementos considerados como partes integrantes de las máquinas herramienta, pueden ser considerados a su vez como utillaje.

### 3.7.7 SELECCIÓN DE HERRAMIENTAS DE CORTE Y PORTAHERRAMIENTAS

La herramienta es el elemento que entra en contacto directo con la pieza y produce la eliminación del material sobrante de la preforma. Una herramienta consta, en general, de una o varias aristas o filos, materializadas por la intersección de superficies, generalmente planas..

La tipología existente de herramientas es muy amplia, ya que depende, entre otras, de la operación a realizar y condiciones de la misma, de la máquina-herramienta en el que se desarrolla dicha operación y de las propiedades que se pretenden conseguir en la pieza una vez finalizado el proceso.

En función del número de aristas de corte es frecuente considerar una primera clasificación de herramientas en herramientas monofilo, tales y como las empleadas en operaciones de torno, y herramientas multifilo, tales y como las empleadas en operaciones de fresado. Según su construcción pueden considerarse herramientas enterizas, cuando toda la herramienta es del mismo material y herramientas de plaquitas cuando la parte activa y el resto de la herramienta son de materiales diferentes.

Una herramienta presenta las siguientes partes:

- a. Acoplamiento. Es el elemento que inserta la herramienta en el seno del cabezal de la máquina.
- b. Portaherramientas (cuerpo, mango o porta-plaquita). Parte no activa que permite su fijación a los elementos de sujeción de la máquina herramienta.
- c. Punta de herramienta.

El ajuste de la herramienta en el portaherramientas debe ser extremadamente preciso. Los diferentes sistemas empleados para el ajuste de herramientas en los portas de alta velocidad son:

- Mecánico. Este tipo de ajuste es el conocido universalmente como ajuste de tuerca y pinza (porta-pinzas).
- Hidráulico. No es una opción muy recomendable, ya que al girar a altas revoluciones, la limitada rigidez, hace aumentar el salto radial de la herramienta. Este tipo de portaherramientas no necesita ningún mecanismo secundario, sin embargo, el coste individual del portaherramientas es más elevado que los térmicos.
- Térmico. El portaherramientas se somete a un proceso de calentamiento, con lo que aumenta el diámetro interior por dilatación. Una vez dilatado se introduce la herramienta, y tras el subsiguiente proceso de contracción queda sujeta la herramienta. Esta opción es la más recomendable, pero actualmente es la más compleja y cara ya que obliga a disponer de un portaherramientas por diámetro de herramienta y un dispositivo térmico auxiliar para la sujeción.

\_Para llevar a cabo operaciones de desbaste, por lo general se utilizan herramientas con plaquitas intercambiables por su gran rendimiento. Disponen de un sistema de refrigeración interna, y soportan espesores de virutas más elevados que las herramientas Integrales. También suelen utilizarse herramientas de desbaste de filo rizado, especialmente para mecanizar materiales de alta resistencia como aleaciones de Titanio, que mejoran la salida de viruta por actuar su geometría como rompe virutas.

\_Para llevar a cabo operaciones de afinado no se suelen utilizar herramientas con plaquitas intercambiables por no tener una geometría completamente cilíndrica y no estar diseñadas para pequeñas cargas de trabajo. En este caso suelen utilizarse herramientas integrales que soportan grandes velocidades de corte. Se denominan integrales por estar construidas íntegramente del mismo material y permiten algún afilado posterior posibilitando la reutilización de las mismas. Son herramienta con un alto grado de precisión dimensional.

Para garantizar la precisión dimensional en el mecanizado de una pieza con una máquina herramienta de control numérico, su unidad de control debe tener noción exacta de las dimensiones de cada herramienta empleada. Las dimensiones básicas de las herramientas quedarán referidas respecto al punto de montaje del acoplamiento con el hueco correspondiente del cabezal de la máquina herramienta.

Éstas herramientas deberán estar perfectamente calibradas y equilibradas (al requerir el mecanizado de alta velocidad altas precisiones de concentricidad de la herramienta de corte con el fin de evitar errores y aumentar la seguridad del proceso en el mecanizado a altas revoluciones de corte), para evitar las grandes vibraciones provocadas por las altas velocidades de corte.

En el HSM podemos decir que la herramienta es un factor clave. El HSM no existiría si no se dispusiera de herramientas capaces de soportar las nuevas condiciones de mecanizado, en especial las elevadas temperaturas de oxidación. El desgaste y los altos costes de las herramientas suponen actualmente una limitación en el mecanizado. Las causas más comunes que desgastan las herramientas son:

1. Desgaste por abrasión. Es el producido por el contacto entre materiales más duros que la herramienta.
2. Desgaste por adhesión. Es el producido cuando en la zona de corte debido a las altas temperaturas, el material de corte y la herramienta se suelan, y al separarse, parte de la herramienta se desprende.
3. Desgaste por difusión. Es el producido por el aumento de la temperatura de la herramienta, debido a esto se produce una difusión entre las redes cristalinas de la pieza y la herramienta, debilitando la superficie de la herramienta.
4. Fallas mecánicas. Es producido por la determinación de estrategias, condiciones de corte y elección de herramientas inadecuadas.

El material de la herramienta debe cumplir con habilidades específicas tales como:

- Ser suficientemente dura para resistir el desgaste y deformación pero tenaz para resistir los cortes intermitentes e inclusiones.
- Ser químicamente inerte en relación al material de la pieza de trabajo y estable para resistir la oxidación, para evitar que se genere el filo recrecido y desgaste prematuro.

Estas propiedades permitirán mecanizar con altas velocidades de corte, aumentar la vida de las herramientas, permitir obtener la mejor calidad superficial y dimensional posible en la pieza a mecanizar.

Debido a las elevadas velocidades de corte resultantes en el mecanizado de alta velocidad, hacen necesario en algunos casos la intervención de refrigerante, ya que éste mejora la lubricación y la evacuación de la viruta. Muchas máquinas herramienta permiten la refrigeración directa del mecanizado a través de canales que incorpora el cuerpo de la herramienta. Para la refrigeración precisa de pieza y herramienta en la zona de contacto se emplean convencionalmente tuberías flexibles o manguitos que orientan la aspersion hacia la zona deseada. Este sistema permite una refrigeración óptima de las zonas de corte.

Es necesario tener en cuenta que esta técnica no es la más apropiada en el caso de la aplicación de altas velocidades de giro. En este caso, los líquidos que se aplican tiende a atomizarse antes de que pueda llegar a desalojarse la viruta, por lo que no se mejora la calidad de los terminados y además incurre en problemas ambientales.

En el caso del HSM, el desarrollo de recubrimientos con una excelente resistencia a alta temperatura favorece la posibilidad de realizar el mecanizado en situaciones de ausencia de refrigerante.

La mejor forma de asegurar una perfecta evacuación de la viruta es usar aire comprimido. Deberá ser bien dirigido a la zona de corte. Es mucho mejor si la máquina herramienta permite el pasaje de aire a través del husillo.

### 3.7.8 DEFINICIÓN DE LA SECUENCIA DE MECANIZADO

Los pasos a seguir para definir una estrategia de mecanizado serán:

- 1) Analizar la pieza final
- 2) Plantear la estrategia (posturas, máquinas y herramientas)
- 3) Definir el material de partida
- 4) Definir del utillaje
- 5) Programación del mecanizado en CATIA
- 6) Simulación
- 7) Postprocesado
- 8) Verificación

### 3.7.9 ELECCIÓN DEL POSTPROCESADOR

De cara a verificar el programa de mecanizado, será necesario traducir el código obtenido a lenguaje máquina por lo que será necesario seleccionar el postprocesador que nos permitirá llevar a cabo este hecho.

El post-procesador es el elemento intermedio entre el programa generado por nuestro software CAM y el documento con las órdenes necesarias para que la máquina desarrolle dicho programa. Este debe convertir las coordenadas de las trayectorias a órdenes de movimiento de la máquina.

### 3.8 GENERACIÓN DEL CÓDIGO DE CONTROL NUMÉRICO

En control numérico es una forma de automatización programable en el que las acciones mecánicas y funciones de la máquina herramienta están controladas por un programa de códigos alfanuméricos. Estos datos alfanuméricos, indican las posiciones relativas entre el cabezal de trabajo y la pieza, y las condiciones de operación para llevar a cabo la fabricación de la pieza. Los componentes básicos del Control Numérico son:

1. Programa de Instrucciones. Instrucciones para el mecanizado de la pieza
2. Unidad de Control de la Máquina (MCU). Controla los movimientos y funciones del equipo
3. Equipo de procesamiento o máquina Herramienta. Realiza el procesado o mecanizado de la pieza

Las ventajas del uso de este tipo de automatización son:

- Reducción del tiempo no productivo (puesta a punto de la máquina, ajuste y amarre de la pieza, cambio de herramientas, etc.)
- Permite mayores gamas de velocidades de corte y avance, velocidades de desplazamiento de útiles y piezas en vacío mayores
- Mayor precisión y repetibilidad
- Menores tasas de desechos
- Reduce las verificaciones y requisitos de inspección al existir movimientos precisos de las máquinas y un buen reglaje sobre las herramientas
- Posibilidad de reproducir formas complejas
- Flexibilidad que permite realizar cambios en el programa de mecanizado para que la máquina elabore otra pieza similar con sólo modificar una parte del programa de control numérico, o cambiar el proceso de fabricación actual. Por lo que los cambios son más fáciles de implementar
- Simplificación de los accesorios o utillaje de amarre

Este tipo de automatización también presenta una serie de desventajas:

- Mayor costo de inversión. Las máquinas CNC son más caras y tecnológicamente más sofisticadas
- Mayor coste de mantenimiento
- Programación de la Piezas. Necesidad de programadores expertos
- Invertir tiempo en la preparación de cada nueva pieza (programación, ajuste del programa, series de prueba, etc.)

La secuencia de actividades que se llevan a cabo en la Programación Automática son:

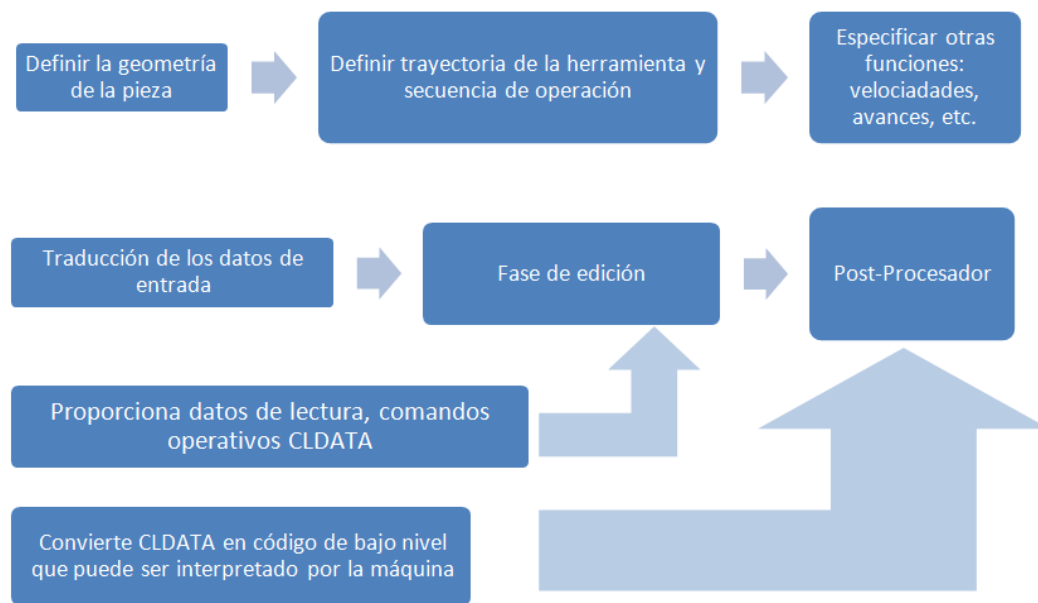


Ilustración 10. Secuencia de actividades en Programación Automática.

Generaremos el código de control numérico una vez tengamos nuestro proceso de mecanizado definido.

Atendiendo al lenguaje de programación, los dos grupos existentes son APT y lenguaje ISO. La diferencia entre ambos radica en que el lenguaje APT es un lenguaje de alto nivel que utiliza sentencias con un gran significado geométrico comprensible por el ser humano, en cambio, el lenguaje ISO, formado por expresiones G es un lenguaje de bajo nivel únicamente comprensible por la máquina de control numérico.

CATIA genera el código de control numérico en lenguaje APT. El lenguaje APT (*Automatically Programmed Tool*) es un lenguaje orientado al a geometría, lo que significa que el programa describe la trayectoria de la herramienta, pero no da las órdenes de movimiento a la máquina. Es un lenguaje de alto nivel que utiliza sentencias con un significado geométrico comprensible por el ser humano. La programación de un mecanizado se realiza de manera independiente de la máquina herramienta mediante el código APT, pero a la hora de convertir el programa, cada post-procesador debe de estar adaptado a su centro de mecanizado correspondiente. Debe convertir las coordenadas de las trayectorias a órdenes de movimiento de la máquina, teniendo que realizar en algunos casos compensaciones y adaptaciones de la velocidad de avance y giro de la herramienta.

### 3.8.1 POSTPROCESADO DEL CÓDIGO APT

Un concepto que hay que tener claro es que el control (máquina CNC) solo entiende este lenguaje por lo que, si utilizamos un programa de programación asistida automática de CAM, se deberá traducir este a lenguaje ISO; para ello se utiliza el postprocesador, con lo que se puede definir el postprocesador como un traductor entre el lenguaje de programación del software CAD-CAM y el lenguaje ISO específico de la máquina CNC. Por lo tanto habrá un postprocesador específico por cada máquina CNC.

CATIA contiene un amplio abanico de post-procesadores de 3 ejes por defecto. Sin embargo, para el caso de máquinas-herramienta de 5 ejes hay que hacer uso de algún tipo de programa externo para realizar el post-procesado.

### 3.8.2 SIMULACIÓN Y VERIFICACIÓN

En esta fase de simulación se pretende determinar si la máquina realmente ejecuta las operaciones previstas y si se obtiene la pieza con la forma y acabados deseados.

Con el procedimiento realizado y habiendo generado el programa de control numérico se pretende realizar una simulación previa del mecanizado antes de efectuar la prueba sobre la máquina. Esto también nos permitiría llevar a cabo las posibles modificaciones necesarias sobre nuestro proceso de fabricación, en cuanto a estrategias de mecanizado.

Si no se tuviera posibilidad de implementar la prueba en algún programa informático, la prueba se realizaría en vacío o con un material muy blando para evitar que los posibles errores de programación dañaran la pieza, la máquina o las herramientas.

# 4 MODELADO DE UNA COSTILLA

---

## 4.1 INTRODUCCIÓN

Con la finalidad de reflejar lo expuesto anteriormente, en este apartado pasaremos a desarrollar el modelado de una cuaderna de un avión. Se ha elegido este elemento porque refleja perfectamente la necesidad de diseñar y fabricar siguiendo este concepto.

Se llevará a cabo el diseño y la fabricación de una cuaderna de un avión ficticio, ya que únicamente es objeto del proyecto la implementación del concepto de diseño y fabricación paramétrica, quedando fuera del alcance del mismo llevarlo a cabo desde un punto de vista aeronáutico.

En nuestro caso hemos querido englobar el ciclo de fabricación del producto, es decir, desde el diseño inicial hasta su posterior fabricación. Para ello, diseñaremos de forma paramétrica desde el tocho y la pieza final, hasta el posterior mecanizado, pasando por mesa de trabajo y utillaje y herramientas. Todo ello se llevará a cabo siguiendo el concepto paramétrico.

## 4.2 DESCRIPCIÓN BÁSICA DE UN AVIÓN

Al haber decidido parametrizar una familia de piezas propias del sector aeronáutico, es conveniente realizar una breve descripción sobre los elementos presentes en el avión y sus funciones principales.

En el proyecto a desarrollar nos centraremos en una de las partes fundamentales del avión, el ala, cuya función principal es producir sustentación y soportar cargas aerodinámicas, cargas debidas al empuje o tracción del motor, reacción debida al tren de aterrizaje y esfuerzos debidos a la deflexión de las superficies móviles. Las alas representan el elemento fundamental del avión para conseguir la sustentación.

Las alas pueden ser:

- Arriostradas. Suele emplearse en aviones pequeños y de características de vuelo moderadas.
- Cantílever o en voladizo. En este caso el entramado estructural es interno por lo que no presentan elementos exteriores que perturben el flujo de aire.

El diseño de un ala depende de factores como el tamaño, el peso, la velocidad deseada para el vuelo y aterrizaje, así como de la velocidad de subida que se requiere.

Las alas poseen pocos márgenes de tolerancia en la fabricación al tratarse de una superficie aerodinámica. El hecho de que además se trate de un depósito de combustible hace que si fabricación sea compleja y requiera mucha precisión en las uniones para evitar fugas.

Básicamente un ala se divide en las siguientes partes:

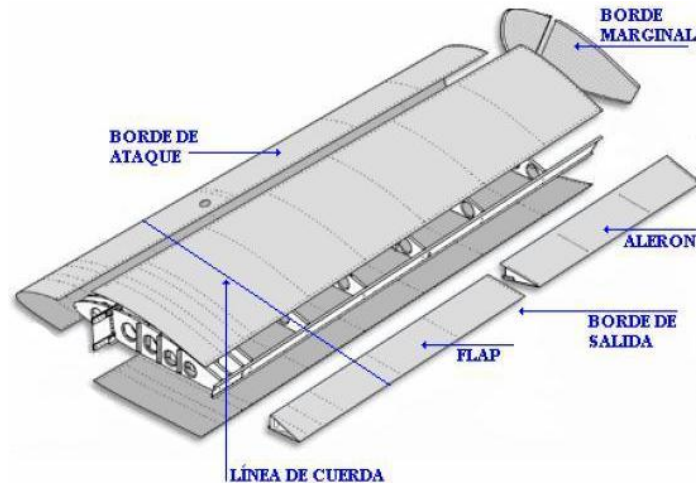


Ilustración 11. Partes del ala.

Terminología del ala:

1. Perfil. Es la forma de la sección del ala. Salvo en el caso de las alas rectangulares, donde todos los perfiles son iguales, lo habitual es que los perfiles que componen un ala sean diferentes; se van haciendo más pequeños y estrechos hacia los extremos del ala.
2. Borde de ataque. Es el borde delantero del ala, o sea la línea que une la parte anterior de todos los perfiles que forman el ala.
3. Borde de salida. Es el borde posterior del ala, es decir la línea que une la parte posterior de todos los perfiles del ala. Es la parte fija de la estructura del ala que une aerodinámicamente el cajón central con los flaps. Va unido al cajón central mediante costillas.

Hay numerosos tipos de bordes del ala. Estos presentan diferentes aplicaciones técnicas y permiten mejorar las actuaciones del avión.

Los bordes redondeados son fáciles de construir pero generan un torbellino de ala muy pronunciado, en cambio, los bordes afilados son más eficientes en este aspecto, presentando menor resistencia aerodinámica inducida. El borde recto, tiene una buena relación resistencia generada-coste de producción.

4. Dispositivo de punta alar o wing tip fence. Se encuentra en el extremo exterior del ala. Su misión es incrementar la sustentación generada en la punta alar y disminuir la resistencia aerodinámica causada por los torbellinos de punta de ala.
5. Extradós. Parte superior del ala comprendida entre los bordes de ataque y salida.
6. Intradós. Parte inferior del ala comprendida entre los bordes de ataque y salida.
7. Espesor. Distancia máxima entre el extradós y el intradós.
8. Envergadura. Es la distancia de punta a punta del ala
9. Superficie alar. Es la superficie de las alas incluyendo la parte del ala que pueda estar cubierta por el fuselaje
10. Cuerda. Es la línea recta imaginaria trazada entre los bordes de ataque y de salida de cada perfil.

La manera de distribuir la cuerda es el factor que determina la forma en que reparte la sustentación a lo largo de la envergadura.

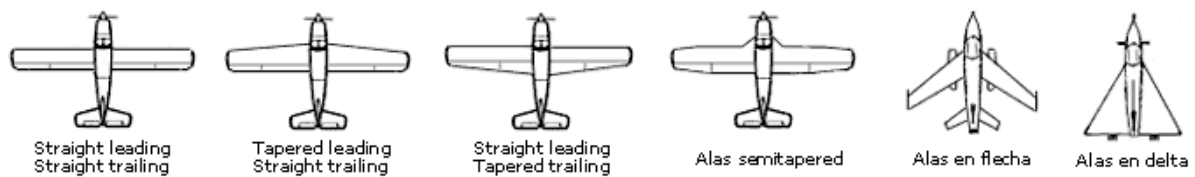


Ilustración 12. Forma en planta del ala.

Un ala rectangular tiene una cuerda constante, por otro lado, un ala ahusada o decreciente posee una cuerda que disminuye hacia la punta. Si el ala es ahusada, se requerirá menor estructura portante (conjunto de elementos estructurales que, además de sostenerse a sí mismos, constituyen el soporte y apoyo de otros sistemas más complejos) en las puntas y en la parte interior a lo largo de la longitud de la cuerda. Esto da como resultado un ahorro de peso estructural. Por otro lado ahusando el espesor del ala al mismo tiempo que la cuerda, el ala resulta ser mucho más esbelta.

La estructura interna del ala está constituida por largueros y larguerillos, dispuestos a lo largo de la envergadura, y por costillas según la cuerda (del borde de ataque al borde de salida).

\_El larguero es el miembro principal de la estructura del ala; es el componente que soporta las cargas principales en el vuelo y en tierra. Deberá ser lo suficientemente resistentes como para soportar las tensiones en el interior del ala.

Las fuerzas que soporta el ala varían a lo largo de la envergadura, por lo cual los largueros puede ser de sección variables a lo largo de ésta con lo que se consigue disminuir el peso estructural. La forma de sección transversal del larguero depende de la forma del perfil, su altura, la resistencia exigida y el material empleado.

- Sección rectangular. Es macizo, económico y sencillo
- Sección I. posee una platabanda (plancha unida a las alas de una viga o para aumentar su sección transversal; también llamada tabla de cordón) inferior y superior unidas mediante el alma
- Sección canal. Es inestable bajo cargas cortantes. Solo se utiliza como larguero auxiliar

\_Los larguerillos se emplean para reforzar las estructuras del ala.

\_Las costillas son elementos transversales del ala y también transversales a los largueros. Sus funciones principales son:

1. Mantener la forma del perfil
2. Transmitir las fuerzas aerodinámicas a los largueros
3. Distribuir las cargas a los largueros
4. Estabilizar el ala contra tensiones
5. Cerrar las celdas
6. Mantener la separación de los largueros
7. Proporcionar puntos de unión a otros componentes
8. Formar barreras de contención en los tanques de combustible

Las costillas están situadas a intervalos apropiados a lo largo de la envergadura del ala. La separación entre costillas depende de:

- a. Velocidad del avión
- b. Carga alar
- c. Construcción de la costilla
- d. Recubrimiento
- e. Tipo de perfil

Según su función se pueden clasificar en:

- a. Costillas de compresión. Unen los largueros entre sí. Transmiten y distribuyen equitativamente los esfuerzos de los largueros. Se colocan donde se producen esfuerzos locales. No siempre se disponen perpendicularmente, pueden colocarse en diagonal.
- b. Costillas maestras. Mantienen distanciados los largueros y le dan rigidez a los elementos
- c. Costillas comunes. No son tan fuertes. Su tarea es la de mantener la forma del perfil y transmitir las fuerzas interiores a los largueros, distribuyéndolas a lo largo de ellos.
- d. Falsas costillas. Sirven para mantener la forma del revestimiento y se ubican entre el larguero y el borde de ataque.

Las partes de la costilla son:

- 1. Nervios. Donde podemos distinguir entre nervio superior e inferior.
- 2. Alma que proporciona rigidez por deformaciones verticales y diagonales.
- 3. Faldillas. Permiten la unión de la costilla al revestimiento del ala.
- 4. Aligeramientos. Facilitan el paso de mecanismos.

Las costillas pueden estar constituidas por láminas metálicas conformadas, armaduras, o de una fina lamina de metal con nervaduras de costillas. Éstas pueden fabricarse principalmente de dos formas diferentes:

- De chapa: se emplean en aviones ligeros. En este tipo de costillas se abren grandes agujeros para aliviar peso y para dar mayor rigidez al componente debido a los bordes de los agujeros.
- Mecanizadas: se emplean en aviones de mayor peso. Este tipo de aviones suelen usar costillas de armadura o del tipo compuesto o ensamblado. En este caso para garantizar la resistencia mecánica no se permite el uso de chapa. Su fabricación se lleva a cabo en máquinas herramienta a partir de grandes planchas. En las costillas mecanizadas se aligera peso mediante la llamada técnica de las "piscinas". Las piscinas son zonas de las piezas que tienen menor espesor del material. El rebaje de material se realiza mediante máquinas de control numérico, o con métodos de fresado químico.

También se realizan aligeramientos para facilitar el paso de sistemas o mecanismos. Puesto que las costillas son bastante débiles lateralmente suelen estar reforzadas con nervios para prevenir la flexión lateral de las mismas.

#### 4.3 HIPÓTESIS DE PARTIDA

En nuestro caso, al haber elegido las costillas que conforman el perfil alar como familia de piezas paramétricas, será necesario establecer unas hipótesis de partida que nos sirvan de punto de inicio para llevar a cabo el diseño y la fabricación de nuestra familia de piezas. Éstas hipótesis pasan a comentarse a continuación:

- Aún habiéndolo comentado anteriormente, volveremos a remarcar el hecho de que nuestro diseño partirá de un avión ficticio.
- La disposición de los motores con respecto a la costilla cero o raíz será un parámetro de partida. Parece obvio que las costillas que se encuentren dispuestas en la parte del ala donde estarán colocadas los motores tendrán que tener una estructura más rígida, para poder soportar el peso adicional. El avión será de dos motores con el motor colocado a  $2L/3$  del cajón central.

- El número de costillas será tal que proporcione una resistencia estructural suficiente al ala.

Al no haber realizado en nuestro caso cálculos estructurales, ya que como hemos enunciado anteriormente partimos de un avión ficticio, seleccionaremos un número de costillas del semi-ala suficiente, que permita ejemplificar el concepto de parametrización.

Al tratarse de una familia de piezas paramétrica, si quisiéramos realizar costillas con otra combinación de magnitudes sería posible, pero la finalidad de limitar el número, es poder argumentar las dimensiones de la máquina y la mesa de trabajo elegidas, por lo que el número de costillas del semi-ala será 10.

La separación entre costillas se ha supuesto de 700 mm, por lo que al tratarse de una familia de piezas formada por 10 costillas, y ser el espesor de las faldillas de 24 mm (valor asumido a la hora de realizar el diseño de la costilla), la envergadura del semi-ala será de 6540 mm.

- La forma en planta del ala corresponderá a otra hipótesis de partida. Como en los casos anteriores, este hecho condicionará la elección de los parámetros de diseño.

En el apartado anterior se han comentado brevemente las distintas características que poseen y las propiedades que aportan los distintos tipos de ala.

En nuestro caso, al no pretender realizarse el diseño desde un punto de vista aeronáutico se ha elegido una forma en planta que permita realizar el diseño de forma completamente simétrica por lo que nuestra ala será doblemente ahusada.

##### 4.3.1 DISEÑO

En cuanto al diseño, es necesario tener en cuenta que en nuestro caso nos centraremos en la parte correspondiente al cajón de torsión por lo que no será necesario realizar ningún comentario sobre el perfil del borde de ala en nuestro diseño.

También es necesario tener en cuenta que las costillas presentan diversas curvaturas por lo que sería costoso llevar a esos niveles de exigencia técnica en cuanto al diseño y a su posterior fabricación. Por lo que pasaremos a simplificar el modelo definiéndolo a través de una superficie reglada, que permitirá llevar a cabo un posterior mecanizado mediante máquinas con menor número de ejes. Este hecho pasará a detallarse a continuación.

A la hora de llevar a cabo el diseño, también deberá considerarse los perfiles que pueden utilizarse para el diseño de las costillas. Éstas pueden diseñarse de forma simétrica (PERFIL TIPO I), o con el alma dispuesta en el extremo de la misma (PERFIL TIPO C).

Los perfiles tipo I poseen mayor momento de inercia, reparten mejor los esfuerzos, presentan menores deformaciones durante el mecanizado por lo que se pueden alcanzar mayores tolerancias de fabricación. Debido a la simetría existente, se compensa el modelo tensional interno. Como contrapartida dificultan el mecanizado, ya que son necesarias varias posturas.

Por otro lado los perfiles tipo C poseen menos posturas de mecanizado que los anteriormente enunciados.

#### 4.3.2 MATERIALES

La elección de los materiales es un aspecto fundamental a la hora de diseñar un avión. El objetivo es que se cumplan todos los criterios de resistencia y elasticidad con el mínimo peso posible y cumpliéndose todos los criterios de seguridad.

Los materiales empleados en los distintos modelos de avión han ido evolucionando en las últimas décadas. Además de materiales compuestos en la construcción del avión se incluye en gran porcentaje metales de alta tecnología, que también proporcionan ventajas significativas en términos de peso, fiabilidad, facilidad de mantenimiento y reparación.

En la siguiente figura se puede apreciar el reparto de los materiales por zonas:

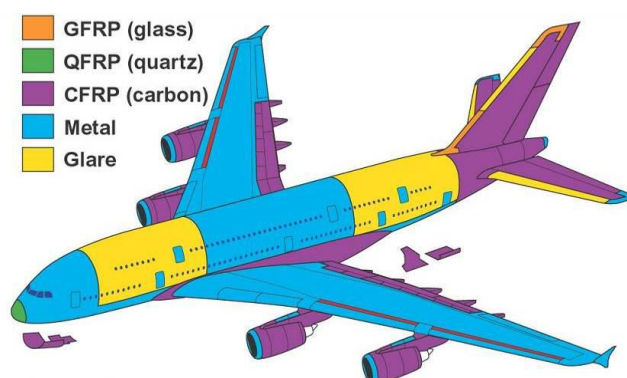


Ilustración 13. Reparto de materiales por zonas.

El metal más usado es el Aluminio, aunque también se utilizan metales como el Titanio para piezas sometidas a altas cargas, y el acero.

La aleación 7075, es una aleación de aluminio con zinc como principal elemento. Es fuerte, con buena resistencia a la fatiga frente a otros metales y es fácil de mecanizar, pero no es soldable y tiene menor resistencia a la corrosión (solución tratamiento en temple T6) que muchas otras aleaciones. Posee un alto ratio de resistencia-densidad, dureza, alta densidad, propiedades térmicas y posibilidad de ser pulido. Normalmente se produce para distintas categorías térmicas 7075-O, 7075-T6, 7075-T651.

La aleación 7075 en temple T6 es una de las aleaciones más sólidas de la ingeniería. Cabe destacar las características metalográficas que le confieren sus excelentes propiedades mecánicas. Los elevados valores de resistencia y baja densidad son los factores claves que determinan su uso en componentes estructurales que estén sometidos a elevadas tensiones y sea necesaria una buena respuesta frente a la corrosión.

Las aleaciones de aluminio son, en general, fáciles de mecanizar. Durante el arranque de viruta, las fuerzas de corte que tienen lugar son considerablemente menores que en el caso de las generadas con el acero. Por consiguiente, los esfuerzos sobre los útiles y herramientas así como la energía consumida en el proceso es menor para el arranque de un volumen igual de viruta. El aluminio tiene unas excelentes características de conductividad térmica, lo cual es una importante ventaja, dado que permite que el calor generado en el mecanizado se disipe con rapidez.

Todos estos factores contribuyen a hacer posible alcanzar elevadas velocidades de corte y una tasa de arranque de material mayor cuando se mecaniza aluminio.

Sin embargo, el coeficiente de fricción entre el aluminio y los metales de corte es, comparativamente con otros metales, elevado. Este hecho puede causar el embotamiento de los filos de corte, deteriorando la calidad de la superficie mecanizada a bajas velocidades de corte e incluso a elevadas velocidades con refrigeración insuficiente.

En principio las aleaciones de aluminio deben procesarse en cualquier máquina que permita alcanzar como mínimo las velocidades de corte mínimas recomendadas para una aleación dada, y que no genere vibraciones al mecanizar a elevadas velocidades de corte.

#### 4.4 SECUENCIA DE DISEÑO

Hoy en día, en la industria aeronáutica, el paquete de trabajo CATIA V5 tiene un alto peso específico en la fase de diseño de cualquier modelo. Poco a poco esta herramienta engloba un mayor número de actividades.

En las operaciones de modelado de sólidos se parte de un boceto inicial, que se dibuja en el módulo Sketcher, a partir del cual se genera la geometría 3D del sólido. El objetivo al trabajar un Sketch consiste en dibujar la geometría que necesitamos en su posición exacta, utilizando constraints de tal modo que faciliten su posterior modificación. Los elementos a definir serán:

\_Pieza final

\_Pieza en bruto

\_Piezas intermedias si fueran necesarias

\_Mesa de trabajo y sistema de cogida

\_Herramientas y portaherramientas si fueran necesarios

#### 4.4.1 DISEÑO PARAMÉTRICO

Como hemos comentado en apartados anteriores, siendo la finalidad de nuestro proyecto el diseño de forma paramétrica, a continuación pasaremos a determinar los parámetros de diseño que establecerán la forma y características básicas del modelo. Estableciendo esta serie de parámetros se pretende conseguir que el conjunto dependa de unas variables fundamentales que serán las que permitan reproducir la familia de piezas paramétricas, tal que, controlando un listado de valores de los distintos parámetros seleccionados podríamos reproducir múltiples diseños operativos.

Esta selección de parámetros se ha llevado a cabo teniendo en cuenta que el objetivo del trabajo, únicamente pretende ejemplificar la posibilidad de llevar a cabo el diseño y fabricación de forma paramétrica, por lo que no se seleccionarán parámetros que se deban implementar con el módulo de CATIA Knowlegde, quedando este fuera del campo de aplicación de nuestro proyecto.

Antes de pasar a comentar la relación de parámetros impuesta, es necesario tener en cuenta que el diseño se ha llevado a cabo sobre la costilla número nueve, es decir, la de menor envergadura; siendo sobre este diseño donde hemos impuesto las restricciones y parámetros que nos permitirán reproducir el conjunto de modelos que constituyen la familia. Este hecho tendrá unas consecuencias negativas a la hora de reproducir los distintos modelos, ya que las distintas piezas perderán la uniformidad a medida que nos vayamos acercando al cajón central.

Tras recalcar dicho aspecto, pasaremos a comentar el criterio de selección de dichos parámetros a la hora de diseñar el modelo. En nuestro caso, al tratarse únicamente una ejemplificación de nuestro diseño y no pretenderse en ningún caso llevar a cabo un diseño real se ha considerado conveniente la relación de parámetros que pasan a detallarse a continuación.

En primer lugar, se ha establecido como parámetro de diseño la envergadura de la costilla. Mediante este parámetro se pretende reproducir la forma en planta de nuestra ala ficticia.

Es necesario tener en cuenta que en según nuestro diseño, le hemos dado el nombre de envergadura a la dimensión libre tomada a partir del paso de larguerillo extremo, quedando así los pasos de los larguerillos en una posición fija, simplificando así la relación entre parámetros. Ya que de no haberlo realizado de este modo, habría sido necesario recurrir al módulo de conocimiento. Cabe destacar, como se comentó anteriormente, que esta decisión dará lugar a una no uniformidad en los distintos modelos que constituyen la familia de piezas diseñadas.

Este parámetro de envergadura lo hemos impuesto en ambos extremos de la costilla, por lo que el conjunto de ellas reproducirá una forma en planta doblemente ahusada. La razón de esta decisión ha sido diseñar manteniendo condiciones de simetría. También se podría haber definido este parámetro únicamente en uso de los extremos tendríamos un ala simplemente ahusada.

Los distintos valores asignados al parámetro envergadura condicionarán el valor de la envergadura total de la costilla, y por consiguiente, el valor del tocho de partida, al estar su diseño vinculado.

Al alterarse las dimensiones del tocho, también existirán distintas separaciones entre los taladros albergados en él y que permiten fijar la pieza a la matriz de taladros. Dicha separación deberá ser proporcional a un valor determinado entre los distintos diseño que forman nuestra familia y nos impondrá la distancia que deberá existir entre los distintos taladros que componen nuestra matriz de taladros, ya que debemos garantizar en todo caso, la fijación a la mesa de trabajo de la familia de piezas a reproducir.

El espesor del alma de la costilla y la altura de los nervios serán parámetros de diseño. Hemos considerado que la suma de ambos parámetros no puede superar en ningún caso la altura de la faldilla. Se ha creído oportuno imponer éstos como parámetros de diseño ya que dependiendo de la posición que ocupe la costilla dentro del ala poseerá una función principal, permitiéndonos estos parámetros aumentar el valor del espesor del alma para poder proporcionar así mayor rigidez al diseño.

El espesor de la faldilla será otro parámetro de diseño de nuestro modelo. Este aspecto puede presentar un conflicto de cara al remachado del revestimiento, porque si las distintas costillas que constituyen el ala poseen un espesor de faldilla diferente, los taladros necesarios para posicionar los remaches tendrán diferentes longitudes. Como en casos anteriores, todos estos son aspectos que se tendrían en cuenta a la hora de realizar un diseño real, pero que en nuestro caso no son relevantes, ya que únicamente se pretende establecer sobre un diseño distintos parámetros que permitan reproducir una familia.

Otro de los parámetros seleccionados para llevar a cabo nuestro diseño será el diámetro de los aligeramientos. Su valor mínimo será aquel que garantice el paso de mecanismos a lo largo del ala. Se ha considerado conveniente seleccionar una combinación de distintos diámetros de aligeramientos, mayores al mínimo necesario, para contrarrestar el peso adicional introducido debido al aumento de la envergadura de la costilla, el espesor de su alma y la altura de los nervios.

Teniendo en cuenta lo enunciado anteriormente, parametrizaremos nuestro diseño en función de los siguientes parámetros que los recogeremos en un listado Excel y que nos permitirán reproducir los distintos modelos.

- Envergadura de la costilla
- Espesor de la costilla
- Altura de los nervios
- Diámetro de los aligeramientos (agujeros de paso de mecanismos)
- Espesor de las faldillas

A continuación pasamos a detallar las diferentes configuraciones establecidas que nos permitirán generar nuestra familia de piezas paramétricas. Estarán recogidos en una tabla de tal forma que podemos hacer que sus valores cambien en función de los datos contenidos en ella. Lo más importante que se consigue teniendo los datos agrupados en tablas es que damos la posibilidad de cambiar los valores o incluir otros valores nuevos sin más que editarla.

Como se observa en la tabla adjunta, la máxima envergadura diseñada es de 900 mm. Se ha creído conveniente fijar esta medida y a partir de ella establecer las dimensiones de nuestra matriz de taladros y de nuestra mesa de trabajo. Este hecho no será una limitación en cuanto al diseño paramétrico, ya que si se quisieran diseñar costillas con dimensiones mayores únicamente deberían satisfacer que la disposición de los taladros pudiera favorecer el agarre a la mesa.

Pero en nuestro caso, según los parámetros impuestos, el modelo se distorsionaba completamente a la hora de imponer mayores envergaduras, por lo que se ha creído conveniente fijar esta dimensión.

| POSICIÓN        | ENVERGADURA TOTAL | ESPESOR CUERPO | ALTURA NERVIOS | DIÁMETRO ALIGERAMIENTOS | ESPESOR FALDILLA |
|-----------------|-------------------|----------------|----------------|-------------------------|------------------|
| Costilla raíz   | 900 mm            | 5 mm           | 14 mm          | 35 mm                   | 4 mm             |
| Costilla uno    | 850 mm            | 4 mm           | 14 mm          | 40 mm                   | 4 mm             |
| Costilla dos    | 800 mm            | 4 mm           | 12 mm          | 60 mm                   | 2 mm             |
| Costilla tres   | 750 mm            | 3 mm           | 10 mm          | 55 mm                   | 2 mm             |
| Costilla cuatro | 700 mm            | 4 mm           | 10 mm          | 55 mm                   | 4 mm             |
| Costilla cinco  | 650 mm            | 6 mm           | 12 mm          | 60 mm                   | 6 mm             |
| Costilla seis   | 600 mm            | 6 mm           | 14 mm          | 55 mm                   | 6 mm             |
| Costilla siete  | 550 mm            | 5 mm           | 13 mm          | 60 mm                   | 4 mm             |
| Costilla ocho   | 500 mm            | 4 mm           | 12 mm          | 60 mm                   | 4 mm             |
| Costilla nueve  | 450 mm            | 4 mm           | 10 mm          | 50 mm                   | 2 mm             |

Pasando a comentar la tabla anterior, es necesario tener en cuenta que como se puede observar en ella, se ha supuesto un mayor valor para el espesor en las costillas cinco y seis según la hipótesis sobre la localización del motor, ya que éstas serán las costillas situadas en la superficie alar que se corresponde a la situación del motor.

#### 4.4.2 DISEÑO DE LA PIEZA FINAL

Será mediante la creación de este modelo 2D cuando definamos la geometría y dimensiones del modelo y definamos las constraints necesarias para parametrizar nuestro diseño.

Es objetivo del proyecto implementar de forma paramétrica desde el diseño a la fabricación de una familia de piezas, por lo que finalmente elegiremos un perfil tipo C para el diseño de la costilla, ya que desde un punto de vista de aplicación de contexto paramétrico, el perfil tipo I no aporta información adicional, y dificulta el proceso de mecanizado. Además, el perfil tipo C permite de cara al mecanizado un menor número de posturas.

Después de modelar la pieza pasaremos a parametrizarla para que los cambios sean cómodos y rápidos. Como hemos especificado anteriormente, el objetivo de parametrizar el Skech, consiste en bloquear por completo la forma y posición de todos los objetos de cara a realizar cambios o definir como es en nuestro caso, una familia de piezas.

Para ello restringiremos la geometría de tal forma que tengamos controlado el diseño en base a los parámetros recogidos en la tabla anterior.

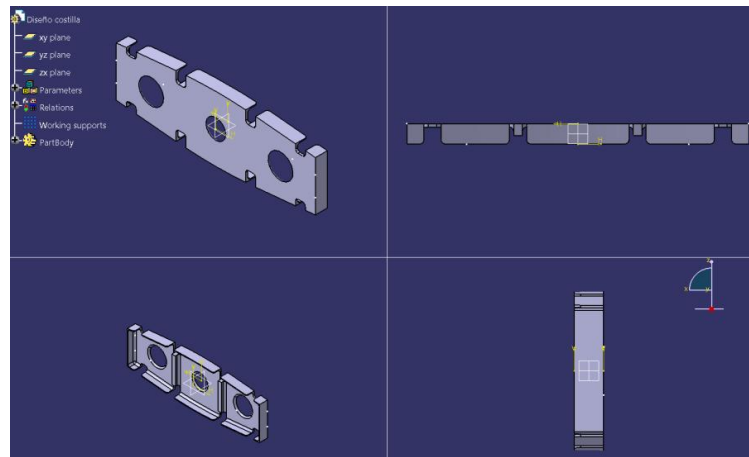


Ilustración 14. Diseño final.

El diseño final está formado por una serie de elementos que conforman la costilla. Estos son:

\_ Esqueleto. Corresponderá al conjunto de dimensiones que reproducen el alma de la costilla.

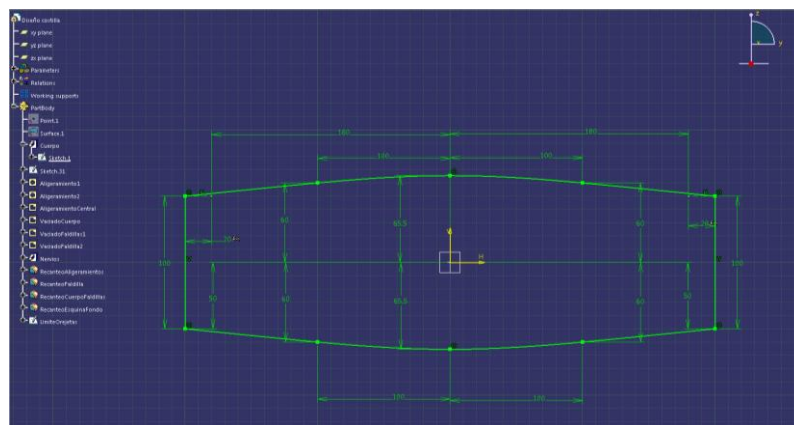


Ilustración 15. Esqueleto.

\_Refuerzos. Debido a que las costillas transversales son bastante débiles lateralmente suelen estar reforzadas con perfiles rigidizadores para prevenir la flexión lateral de las mismas. Estos son conocidos como nervios.

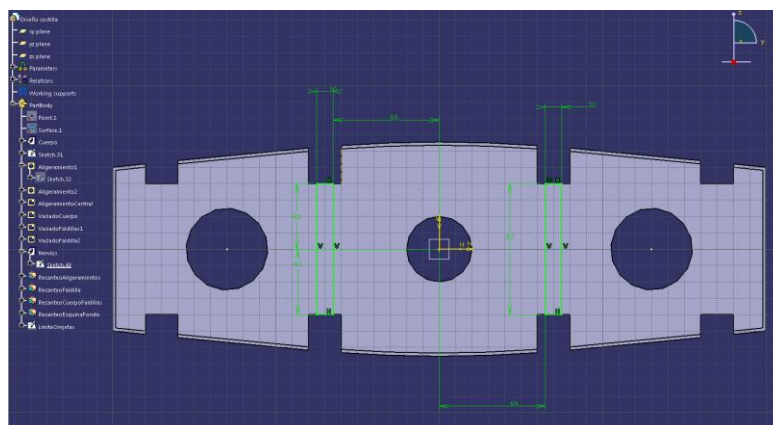


Ilustración 16. Refuerzos.

\_ Paso de larguerillos. Como su propio nombre indica facilitan el paso de los larguerillos. Éstos son pequeñas vigas que se sitúan entre las costillas para evitar el pandeo local del revestimiento.

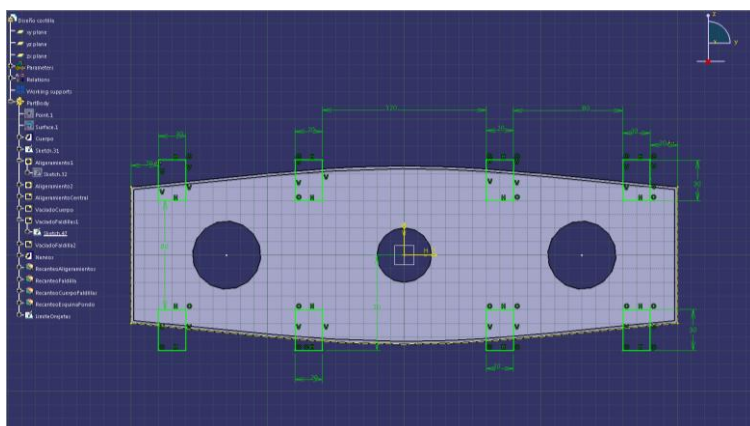


Ilustración 17. Paso de larguerillos.

\_ Faldillas. Estos son los elementos que permiten la unión de la costilla con el revestimiento del ala. esta unión se lleva a cabo por medio de remaches.

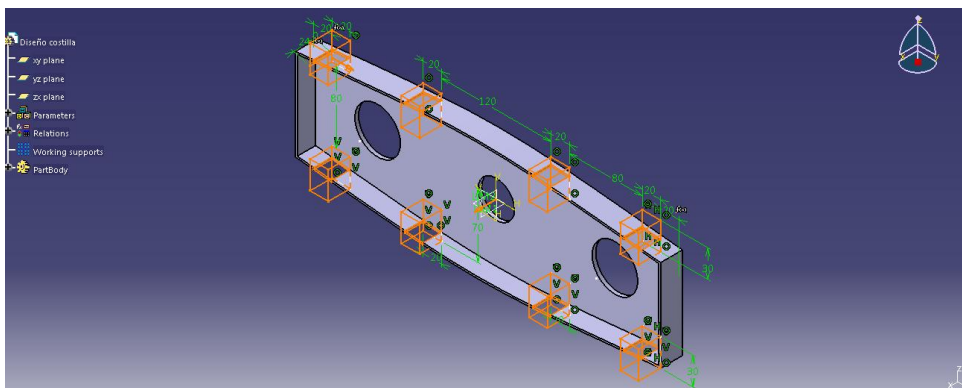


Ilustración 18. Faldillas.

\_ Recanteos. El redondeo de las aristas se utilizará en el mecanizado de piezas, bien porque alivian las tensiones que se concentran en las aristas rectas o bien por seguridad se eliminan las aristas vivas.

\_ Aligeramientos. Son huecos circulares que se hacen al esqueleto para aligerar el peso del avión con geometría no muy complicada y fácilmente automatizable. También permiten el paso de sistemas a través de ellos, en el borde de ataque situaremos un aligeramiento que permita pasar a través de él mecanismos. En las costillas mecanizadas, al ser la plancha muy gruesa, no se le practican agujeros sino que se rebaja el material en algunas partes.

\_ Remaches. Los remaches son concentradores de tensiones por lo que deben estar posicionados suficientemente distanciados del extremo de la faldilla para no favorecer que la propagación de grietas pueda llegar a inutilizar la pieza.

Es necesario tener en cuenta que se realizarán un par de taladros piloto en los extremos de la costilla, que permitirán su fijación mediante pizas de montaje, de esta forma podremos fijar la costilla para llevar a cabo el taladrado al revestimiento, para su posterior remachado.

También podríamos obviar ese pre taladrado, apoyándonos en una plantilla que nos permitiera pintar en el revestimiento los taladros previos. En nuestro caso, se ha considerado conveniente llevar a cabo el pre-taladrado en el revestimiento, al ser la zona visible en el proceso de montaje.

Los parámetros considerados a la hora de llevar a cabo nuestro diseño, pasarán a imponerse en el desarrollo del mismo. Una vez impuestos, se crearán en nuestra estructura de diseño un apartado en el que se recogen dicho parámetros. A continuación se muestran los distintos parámetros que permitirán reproducir el perfil alar.

La pieza final se ha diseñado en base a los parámetros aquí especificados y en el tocho de partida se le han impuesto las restricciones pertinentes para que satisfaga la fabricación de los diferentes modelos.



Ilustración 19. Parámetros seleccionados en el diseño de la pieza final.

No será suficiente con la determinación de dichos parámetros. También será necesario imponer las distintas relaciones que nos permitirán llevar a cabo nuestro diseño. Éstas a modo de ejemplo pasan a mostrarse a continuación.

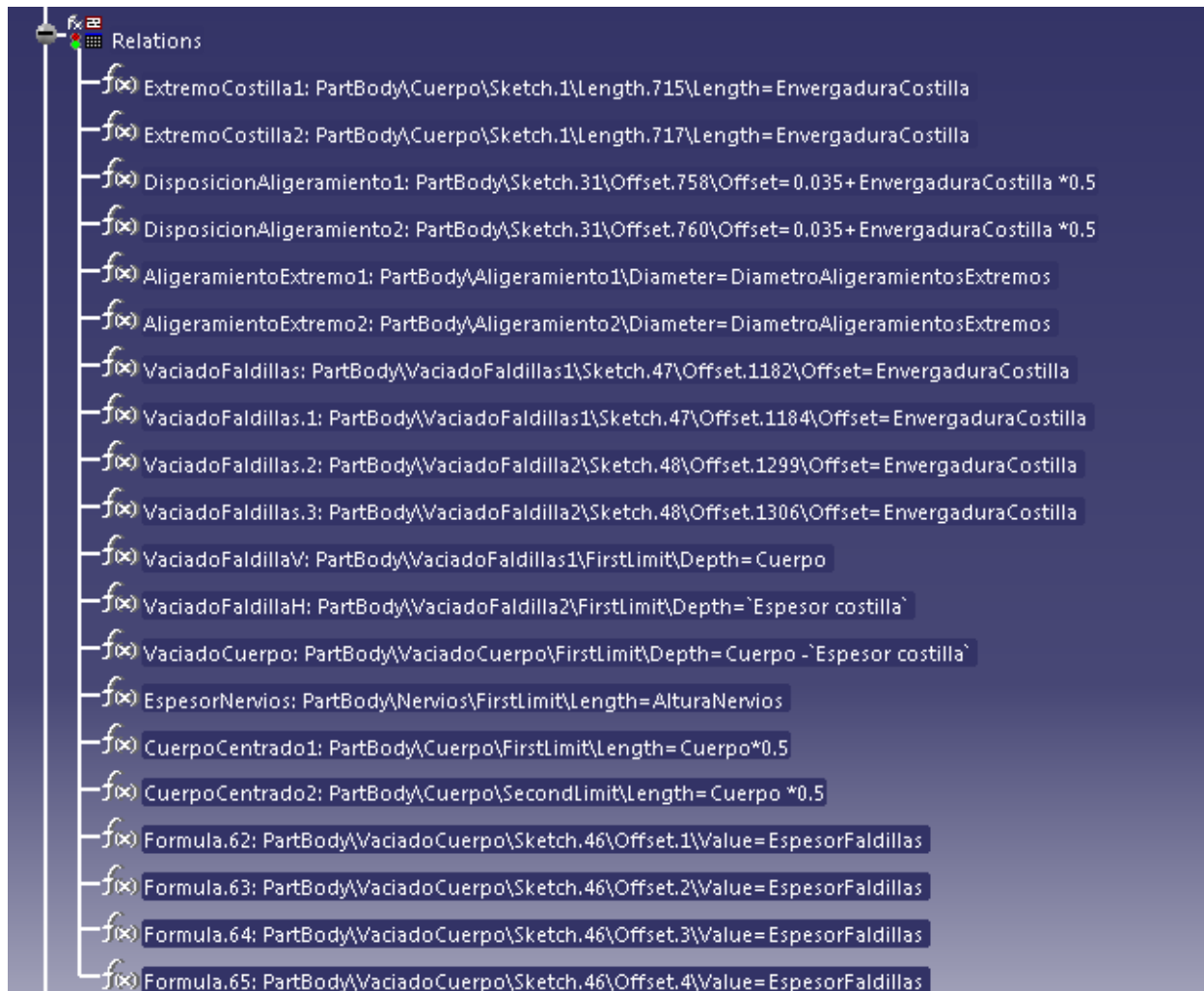


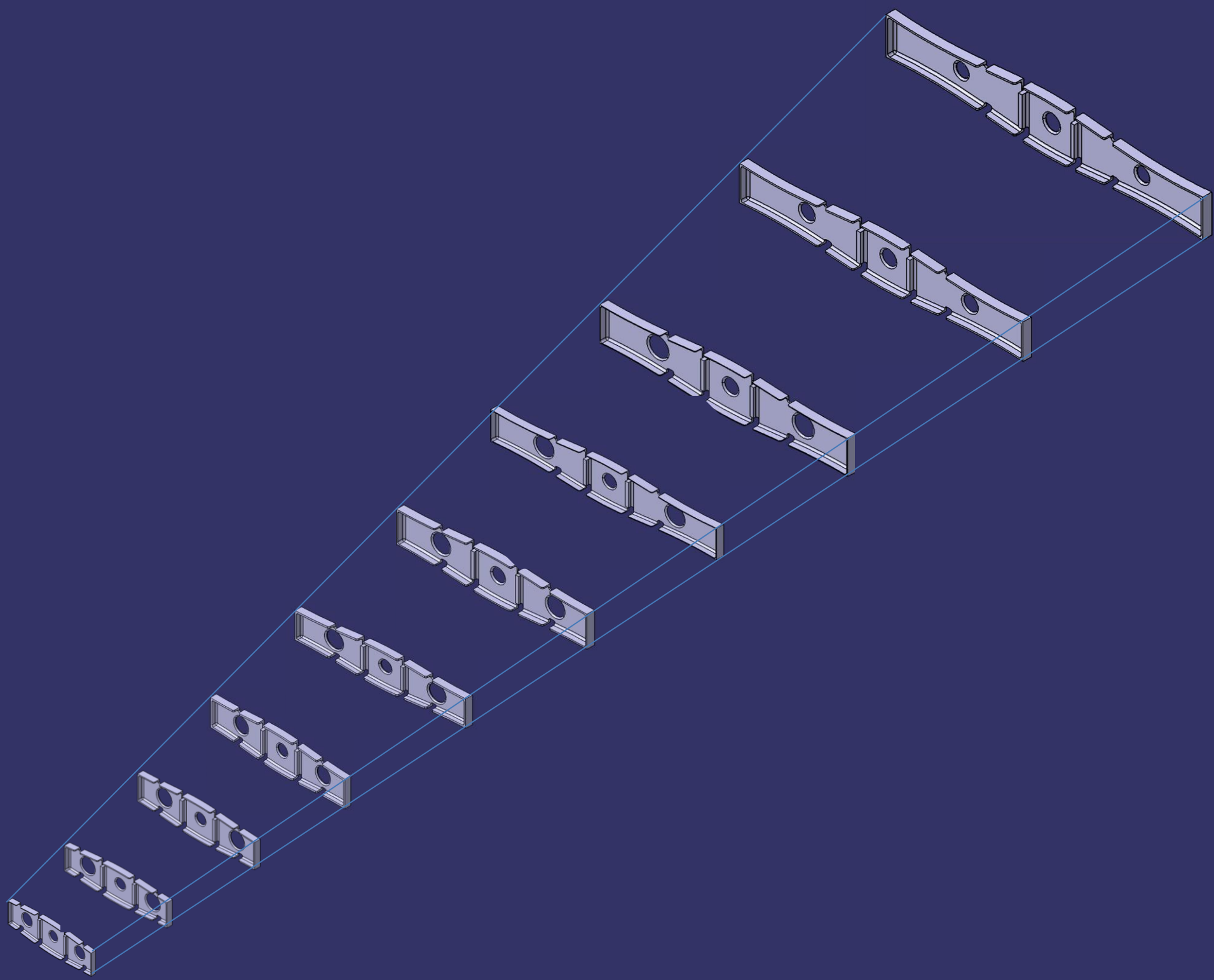
Ilustración 20. Relaciones asociadas al diseño de la pieza final.

Una vez impuestas diseñado nuestra pieza final de forma paramétrica estableciendo las distintas relaciones que permiten llevar a cabo el diseño, y tras haber determinado el conjunto de valores que pasaremos a considerar para cada uno de los diseños que conforman nuestra familia.

Se ha considerado conveniente con la finalidad de ilustrar las distintas decisiones tomadas, mostrar las diferentes piezas que forman nuestra familia disponiéndolas en su posición apropiada.

Al no ser objeto del proyecto un diseño atendiendo a la funcionalidad de la pieza, sino que se pretende únicamente fundamentar el diseño y fabricación según el concepto de la parametrización, la no uniformidad que se aprecia en los distintos modelos que conforman la familia podría ser una consideración a estudiar y optimizar.

Esta no uniformidad, se debe a que en nuestro caso, hemos realizado el diseño de la costilla nueve, sobre la que hemos impuesto los parámetros, y la que nos ha servido para modelar el resto de costillas que forman nuestra familia. También es necesario tener en cuenta que en nuestro caso no hemos diseñado teniendo en cuenta el módulo Knowledge, de conocimiento, únicamente hemos establecido una serie de parámetros a nuestro diseño para posteriormente darle una serie de valores a dichos parámetros, por lo que la no uniformidad era un hecho esperado, del que puede surgir un posible trabajo futuro de optimización del diseño.



#### 4.4.3 DISEÑO DE LA PIEZA EN BRUTO

El material de partida tendrá la forma de un paralelepípedo que contenga a la pieza. Este taco tendrá por cada lado unas crecidas que permitan posicionar los taladros de cogida que albergarán los tornillos de fijación. Se llevará a cabo teniendo en cuenta:

- Si el lado que se tiene que calcular forma parte de la pieza terminada, se le darán unas creces de 5 mm por cada lado.
- Para determinar las creces en el lado donde se alojan los tornillos es necesario tener en cuenta que éstas vendrán determinadas por: el diámetro de la herramienta mayor que por allí pase, el diámetro de la cabeza del tornillo, más unas creces adicionales para garantizar las dimensiones requeridas de la pieza final.

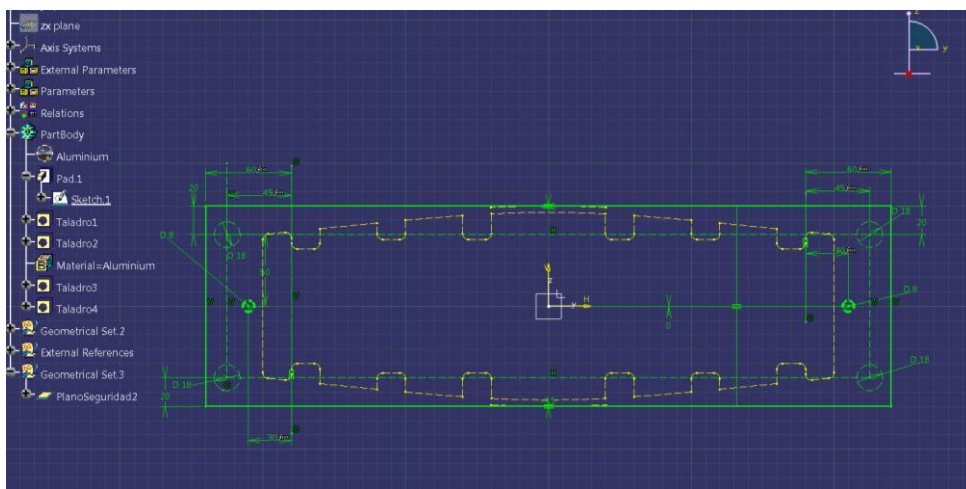


Ilustración 21. Pieza en bruto.

Los modelos diseñados, necesitan estar fijados a la mesa de trabajo para poder llevar a cabo el proceso de mecanizado. El requisito principal del amarre es localizar la pieza en una posición dada dentro de la bancada (fijas de centraje), o mediante un palpador localizado en la herramienta que permita definir la posición de la pieza, y fijarla en esta posición (elementos de sujeción), de tal forma que se asegure contra las fuerzas de corte y las vibraciones.

El sistema de sujeción seleccionado pasaremos a argumentarlo en apartados posteriores. Pero para poder argumentar las dimensiones de nuestro tocho de partida será necesario considerar la forma del sistema de fijación. Este tocho, se fijará al útil mediante tornillos de sujeción del tipo cabeza Allen DIN-912.

La razón fundamental por la que se determinará el número de sujeciones es porque el material que constituye nuestra pieza, el aluminio, es fácil de mecanizar. Durante el arranque de viruta, las fuerzas de corte generadas son pequeñas, y por consiguiente, los esfuerzos sobre los útiles y herramientas, así como la energía consumida en el proceso, será también pequeña. Por lo que se ha considerado que cuatro será el mínimo número de tornillos que aseguren una sólida sujeción de la pieza, soportando las cargas de mecanizado.

La distancia entre los taladros y la pieza será tal que permita trabajar con una herramienta que de la posibilidad de rebajar el material sobrante del contorno lateral de la pieza, sin generar grandes fuerzas de corte. Ésta sería la última secuencia de mecanizado a realizar, por lo que la pieza se encontraría muy debilitada.

La posición de los taladros irá colocados de manera simétrica, por lo que coincidirán en ambas posturas. Además deberá tener una distancia de separación suficiente para garantizar que la herramienta pueda realizar las pasadas necesarias sin colisionar con la pieza o con la fijación, así como disminuir las vibraciones del conjunto pieza-herramienta durante el mecanizado. Los taladros estarán dispuestos de manera que exista una separación fija taladro-pieza. Esta decisión se ha tomado teniendo en cuenta que la finalidad es fabricar una familia de piezas sobre la misma matriz de talados y con las mismas herramientas.

En nuestro caso y teniendo en cuenta la separación necesaria para satisfacer el mecanizado de la preforma y un correcto agarre de la misma se ha considerado conveniente una separación entre taladros múltiplo de 50 en ambas direcciones. Por lo que este número determinará como hemos enunciado anteriormente la matriz de taladros a utilizar.

Como hemos enunciado anteriormente, también será necesario llevar a cabo taladros de centraje que sirven para coordinar mecanizados entre las distintas posturas de la pieza. Estos taladros son de gran precisión en diámetro y situación. No suelen hacerse en el material de partida, se llevan a cabo al término del mecanizado de la primera postura para coordinar la segunda.

En cuanto a los elementos de izado, será necesario analizar las dimensiones y el peso del material de partida, y la posibilidad de manejarlo de manera manual o mediante grúas.

| Envergadura costilla | Masa tocho |
|----------------------|------------|
| 450 mm               | 5,767 kg   |
| 500 mm               | 6,374 kg   |
| 550 mm               | 6,981 kg   |
| 600 mm               | 7,588 kg   |
| 650 mm               | 8,192 kg   |
| 700 mm               | 9,151 kg   |
| 750 mm               | 9,406 kg   |
| 800 mm               | 10,013 kg  |
| 850 mm               | 10,620 kg  |
| 900 mm               | 11,227 kg  |

Según recoge la tabla anterior, en el caso del tocho que posee mayores dimensiones, el peso del material de partida será de 11,227 kg, siendo su envergadura de 900 mm, por lo que no será necesario realizar taladros de izado al ser posible una manipulación manual por parte del operario.

Una vez comentadas las consideraciones a tener en cuenta la hora de llevar a cabo el diseño del tocho de partida, será necesario vincular dicho diseño a la pieza final. Es decir, establecer los parámetros externos y relaciones que nos permitirán llevar a cabo el diseño del tocho de forma paramétrica y según las decisiones de diseño consideradas a la hora de establecer el diseño final.

Los parámetros mostrados a continuación asocian los cambios realizados en el diseño de la pieza final automáticamente al diseño de la pieza en bruto, permitiendo así apoyarnos en ellos para mediante relaciones matemáticas determinar las dimensiones necesarias de nuestro tocho de partida.

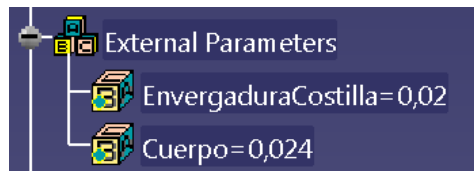


Ilustración 22. Parámetros asociados al diseño de la pieza en bruto.

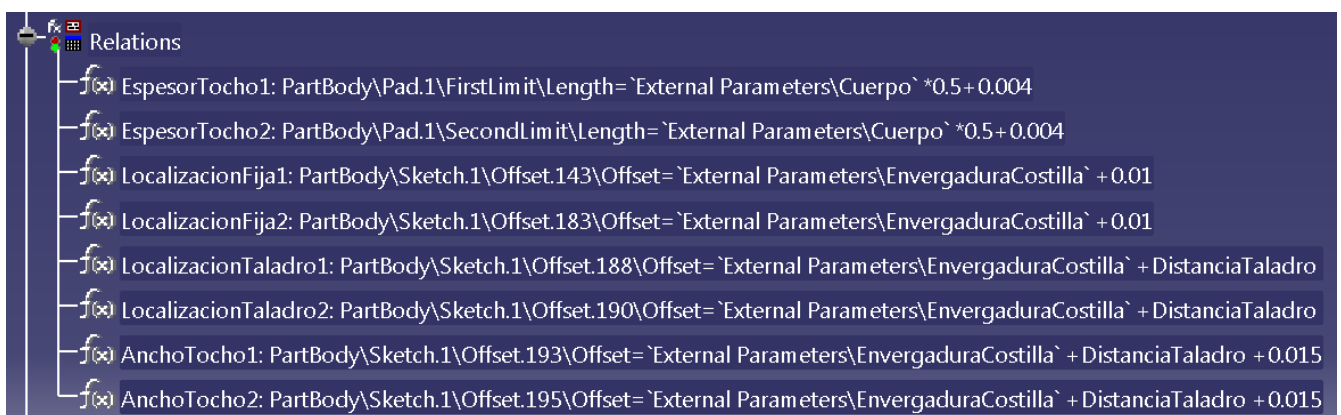


Ilustración 23. Relaciones asociadas al diseño de la pieza en bruto.

#### 4.5 ENSAMBLAJE DE PIEZAS

Una vez definido el tocho de partida, y el modelo final, es necesario proceder al ensamblaje de piezas, que nos servirá de soporte de cara al posterior mecanizado de las mismas. Tiene como principal función representar de la forma más exacta posible la posición relativa de las piezas en la situación inicial, final o en cualquier situación intermedia. Esto permite ver el proceso con más claridad, además de poder aplicar distintos tipos de análisis.

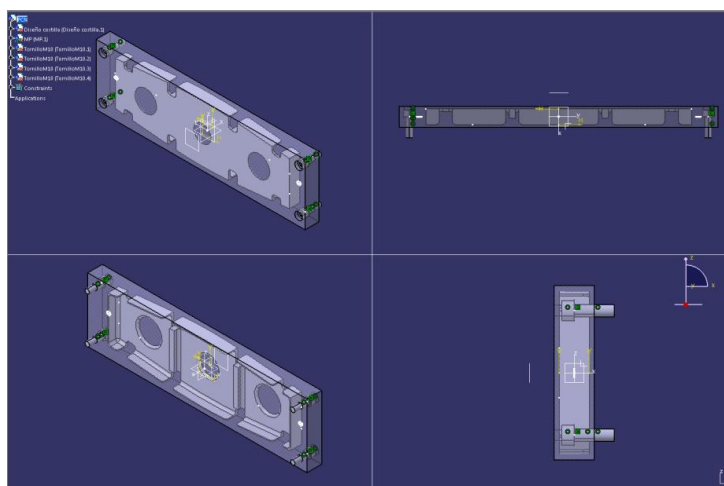


Ilustración 24. Ensamblaje.

#### 4.6 MESA DE TRABAJO. SISTEMAS DE COGIDA. ELEMENTO DE SUJECIÓN.

En nuestro caso diseñaremos una matriz de taladros estándar, donde los agujeros están separados una cierta distancia. Este hecho permitirá montar distintos tamaños de Stock al disponer los taladros de tal manera que permite fijar los tornillos en diferentes posiciones.

Teniendo en cuenta la separación necesaria para satisfacer el mecanizado de la preforma y un correcto agarre de la misma se ha considerado conveniente una separación entre taladros múltiplo de 50 en ambas direcciones. Por lo que este número determinará como hemos enunciado anteriormente la matriz de taladros a utilizar. Este aspecto pretende resaltar el hecho de que por tratarse de una matriz de taladros no podrá garantizar la fijación de un Stock su fijación dispuesta aleatoriamente, teniendo que haber una concordancia entre ambos diseños.

No hemos creído conveniente diseñar y fabricar un útil adicional sobre el que posicionar el tocho inicial, es decir, no usaremos piezas intermedias para llevar a cabo el anclaje mesa-pieza, ya que al tratarse de un conjunto de piezas paramétricas habría sido necesario llevar a cabo el diseño y la fabricación de este útil auxiliar de manera paramétrica.

A la hora de dimensionar dicha matriz de taladros, además de considerar la separación entre los mismos, será necesario tener en cuenta la envergadura de la costilla raíz. Este corresponderá en nuestro caso, junto con la separación de los taladros, las dimensiones a garantizar a la hora de llevar a cabo el diseño de nuestra matriz de taladros.

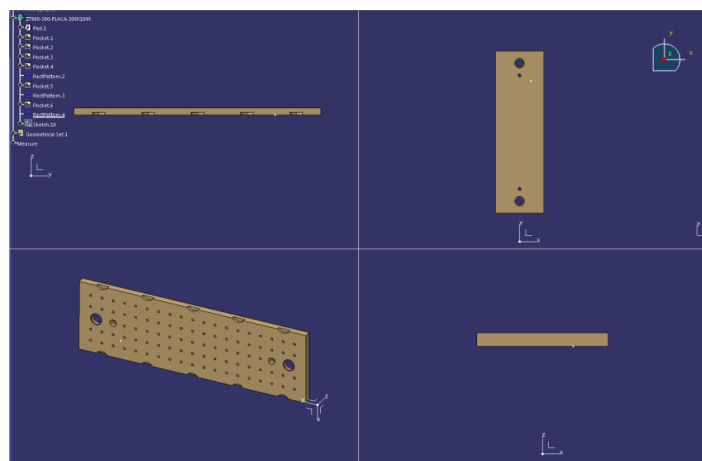


Ilustración 25. Matriz de taladros.

Esta matriz de taladros, está unida a la mesa de trabajo mediante dos tornillos de sujeción.

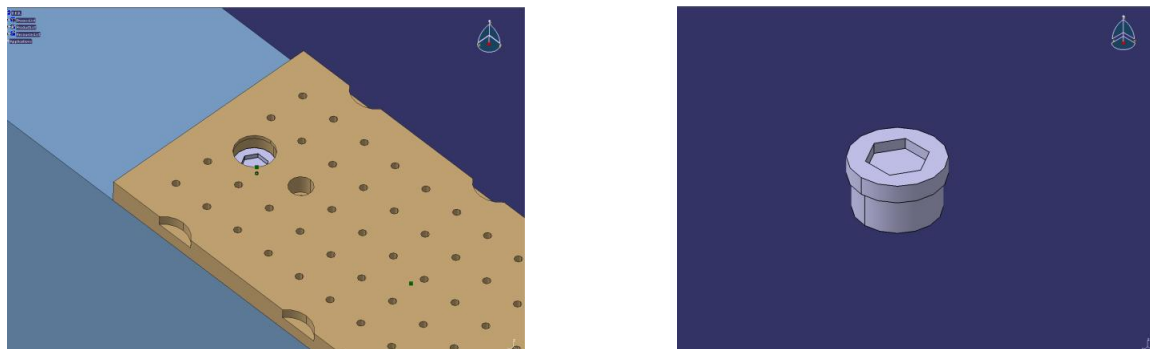


Ilustración 26. Fijación matriz - mesa.

Una vez diseñada la matriz de taladros, nos centraremos en el diseño de la mesa de trabajo, sus dimensiones y disposición. Para llevar a cabo su diseño, será necesario tener en cuenta que en el mecanizado aeronáutico, los índices de generación de viruta son muy elevados por lo que nuestra mesa de trabajo estará dispuesta verticalmente para favorecer su evacuación, evitando así la acumulación de viruta, de manera que se pueda contribuir a un aumento de la vida de la herramienta, de las aristas cortantes, y para mantener una buena seguridad. Este hecho, también elimina la necesidad de invertir tiempo y costo en la remoción manual de virutas. Esto también reduce varios riesgos que resultan de la acumulación de virutas mientras el ciclo está en marcha. Mantener las virutas lejos del trayecto de corte es importante para la confiabilidad de la herramienta y para la calidad de la pieza. Todo esto se traduce en un mejor acabado superficial y en una vida de herramientas más consistente. Por lo que al reducirse las operaciones manuales en el proceso de mecanizado, la superficie mecanizada pasaría a convertirse en una superficie terminada.

Otro aspecto positivo que surge como consecuencia de la disposición vertical de la mesa de trabajo es el espacio libre en planta.

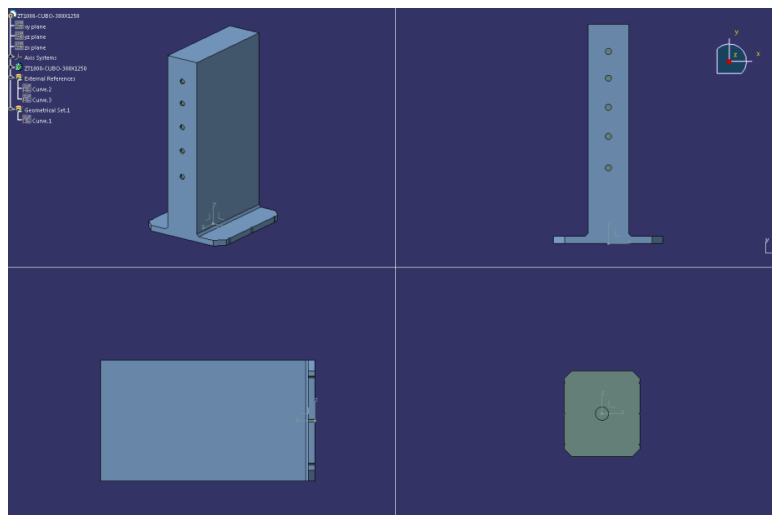


Ilustración 27. Mesa de trabajo vertical.

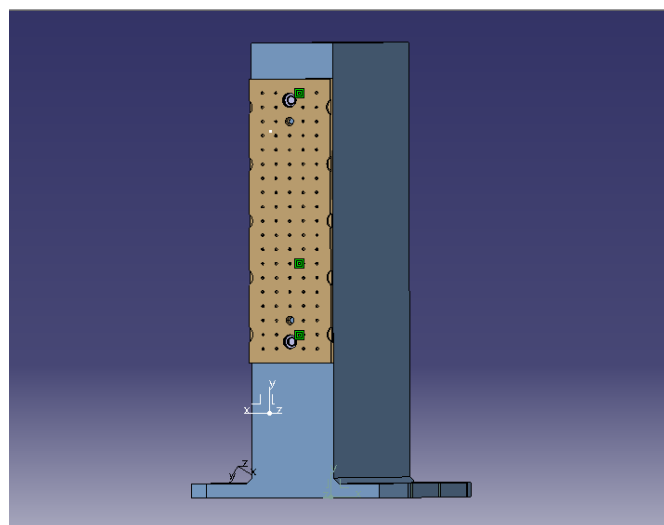


Ilustración 28. Disposición mesa-matriz.

Otro de los aspectos a tratar en esta sección serán los elementos de fijación pieza-matriz de taladros. En nuestro caso hemos creado conveniente utilizar como elemento de amarre tornillos de fijación por diversas razones.

En primer lugar, permiten llevar a cabo el proceso de mecanizado con un menor número de posturas de mecanizado. Ya que se al estar la pieza fijada a la matriz mediante elementos que no están en contacto directo con la pieza final, no será necesario llevar a cabo distintas configuraciones a la hora de posicionar la pieza para llevar a cabo el proceso de mecanizado. Este hecho permitirá conseguir un mejor acabado, disminuir el número de operaciones manuales, el tiempo y por consiguiente el coste.

En segundo lugar, es necesario tener en cuenta, que como se comentó anteriormente, el aluminio es fácil de mecanizar. Y al haber considerado que se llevará a cabo un mecanizado de alta velocidad, las fuerzas de corte generadas serán pequeñas por lo que parece lógico que este amarre permitirá llevar a cabo una sólida sujeción pieza – matriz.

Estos tornillos serán montados sobre taladros redoblonados para evitar así que sobresalgan sobre la cara superior de la pieza. Este hecho permitirá llevar a cabo un planeado de la cara superior en su totalidad, permitiendo garantizar un correcto asiento en la segunda postura de mecanizado.

Los tornillos de fijación no estarán roscados en su totalidad, ya que únicamente deberán tener una longitud de rosca suficiente que permita fijar la pieza a la matriz de taladros.

Es necesario tener en cuenta que si su hubiera considerado el ancho de la costilla un parámetro de diseño, estos tornillos deberían haberse diseñado de forma paramétrica. Ya que el hecho de considerar dicho parámetro habría condicionado el espesor del tocho, y por consiguiente la longitud del cuerpo del tornillo.

Los taladros de cogida del útil están compuestos por un cuerpo exterior, para el montaje de Fijas de Centraje, y otro interior Roscado para la inserción de Tornillos Roscados, pudiendo montar en cada uno de los taladros del útil indistintamente cualquiera de los dos elementos citados anteriormente.

Los taladros de centraje sirven para coordinar mecanizados entre distintas posturas de la pieza o montaje. Estos taladros no se suelen hacer en el material de partida ya que se destruyen normalmente al término del mecanizado de la primera postura, para coordinar la segunda.

A continuación se pretende mostrar que según las condiciones impuestas en el diseño del tocho de partida y de la matriz de taladros, podemos garantizar la fijación de ambos modelos para los distintos diseños realizados. Es decir a la hora de introducir distintas combinaciones para los parámetros seleccionados, automáticamente y gracias a las restricciones impuestas se actualizará el ensamblaje de la pieza de partida y de la pieza final. Siendo en nuestro caso el factor limitante para la fijación del tocho a la matriz de taladros la separación de los taladros y las dimensiones de la matriz.

Como podemos observar en la siguiente representación, los distintos modelos paramétricos realizados, se adaptan a la matriz de taladros. Con este hecho podemos concluir que el diseño realizado satisface la cogida de cara al mecanizado de los distintos diseños.

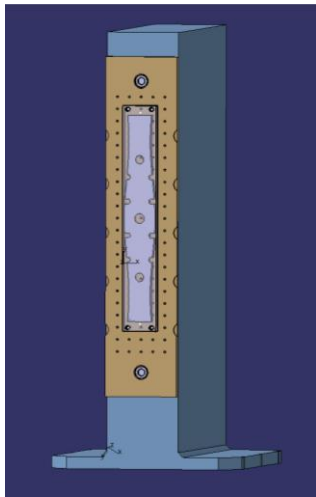


Ilustración 29

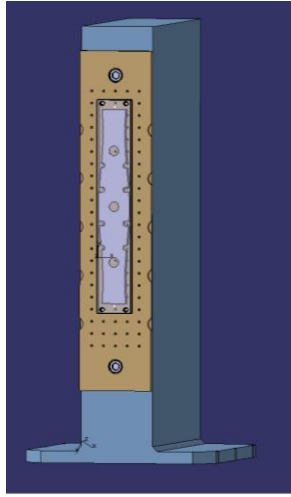


Ilustración 30

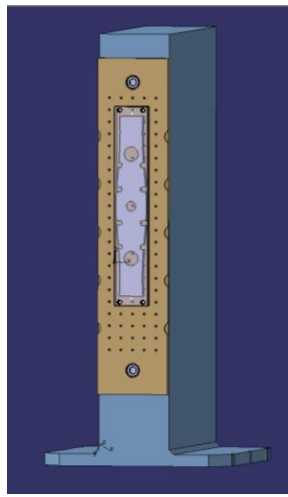


Ilustración 31

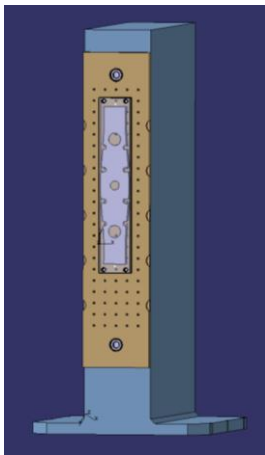


Ilustración 32

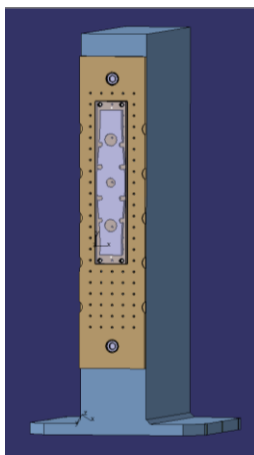


Ilustración 33

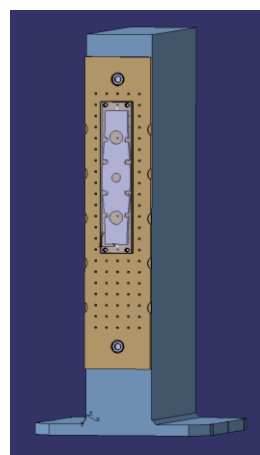


Ilustración 34

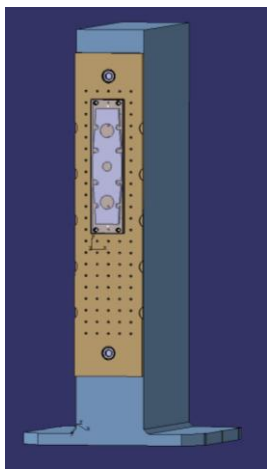


Ilustración 35

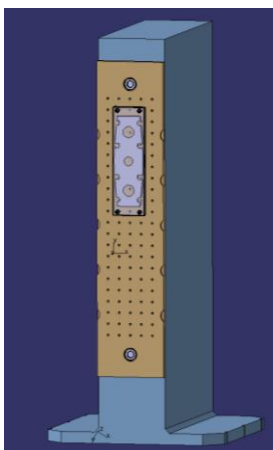


Ilustración 36

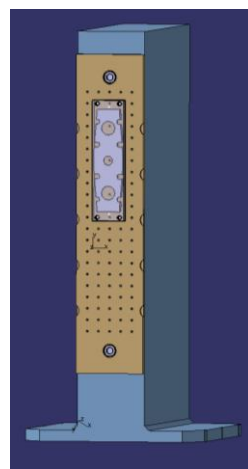


Ilustración 37

#### 4.7 MÁQUINA HERRAMIENTA

A la hora de programar la fabricación de una pieza, es necesario conocer las características de la máquina herramienta requerida. La máquina herramienta, está constituida por un conjunto de dispositivos que son los encargados de llevar a cabo el desplazamiento relativo entre la pieza y la herramienta. Estos dispositivos tienen como misión asegurar la pieza o la herramienta manteniendo una posición que permita la eliminación del material.

La elección de la máquina se ha llevado a cabo teniendo en cuenta que ésta debe satisfacer las dimensiones máximas de la pieza a montar y las posibilidades de potencia y velocidad para llevar a cabo el mecanizado de esta pieza. Para que los trabajos de fresado se realicen en las mejores condiciones se debe asegurar una buena rigidez de la máquina y que tenga la potencia suficiente para poder utilizar las herramientas más convenientes.

La mayoría de las operaciones de mecanizado con cinco ejes requieren menos potencia en el husillo que las aplicaciones con tres ejes, porque el mecanizado típico usado sobre el cuarto y el quinto eje no pueden soportar cortes fuertes. Aún cuando las piezas puedan ser producidas en máquinas de 3 ejes, hay una serie de consideraciones económicas que a menudo revelan que el mecanizado con 5 ejes ofrece un menor costo a pesar del gran coste de inversión que es necesario soportar al adquirir una máquina de este tipo.

A pesar de lo comentado anteriormente, es necesario tener en cuenta que al no tener nuestra pieza secciones de pared delgada, la fuerza de corte a soportar no será un factor limitante a la hora de elegir el tipo de máquina necesaria para llevar a cabo el proceso de mecanizado. Al no tener tampoco una geometría compleja, se podrá obtener mediante el mecanizado en tres ejes, planteando una correcta estrategia de mecanizado. Tampoco corresponderá la precisión requerida a la hora de fabricar la pieza un factor limitante, ya que como comentamos anteriormente, estamos teniendo en cuenta que nuestro diseño es ficticio por lo que no deberá cumplir los requerimientos propios de las piezas reales.

Apoyándonos en el diseño establecido, observamos que se trata de una pieza sencilla con superficies sin forma con curvaturas uniforme, podemos concluir, a pesar de lo enunciado anteriormente, que la máquina herramienta seleccionada será de tres ejes. Ya que con las propiedades de operación proporcionadas por este tipo de máquinas se puede llevar a cabo el mecanizado de nuestro modelo.

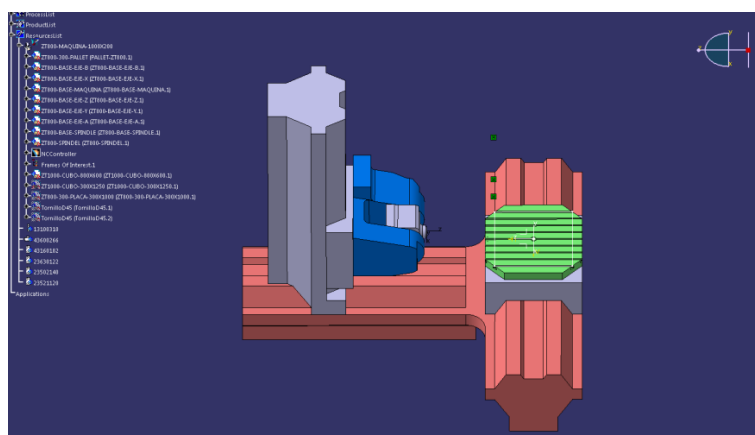


Ilustración 38. Máquina herramienta.

#### 4.8 POSICIONES O POSTURAS DE MECANIZADO

Nuestra pieza a mecanizar tendrá dos posiciones de mecanizado. En la primera de las posturas se llevará a cabo un planeado de la superficie, para garantizar un correcto asiento a la hora de disponer la pieza en la segunda postura. También será necesario llevar a cabo en esta primera postura un contorneado de la pieza y un vaciado de los aligeramientos, por simplificar el mecanizado del modelo. Ya que al haberse elegido finalmente una máquina de 3 ejes, estas operaciones tendrían una mayor dificultad si se quisieran realizar en la segunda postura.

#### 4.9 EJES DE MECANIZADO

Es necesario definir el origen y los ejes a los cuales se referirán el código del proceso. Teniendo en cuenta que la posición inicial de la herramienta coincidirá con el origen aquí definido.

Éstos están situados exactamente en el mismo punto en que se vayan a situar en la pieza real. Para que el programa se pueda ejecutar en máquina, el sistema local del útil lo localizaremos en el mismo punto que el sistema absoluto de la máquina, para que las coordenadas del programa coincidan con la situación real de la pieza.

#### 4.10 HERRAMIENTAS

En nuestro caso, hemos definido las herramientas y los portaherramientas como sólidos independientes, estableciendo los parámetros geométricos que dan forma a la misma.

Teniendo en cuenta que en el proceso de mecanizado realizaremos las diferentes secuencias de operaciones con las mismas herramientas, hemos creído conveniente realizar un catálogo en el que estén recogidas las características fundamentales de las herramientas que pasaremos a utilizar para llevar a cabo el mecanizado de nuestra pieza. La información para realizar el catálogo es volcada directamente de los parámetros geométricos creados en CATIA. Con esta idea, disponemos de todas las herramientas necesarias para llevar a cabo el proceso completo.

Durante el fresado pueden aparecer una serie de problemas que dificultan la calidad de las operaciones de fresado. Estos problemas dependen de la velocidad de corte, la velocidad de avance, la profundidad de corte y el tipo de fresa empleada. Los problemas principales se pueden clasificar en:

- Alteración de los filos de corte. Producido por un posible desgaste en la superficie de incidencia, entallas en el filo, craterización o deformación plástica, filo de aportación, pequeños astillamientos o rotura de dientes.
- Virutas largas.
- Vibraciones. Las vibraciones excesivas pueden ser causadas además por fijaciones incorrectas o poco rígidas o porque la pieza se deforme cuando incide sobre ella cada diente de la fresa. Dichas vibraciones afectan a las tolerancias dimensionales y a las rugosidades obtenidas, por lo que la armonía entre la herramienta y su movimiento de corte junto con la pieza y máquina es esencial para maximizar el mejor acabado. Otras causas de imperfecciones en las superficies mecanizadas son las alteraciones de los filos de corte, la falta de mantenimiento de la máquina y el uso incorrecto de los utillajes.

Las distintas herramientas diseñadas, pasan a mostrarse a continuación:

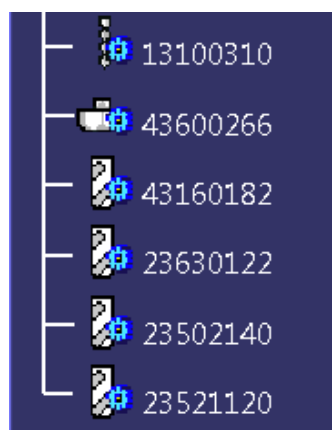


Ilustración 39. Herramientas de corte.

Es necesario tener en cuenta que dichas herramientas las hemos diseñado de manera paramétrica, con la finalidad de optimizar las distintas operaciones a llevar a cabo a la hora de realizar el proceso de mecanizado.

De igual forma que hemos diseñado el material de partida, sobre el diseño de las distintas piezas se podrán volcar los distintos parámetros de diseño que permiten relacionar las magnitudes de estas herramientas con las dimensiones de la pieza final a diseñar.

| DESCRIPCIÓN                                           | TIPO DE HERRAMIENTA | CÓDIGO "T" |
|-------------------------------------------------------|---------------------|------------|
| Plato de cuchillas para planeado en la 1ª postura     | Plato               | T43600266  |
| Fresa de desbaste con creces                          | Fresa               | T43160182  |
| Fresa de acabado de rincones y afinado de las paredes | Fresa               | T23630122  |
| Fresa para el vaciado de las faldillas                | Fresa               | T23502140  |
| Fresa para la reducción de los rincones               | Fresa               | T23521120  |
| Broca para las fijas de centraje                      | Broca               | T13100310  |

El código T corresponde a la designación que tendrán el conjunto de herramientas en nuestro Process de mecanizado.

Todas ellas se han diseñado llevando a cabo la secuencia de operaciones especificada para la los diseños desarrollados en el proyecto. Estableciendo entre sus dimensiones parámetros y relaciones, por lo que se han diseñado de forma paramétrica.

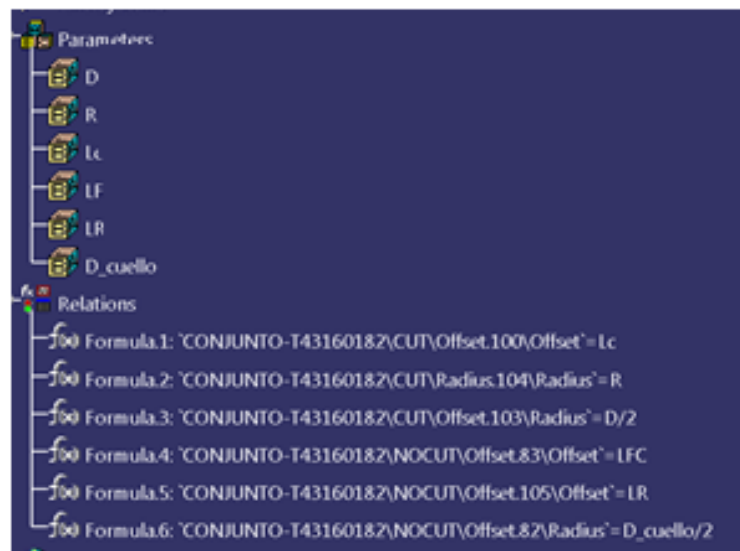


Ilustración 40. Relaciones y parámetros en las herramientas de corte.

#### 4.10.1 HERRAMIENTAS DE TALADRADO.

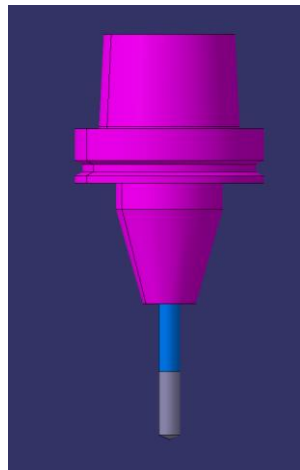


Ilustración 41. T13100310

#### 4.10.2 HERRAMIENTAS DE PLANEADO

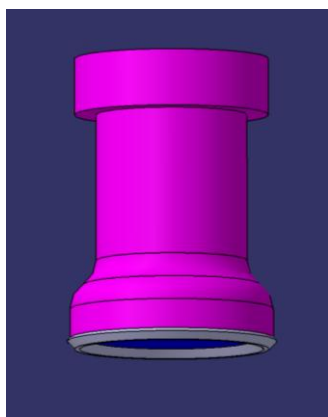


Ilustración 42. T43600266

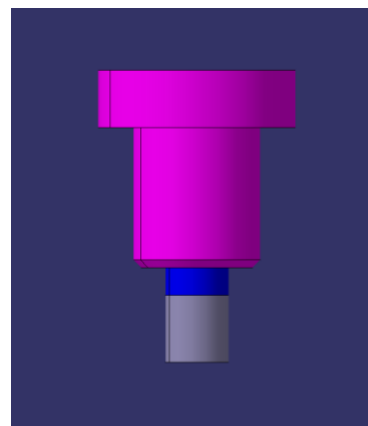


Ilustración 43. T43160182

#### 4.10.3 HERRAMIENTAS DE FRESADO

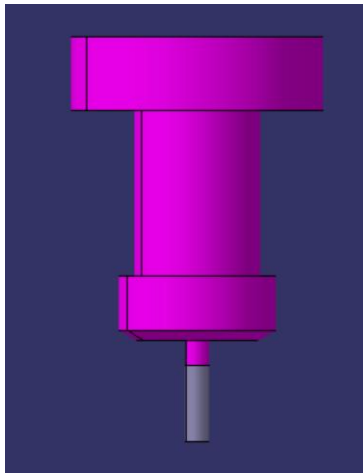


Ilustración 44. T23502140.

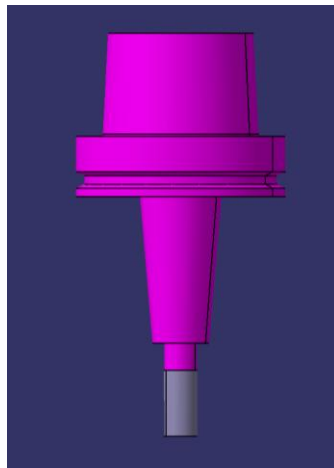


Ilustración 45. T23630122

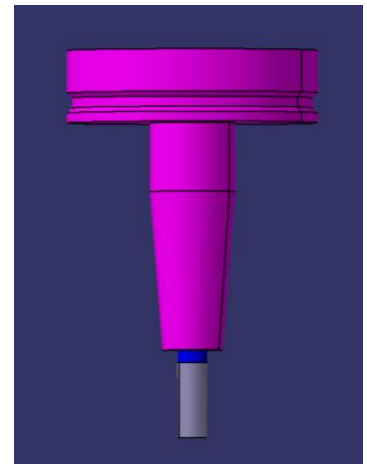


Ilustración 46. T23521120.

Teniendo en cuenta las ventajas de realizar este diseño de manera paramétrica, es necesario tener en cuenta que existen herramientas estándar, que en muchos casos, a pesar de no tener las dimensiones exactas de cara a relializar el mecanizado, reducen enormemente el coste de las mismas.

#### 4.11 SECUENCIAS DE MECANIZADO

Para realizar el mecanizado de nuestra pieza, nos apoyaremos en el módulo Surface Machining, que nos permite llevar a cabo operaciones de hasta 3 ejes continuos y 5 posiciones. También podremos apoyarnos en el módulo Advanced Machining que permite realizar mecanizados de piezas complejas con operaciones que comprenden las máquinas desde 2.5 hasta 5 ejes.

A la hora de definir la secuencia de mecanizado es necesario tener en cuenta que se mecanizarán en primer lugar las superficies de referencia, donde se va a apoyar la pieza en las sucesivas posturas.

En segundo lugar las superficies con tolerancia dimensionales más estrechas, ya que son el origen de la mayor parte de los rechazos y es preferible que ocurran antes. Y en último lugar las tolerancias menos restrictivas.

##### Primera postura de mecanizado.

La secuencia de operaciones en el mecanizado en la primera postura:

1. Desbaste general de la pieza.
2. Contorneado exterior
3. Vaciado de los aligeramientos
4. Taladrado para posicionar las fijes de centraje

Al no ser el espesor de la pieza excesivamente grueso, el desbaste se realizará en una sola operación. Es necesario tener en cuenta que la cara de asiento en el útil debe estar perfectamente planeada, aunque al estar nuestra pieza mecanizada por ambas caras, los criterios de planitud y rugosidad superficial son menos restrictivos.

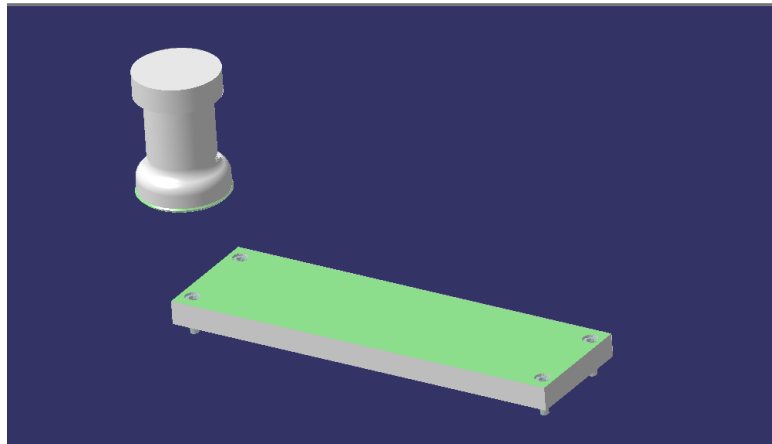


Ilustración 47. Planeado primera postura.

Llevando a cabo el vaciado de los larguerillos por esta cara, necesitaré herramientas más cortas que las requeridas en el caso de realizarlo en la segunda postura.

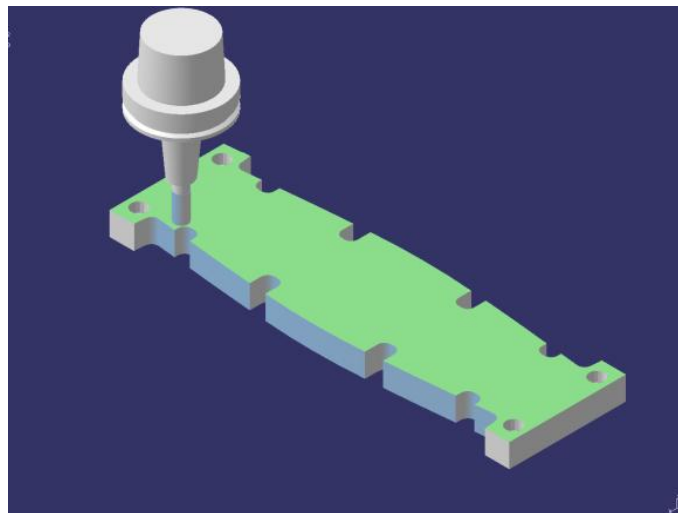


Ilustración 48. Contorneado exterior.

De igual forma, se llevarán a cabo el rebaje de los aligeramientos por esta cara, con la finalidad de no eliminar gran cantidad de material en la segunda postura. Además este hecho permitirá el uso de herramientas más cortas en esta operación y secuencias más sencillas en las operaciones posteriores.

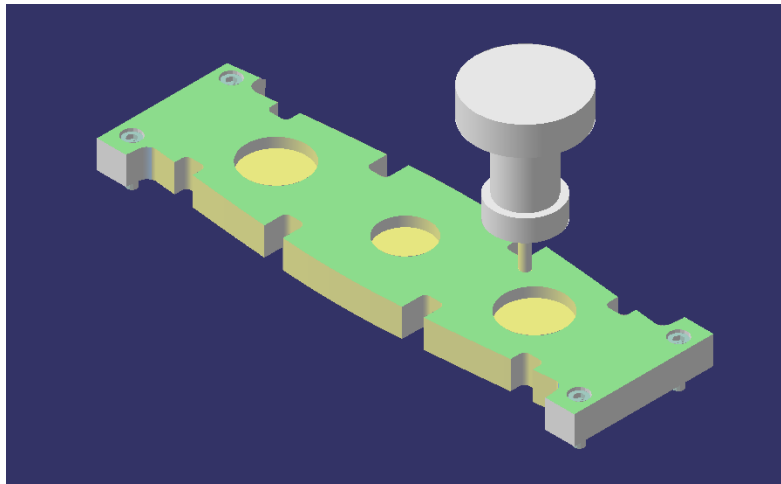


Ilustración 49. Rebaje de los aligeramientos.

Esta operación será la última a realizar en la primera postura de mecanizado. Para llevar a cabo la segunda postura es necesario tener en cuenta algunas consideraciones en cuanto al modo operativo propio del programa utilizado. Será necesario guardar como CatProduct la pieza final de la primera postura e introducirla en el árbol PPR como producto, ya que este modelo corresponderá al material de partida en la segunda postura de mecanizado. Posteriormente, será necesario volver a definir los planos de seguridad, los elementos de amarre, y el sistema de ejes.

Para pasar a definir la segunda postura, a continuación mostraremos lo que en nuestro caso corresponderá con nuestro material de partida.

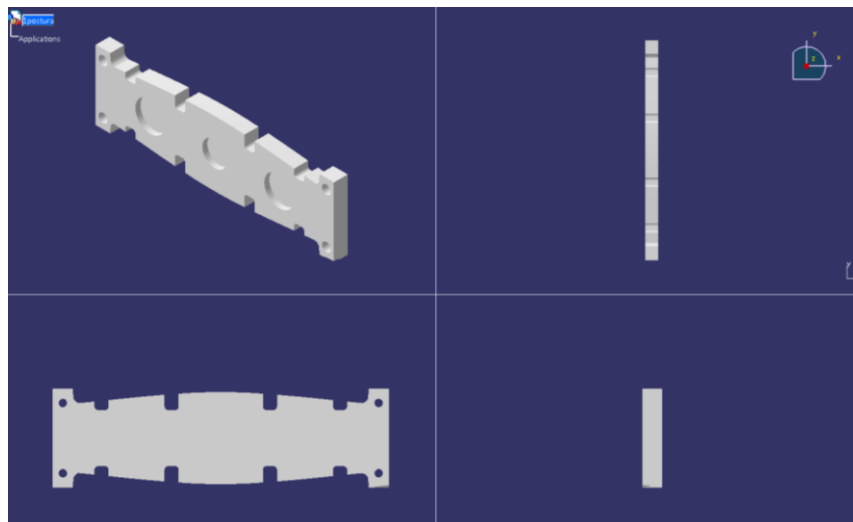


Ilustración 50. Material de partida en la segunda postura.

En la segunda posición de mecanizado será en la cual se desprenda mayor volumen de virutas. Será donde se lleve a cabo el mayor esfuerzo de corte, debiendo garantizar en este caso una sólida cogida.

La secuencia de operaciones en el mecanizado en la segunda postura:

1. Desbaste general de la pieza.
2. Cajeado interior
3. Altura de nervios.

4. Reducción de rincones.
5. Afinado de nervios interiores.
6. Mecanizado de orejetas y contorno exterior.

Al igual que el caso anterior, al no ser el espesor de la pieza excesivamente grueso, el desbaste se realizará en una sola operación. En el proceso de diseño no se consideró conveniente redoblonar los taladros por ambas caras al no tener que satisfacerse el asiento al no existir posteriores posturas, por lo que en esta segunda postura, tenemos la cabeza de los tornillos sobre la superficie del tocho.

De no ser así serían necesario dejar dichas zonas planeando a una altura determinada el material sobrante del Stock o montando algún suplemento de asiento.

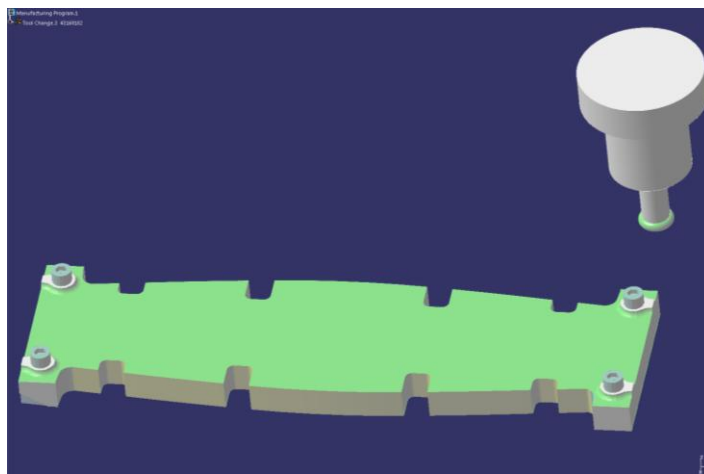


Ilustración 51. Planeado segunda postura.

Tras realizar el desbaste general de la pieza, se llevará a cabo el cajeado interior de la misma, siendo en esta operación donde evacuemos mayor cantidad de viruta. Con este criterio aseguramos que el mayor esfuerzo de corte se realiza al comienzo de la segunda postura, cuando el Stock está suficientemente rígido, garantizando así una cogida más sólida.

Para el mecanizado de una caja se pueden seguir varias estrategias, pero todas ellas tienen en común la fase inicial de penetración en la caja, y la fase intermedia de apertura de la misma, que es donde se produce la mayor cantidad de viruta y unos rendimientos importantes. Las distintas estrategias sólo se diferencian en la fase final o de terminación de la caja. Esta fase vendrá determinada por los radios de recanteo del fondo y de las esquinas, ya que dependiendo de su dimensión y acabado requerido será necesario establecer un número de cambios de herramientas necesario.

La fase inicial se realiza normalmente con una herramienta de gran diámetro y no se realiza ningún tipo de afinado. Esta consiste en la inmersión de la herramienta en la caja.

En la fase intermedia, es donde se produce el mayor arranque de viruta, esta fase es la que normalmente requiere mayor tiempo de mecanizado.

En la fase final será donde se lleve a cabo el afinado de la caja, teniendo en cuenta que al estar en este caso la pieza ya debilitada, será donde se pueden llegar a producir problemas asociados con las vibraciones.

A continuación se pasarán a comentar las secuencias de operaciones a seguir:

- a) Se desbastará con una fresa de diámetro 32 mm, en las condiciones adecuadas para esta herramienta, dejando unas creces.
- b) Se afinarán los rincones en condiciones de herramienta plena, sin dejar ningunas creces. En este caso los niveles serán cortos pero los avances serán altos, con lo que se consigue un buen rendimiento general y cortes más estables. Se utilizará una herramienta de diámetro 16 mm para llevar a cabo esta operación.
- c) Posteriormente se pasará a afinar las paredes en condiciones de acabado con la herramienta anterior. En este caso los niveles serán grandes y los avances altos, pero menores que los anteriores. Este hecho permite conseguir un buen acabado superficial y un corte estable.
- d) Debido al radio del rincón y a su altura, usaremos una herramienta de diámetro 12 mm para reducir los rincones. En esta fase únicamente nos quedará reducir los radios de los rincones desde 8,5 mm hasta el radio final. En este caso los niveles son cortos y los avances altos, con el fin de conseguir un buen rendimiento y condiciones estables.

Es necesario reducir el radio de los rincones porque para llevar a cabo el afinado de los nervios, la herramienta lleva una sección de corte radial pequeña, y cuando llega al rincón, se encuentra con una sobrecarga de sección de corte. Esta operación se realiza con muy poca profundidad de corte axial por llevar exceso de sección de corte radial.

Para ello se pueden seguir varias estrategias de mecanizado. El problema que se produce al reducir los rincones es que debido a la curvatura de la superficie, la cantidad de material a arrancar en el propio rincón es mayor que el material de las paredes adyacentes.

Entre los problemas que aparecen se encuentran las vibraciones que aparecen en los rincones, éstas tienen asociados problemas como mayor desgaste de herramientas, problemas de acabado superficial, agotamiento de Spindles etc.

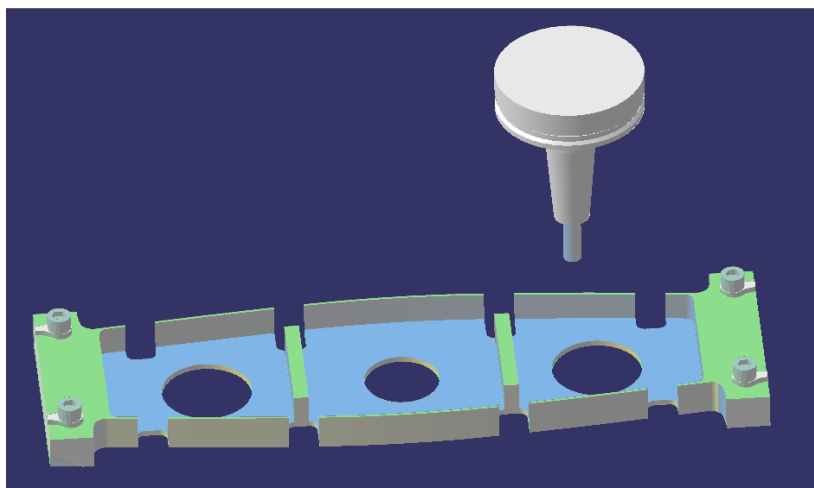


Ilustración 52. Cajeadado.

Una vez terminado el desbaste, es conveniente realizar el mecanizado de las alturas de nervios. Esta operación la llevaremos a cabo por barrido.

Es necesario tener en cuenta que este mecanizado se realiza cuando la pieza está más debilitada. Cualquier sobrecarga en el mecanizado provocará la rotura de la herramienta o de la pieza.

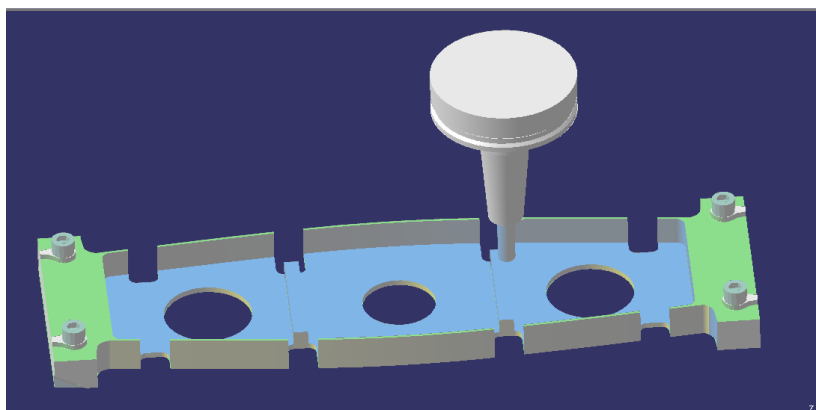


Ilustración 53. Rebaje de la altura de los nervios.

Se trata de una operación de acabado de la pieza, en la que los espesores de los nervios deben satisfacer las tolerancias exigidas. Además, las superficies mecanizadas deben presentar un aspecto de acabado en el que no presenten rugosidades ni vibraciones de la herramienta. Se deberá prestar especial atención a las condiciones de corte de la herramienta, así como programar unos movimientos de entrada y salida en los nervios de forma tangencial a las superficies.

Como última secuencia de mecanizado, llevaremos a cabo el rebaje de las orejetas. Se llevará a cabo en último lugar ya que es la zona que garantiza la fijación de la pieza a la matriz de taladros.

En las condiciones de mecanizado es necesario tener en cuenta que en la última secuencia, será necesario prestar especial atención dónde apoyaremos la herramienta a la hora de contornear la pieza para desprenderla de los tornillos de fijación. En el contorneado superior nos apoyaremos en la pieza, ya que los taladros inferiores garantizan la fijación de la pieza a la mesa de trabajo. En el contorneado inferior será necesario apoyarse en los tornillos, ya que en esa secuencia la pieza no está sujeta superiormente, por lo que podríamos dañarla.

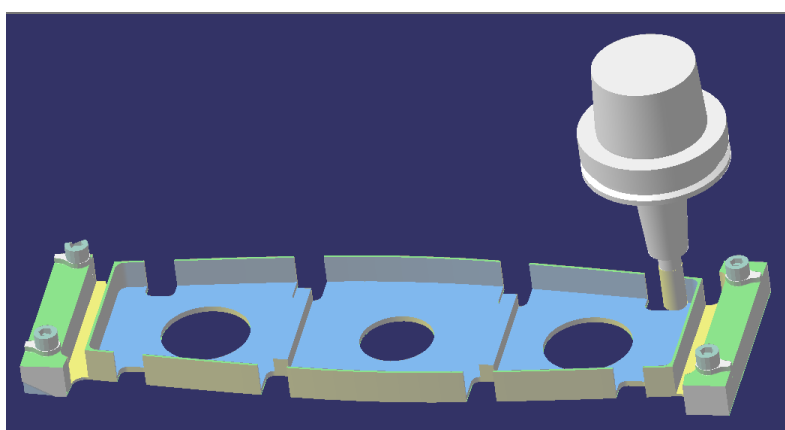


Ilustración 54. Pestañas de unión.

Una vez llevada a cabo esta operación, tendremos unida la pieza a los elementos de sujeción por medio de unas pestañas.

Tras realizar dicha operación será necesario proceder al desmontaje de la pieza final de la matriz de taladros. Una vez desmontada la pieza, procederemos a realizar una operación de corte de forma manual para desprender la pieza de dichas pestañas. Para llevar a cabo este tipo de operación existen dos tipos de herramientas.

- Las sierras de cinta se utilizan indistintamente para corte de tacos rectangulares y tacos con forma irregular, y son las más habituales en los talleres. La desventaja de esta máquina es que al ser manual, el corte es sinuoso, imperfecto y depende en gran parte de la pericia del operario.
- Las máquinas de corte de disco tienen el inconveniente que sólo se pueden utilizar con tacos rectangulares y de espesor limitado, en función del diámetro del disco, pero por otra parte, su corte es perfecto, de muy buena calidad, totalmente perpendicular y rápido.

En nuestro caso, al tratarse de un taco rectangular y con la finalidad de garantizar un correcto corte lo llevaremos a cabo mediante máquinas de corte de disco. Esta operación es la última a realizar. Por lo que llegados a este punto podemos concluir que quedan definidas las operaciones de mecanizado necesarias para la fabricación de nuestra pieza.

A continuación pasaremos a generar el código de control numérico.

#### 4.12 GENERACIÓN DEL CÓDIGO DE CONTROL NUMÉRICO.

Inicialmente se consideró recoger en el documento los códigos generados en lenguaje APT y post-procesado a lenguaje ISO. Pero finalmente, debido a su volumen y dificultad a la hora de comentarlos se ha creído conveniente comentar la estructura de dichos códigos y cómo generarlos mediante el programa CATIA. Es necesario tener en cuenta que será necesario realizar la secuencia de operaciones que pasará a detallarse para cada uno de los diseños especificados.

Como enunciamos anteriormente, las distintas trayectorias estarán asociadas a la máquina herramienta, al material de partida, la pieza final, los elementos de sujeción y las herramientas seleccionadas; por lo que llevando a cabo las modificaciones pertinentes en cada uno de esos diseños se podrá generar el código para los distintos modelos, ya que las secuencias de operaciones definidas son comunes para todos los casos.

Estos elementos a lo largo del desarrollo del proyecto se han diseñado e implementado de manera paramétrica, con la idea de volcarlos sobre el Process a través de una tabla de parámetros, para poder fabricar las distintas piezas que constituyen nuestra familia paramétrica.

Atendiendo al lenguaje de programación, los dos grupos existentes son APT y lenguaje ISO. La diferencia entre ambos radica en que el lenguaje APT es un lenguaje de alto nivel que utiliza sentencias con un gran significado geométrico comprensible por el ser humano, en cambio, el lenguaje ISO, formado por expresiones G es un lenguaje de bajo nivel únicamente comprensible por la máquina de control numérico.

CATIA genera el código de control numérico en lenguaje APT. El lenguaje APT (*Automatically Programmed Tool*) es un lenguaje orientado al a geometría, lo que significa que el programa describe la trayectoria de la herramienta, pero no da las órdenes de movimiento a la máquina. Es un lenguaje de alto nivel que utiliza sentencias con un significado geométrico comprensible por el ser humano. Este tipo de lenguaje de programación consta de dos partes: en la primera de ellas se definen todos los elementos geométricos que intervienen en el mecanizado, y en la segunda, se definen los movimientos y trayectorias necesarios para el mecanizado total de la pieza, apoyándose en la geometría definida anteriormente.

En el APT los comandos son palabras inglesas con cierto significado que mejoran la definición y seguimiento del programa. Este programa permite trabajar en tres dimensiones controlando hasta 5 ejes simultáneamente. Tiene aproximadamente 400 palabras en su vocabulario.

Existen cuatro tipos de sentencias en ATP.

\_Geométricas. Definen la geometría del elemento o pieza a mecanizar, por lo que se les llama también sentencias de definición.

*símbolo = tipo geométrico.datos descriptivos*

\_De movimiento. Describen la trayectoria que tomará la herramienta de corte.

*orden de movimiento.datos descriptivos*

\_De postprocesado. Son específicas de cada máquina y de cada control. Se usan para especificar avances, velocidades y demás actuaciones de la máquina.

\_Auxiliares. Son un tipo mixto para identificar partes, herramientas, tolerancias, etc.

En el programa existen dos etapas diferenciadas:

1. Definición de la geometría.
2. Definición del cambio de herramienta y condiciones de trabajo.

El lenguaje ISO es un lenguaje de bajo nivel únicamente comprensible por la máquina de control numérico. En el código ISO existen una serie de tipos de palabras que constituyen el código:

N. Número de secuencia.

G. Funciones preparatorias.

X, Y, Z. Prefijos de ejes x, y z en absoluto.

A, B, C. Prefijos para giros.

F. Velocidad de alimentación o avance.

S. Velocidad de giro.

T. Selección de herramienta.

M. Comandos auxiliares.

Después de realizar esta breve descripción sobre las sentencias que componen cada uno de los dos lenguajes, pasaremos a especificar cómo obtener el código de control numérico.

Para la generación del código se debe clickar con el botón derecho en el programa del que se quiere obtener el código. A continuación se abre el último desplegable y se selecciona 'Generate NC Code Interactively'.

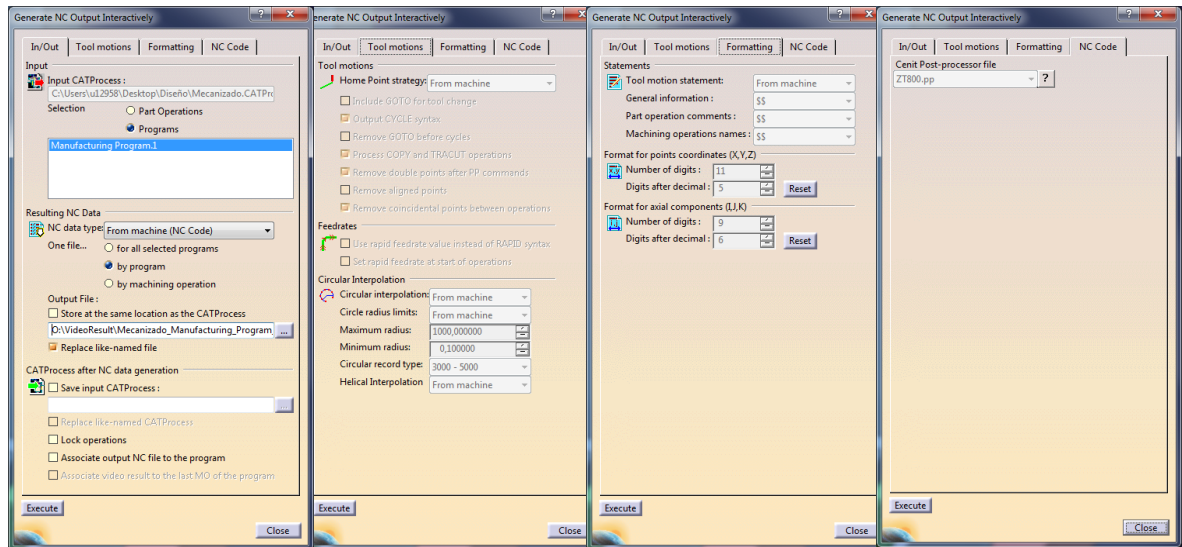


Ilustración 55. Pestañas generación de código CN.

En la primera ventana se introduce la carpeta de destino y el tipo de código, en nuestro caso será APT, al ser este el lenguaje proporcionado por CATIA. De igual forma se irán introduciendo en las distintas pestañas la información necesaria.

Una vez rellenas las ventanas anteriores, le damos a ejecutar y pasaremos a obtener un archivo '.aptsource' que se puede abrir con un bloc de notas y nos demuestra el código APT generado.

Este archivo, será el que posteriormente pase a ser post-procesado a código ISO, que es el que acepta la máquina herramienta.

## 5 RESULTADOS FINALES

Una vez definidas todas las operaciones de mecanizado necesarias para la correcta implementación del código de control numérico, y la obtención de este según lo especificado en el apartado anterior, es conveniente verificar los resultados obtenidos.

Esta verificación se puede implementar simulando las operaciones de mecanizado impuestas de manera que la máquina herramienta reproduzca dichas operaciones con la finalidad de comprobar si la pieza se obtiene con la forma y el acabado deseados.

CATIA dispone versiones de simuladores muy avanzados, pero existen otros programas que te permiten realizar cambios sobre el proceso de fabricación conjuntamente con la simulación.

# 6 CONCLUSIONES

---

Con el CAD paramétrico, podemos optimizar el diseño de manera que podamos llegar a encontrar un equilibrio entre funcionalidad y coste.

Con los parámetros correctamente definidos, podemos implementar las decisiones tomadas de una manera más rápida, lo que nos permite reducir costes globales. A éstos parámetros se le asignarán un conjunto de valores de manera que podamos reproducir un conjunto de piezas que constituyan una familia.

Diseñando siguiendo la línea marcada por el concepto paramétrico, se obtiene un incremento de la productividad en la realización del proyecto, tanto desde un punto de vista de diseño, como de fabricación.

A la hora de seleccionar e imponer los distintos parámetros sobre nuestro diseño es necesario tener en cuenta algunos aspectos importantes. Si se quiere mostrar el alcance de este concepto, únicamente será necesario establecer las relaciones y vínculos oportunos entre dichos parámetros; pero si en cambio, queremos crear un conjunto de piezas con una funcionalidad determinada, es necesario emplear módulos de conocimiento conjuntamente con el concepto de parametrización.

Es una de las conclusiones fundamentales del proyecto, ya que tras establecer los parámetros y diseñar el conjunto de piezas que conforman nuestra familia, hemos apreciado la pérdida de uniformidad entre los distintos modelos.

Un posible proyecto futuro sería optimizar la selección de parámetros con la finalidad de mantener la uniformidad entre los distintos diseños con el fin de garantizar la funcionalidad de las distintas familias que constituyen nuestra familia. Esto sería posible mediante otro módulos de conocimiento que posee el programa seleccionado pero que no se han analizado en este proyecto, al no ser éste el objeto del mismo.

Otro hecho a tener en cuenta, es que analizando correctamente las diferentes decisiones que son necesarias establecer a la hora de llevar a cabo el diseño y la fabricación, y centrándonos principalmente en la etapa de diseño de la pieza final, el resto de piezas que formarán nuestro conjunto cumplirá las especificaciones impuestas. Esto quiere decir que volcando la información en la etapa de modelado y estableciendo correctamente los vínculos podremos generar las distintas piezas que forman nuestra familia tanto su diseño como su posterior fabricación.

Otro aspecto a resaltar, es que aunque no se ha llevado a cabo en el proyecto los cálculos económicos que vienen asociados a el diseño y fabricación de forma paramétrica, es decir, no se han realizado cálculos que lo justifiquen su viabilidad económica, parece lógico que llevando a cabo el diseño siguiendo este concepto, es decir invirtiendo tiempo en la conceptualización inicial y en el modelado de la pieza final, y estableciendo las relaciones adecuadas y los equipos y útiles que permiten implementar desde un punto de vista de la fabricación, parece lógico que las ventajas proporcionadas por el diseño según este concepto imputarán directamente en los costes del mismo.

En cuanto a la verificación y simulación el proceso de fabricación, que recogería desde el diseño a la fabricación al estar en el Product toda la información volcada, pretende mostrar la potencialidad y viabilidad técnica del proyecto.

Como hemos enunciado anteriormente, el programa utilizado dispone de versiones muy avanzadas, pero está muy extendido el uso de otros programas de simulación que permiten virtuaizar la máquina real y simular el proceso teniendo en cuenta la cinemática de la misma, realizar comparaciones entre el resultado de la simulación y la final diseñada. También permite detectar posibles colisiones entre la máquina y el utillaje, o entre estos elementos con la propia pieza.

El análisis de los diferentes programas podría ser un posible proyecto futuro, con el fin de optimizar el proceso de fabricación, teniendo en cuenta que en nuestro caso quedaba fuera del alcance del proyecto, al no ser objeto del mismo.