

UNIVERSITAT POLITÈCNICA DE VALÈNCIA

Departamento de Ingeniería Mecánica y de Materiales



Trabajo Fin de Máster en Ingeniería Mecánica

**Análisis y desarrollo de estrategias de
mecanizado para súper aleaciones y materiales
termo-resistentes para conformado de
Superficies Complejas en entornos
3DEXPERIENCE**

Presentado por: D. Xin Yang

Dirigido por: Dr. D. Carlos Vila Pastor

Valencia, septiembre de 2018

AGRADECIMIENTOS

La realización de este Trabajo de Fin de Máster ha sido un periodo de aprender conocimientos de ámbito industria y realizar las practicas, dándome la oportunidad de mejorar mi capacidad personal y profesional.

Agradezco la excelente atención de mi tutor Carlos Vila, por su apoyo, animación, paciencia y confianza en mí al asignarme este trabajo académico y valorar satisfactoriamente todo mi esfuerzo. Además, me ha brindado todas las herramientas necesarias para complementar el trabajo satisfactoriamente.

También me gustaría agradecer a Dassault Systèmes por la asignación de licencia para aprendizaje de 3DEXPERIENCE y proporcionar los cursos didáticos en la plataforma para que podamos estudiar.

Al final muchas gracias a mi familia por el apoyo de mis proyectos, creyendome y apoyando mi trabajo en todo momento.

RESUMEN

Este Trabajo Fin de Máster tiene como objetivo el uso de las herramientas de simulación para evaluar las posibles estrategias de mecanizado en el caso de operaciones de mecanizado de materiales termo endurecidos y súper aleaciones en el conformado de superficies. Dichas simulaciones deberán compararse con una serie de experimentos en una máquina herramienta para poder validar un modelo cuyo objetivo será minimizar tiempos, coste e impacto ambiental de estas operaciones en el marco de la Fabricación sostenible y entornos 4.0.

Para ello se contará con el conocimiento y experiencia en los procesos de mecanizado, con los recursos de máquina herramienta y se dispondrá de varias herramientas simulación de mecanizado entre las que se prestará especial interés en la herramienta CAD/CAM/CAE 3DEXPERIENCE (CATIA y DELMIA) para entornos de industria 4.0

Como resultado final se generará una guía para el mecanizado de este tipo de materiales superficies que permita obtener las estrategias más óptimas en función de requerimientos de diseño como tolerancias o acabados superficiales

Palabras clave: 3DEXPERIENCE, materiales aeroespaciales, materiales termo endurecidos, Mecanizado de Superficies, Simulación de Procesos de Mecanizado, Industria 4.0.

RESUM

Este Treball Fi de Màster té com a objectiu l'ús de les ferramentes de simulació per a avaluar les possibles estratègies de mecanitzat en el cas d'operacions de mecanitzat de materials termos endurits i súper aliatges en el conformat de superfícies. Les dites simulacions hauran de comparar-se amb una sèrie d'experiments en una màquina ferramenta per a poder validar un model l'objectiu del qual serà minimitzar temps, cost i impacte ambiental d'estes operacions en el marc de la Fabricació sostenible i entorns 4.0.

Per a això es comptarà amb el coneixement i experiència en els processos de mecanitzat, amb els recursos de màquina ferramenta i es disposarà de diverses ferramentes simulació de mecanitzat entre les que es prestarà especial interès en la ferramenta CAD/CAM/CAE 3DEXPERIENCE (CATIA i DELMIA) per a entorns d'indústria 4.0

Com resultat final es generarà una guia per al mecanitzat d'este tipus de materials superfícies que permeta obtindre les estratègies més òptimes en funció de requeriments de disseny com a toleràncies o acabats superficials

Paraules clau: 3DEXPERIENCE, materials aeroespacials, materials termos endurits, Mecanitzat de Superfícies, Simulació de Processos de Mecanitzat, Indústria 4.0.

ABSTRACT

This end-of-master's work aims to use simulation tools to evaluate possible machining strategies in the case of machining operations of thermo hardened materials and super alloys in the forming of surfaces. These simulations should be compared with a series of experiments on one Machine tools in order to validate a model whose objective will be to minimize the time, cost and environmental impact of these operations in the framework of sustainable manufacturing and 4.0 environments.

To do this, we will have the knowledge and experience in the machining processes, with the resources of Machine tool and will have several tools simulation of machining among which will be given special interest in the tool CAD/CAM/CAE 3DEXPERIENCE (CATIA y DELMIA) for industry environments 4.0

As a final result, a guide will be generated for the machining of this type of Surface materials that allows to obtain the most optimal strategies according to design requirements such as tolerances or Surface finishes

Keywords: 3DEXPERIENCE, materiales aeroespaciales, materiales termo endurecidos, Mecanizado de Superficies, Simulación de Procesos de Mecanizado, Industria 4.0.

ÍNDICE

DOCUMENTOS CONTENIDOS EN EL TABARJO FIN DE MÁSTER

- MEMORIA
- PRESUPUESTO
- PLIEGO DE CONDICIONES
- ANEXOS
- PLANOS

ÍNDICE DE LA MEMORIA

Tabla de contenido

CAPÍTULO

1	INTRODUCCIÓN	1
1.1	ANTECEDENTES	1
1.2	OBJETIVOS DEL TRABAJO DE FIN DE MÁSTER.....	2
1.3	ALCANCE.....	3

CAPÍTULO

2	MECANIZADO DE SUPERFICIES.....	5
2.1	INTRODUCCION.....	5
2.2	GENERACION DE TRAYECTORIA DE HERRAMIENTA.....	6
2.2.1	Topología y parámetros de trayectoria.....	7
2.2.2	Requisitos	8
2.2.3	Métodos tradicionales.....	9

2.2.4	Desarrollos recientes	9
2.3	INDENTIFICACION DE LA ORIENTACION DE LA HERRAMIENTA	12
2.3.1	Requisitos	13
2.3.2	Métodos tradicionales.....	13
2.3.3	Desarrollados recientes.....	14
2.4	SELECCIÓN DE GEOMETRÍA DE HERRAMIENTA	16
2.4.1	Desarrollados recientes.....	17
2.5	CONCLUSIONES	19
CAPÍTULO 3 MECANIZADO DE		
MATERIALES TERMO ENDURECIDOS.....		21
3.1	ANÁLISIS DE ESTRATEGIAS DE MECANIZADO DE MATERIALES INDUSTRIALES.....	21
3.1.1	Introducción.	21
3.1.2	Aleaciones de níquel y maquinabilidad.....	22
3.2	Estudio de la problemática de mecanizado de materiales termo endurecidos y súper aleaciones a nivel industrial.....	24
3.2.1	Endurecimiento de la superficie de trabajo	24
3.2.2	Elección de herramientas de corte.....	24
3.2.3	Torneado, taladro y ranurado	25
3.3	Conclusiones.....	27
CAPÍTULO		
4	ESTRATEGIAS DE MECANIZADO	29
4.1	Introducción a las estrategias de mecanizado de superficies en CAM 2	9
4.1.1	Estudio previo. Caso de Estudio 1.	29
4.1.2	Montaje virtual	30
4.1.3	Secuencia de Operaciones.....	32
4.1.4	Análisis de Estrategias. Caso de Estudio 2.....	50

CAPÍTULO	
5	REALIZACIÓN EXPERIMENTAL61
5.1	Pieza de Estudio61
5.2	Realización experimental61
5.3	Conclusiones66
CAPÍTULO	
6	CONCLUSIONES Y TRABAJOS FUTUROS67
6.1	Conclusiones67
6.2	Trabajos Futuros69
CAPÍTULO	
7	PRESUPUESTO71
7.1	NECESIDAD DEL PRESUOUESTO71
7.2	CONTENIDO DEL PRESUPUESTO72
7.2.1	Presupuesto de nuestro trabajo.....72
7.3	DESGLOSE DEL PRESUPUESTO80
CAPÍTULO	
8	BIBLIOGRAFÍA Y REFERENCIAS81

ÍNDICE DE LAS FIGURAS

Figura 1. Tipos de Mecanizado en 5 ejes (Fuente: [Lasemi, 2010]).	6
Figura 2. Tipo de trayectorias en 5 ejes (Fuente: [Lasemi, 2010]).	8
Figura 3. Isofotas en una superficie de forma libre (Fuente: [Lasemi, 2010]).	10
Figura 4. Posibles entradas de forma libre para la generación de trayectoria de herramienta (Fuente: [Lasemi, 2010]).	11
Figura 5. C-espacio para los parámetros de orientación. (a) espacio de orientación 2-D discreto (el área blanca muestra un espacio de orientación seguro). (b) 3D C-espacio para una trayectoria de la herramienta (Fuente: [Lasemi, 2010]).	15
Figura 6. Área de control de sombra y pseudo radio de curvatura para un punto de cuadrícula (Fuente: [Lasemi, 2010]).	15
Figura 7. Forma generalizada del cortador basada en la definición APT (Fuente: [Lasemi, 2010]).	17
Figura 8. Mecanizado Layer-by-layer para Roughing (Fuente: [Lasemi, 2010]).	18
Figura 9. Bruto inicial.	30
Figura 10. Diseño pieza experimental diseño 01.	30
Figura 11. Montaje del conjunto en 3DEXPERIENCE.	31
Figura 12. Montaje de diseño 01 en la mordaza.	31
Figura 13. Trayectoria de la herramienta en el planeado.	32
Figura 14. Trayectoria de la herramienta en el escuadrado.	36
Figura 15. Trayectoria de la herramienta en la cajera.	38
Figura 16. Diseño pieza experimental diseño 02.	50
Figura 17. Montaje de diseño 02 en la mordaza.	50
Figura 18. La Máquina Gentiger_GT_66V en el laboratorio.	61
Figura 19. Tabla de la máquina en el laboratorio.	62
Figura 20. Montaje del bruto en la mordaza en el laboratorio.	62
Figura 21. Trayectoria del mecanizado de diseño 01.	64
Figura 22. Trayectoria del mecanizado de diseño 02.	65
Figura 23. Ficha de coste de Inconel 718.	73
Figura 24. Tiempo de mecanizado de cada estrategia de diseño 01.	74
Figura 25. Tiempo de mecanizado de cada estrategia de diseño 02.	77
Figura 26. FICHA TÉCNICA. Material INCALLOY 718 ¡Error! Marcador no definido.	
Figura 27. FICHA TÉCNICA. Herramienta (VPX300-063A06AR) .. ¡Error! Marcador no definido.	

Figura 28 FICHA TÉCNICA. Herramienta (VPX200R2003SA20S) **¡Error! Marcador no definido.**

Figura 29 FICHA TÉCNICA. Herramienta (MSMHDD0400) ... **¡Error! Marcador no definido.**

Figura 30 FICHA TÉCNICA. Herramienta (VQ4SVBR0600) **¡Error! Marcador no definido.**

Figura 31 FICHA TÉCNICA. Herramienta (VQ4SVBR0300) 88

Figura 32 FICHA TÉCNICA. Plaquita (LOGU1207080PNER-M) 89

Figura 33 FICHA TÉCNICA. Plaquita (LOGU0904080PNER-M) 90

Figura 34 FICHA TÉCNICA. Porta Herramientas (KINTEK 216-7150..... **¡Error! Marcador no definido.**

ÍNDICE DE LAS TABLAS

Tabla 1 Aleaciones de níquel agrupadas según las características de mecanizado.....	23
Tabla 2 Aleaciones de níquel agrupadas según las características de mecanizado.....	26
Tabla 3 Estrategia de Operación Planeado.....	33
Tabla 4 Parámetros de geometría y de herramienta de Operación Planeado..	34
Tabla 5 Parámetros de velocidad de Operación Planeado.....	34
Tabla 6 Parámetros de macro de Operación Planeado.....	35
Tabla 7 Estrategia de Operación Escuadrado.....	37
Tabla 8 Parámetros de geometría y de herramienta de Operación Escuadrado.	37
Tabla 9 Estrategia y Parámetros de operación Cajera.....	40
Tabla 10 Parámetros comunes de mecanizado para la superficie convexa y cóncava.....	41
Tabla 11 Estrategias de mecanizado desbaste para la superficie convexa.....	42
Tabla 12 Parámetros de operación desbaste por barrido para la superficie convexa.....	43
Tabla 13 Estrategia de mecanizado desbaste para la superficie cóncava.....	44
Tabla 14 Estrategia de barrido para la superficie convexa.....	46
Tabla 15 Parámetros de operación barrido para la superficie convexa.....	46
Tabla 16 Estrategia de barrido para la superficie cóncava.....	47
Tabla 17 Estrategia de Acabado Avanzado para la superficie convexa.....	48
Tabla 18 Estrategia de Acabado Avanzado para la superficie cónica.....	49
Tabla 19 Estrategia de Operación Desbastado para diseño 02.....	52
Tabla 20 Estrategia de Operación desbastado por Barrido para diseño 02.....	54
Tabla 21 Estrategia de Operación Barrido para diseño 02.....	55
Tabla 22 Estrategia de Operación Fresado en espiral para diseño 02.....	57
Tabla 23 Estrategia de Operación Acabado Avanzado para diseño 02.....	59
Tabla 24 Estrategia de Operación Mecanizado Iso-paramétrico para diseño 02	60
Tabla 25. Herramienta de laboratorio.....	64
Tabla 26 Precio de Herramienta para diseño 01.....	75
Tabla 27 Precio de Herramienta para diseño 02.....	78
Tabla 28 Desglose del presupuesto.....	80

ÍNDICE DE LOS PLANOS

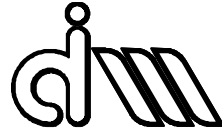
1.0 plano de diseño 01	1
2.0 plano de diseño 02.	2

ÍNDICE DE PLIEGO DE CONDICIONES

1.FICHA TÉCNICA. Material INCALLOY 718	83
2.FICHA TÉCNICA. Herramienta (VPX300-063A06AR).....	84
3.FICHA TÉCNICA.Herramienta(VPX200R2003SA20S)	85
4.FICHA TÉCNICA. Herramienta (MSMHDD0400)	86
5.FICHA TÉCNICA. Herramienta (VQ4SVBR0600).....	87
6.FICHA TÉCNICA. Herramienta (VQ4SVBR0300).....	88
7.FICHA TÉCNICA. Plaquita (LOGU1207080PNER-M).....	89
8.FICHA TÉCNICA. Plaquita (LOGU0904080PNER-M).....	90
9.FICHA TÉCNICA. Porta Herramientas (KINTEK 216-71508)	91

ÍNDICE DE ANEXO

1	ANEXO DEL CATÁLOGO	93
1.1.	FICHAS DE DISEÑO 01 (estudio previo, de la pieza aeroespacial).....	93
1.1.1	Facing.....	94
1.1.2	Profile Contouring.	98
1.1.3	Pocketing.	102
1.1.4	Sweeping 1. Sweeping 2(Desbaste).....	104
1.1.5	Sweeping 3. Sweeping 4(Acabado).....	106
1.2	FICHAS DE DISEÑO 02.....	107
2	ANEXO DE LA MÁQUINA	108
2.1.	LA MÁQUINA GENTIGER_GT_66V.....	108
2.1.1	LA MÁQUINA INDUSTRIAL.....	108
2.1.2	INFORMACIÓN FABRICANTE.....	111
2.1.3	ESPECIFICACION.....	112
3	ANEXO DEL MATERIAL.....	113



MÁSTER EN INGENIERÍA MECÁNICA

MEMORIA

Análisis y desarrollo de estrategias de mecanizado para súper aleaciones y materiales termo-resistentes para conformado de Superficies Complejas en entornos
3DEXPERIENCE

CAPÍTULO 1 INTRODUCCIÓN

1.1 ANTECEDENTES

Este Trabajo de Fin de Máster surge en la necesidad de uso de la superficie de forma libre en diversas aplicaciones de ingeniería. Las superficies de forma libre se fabrican principalmente mediante mecanizado CNC, especialmente CNC de 5 ejes mecanizado.

Diversas metodologías y herramientas informáticas se han desarrollado en el pasado para mejorar la eficiencia y la calidad del mecanizado de superficies de forma libre. Aquí nosotros centramos principalmente en tres aspectos en el mecanizado de superficie de forma libre: **generación de trayectorias de herramienta, identificación de orientación de herramienta y selección de geometría de herramienta.**

En cada aspecto ya tenían las principales metodologías de investigación desarrolladas en la última década. También vamos a discutir los problemas y las direcciones futuras de investigación.

1.2 OBJETIVOS DEL TRABAJO DE FIN DE MÁSTER

El objetivo global de este trabajo académico es desarrollar varias estrategias de mecanizado para unas piezas y finalmente encontrar una resolución más apropiado y económico. Para llegar a conseguir alcanzar el objetivo, se va a desarrollar un trabajo académico que consistirá en el diseño de dos piezas en la plataforma 3DEXPREIENCE, que es una plataforma de reciente creación que integra todos los programas desarrollados por Dassault (Catia, Enovia, Delmia y Simulia). También es una plataforma que permite gestionar los archivos asociado a los diseños, por eso para realizar el objetivo de este trabajo, también tenemos que aprender cómo utilizar esta plataforma para la realización del caso práctico. Con la realización de este trabajo se pretende comprender como la evolución de las distintas fases de diseño y acumular la experiencia en el trabajo de futuro.

En base a este objetivo final se establecen los siguientes objetivos parciales para poder alcanzarlo:

- Aprender la teoría básica de mecanizado CNC de las superficies de forma libre.
- Análisis las características de materiales de mecanizado y estudio de problemática de materiales de mecanizado
- Diseño de nueva pieza en la plataforma 3DEXPREIENCE y desarrolla el mecanizado en unas fases con distintas estrategias y haciendo el análisis de los resultados.
- Realizando el mecanizado real en el laboratorio, apunte el proceso y el resultado.
- Hace el presupuesto de este trabajo académico
- Finalmente, redacta y ordenado la memoria de este trabajo

1.3 ALCANCE

El alcance de este trabajo fin de master se basa en obtener el producto final de mecanizado, consiste en el desarrollo de todas las fases de diseño, elección de las herramientas, comprar los materiales, montaje de la mordaza, mecanizado de desbaste, mecanizado de acabado. Así como, es requisito indispensable para este trabajo académico y comparar las distintas estrategias de mecanizado. Por otra parte, es del alcance de este trabajo que el presente trabajo se desarrollen unas competencias con el rigor necesario en cuanto a utilizar una adecuada forma de presentación de resultados, una buena estrategia de mecanizado, obtener resultados coherentes y ser capaz de analizarlos, que caracteriza a la ingeniería de desarrollo de productos.

CAPÍTULO 2 MECANIZADO DE SUPERFICIES

2.1 INTRODUCCION

Las superficies de forma libre, también llamada superficies esculpidas, han sido ampliamente utilizado en industria aeroespacial, automóvil, productos de consumo e industria de moldes/matrices. Las superficies de forma libre generalmente están diseñadas para cumplir o mejorar un requisito estético y /o funcional. A menudo se definen como superficies que contienen una o más superficies no plano, no cuadrático generalmente representadas por modelos paramétricos.

Las máquinas de CNC de 3 y 5 ejes han sido las más utilizadas en mecanizado de superficies de forma libre. Cinco movimientos pueden ser continuamente y controlado simultáneamente en una máquina de 5 ejes. Movimiento de traslaciones en la dirección X, Y, Z y dos movimientos de rotación se aplican al portaherramientas o a la mesa de la máquina o a ambos. En comparación con las máquinas de 3 ejes, las máquinas de 5 ejes pueden producir superficies complejas con mejor calidad y eficiencia.

Las etapas para completar el mecanizado de superficie de forma libre generalmente se clasifican en rugoso, semi-acabado, acabado, limpieza y pulido final y tratamiento. En el corte áspero, la mayor parte del material se elimina de la superficie para generar una forma aproximada de la superficie. Los hombros abandonados de la etapa de desbaste por grandes herramientas de la máquina se eliminan en semi-acabado para producir una superficie de desviación continua para el acabado. En la etapa de finalización, la superficie rugosa se transforma en la forma exacta. Durante el mecanizado de limpieza, se eliminan los volúmenes sin cortar que no se han mecanizado en la etapa de acabado debido al uso de cortadores más grandes. Por lo tanto, las regiones de limpieza

son importantes en la reducción del tiempo de mecanizado de superficies complejas.

El concepto de tolerancia se usa para medir la calidad del mecanizado de superficies de forma libre, se debe considerar un límite superior y un límite inferior para una superficie de forma libre diseñada. El primero controla la altura máxima de festón mientras que el segundo corresponde a la excavación.

Las ranuras se clasifican en 3 tipos: ranuras locales, traseras y globales como se muestra en la Fig.1. Una ranura local ocurre cuando el radio de curvatura efectivo de la herramienta en el punto de contacto del cortador (CC) es mayor que el de la superficie. Una ranura trasera ocurre cuando la parte inferior de la herramienta interfiere con la superficie en los puntos que no sean el punto CC. El ranurado local y trasera ocurre en silla de montar y superficies cóncavas. La ranura global (o colisión) resulta de la interferencia entre la superficie de la pieza y las áreas no cortantes de la herramienta, como el eje de la herramienta o el portaherramientas. En la presencia de una ranura, las especificaciones de precisión y textura de la superficie no se cumplen y/o pueden producirse daños graves en la superficie de la pieza y en la herramienta de la máquina.

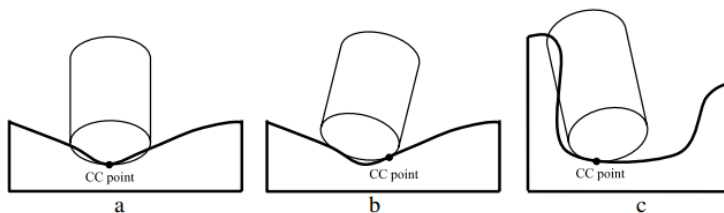


Fig. 1. Three types of gouging in 5-axis machining. (a) Local gouging. (b) Rear gouging. (c) Global gouging (collision).

Figura 1. Tipos de Mecanizado en 5 ejes (Fuente: [Lasemi, 2010]).

2.2 GENERACION DE TRAYECTORIA DE HERRAMIENTA

La planificación de la ruta de la herramienta es una tarea crítica en el mecanizado de superficies de forma libre. Se aplican restricciones específicas en la planificación de rutas para diferentes etapas de mecanizado para lograr el tiempo y la calidad óptimos. Un tamaño más pequeño de viera no significa necesariamente una mejor trayectoria de la herramienta, ya que se logra a costa

de un mayor tiempo de mecanizado. La planificación de la trayectoria de la herramienta se compone de 2 aspectos: topología de ruta y parámetros de ruta. El primero se define por el patrón en que el cortador se mueve para producir la superficie, y el último se modelada por el paso del lado de la herramienta entre los caminos sucesivos y el paso hacia delante de la herramienta en cada trayectoria. Por lo tanto, el problema de generación de trayectoria de herramienta se convertirá en los siguientes sub-problema: con una herramienta definida, (1) especifique el patrón de ruta y estrategia de vinculación, (2) especifique puntos en la superficie y, (3) comprobar la herramienta de interferencias locales y globales.

2.2.1 Topología y parámetros de trayectoria

Cada generación de la trayectoria de herramienta se lleva a cabo mediante la selección de topología y parámetros de trayectoria. Muchas investigaciones se han centrado en minimizar la longitud total del camino y el número de retracciones de la herramienta. Para el fresado de área de forma libre, las trayectorias paralelas de contorno y de dirección son las más utilizadas. Los caminos normales y paralelos de la cinta son adecuados para el mecanizado de área de limpieza.

En un camino paralelo a la dirección, los segmentos del camino son paralelos a una línea predefinida (figura 2 (a)). Esta línea podría ser paralela o normal al límite de la superficie o paralela al eje de un sistema de coordenadas especificado. Selección adecuada de la línea de referencia afecta directamente la longitud de la trayectoria generada. Un caso específico de camino paralelo a la dirección, camino en *zigzag*, se usa comúnmente en los sistemas comerciales de CAM para desbaste.

Una trayectoria paralela de contorno está construida por las curvas de límite de la superficie. Cada ruta es un desplazamiento del límite de la superficie. (figura 2 (b)).

La distancia entre puntos CC consecutivos se denomina paso adelante denotado por f en la Fig.2, la distancia entre 2 trayectos adyacentes se denomina intervalo de recorrido, indicado por w en la Fig.2.

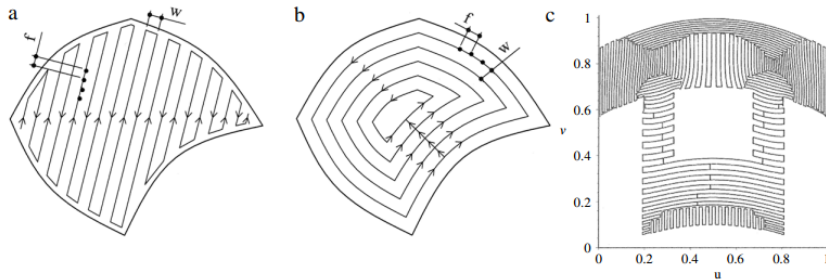


Fig. 2. Different path topologies. (a) Direction parallel. (b) Contour parallel. (c) Adaptive Curvilinear space filling curve [35].

Figura 2. Tipo de trayectorias en 5 ejes (Fuente: [Lasemi, 2010]).

A menudo se usan dos métodos para calcular los parámetros del paso directo: aproximación circular del arco y desviación cordal máxima. Aunque en la mayoría de los métodos de generación de trayectoria de herramienta, los segmentos de línea se utilizan para definir las longitudes de los pasos hacia delante, también se ha llevado a cabo la interpolación de las trayectorias de herramienta generadas con curvas polinomiales. Esto reducirá el tiempo de mecanizado cuando la trayectoria de la herramienta se transforma en movimiento del eje de la máquina por la unidad NC y disminuirá el tamaño de la memoria requerida dentro del controlador CNC.

2.2.2 Requisitos

En función de las discusiones anteriores, ahora seleccionamos la topología y los parámetros de la trayectoria de herramienta teniendo en cuenta la precisión y las limitaciones de tiempo. Por lo tanto, una trayectoria de herramienta generada se puede evaluar con los siguientes 3 criterios:

- **Calidad:** La trayectoria de la herramienta generada no deben tener ranurado y la altura de las crestas debe estar dentro de la tolerancia especificada. Estos requisitos están controlados por parámetros de trayectoria.
- **Eficiencia:** Se deben considerar dos tipos de medidas eficiencia, (1) eficiencia en la simulación basada en el uso de tiempo y la memoria de

la CPU, (2) eficiencia en el tiempo real de mecanizado. El sistema logra la eficiencia mediante la generación y simulación de diferentes topologías y parámetros de trayectoria e identificando la óptima.

- **Robustez:** Consideramos la robustez como una capacidad de adaptación con las diferentes superficies y máquina. Un sistema robusto debería ser capaz de funcionar con superficies de parches múltiples y sus condiciones de continuidad.

2.2.3 Métodos tradicionales

Tradicionalmente, se han utilizado métodos isoparamétricos e isoplanares para la generación de trayectoria de herramienta. Las trayectorias isoparamétricos han sido utilizado por *Loney* y *Ozsoy* (). En este método manteniendo constante uno de los dos parámetros, se generan puntos CC a lo largo del otro parámetro de una superficie paramétrica $S(u, v)$. El método isoparamétrico es popular para el mecanizado de superficies de forma libre, ya que los datos de la superficie se utilizan directamente en la generación de la trayectoria de la herramienta.

Una trayectoria de herramienta isoplana se desarrolla al intersecar la superficie con planos paralelos en el espacio cartesiano, el paso lateral se decide en función de la restricción de altura de la festoneada. Este método es muy robusto y ampliamente utilizado en sistemas comerciales de CAM. A diferencia del método isoparamétrico, el método isoplana se puede usar para superficies compuestas y recortadas y modelos de malla triangular.

2.2.4 Desarrollos recientes

Muchas nuevas técnicas de generación de trayectorias de herramientas se han desarrollado en los últimos años para resolver diferentes problemas en el manejo de 5 ejes. Algunos de los problemas típicos incluyen cómo reducir la simulación y el tiempo real de mecanizado, el mecanizado de superficies compuestas y superficies no paramétricas, técnicas innovadoras que reducen el mecanizado y el costo de inversión, etc. Nuestra clasificación se basa en un estudio extenso del gran cuerpo de literatura sobre técnicas de generación de trayectoria de herramienta, se incluyen los métodos en el siguiente:

- a) **Curvatura combinada de mecanizado:** El mecanizado por coincidencia de curvatura es una generación de trayectoria de herramienta y un método de posicionamiento de herramienta basado en la correspondencia de las curvaturas entre la herramienta de corte y la superficie de la pieza de trabajo en el punto de corte.
- b) **Métodos basados en curvas isofotas:** Las curvas isofotas (*isophotes*) son puntos en una superficie tienen las mismas intensidades de luz. Una isofota es una región en la superficie donde los vectores normales \vec{n} en todos los puntos de la región son iguales a un vector de referencia \vec{V} (usualmente el eje z) por una tolerancia predefinida llamada rango de inclinación (figura 3). En la partición de isofota, la superficie está segmentada en regiones que tienen más o menos la misma normalidad, y, por lo tanto, se requiere el mismo intervalo de trayectoria para mecanizar los puntos en la superficie. Este método se ha aplicado principalmente en el mecanizado de 3 ejes.

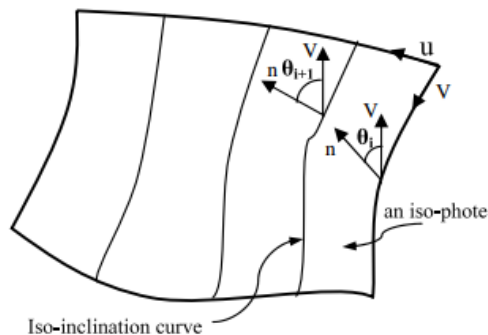


Figura 3. Isofotas en una superficie de forma libre (Fuente: [Lasemi, 2010]).

- c) **Métodos de espacio de configuración:** El espacio de configuración (espacio C) de un objeto rígido con un cierto grado de libertad se define como el espacio de los parámetros correspondientes a los grados de libertad. Cada punto en el espacio C presenta una configuración. Al considerar la

tolerancia de diseño y mapeando los obstáculos correspondientes a los ranurados locales y globales en el espacio-C, el problema de la planificación de la trayectoria de la herramienta se puede convertir en el problema de planear los movimientos de punto en el espacio-C.

- d) **Métodos para modelos poliédricos y nube de puntos:** Los modelos poliédricos se han utilizado populares en los sistemas CAD/CAM. Debido a la simplicidad para el intercambio de datos y el cálculo geométrico, se utilizan como modelos de representación para CAM y para la planificación de proceso. Estos modelos se crean a partir de una nube de puntos o una superficie paramétrica. Los modelos poliédricos facilitan la generación de trayectorias de herramientas para superficies con múltiples y gran cantidad de parches. La figura 4 muestra los diferentes modelos de entrada y el procedimiento para la generación de trayectoria de herramienta.

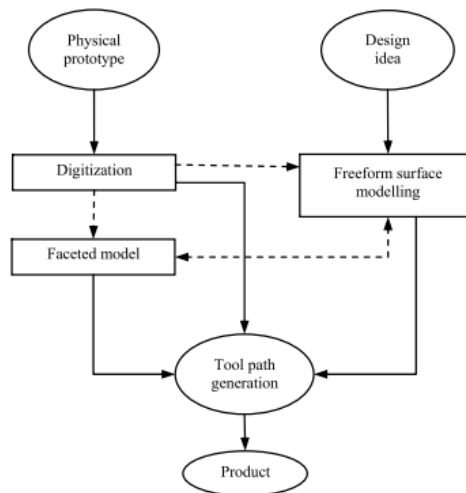


Figura 4. Posibles entradas de forma libre para la generación de trayectoria de herramienta (Fuente: [Lasemi, 2010]).

- e) **Generación de trayectoria de herramienta basada en región:**
Este método se basa en dividir la superficie de forma libre en regiones mediante la identificación de características significativas. Este proceso también se llama segmentación, subdivisión, partición o extracción de características.
- f) **Mecanizados de superficies compuestas:** Las superficies compuestas se usan en muchos productos debido a la complejidad de la forma requerida. Una superficie compuesta puede contener varios parches de superficie distintos, como parches de Coon, parches de superficie gobernados, parches Bézier o parches NURBS conectados con C^0 o una continuidad superior. Dependiendo de la situación, se aplica la estrategia de parche por parche o el enfoque de mecanizado de superficie completo para la generación de la trayectoria de la herramienta. El método de parche isoparamétrico por parche es útil cuando se requieren diferentes tolerancias para diferentes parches. Permite la selección de los parámetros óptimos para cada parche individual. El método isoplanar se puede aplicar para generar la trayectoria de la herramienta para toda la superficie. Comparado con el mecanizado de parche por parche, este método puede dar como resultado un camino más corto, pero lleva más tiempo resolver los conjuntos de ecuaciones no lineales para la intersección del plano.

2.3 IDENTIFICACION DE LA ORIENTACION DE LA HERRAMIENTA

En el mecanizado de 5 ejes, los ejes de la herramienta pueden tener dos movimientos de rotación además de tres movimientos de traslación. Estas rotaciones permiten el mecanizado está en el área donde son inaccesible para el mecanizado de 3 ejes. En comparación con el fresado de extremo esférico, mediante el uso de filete o fresa plana, se obtiene una mayor tasa de eliminación de material mientras que se requieren una velocidad de husillo inferior. Sin embargo, el problema de encontrar la orientación de herramienta óptima para el mecanizado de 5 ejes es mucho más complicado que los problemas típicos en el mecanizado de 3 ejes. La superficie debe estar libre de ranura mientras que

la tasa de eliminación de material es máxima, y la orientación debe cambiar suavemente en los sucesivos puntos CC (punto de contacto de cortador).

2.3.1 Requisitos

El objetivo principal en la identificación de la orientación de la herramienta es seleccionar los parámetros de orientación de cada punto, de modo que se pueda lograr el tiempo mínimo de mecanizado mientras la superficie generada esté libre de ranura y dentro de la tolerancia de superficie. Algunos métodos llevan a cabo una búsqueda exhaustiva del área de orientación (espacio C) para encontrar la orientación óptima libre de hendiduras que varía suavemente, mientras que los otros intentan cambiar gradualmente la orientación para encontrar la que sea factible. Ambos métodos tienen ventajas y limitaciones, vamos a discutir más adelante.

2.3.2 Métodos tradicionales

Tres métodos han sido ampliamente utilizados en la identificación de orientación de herramientas. El método inicial era considerar un ángulo de inclinación fijo (es decir, ángulo de Sturz) en el plano que contiene la dirección de alimentación y la superficie normal en el punto CC. El ángulo de inclinación se eligió entre $3^\circ \sim 10^\circ$. Este método obviamente puede mejorar la tasa de eliminación de material en comparación con el mecanizado de 3 ejes. Sin embargo, se requirió un proceso de prueba para encontrar los errores y luego seleccionar el ángulo óptimo. Ángulos más pequeños podrían ocasionar ranuras posteriores mientras que ángulos más grandes reducen la velocidad de eliminación de material.

El método de eje principal (*PAM, Principal Axis Method*) tomó prestado el concepto de mecanizado combinado de curvatura. Idealmente, la herramienta se inclina hacia la dirección de alimentación de modo que la curvatura efectiva mínima de la herramienta sea igual a la curvatura efectiva máxima de la superficie en el punto CC. Sin embargo, esto puede ser imposible en la práctica porque la dirección de corte en el mecanizado (iso-scallop) no puede ser siempre en la dirección de la curvatura mínima principal de la superficie. Además, para evitar las ranuras posteriores y globales en el mecanizado de 5 ejes, el ángulo de inclinación ω es posible no mantenerse siempre igual a cero en cada punto CC. Sin embargo, hay que tener en cuenta que el PAM solo evita

el ranurado trasero al inclinar la herramienta gradualmente fuera de la situación ideal, por lo que este método es adecuado para área abierta de forma libre.

Otro método llamado mecanizado multipunto (**MPM**) busca el segundo punto CC mientras mantiene la herramienta en contacto en el primer punto CC. Estos dos puntos son aproximadamente simétricos con respecto a la dirección de la curvatura superficial mínima. Esto da como resultado una mayor velocidad de eliminación de material y una forma de festón controlable. MPM no ha sido popular debido a la complejidad matemática en la búsqueda del segundo punto CC y la posibilidad de no converja a una solución.

2.3.3 Desarrollados recientes

Para la optimización de la orientación de la herramienta, muchas investigaciones recientes se centran en una mejora de la eficiencia computacional para encontrar una orientación libre de ranura, mientras que muchas otras trabajan en la mejora de la calidad y eficiencia del mecanizado. La clasificación de estos métodos de aquí se basa en sus características y algoritmos para lograr los objetivos requeridos.

- a) **Métodos de orientación de herramientas basadas en espacio-C:** En la identificación de la orientación de la herramienta, el espacio-C será la inclinación de la herramienta y las áreas de parámetros de inclinación excluyendo las orientaciones propensas a la formación de ranuras. (figura 5). El enfoque de muestreo y la resolución de los parámetros de rotación para el muestreo son críticos para la eficiencia y precisión del cálculo del espacio-C. después de la construcción del espacio-C, la selección de los ángulos de inclinación más pequeños, así como los cambios mínimos de orientación en sucesivos puntos CC, pueden ser objetivos del proceso de optimización. Como el resultado, la solución óptima se encuentra cerca de las fronteras del espacio-C.

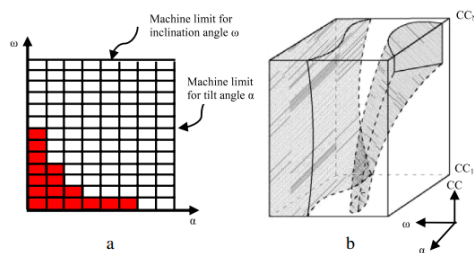


Figura 5. C-espacio para los parámetros de orientación. (a) espacio de orientación 2-D discreto (el área blanca muestra un espacio de orientación seguro). (b) 3D C-espacio para una trayectoria de la herramienta (Fuente: [Lasemi, 2010]).

- b) RBM y AIM:** El método de la bola del balanceo (RBM, Roll Balanced Method) y el método de la intersección (AIM, Intersection Method) son dos técnicas potentes de la orientación de herramienta que pueden evitar ranura local y trasero. La ranura local se evita por el concepto de coincidencia de curvatura. RBM tiene en cuenta la curvatura aproximada de la superficie que cerca del punto CC. Las trayectorias de herramienta generadas están libres de ranuras traseros. Una esfera del balanceo se construye basó en las características de la superficie bajo sombra arbitraria de la herramienta. Esta sombra, denominada área de control de sombra, se divide en cuadrícula de puntos concéntricos y el pseudo radio de curvatura se calcula en cada punto de la cuadrícula bajo la sombra de la herramienta, como se muestra en la figura 6. El cálculo del pseudo radio de curvatura es similar al cálculo de un plano osculante para un punto sobre curvas 3D. La herramienta debe colocarse en las esferas construidas por el radio más cóncavo de curvatura, de forma que se haga una línea circular de contacto con la esfera.

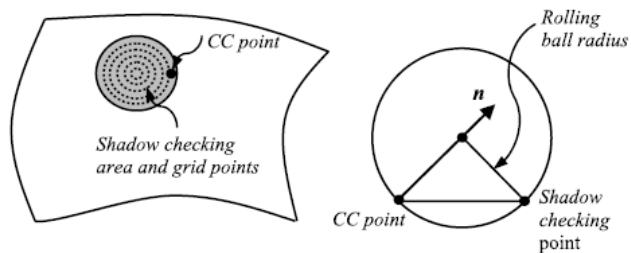


Figura 6. Área de control de sombra y pseudo radio de curvatura para un punto de cuadrícula (Fuente: [Lasemi, 2010]).

La RBM sólo requiere la superficie normal en el punto CC y las posiciones de los puntos de la cuadrícula. Sin embargo, la ecuación de la superficie es necesaria para calcular el área de la cuadrícula de sombra y los puntos.

Este problema fue abordado por la RBM asistida por gráficos, donde se usó hardware gráfico del ordenador para mejorar el cómputo de la orientación de la herramienta para los modelos de poliedros. El área de control de sombras debajo de la herramienta es de gran tamaño, lo que puede dar como resultado ángulos de inclinación más grandes requeridos y sobre el cómputo.

- c) **Aislado de orientación de herramientas:** los cambios dramáticos en la orientación de la herramienta de punto a punto pueden aumentar el tiempo de mecanizado y disminuir su calidad por dejar macas de herramientas en la superficie de mecanizado. Como resultado, recientemente las investigaciones se han centrado en el desarrollo de métodos para la una orientación de la herramienta que varía sin problema. Jue et al. Desarrollaron un método de alisado orientado a la herramienta minimizando la distancia C entre las orientaciones sucesivas de la herramienta.

- d) **Otros métodos:** Hosseninkhani et al (REF), desarrollaron el método penetration elimination (PEM) para evitar ranura trasera. Similar como RBM y AIM, el PEM es solamente aplicable a las áreas libres de cara abierta de colisión.

2.4 SELECCIÓN DE GEOMETRÍA DE HERRAMIENTA

El objetivo principal de la selección de la geometría de la herramienta en el mecanizado de 5 ejes es reducir el coste de mecanizado. El coste de mecanizado es determinado por el tiempo de trabajar la máquina u el coste de la herramienta. Lee y los demás demostraron que la mejor manera de minimizar el tiempo de mecanizado es elegir la mayor herramienta posibles junto con el mínimo de número de cambios de la herramienta. También se debe satisfacer una serie de restricciones geométricas. La superficie debe estar libre de ranura y dentro de los límites de las tolerancias asignadas. La herramienta de corte debe seleccionarse para diferentes etapas de mecanizado, es decir, desbaste, semi-acabado, acabado y limpieza. Debe tener en cuenta que la asignación adecuada de las regiones de limpieza mediante la selección de herramienta más grandes durante el proceso de acabado y luego la limpieza de las áreas fileteadas

afiladas puede ser una buena estrategia para reducir el tiempo total de mecanizado.

La geometría de la herramienta se define mediante tamaño de parámetros y tipo de herramienta. La selección del tipo de herramienta depende mucho de la geometría de la superficie y de la experiencia del planificador. Se han utilizado métodos heurísticos para la identificación del tipo de herramienta. Generalmente las fresas (bola, plano, y filete fresas) son los más utilizados en el mecanizado de 5 ejes de las superficies de forma libres. Lee YS ha proporcionado las descripciones matemáticas y la intersección con la superficie del objeto para tres tipos de fresas. En la figura 7 se muestra una herramienta con forma genérica basada en la descripción APT. Los tres tipos de fresas son casos especiales de la herramienta genérica. La selección del tamaño de la herramienta incluye la selección de diferentes parámetros de la herramienta que se muestra en la figura 7.

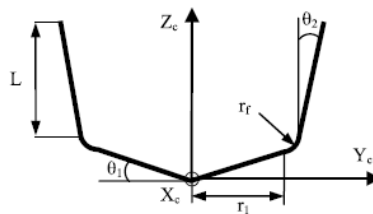


Figura 7. Forma generalizada del cortador basada en la definición APT (Fuente: [Lasemi, 2010]).

2.4.1 Desarrollados recientes

2.4.1.1 Selección de herramientas para la etapa de desbaste

En la etapa de desbaste, el exceso de material debe ser retirado lo más rápido posible. Los métodos de selección de herramientas para el mecanizado de 3 y 5 ejes son similares. Un método común para desbastar superficies de forma libre es el enfoque de mecanizado de capa por capa (figura 8). Los cambios en la herramienta se producen en los planos de corte mientras la pieza se mecaniza en cada plano de capa.

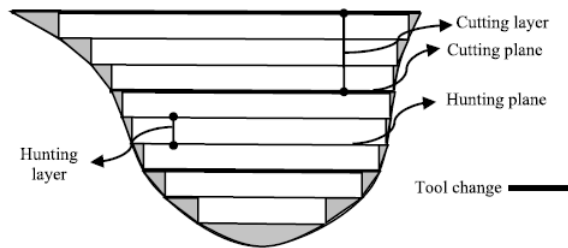


Figura 8. Mecanizado Layer-by-layer para Roughing (Fuente: [Lasemi, 2010]).

2.4.1.2 Selección de herramientas para la etapa de acabado

A igual que el desbaste, el objetivo principal para la etapa de acabado es minimizar el tiempo de mecanizado. Sin embargo, la superficie debe estar libre de ranura y dentro de límites de tolerancia. En el mecanizado de 5 ejes, la selección de corte está estrechamente relacionada con la orientación de la herramienta, la topología de la trayectoria de la herramienta y los parámetros de trayectoria de la herramienta. El problema se puede afirmar de la siguiente manera:

Dado un conjunto de herramienta de corte, seleccione el mejor conjunto cortador/cortador que puede atravesar toda la superficie en el tiempo mínimo sin causar los tres tipos de calibradores y dentro de las tolerancias.

Esta formulación requiere la optimización de la orientación de la herramienta, la trayectoria de la herramienta y la geometría de la herramienta al mismo tiempo. La mayoría de los métodos actuales eviten el modelado de este problema y asumen que la herramienta ha sido seleccionada antes de la generación de la trayectoria de herramienta. para el mecanizado de 3 ejes, no se considerará una gran parte del problema, es decir, la optimización de la herramienta. En este caso, la selección de la herramienta es básicamente calcular el radio mínimo de curvatura para la superficie y emparejar la herramienta más grande posible con eso. Sin embargo, en el mecanizado de 5 ejes debido a los parámetros de orientación son variables, es posibles seleccionar una herramienta con un radio más grande que el radio más pequeño de curvatura de la superficie.

2.4.1.3 Selección de herramientas para etapas de semiacabado y limpieza

Los métodos de lápiz-corte y corte de filete se utilizan para el mecanizado de limpieza. Se han realizado pocas obras sobre la selección de fresas de limpieza y semiacabados apropiadas. En el método de Ren et al, el área de limpieza ha sido aproximada por una forma de V para generar una trayectoria de herramienta por el método de lápiz-corte. Entonces el número y el tamaño de la bola de fresas para limpiar las áreas fileteadas afiladas se calculan considerando los cortadores virtuales intermedios que se extiende de la herramienta de acaba a la herramienta de la limpieza. Para el semi-acabado, la selección del cortador se debe basar en las restricciones geométricas y el grueso de los hombros dejados del proceso de desbaste.

2.5 CONCLUSIONES

En este capítulo se ha realizado una revisión de las cuestiones fundamentales y de los nuevos desarrollos en el mecanizado CNC de las superficies de forma libre. Se han considerado tres problemas principales, la trayectoria de la herramienta, la orientación de la herramienta y la geometría de la herramienta. Numerosas investigaciones en las últimas dos décadas han dado lugar a mejoras significativas en estos aspectos. Entre las diferentes medidas de la evolución, la calidad y la eficiencia del mecanizado se utilizan principalmente para estudiar y comparar estos diferentes métodos desarrollados.

- En la generación de trayectoria de herramienta, las trayectorias de la herramienta iso-festón junto con el método que empareja de la curvatura han mejorado perceptiblemente la calidad superficial y reducido el tiempo de mecanizado. También se han observado muchos logros en el mecanizado de superficies de poliedros, nubes de puntos y superficies compuestas. También se han estudiado diversas técnicas de segmentación de superficies, como el método de partición isofota, que conduce a un menor tiempo de mecanizado y un coste de inversión reducido.
- El desarrollo de técnicas óptimas de orientación de la herramienta para el mecanizado de 5 ejes ha mejorado significativamente la productividad y la calidad de mecanizado. Los métodos para la identificación de la orientación de la herramienta se centran en

mejorar la eficiencia computacional de los métodos existentes o en el desarrollo de nuevos métodos. El alisado de orientación de la herramienta es importante para lograr una alta calidad de mecanizado de superficies libres.

- Los métodos de selección de herramientas para el mecanizado de superficies de forma libre Se han desarrollado para las etapas de desbaste, semi-acabado, limpieza y acabado. Una de las cuestiones críticas es la selección de la secuencia óptima de la herramienta para la fase de desbaste en el mecanizado de capas por capas. Para el mecanizado de 5 ejes, la selección de herramientas para la etapa de acabado está estrechamente relacionada con la orientación de la herramienta, la topología de la trayectoria de la herramienta y los parámetros de trazado. La mayoría de los métodos desarrollados combinan diferentes técnicas con el principio de coincidencia de curvatura para identificar el mayor cortador posible para el acabado de un área libre.

CAPÍTULO 3 MECANIZADO DE MATERIALES TERMO ENDURECIDOS

3.1 ANÁLISIS DE ESTRATEGIAS DE MECANIZADO DE MATERIALES INDUSTRIALES.

3.1.1 Introducción.

INCOLOY y INCONEL son dos marcas de *Special Metals Corporation* que representan una familia de superaleaciones austeníticas de base principalmente en níquel. En comparación con otros materiales, la característica más significativa de las aleaciones de níquel es que suelen ser mucho más resistentes a altas temperaturas de corte del metal. En consecuencia, las máquinas potentes y rígidas proporcionan los mejores resultados y a menudo son esenciales para un mecanizado exitoso. En corolario de estos requisitos de propiedad y máquina, se seleccionan las herramientas para que pueda minimizar las fuerzas de corte, para tenga la máxima resistencia de borde y para resistir las temperaturas de corte más altas posibles. Además de una apreciación de las propiedades básicas de las aleaciones de níquel, para el mecanizado exitoso es importante comprender los principios básicos que entra en el mecanizado en relación con la aleación en particular, y el método de mecanizado o herramienta que se emplea. Por ejemplo, las herramientas que son óptimas para la condición recocida pueden no ser la mejor opción para el material endurecido.

3.1.2 Aleaciones de níquel y maquinabilidad

Las aleaciones de níquel se utilizan principalmente en aplicaciones que involucran propiedades eléctricas o que requieren buena resistencia a la corrosión o alta resistencia y resistencia a la oxidación a temperaturas elevadas. Existe una gran cantidad de aleaciones para satisfacer estas aplicaciones exigentes, pero todas tienen algunas propiedades en común que afectan su mecanizado. Todos ellos tienen una estructura austenítica que imparte propiedades de alta ductilidad y endurecimiento al trabajo, produciendo un comportamiento de mecanizado gomoso similar a los aceros inoxidable austeníticos. Además, las aleaciones diseñadas para aplicaciones a alta temperatura permanecen fuertes a las temperaturas de formación de viruta durante el mecanizado, y la conductividad térmica es mucho menor que la del acero y otros materiales. Las aleaciones de níquel endurecidos también contienen partículas abrasivas de titanio y aluminio. Son estos factores que influyen las aleaciones de níquel sean más difíciles de mecanizar que el acero, y hay que comprender el grado que afectan cada aleación por estos factores, que es la clave para su mecanizado exitoso. Las aleaciones de níquel se clasifican en diferentes categorías según su comportamiento relativo de mecanizado como se muestra en la **¡Error! No se encuentra el origen de la referencia.**

Análisis y Desarrollo de Estrategias de Mecanizado de Superficies Complejas

Group	Group Characteristic	Alloy	UNS #	Ni	Cu	Fe	Cr	Mo	Co	Al	Ti	Nb	Other	
A	Alloys containing essentially nickel for caustic alkali chemical and electrical applications. Lowest strength and work hardening of the nickel alloys. Exhibits gummy behaviour in the annealed condition; hardenable only by cold working which provides the best condition for machining.	Alloy 200	N02200	99.6									C 0.08	
		Alloy 201	N02201	99.6										C 0.01
		Alloy 205	N02205	99.6										Mg 0.04, C 0.04
		Alloy 212		97.0										Mn 2.0, C 0.05
		Alloy 222		99.5										Mg 0.075
B	Nickel-copper and nickel-iron alloys for sulfuric acid and corrosion, and electrical applications. Have higher strength work hardened than Group A alloys. Most alloys cannot be hardened by heat treatment and best machining is obtained in cold-drawn or cold-drawn and stress-relieved conditions.	Alloy 400	N04400	66.5	31.5									
		Alloy 401	N04401	42.5	55.5	0.3								Mn 1.6
		Alloy 450	C71500	30.0	68.0	0.7								Mn 0.7
		Alloy 36	K93600	36.0		64.0								
		Alloy K	K94610	29.5		53.0				17.0				
		Alloy MS 250		19.0		76.0		3.0				1.4		
C	Mainly nickel-chromium and nickel-iron-chromium alloys for acid and high temperature corrosion applications. Similar in mechanical properties to austenitic stainless steels except for greater high temperature strength. These alloys are best machined in the cold-drawn or cold-drawn and stress-relieved conditions,	Alloy 600	N06600	76.0		8.0	15.5							
		Alloy 690	N06690	61.0		9.0	29.0							
		Alloy 601	N06601	60.5		14.0	23.0			1.4				
		Alloy 825	N08825	42.0	2.2	30.0	21.5	3.0				1.0		
		Alloy DS		37.0		41.0	18.0							
		Alloy 330	N08330	35.5		44.0	18.5							
		Alloy 20	N08020	35.0	3.5	37.0	20.0	2.5					0.6	
		Alloy 800	N08800	32.5		46.0	21.0							
		Alloy 800HT	N08811	32.5		46.0	21.0				Al+Ti 1.0			
		Alloy 802	N08802	32.5		46.0	21.0							
		Alloy 270	N02270	99.98										
		Alloy K-500 (unaged)	N05500	65.5	29.5	1.0					2.7	0.6		C 0.05 C 0.08 C 0.4 C 0.01
		Alloy 75	N06075	80.0		19.5								
		Alloy 86		64.0		25.0	10.0							Ce 0.03
D-1	This group consists of a limited number of age-hardened alloys in the solution annealed condition. These alloys are relatively easily machined.	Alloy 301	N03301	94.0						4.4	0.6			
		Alloy 925	N09925	42.0	2.2	32.0	21.0	3.0			0.3	2.1		
		Alloy 902	N09902	42.5		49.0	5.3				0.5	2.4		
D-2	This group consists of Group D-1 alloys in the age-hardened condition, most other age-hardenable alloys in both the solution annealed and hardened conditions, and some highly solution strengthened alloys. They contain strong solution strengtheners and hard abrasive precipitates which make machining difficult. These alloys should be rough machined in the solution annealed condition and then finish machined after aging. A size contraction up to about 0.07% takes place upon aging which must be allowed for in rough machining.	Alloy 301 (aged)		94.0						4.4	0.6			
		Alloy K-500 (aged)	N05500	65.5	29.5	1.0					0.3	2.7	0.6	
		Alloy 902 (aged)	N09902	42.5		49.0	5.3				0.5	2.4		
		Alloy 81		67.0		30.0					0.9	1.8		
		Alloy G-3	N06985	44.0	2.0	19.5	22.0	7.0	2.5				0.3	W .05
		Alloy HX	N06002	47.5		18.5	218	9.0	1.5					
		Alloy 625	N06625	61.0		2.5	21.5	9.0						3.6
		Alloy 925 (aged)	N09925	42.0	2.2	32.0	21.0	3.0			0.3	2.1		
		Alloy 716	N07716	57.5		19.2	8.2					1.4	3.4	
		Alloy 725	N07725	57.0		9.0	20.8	8.2				1.4	3.4	
		Alloy MA 754	N07754	77.5		1.0	20.0				0.3	0.5		Y 0.06
		Alloy 80A	N07080	76.0		19.5					1.4	2.4		
		Alloy 718	N07718	54.0		18.5	18.0	3.0					5.1	
		Alloy PE11		39.0		34.0	18.0	5.2			0.8	2.3		
		Alloy 706	N09706	42.0		36.5	16.0					1.8	3.1	
		Alloy PE16		43.5		16.5	3.3				1.2	1.2		
		Alloy C-276	N10276	57.0		5.5	15.5	16.0	1.2					W 3.8, Mn 0.5
		Alloy 751	N07751	73.0		7.0	15.5				1.1	2.5	1.0	
		Alloy X-750	N07750	73.0		7.0	15.5				0.7	2.5	1.0	
		Alloy 901	N09901	42.5		34.0	12.5	5.8				2.9		
		Alloy 617	N06617	52.0		1.5	22.0	9.0	12.5	1.2				
		Alloy 263	N07263	51.0		36.0	20.0	5.8	20.0	0.5	2.2			
		Alloy 105		54.0		15.0	5.0	20.0	20.0	4.7	1.3			
Alloy 90	N07090	60.0		19.0		16.5	1.5	2.5						
Alloy PK50		58.0		19.5	4.25	13.5	1.4	3.0						
Alloy 115		60.0		14.2	3.2	13.2	4.9	3.8						
Alloy B-2	N10665	66.0		1.0	0.5	27.5		0.1	0.1			Si 0.05		
Alloy 903	N19903	38.0		41.5			15.0	0.9	1.4	3.0				
Alloy 907	N19907	38.4		42.0			13.0	0.0	1.5	4.7		Si 0.15		
Alloy 909	N19909	38.4		42.0			13.0	0.0	1.5	4.7		Si 0.4		
E	A special Alloy 400 designed to be free machining for high production on automatic screw machines.	Alloy R-405		66.5	31.5	1.2							Mn 1.1, S 0.04	

Tabla 1 Aleaciones de níquel agrupadas según las características de mecanizado.

Un conjunto diferente de condiciones de mecanizado es aplicable a cada categoría, y el primer paso para un mecanizado exitoso es el programador/maquinista identifique la categoría aplicable para la aleación a mecanizar. La Tabla I contiene una lista de las aleaciones de níquel comunes y la condición metalúrgica para algunas aleaciones.

3.2 Estudio de la problemática de mecanizado de materiales termo endurecidos y súper aleaciones a nivel industrial.

3.2.1 Endurecimiento de la superficie de trabajo

Evitar el endurecimiento superficial es fundamental para el mecanizado exitoso de todas las aleaciones de níquel. Cuando el metal que está delante de la herramienta de corte, especialmente uno que está cortando mal y se produce deformación plástica, se ocurre el endurecimiento del trabajo. Esta capa endurecida es muy difícil de penetrar en pasos posteriores o en la siguiente operación. Las técnicas que minimizan el endurecimiento del trabajo incluyen el uso de filos de corte afilados, ángulos de inclinación positivos, ángulos de separación adecuados, evitación de parada y máquinas y configuraciones con suficiente potencia y rigidez para mantener la vibración al mínimo. La velocidad de avance y la profundidad de corte deben configurarse de manera que en los siguientes pasos el corte se realice debajo de la capa endurecida previamente.

3.2.2 Elección de herramientas de corte

La elección del material de la herramienta de corte debe ser coherente con la operación de mecanizado, la aleación de níquel específica y su condición metalúrgica. Debido a la alta resistencia y endurecimiento del trabajo de las aleaciones de níquel, las brocas de tamaño pequeño, los taladros, los escariados y las herramientas de ranurado, o las operaciones que involucran cortes interrumpidos generalmente requieren herramientas de alta velocidad elegidas sobre la base de la dureza. Estas herramientas deben funcionar a velocidades bastantes bajas, pero a menudo son la única opción disponible con herramientas pequeñas. Cuando la operación permite herramientas más grandes, el carburo

proporciona una buena opción para el torneado y algunas operaciones de fresado y perforación. La selección de un grado de carburo razonablemente fuerte utilizado junto con un ángulo de desprendimiento positivo generalmente dará buenos resultados en el torneado, siempre que la potencia de la máquina y la rigidez de la instalación sean adecuadas. Los nuevos materiales cerámicos tienen un lugar en convertir las más difíciles aleaciones de níquel del grupo C y D de Tabla I. Funcionan muy bien y pueden proporcionar altas tasas de eliminación de metal siempre que se utilicen en máquinas muy potentes y rígidas. Las aleaciones más blandas del grupo A y B (de Tabla I) se prestan más a las herramientas de carburo en las operaciones de desbaste interrumpidas, para fresar las aleaciones más duras y para el acabado general, las herramientas HSS con filo cortante a menudo dan los mejores resultados.

3.2.3 Torneado, taladro y ranurado

Las aleaciones de níquel se pueden torneear con la mayoría de los materiales de herramientas de corte convencionales, pero el programador/maquinista debe saber que la productividad y la economía dependerán en gran medida de la optimización de la máquina, la herramienta y los parámetros de corte. La Tabla II proporciona sugerencia de velocidad y alimentación para los diversos grupos de aleación y los diversos materiales de la herramienta de corte (**¡Error! No se encuentra el origen de la referencia.**).

Alloy	Condition	Operation	High Speed (T15,M33,etc.)				Carbide				Other					
			Speed		Feed		Speed		Feed		Grade	Speed		Feed		Grade
			sfm	m/min	ipr	mm/rev	sfm	m/min	ipr	mm/rev		sfm	m/min	ipr	mm/rev	
Group A (Nickel)	Annealed (HRB 45)	Finishing	60	18	0.008	0.21										
		Roughing	50	15	0.030	0.76										
Group A (Nickel)	Cold Drawn (HRB 95)	Finishing	200	61	0.004	0.10						385	117	0.008	0.20	Cast Alloy
		Roughing	170	52	0.008	0.20										
Group B (Nickel/Copper)	Annealed (HRB 65)	Finishing	70	21	0.008	0.20	325	99	0.008	0.20	C-6, 7 C-2, 3					
		Roughing	60	18	0.030	0.76	275	84	0.020	0.51	C-5, 6 C-1, 2					
Group B (Nickel/Copper)	Cold Drawn (HRB 100)	Finishing	100	30	0.005	0.13	400	122	0.040	1.02	C-5, 6, 7 C-3, 4	175	53	0.008	0.20	Cast Alloy
		Roughing	90	27	0.010	0.25	350	107	0.008	0.20	C-2, 5, 6	1100	335	0.006	0.15	Ceramic
Group C (Nickel-Cr & Ni-Cr-Fe)	Annealed (HRB 75)	Finishing	35	10	0.008	0.20	225	69	0.008	0.20	C-6 C-2, 3	700	213	0.006	0.15	Ceramic
		Roughing	25	8	0.030	0.76	175	53	0.020	0.51	C-6 C-1, 2	800	244	0.008	0.20	Ceramic
Group C (Nickel-Cr & Ni-Cr-Fe)	Cold Drawn (HRC 30)	Finishing	60	18	0.005	0.13	425	130	0.004	0.10	C-2	125	38	0.008	0.20	Cast Alloy
		Roughing	50	15	0.010	0.25	375	114	0.008	0.20	C-2	600	183	0.006	0.15	Ceramic
Group D-1 Age Hardenable (unaged)	Annealed (HRB 80)	Finishing	50	15	0.008	0.20	250	76	0.006	0.02	C-7					
		Roughing	40	12	0.030	0.76	200	61	0.020	0.51	C-6					
Group D-1 Age Hardenable	Cold Drawn (HRC 35)	Finishing	70	21	0.005	0.13	300	91	0.006	0.02	C-7	125	38	0.008	0.20	Cast Alloy
		Roughing	60	18	0.010	0.25	250	76	0.010	0.25	C-6					
Group D-2 Age Hardenable	Annealed (HRB 85)	Finishing	20	6	0.005	0.13	130	40	0.005	0.13	C-2	600-1600	183-488	0.006	0.15	Ceramic
		Roughing	15	5	0.010	0.25	75	23	0.008	0.20	C-2	250-1000	76-305	0.010	0.25	Ceramic
Group D-2 Age Hardenable	Cold Drawn (HRC 45)	Finishing	18	5	0.004	0.10	110	34	0.005	0.13	C-2	400-1300	122-396	0.004	0.10	Ceramic
		Roughing	12	4	0.008	0.20	70	21	0.007	0.18	C-2	300-700	91-213	0.008	0.20	Ceramic
Group E Free Machining	Annealed (HRB 65)	Finishing	80	24	0.008	0.20	325	99	0.006	0.02	C-6					
		Roughing	70	21	0.030	0.76	275	84	0.020	0.51	C-6					
Group E Free Machining	Cold Drawn (HRB 100)	Finishing	130	40	0.005	0.13	400	122	0.004	0.10	C-7	200	61	0.008	0.20	Cast Alloy
		Roughing	120	37	0.010	0.25	350	107	0.008	0.20	C-7					

Tabla 2 Aleaciones de níquel agrupadas según las características de mecanizado.

Debido a su limitación de velocidad de corte relativamente baja, las herramientas HSS solo deben considerar cuando se requieren una alta tenacidad, como en el caso de cortes interrumpidos, o cuando se requiere un acabado superficial muy fino. Las herramientas HSS pueden proporcionar una productividad razonable cuando se usan con las aleaciones más blandas del grupo A y grupo B, pero es severamente limitado cuando se trabaja con aleaciones de níquel en el periodo endurecida.

3.3 Conclusiones

En este capítulo hemos conocido los materiales superaleaciones de níquel en el industrial, la característica más significativa de las aleaciones de níquel es que suelen ser mucho más resistentes que los otros materiales a altas temperaturas de corte del metal. Estas superaleaciones de níquel tienen una estructura austenítica que imparte propiedades de alta ductilidad y endurecimiento. Clasificamos las aleaciones de níquel en diferentes categorías según su comportamiento relativo de mecanizado, en cuanto a seleccionar la herramienta de corte, Las aleaciones más blandas del grupo A y B se prestan más a las herramientas de carburo en las operaciones de desbaste interrumpidas, para fresar las aleaciones más duras y para el acabado general, las herramientas HSS con filo cortante a menudo dan los mejores resultados. Los nuevos materiales cerámicos tienen un lugar en convertir las más difíciles aleaciones de níquel del grupo C y D. finalmente, en el mecanizado debe tener en cuenta que las sugerencias de velocidad y alimentación para los diversos grupos de aleación y los diversos materiales de la herramienta de corte.

CAPÍTULO 4 ESTRATEGIAS DE MECANIZADO

4.1 Introducción a las estrategias de mecanizado de superficies en CAM

Para poder analizar distintas DELMIA es la solución de fabricación y producción digital de la plataforma Dassault Systèmes 3DEXPERIENCE que optimiza los sistemas y procesos de producción. Los productos y soluciones de DELMIA para las comunidades de fabricación impulsan la innovación en la fabricación definiendo, planificando, creando, supervisando y controlando prácticamente todos los procesos de producción.

4.1.1 Estudio previo. Caso de Estudio 1.

Es una pieza de aeroespacial y como se muestra en la **¡Error! No se encuentra el origen de la referencia..** Por su geometría es adecuado hacer una serie de operaciones las que necesitamos a realizar, en concreto contiene: planeado, escuadrado, cajeras, superficie desbaste y superficie acabado. En nuestro caso concentramos las estrategias en la operación superficie desbaste y acabado. El dimensionamiento de bruto que utilizamos a mecanizar la pieza es: 120 ×60×30 (longitud × anchura × altura)



Figura 9. Bruto inicial.

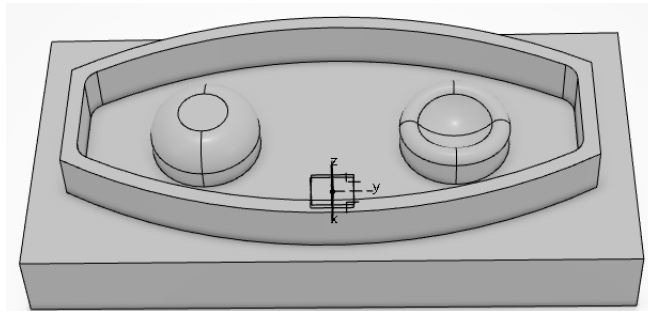


Figura 10. Diseño pieza experimental diseño 01.

4.1.2 Montaje virtual

La ilustración siguiente incluye la máquina, la mesa de trabajo, la mordaza y la pieza ensamblaje.

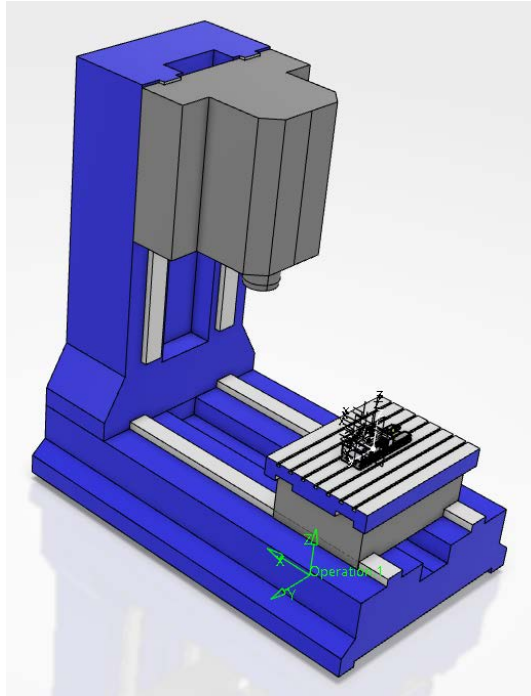


Figura 11. Montaje del conjunto en 3DEXPERIENCE.

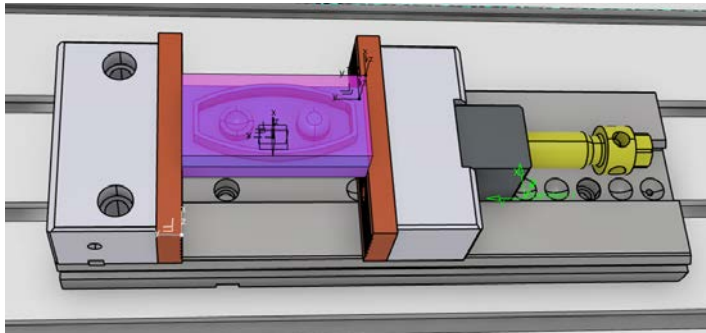


Figura 12. Montaje de diseño 01 en la mordaza.

4.1.3 Secuencia de Operaciones.

4.1.3.1 Planeado

Los parámetros de planeado que definimos según el catálogo de MITSUBISHI compilamos en el **ANEXO**, allí también incluye las razones de las elecciones. Aquí hacemos un resumen de cada paso de los parámetros que introducimos en 3DEXPERIENCE-DELMIA mecanizado de fresado.

Estilo de trayectoria de herramienta: Seleccionamos helicoidal interno ya que tiene menor tiempo de mecanizado, el tiempo es 186,7 segundo

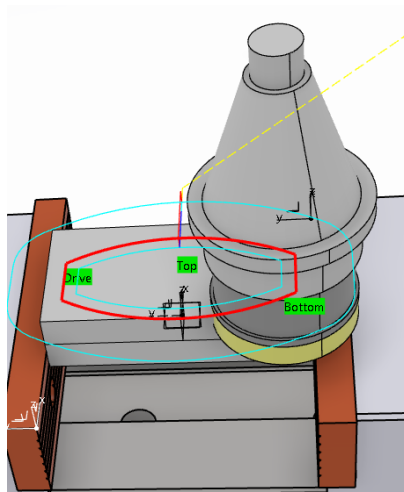


Figura 13. Trayectoria de la herramienta en el planeado

Machining	Direction of cut:	Conventional	?
	Machining tolerance:	0,1mm	?
	Fixture accuracy:	0,1mm	?
	Type of contour:	Optimized	?
	Compensation :	1	

Radial	Mode: <input type="text" value="Maximum distance"/> ? Distance between paths: <input type="text" value="31,5mm"/> ? Percentage of tool diameter: <input type="text" value="50"/> ? End of path: <input type="text" value="In"/> ? Overhang: <input type="text" value="90"/> ? Tool side approach clearance: <input type="text" value="0mm"/> ?
Axial	Mode: <input type="text" value="Maximum depth of cut"/> ? Maximum depth of cut: <input type="text" value="6mm"/> ? Number of levels: <input type="text" value="1"/> ?
Finishing	Mode: <input type="text" value="Finish bottom only"/> ? Bottom finish thickness: <input type="text" value="0mm"/> ?
HSM y Polar Mode	No modifica nada

Tabla 3 Estrategia de Operación Planeado.

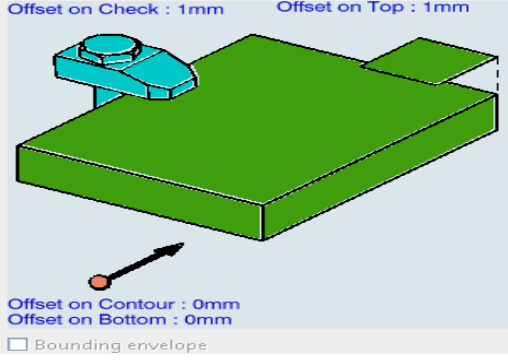
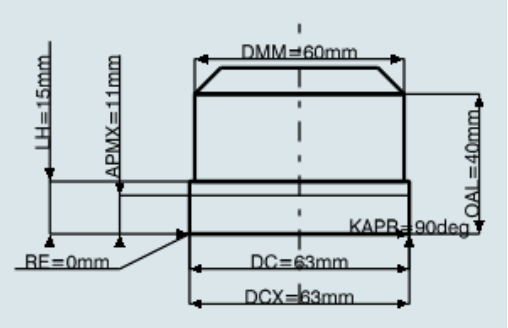
<p>Parámetros de geometría</p>	
<p>Parámetros de la herramienta (VPX300-063A06AR)</p>	

Tabla 4 Parámetros de geometría y de herramienta de Operación Planeado.

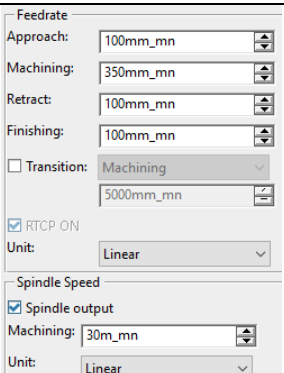
<p>Avance y parámetro de husillo</p>	
--------------------------------------	---

Tabla 5 Parámetros de velocidad de Operación Planeado

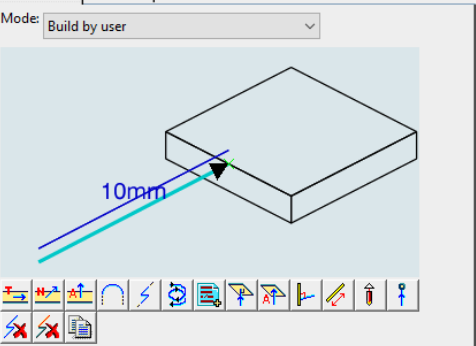
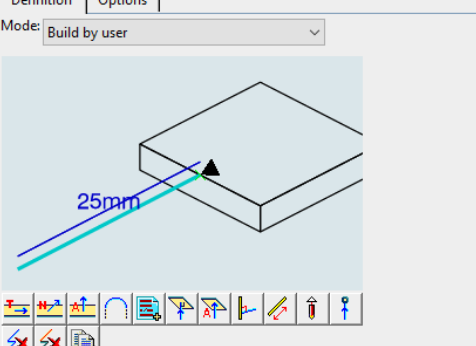
<p>Parámetro macro</p>	<p>Approach</p>	 <p>Definition Options Mode: Build by user</p>
	<p>Retract</p>	 <p>Definition Options Mode: Build by user</p>

Tabla 6 Parámetros de macro de Operación Planeado.

4.1.3.2 Escuadrado

Para el mismo número de rutas y la misma distancia entre las rutas, la secuencia de mecanizado con radial primero tiene un tiempo de mecanizado un poco menor que con axial primero en nuestro caso. Y el estilo de trayectoria de herramienta utilizamos *One way* debido a la misma razón. El tiempo en este paso es 144,9 segundo.

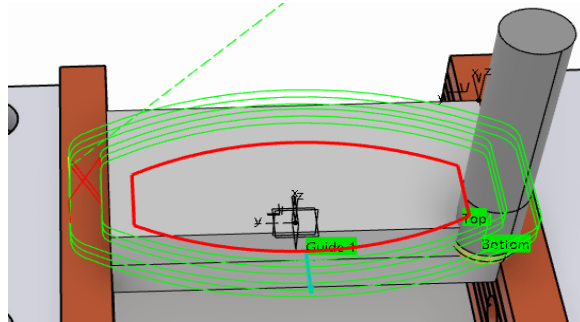


Figura 14. Trayectoria de la herramienta en el escuadrado.

Los parámetros con detalles que definimos en 3DEXPERIENCE se muestra en el siguiente:

Parámetros de estrategia	
Machining	Direction of cut: Conventional ? Machining tolerance: 0,1mm ? Fixture accuracy: 0,1mm ? Type of contour: Optimized ? <input checked="" type="checkbox"/> Close tool path ? <input type="checkbox"/> Tool position ON guide Percentage overlap: 50 ? Compensation output: None Compensation : 1 Compensation application mode: Output point ?
Stepover	Sequencing: Radial first ? <input type="checkbox"/> Side Step First - Radial Strategy (Dr) Mode: Step Over Ratio Percentage of tool diameter: 95 ? Distance between paths: 10mm ? Number of paths: 2 ? Overhang for rework areas: 50 ? - Axial Strategy (Da) Mode: Maximum depth of cut ? Maximum depth of cut: 5mm Number of levels: 3 ? Maximum ramping angle: 10deg Automatic draft angle: 0deg ? Breakthrough: 0mm ? Smoothing tool path along Tool Axis (%): 0 ?

Finishing	Mode: No finish pass ? Side finish thickness: 0mm ? Bottom thickness on side finish: 0mm ? Side thickness on bottom: 0mm ? Bottom finish thickness: 0,2mm ? Bottom Finish path style: Zig-Zag ? <input type="checkbox"/> Spring pass
	HSM y Polar Mode: No modifica nada

Tabla 7 Estrategia de Operación Escuadrado.

Parámetros de geometría	<p>Offset on Top : 1mm Top : Soft Limit 2 : In Limit 1 : In Offset on Check : 5mm Bottom : Hard Offset on Soft Boundary : 0mm Offset on Contour : 0mm Offset on Bottom : 0mm</p>
Parámetros de la herramienta (VPX200R2003SA20S)	<p>DMM=20mm OAL=100mm LH=30mm APMX=8mm RE=5mm D=20mm DCX=20mm</p>
Avance y parámetro de husillo	Lo mismo que el planeado
Parámetro macro	Approach: Activa
	Retract: Activa

Tabla 8 Parámetros de geometría y de herramienta de Operación Escuadrado.

4.1.3.3 Cajera

Según la geometría de la pieza 1, entre la columna y el contorno de la curva tiene un límite que el diámetro de La herramienta debe inferior que 4mm, según el catálogo, seleccionamos una fresa cuadrada, que es **MSMHDD0400**, el estilo de trayectoria de herramienta utilizamos *outward helical* ya que es lo más habitual y también tiene un tiempo de mecanizado adecuado. El tiempo en este paso es 158,2 segundo.

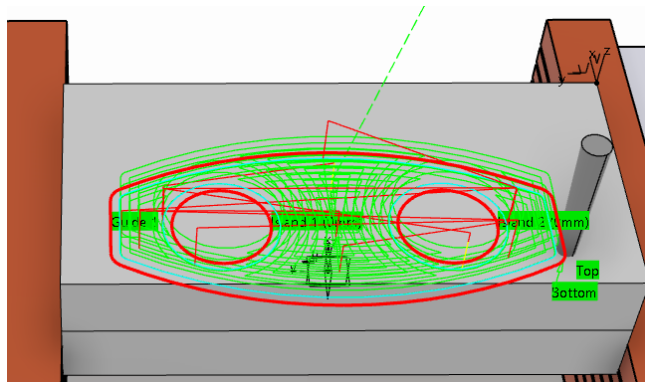


Figura 15. Trayectoria de la herramienta en la cajera.

Los parámetros con detalles que definimos en 3DEXPERIENCE se muestra en el siguiente:

Parámetros de estrategia	
Machining	Direction of cut: <input type="text" value="Conventional"/> ? Machining tolerance: <input type="text" value="0,1mm"/> ? Fixture accuracy: <input type="text" value="0,1mm"/> ? <input type="checkbox"/> Limit machining area with fixture Compensation output: <input type="text" value="None"/> ? Compensation : <input type="text" value="1"/> ?
Radial	Mode: <input type="text" value="Maximum distance"/> ? Distance between paths: <input type="text" value="2mm"/> ? Percentage of tool diameter: <input type="text" value="50"/> ? Overhang: <input type="text" value="100"/> ? <input type="checkbox"/> Avoid scallops on all levels <input type="checkbox"/> Truncated transition paths ? <input type="checkbox"/> Contouring pass ? Contouring ratio: <input type="text" value="10"/> ? Pocket Navigation <input type="checkbox"/> Always stay on bottom ?
Axial	Mode: <input type="text" value="Maximum depth of cut"/> ? Maximum depth of cut: <input type="text" value="4mm"/> ? Number of levels: <input type="text" value="3"/> ? Automatic draft angle: <input type="text" value="0deg"/> ? Breakthrough: <input type="text" value="0mm"/> ? Maximum ramping angle: <input type="text" value="0deg"/> ?
Finishing	Mode: <input type="text" value="Side finish last level"/> ? Side finish thickness: <input type="text" value="0,2mm"/> ? Nb of side finish paths by level: <input type="text" value="1"/> ? Bottom thickness on side finish: <input type="text" value="0,2mm"/> ? Side thickness on bottom: <input type="text" value="0mm"/> ? Bottom finish thickness: <input type="text" value="0,2mm"/> ? <input type="checkbox"/> Spring pass <input type="checkbox"/> Avoid scallops on bottom Compensation output: <input type="text" value="None"/> ?
HSM Polar Mode	y No modifica nada

Tabla 9. Estrategia y Parámetros de operación Cajera.

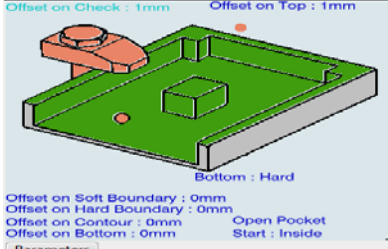
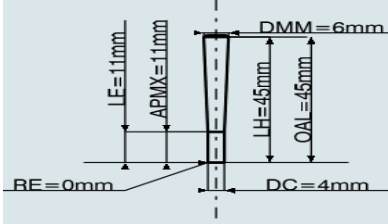
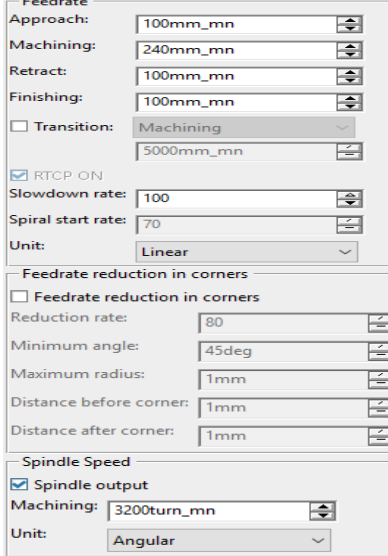
<p>Parámetros de geometría</p>		
<p>Parámetros de la herramienta (MSMHDD0400)</p>		
<p>Avance y parámetro de husillo</p>		
<p>Parámetro macro</p>	<p>Approach</p>	<p>Activa</p>
	<p>Retract</p>	<p>Activa</p>

Tabla 9 Estrategia y Parámetros de operación Cajera.

4.1.3.4 Desbaste de Superficie

En este paso tenemos que cambiar el tipo de la herramienta, la que utilizamos es *Ball Mill VQ4SVBR0600*. Ya que primero es un paso desbaste, seleccionamos esta herramienta con mayor diámetro, luego en acabado utilizaremos el mismo tipo de herramienta, pero con menor diámetro para que tenga una mejor tolerancia. Además, existen muchas operaciones distintas para mecanizar las superficies, es decir tiene varias estrategias, aquí enfocamos a comparar estos dos métodos: *Sweeping roughing*, *Sweeping*.










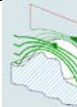
4.1.3.4.1 Desbaste por barrido.

Primero vamos a utilizar el método desbaste por barrido (***Sweeping roughing***) para mecanizar la superficie convexa y la superficie cónica, es que se utiliza la misma herramienta estas dos operaciones, tiene unos parámetros comunes son iguales para los tres métodos que vamos a utilizarlo y se muestran en la tabla siguiente.

Velocidad de corte(m/min)	Revolución (min ⁻¹)	Avance(mm/min)	Profundidad corte ap(mm) (Axial)	Avance pf(mm) (Radial)
64	1700	350	0,6	1,2

Tabla 10 Parámetros comunes de mecanizado para la superficie convexa y cóncava.

Aquí hacemos un resumen de las estrategias aplicada para la superficie convexa.

	1			2			3		
tipo de desbaste	ZOffset			ZPlane			ZProgressive		
tipo de trayectoria de la herramienta	Zig-zag	One-way next	One-way same	Zig-zag	One-way next	One-way same	Zig-zag	One-way next	One-way same
									
Tiempo (s)	58,2	242,1	248,7	69	279,4	285,9	283,9	936,4	955,6

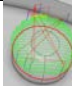
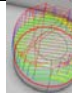
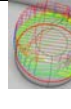
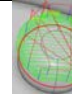
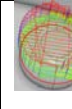
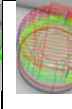
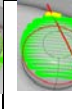
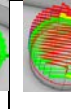
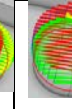
Trayectorias de la herramienta									
---------------------------------------	---	---	---	---	---	---	---	--	---

Tabla 11 Estrategias de mecanizado desbaste para la superficie convexa.

Conclusión.

En este caso mejor utilizamos Zoffset con tipo de trayectoria de la herramienta Zigzag ya que tiene el menor tiempo de mecanizado que las otras combinaciones.

Los parámetros de operaciones que introducimos en 3DEXPERIENCE para esta operación se muestra en la siguiente:


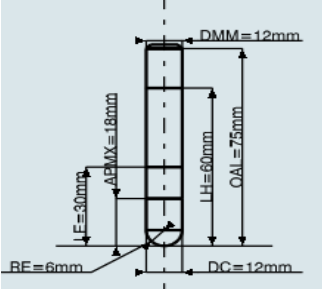
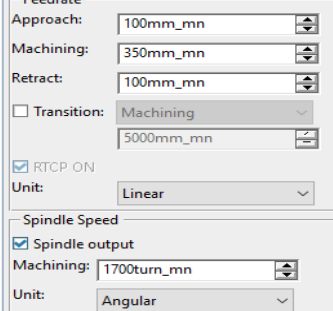
<p>Estrategia Desbaste por barrido (Sweeping roughing) Dejamos 1 mm de offset para luego podrá hacer el acabado</p>		
<p>Parámetros de la herramienta VQ4SVBR0600</p>		
<p>Avance y revoluciones de husillo</p>		
<p>Parámetro macro</p>	<p>Approach</p>	<p>Activa</p>
	<p>Retract</p>	<p>Activa</p>

Tabla 12 Parámetros de operación desbaste por barrido para la superficie convexa.

Luego con el mismo proceso vamos a hacer el mecanizado desbaste para la superficie cóncava.



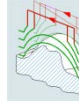

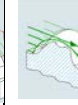

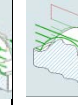
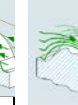
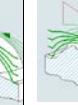
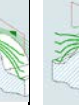









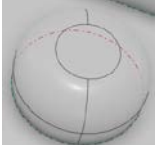


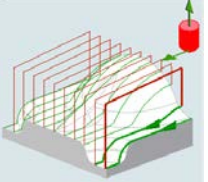
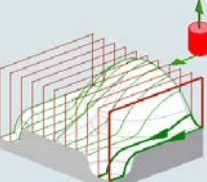
	1			2			3		
tipo de desbaste	ZOffset			ZPlane			ZProgressive		
tipo de trayectoria de la herramienta	Zig-zag	One-way next	One-way same	Zig-zag	One-way next	One-way same	Zig-zag	One-way next	One-way same
									
Tiempo (s)	88,1	287,8	293,2	90,4	306,2	312	156,8	568,7	579,6
Trayectorias de la herramienta									

Tabla 13 Estrategia de mecanizado desbaste para la superficie cóncava

Conclusión: La mejor opción también es Zoffset con tipo de trayectoria de la herramienta Zig-zag, Las informaciones restas que introducimos en 3DEXPERIENCE es igual que el cilindro sobresale.

4.1.3.4.2 Barrido

El segundo método es de barrido (**Sweeping**) y aunque existen unas variables distintas con el método Sweeping roughing, se puede modificar el modelo de avance y la profundidad de corte, en concreto tiene: número de niveles y profundidad máxima de corte, número de niveles y profundidad total, profundidad de corte máxima y profundidad total, etc. Ahora vamos a hacer la comparación con el mismo proceso que antes. Primero hacemos un resumen del mecanizado del cilindro con superficie convexa.

	1	2	3
tipo de trayectoria de la herramienta	Zig-zag	One-way next	One-way same
			
Radial (Stepover) no influye No influye el tiempo de mecanizado	Stepover: <input type="text" value="Constant"/> ? Max. distance between pass: <input type="text" value="1,2mm"/> ? Min. distance between pass: <input type="text" value="1,2mm"/> ? Scallop height: <input type="text" value="0,25mm"/> ? Stepover side: <input type="text" value="Left"/> ?		
Axial	Multi-pass: <input type="text" value="Number of levels and Maximum cut dept"/> ? Number of levels: <input type="text" value="11"/> ? Maximum cut depth: <input type="text" value="0,6mm"/> ? Total depth: <input type="text" value="6mm"/> ?		
Zone	all		
Island y HSM	No modifica nada		
Tiempo (s)	235,6	456,7	472,4

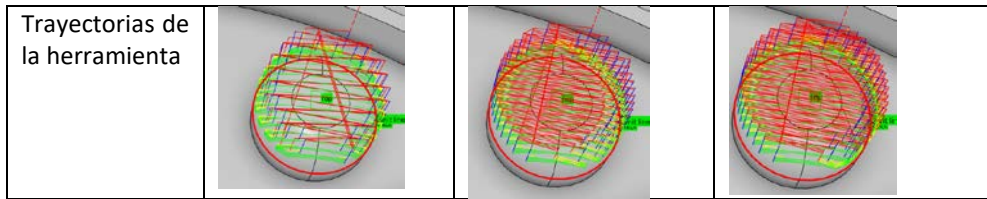


Tabla 14 Estrategia de barrido para la superficie convexa.

Según el catálogo ya sabemos la profundidad de corte máxima, también conocemos la altura vertical de la bola y de la cavidad, por eso seleccionamos *Maximum cut depth and total depth*.

Conclusión:

Según la tabla de resumen podemos saber el tiempo de *One-way next* y *One-way same* es aproximadamente dos veces del tiempo de *Zig-zag*. Por eso seleccionamos el tipo de trayectoria de la herramienta con *Zig-zag*.

Los parámetros de operaciones que introducimos en 3DEXPERIENCE para esta operación se muestra en la siguiente:

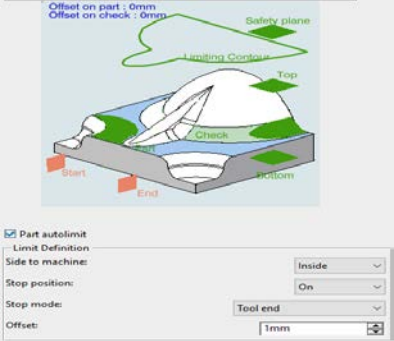
Estrategia Barrido (Sweeping, dejamos 1 mm de offset para luego podrá hacer el acabado)		
Parámetros de la herramienta (VQ4SVBR0600)	Igual que el método anterior	
Avance y parámetro de husillo	Igual que el método anterior	
Parámetro macro	Approach	Activa
	Retract	Activa

Tabla 15 Parámetros de operación barrido para la superficie convexa.

Ahora seguimos hacer el resumen de la superficie cóncava.



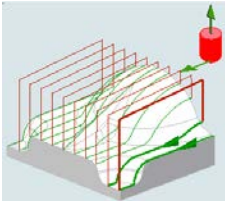
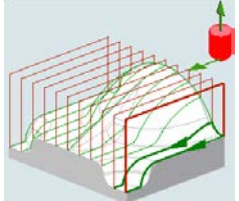
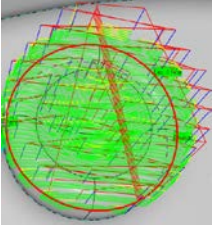
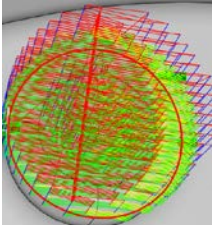
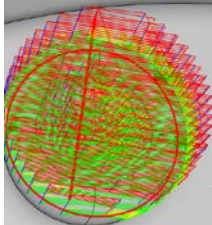
	1	2	3
tipo de trayectoria de la herramienta	Zig-zag	One-way next	One-way same
			
Radial (Stepover) no influye	No influye el tiempo de mecanizado		
Axial	según el catalogo ya sabemos la profundidad de corte máxima, también conocemos la altura vertical de la bola y de la cavidad, por eso seleccionamos Maximum cut depth and total depth		
Zone	all		
Island y HSM	No modifica nada		
tiempo (segundo)	256,3	571,1	585,3
Trayectorias de la herramienta			

Tabla 16 Estrategia de barrido para la superficie cóncava.

Conclusión

La trayectoria con Zig-zag es la mejor opción.

4.1.3.5 Superficie Acabado

Es el mismo proceso que el desbaste, solo que ahora utilizamos un mismo tipo de herramienta, pero con menor diámetro (VQ4SVBR0300, su radio es 3mm) y además quitamos 1 mm de offset lo que dejamos anteriormente. En este paso utilizamos el método Acabado Avanzado (*Advanced Finishing*) y los parámetros con detalles se muestra en la siguiente tabla. En primer lugar hacemos el acabado en la superficie convexa, las estrategias se muestran en la tabla siguiente:

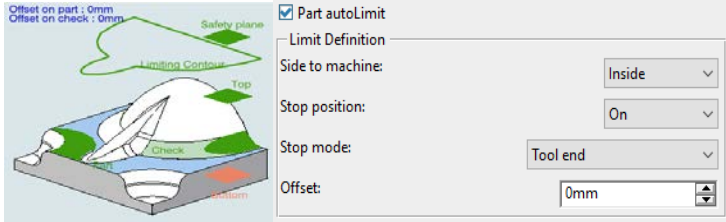
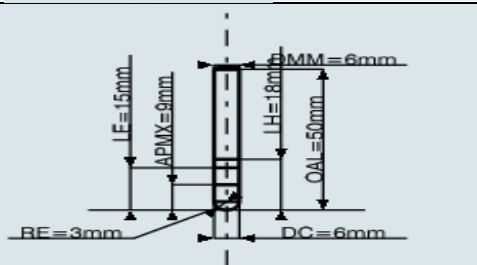
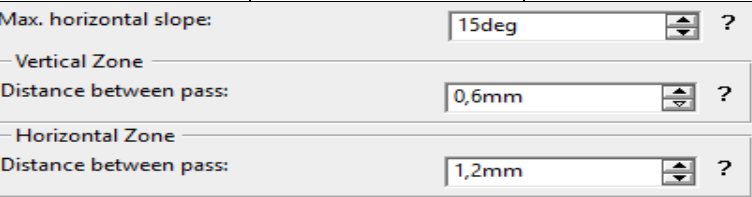
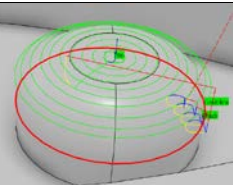
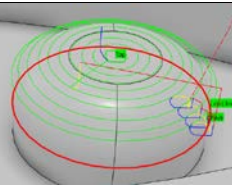
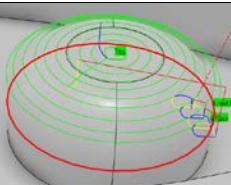
<p>Estrategia Acabado Avanzado (Advanced Finishing)</p>			
<p>Parámetro de herramienta</p>			
<p>Modo de corte</p>	<p>Conventional</p>	<p>Climb</p>	<p>Either</p>
<p>Zone</p>			
<p>tiempo (segundo)</p>	<p>24,7</p>	<p>24,7</p>	<p>24,7</p>
<p>Trayectorias de la herramienta</p>			

Tabla 17 Estrategia de Acabado Avanzado para la superficie convexa.

Conclusión

Con estos tres tipos de modo de corte se salen el mismo tiempo de mecanizado, por eso podemos seleccionar cualquier tipo dentro de estos tres tipos.

El paso siguiente repetimos la operación en la superficie cónica y las estrategias se muestran en la tabla siguiente:

Estrategia Acabado Avanzado (Advanced Finishing)			
Parámetro de herramienta	Igual que el acabado de la superficie convexa		
Modo de corte	Conventional	Climb	Either
Zone			
tiempo (segundo)	44	44	44
Trayectorias de la herramienta			

Tabla 18 Estrategia de Acabado Avanzado para la superficie cónica.

Conclusión

Estos tres tipos de modo de corte tienen el mismo tiempo de mecanizado, por eso podemos seleccionar cualquier tipo dentro de estos tres tipos.

4.1.4 Análisis de Estrategias. Caso de Estudio 2.

Es que nuestro objetivo es realizar mecanizado de superficies, vamos a diseñar una pieza que incluya varias superficies, pero no demasiado complicada. Al final el objeto se muestra en 3DEXPERIENCE como el siguiente:

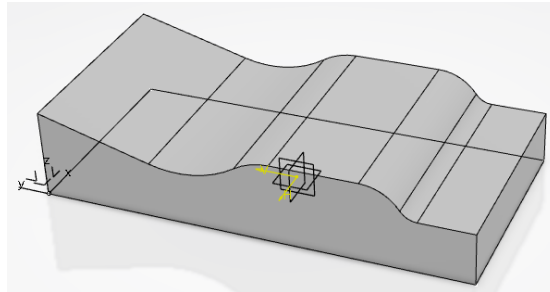


Figura 16 Diseño pieza experimental diseño 02.

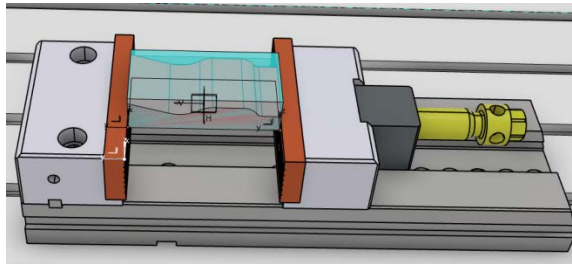


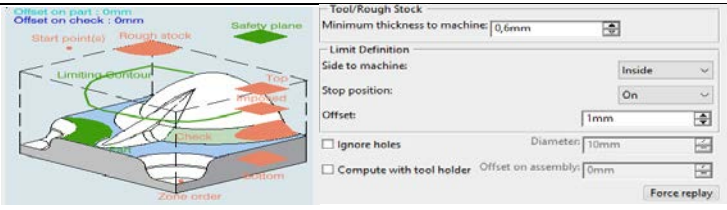
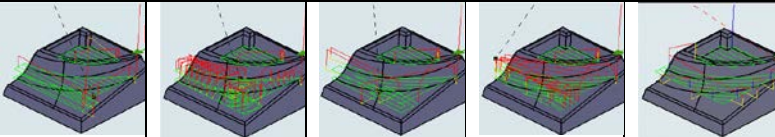
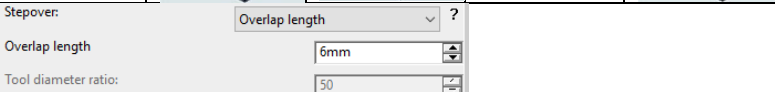
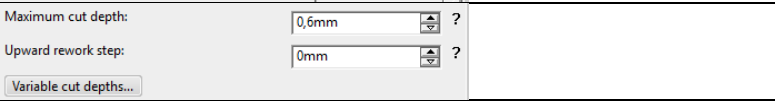
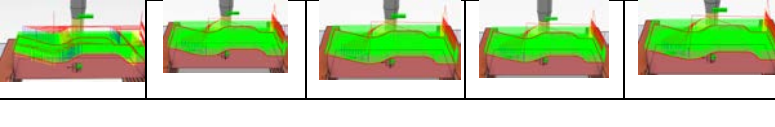
Figura 17 Montaje de diseño 02 en la mordaza

Ahora vamos a utilizar más métodos con más estrategias para hacer la simulación de mecanizado de esta pieza, y luego hacer la comparación y obtener una mejor estrategia. Para esta pieza la herramienta que vamos a utilizar es una fresa de punta esférica de diámetro 12 mm (código Mitsubishi VQ4SVBR0600) y se explica la razón en el anexo, es la misma herramienta que habíamos utilizado en el mecanizado de la pieza 01 y el avance y parámetro de husillo también es igual que antes (*Sweeping roughing* de diseño 01).

4.1.4.1 Desbaste de superficie.

4.1.4.1.1 Desbastado

Primero vamos a mecanizar el método Desbastado (*Roughing*). En el paso de desbaste dejamos 1 mm de offset en cada método lo que vamos a utilizar.

<p>Estrategia de Operación Desbastado (<i>Roughing</i>)</p>										
<p>Tipo de trayectoria de herramienta</p>	<p>Back and forth</p>	<p>Concentric</p>	<p>Helical</p>	<p>Offset on part One-Way</p>	<p>Offset on part Zig-Zag</p>					
<p>Distinto estilo en el bolsillo</p>	<p style="text-align: center;">Back and forth</p>									
										
<p>Radial</p>										
<p>Axial</p>										
<p>Zone/Bottom /HSM/Output</p>	<p style="text-align: center;">No modifica nada</p>									
<p>Tiempo(sec)</p>	<p>1436,7</p>	<p>1482</p>	<p>1482</p>	<p>1482</p>	<p>1482</p>					
<p>Trayectoria de herramienta</p>										
<p>Tipo de trayectoria de herramienta</p>	<p>Back and forth</p>	<p>Concentric</p>	<p>Helical</p>	<p>Offset on part One-Way</p>	<p>Offset on part Zig-Zag</p>					
<p>Distinto estilo en el bolsillo</p>	<p style="text-align: center;">Concentric</p>									
<p>Movimiento concéntrico</p>	<p>One - Way</p>	<p>Zig-Zag</p>	<p>One - Way</p>	<p>Zig-Zag</p>	<p>One - Way</p>	<p>Zig-Zag</p>	<p>One - Way</p>	<p>Zig-Zag</p>	<p>One - Way</p>	<p>Zig-Zag</p>
















Tiempo	3973	2464	3973	2464	3793	2464	3793	2464	3793	2464
Trayectoria de herramienta										
Tipo de trayectoria de herramienta	Back and forth	Concentric	Helical	Offset on part One-Way	Offset on part Zig-Zag					
Distinto estilo en el bolsillo	Helical									
Movimiento helicoidal	Aquí tiene tres opciones: <i>inward</i> , <i>Outward</i> , <i>Both</i> . en este caso estas tres opciones no influyen el tiempo de mecanizado									
Tiempo(sec)	1193	1193	1349,6	1193	1193					
Trayectoria de herramienta										

Tabla 19 Estrategia de Operación Desbastado para diseño 02

Conclusiones:

- 1) Es obvio que Concéntrico en el bolsillo sea inconveniente en el mecanizado, ya que podemos ver que en la trayectoria de herramienta muchas rutas son inútiles, y al final se cuesta un motón de tiempo.
- 2) Debido a que el material de bruto es aleaciones termos-resistentes, tiene un límite de avance(1,2mm) y profundidad de corte(0,6mm), las trayectorias de la herramienta son compacto y numeroso.
- 3) Cuando en el bolsillo se utiliza *Back and forth*, la trayectoria de la herramienta con *Back and forth* tiene menor tiempo en el mecanizado, y los restos 4 tipo de trayectoria de herramienta tienen el mismo tiempo de mecanizado.
- 4) Cuando en el bolsillo se utiliza *Concentric*, los 5 tipos de trayectoria de herramienta tienen el mismo tiempo de mecanizado cuando el movimiento concéntrico es One-Way o Zig-Zag, sin embargo, el movimiento concéntrico con Zig-Zag es más rápido que One-Way.
- 5) Cuando en el bolsillo se utiliza *Helical*, la trayectoria de la herramienta con *Helical* tiene mayor tiempo de mecanizado. Los restos 4 tipo de trayectoria

de herramienta con helical en el bolsillo tienen el mismo tiempo de mecanizado.

- 6) Con el método *Roughing* en el desbaste, la combinación de Back and forth con Back and forth en el bolsillo es lo más económico dentro de todas las combinaciones.

4.1.4.1.2 Desbastado por Barrido

El segundo método que vamos a utilizar es desbastado por Barrido (Sweep roughing)

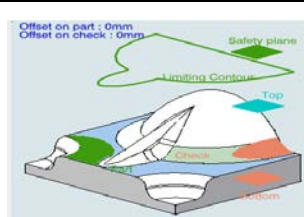
Estrategia de Operación Desbastado por Barrido										<input checked="" type="checkbox"/> Part autoLimit Limit Definition Side to machine: Inside Stop position: On Stop mode: Tool end Offset: 1mm
tipo de desbaste	ZOffset			ZPlane			ZProgressive			
Tipo de trayectoria de la herramienta	Zig-zag	One-way next	One-way same	Zig-zag	One-way next	One-way same	Zig-zag	One-way next	One-way same	
Radial	Max. distance between pass: 1,2mm Stepper side: Left									
Axial	Maximum cut depth: 0,6mm									
tiempo (s)	2321,5	5381	5445,7	2321	5479,5	5546	8921	13234	13321	
Trayectorias herramienta										

Tabla 20 Estrategia de Operación desbastado por Barrido para diseño 02

Conclusiones:

- 1) El tipo de desbaste *ZOffset* y *ZPlane* con *Zig-zag* tienen el menor tiempo de mecanizado.
- 2) Debido a que el material de bruto es aleaciones termos-resistentes, tiene un límite de avance(1,2mm) y profundidad de corte(0,6mm), las trayectorias de la herramienta son compacto y numeroso.
- 3) En comparación con el método anterior, la mayoría combinación de este método cuesta demasiado tiempo en el desbaste, por lo que no es adecuado utilizar este método en el desbaste de esta pieza

4.1.4.1.3 Barrido

En el siguiente paso vamos a hacer la simulación con el otro método: Barrido (Sweeping).

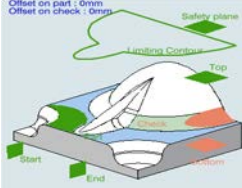
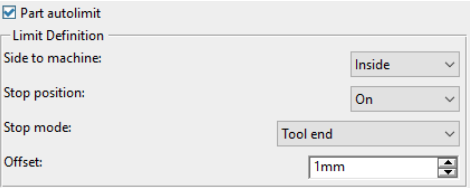

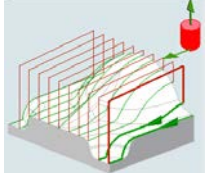
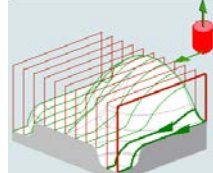
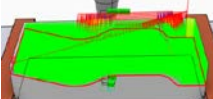
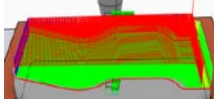
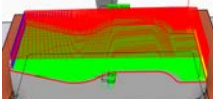
<p>Estrategia de Operación Barrido (Sweeping)</p>	 		
<p>tipo de trayectoria de la herramienta</p>	<p>Zig-zag</p>	<p>One-way next</p>	<p>One-way same</p>
			
<p>Radial(Stepover) no influye</p>	<p>Stepover: Constant ?</p> <p>Max. distance between pass: 1,2mm ?</p> <p>Min. distance between pass: 1,2mm ?</p> <p>Scallop height: 0,25mm ?</p> <p>Stepover side: Left ?</p>		
<p>Axial</p>	<p>Multi-pass: Number of levels and Maximum cut dept ?</p> <p>Number of levels: 26 ?</p> <p>Maximum cut depth: 0,6mm ?</p> <p>Total depth: 15mm ?</p>		
<p>Zone</p>	<p>all</p>		
<p>Island y HSM</p>	<p>No modifica nada</p>		
<p>Tiempo (s)</p>	<p>5231</p>	<p>7883</p>	<p>7938</p>
<p>Trayectorias de la herramienta</p>			

Tabla 21 Estrategia de Operación Barrido para diseño 02

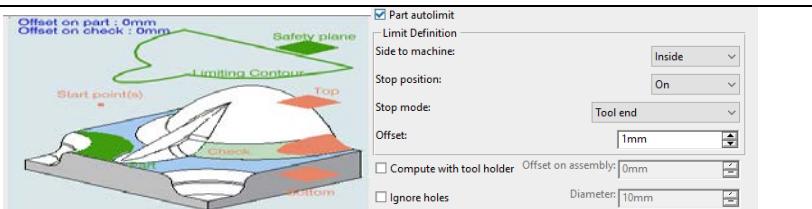
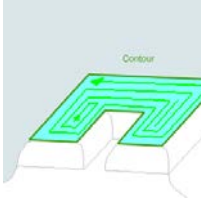
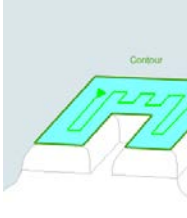
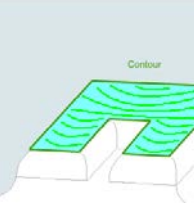
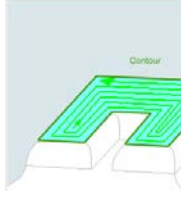
En este caso, el tiempo de mecanizado está afectada por dos factores: número de nivel y la máxima profundidad de corte. Debido a que la geometría de la pieza 02, definimos el número de nivel es 26.

Conclusiones:

- 1) Las trayectorias de la herramienta son muy compacto y numeroso.
- 2) *Zig- Zag* ahorro más tiempo en comparación con los otros dos tipos de trayectoria de herramienta.
- 3) En comparación con el método *Sweep roughing*, este método es peor. También no es recomendable a utilizarlo.

4.1.4.1.4 Fresado en Espiral

4.1.4.1.5 El cuarto método que vamos a utilizar es Fresado en Espiral (*Spiral milling*).

<p>Estrategia de Operación Fresado en Espiral</p>				
<p>Tipo de trayectoria de herramienta</p>	<p>Helical</p>	<p>Back and forth</p>	<p>Concentric</p>	<p>Spiral morphing</p>
				
<p>Radial</p>	<p>Nominal distance between pass: 1,2mm ?</p> <p>Max. distance between pass: 1,2mm</p> <p><input type="checkbox"/> Contouring pass ?</p> <p>Contouring pass ratio: 10 ?</p>			
<p>Axial</p>	<p>Multi-pass: Number of levels and total depth</p> <p>Number of levels: 26</p> <p>Maximum cut depth: 0,612mm</p> <p>Total depth: 15,3mm</p> <p>Sequencing: By Zone</p>			

Machining	Machining tolerance: 0,1mm ? Cutting mode: Conventional ? Offset on hard boundaries: 0mm ? Offset on soft boundaries: 0mm ? Helical movement: Outward ? <input type="checkbox"/> Max Discretization ? Step: 5mm ? <input type="checkbox"/> Always stay on bottom <input type="checkbox"/> Reverse tool path ? Concentric movement: One-Way Reverse pass radial ratio: 100			
Horizontal zone selection	Manual			
Zone/Finishing/HSM	No modifica nada			
Tiempo	4602	4364	15042	6695
Trayectoria de herramienta				
Tipo de trayectoria de herramienta	Offset on part Zig-Zag	Offset on part One-Way	Helical Constant 3D	
Tiempo (s)	4395	4395	4434	
Trayectoria de herramienta				

Tabla 22 Estrategia de Operación Fresado en espiral para diseño 02

Conclusiones:

- 1) La trayectoria con **concéntrico** siempre tarda más tiempo que otros tipos de trayectoria de herramienta.
- 2) Las trayectorias de la herramienta son muy compacto y numeroso, Tarda más tiempo que el método *Roughing*, pero es un poco mejor que el *Sweeping*.
- 3) Es un método que tiene más tipos de trayectoria de herramienta que los otros 3 métodos que habíamos mencionado anteriormente.

4.1.4.2 Acabado

En este paso vamos a quitar 1 mm de offset que dejamos en el paso anterior. Aquí utilizamos dos métodos para hacer la comparación, ellos son: *Advanced Finishing*, *Isoparametric Machining*.

4.1.4.2.1 Acabado Avanzado

<p>Estrategia de Operación Acabado Avanzado</p>			
<p>Modo de corte</p>	<p>Conventional</p>	<p>Climb</p>	<p>Either</p>
<p>Zone</p>			
<p>tiempo (segundo)</p>	<p>271,8</p>	<p>270</p>	<p>268</p>
<p>Trayectorias de la herramienta</p>			

Tabla 23 Estrategia de Operación Acabado Avanzado para diseño 02

Conclusiones:

Según el resultado de la simulación. El tiempo de mecanizado casi no hay diferencia entre estos tres modos de corte. Pues podemos coger cualquier tipo de modo de corte.

4.1.4.2.2 Mecanizado Isoparamétrico

El segundo método de mecanizado de acabado es Mecanizado Isoparamétrico (*Isoparametric Machining*).

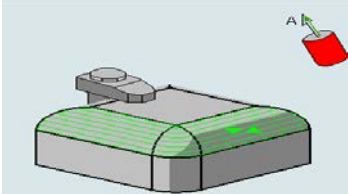
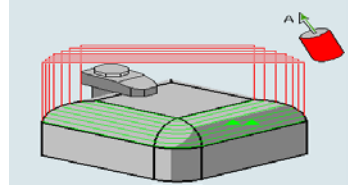
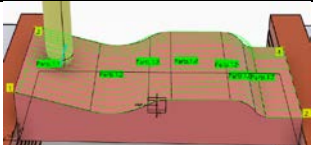
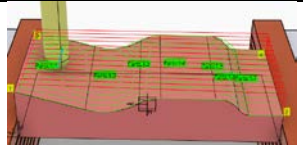
Estrategia de Operación Mecanizado Isoparamétrico		
tipo de trayectoria de la herramienta	Zig-Zag	One-Way
		
Radial	Stepover: Scallop height ▾ ? Scallop height: 0,6mm ▾ ? Distance between paths: 1,2mm ▾ ? Number of paths: 25 ▾ ? Skip path: None ▾ ? Start extension: 0mm ▾ ? End extension: 0mm ▾ ?	
tiempo (s)	70,7	65,8
Trayectorias de la herramienta		

Tabla 24 Estrategia de Operación Mecanizado Iso-paramétrico para diseño 02

Conclusión:

Con este método el mecanizado es más rápido que con el método anterior, por eso es más económico.

CAPÍTULO 5 REALIZACIÓN EXPERIMENTAL

5.1 Pieza de Estudio

En este trabajo realizamos el diseño de modelos (pieza física) para la realización de experimentos con CATIA 3DEXPERIENCE. En nuestro caso en total tenemos 2 piezas de diseño, que es diseño 01 y diseño 02. La geometría y el dimensionamiento se muestra en el capítulo PLANO.

5.2 Realización experimental

El mecanizado realizamos en la Máquina Gentiger_GT_66V, es una máquina de 4 ejes, tiene una bancada, eje x, eje y, eje z. en concreto las distancias que se puede mover en las tres direcciones son: x-axis 720mm, y-axis 500mm, z-axis 400mm. Una vez exportamos el macro de postproceso y se lo introducimos a la máquina, ya podemos preparar realizar el mecanizado.

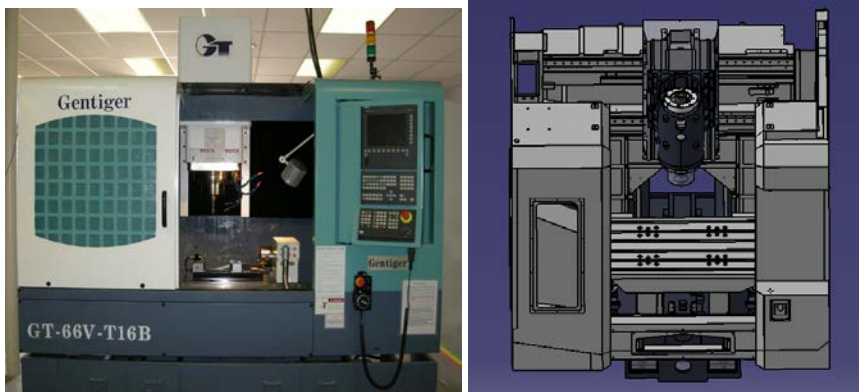


Figura 18 La Máquina Gentiger_GT_66V en el laboratorio

Disposición de Accesorios en la Mesa de la Máquina

En primer lugar, tenemos que abrir la carcasa (puerta) de la máquina y limpiar la mesa de la máquina para realizar el montaje, la mesa de la máquina en el laboratorio se muestra en la siguiente figura junto con el 4º eje.



Figura 19 Tabla de la máquina en el laboratorio

Montaje

Aquí hay de destacar que en el mecanizado realizar, la mordaza (Forza150T) debe fijar las dos caras más largas del material en bruto como se muestra en la siguiente figura. Esto se realiza para dar más seguridad al mecanizado con el amarre, además, la distancia entre la cara inferior del bruto y la cara superior de la mordaza es 48 mm, por eso tenemos que meter dos bloques metálicos calibrados debajo del bruto con la altura de 48 mm correspondiente.

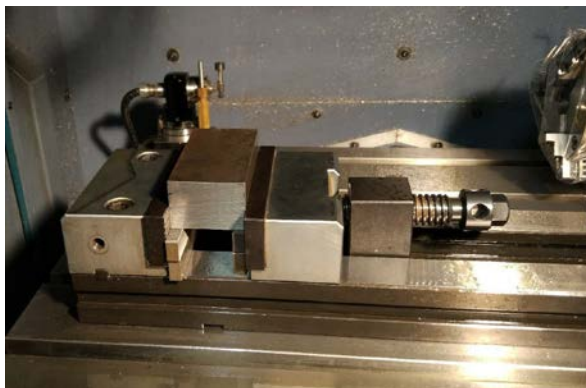


Figura 20 Montaje del bruto en la mordaza en el laboratorio

Herramientas del laboratorio

Las herramientas que tienen en nuestro laboratorio para realizar los experimentales se muestran en la siguiente tabla:






Mecanizado del diseño_01	
Montaje Herramienta Operación de Planeado	
Montaje Herramienta Operación de Escuadrado	
Montaje Herramienta Operación de Cajeado	
Montaje Herramienta Operación de Desbastado de Superficies	
Montaje Herramienta Operación de Acabado de Superficies	

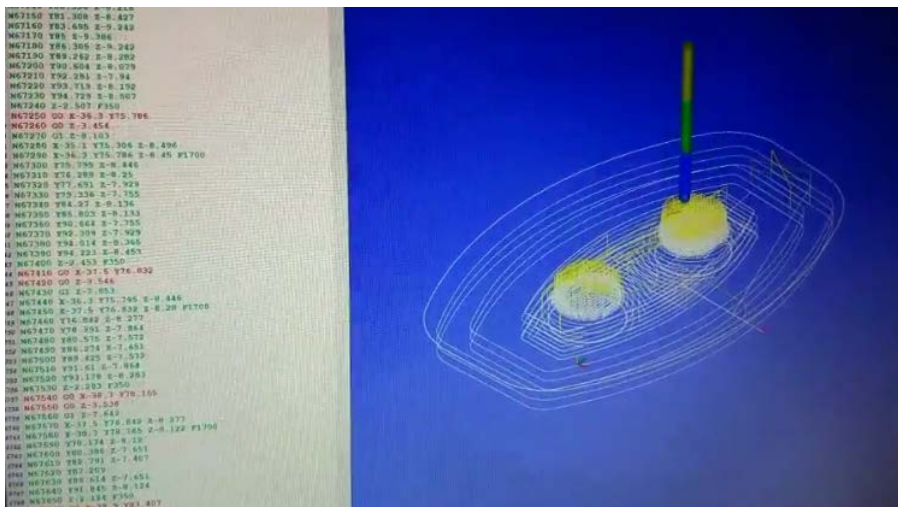
Tabla 25. Herramientas de laboratorio.

Mecanizado del diseño_02	
Montaje Herramienta Operación de Desbastado de Superficies	
Montaje Herramienta Operación de Acabado de Superficies	

Tabla 25. Herramienta de laboratorio.

Una realizado el montaje experimental se procede a la verificación el programa de código máquina generado en el CAM.

En el momento de la finalización de este trabajo todo el montaje experimental estaba comprobado y verificado, pero no se pudo ejecutar por problemas técnicos de máquina Gentiger 66V. Por lo tanto, para verificar que el post-proceso es correcto introducimos el código máquina en el control de la máquina y realizamos la simulación de trayectorias y cambios de herramientas. Los dos experimentos se muestran en las figuras siguientes.



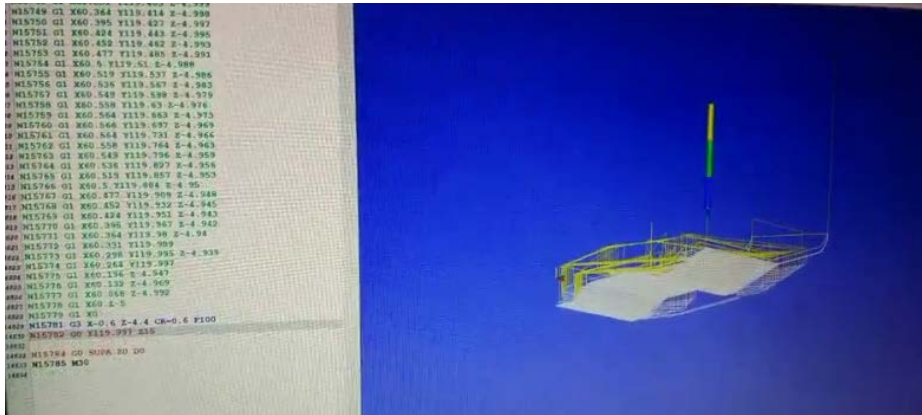


Figura 22 Trayectoria del mecanizado de diseño 02

5.3 Conclusiones

En este capítulo se ha conseguido ejemplificar con un caso de estudio diseño_02. Realizamos el mecanizado de esta pieza con la estrategia desbastado y tipo de trayectoria de herramienta *back and forth*, ya que se tiene el menor tiempo de mecanizado y es más económico.

Cuando post-procesamos esta estrategia tenemos que examinar que la velocidad de corte, revolución de husillo, avance axial y avance radial estos parámetros corresponden con los recomendados para las herramientas suministradas por los fabricantes para las condiciones de desbaste y de acabado avanzado. Antes de mecanizar cada pieza hay que realizar el reglaje de los amarres y herramientas según la planificación de procesos realizada.

La ejecución real de las dos operaciones de mecanizado, Además, en realidad estas dos fases de mecanizado no es continua sino hay que parar un rato y la máquina lee los macros de postproceso uno a uno. Pero el tiempo de cada fase es igual que lo que muestra en la simulación de 3DEXPERIENCE Con el resultado de mecanizado verificamos que la trayectoria es adecuada y se podrá aplicar en otros diseños.

Aunque ha quedado sin completar la parte experimental, que hubiere enriquecer el contenido de este trabajo académico, se ha podido constatar que la preparación del plan de procesos de fabricación con la plataforma CAM 3DEXPERIENCE es correcta. El código máquina se ha validado en simulación en el control SIEMENS 840D de máquina y en un simulador externo.

CAPÍTULO 6 CONCLUSIONES Y TRABAJOS FUTUROS

6.1 Conclusiones

El trabajo académico realizado en el macro del Trabajo Fin de Máster “*Análisis y desarrollo de estrategias de mecanizado para súper aleaciones y materiales termo-resistentes para conformado de Superficies Complejas en entornos 3DEXPERIENCE*” ha permitido integrar los conocimientos del Máster Universitario en Ingeniería Mecánica de forma aplicada y fortalecer las competencias relacionadas con el Diseño y Fabricación de Productos. En el trabajo no sólo se ven integradas competencias del área de las distintas técnicas de diseño, también se ven reflejadas áreas como la selección de materiales, la selección de herramientas y la valoración de las distintas estrategias de mecanizado.

Con la ayuda de las distintas consideraciones de diseño para mecanizado, se ha obtenido el diseño final de dos piezas característica del sector de mecanizado de superficie de forma libre. Para poder obtener un diseño robusto primero de todo se ha tenido que realizar una revisión teórica específica, que sirviese de preámbulo al caso práctico, contextualizando tanto a la complejidad de geometría como a las prestaciones de las herramientas disponibles.

Una vez introducido el marco teórico del caso práctico, se procedió a desarrollar la etapa de diseño de detalle, donde se ha aplicado un diseño riguroso y con unos limitados claros de las herramientas de corte, en el caso práctico se han demostrado las competencias adquiridas durante el Máster.

Con respecto al software 3DEXPERIENCE, es muy importante dominar la herramienta antes de empezar con el desarrollo del trabajo, es decir, es necesario un proceso de formación y capacitación adecuado a la herramienta que se va a utilizar. Es importante destacar que es una plataforma novedosa como herramienta para el ámbito de la ingeniería.

Al principio del trabajo se ha realizado una autoformación con los cursos de 3DEXPERIENCE hemos realizado una practicas con geometría complejas, ya que estas piezas contienen un proceso completo, como planeado, escuadrado, cajera, taladro, mecanizado de superficie etc.

El trabajo también ha contemplado la autoformación en los módulos de mecanizado avanzado con DELMIA. Esto ha permitido profundizar en las operaciones predefinidas de mecanizado y, por tanto, en las estrategias de corte. El análisis comparativo ha permitido entender y proponer la mejor estrategia de mecanizado para superficies complejas.

También se ha profundizado en la selección de condiciones de corte y se ha aplicado a materiales termo endurecidos con los propuestos en el trabajo. Los parámetros de corte son dedicados a estos materiales.

En cuanto a realizar el diseño de los experimentos, diseñamos dos piezas ya que se deseaba considerar la situación real de mecanizado. De cara a trabajo futuros para hacer los diseños con 3DEXPERIENCE se recomienda empezar con piezas sencilla, y luego cada vez más complicadas.

Finalmente se puede decir que el desarrollo de este Trabajo ha puesto una satisfacción puesto que se han adquirido las competencias actualizadas en el área de Diseño, Análisis y desarrollo de las estrategias de mecanizado. También por cómo se han integrado los conocimientos adquiridos a lo largo de la formación en el Máster Universitario en Ingeniería Mecánica y, especialmente, durante el primero curso del Máster donde se cursaron la asignatura CAD y Normalización y la asignatura de Simulación de Procesos de Fabricación teniendo la oportunidad de trabajar con este tipo de herramientas avanzadas.

6.2 Trabajos Futuros

Con la realización de este Trabajo Fin de Máster, se ha iniciado el proceso de implantación de 3DEXPERIENCE en el Área de Ingeniería de los Procesos de Fabricación del Departamento de Ingeniería Mecánica y de Materiales de la Universidad Politécnica de Valencia. Especialmente en las asignaturas de simulación de Procesos de Fabricación.

Respecto de la utilización de la plataforma aún queda trabajo por realizar en el campo de la parametrización de estrategias de mecanizado para determinados tipos de materiales y geometrías.

También queda por integrar el modelo virtual de la máquina herramienta para poder realizar simulaciones de fabricación más reales dentro de lo que se considera los laboratorios virtuales daño así un paso hacia entornos experimentales de industria 4.0.

CAPÍTULO 7 PRESUPUESTO

7.1 NECESIDAD DEL PRESUPUESTO

Antes de hacer el presupuesto de nuestro trabajo, es necesario entender la definición de presupuesto acorde al área de trabajos, "se llama presupuesto al cálculo y negociación anticipada de los ingresos y gastos de una actividad económica, sea personal, familiar, empresarial o pública". Por lo tanto, y aplicando al área de trabajos académicos y más concretamente al área de desarrollo de un nuevo producto, el presupuesto es aquel documento que se realiza en las fases iniciales del diseño y dónde se recogen los gastos e ingresos que afectan a dicho trabajo.

Todo nuevo trabajo, producto o actividad empresarial, su destino es la comercialización, por ello el trabajo ha de estar monetizado desde las primeras fases, es conveniente que se realice un primer presupuesto de aproximación antes de empezar un nuevo trabajo o desarrollo de productos, de aquí el carácter anticipado en la definición de presupuesto. En las primeras fases de ciclos de vida se realizan análisis de mercado con los posibles beneficios que puede generar el nuevo producto, si resulta que con el primer presupuesto los gastos de desarrollo van a ser mayores que los ingresos futuros, el trabajo no va a poder ser llevado a cabo en esas condiciones. Finalmente, y una vez el desarrollo de un nuevo producto está llegando a sus fases finales, se puede realizar un presupuesto detallado incluyendo los distintos gastos e ingresos en los que ha incurrido el trabajo.

7.2 CONTENIDO DEL PRESUPUESTO

7.2.1 Presupuesto de nuestro trabajo

Dependiendo del tipo del trabajo, el presupuesto va a tener una serie de características distintas, en nuestro caso el trabajo es desarrollar estrategias de mecanizado que va mecanizar en la máquina Gentiger_GT_66V. Como nuestro producto, el fin último de este es hacer la evaluación, por la tanto a la hora de diseñar el producto y el plan de mecanizado, hay que tener presente los ingresos que se esperan percibir con el experimento.

En el presente apartado se pretende hacer una pequeña introducción a los gastos principales de este tipo de trabajo, tenemos en cuenta a los gastos particulares asociados a realizar este trabajo.

Todo trabajo de ingeniería o empresarial es llevado a cabo por un equipo multidisciplinar, por lo tanto, un gasto fijo en el trabajo va a ser la remuneración del equipo, esta remuneración puede ser en forma de contrato por obra o contrato por horas, en ambos casos la efectividad del equipo repercutirá directamente en el gasto final.

Al igual que existe el gasto en el personal que desarrolla el producto, existen numerosos gastos asociados al mantenimiento de instalaciones, equipos, etc., gastos en definitiva que no son del alcance de un trabajo académico.

Por lo tanto, por una parte, tenemos el gasto en personal, y por otra parte tenemos el gasto asociado al desarrollo y mecanizado del producto como tal. Sobre el que indicaremos en este capítulo, haciendo un resumen del contenido del presente trabajo, recordamos que las primeras fases se corresponden con fases de diseño de la pieza y las distintas herramientas usadas para este fin, y luego una fase final desarrollada a modo que la estrategia de mecanizado, por lo tanto, los gastos que se van a incluir en el presupuesto son los siguientes:

- Coste de la materia prima, el coste de mecanizar una pieza es el equivalente al porcentaje de amortización de la maquinaria, el gasto energético y el volumen de material empleado en dicha pieza.
- Coste de producción, este coste incluye el tiempo de corte, el tiempo de reglaje y el tiempo en vacío las herramientas.
- Coste de herramientas, en este caso está asociado al coste de *Tool* y *Holder*.

- Coste en herramientas informáticas/software, en el proceso de diseño se usan multitud de herramientas informáticas, softwares para el correcto desarrollo del producto, en nuestro caso utilizamos 3DEXPERIENCE, Catia V5, CES edupack, y estas empresas cobran licencias por equipo para usar dichos programas, usar estos programas sin adquirir la licencia es incurrir en un delito.
- Coste de sostenibilidad, está asociada a la función de uso de fluidos e corte recogida viruta.

Aunque los cálculos de los costes no son exactos si lo son para nuestros intereses desde el punto de vista del trabajo académico. Durante el siguiente apartado se va analizar, explicar, aplicar y comparar dos estrategias para el cálculo del coste de mecanizado, ambas estrategias ofrecen valores de coste aproximados y nos permiten anticiparnos a la situación explicada anteriormente.

7.2.1.1 Coste de experimento_diseño_01

- **Con estrategia Desbaste por Barrido (*Sweeping Roughing*)**

Coste Material (C_m):

Para realizar el mecanizado de la pieza, tenemos que comprar un bruto de Inconel 718 con dimensionamiento habíamos mencionado el apartado anterior, y el precio de este material podemos obtenerlo de la ficha técnica del material proporcionada por CES edupack y se muestra en la siguiente figura, por lo que el coste igualar:

$$C_m = 120 \times 60 \times 30 \text{ mm}^3 \times 10^{-9} \times 1,07e^5 \text{ EUR/m}^3 = 23,112\text{€}.$$

Price			
Price	* 11,4	- 13	EUR/kg
Price per unit volume	* 9,31e4	- 1,07e5	EUR/m^3

Figura 23 Ficha de coste de Inconel 718

Coste Producción (Cp):

Primero vamos a calcular el presupuesto de esta pieza con estrategia Desbaste por barrido (*Sweeping Roughing*). En la ficha de 3DEXPERIENCE podemos saber el tiempo total y el tiempo de mecanizado de cada fase, aquí hacemos un resumen de estas informaciones y se muestran en la figura siguiente, consideramos el precio desgaste de la máquina es 5 €/hora y la remuneración de ingeniero es 35€/hora, en nuestro caso consideramos que el ingeniero también va a hacer el reglaje de la pieza y la máquina. Con esta nos dan un coste de producción:

$C_p = (\text{Tiempo de corte} + \text{reglaje} + \text{vacío por coste Hora} + \text{tiempo de acabado})$

$$C_p = \left(\frac{185 + 143 + 156 + 170}{60} \times \frac{5}{60} + \frac{3 \times 5}{60} \times 35 + \frac{34}{60} \times \frac{5}{60} \right) = 9,7 \text{ €}$$

PHASE	name of the operation	Aim of the operation	Setup operation time (min)	Void movements	Machining operation Time	TOTAL Operation Time(Sec)	INSERT	INSERT / TOOL HOLDER
PHASE	NAME	DESCRIPTION					TOOL	HOLDERS
1	Face1_Facing	planado	3	65	103	185	FaceMill DC3	VF300-SC3A368
2	Edge1_Profile Contouring	Estuado	3	4	139	143	Face Mill DC 20	VF200R2035A205
3	Edge1_Roughing	Corte	3	7	149	156	End Mill DC 4	H35M20000
4	Edge1_Strategy2_Sweeping roughing	Mecanizado de la superficie convexa a la superficie cóncava	3	15+13	55+85	130	Ball Mill DC12	VQ45SR0000
5	Edge1_Strategy2_Sweeping	Mecanizado de la superficie convexa a la superficie cóncava	3	29+28	220+236	344	Ball Mill DC12	VQ45SR0000
6	Face1_Advanced Finishing	Acabado	3	9	25	34	Ball Mill DC3	VQ20SR0000

Figura 24 Tiempo de mecanizado de cada estrategia de diseño 01

En cuanto a considerar el gasto de diseño, vamos a considerar los gastos necesarios en un titulado como ingeniero de desarrollo de productos que será el encargado de llevar a cabo el diseño del producto, con una remuneración de 35 €/hora y un total de horas dedicadas de 2 horas. Por eso el coste es 70 €. En total tenemos 2 piezas y el diseño de cada pieza cuesta 35 €.

Coste de herramienta (C_t):

En nuestro caso todas las herramientas que hemos utilizado son de empresa MITSUBISHI, pedimos informaciones a esta empresa y nos envía una tabla de precio de las herramientas:

REFERENCIA	LARGO(MM)	PRECIO SIN IVA
BT40-ER32-70(conos portapinza)	70	22,5 €
VPX300-063A06AR (Milling_Holder)	40	358,34€
VPX200R2003SA20S	100	221,24€
MSMHDD0400	45	66,74
VQ4SVBR0300	50	85,86 €
VQ4SVBR0600	75	123,6 €

Tabla 26 Precio de Herramienta para diseño 01

En cuanto a calcular el coste de las herramientas, ya que se pueden utilizar mucho tiempo y es difícil calcular el coste para solo una pieza, por eso consideramos que la vida de servicio de todo el conjunto es 1000 piezas/herramienta, el coste es

$$C_t = (22,5 + 358,34 + 221,24 + 66,74 + 85,86 + 123,6) / 1000 = 0,878€$$

Coste de Sostenibilidad (Cs):

Después de mecanizar la pieza, quedan muchas virutas en la mesa y otros sitios de la máquina, tenemos que reciclar el fluido de corte y recoger las virutas, este proceso tarda 15 minutos y la remuneración de un trabajador de limpieza es 15 €/hora.

$$C_s = \frac{15}{60} \times 15 = 3,75 \text{ €}.$$

Calculo el coste total de la pieza 01

Una vez tenemos el coste material, coste producción, coste de herramienta y coste de sostenibilidad, solamente nos falta hacer una suma de estos costes, Obteniendo un resultado de aproximadamente de Coste total

$$C_T = C_m + C_p + C_t + C_s = 23,112 + (9,7 + 35) + 0,878 + 3,75 = 72,44 \text{ €}.$$

➤ **Con estrategia Barrido (Sweeping)**

El presupuesto con esta estrategia Barrido (Sweeping) solo tiene una diferencia con la estrategia Desbaste por barrido, es el tiempo de mecanizado que incluye tiempo de corte y tiempo de vacío, en este caso

$C_p =$ (Tiempo de corte + reglaje + vacío por coste Hora+ tiempo de acabado)

$$C_p = \left(\frac{185+143+156+544}{60} \times \frac{5}{60} + \frac{3 \times 5}{60} \times 35 + \frac{34}{60} \times \frac{5}{60} \right) = 10,225 \text{ €}.$$

Entonces con esta estrategia Barrido (Sweeping) obtenemos un resultado de coste total aproximadamente igual:

$$C_T = C_m + C_p + C_t + C_s = 23,112 + (10,225 + 35) + 0,878 + 3,75 = 72,965 \text{ €}$$

7.2.1.2 Coste de experimento_ diseño_02

➤ Con estrategia Desbastado (*Roughing*)

Coste Material (Cm):

Primero vamos a calcular el prepuesto de esta pieza con estrategia Desbastado (*Roughing*). El coste de bruto es igual que experimento diseño_01, es decir:

$$C_m = 120 \times 60 \times 30 \text{ mm}^3 \times 10^{-9} \times 1,07e^5 \text{ EUR/m}^3 = 23,112 \text{ (EUR)}.$$

Coste Producción (Cp):

En la ficha de 3DEXPERIENCE podemos saber el tiempo total y el tiempo de mecanizado de cada fase, aquí hacemos un resumen de estas informaciones y se muestran en la figura siguiente, consideramos el precio desgaste de la máquina es 5 €/hora, con esta nos dan un coste de producción:

$C_p = (\text{Tiempo de corte} + \text{reglaje} + \text{vacío por coste Hora} + \text{tiempo de acabado})$

$$C_p = \left(\frac{1029}{60} \times \frac{5}{60} + \frac{3}{60} \times 35 + \frac{162}{60} \times \frac{5}{60} + \frac{266}{60} \times \frac{5}{60} \right) = 3,77 \text{ €}$$

PHASE	SUBPHASE	OPERATION	name of the operation	Setup operation time (min)	Void movements	Machining operation Time	TOTAL Operation Time(Sec)	INSERT	INSERT / TOOL HOLDER
PHASE	SUBPHASE	OPERATION	NAME				TOOL	HOLDER	
1	1	1	Exp01_Strategy1_Roughing	3	162	1079	1191	VQ45VB0600	BT40-ER32-L70
2	1	1	Exp02_Strategy2_Spiral milling	3	77	4395	4432	VQ45VB0600	BT40-ER32-L71
3	1	1	Exp03_Strategy3_Sweep roughing	3	4578	8740	13350	VQ45VB0600	BT40-ER32-L72
4	1	1	Exp05_Strategy5_Sweeping	3	1383	3876	5229	VQ45VB0600	BT40-ER32-L73
5	1	1	Exp06_Strategy6_Advanced Finishing	3	72	191	266	VQ45VB0600	BT40-ER32-L74

Figura 25 Tiempo de mecanizado de cada estrategia de diseño 02

La remuneración de ingeniero es 35 €/hora que habíamos mencionado anteriormente y en total tenemos 2 piezas y el diseño de cada pieza cuesta 35 €.

Coste de herramienta (Ct):

En nuestro caso todas las herramientas que hemos utilizado son de empresa MITSUBISHI, pedimos informaciones a esta empresa y nos envía una tabla de precio de las herramientas:

REFERENCIA	LARGO(MM)	PRECIO SIN IVA
BT40-ER32-70	70	22,5 €
VQ4SVBR0600	75	123,6 €

Tabla 27 Precio de Herramienta para diseño 02

Consideramos que con esta herramienta se puede mecanizar 1000 piezas como la pieza de nuestro diseño, por lo tanto, el coste de herramienta:

$$C_t = (22,5 + 123,6) / 1000 = 0,146 \text{ €}$$

Coste de Sostenibilidad (Cs):

Después de mecanizar la pieza, quedan muchas virutas en la mesa y otro sitio de la máquina, por lo tanto, tenemos que usar fluido de corte para recoger las virutas, este proceso tarda 15 minutos y la remuneración de un trabajador de limpieza es 15 €/hora. El coste es 3,75 €.

Calculo el coste total de la pieza 02

Una vez tenemos el coste material, coste producción, coste de herramienta y coste de sostenibilidad, solamente nos falta hacer una suma de estos costes, Obteniendo un coste total de aproximadamente igual:

$$C_T = C_m + C_p + C_t + C_s = 23,112 + (3,77 + 35) + 0,146 + 3,75 = 65,77 \text{ €}.$$

➤ **Con estrategia Barrido (Sweeping)**

El presupuesto con esta estrategia Barrido (Sweeping) solo tiene una diferencia con la estrategia Desbastado, es el tiempo de mecanizado que incluye tiempo de corte y tiempo de vacío, en este caso

C_p = (Tiempo de corte + reglaje + vacío por coste Hora+ tiempo de acabado)

$$C_p = \left(\frac{3876}{60} \times \frac{5}{60} + \frac{3}{60} \times 35 + \frac{1353}{60} \times \frac{5}{60} + \frac{266}{60} \times \frac{5}{60} \right) = 9,45 \text{ €}.$$

En este caso con la estrategia Barrido (Sweeping) obtenemos un resultado de coste total aproximadamente igual:

$$C_T = C_m + C_p + C_t + C_s = 23,112 + (9,45 + 35) + 0,146 + 3,75 = 69,46 \text{ €}.$$

Finalmente se consideran 3 meses de dedicación al proyecto en total para el desarrollo de las estrategias y cada día se trabajaron 6 horas, estimamos que como un trabajo en realidad se debería pagar 15€/h a un estudiante para desarrollar este proyecto.

Además, en realidad también necesita pagar por la licencia de los softwares los que habíamos utilizado, aunque en este caso como yo soy un estudiante de la UPV y puedo utilizar los softwares gratis, y luego hacemos un resumen de coste de cada parte de nuestro trabajo académico.

7.3 DESGLOSE DEL PRESUPUESTO

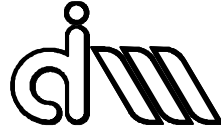
COSTE DE DISEÑO	ESTRATEGIA	Coste Material	Coste Producción e ingeniería	Coste Herramienta	Coste Sostenibilidad	COSTE TOTAL (SIN IVA)
Diseño_01	Desbaste por Barrido (Sweeping Roughing)	23,112 €	9,7+35€	0,878€	3,75€	72,44€
	Barrido (Sweeping)	23,112 €	10,225+35€	0,879€	3,75€	72,965€
Diseño_02	Desbastado (Roughing)	23,112 €	3,77+35€	0,146€	3,75€	65,77€
	Barrido (Sweeping)	23,112 €	9,45+35€	0,146€	3,75€	69,46€
OTROS COSTES						
Coste de desarrollo del proyecto (320h × 15 €/h)						4 800€
LICENCIA 3DEXPERIENCE (Precio aproximado)						4 000€
LICENCIA CES EDUPACK						200€
LICENCIA OFFICE 365						150€
Total						9 430,935€

Tabla 28 Desglose del presupuesto

CAPÍTULO 8 BIBLIOGRAFÍA Y REFERENCIAS

Libros y artículos de revista

- [Lasemi, 2010] Ali Lasemi, Deyi Xue, Peihua Gu. Torbaty. *Recent development in CNC machining of freeform surfaces: A state-of-the-art review*. Computer-Aided Design
- [Boujelbene, 2007] M. Boujelbene, A. Moisan, W. Bouzid, S. Torbaty. *Variation cutting speed on the five axis milling*. Journal of Achievements in Materials and Manufacturing Engineering
- [Huntington, 1988] Huntington *Machining Inco Alloys International Products. 7th ed. Inco Alloys International Inc.* Machining nickl alloys
- [Mitsubish,2018] Mitsubish Materiales. *Boost Your Milling with a Tough Tangential Insert*. Multi-functional Cutter for High Efficiency Machining
- [ERI,2009] ERI Materiales. *Toolholding Solutions Linking productivity and Precision*. Catálogo de ERI AMERICA.
- [KINTEK,2009] KINTEK. *Standard Toolholders And Accessories*. Catálogo de KINTEK.
- [ISO,1989] ISO 8688-1. *Tool life testing in milling-Face milling*, INTERNATIONAL STANDARD
- [ISO,1989] ISO 8688-2. *Tool life testing in milling-End milling*, INTERNATIONAL STANDARD



MÁSTER EN INGENIERÍA MECÁNICA

PLIEGO DE CONDICIONES

Análisis y desarrollo de estrategias de mecanizado
para súper aleaciones y materiales termo-
resistentes para conformado de Superficies
Complejas en entornos 3DEXPERIENCE

1.FICHA TÉCNICA. Material INCALLOY 718

Material comprado

Inconel® 718 - UNS N07718 - NiCr19NbMo - 2.4668

Inconel 718® es un material de níquel-cromo de alta resistencia a la corrosión, utilizado con temperaturas desde -217°C hasta 704°C. Esta aleación, que se endurece con el tiempo, puede ser fabricada con facilidad, incluso en sus partes más complejas. Sus características de soldadura, especialmente su resistencia a la rotura en el postsoldado, son excelentes. La facilidad y economía con la que el Inconel 718® puede ser fabricado, combinado con su buena tensión, carga de rotura y fatiga, han resultado muy útiles para un amplio campo de aplicaciones industriales.

APLICACIONES

CARACTERÍSTICAS GENERALES

ACEQUISA SUMINISTRA

INFORMACIÓN TÉCNICA

Especificaciones

718 - UNS N07718	
Producto	Norma ASTM
Tubería sin Soldadura	
Tubería Soldada	
Chapa	B-670
Barra	B-637
Bridas	B-637
Accesorios	

Composición química %

718 - UNS N07718		
Elemento	Símbolo	Máximo
Carbono	C	0,08
Manganeso	Mn	0,35
Titanio	Ti	0,65-1,15
Azufre	S	0,015
Silicio	Si	0,35
Níquel	Ni	50,0-55,0
Cromo	Cr	17,0-21,0
Molibdeno	Mo	2,80-,3,30
Aluminio	Al	0,20-0,80
Niobio	Nb	4,75-5,50
Fosforo	P	0,015
Hierro	Fe	Balance

Propiedades Mecánicas

718 - UNS N07718							
Norma	Rm min.	Rp 0,2% min.	E4d min.%	Z min.%	T.I.(J)	HR B	HB
B-637	185 (1275)	150 (1034)	12	15			331
B-670	180 (1241)	150 (1034)	12				

INICIO PRIVACIDAD CONTACTO

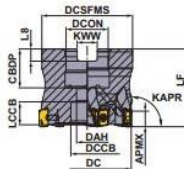
ceros Inoxidables especiales y aleaciones de níquel, titanio y otros © acequisa.com - Todos los derechos reservados

Figura 1 FICHA TÉCNICA. Material INCALLOY 718

2.FICHA TÉCNICA. Herramienta (VPX300-063A06AR)

OPERACIONES:	PLANEADO
TIPO:	FACE MILL
FABRICANTE:	Mitsubishi
MODELO:	VPX300-063A06AR

MODELO: VPX300-063A06AR



Right hand tool holder only.

DC	Set Bolt	Geometry
φ40	HSC08025H	
φ50, φ63	HSC10030H	
φ80	HSC12035H	

Arbor Type

With Coolant Hole

GAMP: -6° T: +5°
GAMF: -22.5° I: +5°

DC = mm size, DCON = mm size, DCON = inch size

DC	Order Number	Stock	No.T	LF	DCON	WT (kg)	APMX	RMPX	Max Spindle Speed (min ⁻¹)	(mm)	
											Insert Type
40	VPX300-040A03AR	●	3	40	16	0.21	11	1.06°	17900		LOGU12
40	VPX300-040A04AR	●	4	40	16	0.21	11	1.06°	17900		LOGU12
50	VPX300-050A04AR	●	4	40	22	0.34	11	0.79°	15500		LOGU12
50	VPX300-050A06AR	●	6	40	22	0.33	11	0.79°	15500		LOGU12
63	VPX300-063A06AR	●	6	40	22	0.61	11	0.60°	13400		LOGU12
63	VPX300-063A08AR	●	8	40	22	0.62	11	0.60°	13400		LOGU12

Figura 2 FICHA TÉCNICA. Herramienta (VPX300-063A06AR)

3.FICHA TÉCNICA. Herramienta (VPX200R2003SA20S)

OPERACIONES:	ESCUADRADO
TIPO:	FACE MILL
FABRICANTE:	Mitsubishi
MODELO:	VPX200R2003SA20S

Multi-functional Cutter for High Efficiency Machining

MULTI-FUNCTIONAL MILLING

VPX200

90° KAPR F R

P M K N S H




Fig.1

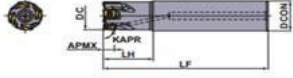
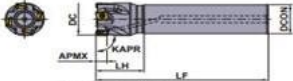


Fig.2



Right hand tool holder only.

Shank Type

With Coolant Hole

DC	Order Number	Stock	★		DCON	LF	LH	APMX	RMPX	Max. Spindle Speed (min ⁻¹)	WT (kg)	Fig.	Insert Type
			No. T	R									
16	VPX200R1602SA16S	●	2	16	85	25	8	1.85*	37900	0.11	1	LOGU09	
18	VPX200R1802SA16S	●	2	16	85	25	8	1.56*	35300	0.12	2	LOGU09	
18	VPX200R1802SA16L	●	2	16	120	25	8	1.56*	35300	0.17	2	LOGU09	
20	VPX200R2002SA16S	●	2	16	100	25	8	1.35*	33200	0.14	2	LOGU09	
20	VPX200R2003SA16S	●	3	16	100	25	8	1.35*	33200	0.14	2	LOGU09	
20	VPX200R2002SA20S	●	2	20	100	30	8	1.35*	33200	0.21	1	LOGU09	
20	VPX200R2003SA20S	●	3	20	100	30	8	1.35*	33200	0.21	1	LOGU09	


Figura 3 FICHA TÉCNICA. Herramienta (VPX200R2003SA20S)

4.FICHA TÉCNICA. Herramienta (MSMHDD0400)

OPERACIONES:	CAJERA
TIPO:	END MILL
FABRICANTE:	Mitsubishi
MODELO:	MSMHDD0400


FRESAS INTEGRALES MSTAR

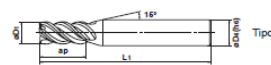
MSMHD
Alto rendimiento, Longitud media, 4 hélices



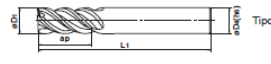
Acero Carbono, Acero Inoxidable, Acero Inoxidable Austenítico, Acero Inoxidable Austenítico, Aleación de Titanio, Aleación de Titanio, Aleación de Cobre, Aleación de Aluminio

CUADRADO

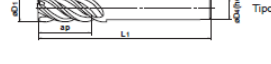




Tipo1



Tipo2



Tipo3

PUNTA ESFÉRICA

$D1 \leq 12$	$D1 > 12$		
0	0.030		
-0.020	-0.030		
$4 \leq D1 \leq 8$	$8 \leq D1 \leq 10$	$12 \leq D1 \leq 16$	$20 \leq D1 \leq 28$
0	0	0	0
-0.008	-0.009	-0.011	-0.013

RADIOS

h_6

● Fresa frontal de alto rendimiento con 4 hélices.

CÓNICO

Unidad : mm

Referencia	D1	ap	L1	D4	Hélices	Stock	Tipo
MSMHDD0200	2	4	45	4	4	●	1
D0210	2.1	5	45	4	4	●	1
D0220	2.2	5	45	4	4	●	1
D0230	2.3	5	45	4	4	●	1
D0240	2.4	5	45	4	4	●	1
D0250	2.5	5	45	4	4	●	1
D0260	2.6	6	45	4	4	●	1
D0270	2.7	6	45	4	4	●	1
D0280	2.8	6	45	4	4	●	1
D0290	2.9	6	45	4	4	●	1
D0300	3	8	45	6	4	●	1
D0310	3.1	8	45	6	4	●	1
D0320	3.2	8	45	6	4	●	1
D0330	3.3	8	45	6	4	●	1
D0340	3.4	8	45	6	4	●	1
D0350	3.5	8	45	6	4	●	1
D0360	3.6	11	45	6	4	●	1
D0370	3.7	11	45	6	4	●	1
D0380	3.8	11	45	6	4	●	1
D0390	3.9	11	45	6	4	●	1
D0400	4	11	45	6	4	●	1
D0410	4.1	12	45	6	4	●	1
D0420	4.2	12	45	6	4	●	1
D0430	4.3	12	45	6	4	●	1
D0440	4.4	12	45	6	4	●	1
D0450	4.5	12	45	6	4	●	1
D0460	4.6	13	50	6	4	●	1
D0470	4.7	13	50	6	4	●	1
D0480	4.8	13	50	6	4	●	1
D0490	4.9	13	50	6	4	●	1

Figura 4 FICHA TÉCNICA. Herramienta (MSMHDD0400)

5.FICHA TÉCNICA. Herramienta (VQ4SVBR0600)

OPERACIONES:	DESBASTE DE SUPERFICIE
TIPO:	BALL MILL
FABRICANTE:	Mitsubishi
MODELO:	VQ4SVBR0600


FRESAS INTEGRALES VQ

VQ4SVB NEW

Punta esférica, longitud de corte corta, 4 hélices, hélice variable

Acero Carburo con Nitrógeno (≤39HRC)
 Acero Endurado (≤45HRC)
 Acero Endurado (≤55HRC)
 Acero Endurado (>55HRC)
 Acero Inoxidable Austenítico
 Resina de Tanka, Resinas Epoxi Resistentes
 Aleación de Cobre
 Aleación de Aluminio

CUADRADO



PUNTA ESFÉRICA

$1 \leq R \leq 6$				
± 0.010				
$D_1 \leq 12$				
0				
$- 0.020$				
$D_4 = 6$	$8 \leq D_4 \leq 10$	$D_4 = 20$		
0	0	0		
$- 0.008$	$- 0.009$	$- 0.011$		

RADIOS

- Fresa de punta esférica y 4 hélices con control de vibraciones y recubrimiento VQ.
- Ideal para mecanizado de acabados.

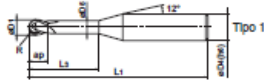
CÓNICO

Unidad: mm

Referencia	R	D ₁	ap	L _s	D _s	L ₁	D ₄	Hélices	Stock	Tipo
VQ4SVBR0100	1	2	3	5	1.9	50	6	4	●	1
R0150	1.5	3	4.5	7.5	2.9	50	6	4	●	1
R0200	2	4	6	10	3.9	50	6	4	●	1
R0250	2.5	5	7.5	12.5	4.9	50	6	4	●	1
R0300	3	6	9	15	5.85	50	6	4	●	2
R0400	4	8	12	20	7.85	60	8	4	●	2
R0500	5	10	15	25	9.7	70	10	4	●	2
R0600	6	12	18	30	11.7	75	12	4	●	2

FRESAS INTEGRALES

CUADRADO



PUNTA ESFÉRICA

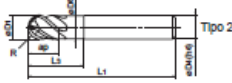


Figura 5 FICHA TÉCNICA. Herramienta (VQ4SVBR0600)

6.FICHA TÉCNICA. Herramienta (VQ4SVBR0300)

OPERACIONES:	ACABADO DE SUPERFICIE
TIPO:	BALL MILL
FABRICANTE:	Mitsubishi
MODELO:	VQ4SVBR0300

FRESAS INTEGRALES VQ

VQ4SVB NEW

Punta esférica, longitud de corte corta, 4 hélices, hélice variable

Acero Carburo, Acero Inoxidable, Acero Inoxidable Austenítico, Acero Inoxidable Martensítico, Aleación de Cobre, Aleación de Aluminio

CUADRADO

PUNTA ESFÉRICA

R	1 ≤ R ≤ 5			
	±0.010			
D1	≤ 12			
	0			
	- 0.020			
D4	± 6	8 ≤ D4 ≤ 10	D4 = 20	
	0			
	- 0.008	- 0.009	- 0.011	

RADIOS

- Fresa de punta esférica y 4 hélices con control de vibraciones y recubrimiento VQ.
- Ideal para mecanizado de acabados.

CÓNICO

Unidad : mm

Referencia	R	D1	ap	Ls	D6	L1	D4	Hélices	Stock	Tipo
VQ4SVBR0100	1	2	3	5	1.9	50	6	4	●	1
R0150	1.5	3	4.5	7.5	2.9	50	6	4	●	1
R0200	2	4	6	10	3.9	50	6	4	●	1
R0250	2.5	5	7.5	12.5	4.9	50	6	4	●	1
R0300	3	6	9	15	5.85	50	6	4	●	2
R0400	4	8	12	20	7.85	60	8	4	●	2
R0500	5	10	15	25	9.7	70	10	4	●	2
R0600	6	12	18	30	11.7	75	12	4	●	2

FRESAS INTEGRALES

Figura 6 FICHA TÉCNICA. Herramienta (VQ4SVBR0300)

7.FICHA TÉCNICA. Plaqueta (LOGU1207080PNER-M)

OPERACIONES:	PLANEADO
TIPO:	MP9130
FABRICANTE:	Mitsubishi
MODELO:	LOGU1207080PNER-M

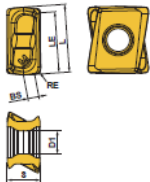
Inserts (mm)																				
Work Material	Coated										Cutting Conditions (Guide): ●: Stable Cutting ●: General Cutting ✖: Unstable Cutting									
	P	M	K	N	S	H	MC6020	MP6120	MP6130	MP9120		MP9130	VP151F	TF15						
Shape	Order Number	Class	Honing	Coated							Carbide		L	RE	LE	S	BS	D1	Geometry	
				MC6020	MP6120	MP6130	MP9120	MP9130	VP151F	TF15										
	LOGU1207020PNER-M	G E	●	●	●	●	●	●	●	●	●	●	●	12.4	0.2	11.3	7.0	3.0	4.4	
	LOGU1207040PNER-M	G E	●	●	●	●	●	●	●	●	●	●	●	12.4	0.4	11.3	7.0	2.8	4.4	
	LOGU1207080PNER-M	G E	●	●	●	●	●	●	●	●	●	●	●	12.4	0.8	11.3	7.0	2.4	4.4	
	LOGU1207100PNER-M	G E	●	●	●	●	●	●	●	●	●	●	●	12.4	1.0	11.3	7.0	2.3	4.4	
	LOGU1207120PNER-M	G E	●	●	●	●	●	●	●	●	●	●	●	12.4	1.2	11.3	7.0	2.1	4.4	
	LOGU1207160PNER-M	G E	●	●	●	●	●	●	●	●	●	●	●	12.4	1.6	11.3	7.0	1.7	4.4	
	LOGU1207200PNER-M	G E	●	●	●	●	●	●	●	●	●	●	●	12.4	2.0	11.3	7.0	1.4	4.4	
	LOGU1207240PNER-M	G E	●	●	●	●	●	●	●	●	●	●	●	12.4	2.4	11.3	7.0	1.0	4.4	
	LOGU1207300PNER-M	G E	●	●	●	●	●	●	●	●	●	●	●	12.4	3.0	11.3	7.0	0.5	4.4	
	LOGU1207320PNER-M	G E	●	●	●	●	●	●	●	●	●	●	●	12.4	3.2	11.3	7.0	0.3	4.4	
	LOGU1207020PNFR-M	G F										●	●	12.4	0.2	11.3	7.0	3.0	4.4	
	LOGU1207040PNFR-M	G F										●	●	12.4	0.4	11.3	7.0	2.8	4.4	
	LOGU1207080PNFR-M	G F										●	●	12.4	0.8	11.3	7.0	2.4	4.4	
	LOGU1207100PNFR-M	G F										●	●	12.4	1.0	11.3	7.0	2.3	4.4	
	LOGU1207120PNFR-M	G F										●	●	12.4	1.2	11.3	7.0	2.1	4.4	
	LOGU1207160PNFR-M	G F										●	●	12.4	1.6	11.3	7.0	1.7	4.4	
	LOGU1207200PNFR-M	G F										●	●	12.4	2.0	11.3	7.0	1.4	4.4	
	LOGU1207240PNFR-M	G F										●	●	12.4	2.4	11.3	7.0	1.0	4.4	
	LOGU1207300PNFR-M	G F										●	●	12.4	3.0	11.3	7.0	0.5	4.4	
	LOGU1207320PNFR-M	G F										●	●	12.4	3.2	11.3	7.0	0.3	4.4	

Figura 7 FICHA TÉCNICA. Plaqueta (LOGU1207080PNER-M)

8.FICHA TÉCNICA. Plaquita (LOGU0904080PNER-M)

OPERACIONES:	ESCUADRADO
TIPO:	MP9130
FABRICANTE:	Mitsubishi
MODELO:	LOGU0904080PNER-M

Inserts


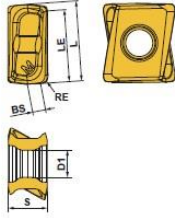
Work Material	P Steel		M Stainless Steel		K Cast Iron		N Non-ferrous Metal		S Heat-resistant Alloy, Titanium Alloy		H Hardened Steel		Cutting Conditions (Guide) : ● : Stable Cutting ● : General Cutting ✖ : Unstable Cutting	Honing : E : Round F : Sharp											
	●	✖	●	✖	●	✖	●	✖	●	✖	●	✖													
Shape	Order Number	Class	Coated						Carbide		L	RE	LE	S	BS	D1	Geometry								
			MC6020	MP6120	MP6130	MP7130	MP9120	MP9130	VP15TF	TF15															
	LOGU0904020PNER-M	G E	●	●	●	●	●	●	●	●	●	●	●	●	●	●	●	●	8.7	0.2	7.6	4.3	1.7	3	 Right hand insert only.
	LOGU0904040PNER-M	G E	●	●	●	●	●	●	●	●	●	●	●	●	●	●	●	●	8.7	0.4	7.6	4.3	1.6	3	
	LOGU0904080PNER-M	G E	●	●	●	●	●	●	●	●	●	●	●	●	●	●	●	●	8.7	0.8	7.6	4.3	1.2	3	
	LOGU0904100PNER-M	G E	●	●	●	●	●	●	●	●	●	●	●	●	●	●	●	●	8.7	1	7.6	4.3	1	3	
	LOGU0904120PNER-M	G E	●	●	●	●	●	●	●	●	●	●	●	●	●	●	●	●	8.7	1.2	7.6	4.3	0.9	3	
	LOGU0904160PNER-M	G E	●	●	●	●	●	●	●	●	●	●	●	●	●	●	●	●	8.7	1.6	7.6	4.3	0.5	3	
	LOGU0904020PNFR-M	G F										●	●	●	●	●	●	●	8.7	0.2	7.6	4.3	1.7	3	
	LOGU0904040PNFR-M	G F										●	●	●	●	●	●	●	8.7	0.4	7.6	4.3	1.6	3	
	LOGU0904080PNFR-M	G F										●	●	●	●	●	●	●	8.7	0.8	7.6	4.3	1.2	3	
	LOGU0904100PNFR-M	G F										●	●	●	●	●	●	●	8.7	1	7.6	4.3	1	3	
	LOGU0904120PNFR-M	G F										●	●	●	●	●	●	●	8.7	1.2	7.6	4.3	0.9	3	
	LOGU0904160PNFR-M	G F										●	●	●	●	●	●	●	8.7	1.6	7.6	4.3	0.5	3	

Figura 8 FICHA TÉCNICA. Plaquita (LOGU0904080PNER-M)

9.FICHA TÉCNICA. Porta Herramientas (KINTEK 216-71508)

OPERACIONES:	PLANEADO
TIPO:	Cono porta platos de planear
FABRICANTE:	Mitsubishi
MODELO:	KINTEK 216-71508

AUFSTECKFRÄSDORNE FÜR FRÄSER
 MIT QUERNUT MIT GRÖßEREM BUND
 FACE MILL HOLDERS-TENONS DRIVE
 WITH BIGGER FLANGE DIAMETER
 ОПРАВКИ ДЛЯ НАСАДНЫХ ФРЕЗ С УВЕЛИЧЕННЫМ
 ДИАМЕТРОМ КОРПУСА

MANDRINS PORTE-FRAISE-ENTRAÎNEMENT
 PAR TENONS BRIDE AJOUTÉE
 MANDRINI PORTAFRESE A TRASCINAMENTO
 FISSO CON FLANGIA MAGGIORATA
 平面铣刀柄 - 凸缘驱动 - 配备更大法兰直径

ISO 3937

Code N.	Description	ISO	D	L1	L2	D2	G6,3 $\frac{0.030}{0.075}$
216-71501	BT30H35D16F	30	16	35	17	38	•
216-71502	BT30H40D22F	30	22	40	19	48	•
216-71503	BT30H40D27F	30	27	40	21	58	•
216-71507	BT40H45D16F	40	16	45	17	38	•
216-71508	BT40H45D22F	40	22	45	19	48	•
216-71509	BT40H45D27F	40	27	45	21	58	•
216-71510	BT40H50D32F	40	32	50	24	78	•
▲ 216-71511	BT40H55D40F	40	40	55	27	88	•
216-71517	BT50H60D16F	50	16	60	17	38	•
216-71518	BT50H60D22F	50	22	60	19	48	•
216-71519	BT50H60D27F	50	27	60	21	58	•
216-71520	BT50H60D32F	50	32	60	24	78	•
▲ 216-71521	BT50H60D40F	50	40	60	27	88	•

Figura 9 FICHA TÉCNICA. Porta Herramientas (KINTEK 216-7150)



MÁSTER EN INGENIERÍA MECÁNICA

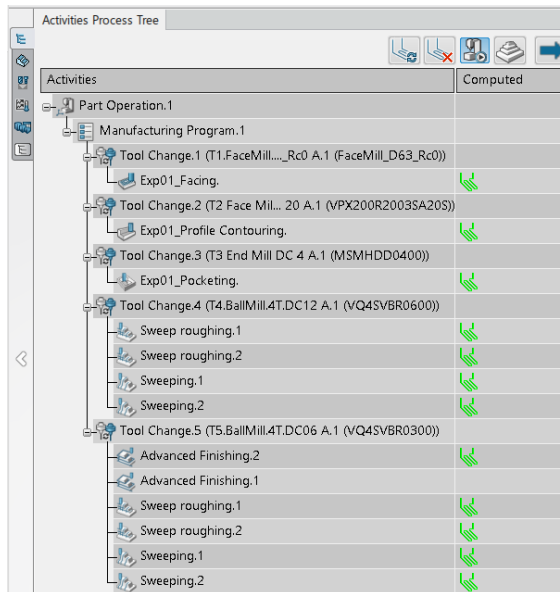
ANEXO

Análisis y desarrollo de estrategias de mecanizado
para súper aleaciones y materiales termo-
resistentes para conformado de Superficies
Complejas en entornos 3DEXPERIENCE

1 ANEXO DEL CATÁLOGO

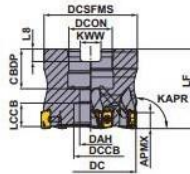
Antes de realizar el mecanizado real, tenemos que hacer las simulaciones en la plataforma 3DEXPIENCE y allí nos pide seleccionar las herramientas correspondientes, también tenemos que saber las informaciones concretas de cada fase de mecanizado de. A la hora de seleccionar las herramientas de mecanizado, Consultamos el Catálogo General de MITSUBISHI.

1.1 FICHAS DE DISEÑO 01 (estudio previo, de la pieza aeroespacial)



1.1.1 Facing.

En esta fase la herramienta que seleccionamos es VPX300-063A06AR.



Right hand tool holder only.

DC	Set Bolt	Geometry
φ40	HSC08025H	
φ50, φ63	HSC10030H	
φ80	HSC12035H	

Arbor Type

With Coolant Hole

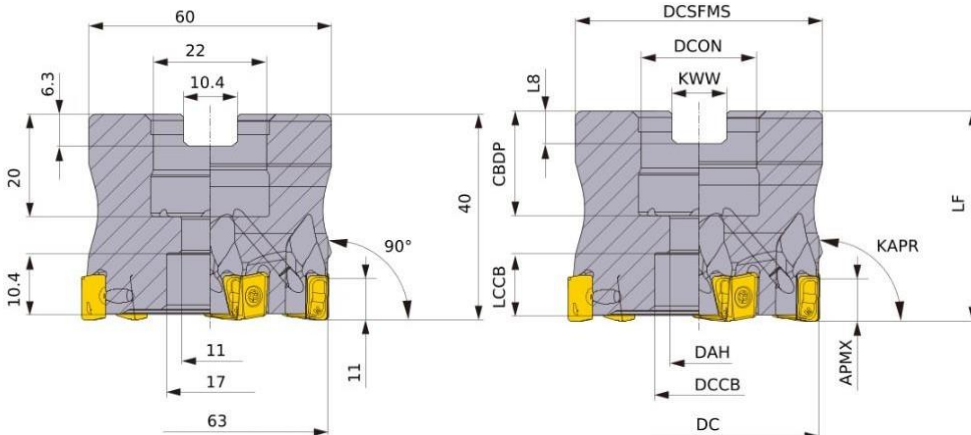
GAMP: -6° T: +5°
GAMF: -22.5° I: +5°

DC = mm size, DCON = mm size, DCON = inch size

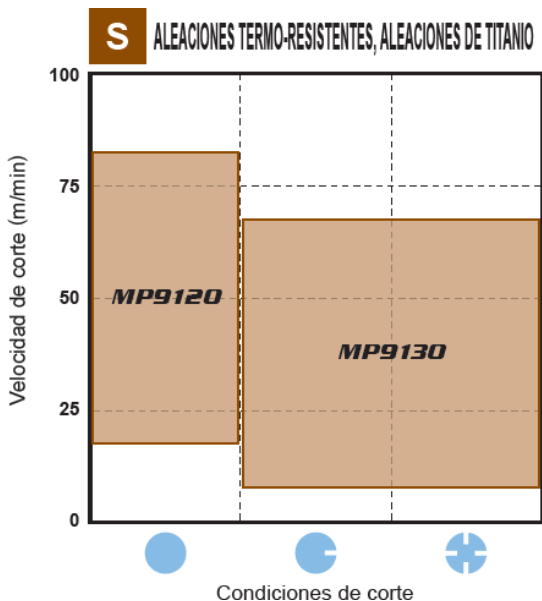
DC	Order Number	Stock	No.T *	LF	DCON	WT (kg)	APMX	RMPX	Max. Spindle Speed (min ⁻¹)		Insert Type
40	VPX300-040A03AR	●	3	40	16	0.21	11	1.06°	17900		LOGU12
40	VPX300-040A04AR	●	4	40	16	0.21	11	1.06°	17900		LOGU12
50	VPX300-050A04AR	●	4	40	22	0.34	11	0.79°	15500		LOGU12
50	VPX300-050A06AR	●	6	40	22	0.33	11	0.79°	15500		LOGU12
63	VPX300-063A06AR	●	6	40	22	0.61	11	0.60°	13400		LOGU12
63	VPX300-063A08AR	●	8	40	22	0.62	11	0.60°	13400		LOGU12

Número de referencia
VPX300-063A06AR

Número de referencia
VPX300-063A06AR



En nuestro caso, el material del bruto es Inconel 718, es una aleación de termo-resistente, por lo tanto, el tipo MP9130



Las plaquitas de planeado seleccionamos LOGU1207080PNER-M

Inserts (mm)

Work Material: P Steel, M Stainless Steel, K Cast Iron, N Non-ferrous Metal, **S Heat-resistant Alloy, Titanium Alloy**, H Hardened Steel

Cutting Conditions (Guide): ● Stable Cutting, ● General Cutting, ✖ Unstable Cutting

Honing: E Round, F Sharp

Shape	Order Number	Class	Honing	Coates					Carbide					Geometry			
				MC9020	MP9120	MP7130	MP9130	VP151P	TF15	L	RE	LE	S		BS	D1	
	LOGU1207020PNER-M	G	E	●	●	●	●	●	●	●	12.4	0.2	11.3	7.0	3.0	4.4	
	LOGU1207040PNER-M	G	E	●	●	●	●	●	●	●	12.4	0.4	11.3	7.0	2.8	4.4	
	LOGU1207080PNER-M	G	E	●	●	●	●	●	●	●	12.4	0.8	11.3	7.0	2.4	4.4	
	LOGU1207100PNER-M	G	E	●	●	●	●	●	●	●	12.4	1.0	11.3	7.0	2.3	4.4	
	LOGU1207120PNER-M	G	E	●	●	●	●	●	●	●	12.4	1.2	11.3	7.0	2.1	4.4	
	LOGU1207160PNER-M	G	E	●	●	●	●	●	●	●	12.4	1.6	11.3	7.0	1.7	4.4	
	LOGU1207200PNER-M	G	E	●	●	●	●	●	●	●	12.4	2.0	11.3	7.0	1.4	4.4	
	LOGU1207240PNER-M	G	E	●	●	●	●	●	●	●	12.4	2.4	11.3	7.0	1.0	4.4	
	LOGU1207300PNER-M	G	E	●	●	●	●	●	●	●	12.4	3.0	11.3	7.0	0.5	4.4	
	LOGU1207320PNER-M	G	E	●	●	●	●	●	●	●	12.4	3.2	11.3	7.0	0.3	4.4	
	LOGU1207020PNFR-M	G	F	●						●	12.4	0.2	11.3	7.0	3.0	4.4	
	LOGU1207040PNFR-M	G	F	●						●	12.4	0.4	11.3	7.0	2.8	4.4	
	LOGU1207080PNFR-M	G	F	●						●	12.4	0.8	11.3	7.0	2.4	4.4	
	LOGU1207100PNFR-M	G	F	●						●	12.4	1.0	11.3	7.0	2.3	4.4	
	LOGU1207120PNFR-M	G	F	●						●	12.4	1.2	11.3	7.0	2.1	4.4	
	LOGU1207160PNFR-M	G	F	●						●	12.4	1.6	11.3	7.0	1.7	4.4	
	LOGU1207200PNFR-M	G	F	●						●	12.4	2.0	11.3	7.0	1.4	4.4	
	LOGU1207240PNFR-M	G	F	●						●	12.4	2.4	11.3	7.0	1.0	4.4	
	LOGU1207300PNFR-M	G	F	●						●	12.4	3.0	11.3	7.0	0.5	4.4	
	LOGU1207320PNFR-M	G	F	●						●	12.4	3.2	11.3	7.0	0.3	4.4	

Right hand insert only.

Por otra parte, consideramos la profundidad de corte radial (distance between path, 'ae') es 0,5 DC, es decir 31,5 mm, según el catálogo la velocidad de corte es 30m/min.

Multi-functional Cutter for High Efficiency Machining

VPX300

Recommended Cutting Conditions

Wet Cutting Cutting Speed

Work Material	Properties	Cutting Conditions	Insert		ae				
			Grade	Chip Breaker	vc (m/min)				
					≤0.25DC	0.25	0.5DC	0.5-0.75DC	DC(Slot)
P	Mild Steel	≤180HB	● ● ●	MP8120	M	140 (100-190)	130 (90-180)	100 (70-120)	100 (70-120)
			● ● ●	VP15TF	M	140 (100-190)	130 (90-180)	100 (70-120)	100 (70-120)
			● ● *	MP8130	M	140 (100-190)	130 (90-180)	100 (70-120)	100 (70-120)
	Carbon Steel Alloy Steel Alloy Tool Steel	180-350HB ≤350HB (Annealing)	● ● ●	MP8120	M	120 (90-140)	110 (80-130)	100 (70-120)	100 (70-120)
			● ● ●	VP15TF	M	120 (90-140)	110 (80-130)	100 (70-120)	100 (70-120)
			● ● *	MP8130	M	120 (90-140)	110 (80-130)	100 (70-120)	100 (70-120)
Pre-hardened Steel	35-45HRC	● ● ●	MP8120	M	100 (80-120)	90 (70-110)	80 (60-100)	80 (60-100)	
		● ● ●	VP15TF	M	100 (80-120)	90 (70-110)	80 (60-100)	80 (60-100)	
		● ● *	MP8130	M	100 (80-120)	90 (70-110)	80 (60-100)	80 (60-100)	
M	Austenitic Stainless Steel	≤200HB	● ● ●	MP7130	M	120 (100-150)	110 (90-140)	90 (70-120)	90 (70-120)
			● ● ●	VP15TF	M	120 (100-150)	110 (90-140)	90 (70-120)	90 (70-120)
			● ● ●	MP7130	M	100 (80-130)	90 (70-120)	70 (50-100)	70 (50-100)
	Duplex Stainless Steel	≤280HB	● ● ●	VP15TF	M	100 (80-130)	90 (70-120)	70 (50-100)	70 (50-100)
			● ● ●	MP7130	M	100 (80-130)	90 (70-120)	70 (50-100)	70 (50-100)
			● ● ●	VP15TF	M	100 (80-130)	90 (70-120)	70 (50-100)	70 (50-100)
	Ferritic and Martensitic Stainless Steel	—	● ● ●	MP7130	M	120 (100-150)	110 (90-140)	90 (70-120)	90 (70-120)
	Precipitation Hardening Stainless Steel	<450HB	● ● ●	VP15TF	M	120 (100-150)	110 (90-140)	90 (70-120)	90 (70-120)
			● ● ●	MP7130	M	90 (70-120)	80 (60-110)	60 (40-90)	60 (40-90)
			● ● ●	VP15TF	M	90 (70-120)	80 (60-110)	60 (40-90)	60 (40-90)
K	Gray Cast Iron	Tensile Strength ≤350MPa	● ● ●	MC5020	M	180 (160-220)	170 (150-210)	150 (130-190)	150 (130-190)
			● ● ●	VP15TF	M	130 (100-150)	120 (90-140)	100 (80-120)	100 (80-120)
			● ● ●	MC5020	M	180 (140-180)	150 (130-170)	130 (110-150)	130 (110-150)
Ductile Cast Iron	Tensile Strength ≤800MPa	● ● ●	VP15TF	M	110 (80-140)	100 (70-130)	80 (60-120)	80 (60-120)	
		● ● ●	MC5020	M	110 (80-140)	100 (70-130)	80 (60-120)	80 (60-120)	
		● ● ●	VP15TF	M	90 (70-120)	80 (60-110)	60 (40-90)	60 (40-90)	
N	Aluminum Alloy	Si<5%	● ● ●	TF15	M	600 (400-1000)	600 (400-1000)	600 (400-1000)	600 (400-1000)
S	Titanium Alloy (Ti-6Al-4V, etc.)	—	● ● ●	MP9120	M	50 (40-70)	50 (40-70)	50 (40-70)	50 (40-70)
			● ● ●	VP15TF	M	50 (40-70)	50 (40-70)	50 (40-70)	50 (40-70)
			● ● *	MP9130	M	40 (30-60)	40 (30-60)	40 (30-60)	40 (30-60)
	Titanium Alloy (Ti-5Al-5V-2Mo-3Cr, etc.)	—	● ● ●	MP9120	M	30 (20-40)	30 (20-40)	30 (20-40)	30 (20-40)
			● ● ●	VP15TF	M	30 (20-40)	30 (20-40)	30 (20-40)	30 (20-40)
Heat Resistant Alloy	—	● ● ●	MP8130	M	30 (20-40)	30 (20-40)	30 (20-40)	30 (20-40)	
		● ● ●	MP9120	M	40 (30-60)	40 (30-60)	40 (30-60)	40 (30-60)	
		● ● ●	VP15TF	M	40 (30-60)	40 (30-60)	40 (30-60)	40 (30-60)	
H	Hardened Steel	40-55HRC	● ● ●	MP9130	M	30 (20-40)	30 (20-40)	30 (20-40)	30 (20-40)
			● ● ●	VP15TF	M	90 (70-100)	85 (60-100)	70 (50-80)	70 (50-80)

La profundidad de corte axial (en nuestro caso es Maximum depth of cut) según el catálogo elegimos 6 mm ya que dejamos 1 mm para offset on top y el planeado tiene que quitar 5 mm profundidad de material.

VPX300

Recommended Cutting Conditions

Cutting Conditions (Guide) :

● : Stable Cutting ● : General Cutting ※ : Unstable Cutting

Wet Cutting

Depth of Cut / Feed per Tooth

(mm)

Work Material	Properties	ae	Cutting Conditions	DC				
				a25		a28 a30		
				ap	fz (mm/t)	ap	fz (mm/t)	
K Gray Cast Iron	Tensile Strength ≤350MPa	≤0.25DC	● ●	≤11	0.1 - 0.2	≤11	0.1 - 0.3	
			● ● ※	≤11	0.08 - 0.15	≤11	0.1 - 0.25	
		0.25 - 0.5DC	● ●	≤11	0.08 - 0.15	≤11	0.1 - 0.25	
			● ● ※	≤11	0.08 - 0.12	≤11	0.1 - 0.2	
		0.5 - 0.75DC	● ●	≤8	0.08 - 0.12	≤8	0.1 - 0.2	
	● ● ※		≤8	0.06 - 0.1	≤8	0.08 - 0.15		
	Ductile Cast Iron	Tensile Strength ≤800MPa	≤0.25DC	● ●	≤11	0.1 - 0.2	≤11	0.1 - 0.25
				● ● ※	≤11	0.1 - 0.15	≤11	0.1 - 0.2
			0.25 - 0.5DC	● ●	≤11	0.1 - 0.15	≤11	0.1 - 0.2
				● ● ※	≤11	0.08 - 0.12	≤11	0.1 - 0.15
0.5 - 0.75DC			● ●	≤8	0.08 - 0.12	≤8	0.1 - 0.15	
	● ● ※	≤8	0.06 - 0.1	≤8	0.08 - 0.12			
N Aluminum Alloy	Si<5%	≤0.25DC	● ●	≤11	0.1 - 0.2	≤11	0.1 - 0.2	
			● ● ※	≤11	0.1 - 0.2	≤11	0.1 - 0.2	
		0.25 - 0.5DC	● ●	≤11	0.1 - 0.2	≤11	0.1 - 0.2	
			● ● ※	≤11	0.1 - 0.15	≤11	0.1 - 0.15	
		0.5 - 0.75DC	● ●	≤8	0.08 - 0.15	≤8	0.08 - 0.15	
	● ● ※		≤8	0.06 - 0.15	≤8	0.08 - 0.15		
	S Titanium Alloy (Ti-6Al-4V,etc.)	—	≤0.25DC	● ● ※	≤11	0.08 - 0.15	≤11	0.08 - 0.15
				● ● ※	≤11	0.08 - 0.12	≤11	0.08 - 0.12
			0.25 - 0.5DC	● ● ※	≤11	0.08 - 0.12	≤11	0.08 - 0.12
				● ● ※	≤8	0.06 - 0.1	≤8	0.06 - 0.1
0.5 - 0.75DC			● ● ※	≤8	0.06 - 0.1	≤8	0.06 - 0.1	
	● ● ※	≤5	0.06 - 0.1	≤5	0.06 - 0.1			
Titanium Alloy (Ti-5Al-5V-5Mo-3Cr,etc.)	—	≤0.25DC	● ● ※	≤11	0.08 - 0.12	≤11	0.08 - 0.12	
			● ● ※	≤11	0.08 - 0.12	≤11	0.08 - 0.12	
		0.25 - 0.5DC	● ● ※	≤8	0.06 - 0.1	≤8	0.06 - 0.1	
			● ● ※	≤8	0.06 - 0.1	≤8	0.06 - 0.1	
		0.5 - 0.75DC	● ● ※	≤5	0.06 - 0.1	≤5	0.06 - 0.1	
● ● ※	≤5		0.06 - 0.1	≤5	0.06 - 0.1			
Heat Resistant Alloy	—	≤0.25DC	● ● ※	≤11	0.08 - 0.12	≤11	0.08 - 0.12	
			● ● ※	≤11	0.08 - 0.12	≤11	0.08 - 0.12	
		0.25 - 0.5DC	● ● ※	≤8	0.06 - 0.1	≤8	0.06 - 0.1	
			● ● ※	≤8	0.06 - 0.1	≤8	0.06 - 0.1	
		0.5 - 0.75DC	● ● ※	≤5	0.06 - 0.1	≤5	0.06 - 0.1	
● ● ※	≤5		0.06 - 0.1	≤5	0.06 - 0.1			
H Hardened Steel	40 - 55HRC	≤0.25DC	● ●	≤5	0.08 - 0.15	≤5	0.08 - 0.15	
			● ● ※	≤5	0.08 - 0.12	≤5	0.08 - 0.12	
		0.25 - 0.5DC	● ●	≤4	0.08 - 0.12	≤4	0.08 - 0.12	
			● ● ※	≤4	0.06 - 0.1	≤4	0.06 - 0.1	
		0.5 - 0.75DC	● ●	≤3	0.06 - 0.1	≤3	0.06 - 0.1	
	● ● ※		≤3	0.06 - 0.1	≤3	0.06 - 0.08		
	DC(Slot)	—	● ●	● ●	≤2	0.06 - 0.1	≤2	0.06 - 0.1
				● ● ※	≤2	0.06 - 0.1	≤2	0.06 - 0.08
			● ●	● ●	≤2	0.06 - 0.1	≤2	0.06 - 0.1
				● ● ※	≤2	0.06 - 0.1	≤2	0.06 - 0.08
● ●			● ●	≤2	0.06 - 0.1	≤2	0.06 - 0.08	

1.1.2 Profile Contouring.

En esta fase la herramienta que seleccionamos es VPX200R2003SA20S.

Multi-functional Cutter for High Efficiency Machining

MULTI-FUNCTIONAL MILLING 90° KAPR F R

VPX200

P M K N S H




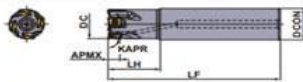
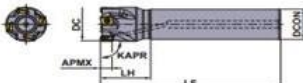
Fig.1 

Fig.2 

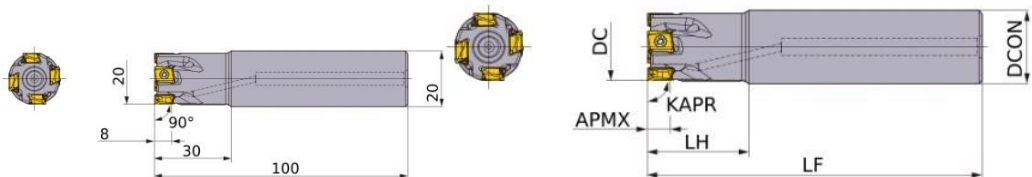
Right hand tool holder only.

Shank Type
With Coolant Hole

DC	Order Number	Stock	No.T		DCON	LF	LH	APMX	RMPX	Max. Spindle Speed (min ⁻¹)	WT (g)	Fig.	Insert Type
			●	*									
16	VPX200R1602SA16S	●	2	16	85	25	8	1.85°	37900	0.11	1	LOGU09	
18	VPX200R1802SA16S	●	2	16	85	25	8	1.56°	35300	0.12	2	LOGU09	
18	VPX200R1802SA16L	●	2	16	120	25	8	1.56°	35300	0.17	2	LOGU09	
20	VPX200R2002SA16S	●	2	16	100	25	8	1.35°	33200	0.14	2	LOGU09	
20	VPX200R2003SA16S	●	3	16	100	25	8	1.35°	33200	0.14	2	LOGU09	
20	VPX200R2002SA20S	●	2	20	100	30	8	1.35°	33200	0.21	1	LOGU09	
20	VPX200R2003SA20S	●	3	20	100	30	8	1.35°	33200	0.21	1	LOGU09	

Número de referencia
VPX200R2003SA20S


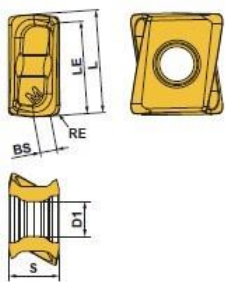
Número de referencia
VPX200R2003SA20S



Las plaquitas en esta fase seleccionamos LOGU0904080PNER-M

Inserts

(mm)

Work Material	P	Steel		●	●												Cutting Conditions (Guide) : ● : Stable Cutting ● : General Cutting ✖ : Unstable Cutting		
	M	Stainless Steel				●													
Shape	K	Cast Iron		●													Honing : E : Round F : Sharp		
	N	Non-ferrous Metal																	
	S	Heat-resistant Alloy, Titanium Alloy																	
	H	Hardened Steel																	
Order Number	Class	Honing	Coated					Carbide	L	RE	LE	S	BS	D1	Geometry				
			MC 5020	MP6120	MP6130	MP7130	MP9120	MP9130								VP15TF	TF-15		
	LOGU0904020PNER-M	G	E	●	●	●	●	●	●			8.7	0.2	7.6	4.3	1.7	3		
	LOGU0904040PNER-M	G	E	●	●	●	●	●	●			8.7	0.4	7.6	4.3	1.6	3		
	LOGU0904080PNER-M	G	E	●	●	●	●	●	●			8.7	0.8	7.6	4.3	1.2	3		
	LOGU0904100PNER-M	G	E	●	●	●	●	●	●			8.7	1	7.6	4.3	1	3		
	LOGU0904120PNER-M	G	E	●	●	●	●	●	●			8.7	1.2	7.6	4.3	0.9	3		
	LOGU0904160PNER-M	G	E	●	●	●	●	●	●			8.7	1.6	7.6	4.3	0.5	3		
	LOGU0904020PNFR-M	G	F							●			8.7	0.2	7.6	4.3	1.7		3
	LOGU0904040PNFR-M	G	F							●			8.7	0.4	7.6	4.3	1.6		3
	LOGU0904080PNFR-M	G	F							●			8.7	0.8	7.6	4.3	1.2		3
	LOGU0904100PNFR-M	G	F							●			8.7	1	7.6	4.3	1		3
	LOGU0904120PNFR-M	G	F							●			8.7	1.2	7.6	4.3	0.9		3
	LOGU0904160PNFR-M	G	F							●			8.7	1.6	7.6	4.3	0.5		3

Por otra parte, consideramos la profundidad de corte radial (ae) es 0,5 DC, es decir 10 mm, según el catálogo la velocidad de corte es 30m/min. Se muestra en la figura siguiente.

Multi-functional Cutter for High Efficiency Machining

VPX200

Recommended Cutting Conditions

Wet Cutting

Cutting Speed

Work Material	Properties	Cutting Conditions	Insert		ae			
			Grade	Chip Breaker	≤0.25DC	0.25-0.5DC	0.5-0.75DC	
					vc (m/min)			
P Mild Steel	≤180HB	● ● ●	MP6120	M	140 (100-190)	130 (90-180)	100 (70-120)	
		● ● ●	VP15TF	M	140 (100-190)	130 (90-180)	100 (70-120)	
		● ● ●	MP6130	M	140 (100-190)	130 (90-180)	100 (70-120)	
	Carbon Steel Alloy Steel Alloy Tool Steel (Annealing)	180-350HB ≤350HB	● ● ●	MP6120	M	120 (90-140)	110 (80-130)	100 (70-120)
			● ● ●	VP15TF	M	120 (90-140)	110 (80-130)	100 (70-120)
			● ● ●	MP6130	M	120 (90-140)	110 (80-130)	100 (70-120)
	Pre-hardened Steel	35-45HRC	● ● ●	MP6120	M	100 (80-120)	90 (70-110)	80 (60-100)
			● ● ●	VP15TF	M	100 (80-120)	90 (70-110)	80 (60-100)
			● ● ●	MP6130	M	100 (80-120)	90 (70-110)	80 (60-100)
M Austenitic Stainless Steel	≤200HB	● ● ●	MP7130	M	120 (100-150)	110 (90-140)	90 (70-120)	
		● ● ●	VP15TF	M	120 (100-150)	110 (90-140)	90 (70-120)	
		● ● ●	MP7130	M	100 (80-130)	90 (70-110)	70 (50-100)	
	>200HB	● ● ●	VP15TF	M	100 (80-130)	90 (70-110)	70 (50-100)	
		● ● ●	MP7130	M	100 (80-130)	90 (70-120)	70 (50-100)	
		● ● ●	VP15TF	M	100 (80-130)	90 (70-120)	70 (50-100)	
	Duplex Stainless Steel	≤280HB	● ● ●	MP7130	M	100 (80-130)	90 (70-120)	70 (50-100)
			● ● ●	VP15TF	M	100 (80-130)	90 (70-120)	70 (50-100)
			● ● ●	MP7130	M	120 (100-150)	110 (90-140)	90 (70-120)
Ferritic and Martensitic Stainless Steel	—	● ● ●	MP7130	M	120 (100-150)	110 (90-140)	90 (70-120)	
		● ● ●	VP15TF	M	120 (100-150)	110 (90-140)	90 (70-120)	
		● ● ●	MP7130	M	90 (70-120)	80 (60-110)	60 (40-90)	
Precipitation Hardening Stainless Steel	<450HB	● ● ●	MP7130	M	90 (70-120)	80 (60-110)	60 (40-90)	
		● ● ●	VP15TF	M	90 (70-120)	80 (60-110)	60 (40-90)	
		● ● ●	VP15TF	M	180 (160-220)	170 (150-210)	150 (130-190)	
K Gray Cast Iron	Tensile Strength ≤350MPa	● ● ●	MC5020	M	180 (160-220)	170 (150-210)	150 (130-190)	
		● ● ●	VP15TF	M	130 (100-150)	120 (90-140)	100 (80-120)	
		● ● ●	MC5020	M	160 (140-180)	150 (130-170)	130 (110-150)	
Ductile Cast Iron	Tensile Strength ≤800MPa	● ● ●	MC5020	M	160 (140-180)	150 (130-170)	130 (110-150)	
		● ● ●	VP15TF	M	110 (80-140)	100 (70-130)	80 (60-120)	
		● ● ●	VP15TF	M	800 (400-1000)	600 (400-1000)	600 (400-1000)	
S Aluminum Alloy	Si<5%	● ● ●	TF15	M	600 (400-1000)	600 (400-1000)	600 (400-1000)	
		● ● ●	MP6120	M	50 (40-70)	50 (40-70)	50 (40-70)	
		● ● ●	VP15TF	M	50 (40-70)	50 (40-70)	50 (40-70)	
	Titanium Alloy (Ti-6Al-4V, etc.)	—	● ● ●	MP6130	M	40 (30-60)	40 (30-60)	40 (30-60)
			● ● ●	MP6120	M	30 (20-40)	30 (20-40)	30 (20-40)
			● ● ●	VP15TF	M	30 (20-40)	30 (20-40)	30 (20-40)
	Titanium Alloy (Ti-6Al-2V, etc.)	—	● ● ●	MP6130	M	30 (20-40)	30 (20-40)	30 (20-40)
			● ● ●	MP6120	M	40 (30-60)	40 (30-60)	40 (30-60)
			● ● ●	VP15TF	M	40 (30-60)	40 (30-60)	40 (30-60)
Heat Resistant Alloy	—	● ● ●	MP6130	M	30 (20-40)	30 (20-40)	30 (20-40)	
		● ● ●	VP15TF	M	90 (70-100)	85 (60-100)	70 (50-80)	
		● ● ●	VP15TF	M	90 (70-100)	85 (60-100)	70 (50-80)	
H Hardened Steel	40-55HRC	● ● ●	VP15TF	M	90 (70-100)	85 (60-100)	70 (50-80)	

(Note 1) These cutting conditions should be referenced for standard shank types (last letter in designation is S) and arbor shank types. If there is chatter, insert chipping, etc. during machining, alter conditions accordingly.

(Note 2) Chattering vibration is more likely under the following circumstances. Use a cut and feed per tooth that are at minimum recommended conditions or below.

- When tool overhang is long (using a long shank, screw-in type, etc.)
- Rigidity of machine, work material or attachment of work material is low
- Corner radius during pocket machining

(Note 3) A type with fewer teeth is recommended when the depth of cut in the radius direction (ae) is 0.5 DC or more.

(Note 4) Wet cutting is recommended, when focusing on the surface finish. (Service life is shorter than for dry cutting.)

(Note 5) When using under higher than recommended cutting conditions, or for long periods of time, the bit may become fatigued and break during machining. Please change out the bit periodically.

La profundidad máxima de corte axial según el catálogo elegimos 5 mm. Se muestra en la figura siguiente.

Multi-functional Cutter for High Efficiency Machining

VPX200

Recommended Cutting Conditions

Cutting Conditions (Guide):

● : Stable Cutting ● : General Cutting ✖ : Unstable Cutting

Wet Cutting

Depth of Cut / Feed per Tooth

(mm)

Work Material	Properties	ae	Cutting Conditions	DC					
				ø16-ø18		ø20-ø25		ø28-ø63	
				ap	fz (mm/t.)	ap	fz (mm/t.)	ap	fz (mm/t.)
N Aluminum Alloy	Si < 5%	≤0.25DC	● ● ✖	≤6	0.1 -0.2	≤8	0.1 -0.25	≤8	0.1 -0.25
			● ● ✖	≤6	0.1 -0.15	≤8	0.1 -0.2	≤8	0.1 -0.2
		0.25 - 0.5DC	● ● ✖	≤5	0.1 -0.15	≤8	0.1 -0.2	≤8	0.1 -0.2
			● ● ✖	≤5	0.08-0.12	≤8	0.1 -0.15	≤8	0.1 -0.15
0.5 - 0.75DC	● ● ✖	≤4	0.08-0.12	≤6	0.06-0.15	≤6	0.08-0.15		
	● ● ✖	≤4	0.06-0.1	≤6	0.06-0.15	≤6	0.08-0.15		
DC(Slot)	● ● ✖	≤2	0.06-0.1	≤4	0.06-0.15	≤4	0.08-0.15		
	● ● ✖	≤2	0.06-0.08	≤4	0.06-0.12	≤4	0.08-0.12		
S Titanium Alloy (Ti-6Al-4V, etc.)	-	≤0.25DC	● ● ✖	≤6	0.08-0.15	≤8	0.08-0.15	≤8	0.08-0.15
			● ● ✖	≤5	0.08-0.12	≤8	0.08-0.12	≤8	0.08-0.12
		0.25 - 0.5DC	● ● ✖	≤4	0.06-0.1	≤6	0.06-0.1	≤6	0.06-0.1
			● ● ✖	≤4	0.06-0.1	≤6	0.06-0.1	≤6	0.06-0.1
DC(Slot)	● ● ✖	≤2	0.06-0.1	≤4	0.06-0.1	≤4	0.06-0.1		
	● ● ✖	≤2	0.06-0.1	≤4	0.06-0.1	≤4	0.06-0.1		
Titanium Alloy (Ti-5Al-5V-5Mo-3Cr, etc.)	-	≤0.25DC	● ● ✖	≤6	0.08-0.12	≤8	0.08-0.12	≤8	0.08-0.12
			● ● ✖	≤5	0.08-0.12	≤8	0.08-0.12	≤8	0.08-0.12
		0.25 - 0.5DC	● ● ✖	≤4	0.06-0.1	≤6	0.06-0.1	≤6	0.06-0.1
			● ● ✖	≤4	0.06-0.1	≤6	0.06-0.1	≤6	0.06-0.1
DC(Slot)	● ● ✖	≤2	0.06-0.1	≤4	0.06-0.1	≤4	0.06-0.1		
	● ● ✖	≤2	0.06-0.1	≤4	0.06-0.1	≤4	0.06-0.1		
Heat Resistant Alloy	-	≤0.25DC	● ● ✖	≤6	0.08-0.12	≤8	0.08-0.12	≤8	0.08-0.12
			● ● ✖	≤5	0.08-0.12	≤8	0.08-0.12	≤8	0.08-0.12
		0.25 - 0.5DC	● ● ✖	≤4	0.06-0.1	≤6	0.06-0.1	≤6	0.06-0.1
			● ● ✖	≤4	0.06-0.1	≤6	0.06-0.1	≤6	0.06-0.1
DC(Slot)	● ● ✖	≤2	0.06-0.1	≤4	0.06-0.1	≤4	0.06-0.1		
	● ● ✖	≤2	0.06-0.1	≤4	0.06-0.1	≤4	0.06-0.1		
H Hardened Steel	40-55HRC	≤0.25DC	● ● ✖	≤4	0.08-0.15	≤4	0.08-0.15	≤4	0.08-0.15
			● ● ✖	≤4	0.08-0.12	≤4	0.08-0.12	≤4	0.08-0.12
		0.25 - 0.5DC	● ● ✖	≤3	0.08-0.12	≤3	0.08-0.12	≤3	0.08-0.12
			● ● ✖	≤3	0.06-0.1	≤3	0.06-0.1	≤3	0.06-0.1
		0.5 - 0.75DC	● ● ✖	≤2	0.06-0.1	≤2	0.06-0.1	≤2	0.06-0.1
			● ● ✖	≤2	0.06-0.1	≤2	0.06-0.1	≤2	0.06-0.1
DC(Slot)	● ● ✖	≤1	0.06-0.1	≤1	0.06-0.1	≤1	0.06-0.1		
● ● ✖	≤1	0.06-0.1	≤1	0.06-0.1	≤1	0.06-0.1			

1.1.3 Pocketing.

Debido a la geometría de la pieza diseño_1, tiene un límite que el diámetro de la herramienta debe inferior que 4mm, según el catalogo, seleccionamos una fresa cuadrada, que es **MSMHDD0400**.

FRESAS INTEGRALES MSTAR

MSMHD
Alto rendimiento, Longitud media, 4 hélices

Acero Carbono, Acero Aleado, Ferralloy (<35HRC)	Acero inoxidable, Acero Resistent, Ferralloy (<45HRC)	Acero Endurado (<55HRC)	Acero Endurado (>55HRC)	Acero Inoxidable Austenítico	Aleado de Titanio, Aleados, Aleados Resistentes	Aleación de Cobre	Aleación de Aluminio
---	---	-------------------------	-------------------------	------------------------------	---	-------------------	----------------------

	D1 ≤ 12	D1 > 12			
	0 - 0.020	0 - 0.030			
h6	4 ≤ D4 ≤ 8	8 ≤ D4 ≤ 10	12 ≤ D4 ≤ 16	20 ≤ D4 ≤ 25	
	0 - 0.008	0 - 0.009	0 - 0.011	0 - 0.013	

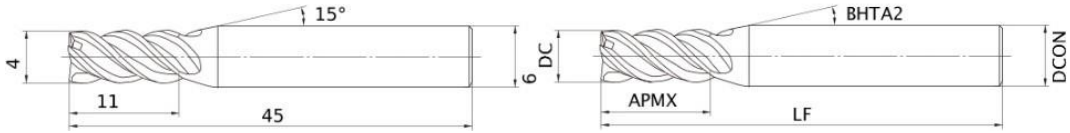
● Fresa frontal de alto rendimiento con 4 hélices.

Unidad : mm

Referencia	D1	ap	L1	D4	Hélices	Stock	Tipo
MSMHDD0200	2	4	45	4	4	●	1
D0210	2.1	5	45	4	4	●	1
D0220	2.2	5	45	4	4	●	1
D0230	2.3	5	45	4	4	●	1
D0240	2.4	5	45	4	4	●	1
D0250	2.5	5	45	4	4	●	1
D0260	2.6	6	45	4	4	●	1
D0270	2.7	6	45	4	4	●	1
D0280	2.8	6	45	4	4	●	1
D0290	2.9	6	45	4	4	●	1
D0300	3	8	45	6	4	●	1
D0310	3.1	8	45	6	4	●	1
D0320	3.2	8	45	6	4	●	1
D0330	3.3	8	45	6	4	●	1
D0340	3.4	8	45	6	4	●	1
D0350	3.5	8	45	6	4	●	1
D0360	3.6	11	45	6	4	●	1
D0370	3.7	11	45	6	4	●	1
D0380	3.8	11	45	6	4	●	1
D0390	3.9	11	45	6	4	●	1
D0400	4	11	45	6	4	●	1
D0410	4.1	12	45	6	4	●	1
D0420	4.2	12	45	6	4	●	1
D0430	4.3	12	45	6	4	●	1
D0440	4.4	12	45	6	4	●	1
D0450	4.5	12	45	6	4	●	1
D0460	4.6	13	50	6	4	●	1
D0470	4.7	13	50	6	4	●	1
D0480	4.8	13	50	6	4	●	1
D0490	4.9	13	50	6	4	●	1

Número de referencia
MSMHDD0400

Número de referencia
MSMHDD0400



Y la velocidad recomendada de revolución y avance según el catalogo es 3200mm/min y 240mm/min respectivamente. El avance radial seleccionamos 2 mm y la profundidad de corte 4mm.

FRESAS INTEGRALES MSTAR

CARGO
INICIAL ALORO

MSSH0

Alto rendimiento, Longitud corta, 4 hélices

MSMHD

Alto rendimiento, Longitud media, 4 hélices

CONDICIONES DE CORTE RECOMENDADAS

Fresa de esquadrar

Material	Acero Carbono, Fundición, Acero aleado (-30HRC)		Acero aleado, Acero para herramientas, Acero Pre-endurecido		Austenítico Acero Inoxidable, Aleación de Titanio		Acero endurecido (45-55HRC)		Aleaciones altamente resistentes	
	C153, GG25		X40CrMoV51		X5CrNi1810, X5CrNiMo17122, Ti6Al4V		X40CrMoV51		Inconel718	
Díametro (mm)	Revoluciones (min ⁻¹)	Avance (mm/min)	Revoluciones (min ⁻¹)	Avance (mm/min)	Revoluciones (min ⁻¹)	Avance (mm/min)	Revoluciones (min ⁻¹)	Avance (mm/min)	Revoluciones (min ⁻¹)	Avance (mm/min)
2	15000	550	10000	340	10000	320	6400	160	4800	100
3	11000	800	7400	500	7400	480	4800	250	4000	170
4	8000	900	5800	540	5800	520	3600	270	3200	240
5	6400	1000	4500	600	4500	580	2900	300	2000	240
6	5800	1100	3700	640	3700	600	2400	320	2100	230
8	4400	1100	2800	660	2800	600	1800	330	1600	220
10	3500	1000	2200	640	2200	580	1400	320	1300	200
12	2900	1000	1900	640	1900	530	1200	320	1100	170
16	2200	800	1400	500	1400	450	900	250	800	130
20	1800	750	1100	480	1100	440	720	230	640	100
25	1400	600	900	400	900	380	570	200	510	80

Profundidad de corte



D: Diámetro

8

1.1.4 Sweeping 1. Sweeping 2(Desbaste).

En esta fase dejamos 1 mm de offset para luego puede hacer el acabado. La herramienta que vamos a utilizar es VQ4SVBR0600.

FRESAS INTEGRALES VQ

VQ45VB NEW
Punta esférica, longitud de corte corta, 4 hélices, hélice variable

UWC VQ 45°

Acero Cobalto, Acero Inoxid. Austenítico, Fundido ($\leq 30\text{HRC}$) Acero Inoxid. Martensítico, Acero Inoxid. Austenítico ($\leq 45\text{HRC}$) Acero Endurecido ($\leq 55\text{HRC}$) Acero Endurecido ($> 55\text{HRC}$) Acero Inoxidable Austenítico Acero a Tiro, Resaca, Resaca Pasivada Aleación de Cobre Aleación de Aluminio

CUADRADO

PUNTA ESFÉRICA

R	1.5R ≤ 6		
	±0.010		
D1	≤ 12		
	0		
	- 0.020		
D4	± 6	8 ≤ D4 ≤ 10	D4 = 20
	0	0	0
	- 0.008	- 0.009	- 0.011

RADIOS

h6

- Fresa de punta esférica y 4 hélices con control de vibraciones y recubrimiento VQ.
- Ideal para mecanizado de acabados.

Unidad: mm

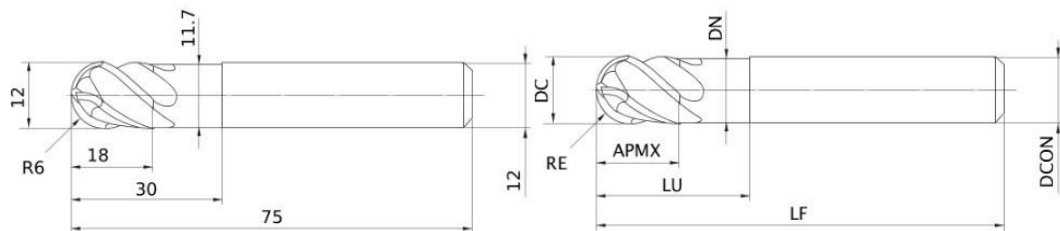
Referencia	R	D1	ap	Ls	Ds	L1	D4	Hélices	Stock	Tipo
VQ4SVBR0100	1	2	3	5	1.9	50	6	4	●	1
R0150	1.5	3	4.5	7.5	2.9	50	6	4	●	1
R0200	2	4	6	10	3.9	50	6	4	●	1
R0250	2.5	5	7.5	12.5	4.9	50	6	4	●	1
R0300	3	6	9	15	5.85	50	6	4	●	2
R0400	4	8	12	20	7.85	60	8	4	●	2
R0500	5	10	15	25	9.7	70	10	4	●	2
R0600	6	12	18	30	11.7	75	12	4	●	2

CÓNICO

FRESAS INTEGRALES

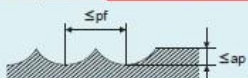
Número de referencia
VQ4SVBR0600

Número de referencia
VQ4SVBR0600



Y la velocidad recomendada de revolución y avance según el catalogo es 1700mm/min y 350mm/min respectivamente, y la velocidad de corte es 64 mm/min. Se muestra en la figura siguiente.

Material	Aleaciones termo-resistentes															
	Cobre, aleación de cobre						Inconel, etc.									
	$\alpha \leq 15^\circ$			$\alpha > 15^\circ$			Profundidad de corte ap (mm)	Avance pf (mm)	$\alpha \leq 15^\circ$			$\alpha > 15^\circ$			Profundidad de corte ap (mm)	Avance pf (mm)
Vel. de corte (m/min)	Revolución (min. ⁻¹)	Avance (mm/min.)	Vel. de corte (m/min)	Revolución (min. ⁻¹)	Avance (mm/min.)	Vel. de corte (m/min)			Revolución (min. ⁻¹)	Avance (mm/min.)	Vel. de corte (m/min)	Revolución (min. ⁻¹)	Avance (mm/min.)			
R 1	250	40000	8000	240	38000	4500	0.1	0.5	60	9600	960	40	6400	510	0.08	0.2
R 1.5	360	38000	9100	240	25000	3800	0.2	0.7	60	6400	640	40	4200	340	0.1	0.3
R 2	360	29000	7000	240	19000	3300	0.3	1	60	4800	580	40	3200	260	0.1	0.4
R 2.5	360	23000	6400	240	15000	3100	0.4	1.2	60	3800	530	39	2500	250	0.2	0.5
R 3	360	19000	5700	240	13000	2600	0.5	1.5	60	3200	500	40	2100	210	0.2	0.6
R 4	360	14000	5000	240	9600	2300	0.8	2	60	2400	430	40	1600	190	0.4	0.8
R 5	360	12000	5100	240	7700	2200	1	2.5	63	2000	420	41	1300	180	0.5	1
R 6	360	9600	4800	240	6400	2200	1.2	3	64	1700	350	41	1100	150	0.6	1.2



1.1.5 Sweeping 3. Sweeping 4(Acabado).

La herramienta en esta fase que vamos a utilizar es VQ4SVBR0300, ya que se realiza acabado y el radio de la herramienta es menor que la fase anterior. Se muestra en la figura siguiente.

FRESAS INTEGRALES VQ
VQ45VB NEW
 Punta esférica, longitud de corte corta, 4 hélices, hélice variable

Aceros Carbono, Aceros Aleados, Fundidos ($\leq 30\text{HRC}$)	Aceros Inoxidables, Aceros Aleados ($\leq 45\text{HRC}$)	Aceros Endurecidos ($\leq 55\text{HRC}$)	Aceros Endurecidos (>55HRC)	Aceros Inoxidables Acabados/Tricol	Aceros de Tapa, Resinas Epoxi, Pastillas	Aleación de Cobre	Aleación de Aluminio
---	---	---	-----------------------------	------------------------------------	--	-------------------	----------------------

CUADRADO

PUNTA ESFÉRICA

R	1.5R ≤ 6		
	±0.010		
D1	≤ 12		
	0		
	-0.020		
D4	6	8 ≤ D4 ≤ 10	D4 = 20
	0	0	0
	-0.008	-0.009	-0.011

RADIOS

- Fresa de punta esférica y 4 hélices con control de vibraciones y recubrimiento VQ.
- Ideal para mecanizado de acabados.

CÓNICO

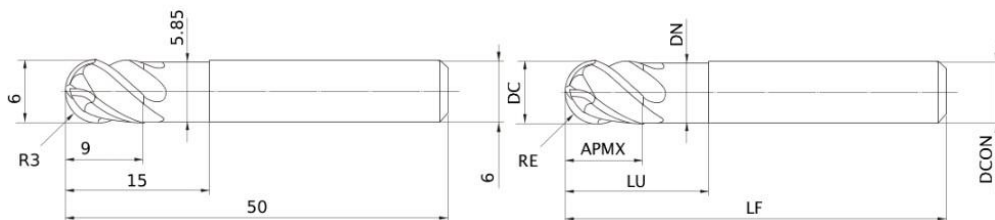
Unidad: mm

Referencia	R	D1	ap	Ls	D6	L1	D4	Hélices	Stock	Tipo
VQ4SVBR0100	1	2	3	5	1.9	50	6	4	●	1
R0150	1.5	3	4.5	7.5	2.9	50	6	4	●	1
R0200	2	4	6	10	3.9	50	6	4	●	1
R0250	2.5	5	7.5	12.5	4.9	50	6	4	●	1
R0300	3	6	9	15	5.85	50	6	4	●	2
R0400	4	8	12	20	7.85	60	8	4	●	2
R0500	5	10	15	25	9.7	70	10	4	●	2
R0600	6	12	18	30	11.7	75	12	4	●	2

ESAS INTEGRALES

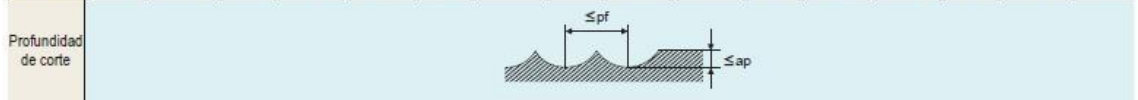
Número de referencia
VQ4SVBR0300

Número de referencia
VQ4SVBR0300



Y la velocidad recomendada de revolución y avance según el catalogo es 3200mm/min y 500mm/min respectivamente, y la velocidad de corte es 60 mm/min.

Material	Cobre, aleación de cobre										Aleaciones termo-resistentes					
											Inconel, etc.					
	$\alpha \leq 15^\circ$			$\alpha > 15^\circ$			Profundidad de corte ap (mm)	Avance pf (mm)	$\alpha \leq 15^\circ$			$\alpha > 15^\circ$			Profundidad de corte ap (mm)	Avance pf (mm)
Vel. de corte (m/min)	Revolución (min. ⁻¹)	Avance (mm/min.)	Vel. de corte (m/min)	Revolución (min. ⁻¹)	Avance (mm/min.)	Vel. de corte (m/min)			Revolución (min. ⁻¹)	Avance (mm/min.)	Vel. de corte (m/min)	Revolución (min. ⁻¹)	Avance (mm/min.)			
R 1	250	40000	8000	240	38000	4500	0.1	0.5	60	9600	960	40	6400	510	0.08	0.2
R 1.5	360	38000	9100	240	25000	3800	0.2	0.7	60	6400	640	40	4200	340	0.1	0.3
R 2	360	29000	7000	240	19000	3300	0.3	1	60	4800	580	40	3200	260	0.1	0.4
R 2.5	360	23000	6400	240	15000	3100	0.4	1.2	60	3800	530	39	2500	250	0.2	0.5
R 3	360	19000	5700	240	13000	2600	0.5	1.5	60	3200	500	40	2100	210	0.2	0.6
R 4	360	14000	5000	240	9600	2300	0.8	2	60	2400	430	40	1600	190	0.4	0.8
R 5	360	12000	5100	240	7700	2200	1	2.5	63	2000	420	41	1300	180	0.5	1
R 6	360	9600	4800	240	6400	2200	1.2	3	64	1700	350	41	1100	150	0.6	1.2



R:Radio

1.2 FICHAS DE DISEÑO 02

Según la geometría del diseño 02, se contiene varias superficies de curva y el menor radio es 10.6 mm (también puede ver el plano de diseño 02), por eso seleccionamos un tipo de herramienta Ball Mill con diámetro 12mm para el desbaste. Ya que es lo que tenemos en el laboratorio. El tipo de la herramienta es VQ4SVBR0600, que es lo mismo que Sweeping 1 de la pieza aeroespacial y los parámetros de mecanizado también son iguales.

2 ANEXO DE LA MÁQUINA

2.1 LA MÁQUINA GENTIGER_GT_66V

Para mecanizar las piezas utilizamos la máquina Gentiger_GT_66V, consultamos sus datos técnicos y se muestran en el siguiente:



2.1.1 LA MÁQUINA INDUSTRIAL

MÁQUINA INDUSTRIAL			
			<i>Unidades Sistema Internacional</i>
			<i>Separador unidades decimales (,)</i>
TIPO	Centro de Mecanizado		
CONFIGURACIÓN	VERTICAL		
ARQUITECTURA	Tipo E (X/YZ)		
FABRICANTE	Gentiger		
MODELO	GT-66V Serie T16B		

		Unidades
Potencia eje motor	26	kW
Velocidad de giro del husillo	20,000	r.p.m.
Cono del husillo	BT-40	
Velocidad de avance rápido	30	m/min
Velocidad de corte de avance	20	m/min
Refrigerante del husillo		Agua de refrigeración
Desplazamiento (X/Y/Z)	1.000x550x550	mm
Distancia de la mesa a la nariz del usillo		
Distancia del centro del husillo a la mesa	700	mm
Área mesa	1.100x550	mm
Ranura en T	18x5x100	mm
Altura de la mesa desde el suelo	850	mm
Máxima carga de la mesa	1,000	kg
Lubricante de los cojinetes	Grasa	
CONTROL NUMÉRICO		
FABRICANTE	Siemens	
MODELO	Sinumerik 840D	
SISTEMA ALMACÉN DE HERRAMIENTAS		
Sistema automático de cambio de herramientas	BT-40	
Capacidad del almacén	16	
TIPO ALMACÉN	Carrusel	
Tipo Cambiador	Directo	
Longitud máxima de herramienta	300	mm
Peso máximo de herramienta	18	kg
Motor del sistema de cambio de herramientas	40	W
Ejes X/Y/Z servo motor	4,7 (cada motor)	kW
Necesidad de presión del aire	5-7	kgf/cm ²
Motor aire acondicionado	3	A
Refrigerante del husillo	7,2A/3HP	

SISTEMA DE EXTRACCIÓN DE VIRUTA		
<i>Potencia Motor Transportador de viruta</i>	1/4	HP
<i>Guía protectora para los ejes</i>	150	W
<i>Refrigerante del motor</i>	0.5	HP
<i>Motor de retirada de viruta</i>		
<i>Potencia total</i>	45	kVA
<i>Depósito de refrigerante</i>	180	l
DATOS GENERALES MÁQUINA		
<i>Dimensiones</i>	3.700x2.300x3.450	mm
<i>Peso neto</i>	9,000	kg
<i>Peso bruto</i>	10,000	kg
Especificaciones eléctricas		
<i>Unidad de potencia</i>	Requisitos	P_{eléctrica}
<i>Servo motor (X)</i>	380V/ 3 PH	4,7/5,7kW
<i>Servo motor (Y)</i>	380V/ 3 PH	4,7/5,7kW
<i>Servo motor (Z)</i>	380V/ 3 PH	4,7/5,7kW
<i>Motor de giro</i>	380V/ 3 PH	
<i>Refrigerador</i>	220V/2PH	4HP
<i>Acondicionador de aire</i>	220V/1PH	0,5HP
<i>Motor del refrigerante</i>	380V/1HP	0,5HP
<i>Motor de retirada de viruta</i>	380V/1HP	0,5HP
<i>Refrigerante a través del husillo</i>	380V/3HP	0,5HP
<i>Transportador de viruta</i>	380V/3HP	0,25HP
<i>Motor cambio automático de herramientas</i>	220V/3HP	0,04kW
<i>Transformador</i>	220V/380V, 3HP	45kVA
<i>Requerimientos de potencia</i>	220V/3PH	125A
	380V/3PH	100A

2.1.2 INFORMACIÓN FABRICANTE

INFORMACIÓN FABRICANTE
Optimal Machine Structure
Specially designed T shape machine structure features superior rigidity. The width of column is the same as the base. The table is independently installed on base, and fully supported through the entire stroke, assuring maximum accuracy and dependability. Long term accuracy at high speed machining is assured.
Lifetime Accuracy
All castings are stress relieved and seasoning treated for long term accuracy and long service life.
Three Axes Ball Screws
Roller type linear guideways on three axes feature higher feedrate, resist heavier loads, ensure superior dynamic accuracy and a long service life.

High acceleration speed on 3 axes, X-axis 0.8G, Y-axis 0.9G, and Z-axis 1.0G. This outstanding design greatly reduces machining time while upgrading economical efficiency.
3 axes feedrate: rapid feedrate 30 m/min
Positioning accuracy: 0.005mm/Full Stroke. (ISO-230-2)
Repeatability: <0.004mm/Full Stroke. (ISO-230-2)
Cutter balance should be calibrated to within G2.5

2.1.3 ESPECIFICACION

SPECIFICATION			
	*		
MODEL	T15P	Y24A	S36E
Max. spindle speeds	15,000 rpm	24,000 rpm	36,000 rpm
Spindle taper	BT-40/BBT-40	HSK-A63	HSK-E50
Spindle motor	11 kw	18/23 kw	20/24 kw
Inner Dia. of spindle bearing	Ø70 mm	Ø65 mm	Ø50 mm
Bearing lubrication	Grease /	Oil-Air	Oil-Air
	Oil-air (opt.)		
Spindle cooling	Oil-cooling	Water-cooling	Water-cooling
Distance from spindle center to machine front	750 mm		
Table area	750 x 500 mm		
T-slot	18 x 5 x 100 mm		
Height of table from ground	800 mm		
Max. load of table (Average load)	400 kg		
Travel for X, Y, Z-axes	720 x 500 x 400mm		
Distance from table surface to spindle nose	150~550 mm		
Rapid feedrate	30 m/min		
Cutting feedrate	20 m/min		
Magazine capacity	16		
Max. tool length	250 mm		

Max. tool weight	5 kg		
Motor of tool magazine	60 W		
Max. Tool diameter	Ø80 mm		
X, Y & Z axis servomotors	X: 6.3 kw / Y: 5 kw / Z: 5kw		
Air pressure requirement	7 kgf/cm2		
Air conditioner	750 / 550 W		
Spindle cooler	1950 W	2650 W	2650 W
Automatic lubricator (Slideways)	150 W		
Coolant motor	750 W		
Total power consumption (Max.)	40 KVA	45 KVA	45 KVA

3 ANEXO DEL MATERIAL

El material de la pieza es de termo-resistente que es Inconel 718. Consultamos al software CES Edupack y obtener sus características con detalles son como el siguiente:

General information

Designation

Wrought Ni-Cr alloy: Inconel 718, Solution Treated

Condition	Solution treated
UNS number	N07718
US name	ASTM Grade N07718; AMS 5662-5664, 5832, 5914, 5962, 5596, 5597, 5950; ASME
EN name	NiCr19NbMo
EN number	2.4668
ISO name	ISO 9723-9725

Tradenames

INCONEL 718, Special Metals Corp. (USA)
 HAYNES 718, Haynes International Inc. (USA)
 ALTEMP 718 Solution treated, ATI Allegheny Ludlum (USA)
 PYROMET ALLOY 718, Carpenter Technology Corp. (USA)
 MSRR 7132, MSRR 7228, Rolls Royce (UK)
 WA2225.3, MTU (GERMANY)
 PWA 649, Pratt & Whitney (USA)
 CPW407, Pratt & Whitney (USA)
 DMD423.32, SNECMA (FRANCE)
 C50TF89, B50T68, B50TF16A, GE (USA)
 LA213, Turbomeca (FRANCE)
 EMS 55458, Garrett (USA)
 SUPERMET 718, Firth Rixson (USA)

Typical uses

Aerospace; High temperature applications; Heating elements; Furnace parts; Resistors; Electronic parts; Combustion systems; After-burners; Fuel nozzles; Chemical processing equipment; Pulp and paper manufacture; Marine architecture; Nuclear reactors;

Composition overview

Compositional summary

Ni50-55 / Cr17-21 / Fe11-25 / Mo2.8-3.3 / Nb2.4-2.8 / Ta2.4-2.8 / Ti0.65-1.2 / Al0.2-0.8 (impurities: Co<1, Mn<0.35, Si<0.35, Cu<0.3, C<0.08, P<0.015, S<0.015, B<0.006)
 Nb + Ta = 4.75 to 5.5

Material family	Metal (non-ferrous)
Base material	Ni (Nickel)

Composition detail (metals, ceramics and glasses)

Al (aluminum)	0,2	- 0,8	%
B (boron)	0	- 0,006	%
C (carbon)	0	- 0,08	%
Co (cobalt)	0	- 1	%
Cr (chromium)	17	- 21	%
Cu (copper)	0	- 0,3	%
Fe (iron)	11,1	- 24,6	%
Mn (manganese)	0	- 0,35	%

Mo (molybdenum)	2,8	- 3,3	%
Nb (niobium)	2,38	- 2,75	%
Ni (nickel)	50	- 55	%
P (phosphorus)	0	- 0,015	%
S (sulfur)	0	- 0,015	%
Si (silicon)	0	- 0,35	%
Ta (tantalum)	2,38	- 2,75	%
Ti (titanium)	0,65	- 1,15	%

Price

Price	* 11,4	- 13	EUR/kg
Price per unit volume	* 9,31e4	- 1,07e5	EUR/m^3

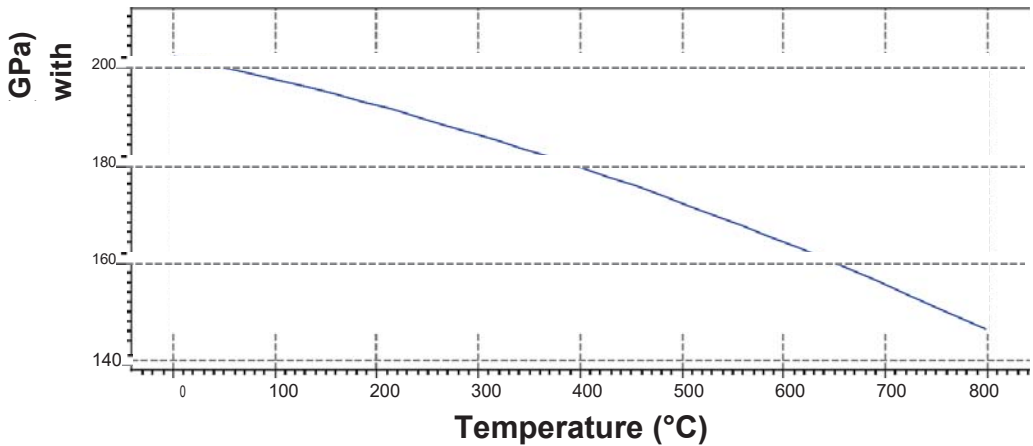
Physical properties

Density	8,18e3	- 8,26e3	kg/m^3
---------	--------	----------	--------

Mechanical properties

Young's modulus	203	- 213	GPa
Young's modulus with temperature	201	- 201	GPa

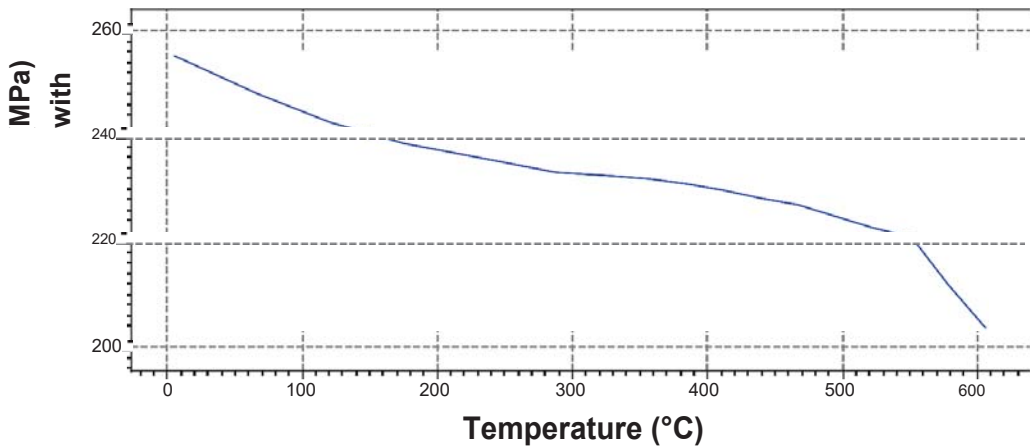
[Parameters:](#) Temperature = 23°C



Yield strength (elastic limit)	724	- 800	MPa
Yield strength with temperature	253	- 253	MPa

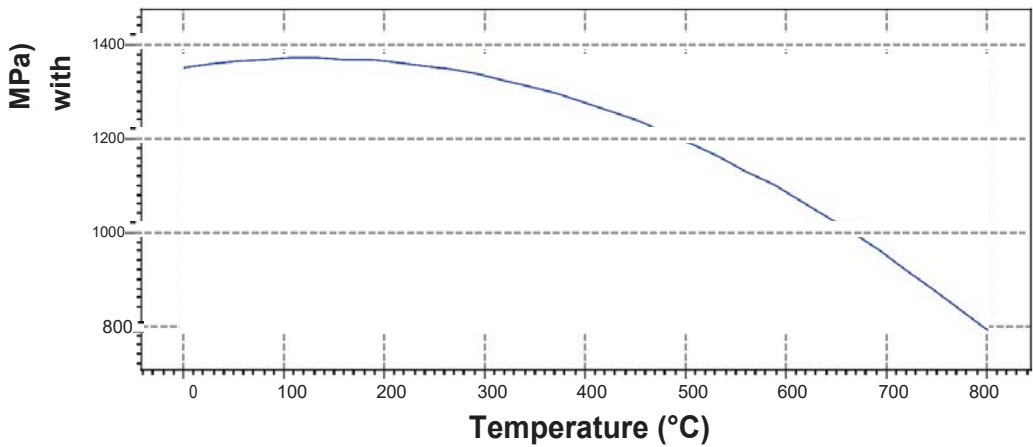
[Parameters:](#) Temperature = 23°C

Values marked * are estimates.No warranty is given for the accuracy of this data



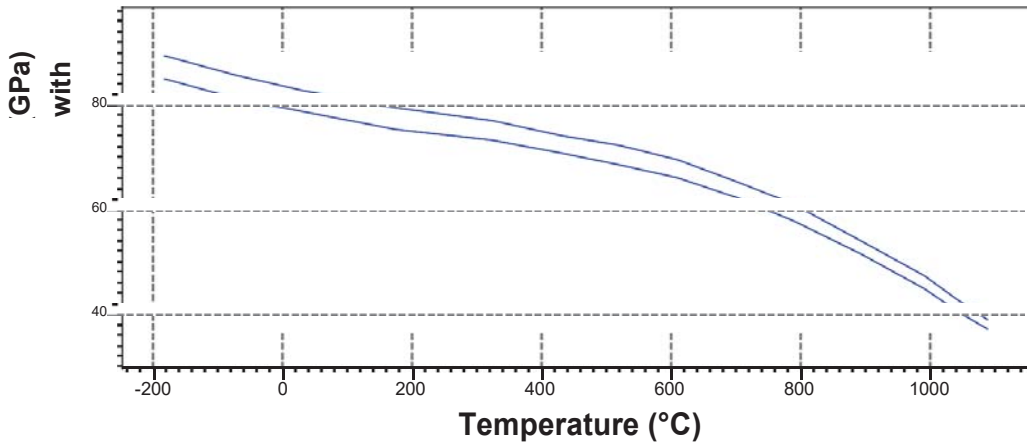
Tensile strength	827	-	914	MPa
Tensile strength with temperature	1,36e3	-	1,36e3	MPa

Parameters: Temperature = 23°C



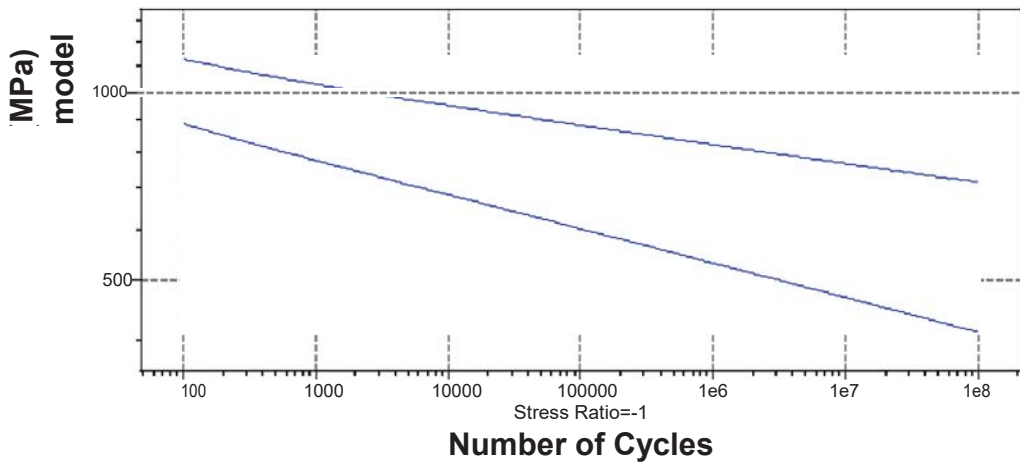
Elongation	35	-	50	% strain
Compressive strength	* 724	-	800	MPa
Flexural modulus	* 203	-	213	GPa
Flexural strength (modulus of rupture)	724	-	800	MPa
Shear modulus	79	-	83,1	GPa
Shear modulus with temperature	79,2	-	83,3	GPa

Parameters: Temperature = 23°C



Bulk modulus	161	- 169	GPa
Poisson's ratio	0,29	- 0,302	
Shape factor	21		
Hardness - Vickers	400	- 500	HV
Hardness - Rockwell B	* 112	- 117	HRB
Hardness - Rockwell C	* 41	- 49	HRC
Hardness - Brinell	* 379	- 471	HB
Fatigue strength at 10 ⁷ cycles	* 485	- 755	MPa
Fatigue strength model (stress range)	* 657	- 930	MPa

Parameters: Stress Ratio = -1, Number of Cycles = 2,5e4cycles



Mechanical loss coefficient (tan delta)	* 1e-4	- 3e-4	
---	--------	--------	--

Impact & fracture properties

Fracture toughness	* 244	- 271	MPa.m ^{0.5}
--------------------	-------	-------	----------------------

Values marked * are estimates.No warranty is given for the accuracy of this data

Thermal properties

Melting point	1,26e3	- 1,34e3	°C
Maximum service temperature	632	- 705	°C
Minimum service temperature	-273		°C
Thermal conductivity	11,6	- 12,6	W/m.°C
Specific heat capacity	440	- 458	J/kg.°C
Thermal expansion coefficient	12,8	- 13,4	µstrain/°C
Latent heat of fusion	* 275	- 300	kJ/kg

Electrical properties

Electrical resistivity	115	- 125	µhm.cm
Galvanic potential	* -0,05	- 0,03	V

Magnetic properties

Magnetic type	Non-magnetic
---------------	--------------

Optical properties

Transparency	Opaque
--------------	--------

Critical materials risk

Contains >5wt% critical elements?	Yes
-----------------------------------	-----

Processing properties

Metal casting	Unsuitable
Metal cold forming	Acceptable
Metal hot forming	Limited use
Metal press forming	Acceptable
Metal deep drawing	Limited use
Machining speed	3,35 m/min
Weldability	Good
Notes	Preheating is not required, post weld heat treatment is required
Weldability - MIG	Good
Weldability - plasma	Good
Weldability - SAW	Good
Weldability - TIG	Good
Brazeability	Good

Durability

Water (fresh)	Excellent
Water (salt)	Excellent
Weak acids	Excellent
Strong acids	Excellent
Weak alkalis	Excellent
Strong alkalis	Excellent

Organic solvents	Excellent
Oxidation at 500C	Excellent
UV radiation (sunlight)	Excellent
Galling resistance (adhesive wear)	Limited use
Notes	
Bronze or zinc alloy dies should be used to minimize galling.	
Flammability	Non-flammable

Corrosion resistance of metals

Stress corrosion cracking	Not susceptible
Note	Rated in chloride; Other susceptible environments: Hydroxide
Intergranular (weld line) corrosion	Excellent
Inorganic acids	Excellent
Organic acids	Excellent
Alkalis	Excellent
Humidity / water	Excellent
Sea water	Excellent
Sour oil and gas	Excellent

Primary production energy, CO2 and water

Embodied energy, primary production	* 291	- 321	MJ/kg
CO2 footprint, primary production	* 16,6	- 18,3	kg/kg
Water usage	* 235	- 259	l/kg

Processing energy, CO2 footprint & water

Rough rolling, forging energy	* 6,15	- 6,8	MJ/kg
Rough rolling, forging CO2	* 0,461	- 0,51	kg/kg
Rough rolling, forging water	* 4,18	- 6,27	l/kg
Extrusion, foil rolling energy	* 12	- 13,3	MJ/kg
Extrusion, foil rolling CO2	* 0,901	- 0,996	kg/kg
Extrusion, foil rolling water	* 6,69	- 10	l/kg
Wire drawing energy	* 44,3	- 48,9	MJ/kg
Wire drawing CO2	* 3,32	- 3,67	kg/kg
Wire drawing water	* 16,7	- 25	l/kg
Metal powder forming energy	* 32,5	- 35,8	MJ/kg
Metal powder forming CO2	* 2,6	- 2,87	kg/kg
Metal powder forming water	* 35,4	- 53,1	l/kg
Vaporization energy	* 1,15e4	- 1,27e4	MJ/kg
Vaporization CO2	* 860	- 950	kg/kg
Vaporization water	* 4,78e3	- 7,17e3	l/kg
Coarse machining energy (per unit wt removed)	* 1,35	- 1,5	MJ/kg
Coarse machining CO2 (per unit wt removed)	* 0,102	- 0,112	kg/kg
Fine machining energy (per unit wt removed)	* 9,27	- 10,2	MJ/kg
Fine machining CO2 (per unit wt removed)	* 0,695	- 0,768	kg/kg
Grinding energy (per unit wt removed)	* 18,1	- 20	MJ/kg

Values marked * are estimates.
No warranty is given for the accuracy of this data

Grinding CO2 (per unit wt removed)	* 1,35	- 1,5	kg/kg
Non-conventional machining energy (per unit wt removed)	* 115	- 127	MJ/kg
Non-conventional machining CO2 (per unit wt removed)	* 8,6	- 9,5	kg/kg

Recycling and end of life

Recycle			
Embodied energy, recycling	* 44,7	- 49,4	MJ/kg
CO2 footprint, recycling	* 3,51	- 3,88	kg/kg
Recycle fraction in current supply	28,9	- 31,9	%
Downcycle			
Combust for energy recovery			
Landfill			
Biodegrade			

Notes

Warning

All nickel compounds should be regarded as toxic. Some can cause cancer and/or fetal abnormalities.

Keywords

J30012

Standards with similar compositions

- USA: ERNiFeCr-2 to AWS A5.14/A5.14M, N07718 to ASTM B637, N07718 to ASTM B670, UNS N07718, UNS N07719
- Tradenames: ALLOY 718, ALTEMP 718, ELECTRALLOY TOOLWARE® 718, EMVAC 718, HAYNES ALLOY NO. 718, LSS 718 EP, UNITEMP 718, NICROFER 5219NB-ALLOY 718, UDIMET 718 (WROUGHT)

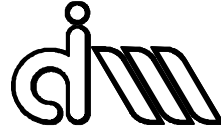
Links

ProcessUniverse

Producers

Reference

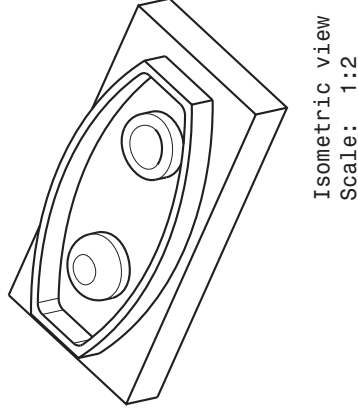
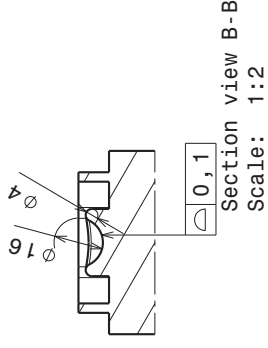
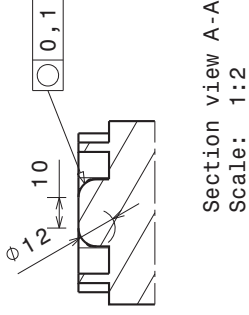
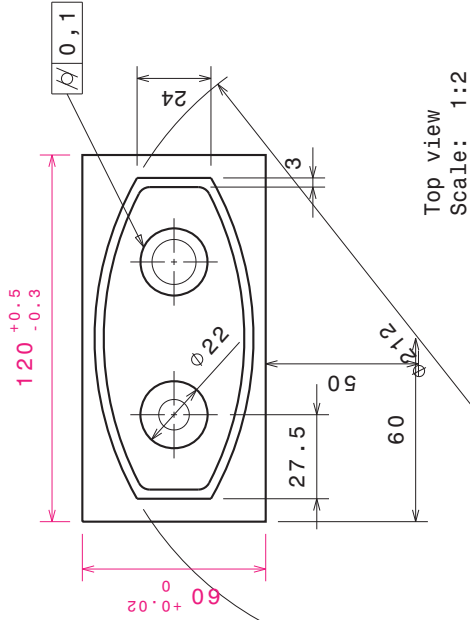
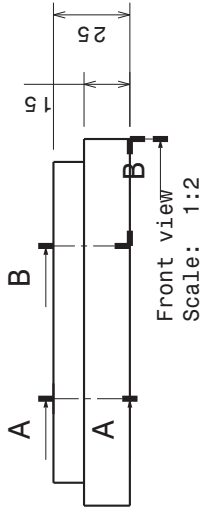
Shape





MÁSTER EN INGENIERÍA MECÁNICA

PLANOS

Análisis y desarrollo de estrategias de mecanizado para súper aleaciones y materiales termo-resistentes para conformado de Superficies Complejas en entornos
3DEXPERIENCE



DESIGNED BY:	Xin Yang		DATE:	10/08/2018	
SIZE	A4		Título	Diseño 01	
SCALE	1:2		Material	Inconel 718	
					
This drawing is our property; it can't be reproduced or communicated without our written agreement.					

A

B

C

D

4

3

2

1

4

3

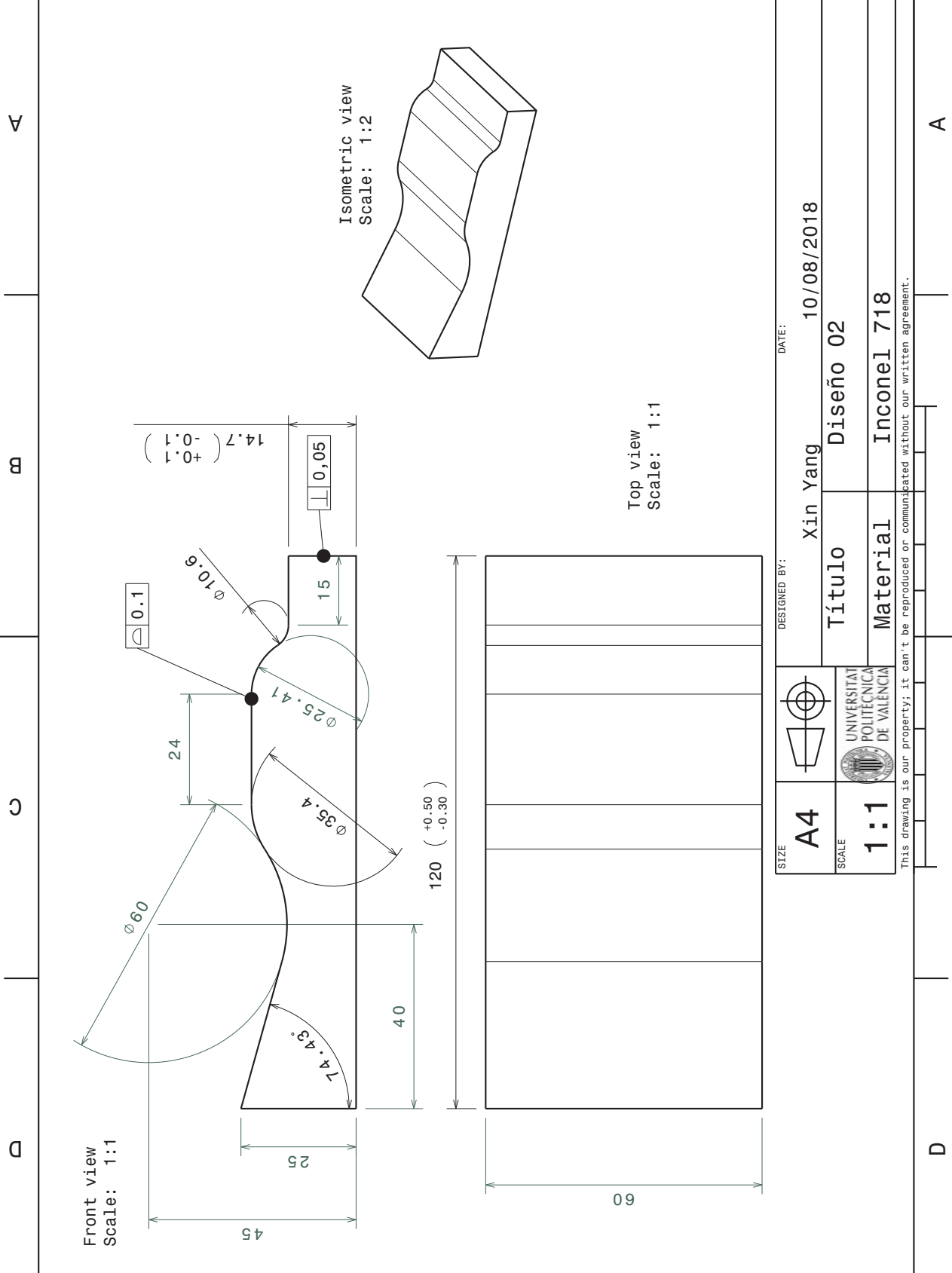
2

1

A

D

4 3 2 1



4 3 2 1

DESIGNED BY:	Xin Yang		DATE:	10/08/2018
SIZE	A4	Título	Diseño 02	
SCALE	1:1	Material	Inconel 718	
		This drawing is our property; it can't be reproduced or communicated without our written agreement.		

D A

