

1. DATOS DE PARTIDA:

1.1. PIEZA A MECANIZAR:

En este apartado se verán las características físicas y geométricas de la pieza a fabricar, estas características condicionarán posteriormente determinados parámetros a la hora del mecanizado, como son velocidades de corte, avances, profundidades de pasada, así como las posibles alternativas a la hora de seleccionar las herramientas que intervendrán en la operación de mecanizado.

1.1.1. Material designado para la fabricación de la pieza

El material designado en la etapa de diseño para la fabricación de la pieza es un acero F-115 según norma UNE- 36010. Se trata de un acero al carbono de gran tenacidad, apropiado para el proceso de temple por inducción, y que después de este y tras el consiguiente revenido alcanza valores de dureza de entorno a 60 HRC.

Este material lo podemos encontrar en otras normativas con las siguientes especificaciones:

UNE	DIN	EUROPA-EN	UNI	AFNOR
F-1150	C-55	C-55E	C-55	CX-54

Su composición química en porcentaje, según tablas de acerías, es la siguiente:

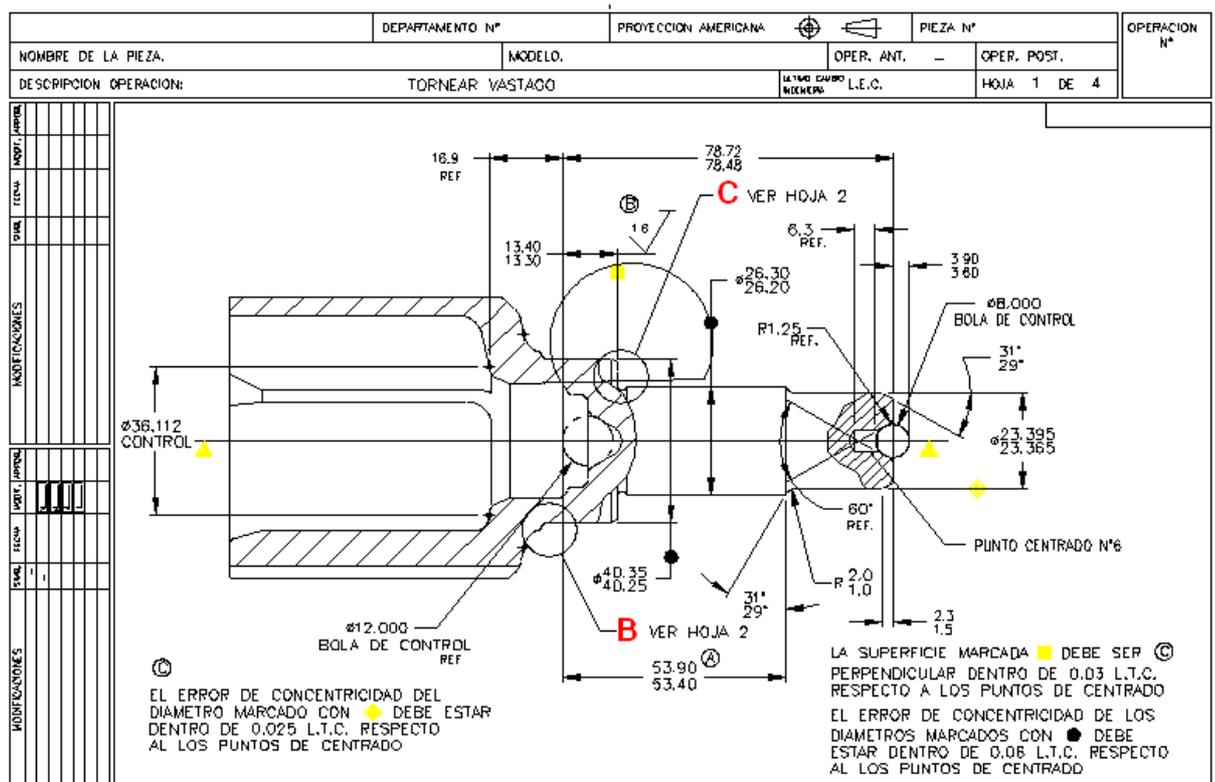
- Carbono: 0,50/0,60
- Manganeso: 0,60/0,90
- Silicio: 0,15/0,40
- Fósforo: 0,035 máximo
- Azufre: 0,02/0,035
- Cromo: 0,40 máximo
- Molibdeno: 0,10 máximo
- Níquel: 0,40 máximo

El acero seleccionado posee por sus características constitutivas una gran maquinabilidad antes de ser tratado térmicamente, lo cual facilitará en gran medida el proceso de arranque de viruta.

Se deberá disponer de un sistema de almacenamiento de materia bruta usando la filosofía “FIFO” (First In First Out), que permita tener controlado y minimizado el stock de piezas en espera, para reducir así el coste de almacenaje y evitar la oxidación en las piezas almacenadas.

1.1.2. Geometría de la pieza a mecanizar

Un factor importante, para el que habrá que tener en cuenta la geometría de la pieza, será el amarre de esta en la maquina en cuestión. Dado que se trata de una pieza que se va a obtener en rotación y que consta de varios diámetros diferentes en el vástago (los cuales tendrán un requisito de concentricidad entre ellos) el mejor agarre de la pieza, será el amarre entre puntos. De esta forma garantizaremos una gran concentricidad entre diámetros y una buena robustez, cuestión esta muy importante a la hora de evitar vibraciones que repercutan negativamente en el acabado de la pieza. Para ello, la pieza deberá estar provista de unos taladros de centrado cónicos donde se localizaran los consiguientes puntos de centrado de la maquina.



Muy importante durante la fase de estudio de la geometría de la pieza, será tener en cuenta los radios de transición entre los diferentes diámetros, ya que estos nos definirán los radios máximos del filo de la herramienta a utilizar en el mecanizado.

Habrà además que tener en cuenta las características geométricas de la materia

prima. En nuestro caso, como se comentó anteriormente, se trata de una pieza que se compra a la acería ya preformada mediante un proceso de forja en caliente, por lo que las creces o material sobrante de la operación de mecanizado deberán estar minimizadas con idea de economizar, tanto en el coste de la materia prima como en el propio coste de la operación de mecanizado. Esta tarea es responsabilidad del ingeniero de diseño, en conjunción con la propia acería, para tener en cuenta las limitaciones constructivas y tolerancias geométricas, de su proceso de forja.

1.1.3. Calidad superficial

La calidad superficial en el mecanizado es el resultado de las irregularidades que surgen en la deformación plástica del metal producida por la propia operación. La operación de mecanizado, tendrá varios requerimientos de la pieza a producir, una de ellas será la calidad superficial.

Aunque existen diferentes valores para medir la rugosidad como son la altura máxima (R_z) o los 10 puntos significativos del estado de la superficie (R_{z10}), el parámetro principal que usaremos para definir esta calidad superficial, será la rugosidad media R_a , por ser este el parámetro mayormente usado en la industria mecánica.

En nuestro caso el requerimiento que tenemos es un R_a máximo de $1,6 \mu\text{m}$, que posteriormente veremos como mediremos y comprobaremos.

Además, existen diferentes fórmulas que se pueden encontrar en los catálogos de fabricantes para calcular la rugosidad teórica que obtendremos al torneear en función del avance y el radio de punta de la herramienta. La más usada normalmente es la siguiente:

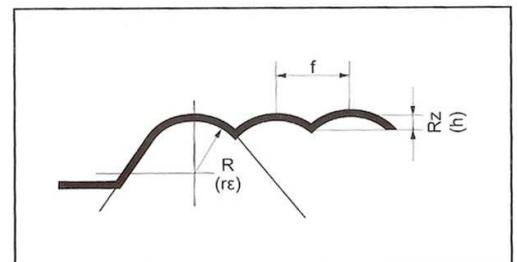
$$R_z = h = \frac{f^2}{8R(r\epsilon)} \times 10^3$$

donde:

$R_z=h$: Rugosidad superficial teórica (μm)

f : Velocidad de avance (mm/rev)

$R(r\epsilon)$: Radio de punta del inserto (mm)



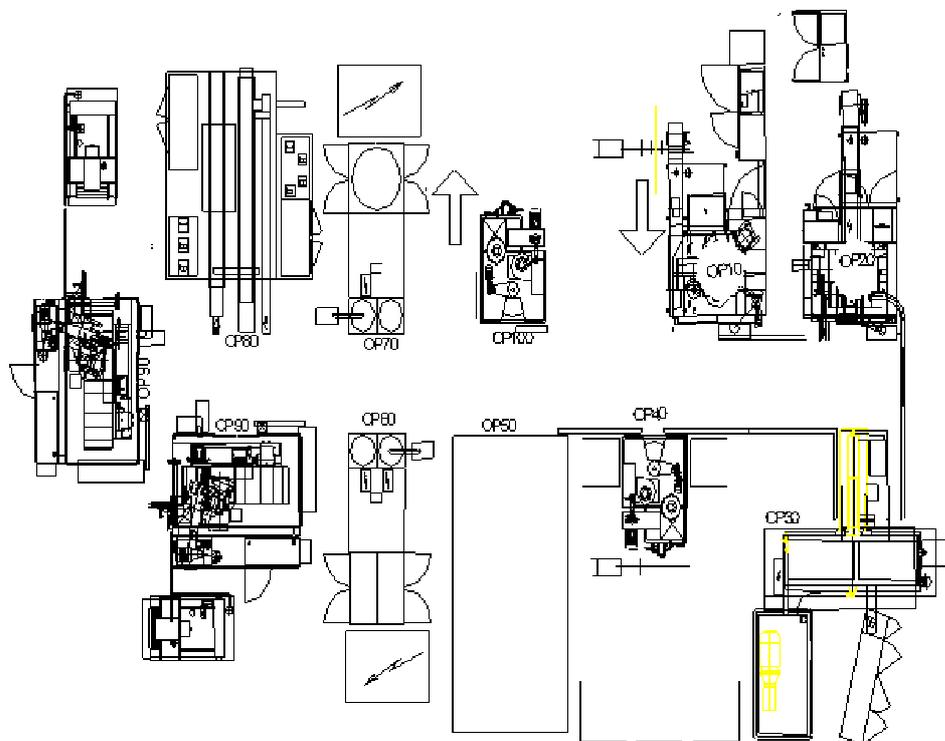
1.2. CELULA DE FABRICACIÓN Y REQUERIMIENTOS PRODUCTIVOS:

1.2.1. Secuencia de operaciones y disposición de máquinas

Como ya se adelantó en el alcance del proyecto la secuencia completa de operaciones es la siguiente:

- Op. 10: Torneado del vástago
- Op. 20: Mecanizado de la campana
- Op. 30: Laminado de estrías
- Op. 40: Lavado
- Op. 50: Temple por inducción
- Op. 60: Revenido
- Op. 70: Rectificado
- Op. 80: Pulido
- Op. 90: Lavado
- Op. 100: Chequeo y clasificación

En el esquema siguiente se muestra la disposición de máquinas en la célula de fabricación y como se siguen las operaciones antes mencionadas:



1.2.2. Características de la máquina

Concretamente la máquina en que se llevará a cabo la operación objeto de este proyecto tiene las siguientes características principales:

- Torno de control numérico CNC.
- Fabricante Pcc Pittler (Frankfurt, Alemania)
- Máquina tipo: PV 315/1-1R
- Tipo control: Fanuc 18i
- Peso aproximado: 7000 Kgs
- Altura máxima: 3400 mm

Datos técnicos del cabezal:

- Potencia motor : 45 Kw
- Rango de velocidad del cabezal: 180-5000 rpm
- Par máximo: 235 Nm
- Amarre de piezas: hidráulico con monitoreo de carrera

Datos técnicos de los carros

- Carrera maxima transversal (eje X): 300 mm
- Carrera maxima longitudinal (eje Z): 650 mm
- Fuerza carro X: 12 Kn
- Fuerza carro Z: 12 Kn
- Velocidad eje X : 0-16000 mm/min
- Velocidad eje Y : 0-16000 mm/min

Torre de herramientas

- Tipo revolver de 8 estaciones portaherramientas
- Anclaje de portaherramientas: Cambio rápido tipo capto C5

1.2.3. Requerimientos productivos:

Normalmente al implantarse un nuevo proyecto de fabricación, la demanda del cliente tiene una rampa de lanzamiento, en la que la producción va incrementándose hasta llegar al volumen de fabricación a pleno rendimiento. Suele ser habitual que se defina una fecha de comienzo de producción (“SOP- Start Of Production”) como punto de partida de la fabricación, aunque esto no quiere decir que no se fabriquen piezas hasta el SOP.

Muy al contrario, el periodo de tiempo que va desde el momento en que la célula o alguna de las operaciones están operativas hasta el SOP, es usado por los ingenieros de fabricación para llevar a cabo otras tareas necesarias, entre las que cabe destacar:

- Fabricación de piezas de validación: Aparte de los prototipos que se fabrican para homologaciones de producto del cliente y que se fabrican normalmente en laboratorios, es necesario casi siempre volver a homologar el producto en el centro productivo final
- Entrenamiento de operarios de producción: Tanto en el conocimiento del producto a fabricar como en la secuencia de operaciones a seguir
- Comprobación de requerimientos: Hay que asegurarse de que se cumplen todos los requerimientos tanto de calidad (dimensionales, acabados etc.) como productivos (tiempos de ciclo, ergonomía, medio ambiente, seguridad y salud, etc.)
- Pruebas a ritmo de producción (Run at Rate): Aparte de comprobar que cada operación por separado cumple los requerimientos se planifican con el cliente pruebas en condiciones de fabricación a pleno rendimiento, es decir alcanzando la demanda máxima prevista. Normalmente la duración es de un turno de fabricación y se pretende prevenir posibles problemas que puedan surgir a posteriori, como por ejemplo movimientos de material, interferencia entre operarios, cuellos de botella etc.

En cualquier caso, la célula de fabricación en general y cada operación del proceso en particular deberá ser diseñada con capacidad suficiente para satisfacer la máxima demanda esperada del cliente. Como ya se explicó en la

introducción, normalmente al ingeniero de fabricación, a partir de las hojas de proceso y la célula de fabricación definidas anteriormente, se le encomienda la tarea de equipar y programar las diferentes operaciones del proceso para cumplir con los requerimientos de producción calculados por el ingeniero industrial del área.

En el caso que nos ocupa, dichos datos se detallan en los cuadros siguientes.

Previamente explicaremos que se denomina TAKT TIME al ritmo al que demanda piezas el cliente. Así:

ANÁLISIS TAKT TIME

Proyecto:		COPA HOUSING TRÍPODE	
		Información de referencia	
Total tiempo disponible:	1.440	min/día	Base jornada laboral 3 turnos , 8 hrs/turno
Paradas contractuales:	141	min/día	Paradas programadas recogidas en convenio colectivo
Tiempo mantenimiento programado:	30	min/día	Base 10 min / turno para Mantenimiento preventivo de primer nivel
Total Tiempo efectivo programado:	1.269	min/día	Tiempo máximo de trabajo de la línea para producir piezas

Año	Demanda Anual Cliente	Días laborales año	Demanda diaria cliente	TAKT TIME	Número de líneas de fabricación	TAKT TIME por línea
2005	138.220	230	601	126,7 seg/pz	1	126,70 seg/pz
2006	147.600	230	642	118,6 seg/pz	1	118,65 seg/pz
2007	154.000	230	670	113,7 seg/pz	1	113,72 seg/pz
2008	154.000	230	670	113,7 seg/pz	1	113,72 seg/pz
2009	154.000	230	670	113,7 seg/pz	1	113,72 seg/pz
2010	154.000	230	670	113,7 seg/pz	1	113,72 seg/pz

Takt Time de referencia para diseño de línea	
Takt Time:	113,72 seg/pz

El siguiente concepto a tener en cuenta es el Tiempo de Ciclo Efectivo (TCE), que es el ritmo medio al que esperamos fabricar las piezas. Este tiempo será la suma del tiempo ciclo de máquina, el tiempo de carga y descarga y las pérdidas de tiempo esperadas.

Lógicamente, el criterio de diseño tiene que ser tal que $TCE < Takt\ Time$ para poder satisfacer demanda de cliente.

TIEMPO CICLO EFECTIVO PREVISTO - OPERACION DE MECANIZADOProyecto: **COPA HOUSING TRIPODE**

		Información de referencia	
Tiempo de ciclo máquina previsto	60	seg/pieza	Tiempo de ciclo en especificaciones de máquina
Tiempo carga y descarga	5	seg/pieza	Tiempo invertido por operario en carga y descarga pieza
Pérdidas por ciclos nok	1,0	seg/pieza	Base objetivo 1% piezas nok a lo largo proceso completo; Supone pérdida 1,5 ciclos reales máquina por rearme
Pérdidas por cambio de herramientas	4,0	seg/pieza	Base 10 min/cambio con frecuencia de 1 cambio cada 150 piezas
Pérdidas por cambios de modelo	1,0	seg/pieza	Base 1 cambio modelo cada 600 piezas, empleando 10 minutos
Utime máquina esperado	11,4	seg/pieza	Base 10% tiempo medio parada máquina por averías
Eficiencia operativa esperada	11,4	seg/pieza	Base 90% tiempo cíclico efectivo de trabajo del operario
Total Tiempo ciclo efectivo:	93,72	seg/pieza	Tiempo máximo de trabajo de la línea para producir piezas

Condiciones de referencia para diseño de línea	
Tiempo ciclo efectivo:	93,72 seg/pz
Exceso capacidad:	17,59%
Coste fabricación total	7,70 €/pieza

Estos datos habrán sido calculados y analizados por el ingeniero industrial en el proceso de diseño de la célula de fabricación, y son proporcionados al ingeniero de fabricación como punto de partida. De aquí se desprende que el tiempo de ciclo máquina previsto es de 60 segundos, que será nuestra referencia a la hora de programar.

2. ESTUDIO Y SELECCIÓN DE HERRAMIENTAS:

En este apartado se analizará el proyecto desde el punto de vista exclusivo de la herramienta. Se expondrán primero los criterios empleados para la elección de las herramientas de este proyecto, así como referencias al código ISO empleado para la definición de las herramientas de corte, y posteriormente se definirán las herramientas seleccionadas que intervendrán en el proceso de mecanizado.

2.1. VARIABLES PARA LA SELECCIÓN

La selección y la aplicación de las herramientas de torneado pueden llevarse cabo efecto mediante una serie de pasos lógicos basados en los factores relevantes que describen la pieza, la maquina y las operaciones concernientes. A partir del plano de la pieza (hoja de proceso en nuestro caso), las especificaciones del material de la misma, la maquina herramienta así como la información aportada por los fabricantes de las herramientas de corte, puede seguirse una rutina de selección, aplicación y optimización del torneado.

En este punto hay que hacer notar que en función del fabricante elegido, estos pasos pueden variar ligeramente en función de la amplitud de su catálogo de productos y cómo esté estructurado el mismo, aunque en esencia el resultado final sea muy parecido. Además dado el gran número de fabricantes que a día de hoy están presentes en el mercado son múltiples las posibles soluciones válidas a un mismo problema planteado, y será decisión del ingeniero la elección de la misma en base a sus propios criterios.

A continuación detallaremos estos factores que tendremos en cuenta para la selección.

2.1.1. Diseño de la pieza

Las tolerancias exigidas y el acabado superficial requerido son determinantes para el camino a seguir en la selección de las herramientas. Asimismo habrá que tener en cuenta limitaciones en cuanto a radios mínimos permitidos. Las direcciones de avance, profundidades de corte, paradas, etc, han de ser planificadas con detalle para poder cumplir con todos estos requisitos, y están intrínsecamente ligados a la herramienta seleccionada.

2.1.2. Material de la pieza a trabajar

Especial importancia tiene el material a mecanizar, así como el estado previo (en bruto) del mismo. Dependiendo de las creces, el estado superficial, posibles microdurezas superficiales etc. optaremos por un tipo de herramienta u otro. Habrá también que tener en cuenta el tipo de viruta que forma el material en función del grupo al que pertenece. El acero al carbono, acero inoxidable y la fundición, representan los principales grupos de materiales de viruta larga y viruta corta, por tanto forman la base para seleccionar los tipos de herramientas necesarios. No obstante hay que decir que se distinguen además otros grupos como son los no ferrosos (Aluminio, latón etc.), los termorresistentes (Titanio y aleaciones de Hierro, Cobalto y Níquel) y materiales endurecidos (48-65 HRC).

Es importante conocer en qué grupo se engloba el material a mecanizar aunque normalmente este problema está resuelto con la información que proporcionan las tablas editadas por los fabricantes de herramientas.

2.1.3. Operaciones a realizar

Dependiendo de si pensamos hacer desbastes, semiacabados, acabados, refrentados, mandrinados etc. seleccionaremos un tipo de herramienta u otro, y afectará a los datos de corte necesarios. Cada una de estas operaciones engloban a su vez en la mayoría de casos un buen número de herramientas posibles a seleccionar.

2.1.4. Condiciones de mecanizado y estabilidad

La estabilidad del sistema y las condiciones en que se lleve a cabo la operación son factores críticos para la selección de las herramientas:

Los cortes interrumpidos o golpes intermitentes suponen unas sollicitaciones adicionales tanto para el filo de corte como para el sistema de amarre de la herramienta y requieren especial consideración en cuanto a la elección de la geometría de corte y al grado (calidad) de dureza / tenacidad de la plaquita.

Si hubiera tendencia a las vibraciones, estas se evitarán seleccionando el tamaño de mango, el voladizo, y el propio amarre de la herramienta adecuados.

Por último el hecho de llevar a cabo la operación con o sin refrigeración supone un factor de vital importancia que afectará directamente a la vida de la herramienta, así como al acabado superficial que sea capaz de conseguir esta.

2.1.5. Características de la máquina

Las maquinas herramientas varían considerablemente en diseño, tamaño, potencia y posibilidades operativas. A veces los tornos CNC tienen potencia y recursos limitados y solo pueden realizar ciertas operaciones de corte, eliminando la posibilidad del uso de ciertos tipos de herramientas. Asimismo la propia disposición de los elementos de la máquina (torreta, cabezal etc) pueden ser un condicionante, que habrá que considerar. Deberá analizarse el diseño general de la máquina, con especial atención a los planos de torreta junto con su sistema de sujeción de herramientas para establecer el tamaño de las mismas así como el tipo y numero que pueden ser empleadas.

2.1.6. Producción y economía

Evidentemente el coste de la herramienta será un factor fundamental a tener en cuenta, así como la producción que es capaz de realizar una misma herramienta. Normalmente el parámetro que se usa es el coste por pieza fabricada de herramientas, que nos permite relacionar ambos parámetros valorando la productividad de la misma. No siempre la herramienta con menor coste unitario tiene el menor coste por pieza, es más, salvo excepciones más bien se da el caso contrario. Tendremos que conseguir un equilibrio adecuado entre coste y rendimiento de las herramientas y que en la medida de lo posible los rendimientos sean parecidos o en caso de no ser así buscar múltiplos entre ellos a fin de minimizar el número de paradas para cambio de herramienta, que al fin y al cabo nos penalizará en el tiempo disponible de máquina.

2.1.7. Inventario de herramientas

Tanto en el caso de que usemos para nuestro proyecto una máquina nueva como si usamos una máquina en la que ya se fabrica otro modelo de pieza, intentaremos minimizar el número de herramientas necesarias, hecho que puede

afectar evidentemente a la selección de las mismas. En el primer caso puede ser más sencillo pero en ambos casos procede la racionalización de las mismas a fin de evitar inversiones en equipamiento innecesarias, que además de costosas pueden resultar contraproducentes a posteriori.

2.2. SECUENCIA DE SELECCIÓN

A continuación concretaremos nuestra selección de herramientas, teniendo en cuenta los factores descritos en el apartado anterior. En primer lugar analizaremos detenidamente nuestra hoja de proceso y el plano de forja, prestando especial atención en los detalles que pueden ser relevantes, como por ejemplo:

- **Los errores de concentricidad máximos permitidos:** Nos piden un error máximo de concentricidad de 0,06 mm y 0,025 mm, así como un error máximo de perpendicularidad de 0,03 mm respecto a la línea teórica de centrado. Dado que la pieza de forja no tiene taladro de centrado para el contrapunto, previamente a ninguna operación de torneado, el primer paso será, como apuntamos anteriormente mecanizar dicho taladro.
- **Los diferentes radios de unión entre superficies:** Observamos que pese a que las creces de material (en torno a 2,5 mm) serían factibles para afrontar la operación en una sola pasada, el que tengamos diferentes radios hace imposible que se haga todo el proceso con una sola herramienta.
- **La calidad superficial exigida en la cara de interferencia del rodamiento:** Tenemos un Ra máximo de 1.6 que refuerza el argumento anterior de usar 2 pasadas, una de desbaste y otra de acabado que nos garantice dicha calidad superficial.

Teniendo en cuenta estos detalles, nuestra selección va tomando forma:

2.2.1. Taladrado del punto de centrado

Para esta operación se ha seleccionado una broca para taladros de centrado norma Din-333, de acero rápido (HSS), por sus características de corte y por su bajo coste. Esta broca es de un solo uso (2 puntas), dado que una vez desgastado el filo de la herramienta el coste de su reafilado no compensa tal operación. El portaherramientas es un porta especial para este tipo de brocas, con fijación a la torreta de herramientas mediante sistema modular tipo capto C-5, lo cual facilita de forma rápida su sustitución en caso de avería.

2.2.2. Operaciones de Torneado

Como se argumentó en el apartado anterior, sabemos que es necesario dar al menos 2 pasadas para terminar la pieza, ahora bien, quizás hayamos pasado por alto un pequeño detalle, y es que una vez hecho el taladro de centrado, el torneado se llevará a cabo con el contrapunto de la máquina avanzado. Con el fin de no adelantarnos en la argumentación, seleccionaremos las herramientas de desbaste y acabado sin tener en cuenta la operación de refrentado de la cara donde apoya el contrapunto, para después comprobar si es posible realizarla con estas herramientas o no.

2.2.2.1. Desbaste

Para elegir adecuadamente la herramienta que usaremos en cada operación seguiremos las indicaciones del fabricante de herramientas de nuestra confianza, que normalmente vienen recogidas en los catálogos comerciales. Para cada caso genérico, se dan indicaciones que deberemos adaptar a nuestra situación particular. En concreto vamos eligiendo:

1. Método de sujeción de la herramienta:

Los sistemas de portaplaquitas están diseñados para garantizar el máximo rendimiento en diferentes tipos de operaciones. En todos los casos su misión fundamental es mantener perfectamente fija la herramienta en su alojamiento, aunque en función del tipo de herramienta u operación puedan ser más indicados unos que otros. Existen métodos normalizados de sujeción como brida, brida cuña, palanca, tornillo etc. Generalmente, están indicados para placas negativas los tres primeros y para placas positivas el de tornillo. La aplicación de estos métodos está basada principalmente en el tipo de operación a realizar, la necesidad de que sea negativa o positiva la forma de la plaquita, el tamaño de las herramientas y las demandas operativas como datos de corte para desbaste semiacabado y acabado.

En nuestro caso, dado que para el desbaste usaremos plaquitas negativas y la operación será de cilindrado exterior, el sistema que nos recomienda el fabricante es el de **brida**.

2. Tamaño y tipo de inserto. Forma del portaherramientas:

Existe una gran variedad de portaplaquitas, que proporcionan diferentes ángulos de posición, versatilidad frente a la resistencia y posibilidades de formas de plaquitas. Asimismo el tamaño de la placa a usar estará directamente relacionado con el portaherramientas elegido. Las pasadas de corte necesarias serán establecidas, con los portaplacas, según las direcciones de los avances. Cilindrado, refrentado, copiado entrando y saliendo así como el copiado o perfilado completo, son los principales tipos de pasadas de corte.

Los ángulos de posicionamiento del porta y el de la punta de la plaquita definen la herramienta para torneear. Dichos ángulos están optimizados según la aplicación y se elegirán de acuerdo a las recomendaciones del fabricante. El portaplaquitas será elegido lo mas grande posible con el fin de que garantice la máxima estabilidad ,así como el mayor ángulo de punta factible para obtener también la máxima resistencia, garantizando naturalmente que tenga la versatilidad suficiente para que pueda trabajar en las diferentes direcciones de avance. La selección del tipo de portaplaquitas y la forma de la plaquita está basado principalmente en el tipo de pasada de corte necesario, en la capacidad de la maquina (su potencia) y en el tamaño de las herramientas. Se tendrán en cuenta también otros aspectos, como las condiciones de la maquina (robustez) y la estabilidad del proceso (repetibilidad etc.).

En nuestra aplicación, para el desbaste usaremos según la recomendación del fabricante una placa tipo C, con 80° de ángulo de punta muy adecuada para este tipo de desbastes medios. También encontramos en el catálogo que el tamaño recomendado para dicho inserto en nuestro caso es 12. Por último vemos que la mejor opción de portaherramientas es del tipo DCLNR, y en nuestro caso, para el tamaño de placa elegido y soporte en máquina deberá ser el capto **C5-DCLNR-35060-12**. Este porta tiene un ángulo de posicionamiento respecto a la pieza $Kr=95^\circ$.

3. Geometría y Calidad de la herramienta:

El tipo de geometría de corte así como el material de la plaquita están

desarrollados para proporcionar una plaquita intercambiable con la capacidad y fiabilidad necesarios para desarrollar diversas operaciones. Hay que especificar que habitualmente cuando hablamos de geometría de la herramienta nos estamos refiriendo en realidad a la forma del rompevirutas de la misma, más que a la forma del inserto, aunque en ocasiones este término pueda inducir a confusión. La selección de la misma deberá estar basada en el tipo de material del que se compone la pieza a realizar, así como al tipo de operación (acabado, medio o desbaste) y considerando las condiciones de máquina, así se toman las tres variables para la selección de la plaquita. Consideraciones adicionales son si la plaquita es con forma negativa o positiva y si puede o no tener doble o simple cara. El estado de superficie, la precisión y las posibles rebabas en algunas operaciones de corte influyen directamente en la selección de la plaquita sobre todo en la geometría de corte. La duración previsible del filo y la seguridad son factores determinados por la correcta elección de la combinación geometría de corte-calidad.

Hay que hacer notar que aunque el sistema normalizado de identificación de herramientas permite distinguir casi todas las características del inserto, tanto la calidad como la geometría no están normalizadas, y se nombran por diferentes nomenclaturas comerciales en función del fabricante. En nuestro caso se trata del fabricante Kennametal, que en la página A6 del catálogo 4010E nos da la indicación de que para mecanizado medio usaremos geometría –MN y calidad KC9125. En concreto usaremos un inserto de doble cara, negativo tipo CNMG1204. Posteriormente veremos como en la misma hoja del catálogo el fabricante nos da indicación de condiciones de corte recomendadas.

4. **Radio de punta de la herramienta:**

La dimensión de la arista de la plaquita, y el radio de la punta juegan un papel clave cuando se trata de características como la resistencia del filo de corte en el desbaste y el estado superficial en las operaciones de acabado. Estos aspectos están directamente relacionados con la gama de avances y se tendrá en cuenta siempre en conjunto. Un gran radio de la punta de la plaquita da una mayor resistencia al filo de corte pero

también necesita mas potencia y puede suponer un incremento de la tendencia a las vibraciones. El tipo de material de la pieza y las condiciones serán considerados para determinar el tamaño del radio de la plaquita. En las operaciones de torneado interior se suele requerir frecuentemente un radio de punta pequeño con el fin de reducir la tendencia a las vibraciones debido al mayor voladizo de las barras portaplaquitas. Para el desbaste, se elegirá siempre el mayor radio de punta posible para garantizar la seguridad de la producción. Un gran radio permite grandes avances y con ello una alta productividad. Como dato orientativo diremos que generalmente la gama de avances no deberá excederá de la mitad del radio.

En nuestro caso, teniendo en cuenta las restricciones de nuestro plano de producto, el radio que elegimos para nuestra placa es de 1,2 mm. Con este último dato ya tenemos la descripción completa de nuestra placa de desbaste: **CNMG120412-MN KC9125**.

5. Datos de corte :

Finalmente tendremos que elegir unos datos de corte de partida, que como dijimos anteriormente nos facilitará el fabricante. Habremos de considerar varias condiciones básicas para establecer los datos de corte para diferentes operaciones. La duración del filo se ve afectada fuertemente por la profundidad de corte y solo marginalmente por la gama de avances, mientras que también es considerablemente afectada por la velocidad de corte.

La combinación de los datos de corte a establecer dependen directamente del tipo de operación a realizar .En desbaste tanto la potencia de la maquina como la estabilidad y las condiciones serán factores limitadores. En operaciones de acabado, la precisión dimensional el estado superficial y el control de viruta son los parámetros que determinan básicamente la combinación de avance / radio de la punta y la velocidad de corte. La velocidad de corte es el principal factor de la productividad en el torneado en acabado seguido por la gama de avances.

Los puntos a considerar para establecer los datos de corte son:

- Duración del filo
- Tipo de material de la pieza, condiciones y dureza
- Calidad del material de la plaquita y geometría de corte
- Maquina herramienta, capacidad como potencia disponible, velocidad del husillo y estabilidad.
- Generación de calor y tendencia a formar filo de aportación.
- Condiciones de mecanizado como la existencia de cortes intermitentes y vibraciones.
- Control de viruta y estado de superficies.

En realidad, la mayoría de fabricantes establecen una condiciones de corte recomendadas basadas en una vida útil del filo de corte de 15 minutos efectivos, siendo la selección de las mismas función básicamente del tipo de material, geometría y calidad de la herramienta y estabilidad en general del conjunto. Será misión del ingeniero optimizar la combinación de velocidad de corte, avance y profundidad de pasada para obtener los mejores resultados posibles en cada uno de los puntos anteriores.

Para nuestra aplicación, el fabricante nos da unas condiciones aproximadas de $V_c=200$ m/min y f entre 0,16 y 0,6 mm/rev (en función de la profundidad de pasada, a_p entre 0,5 y 4 mm).

2.2.2.2. Acabado

De igual forma que para la operación de desbaste seguimos los mismos pasos para el acabado:

1. Método de sujeción de la herramienta:

En este caso igual que para el desbaste, usaremos plaquitas negativas dado que la pieza estará sujeta entre puntos y la estabilidad del sistema será buena, lo que nos permitirá usar condiciones de corte más agresivas que con insertos positivos. De nuevo el sistema que nos recomienda el fabricante es el de **brida**.

2. Tamaño y tipo de inserto. Forma del portaherramientas:

Para la pasada de acabado usaremos según la recomendación del fabricante una placa tipo D, con 55° de ángulo de punta y muy adecuada cilindrado y perfilado como es nuestro caso. Además, al ser la pasada de acabado pequeña no requiere un ángulo de punta mayor y podemos usar un inserto de un tamaño reducido, lo que implica un menor coste. También encontramos en el catálogo que el tamaño recomendado para dicho inserto en nuestro caso es 11. Por último vemos que la mejor opción de portaherramientas es del tipo DDJNR, y en nuestro caso, para el tamaño de placa elegido y soporte en máquina deberá ser el capto **C5-DDJNR-35060-11**. Este porta tiene un ángulo de posicionamiento respecto a la pieza $Kr=93^\circ$, y nos permite acceder a todos los puntos de la geometría de la pieza.

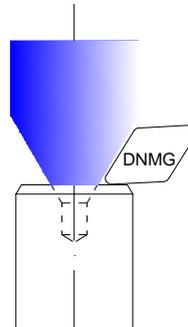
3. Geometría y Calidad de la herramienta:

En nuestro caso se trata del fabricante Kennametal, que en la página A6 del catálogo 4010E nos da la indicación de que para mecanizado en acabado usaremos geometría –FN y calidad KC9110. En concreto usaremos un inserto de doble cara, negativo tipo DNMG.

4. Radio de punta de la herramienta:

Siguiendo con el criterio tomado anteriormente elegiremos el mayor radio de punta posible. Eligiendo un radio de 1,2 mm. vemos que a excepción del detalle “C” no habría problema por usar este radio. Cabría también la posibilidad de usar un radio menor, por ejemplo de 0,8 mm. con idea de poder acabar todas las transiciones de la pieza con este inserto, pero llegados a este punto hemos de hacer la comprobación de si necesitaremos un tercer inserto para acabar la pieza o no. No tendría sentido usar un radio de 0,8 mm. si necesariamente usáramos otro inserto para el refrentado, ya que podríamos elegir el inserto de refrentado con radio 0,8 mm. puesto que la pasada y el tiempo efectivo de corte es menor y elegir el de 1,2 mm. en la de acabado que nos proporcionará una mayor vida útil del inserto de acabado.

En el croquis siguiente vemos que al estar avanzado el contrapunto para hacer el refrentado, el posicionamiento del inserto de acabado estaría demasiado próximo al eje de la pieza, independientemente del radio que hayamos elegido para la plaquita.



De esta forma comprobamos que necesitaremos la operación de refrentado con una tercera herramienta, y que por tanto según hemos argumentado el radio que elegiremos para el inserto de acabado será de 1,2 mm.

Así la denominación de nuestro inserto de acabado será:

DNMG110412-FN KC9110.

5. Datos de corte:

Para esta geometría y calidad, el fabricante nos da unas condiciones aproximadas de $V_c=250$ m/min y f entre 0,1 y 0,4 mm/rev (en función de la profundidad de pasada, a_p entre 0,2 y 2 mm).

2.2.2.3. Refrentado

Veamos ahora el refrentado de la cara superior de la pieza:

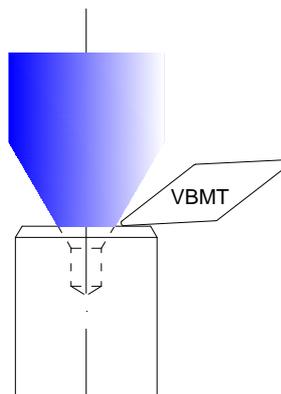
1. Método de sujeción de la herramienta:

En este caso, dado que la pasada será pequeña y usaremos una sola herramienta tenderemos a usar insertos positivos, con idea de que el acabado que obtengamos sea bueno. Para este tipo de insertos, el sistema de sujeción recomendado es el de fijación por **tornillo**.

2. Tamaño y tipo de inserto. Forma del portaherramientas:

Pese a que no es lo más recomendado por el fabricante para una operación de refrentado, la disposición de nuestra pieza hace que

prácticamente la única opción de acceder a esa zona sin colisionar sea un inserto tipo V, con 35° de ángulo de punta que nos permita acceder lo mas cerca posible del punto de centrado. En cuanto al tamaño, pese a que la pasada que daremos será pequeña y no requeriría un inserto mayor de tamaño 11, usaremos un inserto de 16, para que haya menos posibilidades de que el portaherramientas nos colisione con el contrapunto. El portaherramientas que seleccionamos para esta operación será del tipo SVJBR, y en nuestro caso, para el tamaño de placa elegido y soporte en máquina deberá ser el capto C5-SVJBR-35060-16. Este porta tiene un ángulo de posicionamiento respecto a la pieza $Kr=93^\circ$, y como podemos comprobar en el siguiente croquis nos permite librar mejor el contrapunto de la pieza.



3. Geometría y Calidad de la herramienta:

De nuevo, siguiendo la recomendación de Kennametal, en la página A6 del catálogo 4010E vemos que para mecanizado en acabado con insertos positivos usaremos geometría $-LF$ y calidad KC9110. Usaremos un inserto positivo tipo VBMT, con un ángulo de alivio de 5° , que siendo positivo nos permitirá obtener una vida de herramienta mayor que otros insertos más positivos (tipo C por ejemplo).

4. Radio de punta de la herramienta:

Como apuntamos en la selección del inserto de acabado, elegiremos el radio de punta del inserto de refrentado de 0,8 mm. con

idea de usarlo además para hacer el radio del detalle C (“undercut”). Por tanto la denominación de nuestro inserto de refrentado será:

VBMT160408-LF KC9110.

5. Datos de corte:

Para esta geometría y calidad, el fabricante nos da unas condiciones aproximadas de $V_c=250$ m/min y f entre 0,04 y 0,25 mm/rev (en función de la profundidad de pasada, ap entre 0,16 y 1,6 mm).

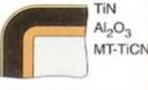
Como resumen, veremos un poco más en detalle las características técnicas de las herramientas seleccionadas. Así tendremos:

OPERACIÓN	TIPO	REFERENCIA
Taladrado	Broca	Broca centrado HSS A- 5 x 12.5 DIN 333
	Porta	Portabrocas tipo Capto
Desbaste	Inserto	CNMG 120412 -MN KC9125
	Porta	C5 DCLNR -35060-12
Acabado	Inserto	DNMG 110412 -FN KC9110
	Porta	C5 DDJNR-35060-11
Refrentado	Inserto	VBMT 160408 -LF KC9110
	Porta	C-5 SVJBR -35060-16

Centrándonos en las herramientas de torneado, aparte de la propia información que nos da la denominación ISO de los insertos de torneado (que podemos encontrar en la bibliografía y por supuesto en cualquier catalogo de herramientas), veremos en concreto la información que nos aporta el fabricante sobre la calidad (el grado del metal duro y su recubrimiento) y la geometría (rompevirutas) de los insertos.

Así, sabemos que el inserto de desbaste es un inserto tipo CNMG120412 ,es decir un inserto de 80° de ángulo de filo ,con ángulo de incidencia de 0° , tolerancia de fabricación de ± 0.05 , doble cara de uso y orificio central. El tamaño de placa usado es de 12 mm de lado por 4,76 mm de altura y con un radio de punta de 1,2 mm. La calidad del metal duro es una KC9125, que es una calidad *enriquecida con cobalto con un recubrimiento multicapa de K-MTCVD-TiCN-Al2O3-TiCN-TiN con adhesión superior entre capas*. Esto hace que se obtenga acabados excelentes en gran variedad de materiales de pieza. El sustrato enriquecido con cobalto *asegura*

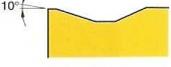
una resistencia a la deformación adecuada con una excelente tenacidad y fuerza de filo. Las capas de recubrimiento ofrecen una buena resistencia al desgaste en una gran gama de condiciones de mecanizado.

<p>KC9110</p>	 <p>C3, C7</p>	<p>Composición: Calidad de metal duro enriquecida con cobalto creada especialmente y pendiente de patente, con un grueso recubrimiento de K-MTCVD-TiCN, una capa de Al₂O₃ de tamaño de grano controlado, y capas exteriores de TiCN y TiN para una máxima resistencia al desgaste. Aplicación: Calidad para acabado excelente y mecanizado medio para gran variedad de materiales de pieza incluyendo la mayoría de aceros, aceros inoxidables ferríticos y martensíticos y fundiciones. El sustrato enriquecido con cobalto especialmente diseñado ofrece una combinación equilibrada de resistencia a la deformación y tenacidad de filos, mientras que las gruesas capas de recubrimiento ofrecen excelente resistencia a la abrasión y al desgaste de cráter para mecanizado de alta velocidad. El recubrimiento suave proporciona buena resistencia al recrecimiento de filos y micro astillado y produce excelentes acabados superficiales. Para corte más duro, utilice la calidad KC9125.</p>
<p>KC9125</p>	 <p>C2 - C3, C6 - C7</p>	<p>Composición: Tenaz calidad de metal duro enriquecida con cobalto con recubrimiento multi-capa de nuevo diseño K-MTCVD TiCN-Al₂O₃-TiCN-TiN con adhesión superior entre capas. Aplicación: Esta es la mejor calidad de torneado general de la industria para la mayoría de aceros y aceros inoxidables ferríticos y martensíticos. El diseño del sustrato, enriquecido con cobalto, asegura una resistencia a la deformación adecuada junto con una excelente tenacidad y fuerza de filo. Las capas de recubrimiento ofrecen buena resistencia al desgaste en una gran gama de condiciones de mecanizado. La suavidad del recubrimiento reduce el calor producido por la fricción, minimiza el micro astillado y mejora el acabado superficial de la pieza. La calidad KC9125 funciona bien en desbaste moderadamente grande y semi-acabado. Utilice la calidad KC9110 para acabado.</p>

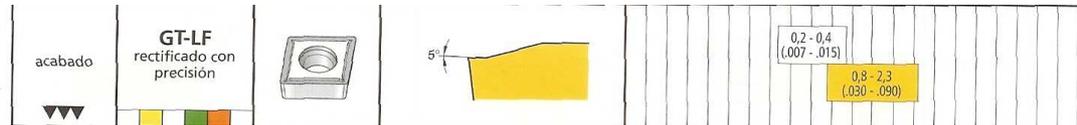
En cuanto a la geometría tiene una gran faceta negativa para darle mayor robustez al filo como podemos ver en el catálogo además de su rango de aplicación:

<p>mecanizado medio</p>	<p>MG-MN</p>			<p>0,2 - 0,5 (.006 - .020)</p> <p>0,5 - 5,1 (.020 - .200)</p>
-------------------------	---------------------	-------------------------------------------------------------------------------------	-------------------------------------------------------------------------------------	-----------------------------------------------------------------------

Para el acabado se ha elegido un inserto tipo DNMG110412, por tanto es un inserto con forma rómbica de 55° en la punta, con ángulo de incidencia de 0°, tolerancia de fabricación de +/- 0.05, doble cara de uso y orificio central. El tamaño de placa usado es de 11mm de lado por 4,76 mm de altura y con radio 1,2 mm. La calidad en este caso es la KC9110, que aunque es bastante similar a la KC9125 está indicada para mecanizado de alta velocidad de corte *por su gran resistencia a la abrasión y al desgaste de cráter*. El rompevirutas tiene un ángulo de 10° con una pequeña faceta en la punta:

<p>acabado</p>	<p>MG-FN</p>			<p>0,1 - 0,3 (.005 - .012)</p> <p>0,3 - 2,5 (.010 - .100)</p>
----------------	---------------------	-------------------------------------------------------------------------------------	-------------------------------------------------------------------------------------	-----------------------------------------------------------------------

El inserto de refrentado es del tipo VBMT160408, es decir un placa rómbica de 35° , con un ángulo de incidencia de 5° , tolerancia de ± 0.05 y con una sola cara de uso. La calidad del metal duro es de nuevo una KC9110. El rompevirutas -LF tiene un pequeño ángulo de 5° en la punta:



3. ANÁLISIS DE PARAMETROS DE MECANIZADO:

En este apartado se verán cuales son los parámetros sobre los que se actuará para poder optimizar las condiciones de corte de nuestra pieza. Son estos los que influirán en que la pieza producida, sea lo mas económica posible.

Las condiciones elegidas para el mecanizado de nuestra pieza y que después se verán en el apartado del programa pieza, están basadas en los datos teóricos citados en el apartado de anexos en el correspondiente a conceptos teóricos y definiciones.

3.1. GIRO Y VELOCIDAD DE CORTE

La velocidad de corte, como es sabido, es la velocidad superficial a la cual la herramienta se desplaza a lo largo de la pieza en metros por minuto. En la operación de torneado a una velocidad de giro fija, la velocidad de corte variará con el diámetro de la pieza a mecanizar. Un diámetro mayor significa que hay que dar mas pasadas de corte por minuto y la herramienta tendrá que ir a una mayor velocidad. En la maquina destinada al mecanizado de nuestra pieza ,al tratarse de un torno CNC, la velocidad de corte se puede mantener constante cuando es requerido, debido a que la velocidad de giro variará en línea con la variación del diámetro. Es decir el propio control de la maquina en función de la velocidad de corte que se le programe y del diámetro actual de la pieza, modificará la velocidad de giro del cabezal. Esta función es de uso muy habitual porque permite optimizar la vida de las herramientas.

Para el cálculo teórico de la velocidad de corte utilizaremos la siguiente expresión:

$$V_c = \frac{\pi \times D \times N}{1000}$$

Donde:

- D : Diámetro de la pieza en mm
- N : Velocidad de giro del cabezal en revoluciones por minuto

Y el resultado se obtiene en m/min.

En nuestro caso, la velocidad de corte que hemos seleccionado para la operación de torneado, se ha definido usando en principio las recomendaciones del fabricante de herramientas, aunque contando con nuestra experiencia haremos alguna modificación sobre dichas recomendaciones. Posteriormente, a la hora de hacer las primeras pruebas en máquina del programa confirmaremos si nuestra elección es correcta o

debemos hacer alguna modificación más de las mismas:

- Para el desbaste la velocidad que aplicaremos será en principio una velocidad más baja de la recomendada, partiremos de 150 m/min. Esto es debido a que esta herramienta se tiene que enfrentar con la capa exterior de la pieza forjada, la cual suele presentar una serie de microdurezas, las cuales son muy agresivas con las herramientas, por lo que conviene que esto se produzca a una velocidad menor con idea de proteger la herramienta. Además hay que decir que la velocidad de corte es el parámetro que más influencia tiene sobre la vida de la herramienta, y por tanto, en una pasada de desbaste no interesa una velocidad muy alta.
- Posteriormente en la pasada de acabado sí que mantendremos una velocidad mayor como recomienda el fabricante 250 m/min, ya que por un lado la capa externa ya habrá desaparecido y por otro lado esta pasada será de menor profundidad.
- Por último para el refrentado, por ser poco el material a eliminar se ha elegido, como punto de partida una velocidad más alta a la recomendada de 250 m/min.

En cualquier caso, estas velocidades servirán de punto de partida del proyecto, y podrán ser modificadas una vez este se haya puesto en marcha en función de mejoras del proceso de mecanizado o en función también, lo cual suele ser frecuente, de mejoras e innovaciones hechas por los fabricantes de herramientas que permitan incrementar el régimen de arranque de viruta.

3.2. AVANCE DE LA HERRAMIENTA

El avance es un valor clave para determinar la calidad de la superficie a mecanizada y para asegurar que la formación de la viruta está dentro del campo de actuación de la geometría de corte. Este valor determinará el espesor de la viruta y también en combinación con la profundidad de pasada, la proporción de rotura de la misma. Un mayor avance conducirá lógicamente a una vida más corta de la herramienta para una velocidad de corte determinada, pero por otro lado conducirá a un mecanizado más rápido y regímenes de arranque de viruta más elevados.

Aunque su definición también pueda ser por unidad de tiempo (mm/seg), la que se usará en este proyecto será en milímetros por revolución de la pieza a mecanizar

(mm/rev), que es el parámetro mas habitualmente usado en la industria del mecanizado. El avance que se ha definido para el mecanizado de nuestra pieza, variará entre otras cosas en cada pasada, en función de lo crítico de la geometría que se esté mecanizando, esto es aumentando en las zonas rectas y disminuyendo en los chaflanes y radios. En la siguiente tabla se muestran esta gama de avances seleccionadas para cada herramienta.

OPERACIÓN	AVANCE (mm/rev)	
	Desbaste	0,25
Acabado	0,15	0,3
Refrentado	0,15	

En la pasada de desbaste se ha definido un alto avance debido a que no importa realmente la calidad superficial resultante en esta pasada, y con idea de que haya una buena rotura de la viruta. Posteriormente para la pasada de acabado se ha elegido un avance menor, para obtener una calidad superficial acorde con las especificaciones de la pieza.

3.3. PROFUNDIDAD DE CORTE

La profundidad de corte y el ángulo de posición determinarán la longitud o ancho de la viruta, es decir la longitud de la arista de corte la cual esta en contacto con la pieza. Este junto con los parámetros anteriormente descritos de avance y velocidad de corte, nos definirá el régimen o tasa de arranque de viruta por unidad de tiempo, lo cual será sumamente importante a la hora de que el proceso definido sea los mas eficiente y económico posible. En la tabla siguiente se expone la profundidad seleccionada para cada pasada de corte, así como el ángulo de posición de la herramienta (definido por el portaherramientas). Al igual que se dijo para los parámetros vistos anteriormente, las posibilidades son muchas y estos parámetros valdrán como punto de partida siendo siempre susceptibles de mejora.

OPERACIÓN	ANGULO DE POSICIÓN (grados)	PROFUNDIDAD DE CORTE (mm)
Desbaste	95	1,5
Acabado	93	0,8
Refrentado	75	0,5

El equilibrio entre la pasada de desbaste y la de acabado es crítico, y depende entre otras cuestiones del tipo de rompevirutas que tenga la herramienta seleccionada, ya que para que este rompevirutas pueda realizar su función necesita una profundidad de corte mínima, es por ello por lo que para la pasada de desbaste se ha seleccionado una profundidad de corte que es casi el doble de la de acabado.

3.4. ENERGÍA ESPECÍFICA Y POTENCIA DE CORTE

La energía específica de corte puede variar considerablemente para un material dado y está afectada por cambios en la velocidad de corte, el avance, inclinación de la herramienta, etc. Por tanto, para una inclinación de la herramienta dada, a velocidades de corte altas y avances grandes, la energía específica de corte tiende a permanecer constante. Este valor constante puede ser útil para determinar las fuerzas requeridas para cortar un material. Con el fin de determinar la potencia necesaria en la máquina, se expone a continuación el cálculo de la potencia de corte de nuestra operación. La potencia de corte especificada en Kw viene dada por la expresión:

$$P = \frac{V_C \times K_C \times f_n \times a_p \times \text{sen}K_{re}}{60 \times 1000}$$

Donde:

V_C : velocidad de corte en m/min

K_C : fuerza específica de corte en N/mm²

f_n : avance de la herramienta en mm/revolución

a_p : profundidad de corte en mm

K_{re} : es el ángulo de posicionamiento de la herramienta

En la siguiente tabla se muestra el cálculo de la potencia de corte para cada una de

las herramientas de corte empleadas durante el torneado de la pieza de este proyecto.

Operación	Angulo posición	Revoluciones	Velocidad	Avance		Profundidad corte	Potencia corte (Kw)
Desbaste	95	1500	150	0,25	0,4	1,5	3,736
Acabado	93	Variable	250	0,15	0,3	0,8	2,497
Refrentado	75	3200	250	0,15		0,5	0,754

$K_c=2500$ (según tablas)

Comprobamos por tanto que no tenemos problemas de potencia en nuestra máquina, ya que disponemos de una potencia de motor de 45 Kw. Evidentemente en nuestro este cálculo podríamos haberlo obviado, dado que la máquina tiene potencia más que suficiente, sin embargo puede ser de gran utilidad este dato cuando disponemos de máquinas pequeñas o cuando la pieza a mecanizar tenga unas dimensiones considerables.

4. ANÁLISIS Y CONTROL DE VIRUTA:

El mecanizado es un proceso de formación de viruta y aunque el objetivo final es cortar el metal para obtener una determinada forma y tamaño, esto tiene que hacerse creando virutas definidas. Asociado a esto se encuentran las operaciones para retirar el material eliminado durante el proceso de corte, de modo que se mantenga alejado del área de corte y evacue parte del calor generado durante el proceso.

Controlar la formación de la viruta es un requisito previo para cualquier operación, independiente del volumen de material arrancado. Parte de esto es la predicción de las temperaturas y fuerzas, puesto que estas juegan un papel dominante en la calidad del proceso. Las temperaturas afectan al proceso en sí mismo, y si son lo suficientemente altas, influirán de forma negativa en el material de la propia herramienta de corte. Para ello se ha seleccionado un filo de corte que nos permita la posibilidad de controlar la viruta, en determinadas condiciones de mecanizado. El efecto del proceso en la vida de la herramienta y seguridad del filo, son factores importantes en la selección de la geometría de corte. La forma de la viruta varía considerablemente según sea el material de la pieza, pero como se explicó anteriormente, el acero utilizado en nuestra pieza, al ser lo suficientemente tenaz, provocará que el proceso se asemeje a un flujo continuo de elementos en forma de lámina que se desprenden por cizallamiento.

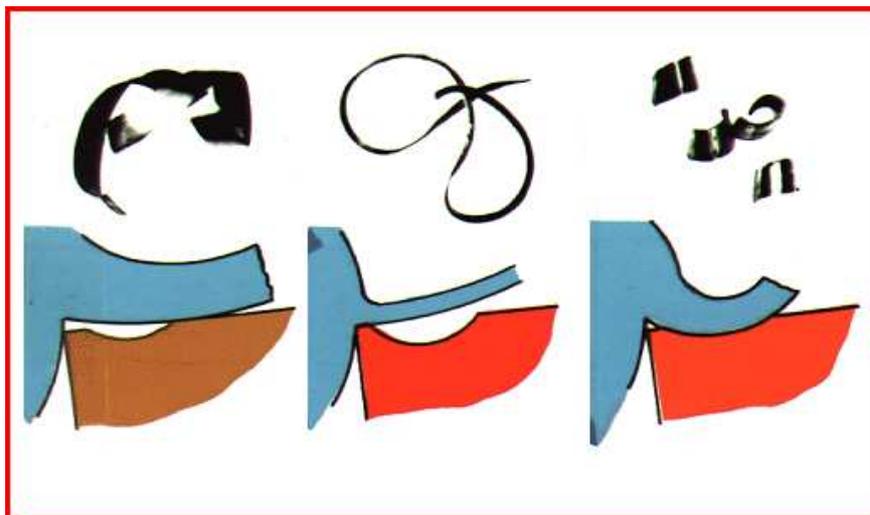
4.1. FORMACIÓN Y ESPESOR DE VIRUTA

La formación de viruta lógicamente está influenciada en gran manera por el material que vamos a mecanizar. Como se citó anteriormente el material sobre el que se trabajará se trata de un acero con un contenido medio en carbono, por lo que es de esperar una buena rotura de viruta.

Teniendo en cuenta que trabajaremos con un mecanizado oblicuo, la dirección de corte no es ortogonal, sino que va a formar un determinado ángulo respecto al filo principal. Esto cambiará considerablemente las condiciones geométricas y alterará la salida de la viruta. Es por ello que la forma esperada de la viruta sea la de coma (tipo helicoidal o “seis abierto”), y no en forma de muelle.

Como se indicó anteriormente, tendrá gran importancia en el correcto funcionamiento del rompevirutas de la herramienta que el avance y profundidad de pasada estén dentro de las recomendaciones del fabricante, ya que tanto si nos

excedemos como si nos quedamos cortos influye en la formación de la viruta.



Se debe esperar que en función de la profundidad de corte a la que estemos trabajando en cada momento, haya variaciones en la forma y espesor de la viruta ,ya que una mayor profundidad conduce a una menor influencia del radio y una mayor influencia del ángulo de posición, lo que dará en la practica como resultado una salida de viruta hacia fuera en forma de espiral .

Utilizando la formula descrita a continuación se ha realizado el calculo estimativo del espesor medio de la viruta esperada durante el proceso de mecanizado.

$$h_m = f \times \sqrt{\frac{a_p}{2r}}$$

Donde:

- f : avance de la herramienta (mm/rev)
- a_p : profundidad de la pasada (mm)
- r : radio de la punta de la herramienta (mm)

Así los valores medios que obtenemos son:

OPERACIÓN	RADIO HTA.	AVANCE		PROFUNDIDAD CORTE	ESPESOR MEDIO (mm)
Desbastado	1,2	0,25	0,4	1,5	0,19-0,31
Acabado	1,2	0,15	0,3	0,8	0,08-0,17
Refrentado	0,8	0,15		0,5	0,08

4.2. EVACUACIÓN DE LA VIRUTA

Como se decía anteriormente la operación que se va a llevar a cabo es un proceso de generación continua de virutas, las cuales deben ser posteriormente retiradas de modo que se mantengan alejadas del área de corte y evacue parte del calor generado por el proceso debido a la deformación plástica del material. Es por ello que en la propia maquina se deberá instalar un sistema de extracción de virutas, capaz de retirar todo el volumen de estas producido durante el mecanizado. Para ello lo primero que debemos estimar, es la cantidad de viruta que generará el proceso.

Utilizando la siguiente formula, calcularemos en la tabla inferior la tasa de arranque de viruta por unidad de tiempo (en cm³/min).

$$Q_z = V_c \times a_p \times f$$

Donde :

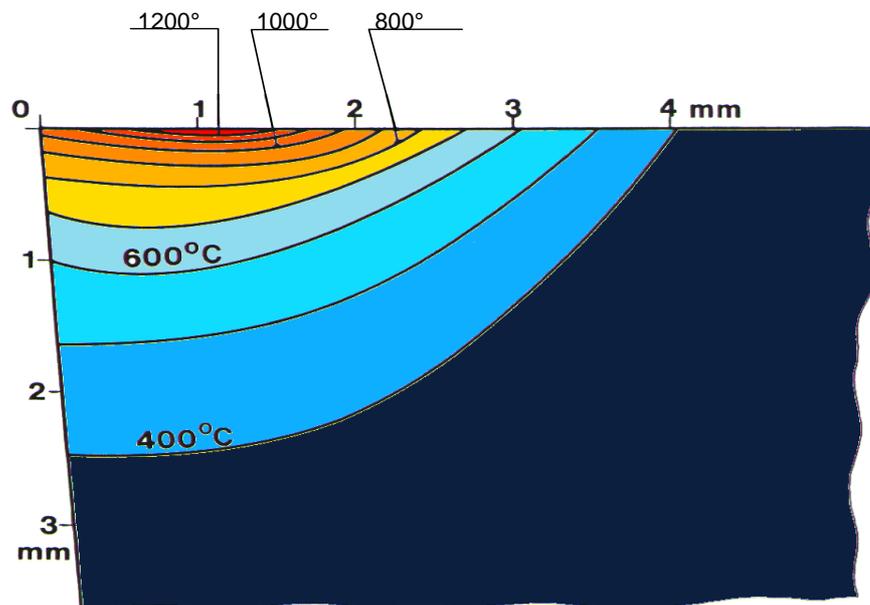
- Vc : es la velocidad de corte (m/min)
- f : avance de la herramienta (mm/rev)
- ap : profundidad de la pasada de corte (mm)

OPERACIÓN	VELOCIDAD	AVANCE		PROFUNDIDAD CORTE	ARRANQUE MATERIAL (cm ³ /min)
Desbaste	150	0,25	0,4	1,5	56-90
Acabado	250	0,15	0,3	0,8	30-60
Refrentado	250	0,15		0,5	20

El sistema de extracción de virutas a instalar, irá provisto de un conveyor o cadena extractora con un sistema de arrastre de viruta, que irá a descargar a un contenedor móvil en el exterior de la maquina. Este contenedor móvil deberá tener una capacidad como mínimo para albergar la viruta generada durante 24 horas de trabajo, para que de esta forma se produzca su retirada una sola vez al día, para así provocar el menor numero de paradas durante la producción.

5. ESTUDIO DEL CALOR GENERADO:

Durante la operación de mecanizado que se va a realizar debemos de tener en cuenta que se generaran temperaturas elevadas en la región del filo de la herramienta, y estas temperaturas tendrán influencia sobre el desgaste de la herramienta y la fricción entre la viruta y la herramienta. En este apartado veremos los datos concernientes a esta generación de calor y se justificará el uso de un fluido de corte, para disipar este calor generado.



Temperatura en la arista de corte.

5.1. GENERACIÓN DE CALOR DURANTE EL MECANIZADO

En el proceso de mecanizado de nuestra pieza habrá una deformación elástica y otra plástica. Cuando el material a mecanizar se deforme elásticamente, la energía requerida para hacerlo será almacenada en el material como energía de deformación, y no se genera calor. Sin embargo, cuando el material se deforme plásticamente, la mayor parte de la energía utilizada se convertirá en calor.

En el mecanizado el material será sometido a grandes deformaciones, y la deformación elástica corresponderá a una pequeña parte de la deformación total, por lo que puede suponerse que prácticamente toda la energía invertida en el proceso se transforma en calor. Este calor generado será tenido en cuenta, ya que impactará negativamente, entre otros, en la vida de las herramientas implicadas en el proceso de

corte, debilitando el filo.

Lo ideal en este proceso es que el calor generado no se quede en la pieza a mecanizar, sino que podamos eliminarlo a través de la viruta generada, con el objetivo de que nuestra pieza sufra las menores tensiones térmicas añadidas. Es fundamental para ello una observación minuciosa de la viruta que genera nuestro proceso, su forma, aspecto, temperatura etc. y actuaremos con los elementos a nuestro alcance (parámetros de corte, geometría etc.) para intentar conseguirlo.

5.2. DISIPACIÓN DEL CALOR MEDIANTE FLUIDO DE CORTE

Con objeto de disipar este calor generado, utilizaremos un sistema de aportación de fluido de corte, mediante el cual se aplicará este a la zona de formación de la viruta con el propósito de mejorar las condiciones de corte.

Este fluido de corte actuará principalmente de dos maneras, como refrigerante y como lubricante. Básicamente hay 2 tipos de fluido de corte, los aceites de corte y las emulsiones o taladrinas. Los primeros tienen principalmente una función lubricadora que facilita el corte aunque no suelen disipar demasiado bien el calor. La tendencia actual es usar taladrinas que combinan mejor ambos aspectos.

Con la aplicación del fluido de corte se espera obtener estas ventajas:

- Un incremento en la vida de la herramienta por la reducción de la temperatura del filo, evitando el riesgo del filo de aportación.
- Manejo más fácil de la pieza terminada, hay que recordar que la carga y descarga de piezas en la máquina es manual, por lo que de esta forma el operario encargado de esta tarea no deberá usar incómodos guantes anticorrosivos.
- Reducción en la distorsión térmica debida a los gradientes de temperatura generados dentro de la pieza durante el mecanizado.
- Una mejor extracción de la viruta, al arrastrar el fluido refrigerante la viruta depositada en los sitios de difícil acceso.

5.2.1. Características del fluido de corte

No es objeto de este proyecto el sugerir o recomendar el uso de una determinada marca comercial, pero sí que se especificará en este apartado los requisitos del tipo de fluido de corte a utilizar en esta operación. En concreto se utilizará una emulsión de taladrina en una proporción del 3-5% , que deberá ser

controlada periódicamente, para evitar oxidación en la maquina cuando esta sea baja, o evitar que por evaporación del agua esta emulsión se autoconcentre. Dicha taladrina deberá conseguir primeramente una buena lubricación, y tener buenas cualidades como refrigerante. Deberá ser capaz de soportar el trabajo dentro de equipos que trabajan a altas presiones, a veces con centrifugación, sin producir espumas. El fluido de corte no deberá disolver la pintura afectando a la de la maquina, ni tampoco corroer las juntas de cierre o estanqueidad y nunca deberá ser causa de corrosión de la pieza a mecanizar.

El fluido de corte no deberá pegarse causando que virutas pequeñas y partículas dañen o marquen las piezas a mecanizar y hagan más difícil la limpieza del tanque. Además no deberá producir efectos desagradables como olores o reacciones alérgicas tales como sequedad, picor de ojos o irritación de la piel.

La maquina por diversas causas puede sufrir en algún momento de la vida del proyecto perdidas de aceite, por lo que es deseable que el fluido de corte pueda disolver este aceite sin perder propiedades.

5.2.2. Reutilización del fluido de corte

La circulación del líquido refrigerante por reutilización requerirá mantenimiento continuo e inspección. Polución, micro-organismos y cambios en la concentración deberán ser continuamente controlados con el fin de mantener el refrigerante bajo control y aumentar su vida útil . Se utilizará un sistema de filtraje para eliminar las partículas contaminantes del líquido refrigerante por medio de la sedimentación de partículas sin disolver utilizando la fuerza de la gravedad, controlando ya que la sedimentación lleva un periodo de tiempo, que el aumento de bacterias pueda crear un problema. El líquido refrigerante deberá pasar siempre por un filtro antes de llegar a la bomba.

El sistema del fluido de corte deberá asegurar que se mantenga a una temperatura de trabajo entorno a los 20 grados centígrados, por lo que si las condiciones climáticas de la planta de fabricación no aseguran tener esta temperatura bajo control, se usaran intercambiadores de calor o enfriadores.

5.2.3. Almacenaje, mantenimiento y desecho del fluido de corte

El líquido refrigerante al estar basado en agua no deberá exponerse a

temperaturas extremas en ningún caso, ya que las altas temperaturas pueden causar una evaporación del agua y por otro lado las temperaturas bajas pueden conducir a la separación de ciertos aditivos.

Los bidones de aceite emulsionable deberán almacenarse bajo techado de forma que no estén expuestos a la humedad. Si esto no fuera posible, deberán colocarse de costado, ya que cuando estos se almacenen a la intemperie la diferencia de temperaturas causará que el agua recogida en la tapadera del bidón produzca condensación dentro del mismo.

Como se decía anteriormente el fluido de corte de agua soluble requerirá mantenimiento, con el fin de limitar el número de micro-organismos en el agua ya que estos acortan la vida del fluido de corte y podrán causar problemas de corrosión, atascando las líneas de suministro y válvulas, además de producir un olor desagradable.

En el caso de que se lleguen a producir cúmulos de bacterias, un agente bactericida destructivo, conocido como biocidas, deberá ser agregado para la limpieza.

En cuanto al agua agregada no deberá ser demasiado dura ya que el fluido puede llegar a separarse, con el resultado de que una capa de aceite puede producirse en la superficie. De la misma forma, habrá de controlarse que el agua no sea demasiado blanda y cause espuma.

Las emulsiones que se desechan, bajo ninguna circunstancia deben ser vertidos al sistema público de desechos. Estas deberán ser tratadas de tal forma que se separe el agua y el aceite. Para ello, se utilizarán sulfatos de hierro, sales y en algunos casos ácidos fuertes. Si utilizamos ácidos el agua debe ser neutralizada antes de introducirla al sistema público.

En el anexo correspondiente a Medio Ambiente, se incluyen los procedimientos relacionados al manejo y desecho de las taladrinas.

6. PROGRAMA DE MECANIZADO:

El programa de CNC constituye el medio entendible tanto por el hombre como por la maquina, mediante el cual se establece la secuencia de operaciones a realizar por la maquina herramienta.

En este apartado se verá primeramente los fundamentos teóricos a partir de los cuales se ha construido el programa pieza y de que fases y partes estará compuesto, y al final del capitulo se verá como queda el programa pieza, para el mecanizado de la pieza objeto de este proyecto.

La forma empleada para la elaboración de este programa, aunque hoy día existen otras mas sofisticadas, se trata del sistema tradicional, en la que a partir del plano, se calculan de forma manual las trayectorias de las herramientas y a continuación se codifican dichas trayectorias utilizando el lenguaje de programación. En algunos casos y con objeto de calcular trayectorias angulares y circulares, se ha usado como apoyo un programa CAD de diseño, el cual facilita los cálculos geométricos necesarios en esta etapa.

6.1. FASES DE PROGRAMACION

Para la realización del programa de CNC es necesario conocer o establecer los siguientes puntos:

- La capacidad y características de la maquina herramienta, pues de ella dependerán los parámetros de corte elegidos, herramientas, tamaños de pieza, operaciones a realizar, etc.
- Las características del equipo de CNC, ya que de ellas dependerán las operaciones de mecanizado así como el propio programa.
- El plano de la pieza, pues en el constarán las dimensiones de la misma antes y después del mecanizado, material, acabado superficial y tolerancias, que influyen en la elección de la herramienta así como en los parámetros de corte.
- La importancia de la serie, así como su repetición eventual y complejidad, ya que de ellos depende el tipo de maquina a utilizar.
- El utillaje que comprende los dispositivos de fijación, plantillas y las herramientas con sus condiciones de aplicación y sus dimensiones.

A partir de toda esta información, para la programación se hace necesario seguir los siguientes pasos:

- Fijación del proceso de trabajo, detallando el orden y el número de operaciones, así como su situación en la pieza por medio de croquis.
- Toma de informaciones geométricas del dibujo, realizando los cálculos pertinentes, y su traslado a las hojas de programa.
- Toma de informaciones tecnológicas del catalogo de herramientas seleccionadas, así como el calculo de las condiciones de mecanizado, tiempos, potencias, etc.
- Ordenación de las informaciones en las hojas de programa en la forma necesaria para su ejecución, y la sucesión de secuencias determinadas para el transcurso del programa
- Codificación de las informaciones y su traslado a un soporte de información, como por ejemplo disco magnético o memoria del CNC.

6.2. DEFINICION DEL PROCESO

Conocidos los elementos de fabricación disponibles, la definición del proceso de mecanizado puede dividirse en las siguientes etapas:

- 1) ***Estudio del plano de la pieza a fabricar:*** en esta fase debemos recopilar información de las características de la pieza a fabricar: material, dimensiones, tolerancias, acabados superficiales, etc, datos todos ellos que determinan las maquinas a utilizar. Es por tanto fundamental que en el plano queden reflejados dichos datos.
- 2) ***Fase de análisis de las operaciones elementales:*** el programador descompone las superficies a mecanizar en tramos correspondientes a las trayectorias que las herramientas pueden seguir. En general solo son lineales y circulares, sobre superficies planas o de revolución. Este estudio geométrico implica la definición de las cotas de los puntos de inicio y final de cada tramo, así como el centro en las circulares.
- 3) ***Fase de selección de maquinas:*** se estudia que operaciones pueden efectuarse en cada una de las maquinas disponibles, intentando disminuir al máximo el numero de cambios y de atadas o amarres de la pieza.
- 4) ***Fase de selección de herramientas:*** en esta fase se eligen las mas adecuadas para cada operación en función de las características de la misma y de las tolerancias y acabados superficiales deseados, por tanto habrá que disponer de un fichero actualizado de herramientas disponibles. Al terminar esta fase es

conveniente rellenar una hoja de herramientas a usar en cada operación con la indicación de sus datos geométricos.

- 5) **Fase de definición de características técnicas:** en esta se establecen las velocidades de avance, profundidad de pasada y velocidad de corte adecuadas al material de la pieza según la maquina y herramientas utilizadas, para obtener los ciclos de mecanizado mas cortos compatibles con la calidad exigida.
- 6) **Fase de selección y diseño del utillaje:** aquí se estudia en general, el centraje y fijación de la pieza sobre la maquina, procurando disponer del máximo de caras y superficies libres para mecanizado y procedimientos flexibles, precisos y rápidos de fijación.
- 7) **Fase de secuenciación de operaciones:** se establece el orden en que se mecanizaran las distintas fases dibujando en cada caso un croquis de la zona a mecanizar, las herramientas y fijaciones utilizadas y los parámetros técnicos de fabricación. Esta fase suele concluir resumiendo toda la información precedente en lo que se denomina una hoja de proceso.

6.3. ESTRUCTURA GENERAL DEL PROGRAMA CNC

La necesidad de que la información sea entendible por la maquina impone al programador las reglas bajo las cuales puede obtenerse ese entendimiento entre ambos. El conjunto de estas reglas es lo que constituye el lenguaje de programación. El programa además, ha de ser entendible por otra persona distinta al programador que lo ha realizado, para ello es necesario seguir unas normas relativas a la redacción de programas, de tal forma que estos sean de fácil lectura e interpretación.

En un programa se han de distinguir tres partes claramente definidas:

1. Cabecera de programa:

La confección de esta viene determinada por:

- Una simbolización propia del sistema utilizado, “%” en el código Iso.
- La numeración propia del programa.
- Los comentarios que sean oportunos. Es buena costumbre identificar en esta cabecera la pieza que se fabrica, operaciones que se realizan, herramientas que se utilizan, documentación asociada al proceso, etc. De esta forma con solo echar un vistazo a la cabecera del programa, identificamos plenamente para que se utiliza.

2. Programa de mecanizado:

Es la parte principal del programa, compuesta por una serie de bloques en los que se definen las trayectorias a seguir por la herramienta y las condiciones de corte y de operación de la maquina.

Se recomienda que la enumeración de bloques se haga de 5 en 5 o de 10 en 10 para prevenir que al insertar un nuevo bloque no haya que renumerar todos los bloques posteriores.

Intercalados con los bloques puede escribirse cualquier tipo de información que el programador desee incluir para facilitar la interpretación del programa y su posterior revisión o modificación. Esta información, que no será interpretada por el control debe escribirse siempre entre paréntesis.

3. Final de programa

Se resume a muy pocas líneas, una sola en muchos casos, se especifica la función auxiliar M30 ó M02 según se quiera que el programa vuelva o no al bloque inicial, una vez ejecutado.

Es también una buena costumbre anular todas aquellas funciones preparatorias que pudieran quedar activadas, para ello se puede programar en una misma línea: G10, G40, G90...

6.4. LENGUAJE DE PROGRAMACION ISO

El control numérico constituye un medio de automatización que desarrolla el trabajo a partir de una información alfanumérica, escrita según unas normas determinadas e introducidas en el equipo de control a través de medios diversos, tales como cintas magnéticas, disquetes, teclado alfanumérico o red de área local. En un taller convencional la información que requiere el operario para mecanizar una pieza en una maquina-herramienta está constituida por los datos recogidos en el plano de la pieza y en la hoja de proceso. El plano define la geometría de la pieza e indica el grado de acabado superficial. La hoja de proceso indica las decisiones tecnológicas que se han de tomar. El operario deduce de esta información las operaciones a seguir y los reglajes que se ha de efectuar en la maquina.

La utilización de maquina de control numérico en el taller ha provocado la necesidad de codificar estas operaciones en el lenguaje apropiado para los controles utilizados.

Para que un lenguaje quede definido se necesitan un vocabulario y una sintaxis. El vocabulario de CN está constituido por una serie de palabras que definen de una forma abreviada los conceptos necesarios para la ejecución de una operación. La escritura en lenguaje CN exige pues una traducción del lenguaje corriente escrito, una codificación de las operaciones a realizar. La codificación del programa de la pieza se plasma en un documento nuevo denominado hoja de programa de pieza.

Los programas de control numérico están compuestos de sentencias numeradas, denominadas bloques, que se referencian por un número y se ejecutan secuencialmente.

Un bloque se compone de las siguientes partes en el formato de dirección de palabra:

- Numero de bloque
- Palabras: están compuestos de función signo y numero. La función indica el tipo de información de que se trata. Los datos no dimensionales incluyen las funciones preparatorias usadas para describir tipos específicos de movimiento, velocidades de giro, de corte, especificaciones de herramienta, etc.

Cada bloque de programación puede constar de:

- N; numero de bloque
- G; funciones preparatorias
- W, X, Y, Z ; cotas de ejes
- I, J, K, R, A; coordenadas auxiliares.
- F; velocidad de avance
- S ; velocidad de cabezal
- T ; numero de herramienta
- M ; funciones auxiliares

Dentro de cada bloque hay que mantener este orden aunque no es necesario que cada bloque contenga todas las informaciones.

6.4.1. TIPOS DE FUNCIONES

6.4.1.1. Funciones Preparatorias

Se programan mediante la letra G seguida de dos cifras. Siempre se programan al comienzo del bloque y sirven para determinar la geometría y condiciones de trabajo. Aunque existe una estandarización (Norma ISO 1056) pueden ser modificadas por los fabricantes y algunas de ellas no están determinadas.

Las funciones G están divididas en grupos y en una secuencia de programa solo puede haber una función de cada grupo. Se activan de forma modal, quedándose estas activas mientras no sean reemplazadas por una nueva función G del mismo grupo, o también de forma secuencial quedando activas solo en la secuencia en la que se encuentran.

6.4.1.2. Funciones auxiliares o complementarias

Las funciones complementarias designadas por la letra M, contienen predominantemente, indicaciones tecnológicas. Mediante datos de maquina se fija si la función se ejecutara antes del desplazamiento del eje o durante el mismo.

Las funciones complementarias se fijan en norma y también en parte, por el fabricante de la maquina-herramienta. Existen una serie de funciones estandarizadas y comunes a varios fabricantes, como por ejemplo: M00, M01, M02, M07, M08, etc...

6.4.1.3. Funciones de avance “F” y velocidad de cabezal “S”

El avance determina la velocidad de mecanizado y se mantiene en el contorno con cada tipo de interpolación y tiene también en cuenta las correcciones de herramienta. El valor programado bajo la dirección F permanece en un programa hasta que se active un nuevo valor de avance. El valor de F se borra con fin de programa o reset, por tanto, en la primera secuencia de programa ha de introducirse un valor F.

El avance de la herramienta se puede programar mediante las siguientes órdenes:

- G94 ; Avance en mm/min
- G95 ; Avance en mm/revolución

Con la orden G96 puede introducirse una velocidad de corte constante bajo la dirección “S”. En función de la velocidad de corte programada, el control calcula la velocidad de giro del cabezal apropiada para el diámetro torneado en cada momento.

Para obtener la velocidad de giro del cabezal, se toma siempre como referencia el punto de origen de la pieza. En caso de velocidad de corte constante, se trabaja en una línea característica de un escalón de reducción. Un

cambio de este escalón de reducción no esta permitido. El escalón de reducción correspondiente ha de elegirse anticipadamente.

La interrelación entre diámetro torneado, velocidad de giro del cabezal y el movimiento de avance, permite una adaptación optima del programa a la maquina, al material de la pieza y la herramienta.

El punto de origen en el eje X tiene que ser el centro de giro. Esto es asegurado al posicionar el punto de referencia.

En el cálculo de la velocidad de giro del cabezal para la velocidad de corte constante, se tienen en cuenta los siguientes valores:

- valor real del eje
- corrección longitudinal de la herramienta
- decalaje de origen en dirección X

La velocidad de corte constante se elimina con la orden G97. El último número de vueltas alcanzado es tomado como numero de vueltas constante.

6.4.1.4. Función “T” número de herramienta

En las maquinas herramientas actuales se disponen de varias herramientas, bien dispuestas en una torreta giratoria o en un bloque con múltiples herramientas dispuestas en un mismo plano. Cada una de estas herramientas podrán intervenir cuando sea requerido en la fase de mecanizado que le corresponda.

Mediante esta función se determina el número de la herramienta que intervendrá en esa fase del mecanizado.

Cada una de estas herramientas está ligada a una tabla de datos interna de la maquina, en la que se reflejan: posición de la herramienta, geometría, radios, correctores de desgaste, tipo de herramienta, etc.

6.5. PRUEBAS Y PUESTA A PUNTO

Una vez que el programa esta en la memoria del CNC, se seleccionará el modo de operación de prueba como el primero para la ejecución del mismo. Este modo permitirá comprobar el funcionamiento del programa en vacío previamente a realizar la primera pieza, detectando posibles fallos de sintaxis, calculo de trayectorias o colisión.

Hay que tener en cuenta que en los sistemas más modernos cada vez son más las posibilidades de simulación que se ofrecen, pudiendo realizar la misma al mismo

tiempo que se realiza la programación, lo que posibilita una programación interactiva y ayudada reduciendo los tiempos de programación y puesta a punto de los programas.

Sin embargo, en la mayoría de los casos es necesario realizar otro tipo de pruebas para confirmar que el programa es correcto. Entre ellas, se pueden citar:

- Ejecución del programa en vacío, es decir sin colocar la pieza en la maquina y observando los movimientos que realizan las herramientas.
- Ejecución del programa con una corrección en Z, de tal manera que la pieza obtenida no es la pieza final. Podemos así observar el mecanizado y además medir directamente sobre la prueba realizada, en caso de error siempre hay material para fabricar la pieza correcta.
- Mecanizado de una pieza en material blando, normalmente plástico. Se puede así realizar la prueba en muy poco tiempo, ya que el plástico no requiere unas condiciones de corte muy elevadas. Tiene además la ventaja de que cualquier error grave, una clavada de herramienta, por ejemplo, no implica daños ni para la herramienta ni para la maquina, solo se vera afectada la pieza de plástico.
- Mecanizado de la primera pieza de la serie y verificación de la misma, aunque haya errores y la pieza sea inútil, se corrige el programa y solo perderemos una pieza.

6.6. EJECUCION DEL PROGRAMA

Una vez el programa ejecutado en vacío y corregidos los fallos detectados en dicho modo, estamos en condiciones de obtener la primera pieza, siendo el modo de operación mas adecuado el funcionamiento bloque a bloque. En este modo el programa se ejecuta como su nombre indica línea a línea, siendo necesaria para la ejecución de una línea que el operario pulse la tecla de marcha del control.

En la ejecución el operario puede controlar los avances mediante el potenciómetro de “feedrate” que regula el porcentaje del avance programado.

Es fundamental en dicho modo de trabajar el atender a la información presentada por el control en la pantalla, así como el recorrido efectuado por la primera herramienta. Para ello los sistemas suelen disponer de varios tipos de visualización, que nos permiten controlar en todo momento, diversos datos como son el bloque en ejecución y restantes, la distancia que resta por recorrer a la herramienta para terminar ese bloque, la velocidad, el avance, posición actual, etc...

Una vez ejecutado el programa bloque a bloque y corregidos los posibles fallos detectados para lo que puede ser necesario el ejecutar el programa varias veces en

dicho modo, tenemos la certeza de disponer de un programa que obtiene la pieza que realmente deseamos.

Para la obtención de las siguientes piezas se utilizará la ejecución en modo automático que ejecutará el programa de forma continua y completa, sin la necesidad de que el operario pulse en cada bloque la tecla de marcha de ciclo.

6.7. PROGRAMA MECANIZADO DE COMPONENTE DE TRANSMISION

El siguiente programa es el que usaremos para el mecanizado de nuestra pieza en cuestión, base de este proyecto. Para intentar conocer un poco mas el funcionamiento de este programa se incluye una tabla donde se explican las funciones especiales M usadas en dicho programa.

A continuación para un mejor entendimiento del mismo se explica de forma breve el funcionamiento de este programa:

En primer lugar una vez que el operario ha cargado la pieza en posición y ha accionado el pulsador de marcha de programa. Lo primero que hace la maquina es cerrar la puerta de acceso y después el control hace una carga de los parámetros que le serán útiles durante la ejecución del programa. A continuación acciona el embride interior de la pieza y empieza a trabajar la primera herramienta, en este caso se trata de la broca de centrar. Esta herramienta es la encargada de hacer el taladro cónico que servirá de apoyo al contrapunto de la maquina. Una vez que ha terminado, se para el cabezal y se desembrida la pieza, para que baje el contrapunto y la pieza quede cogida entre puntos.

Después de esto empieza a trabajar la herramienta de desbaste, la cual contornea la pieza quitando una primera capa de material, y a continuación gira nuevamente la torreta para que trabaje la herramienta de acabado, dejando esta la pieza a su dimensional final.

Por ultimo entra la herramienta que realiza el refrentado de la pieza en la zona cercana al eje del contrapunto, se trata de una herramienta mas puntiaguda que le permite un mayor acceso a las zonas difíciles.

Al terminar se para el cabezal y el flujo de la taladrina, sube el contrapunto y la torreta portaherramientas va a su posición inicial. A continuación se abrirá la puerta para que el operario proceda a cambiar la pieza terminada por otra nueva pieza bruta, y el programa se rebobina y se queda a la espera de que nuevamente se accione el botón de inicio.

6.8. PROGRAMA PIEZA

%

O1323

(Torneado de la copa housing)

(Proyecto: mecanizado componente de transmisión)

N10 M11

N20 #100=500

N30 #101=380

N40 #102=118

N50 #103=340

N60 #104=420

N70 #105=645

N80 #106=640

N90 #5221=0(G54 X)

N100 #5222=196.75(G54 Z)

N110 G101 A100 B160 C180 D220 T100 U800 V900

N120 M111

N130 G0 G40 G53 X320

N140 G0 G53 G95 Z400

N150 M111

(TALADRO)

N1000 G0 G54 Z87 T101 M6 M22

N1005 M106 M122 M143

N1010 G97 X40 S637 M3 M28 M8

N1015 X0 F.8 M79 M88

N1020 G1 Z69.4 M3 M8 F.1

N1025 G4 S1

N1030 G0 Z87 M89

N1035 X200 M5

N1040 M105

(DESBASTE)

N2000 G0 Z86 T202 M6 M23

N2005 M123

N2010 M106 M143
N2015 G97 X23 S1875 M3 M28 M8
N2020 G1 Z78.75 F.35 M79
N2025 G0 G97 X24 Z85 S4700
N2035 G1 X16 Z78.75 F.35
N2040 X20.786
N2045 X24 Z75.97 F.3
N2050 Z55 F.4
N2055 G2 X26.85 Z53.5 I1.5 K0 F.3
N2060 G1 Z17.4 F.4
N2065 G1 Z15.4 F.25
N2070 X35.654 Z15.4 F.3
N2075 X40.9 Z10.86 F.4
N2080 Z-3.7
N2085 X45
N2090 G0 Z13.5 M88
N2095 G1 X26.85 F.4
N2100 Z16.5 M89
N2105 G0 X120 Z86 M44
(ACABADO)
N3000 G0 G97 Z86 S4500 T303 M3 M6
N3005 M106
N3010 G0 X16
N3015 G1 X12 F.3
N3020 X8 Z79.1
N3025 G0 X25 Z82
N3030 G42 G96 X20.609 S250 M8 M79 M88
N3035 G1 Z78.9 F.7
N3040 X23.38 Z76.5 F.2
N3045 Z54.07 F.3
N3050 X26.25 Z53.25 F.2
N3055 G1 Z13.35 F.3
N3060 X38.269 F.15
N3065 X40.3 Z11.6 F.2

N3070 Z-5.14 F.3
N3080 X42.6
N3085 X44.6 Z-6.14
N3090 X48 F.7
N3095 G0 G40 X120 M89
(REFRENTADO)
N4000 G0 G97 Z20 S3200 T404 M3 M6
N4005 M106
N4010 X45 Z13.5 M8 M79 M88
N4015 G1 X26.8 Z13.35 F.5
N4020 X25.4 F.15
N4025 X29 Z16.808
N4030 G0 X34 Z78.8 S3500
N4035 G1 X24 F.8
N4040 X12 F.3
N4045 G0 X24 Z79.5
N4050 Z78.6
N4055 G1 X8 F.15
N4060 G0 X100 Z82 M9 M89
N4065 X220 T400
(Finalizacion del programa)
N9000 G0 G53 X320 Z400 T100 M5 M6
N9005 M105
N9010 M22 M42 M106
N9015 G53 Z400 M45
N9020 M122 M142
N9025 M77
N9030 M110
N9035 M00
N9040 M11
N9045 GOTO150
N9050 M30
(Fin de programa)

6.8.1. Funciones especiales usadas en el programa

M 00	PARADA DE PROGRAMA
M 01	PARADA DE PROGRAMA OPCIONAL
M 02	FIN DE PROGRAMA
M 03	GIRO CABEZAL SENTIDO HORARIO
M 04	GIRO CABEZAL SENTIDO ANTIHORARIO
M 05	PARO CABEZAL
M 06	GIRO DE TORRETA
M 07	ARRANQUE REFRIGERANTE CON GIRO CABEZAL
M 08	ARRANQUE REFRIGERANTE CONTINUO
M 09	PARADA REFRIGERANTE
M 10	APERTURA PUERTA
M 11	CIERRE PUERTA
M 13	PREPARACION PIEZA BRUTA
M 14	PIEZA FINALIZADA DESCARGADA
M 16	GIRO TORRETA
M 19	PARADA ORIENTADA CABEZAL
M 22	RETORNO CONTRAPUNTO
M 23	AVANCE CONTRAPUNTO
M 27	ARRANQUE REFRIGERANTE 2 CON GIRO CABEZAL
M 28	ARRANQUE REFRIGERANTE 2 CONTINUO
M 29	PARADA REFRIGERANTE 2
M 30	FIN DE PROGRAMA CON REBOBINADO
M 40	ABRIR PINZAS
M 41	CERRAR PINZAS
M 42	EMBRIDAR PIEZA
M 43	DESEMBRIDAR PIEZA
M 44	ARRAQUE GIRO PIEZA AL EMBRIDAR
M 45	COMPROBACION DE PIEZA EMBRIDADA

M 46	<i>MONITORIZACION DE PIEZA EN POSICION ON</i>
M 72	<i>SOPLADO DE AIRE 1 ON</i>
M 73	<i>SOPLADO DE AIRE 1 OFF</i>
M 74	<i>SOPLADO DE AIRE 2 ON</i>
M 75	<i>SOPLADO DE AIRE 2 OFF</i>
M 77	<i>PARADA PROGRAMADA</i>
M 78	<i>INICIAR AVANCE CON ARRANQUE CABEZAL</i>
M 88	<i>CORTE PRECISO ON</i>
M 89	<i>CORTE PRECISO OFF</i>
M 105	<i>PARO CABEZAL</i>
M 106	<i>GIRO TORRETA</i>
M 110	<i>ABRIR PUERTAS</i>
M 111	<i>CERRAR PUERTAS</i>
M 113	<i>PREPARACION PIEZA BRUTA</i>
M 114	<i>COMPROBACION CONVEYOR DE PIEZA ACABADA LIBRE</i>
M 116	<i>GIRO TORRETA</i>
M 119	<i>PARADA ORIENTADA CABEZAL</i>
M 122	<i>AVANCE CONTRAPUNTO</i>
M 123	<i>RETORNO CONTRAPUNTO</i>
M 140	<i>ABRIR PINZAS</i>
M 141	<i>CERRAR PINZAS</i>
M 145	<i>CHEQUEO EMBRIDE VACIO</i>
M 147	<i>MONITORIZACION DE PIEZA EN POSICION ON</i>

6.8.2. Estudio tiempo de ciclo estimado del mecanizado

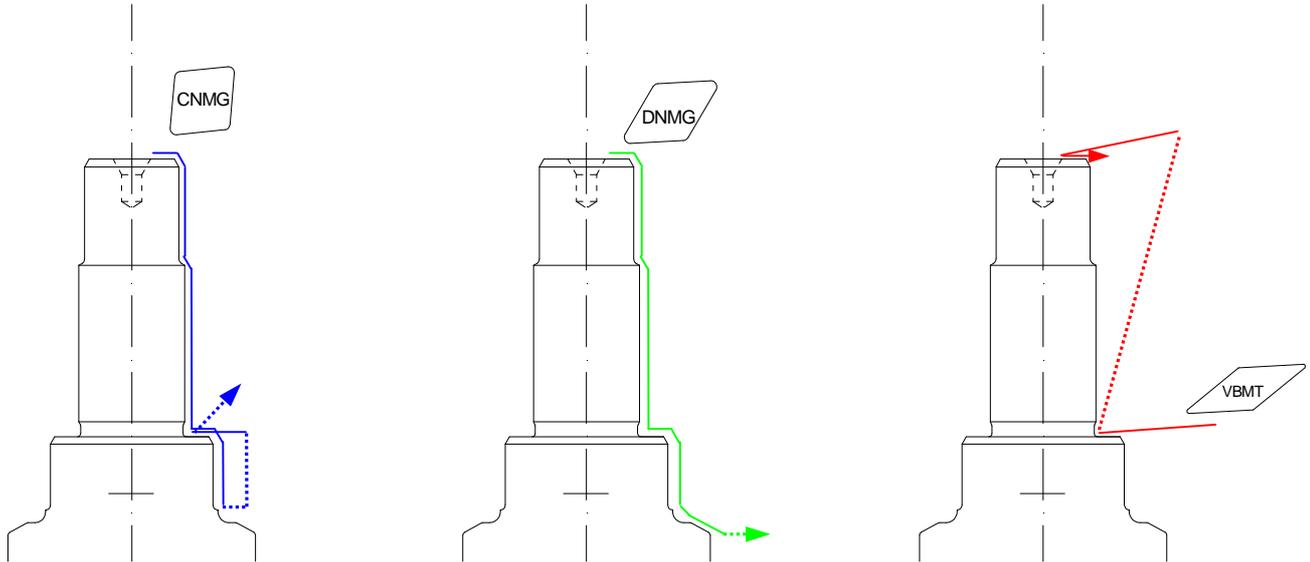
En la siguiente tabla y en base al programa pieza anteriormente expuesto se muestra una estimación del tiempo de ciclo necesario para mecanizar la pieza completa. En ella se detalla cada una de las fases de cada operación.

OPERACIÓN	FASE	RECORRIDO (mm)	AVANCE (mm/rev)	REVOLUCIONES	TIEMPO (seg)
Inicio ciclo	carga pieza				2,0
	cierre puerta				1,5
Taladrado	giro torreta				0,5
	acercamiento	40	0,8	637	4,7
	taladrado	17,6	0,1	637	16,6
	retirada rápida	300	G00		0,2
Desbaste	Cambio herramienta				0,5
	bajada contrapunto				0,5
	acercamiento	300	G00		0,5
	Contorneado	86	0,35	1875	9,8
	retirada rápida	300	G00		0,5
Acabado	Cambio herramienta				0,5
	acercamiento rápido	300	G00		0,5
	Contorneado acabado	86	0,2	2500	10,3
	retirada rápida	300	G00		0,5
Refrentado	Cambio herramienta				0,5
	acercamiento rápido		G00		0,5
	Refrentado superior	20	0,15	3500	2,3
	Undercut	10	0,1	3200	1,9
	retirada rápida	300	G00		0,5
Final ciclo	Subida contrapunto				0,3
	apertura puerta				1,5
	Descarga de pieza				2,0
Tiempo ciclo total					58,6

Atendiendo al resultado final de tiempo de ciclo de 58,6 segundos, nos da un resultado por hora de 61,4 piezas, que al 80% de productividad nos dará una producción / hora de 49 piezas. Considerando 3 turnos de producción diarios a 7 horas de trabajo efectivo y 220 días de trabajo anual, tendremos una capacidad instalada teórica de 226.380 piezas, lo cual supera con creces la estimación requerida de 154000 piezas anuales.

6.8.3. Esquema desplazamiento de herramientas

En el croquis adjunto vemos el recorrido aproximado que realiza cada inserto:



7. CONSIDERACIONES Y AJUSTES FINALES:

Finalmente, una vez que ya hemos seleccionado nuestras herramientas y comprobado que nuestro programa funciona correctamente, vamos a terminar de concretar otros aspectos que son igualmente necesarios para permitir un óptimo funcionamiento para una línea de producción en serie.

7.1. VIDA ÚTIL DE HERRAMIENTA

En primer lugar, tenemos que comprobar la vida útil de las herramientas que hemos seleccionado, para de esta forma establecer una secuencia periódica de cambio. Es muy importante el definir correctamente la vida de cada herramienta, para asegurar que las paradas en el proceso sean las mínimas y lo más cortas posibles.

No es conveniente delegar la decisión del cambio en el operario de la máquina, puesto que al igual que puede ser alguien con suficiente experiencia puede ser también un novato, y las consecuencias tanto de un cambio prematuro como de no hacer un cambio a tiempo pueden ser fatales. En el caso de cambios sin alcanzar la vida útil de la herramienta estaremos, además de gastando más en herramienta, con lo que la pieza fabricada será más cara (aunque este coste suponga un porcentaje pequeño en el coste total), el tener que hacer más paradas para dichos cambios suponen ineficiencias y pérdida de productividad que sí que tienen más importancia. Además este tipo de ineficiencias son difíciles de corregir si es el criterio del operario el que decide cuando cambiar. Por otra parte, el no cambiar a tiempo una herramienta puede acabar en la rotura de la misma, con la más que probable colisión y rotura de portaherramientas, placa base etc. y lo que es peor los posibles desajustes ocasionados en la propia máquina.

La vida de herramienta o duración de un filo de corte se ve limitada por el desgaste del filo, hasta el punto de que no puede realizar el trabajo para el que fue seleccionado. El factor limitador puede ser el acabado superficial, la precisión dimensional, la capacidad de controlar la viruta satisfactoriamente, o cuando el desgaste de la herramienta es de tal magnitud que el filo ya no es fiable. En ultimo término, la vida de la herramienta termina con rotura o fractura del filo. En este contexto es importante que el filo de corte se desgaste pero no se rompa.

Es necesario establecer definiciones claras para saber cuando están desgastados los fillos. Obviamente, cuando un filo no genera el acabado requerido, o cuando no mantiene las tolerancias, no puede usarse más para la operación en cuestión. El riesgo

de rotura de filo aumenta con el nivel de desgaste, especialmente cuando este sobrepasa un valor determinado.

Asimismo hay que decir que normalmente la vida útil de una herramienta no es siempre un valor exacto, ya que como hemos visto influyen multitud de factores, que incluso en un proceso estable hacen que exista un cierto margen de error.

Habitualmente, para determinar la vida útil se suelen hacer varios ensayos llevando prácticamente al límite la herramienta, en función del criterio que hayamos elegido, y aunque es un parámetro que cada ingeniero elige según su propio criterio o experiencia, lo más habitual es tomar un valor representativo de la muestra como puede ser la media y elegir una vida con entre un 15% y un 20% inferior, para estar siempre del lado de la seguridad. Otra opción es elegir el mínimo valor obtenido y usar un margen de seguridad algo menor.

Por último, intentaremos hacer coincidir los cambios de las distintas herramientas que intervienen en el proceso o bien que estos sean múltiplos unos de otros, con el objetivo de minimizar las paradas.

7.1.1. Indicadores de desgaste de herramienta

Aunque en el Anexo IV veremos más en detalle aspectos más teóricos relacionados con los tipos de desgaste de las herramientas, veremos ahora como podemos determinar que una herramienta está desgastada.

Una inspección con una lupa de una manera regular es un buen procedimiento para poder estudiar el desarrollo y tipo de desgaste generado, siendo un modo sistemático que aportará las bases para cambiar uno o varios parámetros para esa operación. Nos fijaremos especialmente en el desgaste en la cara de incidencia, que debe ser medido en relación con el tiempo que el filo de corte ha estado mecanizando, estableciendo un valor máximo de desgaste.

Una forma más práctica de detectar el desgaste es el aumento de la potencia necesaria para cortar de una operación a otra. Un control de la escala graduada del indicador de potencia consumida, detectará el aumento de esfuerzo debido a los cambios producidos en el filo de corte. En operaciones de acabado, donde hay límites en los valores, por ejemplo de acabado superficial, un filo de corte estropeado rápidamente va a producir un mal acabado superficial o dimensiones de pieza fuera de tolerancias. La mayoría de los tipos diferentes de desgaste dan problemas en estas áreas.

La formación de rebabas es también una señal que indica que el filo de corte ya no está en buenas condiciones para realizar un corte limpio o incluso que su geometría ya no es tan positiva como era al principio. Un desgaste en incidencia excesivo, deformación plástica y filo de aportación puede hacer que el filo de corte no esté en buenas condiciones para producir un corte limpio.

Un crecimiento excesivo de calor es también un indicador de que se ha producido un desgaste en el filo de corte y que no corta como debería. Un filo de corte deformado causa una mayor fricción, por lo que aumentará la temperatura durante el proceso de mecanizado.

El astillamiento o rotura de la herramienta es difícil preverlo incluso con la inspección regular en la máquina. Este es uno de los mayores riesgos que desde un principio requiere atender cuidadosamente las condiciones de mecanizado.

Marcas sobre las virutas y virutas mal formadas son indicadores de que se empieza a producir un desgaste de la herramienta y que va a ir a más. Cambios en la geometría de la plaquita debido al desgaste de la herramienta va a producir un proceso inferior de formación de la viruta, con una mala distribución del calor entre la pieza, herramientas y las virutas, dando como resultado virutas no bien formadas.

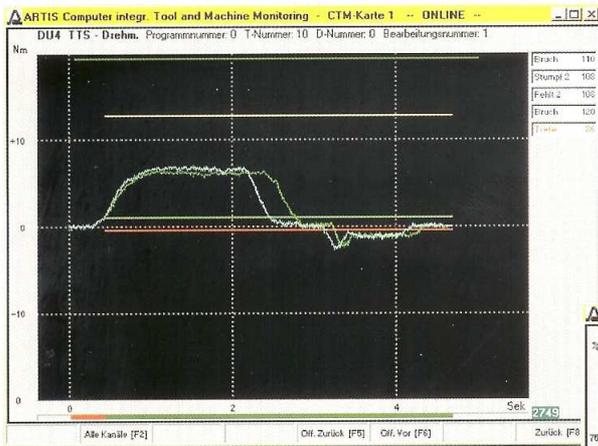
El ruido va a indicar que el proceso de corte no se está desarrollando correctamente. A menudo, esto es por motivo de las vibraciones causadas por el desgaste y el inmediato cambio de geometría de la herramienta. El operario rápidamente aprenderá a controlar estos sonidos que se producen durante el mecanizado como progreso del desgaste del filo de corte y de la vida de la herramienta y sacar conclusiones de lo que no es correcto en la operación.

La tendencia a la vibración en el proceso de mecanizado, frecuentemente es una señal de que el filo de corte está deformado, que da por resultado marcas de vibraciones sobre la pieza mecanizada, además del deterioro en el acabado.

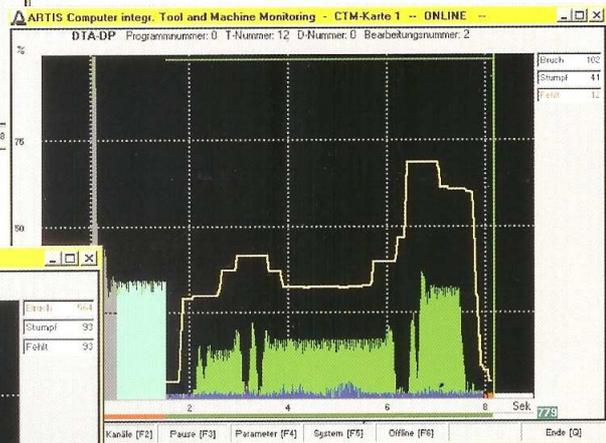
Por último decir que es posible encontrar en el mercado sistemas de monitorización de procesos basados en distintos parámetros: potencia, fuerza en el filo de la herramienta, par de giro, emisión acústica etc. que aunque supongan una inversión adicional suelen amortizarse sobradamente dada su eficacia, ya que muchos de los parámetros comentados pueden ser verificados automáticamente. Especialmente útiles suelen ser estos sistemas en la prevención de averías por colisiones o roturas de herramientas, ya que las

consecuencias de cualquiera de estas suelen ser muy graves y en muchos casos suelen ser provocados por errores humanos.

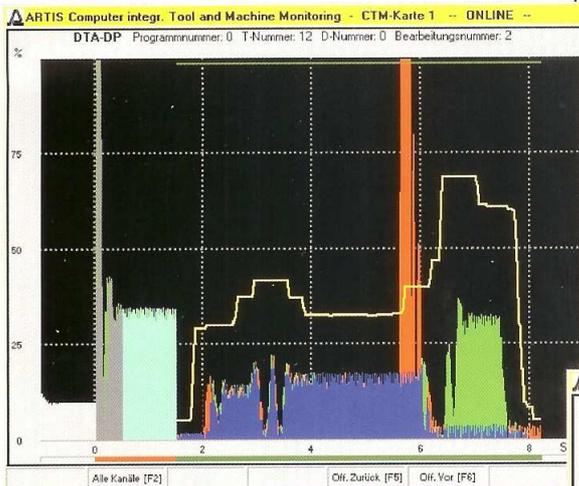
Descubrir errores



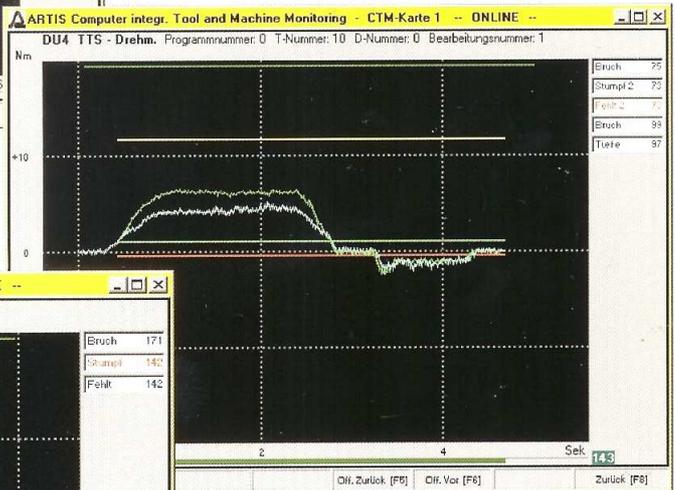
Vigilancia del par de giro de un mecanizado de rosca.
Error: mínima profundidad de rosca



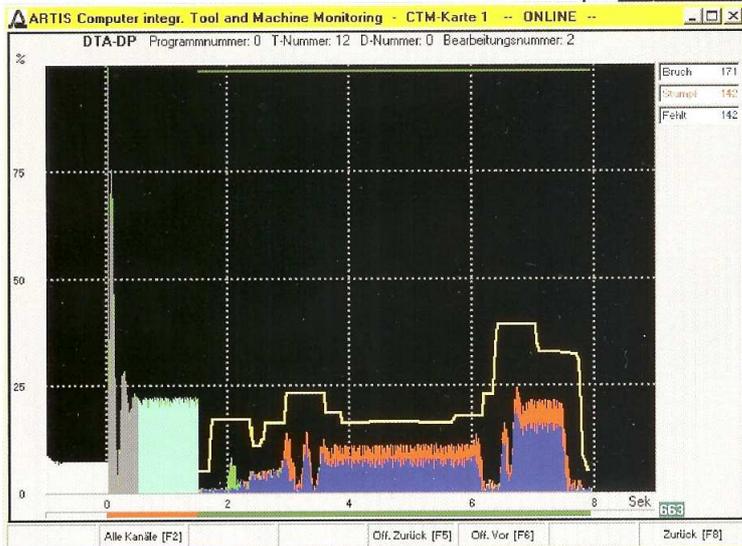
Vigilancia con el proceso DTA-DP
Error: Falta de herramienta



Vigilancia con el proceso DTA-DP
Error: rotura de broca



Vigilancia del par de giro en una fabricación de rosca
Error: diámetro del núcleo muy grande.



Vigilancia con el proceso DTA-DP
Error: broca sin punta.

Manejo y visualización
5

7.1.2. Vida de herramienta esperada en la copa housing

La vida del filo de corte estará determinada con la premisa de mantener la seguridad en la producción. Basado en los conceptos y prácticas anteriormente citados, se muestra en la siguiente tabla la duración en piezas de las herramientas usadas en el mecanizado de la pieza objeto de este proyecto. Además de la propia duración de herramienta, se ha tomado como criterio para definir el número de piezas para cada cambio de herramienta, el mínimo número de interrupciones en la producción para proceder al cambio de herramientas, para ello se ha establecido un múltiplo de piezas, para que coincidan el mayor número de herramientas en cada cambio. De esta forma se optimiza el tiempo útil de fabricación.

NUMERO HERRAMIENTA	TIPO HERRAMIENTA	NUMERO DE PIEZAS (VIDA DE HERRAMIENTA)	CAMBIO COINCIDE CON HERRAMIENTA
1	Broca punteado	600	2,3,4
2	Desbaste	75	-
3	Acabado	150	2
4	Refrentado	300	2,3

7.2. ACABADO SUPERFICIAL

Como se adelantó en el apartado anterior, el acabado superficial puede ser un indicador de un posible desgaste de herramientas, pero en los casos en los que tengamos algún requerimiento de calidad superficial es posible que habiendo establecido una vida útil en piezas que a simple vista no presenten defectos o mal acabado, estas no cumplan con el requisito. Es conveniente que una vez que hayamos determinado la vida útil de nuestras herramientas verifiquemos que en las condiciones establecidas se cumplen todos los parámetros de calidad exigidos en el plano, haciendo mediciones de piezas y comprobando que los resultados se mantienen estables, incluso llegando al final de la vida que hayamos establecido.

En caso necesario, podremos variar ligeramente los parámetros de corte, teniendo en cuenta que el parámetro que más influye en el acabado superficial es el avance, para conseguir así el resultado que esperamos.

7.3. TIEMPO DE CICLO REAL

Finalmente comprobaremos el tiempo de ciclo real resultante, ya que aunque el resultado será bastante parecido a nuestra estimación, no tiene porqué coincidir necesariamente. De hecho, es habitual que el tiempo de ciclo entre 2 piezas consecutivas no se repita exactamente, sino que haya ligeras variaciones, y por tanto el valor que tomemos será una media de dichos valores.

Además, si ha sido necesario hacer algún pequeño ajuste de parámetros de corte como se ha mencionado en los apartados anteriores, este repercutirá indudablemente en el tiempo de ciclo final. Por regla general, las variaciones de avance tienen mayor influencia sobre el tiempo de ciclo que las variaciones de la velocidad de corte.

Así, medimos y obtenemos un tiempo medio real de 59,1 segundos, que repitiendo los cálculos vistos anteriormente, nos da un resultado por hora de 60,9 piezas, que al 80% de productividad nos dará una producción / hora de 48 piezas. Considerando 3 turnos de 7 horas y 220 días de trabajo anual, tendremos una capacidad instalada teórica de 225.086 piezas, que sigue siendo superior a la estimación requerida de 154000 piezas anuales.

8. POSIBLES CONTINGENCIAS Y MEJORAS DE PROCESO

Como hemos venido indicando a lo largo de nuestro proyecto en varias ocasiones, son múltiples las soluciones que pueden plantearse para realizar el proceso, dada la gran cantidad de variables que interactúan en el mismo. Aunque no es el objeto de este proyecto analizar cada uno de los supuestos que pueden darse sí que puede ser interesante el citar los 2 casos más importantes que habitualmente encuentra el ingeniero de fabricación en su quehacer cotidiano, así como un ejemplo de como afrontar estas situaciones.

8.1. CONTINGENCIAS

Como venimos comentando en el proceso de fabricación influyen multitud de variables, y la variación de alguna de estas tienen más influencia que otras sobre los resultados obtenidos en la puesta en marcha del mismo.

Pongamos por caso el ejemplo de la materia prima; pese a existir una especificación del material de la pieza a fabricar, en la especificación del mismo hay un cierto rango de variación para los componentes del acero, del todo lógico por otra parte puesto que es prácticamente imposible que una fundición o acería sacara coladas idénticas de material. Pues dependiendo en que componente varíe la composición podemos tener resultados diametralmente opuestos.

Si por ejemplo hay una diferencia importante en la cantidad de azufre, que es uno de los componentes que más influencia tiene en la maquinabilidad de la pieza podemos encontrarnos que la vida útil de las herramientas se modifique en un porcentaje de hasta un 200% o incluso más.

Otros ejemplos de variaciones del proceso pueden ser incremento inusual de microdurezas en la superficie de la pieza de forja, desviaciones significativas de las creces, aparición de holguras en máquina o útiles de amarre, cambios de temperatura que afecten al fluido de corte, alteración de la dureza del agua de disolución del fluido de corte, modificaciones por parte del cliente del diseño de la pieza etc.

De todas las situaciones mencionadas suelen ser más comunes las relativas al material de partida, así como las que necesitarán de un mayor esfuerzo para conseguir volver a las condiciones deseadas. Las relativas a máquina o útiles de amarre son más difíciles de detectar por su aparición progresiva pero solventables simplemente sustituyendo el elemento que corresponda. Las relacionadas con elementos externos o ambientales suelen estar bastante controladas la mayoría de fabricas mediante

comienzo real de producción se redefine una o varias herramientas de un proceso. Aunque en la mayoría de casos el ingeniero atiende otras muchas tareas no puede dejar de lado la mejora continua de su proceso.

También puede darse el caso de que el requerimiento productivo del cliente cambie de tal manera que obligue a hacer mejoras de tiempo para seguir manteniendo el balanceo en la célula de fabricación, que se requiera fabricar en menos tiempo para rebalancear la célula y permita al operario atender varias máquinas, que por necesidades de fábrica se requiera producir la pieza con un menor coste etc.

8.3. CASO PRACTICO

Vamos a analizar como afrontaríamos 2 situaciones reales como las mencionadas en los apartados anteriores:

8.3.1. Insertos de desbaste

Por un lado analizando los consumos reales de insertos de desbaste (CNMG120412-MN KC9125) hemos detectado que la vida media real que estamos obteniendo es de unas 50 piezas por filo, lo que supone una ineficiencia superior al 30% en esa herramienta. Sin entrar en demasiados detalles de los motivos que han causado dicho empeoramiento, hemos comprobado ya que el problema viene del material de forja y que con la herramienta seleccionada en un principio no podemos superar con suficiente seguridad las 60 piezas por filo. En vista de lo cual buscamos alternativas a dicha herramienta en el mercado y decidimos probar una herramienta de otro fabricante, en concreto KYOCERA CERATIP. Consultado con sus técnicos nos recomiendan usar la geometría HQ y la calidad CA5515, ya que dicha calidad es algo más resistente al desgaste que la que usamos de KENNAMETAL y sin embargo es suficientemente tenaz como para no romperse. Probamos dicha calidad y los resultados son los que se muestran a continuación.

En la primera hoja tenemos el resumen de la prueba con los datos generales de la misma, el desarrollo, resultados y conclusiones. En la segunda hoja tenemos los datos técnicos de la prueba y en la tercera el cálculo de costes de la misma, donde podremos comprobar si obtenemos algún beneficio económico con la misma.

Resumen de Pruebas de Herramientas

EMPRESA:

Realizado por: M.A.Calvo

Datos Generales			
Título:	Mecanizado del Vastago (Desbaste)	Fecha:	Planta/Area:
Tipo de Operación:	Torneado	Nº Registro:	Nº Reg. cliente:
Pieza:	Copa Housing	P/N:	Máquina/Op : 1101/141

Herramientas			
Actual		Propuesta	
Fabricante/Prov:	KENNAMETAL	Fabricante/Prov:	KYOCERA CERATIP
Descripción:	INSERTO CNMG120412 MN	Descripción:	INSERTO CNMG120412 HQ
Calidad:	KC9125	Vida:	50
Precio Nueva:	4,45 €	Afilado:	
Coste teórico Operación (€/pza):	0,02225	Coste teórico Operación (€/pza):	0,0135

Descripción de la prueba	
Objetivos:	
Incrementar la vida de herramienta a los valores iniciales	
Desarrollo e incidencias:	
Debido a variaciones en el material de partida es necesario bajar la vida de herramienta a 50 pzas/filo en el inserto actual. Dicho inserto equivale a una calidad P20, mientras que el probado sería un P15, más resistente al desgaste. Reduciendo la velocidad de corte a 120 m/min se consigue incrementar hasta 60 pzas/filo la vida del inserto, pero se observan vibraciones al final de vida y presenta desgaste en cráter. Se prueban 3 filos de la herramienta propuesta. La formación de viruta es aceptable en ambos casos	
Resultados obtenidos:	
Se consigue una vida media en los 3 filos probados de 88 pzas/filo, pudiéndose incrementar la velocidad de corte a su valor inicial de 150 m/min. El desgaste que presentan los filos al final de vida es uniforme, sin observarse calentamiento de la pieza	

Conclusiones y Recomendaciones	
Se consigue superar el objetivo de 75 pzas/filo, volviendo a establecer la velocidad de corte en 150 m/min. Para mantener el ritmo de cambio anterior, se establecerá la vida de herramienta en 75 pzas/filo y se confirmarán los resultados con una prueba de larga duración	

RESULTADOS HERRAMIENTAS DE TORNEADO

EMPRESA

Realizado por: M.A.Calvo

Operación					
Mat. a trabajar	Designación ¹⁾	F-1150			Mat. a trabajar N° ²⁾
	Fabricante				Tratamiento término ³⁾
	Resistencia a la tracción/dureza: ⁴⁾	201 Br			Sin tratar
	Observación				
Pieza a trabajar	Designación	Copa Housing		N. de Dibujo	7467492
	Dimensiones principales			Volumen lote	
	Calidad de superficie/tolerancia			Superficie de trabajo	
	Estado superficie a mecanizar ⁵⁾	FORJA		Peso bruto	
Máquina	Clase	Torno Vertical		Grado de estabilidad ⁶⁾	ESTABLE
	Fabricante	Pittler		Potencia nominal kW	45
	Año construcción			Intensidad ⁷⁾	
				Grado de estabilidad ⁶⁾	ESTABLE
	Detalle del ensayo	ACTUAL	PRUEBA		
Herramienta	Designación				
	Fabricante	KENNAMETAL	KYOCERA	KYOCERA	KYOCERA
	Dimensiones ext.				
	Mat. de corte (calidad)				
	Forma de la placa				
	$\alpha / \gamma / \lambda / \epsilon / \chi / r$				
	Filo ¹²⁾				
Observación ¹³⁾	Est.	Est.	Est.	Est.	
Condiciones de corte	Profundidad de pasada a mm.				
	Avance por vuelta s mm./U.	0,35	0,35	0,35	0,35
	Nº. de rev. por minuto n U/min.				
	Velocidad de corte v m/min.	120	150	150	150
	Razón de la limitación ²⁵⁾				
	Interrupción del corte (corte interrumpido)	NO	NO	NO	NO
	Refrigerante ²¹⁾	SI	SI	SI	SI
Grado estabil. conjunto total ⁶⁾	1	1	1	1	
Resultado	Tiempo de corte/pieza ta min/pza.				
	Piezas mecanizadas por filo	60	87	91	88
	Tiempo duración por filo				
	Criterio de duración ²⁶⁾	Vibrac./KT	Vibrac./ VB	Vibrac./ VB	Vibrac./ VB
	Forma de la viruta ²⁷⁾	1+6	3+6	3+6	3+6
	Desgaste ángulo incidencia VB	0,4	0,3	0,4	0,3
	Desgaste en cráter				
Estado del corte (croquis)					
Estado de la herramienta					
<p>FORMA DE LA VIRUTA</p> 					

COSTOS DE MECANIZADO TORNEADO

CLIENTE:		
Fecha :		
Máquina:	Torno Pittler Vertical	
Pieza:	COPA HOUSING	
Operación:	Desbaste	
Material:	F-1150	

Herramienta	ACTUAL	PRUEBA
Tipo de herramienta	C5-DCLNR-35060-12	C5-DCLNR-35060-12
Tipo de placa	CNMG120412 HQ	CNMG120412 MN
Calidad metal duro	CA5515	KC 9125
(A) Piezas mecanizadas al año	154.000	

Datos Técnicos

(B) Revoluciones	rpm	1875	1500
Velocidad de Corte	m/min	150	120
(C) Avance f /rev.	mm/rev	0,35	0,35
Avance f /min. (B)x(C)	mm/min	656	525
(D) Longitud de Mecanizado	mm	86,00	86,00
(E) Número de pasadas		1	1

Resultados

(1) Nº de piezas mecanizadas	piezas/filo	75	60
(2) Tiempo de corte (DxE)/(BxC)	min/pieza	0,13	0,16
(3) Vida de la placa (1)x(2)	min/filo	9,83	9,83
(4) Filos de la placa	numero	4	4
(5) Producción por placa (1)x(4)	piezas	300	240
(6) Numero de cambios (A)/(5)	lote	513	642
(7) Tiempo cambio de placa	min/filo	0,50	0,50
(8) Tiempo de cambio por pieza (7x6)/(A)	min/pieza	0,002	0,002
(9) Tiempo improductivo	min/pieza		
(10) Tiempo total pieza (2)+(8)+(9)	min/pieza	0,13	0,17
(11) Producción 60/(10)	piezas/hora	452	603

Costos Mecanizado

(12) Tasa horaria máquina (excl. herramienta)	Euros/min	1,00	1,00
(13) Tiempo Total (10)	min/pieza	0,13	0,17
(14) Costo mecanizado (12)x(13)	Euros/pieza	0,13	0,17

Costos de Herramienta

(15) Precio del portaherramientas (excl. placa)	Euros	180	180
(16) Vida del portaherramientas	Nº fillos	2.000	2.000
(17) Costo del portaherramientas (15)/(16)	Euros/filo	0,09	0,09
(18) Precio de la placa	Euros	5,25	4,55
(19) Costo de un filo (18)/(4)	Euros	1,31	1,14
(20) Costo Total / Filo (17)+(19)	Euros/filo	1,40	1,23

Análisis

(21) Costo Tiempos Mecanizado (excluida herramienta) (10)x(12)	Euros/pieza	0,13	0,17
(22) Costo de Herramienta (20)/(1)	Euros/pieza	0,019	0,020
(23) Costo tiempos de producción año (excluida herramienta) (21)x(A)	Euros/lote	20.438	25.548
(24) Ahorro por incremento de producción	Euros/ % año	5.110	20%
(25) Consumo placas año (A)/(5)	unidades	513	642
(26) Costo placas año (18)x(25)	Euros	2.695	2.920
(27) Ahorro en placas año	Euros/ % año	225	8%
(28) Coste Total (23)+(26)	Euros	23.133	28.467

RESUMEN

AHORRO POR INCREMENTO DE PRODUCCION	Euros	5.110
AHORRO EN HERRAMIENTAS AÑO	Euros	225
AHORRO TOTAL AÑO	Euros	5.334

8.3.2. Broca de puntear

Por otra parte, nuestra supervisión nos pide incluir ideas de mejora relacionadas con las herramientas para el presupuesto anual. Echando un rápido vistazo a nuestra tabla de coste por pieza, vemos que la herramienta que supone un porcentaje mayor del total es la broca de puntear, y por tanto será la que nos reporte un mayor beneficio la mejora.

Contactamos con nuestro fabricante de confianza para que nos proponga alguna mejora y nos ofrecen una broca de Metal duro integral, que pese a su mayor coste inicial, nos permitiría reafilarla un mínimo de 5 veces obteniendo el mismo rendimiento que con la herramienta nueva, y además la vida por filo se aumentaría en más de 3 veces. Hacemos la prueba correspondiente y obtenemos los siguientes resultados:

Resumen de Pruebas de Herramientas

EMPRESA:

Realizado por: M.A.Calvo

Datos Generales			
Título:	Mecanizado del Vastago (punteado)	Fecha:	Planta/Area:
Tipo de Operación:	Taladrado	Nº Registro:	Nº Reg. cliente:
Pieza:	Copa Housing	P/N :	7492/533/660/658/ Máquina/Op : 1101/141

Herramientas			
Actual		Propuesta	
Fabricante/Prov:	CLEVELAND	Fabricante/Prov:	KENNAMETAL
Descripción:	Broca puntear DIN-333 ref. 2661	Descripción:	Broca B966A
Calidad:	HSS Vida: 600	Calidad:	KC7315 Vida: 2100
Precio Nueva:	27,47 € Afilado:	Precio Nueva:	72,00 € Afilado: 21,50 €
Coste teórico Operación (€/pza):	0,0229 €	Coste teórico Operación (€/pza):	0,0142 €

Descripción de la prueba	
Objetivos:	Reducir coste de operación incrementando vida de herramienta
Desarrollo e incidencias:	Se monta la herramienta de prueba nueva y se lleva a final de vida. Se cambia cuando el desgaste en la punta es evidente y la viruta empieza a no romper y enrollarse en la propia herramienta. Una vez usada se envía al fabricante para decapar, afilar de nuevo y recubrir. El tiempo de retorno aproximado es de una semana, implica que necesitaremos varias brocas en circuito de afilado.
Resultados obtenidos:	La broca nueva llega sin problemas a 2438 pzas antes del cambio, aunque no se intenta ir más allá para evitar roturas que impidan su reafilado. En los afilados sucesivos se procede de la misma forma, obteniéndose vidas de 2422, 2387, 2413, 2394 y 2383 pzas.

Conclusiones y Recomendaciones	
	La prueba es satisfactoria a falta de una prueba de mayor duración (30 cambios) que confirmen los resultados. Estableceremos la vida de herramienta en 2100 pzas/filo , para estar del lado de la seguridad y que el cambio nos coincida con alguna de las otras herramientas del proceso.

Performance, Technical & Cost Data		Present	Test
1	Toolholder		
2	Drill	Cleveland ref. 2661	Kennametal B966A
3	Grade	HSS	KC7315
4	Drill diameter (mm)	8,000	8,000
5	Hole depth (mm)	10,0	10,0
6	# holes per part	1	1
7	Surface speed (smm)	16	90
8	Revolutions \ minute (rpm)	637	3.580
9	MMPR (mm\rev)	0,100	0,200
10	MMPM (mm\min)	63,700	716,000
11	Time in cut (mins)	0,1570	0,0140
12	Cutting time per part (mins)	0,1570	0,0140
13	Holes per edge	600	2100
14	Tool life per edge (mins)	94,19	29,33
15	Linear (mm) drilled per edge	6.000	21.000
16	Drill cost	27,47	72,00
17	Projected reconditions	1	5
18	Total number edges	2	6
19	Reconditioning cost	N/A	21,50
20	Total drill cost	27,47	179,50
21	Cost per edge	13,74	29,92
22	Drill cost per hole	0,023	0,014
23	Drill cost per part	0,023	0,014
24	Machine cost per hour	60 €	60 €
25	Machine cost per part	0,16 €	0,01 €
26	Total cost per part	0,18	0,03
27	Estimated annual production	154.000	154.000
28	Total Annual Costs	27.701	4.345
29	Estimated annual savings		23.356 €

Igual que antes, en la primera hoja tenemos el resumen de la prueba con los datos generales de la misma, el desarrollo, resultados y conclusiones. En la segunda hoja tenemos los datos técnicos y el cálculo de costes de la prueba, donde observamos que pese a ser una herramienta a priori más cara, supone un ahorro debido al incremento de vida que supone su uso.