

GREEN HANDLE: ADAPTACIÓN NUEVO PROCESO DE MECANIZADO



Grado en Ingeniería Mecánica

Trabajo Fin de Grado

DIEGO ALVERO BERMEJO

DANIEL SALCEDO PÉREZ Y JUAN PABLO FUERTES BONEL

Pamplona, junio 2015

Resumen del proyecto

En este proyecto Embega S.Coop. establece como objetivo general desarrollar una nueva gama de tiradores de horno y de frigorífico de menor impacto ambiental que permitan reducir la cantidad de material utilizado y que ofrezcan un acabado equivalente al anodizado mediante pintura metálica. El proyecto principalmente se va a centrar en el primer objetivo, que se basa en la reducción de peso de los tiradores, fabricados en aluminio 6060/6063 T5.

Para conseguir este objetivo, se va a llevar a cabo el estudio de un nuevo método de mecanizado, que va a consistir en una herramienta de perforación por fricción, la cual, mediante rotación y presión va a producir un calentamiento en el material y su consecuente ablandamiento, para mejorar su fluencia y realizar una copa o casquillo, en el cual se realizará la rosca.

Mediante este mecanizado se consigue eliminar el diente del perfil necesario para realizar un taladrado convencional. De esta manera se consigue el primer objetivo, que es la reducción de material en la fabricación de tiradores.

Para la realización de este Trabajo Fin de Grado (TFG), se realizarán los ensayos y pruebas oportunas en el centro tecnológico Ideko, donde se pretenden estudiar las condiciones de mecanizado idóneas, para conseguir un casquillo con unas características determinadas, que permitan validar el mecanizado de perforación por fricción, para adaptarlo a la fabricación en Embega S.Coop.

Palabras clave

Perforación por fricción, copa, mecanizado, espesor, roscado por laminación, par, rebaba,...

Índice

1. Planteamiento y objetivos
2. Revisión estado del arte
 - 2.1. Introducción
 - 2.2. Antecedentes
 - 2.3. Taladrado por fricción
 - 2.3.1. Proceso de mecanizado
 - 2.3.2. Herramienta
 - 2.3.3. Condiciones de mecanizado
 - 2.3.4. Aplicaciones
 - 2.3.5. Ventajas e inconvenientes
 - 2.4. Roscado por laminación
 - 2.4.1. Proceso de mecanizado
 - 2.4.2. Condiciones de roscado
 - 2.4.3. Aplicaciones
 - 2.4.4. Ventajas e inconvenientes
3. Material ensayado
 - 3.1. Características generales del aluminio
 - 3.2. Aluminio empleado
 - 3.3. Aplicaciones
4. Máquina-herramienta
5. Ensayos previos
6. Medios técnicos dispuestos por Ideko S.Coop. para realizar los ensayos

7. Plan de pruebas previsto

- 7.1. Datos máquina
- 7.2. Nomenclatura
- 7.3. Variables a analizar
- 7.4. Datos a controlar
- 7.5. Procedimiento de pruebas
- 7.6. Diseño de experimentos

8. Resultados experimentales

- 8.1. Prueba 1 (velocidad constante)
- 8.2. Prueba 2 (velocidad variable)
- 8.3. Prueba 3 (ensayos definitivos)
- 8.4. Prueba 4 (roscado y par)
- 8.5. Máquinas y herramientas empleadas

9. Subproyectos

- 9.1. Desbaste
- 9.2. Sistema de lubricación MQL
- 9.3. Fresa de taladrado, roscado y avellanado

10. Conclusión final

11. Bibliografía

1. Planteamiento y objetivos

El objetivo último de este proyecto es conseguir realizar, mediante el sistema de perforación por fricción, unas copas con unas características determinadas en el perfil del aluminio, que tras ser roscadas por el proceso de laminación, aguanten un par de 3 Nm, mediante la colocación de un tornillo y el atornillado limitado a este par. Si el atornillador hace tope, se dará por bueno tanto la perforación como el roscado.

Para ello, se deben encontrar ciertas características como el espesor, tipo de herramienta, condiciones de corte, lubricantes,....etc, para asegurar que el proceso es viable en cuanto a la industrialización (tiempos coherentes, fiabilidad, repetitividad,...)

En cuanto a los ensayos a realizar, se establecerá unas condiciones de estudio, en el cual se estudiará con un tipo de herramienta las condiciones óptimas, y una vez halladas se procederá a estudiar la viabilidad de la industrialización del proceso.

Estos ensayos se llevarán a cabo en el centro de investigación Ideko S.Coop. el cual nos abastecerá de los medios y metodologías de estudio necesarios para encontrar las condiciones idóneas de mecanizado, obteniendo así unos resultados reales y verídicos con los cuales se pueden determinar la factibilidad del proceso.

2. Revisión estado del arte

2.1. Introducción

El taladrado por fricción (“friction drilling” o “thermal drilling”) o también llamado taladro por fluencia térmica, se trata de un método no convencional para la generación de agujeros en tubos, chapas y piezas de poco espesor. Una de las características de este proceso es que la herramienta rotativa empleada carece de filos de corte, por lo que su geometría está definida básicamente por dos secciones distintas: una superficie cónica y otra cilíndrica. El proceso emplea el calor generado por la fricción entre la parte cónica de la herramienta y la pieza, lo que provoca un ablandamiento del material permitiendo penetrar en él, y generando a su vez una copa o rebaba en la salida del agujero. La parte cilíndrica es la encargada de definir el diámetro final del agujero.

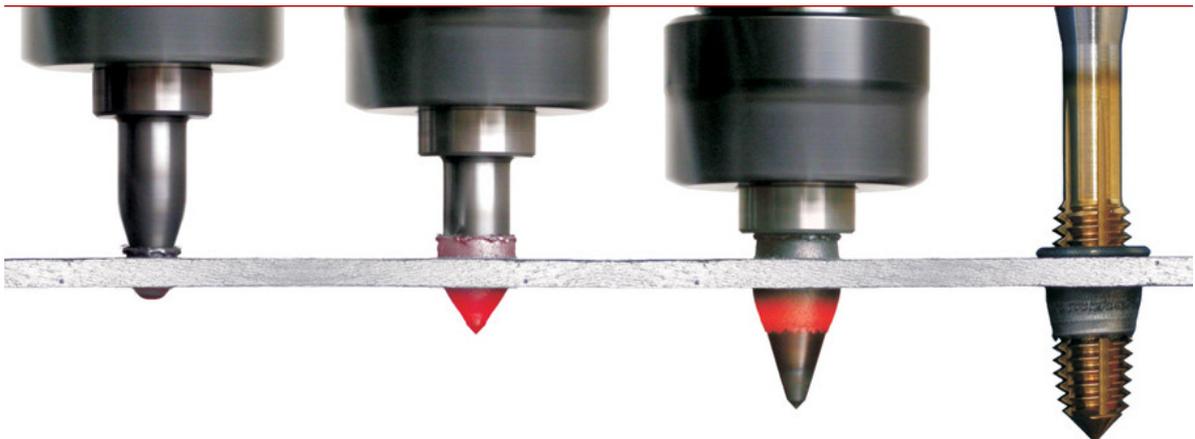


Figura 1. Etapas del taladrado por fricción y roscado por laminación

Las ventajas que ofrece este proceso frente a un taladrado convencional son varias: En un proceso de taladrado tradicional se hace necesario el empleo de refrigeración, con el fin de reducir la fricción y el calor generado, justo lo contrario de lo que pretende esta técnica. Por lo tanto, al no aplicar refrigeración se convierte en un proceso limpio. Además, la copa generada es susceptible de ser roscada, lo que permite sustituir el empleo de tuercas soldadas. Esta aplicación cobra gran interés cuando se trata de hacer agujeros

roscados en piezas tubulares, o con geometrías complejas, que no permitan un fácil acceso. Entretanto, la mayor parte del material de la pieza en contacto con la herramienta pasa a formar parte de la copa generada en la parte inferior de la pieza, y otra pequeña parte del material genera rebaba en la parte superior. Existen dos opciones cuando se trata de la rebaba superior, una posibilidad es que sea aplastada por el anillo de la herramienta, y ese material permanezca en la pieza, lo que lo convierte en un proceso sin generación de viruta. La posibilidad es que ese material sea eliminado de la pieza. Para ello la herramienta está dotada de un rompevirutas entre el anillo y la zona cilíndrica encargada de definir el diámetro del agujero, pero como la cantidad de material eliminado es escaso se puede decir que sigue siendo un proceso limpio sin generación de viruta. Se obtiene un incremento en la vida útil de la herramienta ya que carece de filos de corte que se desgasten [1].

La perforación por fricción puede resistir condiciones de trabajo extremas, desde materiales blandos como el bronce, latón y aluminio, a metales estructurales duros y hasta aceros de alto grado y aleaciones especiales. Las herramientas de perforación tienen una larga vida útil sin perder precisión en los cortes, gracias a su composición de carburo de wolframio (tungsteno).

En cuanto al proceso de roscado, a diferencia de los machos tradicionales, este sistema no elimina material en el proceso, sino que moldea la rosca (proceso de laminación).



Figura 2. Resultados del taladrado por fricción y roscado por laminación

Como la estructura del metal es trabajada en frío a lo largo del perfil de la rosca, los hilos producidos son más fuertes y tienen un acabado liso y pulido. Otra de las ventajas es que al ser trabajadas en frío, la velocidad del proceso puede realizarse a mayores velocidades.

Este procedimiento es particularmente eficaz complementado con la perforación térmica o perforación por fricción (friction drilling), para la producción de conexiones roscadas. El resultado es que la estructura de la delgada pared del material quedará fuertemente consolidada, al mismo tiempo que la firmeza de la rosca estará garantizada.

Este proceso tiene infinidad de aplicaciones tanto en muebles, en sistemas de calefacción, en automoción, en tanques de presión, en uniones de metales, etc...

2.2. Antecedentes

El taladrado por fricción tuvo su inicio en 1923, año en el cual se logró perforar por primera vez utilizando la fricción térmica. Estas primeras perforaciones no fueron factibles hasta 60 años más tarde, debido a que materiales duros y resistentes al calor como el carburo de tungsteno no eran accesibles. Los sistemas de pulido hechos de diamante para formar materiales duros no existían y la maquinaria con la tecnología necesaria para fabricar estas herramientas no estaba desarrollada.

A lo largo de los años se han realizado estudios e investigaciones tanto teóricas como prácticas para desarrollar este proceso, de aquí que haya estudios que analicen tanto las condiciones en las que se realiza, como los tipos de herramientas y materiales. En los últimos años se han desarrollado estudios del taladrado por fricción de tal manera que se están adaptando a la industria paulatinamente, por lo que se precisa de una serie de estudios y de ensayos, para obtener las mejores condiciones y herramientas para trabajar en aluminio, ya que no se han encontrado estudios similares.

2.3. Taladrado por fricción

2.3.1. Proceso de mecanizado

Para llevar a cabo el proceso de taladrado mediante la herramienta de perforación por fricción, se requieren una fuerza axial y una velocidad de rotación relativamente elevadas, con el fin de generar entre la broca de taladrado por fricción térmica y la pieza de trabajo, el calor de fricción necesario.

La temperatura de la broca de taladrado por fricción térmica aumenta muy rápidamente hasta un rango de temperatura aproximado de unos 650 °C a 800 °C. La temperatura a la que se encuentra la pieza de trabajo es de unos 600 °C.

En primer lugar el material desplazado fluye al comienzo en contra del sentido de avance, hacia la parte superior de la pieza. A medida que aumenta la profundidad de penetración, se genera el pasaje en el sentido de avance. Como regla empírica, se puede establecer que la relación entre el material que fluye hacia arriba y el que lo hace hacia abajo varía entre 1/3 y 2/3 aproximadamente, pero también puede ser menor (1/4 a 3/4), en función del diámetro del taladrado y del espesor del material.

La broca de taladrado por fricción térmica, después de traspasar la pieza y haber creado el casquillo necesario, puede dependiendo de su tipo, bien formar una especie de collar o bordón homogéneo con el material que ha fluido hacia arriba (en el tipo *estándar*), o bien volver a quitar directamente dicho material (tipo *plana*). Al hacerlo, se produce el corte del collar dejando la superficie plana en el material perforado [2].

2.3.1.1. Fases del mecanizado

- La primera fase del taladrado comienza mediante un contacto inicial entre la herramienta y el material a perforar. Se aplica una alta presión axial de la herramienta sobre el material, a la vez que la herramienta gira a altas velocidades rotacionales, para producir la fricción necesaria para generar calor. La temperatura aumenta considerablemente y en

consecuencia, el material se reblandece, por lo que la herramienta comienza a penetrar en el material.

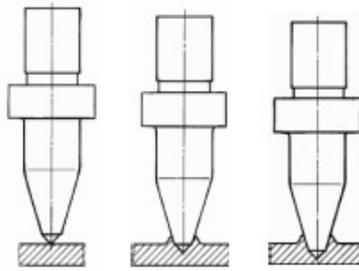


Figura 3. Primera fase taladrado

- La segunda fase continúa con una fuerza axial y una rotación, para continuar reblandeciendo el material y hacer que éste fluya en dirección contraria al avance. Una vez la herramienta consigue perforar el material, la fuerza axial se reduce y el avance aumenta, haciendo fluir el material en el sentido del avance y creando el casquillo deseado.

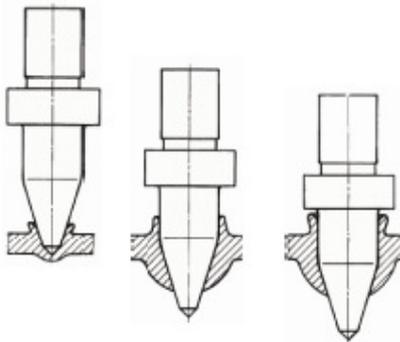


Figura 4. Segunda fase taladrado

- Finalmente, la herramienta penetra hasta el final de su recorrido y se consigue el agujero con el diámetro de la herramienta. También en función del tipo de herramienta, se consigue un acabado u otro en la parte superior de la pieza.

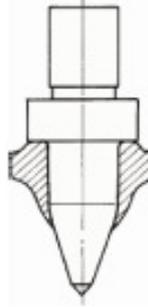


Figura 5. Tercera fase taladrado

2.3.2. Herramienta

Una broca de taladrado por fricción térmica es una herramienta de carburo de wolframio macizo provista de un contorno poligonal. Se emplea con una velocidad de rotación y una fuerza axial altas contra materiales metálicos de pared fina, y genera un calor de fricción extremo, que permite plastificar el material de forma localizada en el taladro. La broca atraviesa el material en pocos segundos produciendo un buje o casquillo sin pérdida ninguna de material formado por el material de partida. La longitud de este casquillo varía entre 3 y 5 veces el espesor original del material. El espesor máximo a mecanizar es proporcional al diámetro del agujero producido por la broca de taladrado por fricción térmica. Por principio, se puede decir que con las brocas Flowdrill es posible taladrar en función del diámetro del agujero producido, materiales de un espesor entre 0,5 mm (con un recalce óptimo) y 12 mm (exige una potencia muy alta del husillo). Dependiendo del espesor y de la calidad del material es posible, pues, producir entre 5000 y 10.000 perforaciones, con una broca de taladrado por fricción térmica. Si se mecanizan materiales de un espesor mayor o de más alta aleación, la durabilidad de la broca será menor [2].

En cuanto al tipo de herramienta, como se ha comentado anteriormente, a la hora de realizar el taladrado por fricción térmica, se pueden encontrar dos tipos de herramientas, las cuales corresponden con un estilo de acabado diferente. Este acabado no es simplemente algo estético, sino que también puede suponer diferencias en cuanto a la funcionalidad del taladrado.

2.3.2.1. Dimensiones herramienta

En cuanto a dimensiones de las herramientas se puede observar que dependen de:

- **Punta:** por lo general tiene un ángulo de ataque de 45° lo que permite realizar la primera incisión en el material, y es constante en la mayoría de las herramientas. También existen herramientas en las cuales esta punta está modificada (una pequeña sección de la misma se elimina), para así penetrar en materiales en los que la capa superficial es más dura que el resto de material.
- **Sección cónica:** se encuentran con distintas formas y dimensiones, hay formas cónicas planas, en los que la superficie del cono es uniforme (polígono cónico), y otras en las que esta superficie sufre alteraciones, las cuales permiten realizar un mejor flujo del material (polígono cilíndrico).

Asimismo existe otra variable, que es el ángulo de esta sección, el cual influye a la hora de realizar la perforación y el flujo del material, por lo que es un aspecto a tener muy en cuenta.

- **Sección cilíndrica:** se encuentran de varias dimensiones, con distintos diámetros (según métrica a utilizar), y con distintas longitudes, lo que nos permite perforar espesores mayores, y obtener una copa completamente cilíndrica, ya que en el caso de que esta sección no sea lo suficientemente larga, se obtendrá una copa cónica.
- **Collar:** es el elemento que va a limitar el avance de la herramienta, y el cuál va a otorgar el acabado superficial en el material. Principalmente existen dos tipos de acabados, uno tipo estándar, con dimensiones cilíndricas uniformes, que deja una pequeña rebaba o cuello en la parte superior del material. Y otro tipo plano, que consta de una sección especial cortante, la cual permite eliminar esa rebaba que se queda en la

parte superior consiguiendo un acabado totalmente plano, e incluso permite hacer avellanados.

- **Mango:** las dimensiones del mango va a determinar el tamaño y diseño de la pinza o cabezal necesario para amarrar la herramienta.

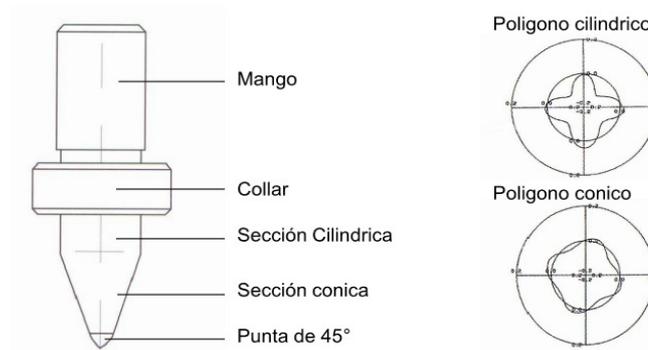


Figura 6. Geometría de la herramienta estándar de taladrado por fricción

2.3.2.2. Herramienta tipo estándar

Las brocas de taladrado por fricción térmica del tipo estándar producen, por su reborde liso, una especie de collar en el componente con el material que fluye en contra del sentido de avance. Este tipo de brocas de taladrado por fricción térmica están disponibles en versión corta o larga. La elección de la versión se rige por el espesor del material a trabajar. [2]

Gráficas: en las Figuras x y x podemos observar como varía la torsión y la fuerza axial, en función del avance que se le aplica a la herramienta, según estudios anteriores a este proyecto.

Destacar también que estos valores son referidos a aceros y no a aluminio que es el material que se va a utilizar en este proyecto.

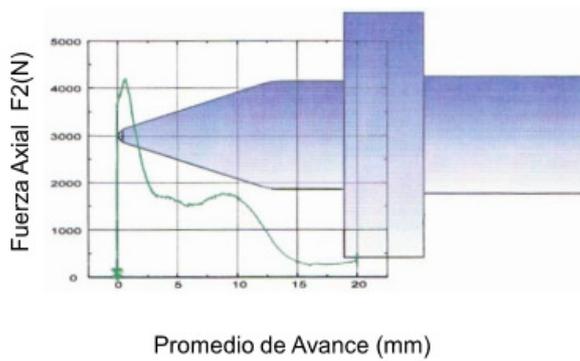


Figura 7. Fuerza axial frente a avance

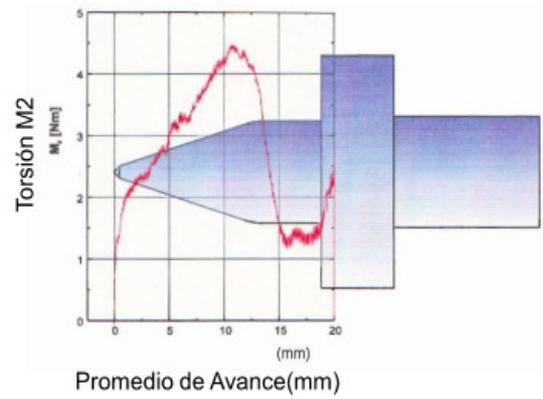


Figura 8. Torsión frente a avance

2.3.2.3. Herramienta tipo plana (flat)

Las brocas de taladrado por fluencia del tipo plano presentan una sección cortante que eliminan por desprendimiento de viruta el material que ha fluido en contra del sentido de avance. De este modo se obtiene una superficie plana de la pieza de trabajo.

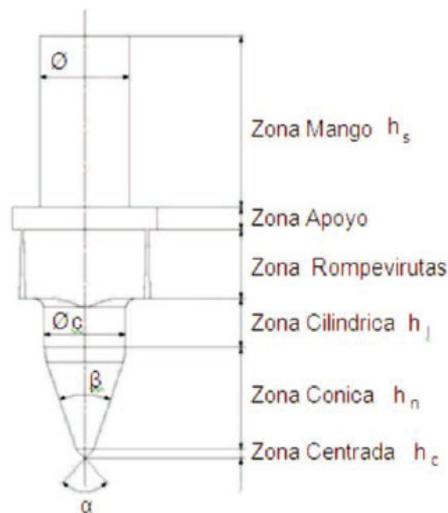


Figura 9. Geometría de la herramienta plana de taladrado por fricción

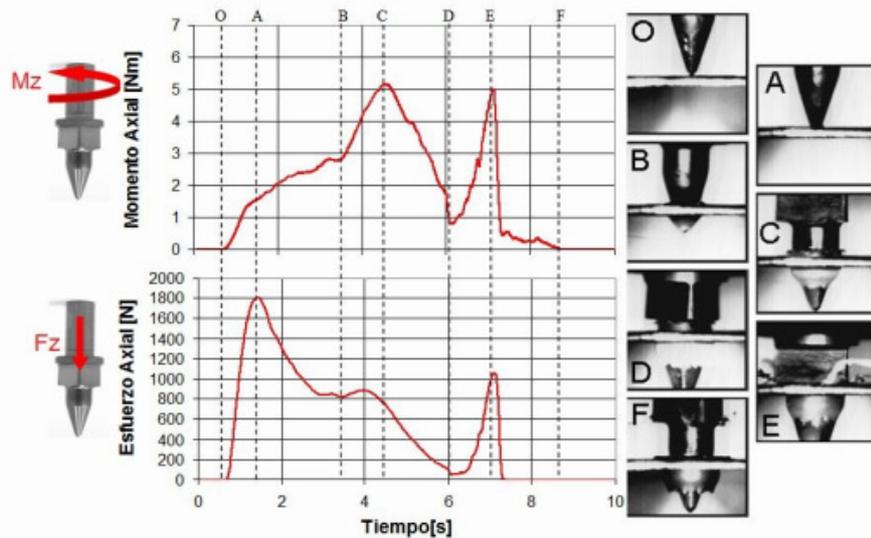


Figura 10. Gráfica de momentos y esfuerzos axiales durante el proceso de taladrado.

Los esfuerzos y momentos axiales que se realizan durante el proceso de taladrado por fricción son variables (Fig. 10), siendo estos comprendidos en dichas zonas:

O-A: la zona de centrado de la herramienta fricciona con la superficie de la pieza al mismo tiempo que avanza por lo que la fuerza de empuje se incrementa. Se alcanza el máximo de la fuerza de empuje cuando por el aumento de la temperatura del material en contacto con la herramienta, disminuye la resistencia a ser deformado.

A-B: a medida que se avanza, aumenta la superficie de contacto entre la parte cónica de la herramienta y la pieza. Esto provoca un aumento de la fricción entre ambas superficies, lo que origina un incremento del momento.

B-C: la zona cilíndrica de la herramienta, entra en contacto con la parte de la rebaba de mayor espesor, lo que produce un leve incremento de la fuerza de empuje y un aumento rápido del par.

C-D: el par disminuye cuando la zona cilíndrica de la herramienta comienza a deformar la región de la rebaba de menor espesor. La fuerza de empuje también experimenta un descenso progresivo.

D-E: esta región corresponde con la zona de rompevirutas de la herramienta. La viruta superior es aplastada por la herramienta al mismo tiempo que es arrancada, como consecuencia se experimenta un incremento en el valor tanto del par como de esfuerzo axial.

E-F: esta región comprende el retroceso de la herramienta. La fuerza de empuje disminuye rápidamente hasta cero aunque existe una ligera fricción entre pieza y herramienta como se refleja en el momento axial medido [1].

2.3.2.4. Otros

Actualmente, se pueden encontrar otros tipos de herramientas en el mercado, para trabajar específicamente en un material, con unas ciertas dimensiones, para un acabado concreto, etc...

También existen proveedores que dan la posibilidad de fabricar una herramienta personalizada, es decir, realizan el diseño de la herramienta deseada según los parámetros preestablecidos y la fabrican.

2.3.3. Condiciones de mecanizado

2.3.3.1. Velocidades y esfuerzos

El comportamiento del taladrado por fricción puede ser caracterizado por la fuerza de avance, el momento de torsión y la temperatura de contacto. Dichos valores dependen básicamente de los parámetros de entrada como: la velocidad de avance y la de rotación, las características del material y la geometría de la pieza. Cuando el espesor de la pieza aumenta, se observa un incremento tanto de la fuerza de avance como el momento de torsión. Esto se debe a que el volumen de material a reblandecer y la resistencia a la deformación aumentan con el espesor. En cuanto al momento de torsión, cuando el área en contacto entre la parte de la rebaba y la herramienta es mayor, se genera mayores fuerzas de fricción. Además, para un espesor de pieza y velocidad de rotación constante, ocurre que al incrementar el avance,

las fuerzas de avance son mayores. Sin embargo, cuando se incrementa la velocidad de rotación, manteniendo el avance constante, el valor de las fuerzas de avance y el momento de torsión disminuyen [1].

2.3.3.2. Temperaturas

Las temperaturas alcanzadas en el proceso de perforación por fricción son un aspecto importante a tener en cuenta, ya que van a influir en las propiedades mecánicas del acabado de la perforación y en la vida útil de la herramienta debido a las transformaciones microestructurales principalmente. También hay otros factores que pueden afectar, y que por lo tanto van a ser objeto de estudio tales como: la velocidad de perforación, los problemas de refrigeración, el material que se adhiere en la herramienta, etc...

Las altas temperaturas generadas son debido a dos causas principalmente: la fuerza y la fricción generada al contactar la herramienta con la pieza a perforar. Esto produce un aumento de temperatura consiguiendo así reblandecer el material a perforar. Al penetrar la herramienta en el material aumenta la zona de contacto entre pieza y herramienta, generándose un aumento de temperatura debida a la fricción[8].

Es importante controlar estas temperaturas, ya que a mayor temperatura la copa realizada adquiere una forma cilíndrica uniforme y no fracturada con forma de pétalos.

También es necesario estudiar la variabilidad de la temperatura: si es constante o aumenta conforme se realizan más agujeros. Esto influye de manera importante en el acabado de la perforación, y sería un gran inconveniente a la hora de industrializar el proceso.

2.3.3.3. Acabado

En cuanto al acabado de la perforación, se van a estudiar las dimensiones, la forma y la calidad de la perforación generada. En concreto, se va a medir las dimensiones s, d, h, L para establecer unas relaciones entre las condiciones de mecanizado y el espesor del material, con la perforación obtenida finalmente.

El primer concepto, es que cuanto mayor sea el espesor del material a perforar, se desplaza una mayor cantidad de material, y por lo tanto se podrán obtener mayores longitudes de copa, mayores espesores de copa y mayores rebabas. Por lo tanto, es importante encontrar el espesor combinado junto con las condiciones de corte óptimas, para realizar un acabado de copa apropiado.

En estudios realizados anteriormente, se han obtenido mayores longitudes de copa con altas velocidades de rotación combinadas con bajas velocidades de avance. También, como se ha comentado anteriormente, a mayores temperaturas, se obtienen un mejor acabado microestructural, lo que va a otorgar a la copa mejores propiedades mecánicas a las obtenidas con el taladrado convencional[7][9].

Finalmente, hay que tener en cuenta que un sistema de lubricación puede ayudar a conseguir mejores acabados, por lo que se va a estudiar el taladrado con lubricaciones por aire y MQL.

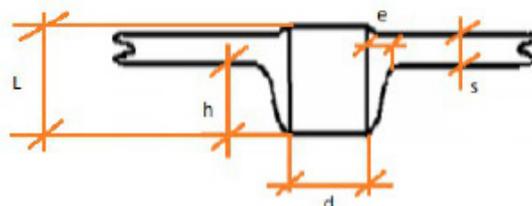
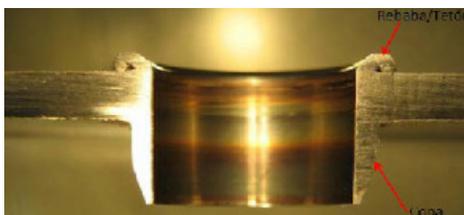


Figura 11. Dimensiones resultado taladrado por fricción

Una vez realizado el taladrado por fricción, las dimensiones a tener en cuenta para establecer la calidad de los acabados dimensionales son las siguientes:

- s: espesor.
- d: diámetro agujero.
- h: altura de copa.
- e: espesor de copa.
- L: longitud de agujero resultante.

2.3.3.4. Tiempos de taladrado

El tiempo de taladrado para aceros con espesores entre 1 y 4 mm varía entre 2 y 8 segundos dependiendo del espesor. Para el taladrado por fricción en aluminio se esperan obtener resultados similares, incluso inferiores debido a las propiedades del material.

El tiempo de taladrado es importante a la hora de industrializar el proceso, por lo que se va a estudiar la variabilidad de los tiempos de mecanizado en función del espesor del material, de la temperatura del material y de otros factores que pudieran intervenir.

Dependiendo del tipo de herramienta a utilizar, se obtienen diferentes valores de tiempos, ya que en la velocidad del proceso pueden influir tanto la forma de la herramienta (plana, estándar, ángulo,...) como las dimensiones de la misma (longitud, métrica,...).

Otros factores a tener en cuenta son la lubricación y la refrigeración. Dependiendo de la eficacia de las mismas pueden mejorarse, tanto los tiempos de taladrado, como la vida de la herramienta, algo muy importante para la industrialización del proceso como ya se ha comentado[9].

2.3.3.5. Refrigeración/lubricantes

Tal y como se ha comentado, la refrigeración y la lubricación pueden ser dos aspectos importantes a la hora de industrializar el proceso y de obtener mejores acabados. Otros aspectos en los que influye la lubricación es en las temperaturas de trabajo, ya que la lubricación permite controlarlas en cierta medida.

Los proveedores de herramientas, aconsejan utilizar unas pastas especiales, además de un disco refrigerador que genera flujos de aire hacia la herramienta, para conseguir los resultados descritos anteriormente.

En este estudio se van a utilizar sistemas de aire dirigidos a la herramienta, y sistemas MQL, además del taladrado sin lubricación, para observar como afectan en el taladrado por fricción térmica.

Se descartan por lo tanto los lubricantes convencionales como la taladrina, debido a que es un proceso en el que se requiere alcanzar temperaturas altas para un correcto mecanizado. Por ello, el uso de taladrina imposibilitaría conseguir las correctas condiciones para la realización del taladrado, obteniendo así unos resultados no deseados.

2.3.3.6. Viruta

El taladrado por fricción térmica es un proceso considerado por lo general sin desprendimiento de viruta. Dependiendo del tipo de herramienta a utilizar, se puede generar viruta o no, dado que existen herramientas con filos cortantes para eliminar la rebaba u otro tipo de operaciones. Esto genera un desprendimiento de viruta mínimo comparado con otros mecanizados convencionales.

2.3.4. Aplicaciones

El taladrado por fricción, combinado o no con el roscado por laminación tiene infinidad de aplicaciones en perfiles huecos y en láminas de pequeños espesores.

Entre ellos se pueden destacar la perforación para: la realización de orificios, la obtención de casquillos con roscas para evitar soldar tuercas u otras alternativas, realizar orificios que nos sirvan como soporte, realizar conexiones entre tubos, y realizar conexiones soldadas[1].

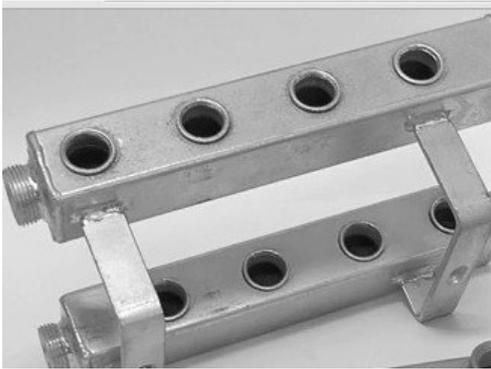


Figura 12. Sistemas de calefacción



Figura 13. Perfiles



Figura 14. Apoyos



Figura 15. Uniones



Figura 16. Uniones



Figura 17. Soldadura

2.3.5. Ventajas e inconvenientes

- **Ventajas:**

- Es una alternativa a tuercas soldadas y otros mecanismos, con un tiempo de proceso y un costo menor, además de mejores propiedades.
- Se puede trabajar con varios materiales: acero, cobre, aluminio,..
- Se obtienen copas con una longitud de hasta 3 veces el espesor del material a perforar.
- Este proceso es de fácil automatización.
- Es un proceso rápido.
- Es barato, ya que solo es necesario invertir en la herramienta, y éstas están ya comercializadas.
- Buenos acabados. Se obtienen tolerancias mínimas.

- **Inconvenientes:**

- Altas temperaturas alcanzadas en herramienta y en material.
- Posibilidad de material adherido en la herramienta (filo recocido).
- Es necesario encontrar las condiciones de mecanizado y la herramienta adecuada para cada material y espesor.
- Posibilidad de copa mal formada

2.4. Roscado por laminación

Una vez se obtenga mediante el proceso de perforación por fricción la copa deseada, se realizará el roscado por laminación, que es un proceso convencional cuyos resultados han sido ya estudiados, y por lo tanto se puede dar por bueno el acabado mediante este método[1].

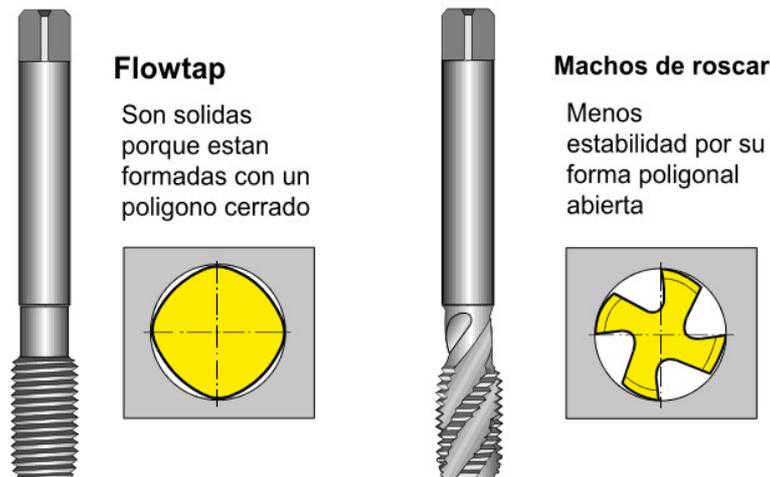


Figura 18. Herramienta de roscado por laminación (flowtap) y macho convencional.

En el presente proyecto, una vez mecanizada la copa se realizarán el roscado por laminación, para poder comprobar así la fuerza de la rosca. Una vez validada la fuerza necesaria de la rosca, podremos validar la perforación por fricción que es el principal objeto de estudio.

2.4.1. Proceso de roscado

El roscado por laminación se ha convertido en el ámbito de la producción, en una auténtica alternativa en lo referente a la reducción del tiempo de mecanizado y de los costes. Por lo tanto se pueden fabricar roscas en aceros en frío sin formación de viruta, lo cual aumenta la seguridad del proceso durante la producción. En el caso del taladrado por fricción, es necesario realizar como proceso posterior un roscado interno en el agujero. Las ventajas

del roscado por laminación frente al roscado convencional (roscado por corte) son:

- Se incrementa la fuerza de extracción de la rosca formada (20 a 50 % más de resistencia que un roscado convencional) debido a que el proceso modifica el material de la rebaba sin cortar la estructura natural del metal. Esto es debido a que durante el proceso de roscado por laminación, las fibras del material son deformadas y no cortadas generando también acritud en la rosca[6].
- La formación de la rosca en el agujero es exacta y precisa.
- Se aumenta la productividad, al aumentar la velocidad y la vida útil de la herramienta, además es un proceso sin formación de viruta.
- Se pueden utilizar una amplia variedad de materiales: aceros, aceros aleados, inoxidables y en aleaciones de aluminios y cobre.

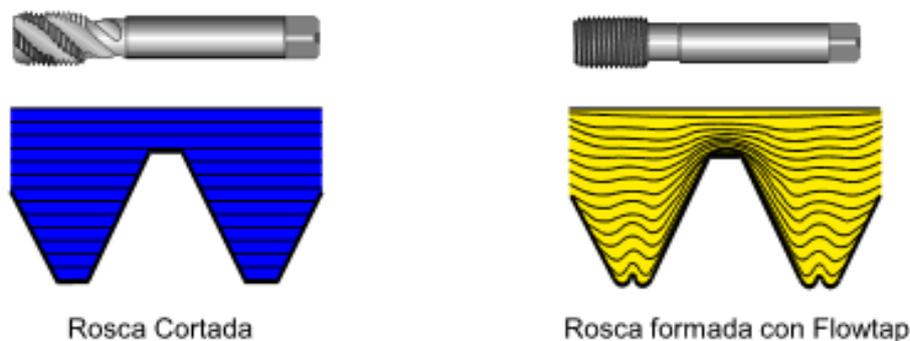


Figura 19. Resultado microestructural en función de la herramienta de roscado.

Las herramientas de laminación permiten soportar altos momentos torsionales, además de una menor sensibilidad con variaciones dimensionales del agujero inicial. El macho de laminación tiene una sección poligonal compuesta de 5 o más aristas. Normalmente, se utiliza en la misma máquina herramienta donde se realiza en agujero por taladro por fricción. Son fabricados en acero rápido, con revestimiento superficial duro de nitruro de titanio, o se

aplican sobre la herramienta recubrimientos antifricción. También en ciertos casos, se introduce un suministro interno de lubricante- refrigerante, con el fin de refrigerar y lubricar de forma segura la superficie de laminación. Tienen una punta cónica con filos de menor diámetro que son responsables de iniciar el desplazamiento del material. Otra característica del roscado por laminación es la formación de una cresta en el filo de la rosca, donde las puntas y los flancos de los dientes del macho penetran en el agujero y desplazan el material en los espacios libres del perfil del macho, formándose el perfil de la rosca característico, con la ranura inconfundible en la punta. [1]

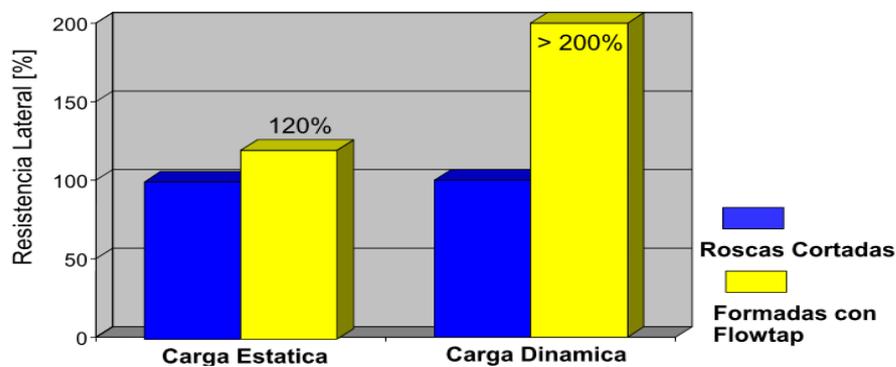


Figura 20. Comparación de resistencias laterales[2].

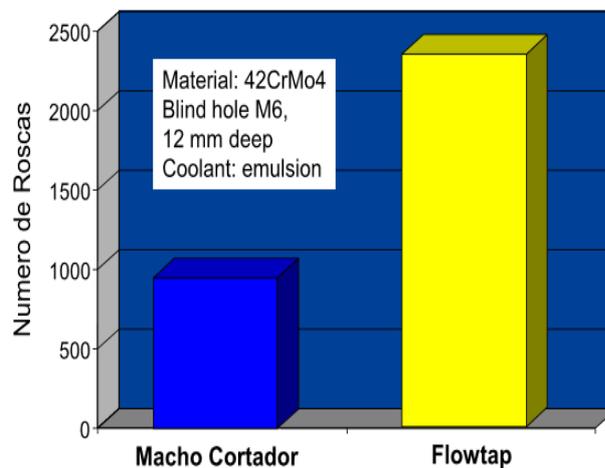


Figura 21. Comparación de rendimiento de herramientas[2].

2.4.1.1. Fases de roscado

- Una vez realizada la perforación y teniendo la copa realizada, se cambia la herramienta, se añade lubricante y se avanza hasta el orificio a roscar.
- Seguidamente se avanza a través del agujero realizando la rosca que va a generar el macho de laminación, hasta el final del casquillo. El material se desplazará sin generar viruta adquiriendo la forma de la rosca.
- Finalmente, se extrae el macho de roscar repasando la rosca y obteniendo los resultados deseados.

Inicialmente, el material se forma en la cresta o en el diametro exterior del Flowtap. Como el Flowtap avanza, el material rellena los huecos entre las paredes laterales. El proceso no produce virutas.

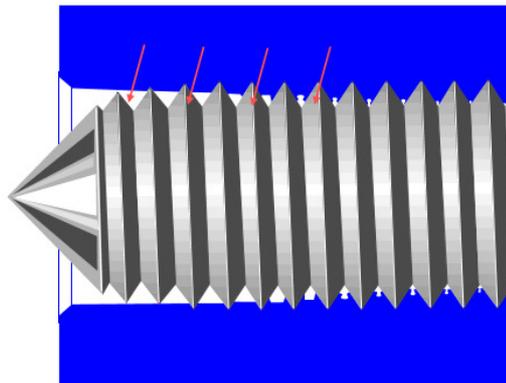


Figura 22. Funcionamiento de herramienta de laminación.

2.4.2. Condiciones de roscado

2.4.2.1. Velocidades y esfuerzos

El comportamiento del taladrado por fricción puede ser caracterizado por la fuerza de avance, el momento de torsión y la temperatura de contacto. Dichos valores dependen de los parámetros de entrada, como la velocidad de avance y la de rotación, las características del material y la geometría de la pieza. Cuando el espesor de la pieza aumenta, se observa un incremento, tanto de la fuerza de avance, como del momento de torsión. Esto se debe a que el volumen de material a reblandecer, y la resistencia a la deformación aumentan

con el espesor. Respecto al momento de torsión, cabe decir que al aumentar el área en contacto entre la parte de la rebaba y la herramienta, se generan mayores fuerzas de fricción. Asimismo, para un espesor de pieza y una velocidad de rotación constante, al incrementar el avance, ocurre que las fuerzas de avance son mayores. Sin embargo, al incrementar la velocidad de rotación, manteniendo el avance constante, se observa como el valor de las fuerzas de avance y el momento de torsión disminuyen [1].

2.4.2.2. Temperatura

Tal y como ocurre en el taladrado por fricción, la temperatura no es un aspecto muy importante en el roscado por laminación, ya que es un proceso que se realiza en frío.

Sin embargo es necesario tener en cuenta como pueden afectar las altas temperaturas en el roscado por laminación, puesto que una vez realizada la perforación, y dependiendo del espesor del material, éste alcanzará una temperatura determinada, que puede influir en el taladrado por fricción. En el caso de trabajar en seco, esto pudiera ser un problema, por lo que con un sistema de lubricación adecuado no se deben tener problemas para la realización de la rosca interior, consiguiendo así el acabado deseado.

2.4.2.3. Acabado

Para obtener un buen acabado principalmente, se va a estudiar la resistencia de la rosca. Para ello se va a someter a la rosca a un par de apriete determinado, para comprobar su efectividad.

Dado que el proceso de roscado por laminación es un proceso convencional, el único objetivo es que aguante un par de apriete determinado, mediante la introducción de un tornillo, con el cual se va a asegurar cualquier tipo de esfuerzo al que sometamos a la rosca.

Se da por supuesto que los resultados son óptimos mediante la introducción de un tornillo, asegurando así que la rosca soporta cualquier esfuerzo al que se le someta.

2.4.2.4. Tiempos de roscado

En cuanto a los tiempos de roscado, se puede considerar los tiempos convencionales del proceso, en los cuales va a influir la longitud de la copa principalmente. Este proceso es más rápido que los procesos convencionales de machos de corte, ya que el proceso se puede realizar a mayores velocidades, disminuyendo así los tiempos de mecanizado, algo muy importante a la hora de industrializar este proceso.

Otro factor a tener en cuenta es el tiempo de vida de la herramienta, ya que en el proceso de laminación se somete a la herramienta a menos esfuerzos que en el taladrado convencional, algo muy a tener en cuenta, ya que a la hora de industrializar el proceso puede suponer un ahorro importante de costes.

2.4.2.5. Refrigeración/lubricantes

Como ya se ha comentado anteriormente, en el proceso de roscado por laminación se aplicará lubricación. En el proceso de taladrado por fricción se utilizará principalmente el sistema de lubricación MQL (lubricación por cantidad mínima), en el cual se mezcla una pequeña cantidad de aceite con aire a una cierta presión. Esto mejora las condiciones de mecanizado y los acabados respecto al uso de la taladrina.

Asimismo, no se realizarán roscados con taladrina, ya que al ser un proceso convencional, sería un recurso ya asegurado en caso de que los resultados no sean óptimos. Aunque los sistemas MQL cada vez son más numerosos en la industria, son desconocidos para Embega, por lo que se observará su funcionamiento y sus características generales, para una posible incorporación en sus centros de mecanizado.

2.4.2.6. Viruta

Anteriormente se ha descrito que se trata de un proceso sin desprendimiento de viruta. En este caso, lo que se realiza es un desplazamiento del material moldeándolo mediante la forma de la herramienta, para que adquiera la forma final deseada. Este desplazamiento va a otorgar a la rosca, unas fuerzas estáticas y dinámicas mayores, que las ofrecidas por un taladrado convencional.

Por todo ello se considera que es un proceso limpio, lo que permite eliminar tiempos y costos del tratamiento de virutas, así como de una mayor limpieza en la zona de trabajo y un mayor aprovechamiento del material.

2.4.3. Aplicaciones

Las aplicaciones son principalmente el mecanizado de una rosca en agujeros ya existentes, ya sea en el sector de la automoción, en la fabricación de muebles, electrodomésticos, tuberías, etc....

Asimismo es posible la utilización de este método para realizar roscas exteriores, caso que no se va a estudiar en este proyecto debido a que es una técnica convencional y no es el objetivo.

A continuación, en las figuras se muestran algunos ejemplos de la aplicación de este proceso:



Figura 23. Tanques de agua.



Figura 24. Tanques de presión.



Figura 25. Automoción.

2.5. Ventajas e inconvenientes

- **Ventajas:**

- No produce viruta ni desperdicio de material.
- Roscas de hasta 4xD.
- Un 20 % mayor fuerza lateral para cargas estáticas que las roscas convencionales.
- Punto de fatiga 50% mayor para cargas dinámicas que las convencionales.
- Mayor vida de la herramienta en comparación con machos cortantes.
- Buenos acabados.
- Tiempos menores de mecanizado.
- Utilización en alta variedad de metales (que tengan una deformación del material mayor o igual a 10 %).
- Mecanizado en frío.

- **Inconvenientes:**
 - Se aplican mayores torsiones.
 - Pueden darse formaciones de rosca incompletas en procesos automatizados.
 - Capacidad de carga del 80 % de las roscas aproximadamente.

3. Material ensayado

3.1. Características generales del aluminio

A pesar de que el aluminio puro es un material poco usado se da la paradoja de que las aleaciones de este material son ampliamente empleadas en una gran variedad de aplicaciones, tanto a nivel industrial, como a otros niveles. A continuación se expone su clasificación, estados y designaciones más comunes:

3.1.1. Clasificación por su proceso

- Aluminios forjados
- Aluminios fundidos

3.1.2. Clasificación por su estado

F: Estado bruto. Es el material tal como sale del proceso de fabricación.

O: Recocido. Se aplica a materiales ya sea de forja como de fundición que han sufrido un recocido completo.

O1: Recocido a elevada temperatura y enfriamiento lento.

O2: Sometido a tratamiento termomecánico.

O3: Homogeneizado. Esta designación se aplica a los alambres y a las bandas de colada continua, que son sometidos a un tratamiento de difusión a alta temperatura.

W: Solución tratada térmicamente. Se aplica a materiales que después de recibir un tratamiento térmico quedan con una estructura inestable y sufren envejecimiento natural.

H: Estado de Acritud. Viene con materiales a los que se ha realizado un endurecimiento por deformación.

H1. Endurecido por deformación hasta obtener el nivel deseado y sin tratamiento posterior.

H2. Endurecido en exceso por deformación y recocido parcial para recuperar suavidad sin perder ductilidad.

H3. Acritud y estabilizado.

H4. Acritud y lacado o pintado. Son aleaciones endurecidas en frío y que pueden sufrir un cierto recocido en el tratamiento de curado de la capa de pintura o laca dada. En ésta clasificación se usa un segundo dígito (en ocasiones es necesario un tercer dígito) que indica el grado de endurecimiento por deformación.

T: Denomina a materiales que han sido endurecidos por tratamiento térmico con o sin endurecimiento por deformación posterior. Las designaciones de W y T solo se aplican a aleaciones de aluminio ya de forja o de fundición que sea termotratables.

T1: Enfriado desde un proceso de fabricación realizado a una elevada temperatura y envejecido de forma natural.

T2: Enfriado desde un proceso de fabricación realizado a una alta temperatura, trabajado en frío y envejecido de forma natural.

T3: Solución tratada térmicamente, trabajada en frío y envejecida a Tamb. hasta alcanzar una condición estable.

T4: Solución tratada térmicamente y envejecida a Tamb. hasta alcanzar una condición estable. Es un tratamiento similar a T3 pero sin el trabajo en frío.

T5: Enfriado desde un proceso de fabricación a alta temperatura y envejecida artificialmente.

T6: Solución tratada térmicamente y envejecida artificialmente. Son designados de esta forma los productos que después de un proceso de conformado a alta temperatura (moldeo o extrusión) no son endurecidos en frío sino que sufren un envejecimiento artificial.

T7: Solución tratada térmicamente y sobreenviejada para su completa estabilización.

T8: Térmicamente tratada por disolución, trabajada en frío y envejecida artificialmente.

T9: Solución tratada térmicamente, envejecida artificialmente y trabajada en frío.

T10: Enfriado desde un proceso de fabricación realizado a una elevada temperatura, trabajado en frío y envejecido artificialmente hasta una condición sustancialmente estable.

Existen variantes del estado T, a estas variantes se les añaden a la T dos dígitos. Estos dos dígitos son específicos para cada producto y se usan para estado de alivio de tensiones en productos fabricados mediante el proceso de forja.

3.1.3. Series de aluminios según sus aleantes

Las aleaciones de aluminio (tanto las forjadas como las moldeadas) se clasifican en función del elemento aleante usado (al menos el que esté en mayor proporción). Los elementos aleantes más usados son:

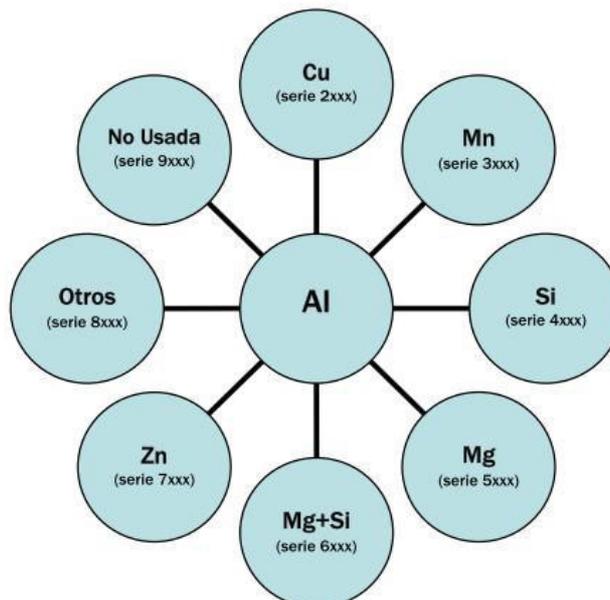


Figura 26. Series de aleaciones del aluminio[3].

Serie 2xxx. En estas aleaciones el principal elemento aleante es el Cu, pero a veces también se le añade Mg. Las características de esta serie son: buena relación dureza-peso y mala resistencia a la corrosión. En lo referente a la primera característica decir que algunas de las aleaciones de esta serie tienen que ser sometidas a tratamientos térmicos (TT) de solubilidad y a veces de envejecimiento para mejorar sus propiedades mecánicas. Una vez hecho esto, la serie 2xxx tiene unas propiedades mecánicas que son del orden y, a veces superiores, que las de los aceros bajos en carbono. El efecto de los TT es el aumento de la dureza con una bajada de la elongación. En lo referente a la segunda característica, estas aleaciones generalmente son galvanizadas con aluminio de alta pureza, o con aleaciones de la serie 6xxx para protegerlas de la corrosión y que no se produzca corrosión intergranular. Los usos más frecuentes que se le dan a estos aluminios son (generalmente son usados en lugares donde sea necesario una alta relación dureza-peso) en las ruedas de los camiones y de los aviones, en la suspensión de los camiones, en el fuselaje de los aviones, en estructuras que requieran buena dureza a temperaturas superiores a 150 °C. Para finalizar decir que salvo la aleación 2219 estas aleaciones tienen una mala soldabilidad, pero una maquinabilidad muy buena.

Serie 3xxx. En estas aleaciones el principal elemento aleante es el Mn. Estas aleaciones tan solo tienen un 20 % más de dureza que el aluminio puro. Eso es porque el Mn solo puede añadirse de forma efectiva en solo un 1.5%. Por ello hay muy pocas aleaciones de esta serie. Sin embargo los aluminios 3003, 3104 y 3105 son muy usados para fabricar utensilios que necesiten dureza media y que sean fáciles de fabricarlos como son botellas para bebidas, utensilios de cocina, intercambiadores de calor, mobiliario, señales de tráfico, tejados y otras aplicaciones arquitectónicas.

Serie 4xxx. En esta serie el principal elemento aleante es el Si que suele añadirse en cantidades medianamente elevadas (por encima del 12 %) para conseguir una bajada del rango de fusión de la aleación. El objetivo es conseguir una aleación que funda a una temperatura más baja que el

resto de aleaciones de aluminio para usarlo como elemento de soldadura. Estas aleaciones en principio no son tratables térmicamente pero si son usadas en soldadura para soldar otra aleaciones que son tratables térmicamente parte de los elementos aleantes de las aleaciones tratables térmicamente pasan a la serie 4xxx y convierten una parte de la aleación en tratable térmicamente. Las aleaciones con un elevado nivel de Si tienen un rango de colores que van desde el gris oscuro al color carbón y por ello están siendo demandadas en aplicaciones arquitectónicas. La 4032 tiene un bajo coeficiente de expansión térmica y una alta resistencia al desgaste lo que la hace bien situada para su uso en la fabricación de pistones de motores.

Serie 5xxx. Esta serie usa como principal elemento aleante el Mg y a veces también se añaden pequeñas cantidades de Mn cuyo objetivo es el de endurecer el aluminio. El Mg es un elemento que endurece más el aluminio que el Mn (un 0,8 de Mg produce el mismo efecto que un 1,25 de Mn) y además se puede añadir más cantidad de Mg que de Mn. Las principales características de estas aleaciones son una media a alta dureza por endurecimiento por deformación, buena soldabilidad, buena resistencia a la corrosión en ambiente marino y una baja capacidad de trabajo en frío. Estas características hacen que estas aleaciones se usen para adornos decorativos, hornamentales y arquitectónicos, en el hogar, iluminación de las calles y carreteras, botes, barcos y tanques criogénicos, partes de puentes grua y estructuras de automóviles.

Serie 6xxx. En estas aleaciones se usan como elementos aleantes el Mg y el Si en proporciones adecuadas para que se forme el Mg_2Si . Esto hace que esta aleación sea tratable térmicamente. Estas aleaciones son menos resistentes que el resto de aleaciones, a cambio tiene también formabilidad, soldabilidad, maquinabilidad y resistencia a la corrosión. Estas aleaciones pueden moldearse por un TT-T4 y endurecido por una serie de acciones que completen el TT-T6. Su uso suele ser el de aplicaciones arquitectónicas, cuadros de bicicletas, pasamanos de los puentes, equipo de transporte y estructuras soldadas.

Serie 7xxx. El Zn añadido en proporciones que van desde el 1 al 8 % es el elemento aleante en mayor proporción en estas aleaciones. A veces se añaden pequeñas cantidades de Mg para hacer la aleación tratable térmicamente. También es normal añadir otros elementos aleantes como Cu o Cr en pequeñas cantidades. Debido a que la principal propiedad de estas aleaciones es su alta dureza se suele usar en las estructuras de los aviones, equipos móviles y otras partes altamente forzadas. Debido a que esta serie muestra una muy baja resistencia a la corrosión bajo tensión se le suele aplicar levemente un TT para conseguir una mejor mezcla de propiedades.[3]

3.2. Aluminio empleado

En este proyecto el material a utilizar es Al 6063 T5, el cual se corresponde a la serie 6xxx en la cual los principales aleantes son el magnesio y el silicio. Una vez realizada la aleación, se realiza un temple (T5) en el cual se realiza un enfriado del material.



Figura 27. Perfiles de aluminio extruidos.

A continuación, se muestran en estas tablas x,y,z tanto la composición, como las propiedad mecánicas y físicas[4].

COMPOSICIÓN QUÍMICA (EN 573-3)										
%	Si	Fe	Cu	Mn	Mg	Cr	Zn	Ti	Otros	Al
Min.	0.20	-	-	-	0.45	-	-	-	-	
Max.	0.60	0.35	0.10	0.10	0.90	0.10	0.10	0.10	0.15	Resto

Figura 28. Composición química del Aluminio 6063 T5

PROPIEDADES MECÁNICAS (EN 755-2)						
Estado	Espesor de la pared (mm)	Carga de rotura Rm (N/ mm ²)	Límite elástico Rp0.2 (N/mm ²)	Alargamiento A min (%)	Alargamiento A _{50mm} min (%)	Dureza Brinell (HB)
T5	e ≤ 3	175	130	8	6	65
	3 < e ≤ 25	160	110	7	5	65

Figura 29. Propiedades mecánicas del Aluminio 6063 T5

PROPIEDADES FÍSICAS TÍPICAS A TEMPERATURA AMBIENTE DE 20°C							
Módulo elástico (N/ mm ²)	Peso específico (g / cm ³)	Intervalo de fusión (°C)	Coefficiente de dilatación lineal (1/10 ⁶ K)	Conductividad térmica (W/mK)	Resistividad eléctrica a 20°C-μΩcm	Conductividad eléctrica %IACS	Potencial de disolución. (V)
69500	2.70	615 - 655	23.5	209	3.0	52.0	-0.80

Figura 30. Propiedades físicas del Aluminio 6063 T5

Propiedades tecnológicas.[4]

- Resistencia a la corrosión: Muy buena
- Soldabilidad: Buena
- Conformabilidad: Buena
- Aptitud para el anodizado: Muy buena
- Maquinabilidad: Buena

Dimensiones utilizadas

Las dimensiones utilizadas van a ser de dos espesores y dos secciones diferentes:

- De sección cuadrada de lado exterior 25 mm y espesor 1,4 mm
- De sección cuadrada de lado exterior 25 mm y espesor 2 mm
- De sección circular de diámetro exterior 20 mm y espesor 1,4 mm
- De sección circular de diámetro exterior 20 mm y espesor 2 mm

3.3. Aplicaciones

Esta aleación debido a su gran facilidad de extrusión posee más características mecánicas adecuadas (dureza, resistencia,..), y un buen aspecto de superficial (sin marcas y uniforme) para las condiciones en las que se pretende utilizar en Embega S.Coop. Al anodizarse tiene múltiples aplicaciones ya que se consigue un acabado resistente gracias a la capa de alúmina creada, y se pueden obtener distintos acabados estéticos según el tipo de anodizado.

El aluminio aleación magnesio-silicio 6063 se utiliza en perfiles de carpintería metálica, manillas, pomos, herrajes, sillas de terraza, campo y playa.

4. Máquina-herramienta

Para la utilización de estas herramientas, es suficiente con cualquier taladro convencional, siempre y cuando se sigan los parámetros de trabajo y las condiciones sean las idóneas (guiado, precisión, estabilidad,...).

Principalmente se encuentran 3 tipos de máquinas a la hora de utilizar este mecanizado:

- **Taladradora de columna:** es similar a un taladro convencional guiado por un soporte, lo único que es necesario, es asegurar la potencia de la taladradora y seguir los parámetros de taladrado.
- **CNC (centro de mecanizado):** fácilmente aplicable para el proceso de taladrado por fricción, se pueden indicar los parámetros de taladrado en el programa para obtener unos resultados constantes y repetitivos.
- **Máquinas especiales:** existen máquinas específicas para taladrar y roscas, así como otro tipo de máquinas, en las que la adaptación de este proceso se puede asimilar sin problema alguno.

5. Ensayos previos

Previamente a los ensayos realizados en Ideko, se llevaron a cabo pequeñas pruebas mediante un taladro manual para obtener unas primeras impresiones. Se trabajo con espesores de 1,08 mm, 1,45 mm y de 2,3 mm suministrados por Embega S.Coop. de perfiles actuales. Estos espesores se combinaron con los dos tipos de herramientas pedidas al proveedor Great Cut, herramienta flat (tipo plano) y herramienta estándar (con rebaba superior). El estudio se llevó a cabo a 4000 rpm, que eran las máximas que ofrece el taladro.



Figura 31. Conjunto de ensayos realizados en Embega S.Coop.

A continuación se describen las conclusiones obtenidas para cada espesor:

Espesor 1,08 mm

Para el espesor de 1,08 se utilizaron los dos tipos de herramienta, tanto la plana como la estándar. Como se observa en la figura 32, la zona a trabajar de este perfil es totalmente plana.

El resultado con la herramienta plana no fue positivo, ya que la altura de la copa en ningún caso fue lo suficientemente larga para la realización de la rosca útil necesaria, por ello se descarta que esta herramienta sea la adecuada para este espesor y estas condiciones de trabajo.

En cuanto a los resultados obtenidos con la herramienta estándar fueron mejores a lo esperado. Dependiendo del avance de la herramienta el resultado fue óptimo o no. Si la herramienta hace tope con la superficie del perfil, es decir, aplastando la rebaba superior y creando el labio, la altura de la copa no es suficiente en todos los casos realizados en estas condiciones.

Sin embargo, cuando se utiliza esta herramienta, pero no se llega a hacer tope con la herramienta en la superficie del perfil, es decir, no se crea el labio superior, en algunos casos se ha obtenido la rosca útil necesaria para hacer atornillar el tornillo.



Figura 32. Resultados del perfil de espesor 1,08 mm.

Espesor 1,45 mm

Así como para el resto de perfiles, se utilizó los dos tipos de herramientas, tanto plana como estándar. El perfil, como se observa en la figura 33, es de sección cuadrada y con espesor de 1,45mm. Por lo tanto se va a trabajar en una superficie totalmente plana.

Determinados proveedores de herramientas, aseguran obtener una altura del casquillo de entre 3 y 5 veces el espesor del perfil mecanizado, por lo que pudiera ser éste un espesor ideal para la realización de la rosca necesaria, la cual tiene una longitud de 5 mm.

Los resultados con la herramienta plana, no fueron del todo óptimos, se podría decir que aproximadamente un 50% de los agujeros cumplieron con el

par de apriete requerido (3 Nm). Por ello, se debe optimizar las condiciones de mecanizado, o buscar otros espesores para obtener resultados más fiables.

En cuanto a la herramienta estándar, se obtuvieron buenos resultados, ya que aproximadamente un 80% de los agujeros cumplieron con el par de apriete requerido. Por lo que con estos datos, se puede tener una referencia del espesor del perfil necesario para obtener una rosca. Por ello, es necesario optimizar el proceso de mecanizado para mejorar estos porcentajes.

Esta diferencia frente a la herramienta plana se debe principalmente a la rebaba o labio superior que deja la herramienta estándar, obteniendo así una mayor altura de copa para realizar posteriormente la rosca.

A continuación se muestran imágenes de los resultados obtenidos:

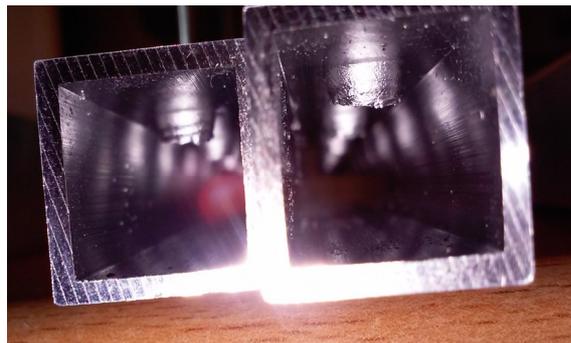


Figura 33. Resultados del perfil de espesor 1,45 mm

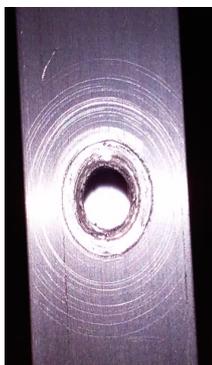


Figura 34. Resultado herramienta plana



Figura 35. Resultado herramienta estándar

En la figura 34 se observa el resultado de la herramienta tipo plana, la cual deja una superficie totalmente plana similar a la superficie del perfil, por lo que puede ser ideal para conseguir buenos acabados estéticos.

En la figura 35 se observa el acabado que deja la herramienta tipo estándar, con la que se obtiene el labio anteriormente mencionado, lo que puede que en ciertos casos no sea un acabado idóneo, aunque si funcional.

Espesor 2,3 mm

Finalmente, se realizó el estudio similar a los casos anteriores pero con un perfil curvo y de espesor 2,3 mm.

En principio se sitúa como un espesor que debería de cumplir en cuanto a dimensiones de copa tras el taladrado, ya que como recomiendan los proveedores, se llegaría a más de 5 mm de altura de copa.

La herramienta plana deja un planeado en la superficie curva, por lo que se pierde altura de la copa para realizar la rosca efectiva. Los resultados son peores a los obtenidos en las piezas de 1,45 mm. Probablemente sea porque las condiciones de mecanizado no sean las idóneas para este espesor, ya que la copa formada tiene una altura similar a la realizada con otros espesores. En principio, deberían obtenerse copas de mayor longitud, ya que la cantidad de material que fluye es mayor. Por lo que queda pendiente de estudio en Ideko estas incógnitas.

En cuanto a la herramienta estándar, se observó que es similar a el caso de la plana, pero con mejores resultados ya que debido al labio que se forma en la superficie del perfil, se consigue obtener una mayor longitud para el mecanizado de la rosca.



Figura 36. Resultado de perfil curvo de espesor 2,33mm

Conclusiones iniciales

- La herramienta tipo estándar ofrece una mayor longitud total de copa debido a la rebaba, por lo que se obtiene mayor rosca útil y por lo tanto mejores resultados.
- La longitud de copa inferior era similar en los perfiles de distintos espesores, por lo que a mayores espesores se obtenía mayor rosca eficaz debido al espesor, pero no debido a un flujo mayor hacia la parte inferior consiguiendo mayor copa.
- Una vez realizados una cantidad de aproximadamente 10 agujeros, la herramienta alcanza una cierta temperatura que nos permite realizar los siguientes agujeros con mayor rapidez y una menor fuerza de avance.
- A mayor espesor, mayor es el tiempo que tarde en perforar, lo que influye en la temperatura alcanzada de la pieza, la cual dependiendo de sus dimensiones (longitud, espesor,...) no es posible manipularla con la mano debido a su alta temperatura.
- Otra conclusión que se obtuvo, es que el taladro giraba excéntricamente, lo que puede influir en una mala perforación, y un posterior roscado inadecuado.
- Los ensayos previos se realizaron sin ningún tipo de lubricación.

6. Medios técnicos dispuestos por Ideko S.Coop. para realizar los ensayos

Para la realización de este proyecto, el equipamiento relevante a utilizar, es el siguiente:

- Centros de mecanizado MML500/DS630 o fresadora SORALUCE SV6000 equipados con electrohusillos, motores directos mecánicos
- Placa dinamométrica Kistler
- Microscopio SEM Zeiss EVO 40
- Programa de diseño Pro Engineer Wildfire 4
- Sistema CAD/CAM Siemens Unigraphics
- Plataforma de monitorización IKDAS
- Equipos de control, calibres, relojes comparadores, etc..
- Rugosímetro Sumitomo ZS301
- Macroscopio Olympus ZX12
- Distintos PC de sobremesa y portátiles

7. Plan de pruebas previsto

7.1. Datos máquina

Tal y como se ha comentado en el apartado anterior, la máquina utilizada será un centro de mecanizado con las siguientes características:

- Modelo de máquina: DS630
- Tipo de cabezal: electrohusillo
- Potencia (kW): 35 (31)
- Max. Revoluciones (rpm): 12000 (20000)
- Par (Nm): 95,6 (33)

7.2. Nomenclatura

En cuanto a la nomenclatura, en las siguientes imágenes se puede observar como se va a referenciar a cada parte tanto de la herramienta como de la perforación realizada.

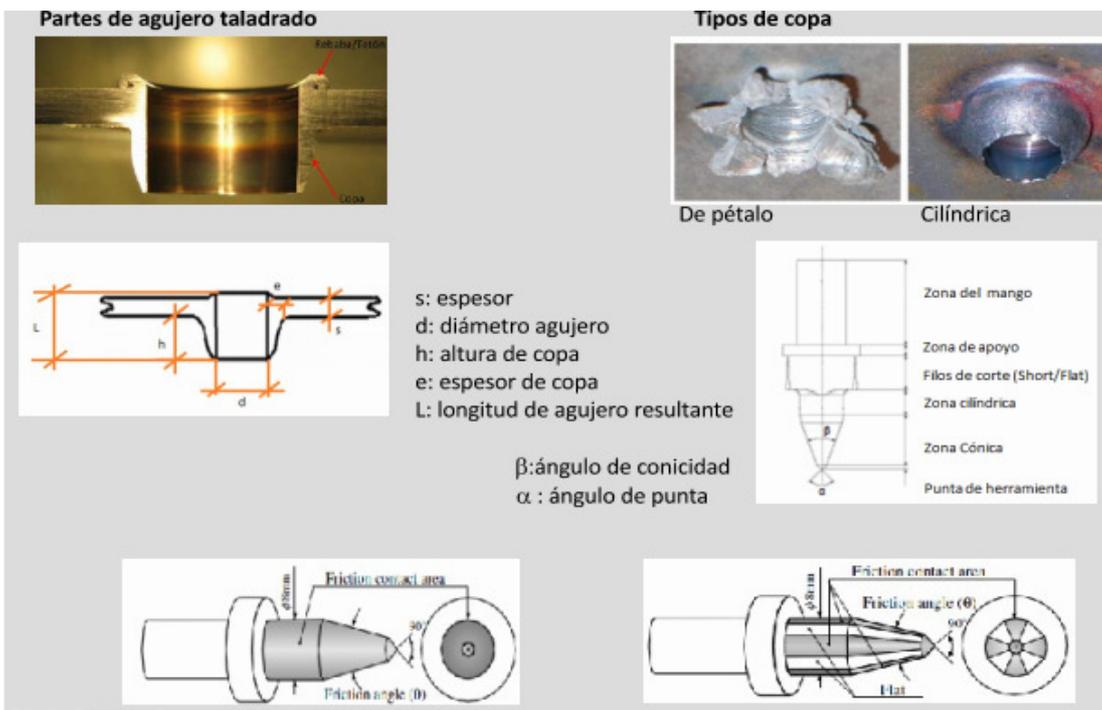


Figura 37. Herramienta de taladrado y resultado del proceso

7.3. Variables a analizar

A continuación, se indican las distintas variables que se van a proceder a estudiar en los ensayos, y la cantidad de cada variable con sus valores.

Variable	Nivel 1	Nivel 2	Nivel 3
Ángulo de punta de herramienta	24º	36º	48º
Revoluciones taladrado	4000 rpm	5000 rpm	9600 rpm
Avance taladrado	75 mm/min	100 mm/min	150 mm/min
Forma de materia prima	Circular	Cuadrado	
Espesor barra	1,4 mm	2 mm	
Tipo de broca	Estándar	Plano	
Observaciones	Las muestras serán representativas como para realizar un análisis exhaustivo. En principio se realizarán muestras de 10 unidades y en caso de que la dispersión de resultados sea elevada, se aumentará el tamaño de muestra.		

Figura 38. Variables a analizar

7.4. Datos a controlar

(a) Forma de copa	Se buscará la forma de copa cilíndrica. Un resultado de pétalo no sería aceptable
(b) Dimensiones copa-rebaba	Dimensiones s, d, h, L

(c) Temperatura herramienta	En principio se medirá la temperatura al final de la tanda de taladrado
(d) Par de apriete máximo	Tras el roscado se medirá el par de apriete máximo
(e) Tiempo de taladrado	Tiempo en realizar la operación partiendo y volviendo al mismo punto (5 mm de superficie)
(f) Fuerza de taladrado	Sobre las pruebas concluyentes se realizarán unas muestras

Figura 39. Datos a controlar

7.5. Procedimiento de pruebas

- 1) Se comenzará con el análisis de taladrado de barras redondas con el siguiente orden:
 - $e=2$ mm
 - $e=1,4$ mm
- 2) Las segundas pruebas en realizar se realizarán sobre barra de sección cuadrada y mismo orden de espesores.
- 3) Se buscará en primer lugar la obtención de una forma de copa cilíndrica.
- 4) Los primeros ensayos serán de tipo destructivo, realizando los taladrados y destruyendo las muestras para la medición de la copa y la rebaba. Tras definir la mejor forma de copa se volverán a realizar operaciones de taladrado tras la cual se realizarán las roscas y mediciones de par de apriete límite.
- 5) La muestra de taladrados inicial será de 10 unidades a no ser que la dispersión sea elevada, tras lo cual se aumentará el tamaño de muestra. El nuevo tamaño de muestra deberá ser aprobado por Embega S.Coop.

- 6) La distancia entre agujeros será de 10 mm. Tras obtener resultados satisfactorios, se realizarán ensayos con las condiciones de trabajo oportunas en cuales se definirá la distancia de taladrado mínima en la cual la barra no sufre deformación considerable.
- 7) Se pretende realizar un diseño de experimentos Taguchi de arreglo ortogonal L9, donde:
- Datos constantes: forma de barra, espeso de pared de barra y tipo de broca
 - Variables: ángulo de punta, F, S

7.6. Diseño de experimentos

Ensayo	Código	β	S(rpm)	F(mm/min)
1	111	24	4000	75
2	122	24	5000	100
3	133	24	9000	150
4	212	36	4000	100
5	223	36	5000	150
6	231	36	9000	75
7	313	48	4000	150
8	321	48	5000	75
9	332	48	9000	100

Figura 40. Experimentos.

Variables constantes		
(a) Sección tubo	(b) Tipo de herramienta	(c) Espesor pared tubo
(1) Redonda Ø20	(1) Standar	(1) 2 mm
(2) Cuadrada □25	(2) Flat	(2) 1,4 mm

Figura 41. Variables constantes.

Aclaraciones:

- El material de barra para todas las muestras será AL 6063 T5
- Las pruebas se realizarán según en cuadro de diseño de experimentos y con un conjunto de variables constantes, por ejemplo:
 - a1b1c2: sección cuadrada, herramienta estándar y espesor de 1,4 mm.
 - Así, resulta un número máximo de 72 ensayos.
 - Se requiere una herramienta nueva por cada ensayo .
- El orden de variables constantes será correlativo creciente, comenzado con “a1b1c1” y finalizando con “a2b2c3”
- Los resultados de las pruebas de variable constante serán excluyentes, es decir, si con “b1” no se consiguen resultados satisfactorios no se realizarán los correspondientes a “b2”. Si no se consiguen resultados satisfactorios con la constante “c2” no se ejecutarán los “c3”.
- Las pruebas de constante “c2” se realizarán con el objeto de eliminar la rebaba.
- Para las pruebas se requiere el empleo de aceite pulverizado aplicado de modo automático (MQL). Pendiente por definir tipo de aceite y cantidad a aplicar.

- Las pruebas de roscado se realizarán sobre taladros que se consideren aptos con herramientas de roscar estándar y condiciones de trabajo estándar que Embega S.Coop. emplea actualmente. En el caso de emplear machos de roscado por laminación, no se realizarán ensayos de vida de dichos machos. En todo caso, la elección del tipo de macho será excluyente, es decir, no se repetirán las mismas pruebas de roscado con ambos machos.

8. Ensayos realizados

Después de evaluar todas las variables que estaban previstas estudiar, y con la condición de que los proveedores de herramientas no disponen de todos los ángulos deseados se ha decantado por llevar a cabo los ensayos que se van a exponer a continuación.

Las herramientas a utilizar han sido compradas en el proveedor glowdrill, las cuales han sido:

- Herramienta de taladrado por fricción estándar larga de 11,3 mm de longitud (M5)
- Herramienta de roscado por laminación (M5)

Se ha realizado el estudio con la herramienta larga, ya que según estudios existentes y recomendaciones de proveedores, esta herramienta favorece la realización de una copa más larga. Se designa la herramienta estándar, ya que debido a la rebaba superior que crea, se obtendrá una copa con mayor altura para realizar la rosca.

También se han realizado los estudios con el perfil cuadrado de 2 mm de espesor, dejando los demás pendientes, en función del resultado de éste.

Es por esto, que se han realizado los ensayos de manera que se desarrollan en la mejor situación para la obtención de una rosca lo suficientemente robusta y con pocas desviaciones para aguantar 3 Nm.

En primer lugar, se han realizado dos pruebas, una con velocidad de avance constante, y otra con velocidad de avance variable. Estas pruebas han sido realizadas con un sistema de lubricación llamado MQL externo, que consiste en expulsar aire a presión con una mínima cantidad de aceite. Esta lubricación se realizaba tras perforar cada agujero, como recomiendan los proveedores.

Tras la realización de estas dos primeras pruebas se realizaron una última mezcla de ensayos con los de mejor acabado y las mejores condiciones, así como condiciones nuevas establecidas según los resultados anteriores.

También se optó por realizar un primer ensayo sin MQL en este tercer ensayo para observar el resultado, el cual resultó favorable frente a la utilización de MQL, por lo que todos ensayos de la prueba 3 fueron realizados sin MQL.

8.1. Prueba 1 (velocidad constante)

La primera prueba consistió en realizar varios ensayos con distintas revoluciones del husillo combinadas con velocidades constantes de avance.

A continuación se muestra una tabla en la que se incluyen todos los ensayos realizados en esta primera prueba:

ensayo	rpm	f	Réplica 1										Réplica 2										MEDIA	
			1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10		
111	3000	50	calidad	2	2	2	2	2	2	2	2	2	2	2	2	2	2	2	2	2	2	2	2	2
			Tºini_final	24									38	25,4									32	
			d	4,4	4,3	4,35	4,5	4,45	4,45	4,5	4,4	4,4	4,4	4,45	4,4	4,45	4,5	4,45	4,45	4,45	4,45	4,4		
			h	4,4	3,5	3,65	3,55	3,7	3,2	3,2	3,4	3,45	3,5	3,15	3,35	3,35	3,35	3,25	3,4	3,25	3,2	3,25		
			L	6,65	5,9	6,2	6,35	6,2	6,25	6,4	6,65	6,45	6,15	6,2	5,9	6,25	6,1	6,25	6,35	6,3	6,3	6,35		
112	3000	100	calidad	2	2	2	2	2	2	2	2	1	2	2	2	1	2	2	1	1	1	2		
			Tºini_final	27,1									30,7	26,6								33,5		
			d	4,45	4,35	4,4	4,35	4,4	4,4	4,35	4,4	4,4	4,35	4,45	4,45	4,4	4,4	4,35	4,35	4,45	4,45	4,45	4,45	4,45
			h	3	3,35	3,05	3,1	2,95	3,15	3,3	3,25	2,95	3,4	3,3	3,8	3,2	3,45	3,25	3,4	3,3	2,75	3,95	3,6	
			L	5,9	5,7	5,65	5,85	5,6	5,55	5,8	5,65	5,65	6,05	5,65	5,65	5,6	5,95	5,7	5,8	5,5	5,3	6,25	5,7	
113	3000	150	calidad	1	2	2	1	2	2	2	2	2	2	1	2	2	2	2	2	2	2	2	2	
			Tºini_final	26,3		Apoyamos en cara con agujeros realizados y sin disminuir altura de rebaba=0,8mm									37,8	26,3								33,4
			d	4,35	4,4	4,4	4,4	4,45	4,45	4,45	4,4	4,4	4,5	4,45	4,45	4,4	4,45	4,5	4,4	4,4	4,4	4,45	4,45	
			h	3,75	3,25	3,7	3,45	3,15	3,1	3,2	3,25	3,2	3,4	3,3	3,1	3,1	3,15	3,1	3,05	3,1	3	2,9	3,4	
			L	6,35	6,05	5,45	6,05	5,55	5,9	5,8	5,85	5,6	5,9	6,05	6,1	6,1	5,8	6,25	6,1	6,3	5,95	6,1	5,95	
121	3750	50	calidad	3	3	4	4	3	3	3	3	3	3	2	2	4	3	3	2	3	3	3	3	
			Tºini_final	25,5									Her=40,6 piez=45	27,7								Herr=30,75 piez=40,3		
			d	4,4	4,5	4,4	4,45	4,45	4,4	4,45	4,4	4,5	4,4	4,45	4,35	4,5	4,45	4,5	4,4	4,5	4,55	4,45		
			h	3,2	3,1	3,45	3,15	3,35	3,2	3,35	3,1	3,4	3,3	3,2	3,1	3,35	3,35	3,35	3,1	3,1	3,15	3,35		
			L	6,1	6,1	6,15	6,2	6,15	5,9	6,4	6,05	6,25	6,25	6,45	6,2	6,1	6,15	6,1	6,1	6,1	5,9	6,3		
122	3750	100	calidad	2	2	2	3	3	3	4	3	3	4	2	3	3	3	3	2	2	3	2		
			Tºini_final	28									36	28,9								33		

		d	4,4	4,4	4,4	4,45	4,35	4,45	4,45	4,45	4,5	4,5	4,55	4,55	4,55	4,5	4,5	4,6	4,55	4,5	4,6	4,45	4,485	
		h	3,6	3,35	3,15	3,05	3,25	3,3	3,35	3,25	3,2	3,15	3,25	3,2	3,15	3,2	3,15	3,4	3,2	3,05	3,1	3,1	3,2225	
		L	5,95	5,95	6	5,95	5,8	6,05	6,1	6,05	5,9	6,05	6,3	5,85	6,15	6,1	5,9	6,2	5,85	6,1	5,9	6	6,0075	
123	150	calidad	2	2	2	2	2	2	2	2	2	2	2	2	2	2	2	2	2	2	2	2	2	
		T°ini_final	21,8										29,3	24,5	Penetramos la herramienta 0,2 mm más								27,2	25,7
		d	4,4	4,4	4,5	4,4	4,4	4,4	4,5	4,5	4,55	4,5	4,5	4,5	4,55	4,55	4,5	4,55	4,55	4,5	4,5	4,5	4,5	4,4875
		h	3,55	3,05	3,05	2,9	3,05	3,1	3,05	3,4	2,9	3,45	3,45	4,05	3,1	3,5	3,2	3,25	3,45	3,3	3,2	3,3	3,265	
		L	7	6,3	5,75	6,25	6,1	6,4	6,15	6,1	5,9	5,9	6	5,9	6,25	6,25	5,95	6,1	6,45	5,95	6,05	6	6,1375	
131	50	calidad	4	4	4	4	4	4	4	4	4	4	4	4	4	4	4	4	4	4	4	4	4	
		T°ini_final	27,3										H=35,2 p=51,6	26,1	SIN MQL					H=36,2 p=70,1	26,7			
		d	4,55	4,4	4,5	4,5	4,55	4,5	4,5	4,4	4,45	4,5	4,55	4,5	4,5	4,45	4,35	4,35	4,45	4,5	4,5	4,5	4,475	
		h	3,25	3,2	3	3,25	3	3,05	3,1	3,2	3,1	3,1	3,1	2,9	3,2	2,85	3,05	2,65	2,85	2,9	3,1	2,95	3,04	
		L	5,75	5,9	5,8	5,95	5,75	6,05	5,6	6	6,05	6,15	6	5,8	5,45	5,35	5,5	5,45	5,4	5,3	5,8	5,3	5,7175	
132	5625	100	calidad	4	4	4	4	4	4	4	4	4	4	4	4	4	4	4	4	4	4	4	4	
			T°ini_final	27										33,1	27,7							H=37,2 P=63,7	29,2666667	
			d	4,5	4,4	4,45	4,5	4,5	4,5	4,5	4,45	4,5	4,55	4,6	4,55	4,5	4,55	4,5	4,45	4,55	4,55	4,5	4,6	4,51
			h	3,05	3,25	3,1	3,1	3,1	3,15	3,05	3,25	3,1	2,7	3	3,15	3,3	3	3,2	3,1	3,1	3,15	3,2	3,2	3,1125
			L	5,9	5,9	5,9	6,05	5,7	5,8	5,7	5,5	5,2	5,65	5,5	5,2	5,55	5,5	5,7	5,95	6	6,05	5,7	5,85	5,715
133	5625	150	calidad	4	4	4	4	4	4	4	4	4	4	4	4	4	4	4	4	4	4	4	4	
			T°ini_final	24,5										27,5	24,5								26,1	25,65
			d	4,5	4,5	4,5	4,5	4,5	4,5	4,5	4,55	4,5	4,5	4,55	4,6	4,5	4,5	4,5	4,55	4,5	4,5	4,55	4,5	4,515
			h	3,3	3,2	3,45	3,2	3,15	3,1	3,05	3,2	3,3	3,3	3,45	3,1	3,25	3,2	3,35	3,15	3,25	3,4	3,3	3,1	3,24
			L	6,7	6,55	6,55	6,65	6,55	6,35	6,35	6,3	6,55	6,45	6,4	6,3	6,35	6,35	6,4	6,25	6,2	6,45	6,2	6,2	6,405

Figura 42. Prueba 1.

Ensayo 111 (3000 rpm y 50 m/min)

	Media
Calidad	2
T	29,85
d	4,42894737
h	3,42631579
L	6,27368421

Figura 43. Ensayo 111



Figura 44. Rebaba superior réplica 1



Figura 45. Rebaba superior réplica 2



Figura 46. Copa réplica 1

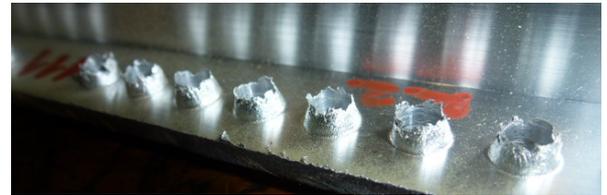


Figura 47. Copa réplica 2

Ensayo 112 (3000 rpm y 100 m/min)

	Media
Calidad	1,75
T	29,475
d	4,4025
h	3,275
L	5,725

Figura 48. Ensayo 112



Figura 49. Rebaba superior réplica 1



Figura 50. Rebaba superior réplica 2



Figura 51. Copa réplica 1



Figura 52. Copa réplica 2

Ensayo 113 (3000 rpm y 150 m/min)

	Media
Calidad	1,85
T	30,95
d	4,4275
h	3,2325
L	5,96

Figura 53. Ensayo 113



Figura 54. Rebaba superior réplica 1



Figura 55. Rebaba superior réplica 2



Figura 56. Copa réplica 1



Figura 57. Copa réplica 2

Ensayo 121 (3750rpm y 50 m/min)

	Media
Calidad	3
T	26,6
d	4,44736842
h	3,24473684
L	6,15526316

Figura 58. Ensayo 121.



Figura 59. Rebaba superior réplica 1



Figura 60. Rebaba superior réplica 2



Figura 61. Copa réplica 1



Figura 62. Copa réplica 2

Ensayo 122 (3750 rpm y 100 m/min)

	Media
Calidad	2,75
T	31,475
d	4,485
h	3,2225
L	6,0075

Figura 63. Ensayo 122.



Figura 64. Rebaba superior réplica 1



Figura 65. Rebaba superior réplica 2

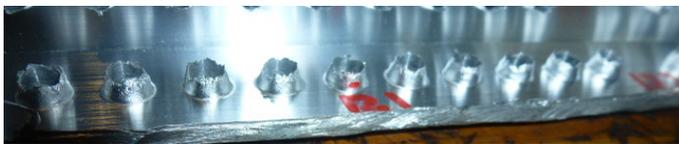


Figura 66. Copa réplica 1



Figura 67. Copa réplica 2

Ensayo 123 (3750 rpm y 150 m/min)

	Media
Calidad	2
T	25,7
d	4,4875
h	3,265
L	6,1375

Figura 68. Ensayo 123.



Figura 69. Rebaba superior réplica 1



Figura 70. Rebaba superior réplica 2



Figura 71. Copa réplica 1



Figura 72. Copa réplica 2

Ensayo 131 (5625 rpm y 50 m/min)

	Media
Calidad	4
T	26,7
d	4,475
h	3,04
L	5,7175

Figura 73. Ensayo 131.



Figura 74. Rebaba superior réplica 1



Figura 75. Rebaba superior réplica 2



Figura 76. Copa réplica 1



Figura 77. Copa réplica 2

Ensayo 132 (5625 rpm y 100 m/min)

	Media
Calidad	4
T	29,2666667
d	4,51
h	3,1125
L	5,715

Figura 78. Ensayo 132.



Figura 79. Rebaba superior réplica 1



Figura 80. Rebaba superior réplica 2



Figura 81. Copa réplica 1



Figura 82. Copa réplica 2

Ensayo 133 (5625 rpm y 150 m/min)

	Media
Calidad	4
T	25,65
d	4,515
h	3,24
L	6,405

Figura 83. Ensayo 133.



Figura 84. Rebaba superior réplica 1



Figura 85. Rebaba superior réplica 2



Figura 86. Copa réplica 1



Figura 87. Copa réplica 2

CONCLUSIONES PRUEBA 1

Como conclusiones de esta primera prueba, se puede decir que la calidad de la copa es mejor a mayores velocidades del husillo, ya que se obtiene una copa uniforme. Sin embargo, a bajas velocidades del husillo, se obtienen copas y rebabas en la superficie de mala calidad, con pétalos y rotas.

Los diámetros son constantes, pero las alturas de la copa varían, esto es debido a la mala calidad de la misma, ya que se han medido las alturas máximas, por lo que es un factor a no tener en cuenta.

Para la prueba 2, se descarta la velocidad del husillo de 3000 rpm debido a la mala calidad de las copas, y se mantiene la de 3750 rpm ya que es la recomendada por proveedor aunque parece no ser la idónea, ya que a 5625 rpm se han obtenido las mejores calidades.

8.2. Prueba 2 (velocidad variable)

La segunda prueba consistió en realizar varios ensayos con distintas revoluciones del husillo combinadas con velocidades variables de avance.

Estas velocidades de avance, varían en tres partes de la herramienta, la primera velocidad para la punta, la segunda para la zona cónica, y la tercera velocidad para el tramo recto de la herramienta.

A continuación, se muestra una tabla en la que se incluyen todos los ensayos realizados en esta segunda prueba:

ensayo	rpm	f1	f2	f3	Réplica 1										Réplica 2										Media			
					1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10				
21111	3750	30	100	300	calidad	3	3	3	3	3	3	3	3	3	3	3	3	3	3	3	3	3	2	3	3	2,95		
					T°ini_final	21,4										27	22,8										27,4	24,65
					d	4,45	4,5	4,45	4,5	4,45	4,5	4,45	4,5	4,5	4,4	4,5	4,5	4,5	4,55	4,5	4,4	4,4	4,5	4,5	4,5	4,4	4,4	4,4725
					h	3,2	3,3	3,1	3,05	2,95	2,9	2,9	2,8	3,2	2,8	3,1	2,95	3,05	3,05	3,1	3,1	3,15	2,9	3,1	3	3	3	3,035
					L	6	6,15	5,9	5,8	5,6	5,65	5,55	5,75	5,8	5,35	5,75	5,65	5,65	5,65	5,7	5,6	5,75	5,6	5,8	5,65	5,65	5,65	5,7175
21112	3750	30	400	calidad	3	3	3	3	3	3	3	3	2	2	2	3	3	3	3	3	3	3	3	3	2,85			
				T°ini_final	22,8									28,5	21,5											27	24,95	
				d	4,5	4,6	4,6	4,55	4,55	4,5	4,55	4,5	4,55	4,6	4,55	4,5	4,5	4,5	4,5	4,45	4,45	4,55	4,5	4,5	4,5	4,5	4,525	
				h	3,1	3,25	3,35	3,45	3,3	3,3	3,1	3,1	3,35	3,45	3,1	3,4	3,1	3,1	3,05	3,1	2,9	2,85	2,9	2,85	2,85	2,85	3,155	
				L	5,8	5,8	5,9	5,85	5,75	5,6	5,6	5,65	5,75	5,6	6,05	6,05	6	5,85	5,7	5,7	5,75	5,7	5,65	5,5	5,5	5,5	5,7625	
21121	3750	150	300	calidad	2	3	2	2	2	2	2	2	2	3	2	2	2	2	2	2	2	2	2	2	2	2,1		
				T°ini_final	23,2										25	23,3											28,4	24,975
				d	4,5	4,55	4,6	4,6	4,55	4,55	4,55	4,55	4,5	4,55	4,5	4,55	4,6	4,55	4,5	4,5	4,5	4,5	4,5	4,55	4,55	4,55	4,54	
				h	3,05	3,05	3	3,1	3,1	3,1	3,1	3,25	3,1	3,1	3,1	3,1	3,15	3	3,1	3	3,25	3,2	3,2	3,2	3,2	3,2	3,125	
				L	5,8	5,95	6,05	6,1	6,15	6,15	6,15	6,05	5,95	5,75	6	6,05	6,1	5,9	5,9	5,9	6	5,75	5,85	5,85	5,85	5,85	5,97	
21122	3750	150	400	calidad	2	2	1	2	2	3	3	3	3	3	3	2	2	2	2	3	2	2	2	2	2	2,3		
				T°ini_final	23,2										28,1	23											26,6	25,225
				d	4,5	4,55	4,5	4,5	4,6	4,6	4,55	4,5	4,55	4,6	4,45	4,4	4,5	4,5	4,4	4,4	4,5	4,5	4,4	4,4	4,4	4,4	4,495	
				h	3,35	3,2	3,1	3,2	3,05	2,95	3,2	2,9	3,25	3,15	3,2	3,4	3,25	3,1	3,05	2,95	3,2	3	3,2	3,1	3,1	3,1	3,14	
				L	6,35	6,1	6,35	6,35	5,9	5,8	5,9	5,9	5,85	6	5,85	6,2	6,1	6	5,9	5,9	5,85	5,95	5,95	5,95	5,95	5,7	5,7	5,995
21211	60	100	300	calidad	2	2	2	2	2	2	2	2	2	2	2	2	2	2	2	2	2	2	2	2	2	2		
				T°ini_final	23,8											27,1	23,8										28,9	25,9
				d	4,5	4,5	4,5	4,5	4,5	4,55	4,5	4,5	4,5	4,5	4,4	4,5	4,55	4,55	4,45	4,5	4,45	4,5	4,45	4,5	4,45	4,5	4,495	
				h	3,45	3,2	3,2	3,1	3,15	3	3,15	3	3	3,1	3,35	3,1	3,1	2,95	3,35	2,95	3,05	3	3	3	3	3,4	3,13	
				L	5,9	5,8	6,1	5,95	5,95	5,8	5,8	5,8	5,9	6,05	5,95	5,75	5,75	5,5	5,9	5,7	5,8	5,75	5,9	5,65	5,65	5,65	5,65	5,835

21212			400	calidad	2	2	2	3	3	3	3	3	3	2	2	2	2	2	2	2	2	2	2	2,35				
				T°ini_final	24,6								Tpieza=36	30	23,5	Tpieza=26								Tpieza=44,8	28	26,525		
				d	4,55	4,5	4,55	4,5	4,55	4,6	4,5	4,45	4,5	4,55	4,55	4,55	4,55	4,55	4,55	4,6	4,55	4,55	4,55	4,55	4,55	4,54		
				h	3,2	3,15	3,15	3,1	3,05	3,15	3,1	3	3,05	3,15	3	3,15	3,2	3,05	2,9	2,9	3	3,1	3,3	3,15	3,15	3,0925		
				L	6,45	6,25	6,3	6,3	6,15	6,05	5,8	5,95	5,9	6,05	6,3	6,3	6,2	5,95	6,05	6,1	5,9	6,1	6,1	6,1	6	6,11		
21221		150	300	calidad	2	2	3	3	3	2	2	2	2	2	3	3	3	2	3	2	2	2	2	2	2,35			
				T°ini_final	H=23,9 p=27,3									Tpieza=31,5		25,9	24,4									30,4	26,9	
				d	4,55	4,5	4,5	4,55	4,5	4,55	4,55	4,55	4,6	4,6	4,5	4,5	4,55	4,5	4,55	4,55	4,6	4,5	4,5	4,5	4,55	4,5375		
				h	3,1	3,25	3,2	3,3	3,05	3,1	3,4	3,05	3,25	3,25	3,1	3,15	3,1	3,15	3,15	3	3	3	3	3	3,15	3,1375		
				L	6,3	6,4	6,2	6,1	6,05	6,1	6,45	6,25	6,3	6	6,1	6,5	6,45	6,55	6,4	6,35	6,4	6,4	6	6,35	6,35	6,2825		
21222		150	400	calidad	2	3	3	3	2		2	2	2	2	2	3	3	3	2	2	2	2	2	2	2,31578947			
				T°ini_final	23,4										27,3	23,7	TPIEZA=29,8								Tpieza=35,8	28,3	25,675	
				d	4,55	4,55	4,55	4,55	4,55	4,55	4,55	4,55	4,5	4,55	4,55	4,55	4,5	4,5	4,6	4,55	4,55	4,55	4,5	4,45	4,45	4,5375		
				h	2,95	2,95	3,25	2,95	3,2	3,15	3,25	3,1	3,35	3,45	3	3,05	3,1	3,1	3,2	2,95	2,85	2,85	3,4	3,2	3,15	3,115		
				L	6,3	6,3	6,25	6,15	6,35	6,3	6,5	6,2	6,2	6,05	6,1	6,1	6,1	6,15	6	6,2	6,15	6,1	6,05	5,9	6,05	5,9	6,1725	
22111	5625	30	100	300	calidad	3	3	3	3	3	3	2	3	3	3	3	3	2	2	2	3	3	2	3	2	2,7		
					T°ini_final	23,3											37,2	24,2									26,6	27,825
					d	4,55	4,55	4,5	4,5	4,55	4,55	4,5	4,5	4,55	4,5	4,6	4,55	4,55	4,5	4,5	4,55	4,55	4,5	4,5	4,55	4,55	4,5	4,53
					h	3,1	3,15	3,05	2,95	2,9	2,9	3,05	3	3,2	2,9	3,1	3	2,8	2,8	3,25	2,85	3,1	3,05	3,05	3,15	3,15	3,0175	
					L	6,35	6,1	6	6	6,05	5,9	5,85	5,9	5,65	6	5,65	5,8	5,65	5,9	5,9	5,95	5,65	6	5,8	5,8	5,8	5,895	
22112		100	400	calidad	3	3	3	2	2	3	3	2	2	2	3	3	3	4	2	2	2	3	3	3	2,65			
				T°ini_final	23,8											31,7	25									H=34,5 p=41,6	26,8333333	
				d	4,55	4,6	4,55	4,55	4,6	4,55	4,45	4,55	4,55	4,55	4,5	4,5	4,55	4,55	4,5	4,5	4,55	4,55	4,5	4,5	4,5	4,535		
				h	3,05	3,1	3,05	3,3	3,1	3,1	3	3	3,1	3,15	2,95	3	2,9	3,1	3,05	2,9	3,05	3,1	3,05	3,1	3,05	3,1	3,0575	
				L	5,9	5,8	5,8	5,9	5,75	5,75	5,65	5,85	5,7	5,65	6,15	6,05	6,15	6,15	6,2	6,1	5,6	6,15	5,9	5,8	5,8	5,9	5,9	
22121		150	300	calidad	3	2	2	3	4	3	2	3	2	2	3	3	3	2	2	3	3	3	2,7					

					h	2,95	3,1	2,9	2,7	3,3	2,9	2,95	2,75	2,9	2,9	2,8	2,7	2,6	2,85	2,8	2,75	2,7	2,7	2,85	2,75	2,8425				
					L	6,3	6,2	6,1	6	6,1	5,95	5,95	5,95	5,95	5,9	6,1	6	6	6,05	5,9	5,95	5,9	5,9	5,9	5,95	6,0025				
22211-2	5625	60	100	300	calidad	4	5	5	5	4	5	4	4	4	4											4,4				
					T°ini_final	23,4	sin MQL											40,1												31,75
					d	4,5	4,5	4,5	4,55	4,5	4,55	4,5	4,5	4,5	4,55															4,515
					h	2,8	2,8	2,8	2,75	2,7	3	2,8	2,8	2,8	2,75	2,75														2,795
					L	6,1	6,1	6,05	5,95	6	5,95	6	5,9	5,9	5,9															5,985

Figura 88. Prueba 2.

Ensayo 21111 (3750 rpm y 30-100-300 m/min)

	Media
Calidad	2,95
T	24,65
d	4,4725
h	3,035
L	5,7175

Figura 89. Ensayo 21111



Figura 90. Rebaba superior réplica 1



Figura 91. Rebaba superior réplica 2



Figura 92. Copa réplica 1

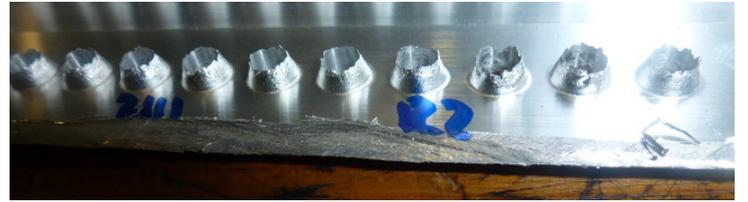


Figura 93. Copa réplica 2

Ensayo 21112 (3750 rpm y 30-100-400 m/min)

	Media
Calidad	2,85
T	24,95
d	4,525
h	3,155
L	5,7625

Figura 94. Ensayo 21112.



Figura 95. Rebaba superior réplica 1



Figura 96. Rebaba superior réplica 2



Figura 97. Copa réplica 1



Figura 98. Copa réplica 2

Ensayo 21121 (3750 rpm y 30-150-300 m/min)

	Media
Calidad	2,1
T	24,975
d	4,54
h	3,1125
L	5,97

Figura 99. Ensayo 21121.



Figura 100. Rebaba superior réplica 1



Figura 101. Rebaba superior réplica 2

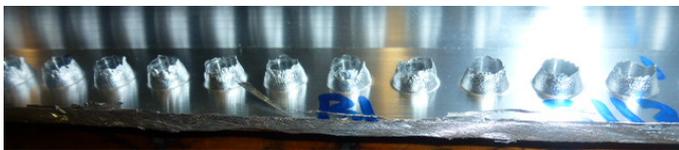


Figura 102. Copa réplica 1



Figura 103. Copa réplica 2

Ensayo 21122 (3750 rpm y 30-150-400 m/min)

	Media
Calidad	2,3
T	25,225
d	4,495
h	3,14
L	5,995

Figura 104. Ensayo 21122.



Figura 105. Rebaba superior réplica 1



Figura 106. Rebaba superior réplica 2

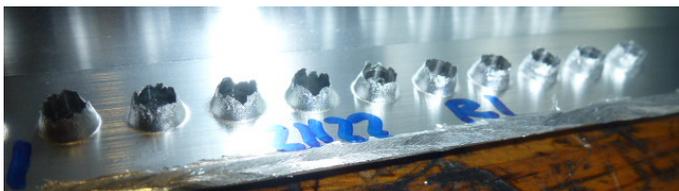


Figura 107. Copa réplica 1



Figura 108. Copa réplica 2

Ensayo 21211 (3750 rpm y 60-100-300 m/min)

	Media
Calidad	2
T	25,9
d	4,495
h	3,13
L	5,835

Figura 109. Ensayo 21211.



Figura 110. Rebaba superior réplica 1



Figura 111. Rebaba superior réplica 2

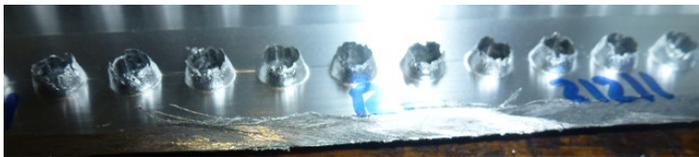


Figura 112. Copa réplica 1



Figura 113. Copa réplica 2

Ensayo 21212 (3750 rpm y 60-100-400 m/min)

	Media
Calidad	2,35
T	26,525
d	4,54
h	3,0925
L	6,11

Figura 114. Ensayo 21212.



Figura 115. Rebaba superior réplica 1



Figura 116. Rebaba superior réplica 2

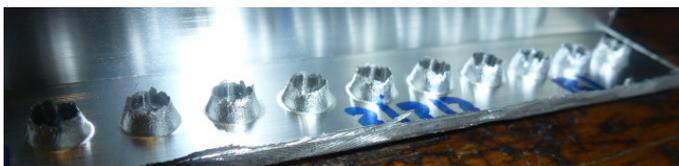


Figura 117. Copa réplica 1



Figura 118. Copa réplica 2

Ensayo 21221 (3750 rpm y 60-150-300 m/min)

	Media
Calidad	2,35
T	26,9
d	4,5375
h	3,1375
L	6,2825

Figura 119. Ensayo 21221.



Figura 120. Rebaba superior réplica 1



Figura 121. Rebaba superior réplica 2

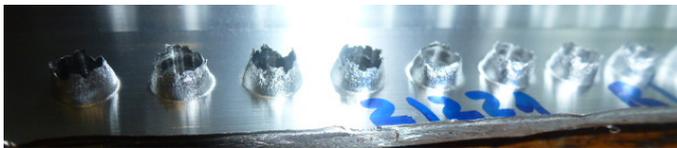


Figura 122. Copa réplica 1

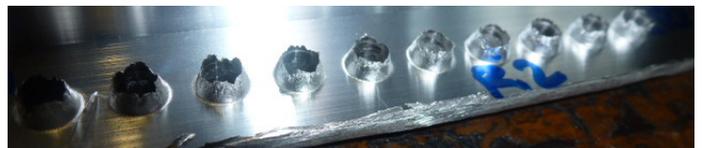


Figura 123. Copa réplica 2

Ensayo 21222 (3750 rpm y 60-150-400 m/min)

	Media
Calidad	2,31578947
T	25,675
d	4,5375
h	3,115
L	6,1725

Figura 124. Ensayo 21222.



Figura 125. Rebaba superior réplica 1



Figura 126. Rebaba superior réplica 2



Figura 127. Copa réplica 1



Figura 128. Copa réplica 2

Ensayo 22111 (5625 rpm y 30-100-300 m/min)

	Media
Calidad	2,7
T	27,825
d	4,53
h	3,0175
L	5,895

Figura 129. Ensayo 22111.



Figura 130. Rebaba superior réplica 1



Figura 131. Rebaba superior réplica 2

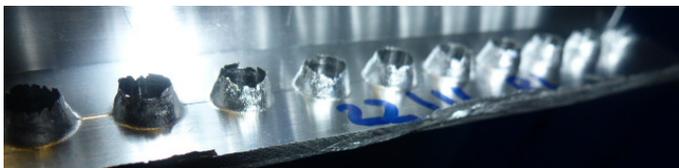


Figura 132. Copa réplica 1



Figura 133. Copa réplica 2

Ensayo 22112 (5625 rpm y 30-100-400 m/min)

	Media
Calidad	2,65
T	26,8333333
d	4,535
h	3,0575
L	5,9

Figura 134. Ensayo 22112.



Figura 135. Rebaba superior réplica 1



Figura 136. Rebaba superior réplica 2



Figura 137. Copa réplica 1



Figura 138. Copa réplica 2

Ensayo 22121 (5625 rpm y 30-150-300 m/min)

	Media
Calidad	2,7
T	27,35
d	4,53
h	3,025
L	6,0125

Figura 139. Ensayo 22121.



Figura 140. Rebaba superior réplica 1



Figura 141. Rebaba superior réplica 2



Figura 142. Copa réplica 1



Figura 143. Copa réplica 2

Ensayo 22122 (5625 rpm y 30-150-400 m/min)

	Media
Calidad	2,35
T	27,625
d	4,52
h	2,9
L	6,315

Figura 144. Ensayo 22122.



Figura 145. Rebaba superior réplica 1



Figura 146. Rebaba superior réplica 2



Figura 147. Copa réplica 1

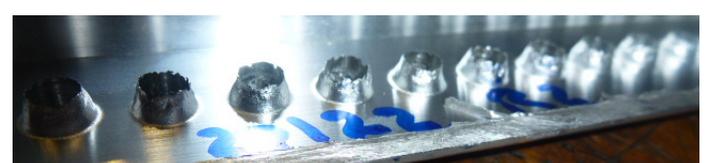


Figura 148. Copa réplica 2

Ensayo 22211 (5625 rpm y 60-100-300 m/min)

	Media
Calidad	2,7
T	29,125
d	4,525
h	3,09
L	6,125

Figura 149. Ensayo 22211.



Figura 150. Rebaba superior réplica 1



Figura 151. Rebaba superior réplica 2



Figura 152. Copa réplica 1



Figura 153. Copa réplica 2

Ensayo 22212 (5625 rpm y 60-100-400 m/min)

	Media
Calidad	2
T	26,75
d	4,525
h	3,1325
L	5,87105263

Figura 154. Ensayo 22212.



Figura 155. Rebaba superior réplica 1



Figura 156. Rebaba superior réplica 2

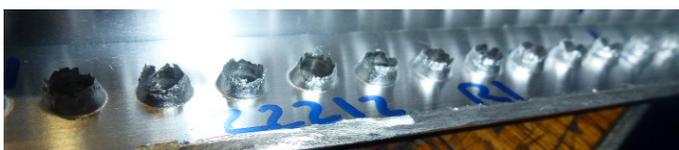


Figura 157. Copa réplica 1



Figura 158. Copa réplica 2

Ensayo 22221 (5625 rpm y 60-150-300 m/min)

	Media
Calidad	3,85
T	24,65
d	4,545
h	3,035
L	6,0275

Figura 159. Ensayo 22221.



Figura 160. Rebaba superior réplica 1



Figura 161. Rebaba superior réplica 2

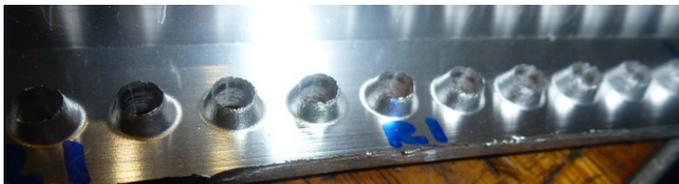


Figura 162. Copa réplica 1



Figura 163. Copa réplica 2

Ensayo 22222 (5625 rpm y 60-150-400 m/min)

	Media
Calidad	4,3
T	27,225
d	4,5065
h	2,8425
L	6,0025

Figura 164. Ensayo 22222.



Figura 165. Rebaba superior réplica 1



Figura 166. Rebaba superior réplica 2

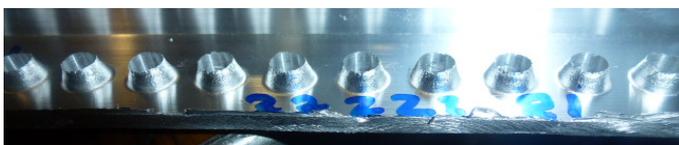


Figura 167. Copa réplica 1

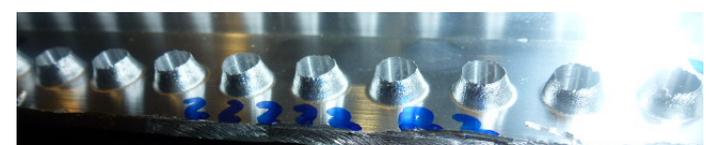


Figura 168. Copa réplica 2

Ensayo 22211-2 sin MQL (5625 rpm y 60-100-300 m/min)

	Media
Calidad	4,4
T	31,75
d	4,515
h	2,795
L	5,985

Figura 169. Ensayo 22211-2.



Figura 170. Rebaba superior réplica 1

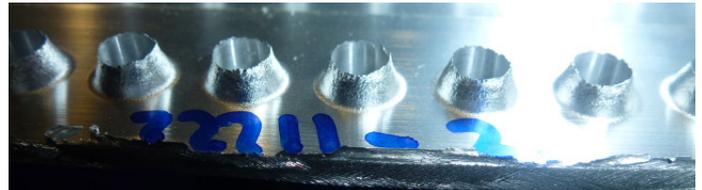


Figura 171. Copa réplica 1

CONCLUSIONES PRUEBA 2

Como conclusión de esta segunda prueba, se puede decir que a altas velocidades se tienen mayores calidades de copa. También comentar que la velocidad de avance en la sección cónica de la herramienta es determinante a la hora de obtener una buena calidad de copa.

Se ha realizado también el último ensayo sin lubricación MQL obteniendo mejores resultados con respecto a los ensayos realizados sin lubricación, por lo que se va a probar sin lubricación en la siguiente prueba.

Después de esta segunda prueba, se descarta la velocidad de 3750 rpm, y se descartan también las velocidades de avance constante ya que se han obtenido mejores resultados.

8.3. Prueba 3 (ensayos definitivos)

La tercera prueba consistió en realizar varios ensayos con distintas revoluciones del husillo combinadas con velocidades variables de avance (2 y 3 velocidades). Estas velocidades cuando son 3 corresponden a la prueba 2, y cuando son 2 velocidades corresponden la primera a la punta y zona cónica, y la segunda a la zona recta.

Esta última prueba va a ser eliminatoria, es decir, se van a ir realizando ensayos, y dependiendo de su resultado se elegirán las condiciones del siguiente mecanizado.

También se va a probar a 7000 rpm ya que se ha visto que a mayores velocidades de husillo se obtienen mejores acabados. Y como ya se ha visto en la prueba anterior se va a realizar sin MQL.

A continuación se muestra una tabla en la que se incluyen todos los ensayos realizados en esta tercera prueba:

ensayo	rpm	f1	f2	f3	Réplica 1										Réplica 2										Media					
					1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10						
31111	5625	60	100	300	calidad	3	3	3	3	3	3	4	3	4	3	3	4	3	3	3	4	4	3	3	3	3,25				
					T°ini_final	23,2											30,2	25,5									29,5	27,1		
					d	4,5	4,45	4,55	4,5	4,4	4,45	4,5	4,5	4,4	4,55	4,45	4,45	4,55	4,5	4,45	4,5	4,5	4,55	4,5	4,5	4,55	4,5	4,5	4,4875	
					h	2,85	2,9	2,8	2,9	2,8	2,75	2,75	2,85	2,75	2,9	2,8	2,75	2,75	2,9	2,85	2,7	2,65	2,7	2,9	2,9	2,75	2,75	2,9	2,8	
31121		5625	60	150	300	L	5,6	5,55	5,6	5,7	5,65	5,8	5,8	5,7	5,75	5,85	5,55	5,6	5,45	5,6	5,5	5,65	5,7	5,6	5,75	5,6	5,65			
						calidad	3	3	4	3	4	3	3	3	3	4	3	3	4	3	3	4	4	3	3	3	3	3	3,3	
						T°ini_final	25												31,1	25,7								Tpieza=37,5	31,3	28,275
						d	4,5	4,45	4,5	4,45	4,55	4,55	4,5	4,5	4,55	4,45	4,5	4,5	4,5	4,45	4,5	4,4	4,4	4,55	4,4	4,5	4,55	4,4	4,5	4,485
32111	5625		100	100	300	h	2,75	2,8	2,85	2,8	2,85	2,85	2,75	2,8	2,65	2,95	3,1	2,9	2,95	2,85	2,95	2,8	2,75	2,8	2,9	2,85	2,85	2,845		
						L	5,4	5,5	5,5	5,5	5,6	5,6	5,6	5,7	5,8	6	5,6	5,7	5,3	5,4	5,25	5,2	5,4	5,4	5,3	5,2	5,4	5,3	5,2	5,4975
						calidad	3	3	3	4	3	3	3	4	3	3	3	3	3	3	3	3	3	3	3	3	3	3	3	3,1
						T°ini_final	26,2												33,5	26,9									28,3	28,725
32112		5625	100	400	300	d	4,5	4,45	4,45	4,45	4,5	4,5	4,55	4,55	4,5	4,45	4,5	4,5	4,55	4,5	4,45	4,55	4,55	4,45	4,5	4,55	4,5	4,5		
						h	2,8	2,8	2,7	2,85	2,75	2,7	2,75	2,7	2,7	2,7	2,95	3	2,9	2,9	2,8	2,8	2,95	2,95	2,8	2,85	2,85	2,8	2,8175	
						L	6	5,9	6	5,8	5,75	5,8	5,9	5,75	5,7	5,7	5,75	5,9	5,75	5,8	5,75	5,75	5,7	5,75	5,75	5,75	5,65	5,65	5,7925	5,7925
						calidad	4	4	4	4	4	4	4	4	4	4	4	4	4	4	4	4	4	4	4	4	4	4	4	4
32121	5625		100	150	300	T°ini_final	26,6																		Tpieza=45,4	30,5	28,825			
						d	4,5	4,5	4,5	4,5	4,55	4,45	4,55	4,45	4,5	4,45	4,45	4,5	4,45	4,5	4,5	4,5	4,6	4,5	4,6	4,5	4,5	4,5	4,505	
						h	2,75	2,9	2,8	2,8	2,95	2,8	2,7	2,75	2,8	2,9	2,8	2,9	2,8	2,85	2,7	2,9	2,85	2,8	2,85	2,8	2,85	2,75	2,85	2,8175
						L	5,8	5,9	5,9	5,85	5,75	5,7	5,7	5,8	5,6	5,6	5,5	5,4	5,45	5,35	5,25	5,4	5,35	5,3	5,45	5,45	5,45	5,45	5,45	5,575
32121		5625	100	150	300	calidad	4	4	4	4	4	4	4	5	4	5	4	4	4	4	4	5	4	5	5	4	4	4,25		
						T°ini_final	26,3												29,7	25,6								Tpieza=36,1	39,2	30,2
						d	4,4	4,5	4,4	4,4	4,55	4,5	4,5	4,5	4,55	4,55	4,4	4,5	4,45	4,45	4,5	4,55	4,5	4,55	4,55	4,55	4,55	4,6	4,6	4,495
						h	3,2	3,05	2,85	2,85	2,85	2,8	2,8	2,8	2,85	2,75	2,8	2,9	2,85	2,85	2,9	3	2,9	2,9	2,8	2,95	2,95	2,95	2,95	2,8825
32122	5625		100	400	300	L	5,6	5,45	5,45	5,5	5,45	5,4	5,35	5,5	5,5	5,4	5,9	5,85	5,8	5,8	5,7	5,6	5,5	5,55	5,55	5,5	5,5	5,5675		
						calidad	4	4	4	4	4	4	4	4	4	4	4	4	3	3	4	4	4	3	3	3	3	4	4	3,7

				Tºini_final	26,7		rebaba superior aplastada															40,2	31,85						
				d	4,55	4,5	4,5	4,55	4,55	4,5	4,55	4,6	4,5	4,55	4,55	4,55	4,5	4,45	4,5	4,6	4,55	4,6	4,55	4,55	4,5375				
				h	2,95	2,85	2,85	2,9	2,95	2,9	2,9	2,95	2,9	2,85	2,95	3,1	2,85	2,9	2,75	2,8	2,75	2,65	2,75	2,85	2,8675				
				L	5,8	5,6	5,5	5,45	5,5	5,55	5,45	5,5	5,4	5,45	5,8	5,9	5,65	5,7	5,6	5,6	5,55	5,55	5,55	5,7	5,59				
32221	150	150	300	calidad	4	4	4	4	4	4	4	4	5	5	4	5	4	5	5	5	4	4	5	4,4					
				Tºini_final	25,5											34,5	27,4									34,4	30,45		
				d	4,55	4,55	4,55	4,6	4,55	4,5	4,55	4,55	4,55	4,55	4,55	4,55	4,55	4,55	4,55	4,55	4,55	4,55	4,55	4,55	4,55	4,55	4,6	4,5525	
				h	3,1	2,9	2,9	2,8	2,95	2,9	2,95	3,05	2,8	2,85	2,85	2,95	2,9	2,85	2,75	2,9	2,9	2,9	2,9	2,9	2,9	2,9	2,8	2,895	
				L	6,2	6,25	6,15	6	6,05	6,05	5,9	5,95	5,9	5,95	6	6	5,95	5,95	5,85	6,05	5,85	5,85	5,85	5,8	5,8	5,8	5,8	5,975	
32222	150	150	400	calidad	4	5	3	5	5	5	5	4	4	4	3	4	4	4	4	4	4	4	4	4	4	4,15			
				Tºini_final	25,6											30,1	27,5										32,4	28,9	
				d	4,55	4,55	4,6	4,55	4,55	4,55	4,55	4,55	4,55	4,55	4,55	4,55	4,5	4,55	4,5	4,55	4,55	4,5	4,55	4,55	4,5	4,55	4,55	4,545	
				h	2,95	3	2,8	2,9	2,8	2,8	2,75	2,7	2,8	2,8	3,15	3	2,8	2,75	2,95	2,95	2,9	2,75	2,95	2,9	2,75	2,95	2,9	2,87	
				L	6,05	6,1	6	5,95	5,95	5,95	5,9	5,9	5,9	5,8	5,8	5,8	5,9	5,95	5,8	5,9	5,8	5,75	5,8	5,75	5,8	5,75	5,75	5,8875	
33111	7000	100	100	300	calidad	5	4	5	4	5	5	5	5	5	4	4	5	5	5	5	5	5	5	5	5	4,8			
					Tºini_final	25,8											30,1	24										32,3	28,05
					d	4,5	4,5	4,5	4,5	4,5	4,5	4,55	4,55	4,55	4,55	4,55	4,55	4,5	4,55	4,55	4,6	4,55	4,55	4,55	4,55	4,55	4,55	4,55	4,535
					h	2,95	2,95	2,95	2,95	2,85	2,9	2,8	3	2,95	3	3	2,95	2,85	2,9	2,95	2,8	2,95	2,9	2,85	2,95	2,9	2,85	2,9	2,9175
					L	5,85	5,85	5,85	5,7	5,75	5,7	5,65	5,6	5,6	5,6	5,6	5,8	7,7	5,85	5,75	5,65	5,7	5,7	5,65	5,6	5,7	5,65	5,6	5,7
33112	100	100	400	calidad	5	5	5	5	5	5	5	5	5	5	5	5	5	5	5	5	5	5	5	5	5	5			
				Tºini_final	26,8		disminuye la rebaba 0,4 a medida que avanza el ensayo por deformación de la barra										30,6	21,8							28,2	26,85			
				d	4,6	4,55	4,55	4,55	4,55	4,5	4,55	4,5	4,55	4,55	4,55	4,55	4,6	4,6	4,55	4,55	4,55	4,55	4,55	4,55	4,6	4,6	4,6	4,5575	
				h	2,85	2,95	2,95	2,95	2,9	2,85	2,9	2,9	2,9	2,85	2,95	2,9	2,9	2,8	2,95	2,95	2,8	2,95	2,85	2,85	2,85	2,85	2,85	2,895	
				L	5,95	5,85	5,85	5,85	5,75	5,7	5,6	5,6	5,6	5,6	5,95	5,85	5,75	5,7	5,7	5,65	5,6	5,6	5,6	5,6	5,55	5,55	5,55	5,715	
33221	150	150	300	calidad	5	5	5	5	5	5	5	5	5	5	5	5	5	5	5	5	5	5	5	5	5	5			
				Tºini_final	27,2												34,8	24,7										42,1	32,2
				d	4,55	4,55	4,5	4,55	4,5	4,5	4,55	4,5	4,5	4,55	4,55	4,55	4,55	4,6	4,6	4,6	4,6	4,6	4,6	4,6	4,6	4,6	4,55	4,55	4,55

			h	2,85	2,8	2,85	2,85	2,75	2,8	2,8	2,75	2,8	2,8	2,8	3	2,95	2,85	2,9	2,85	2,9	2,8	2,85	2,95	2,845			
			L	6,1	5,9	5,95	5,9	5,9	5,9	5,95	5,85	5,85	5,85	5,9	5,95	5,95	5,95	5,9	5,85	5,8	5,8	5,8	5,75	5,89			
33222		400	calidad	5	5	5	5	5	5	5	5	5	5	5	5	5	5	5	5	5	5	5	5	5			
			T^oini_final	24,6									34,7	25,1											27,1	27,875	
			d	4,55	4,55	4,55	4,5	4,55	4,55	4,55	4,5	4,5	4,55	4,55	4,55	4,55	4,5	4,55	4,55	4,55	4,55	4,55	4,55	4,55	4,55	4,6	4,5425
			h	3,05	3	3,05	3,05	2,95	2,95	3	3	2,9	3	3	3,05	2,9	2,9	2,9	2,9	2,9	2,85	2,95	2,85	2,85	2,85	2,955	
			L	6,1	6,1	6,05	5,95	6	5,95	5,9	5,9	5,9	5,8	6,05	6	5,95	5,9	5,85	5,85	5,85	5,85	5,9	5,8	5,8	5,8	5,93	

Figura 172. Prueba 3.

Ensayo 31111 (5625 rpm y 60-100-300 m/min)

	Media
Calidad	3,25
Tº	27,1
d	4,4875
h	2,8
L	5,65

Figura 173. Ensayo 31111.



Figura 174. Rebaba superior réplica 1



Figura 175. Rebaba superior réplica 2



Figura 176. Copa réplica 1



Figura 177. Copa réplica 2

Ensayo 31121 (5625 rpm y 60-150-300 m/min)

	Media
Calidad	3,3
Tº	28,275
d	4,485
h	2,845
L	5,4975

Figura 178. Ensayo 31121.



Figura 179. Rebaba superior réplica 1



Figura 180. Rebaba superior réplica 2



Figura 181. Copa réplica 1



Figura 182. Copa réplica 2

Ensayo 32111 (5625 rpm y 100-100-300 m/min)

	Media
Calidad	3,1
Tº	28,725
d	4,5
h	2,8175
L	5,7925

Figura 183. Ensayo 32111.



Figura 184. Rebaba superior réplica 1



Figura 185. Rebaba superior réplica 2



Figura 186. Copa réplica 1



Figura 187. Copa réplica 2

Ensayo 32112 (5625 rpm y 100-100-400 m/min)

	Media
Calidad	4
Tº	28,825
d	4,505
h	2,8175
L	5,575

Figura 188. Ensayo 32112.



Figura 189. Rebaba superior réplica 1



Figura 190. Rebaba superior réplica 2



Figura 191. Copa réplica 1



Figura 192. Copa réplica 2

Ensayo 32121 (5625 rpm y 100-150-300 m/min)

	Media
Calidad	4,25
Tº	30,2
d	4,495
h	2,8825
L	5,5675

Figura 193. Ensayo 32121.



Figura 194. Rebaba superior réplica 1



Figura 195. Rebaba superior réplica 2



Figura 196. Copa réplica 1



Figura 197. Copa réplica 2

Ensayo 32122 (5625 rpm y 100-150-400 m/min)

	Media
Calidad	3,7
Tº	31,85
d	4,5375
h	2,8675
L	5,59

Figura 198. Ensayo 32122.



Figura 199. Rebaba superior réplica 1



Figura 200. Rebaba superior réplica 2



Figura 201. Copa réplica 1



Figura 202. Copa réplica 2

Ensayo 32221 (5625 rpm y 150-150-300 m/min)

	Media
Calidad	4,4
Tº	30,45
d	4,5525
h	2,895
L	5,975

Figura 203. Ensayo 32221.



Figura 204. Rebaba superior réplica 1



Figura 205. Rebaba superior réplica 2



Figura 206. Copa réplica 1



Figura 207. Copa réplica 2

Ensayo 32222 (5625 rpm y 150-150-400 m/min)

	Media
Calidad	4,15
Tº	28,9
d	4,545
h	2,87
L	5,8875

Figura 208. Ensayo 32222.



Figura 209. Rebaba superior réplica 1



Figura 210. Rebaba superior réplica 2



Figura 211. Copa réplica 1



Figura 212. Copa réplica 2

Ensayo 33111 (7000 rpm y 100-100-300 m/min)

	Media
Calidad	4,8
Tº	28,05
d	4,535
h	2,9175
L	5,8125

Figura 213. Ensayo 33111.



Figura 214. Rebaba superior réplica 1



Figura 215. Rebaba superior réplica 2



Figura 216. Copa réplica 1



Figura 217. Copa réplica 2

Ensayo 33112 (7000 rpm y 100-100-400 m/min)

	Media
Calidad	5
Tº	26,85
d	4,5575
h	2,895
L	5,715

Figura 218. Ensayo 33112.



Figura 219. Rebaba superior réplica 1



Figura 220. Rebaba superior réplica 2



Figura 221. Copa réplica 1



Figura 222. Copa réplica 2

Ensayo 33221 (7000 rpm y 150-150-300 m/min)

	Media
Calidad	5
Tº	32,2
d	4,55
h	2,845
L	5,89

Figura 223. Ensayo 33221.



Figura 224. Rebaba superior réplica 1



Figura 225. Rebaba superior réplica 2



Figura 226. Copa réplica 1

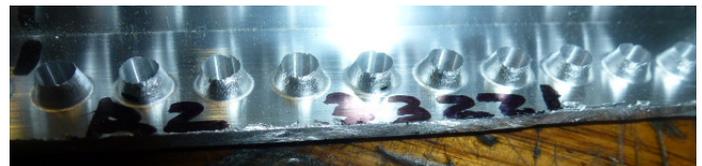


Figura 227. Copa réplica 2

Ensayo 33222 (7000 rpm y 150-150-400 m/min)

	Media
Calidad	5
Tº	27,875
d	4,5425
h	2,955
L	5,93

Figura 228. Ensayo 33222.



Figura 229. Rebaba superior réplica 1



Figura 230. Rebaba superior réplica 2



Figura 231. Copa réplica 1



Figura 232. Copa réplica 2

CONCLUSIONES PRUEBA 3

Como conclusiones de la tercera prueba se puede establecer que se han obtenido buenas calidades de copa en general. Debido a este factor controlado, nos decantamos por elegir las dos condiciones de mecanizado con las que se han obtenido mayor altura de copa.

Estas mejores opciones son a dos velocidades, por lo que un factor importante es la velocidad hasta la zona cónica como se ha comentado anteriormente, así como las revoluciones del husillo.

Ahora se repiten estos dos mejores ensayos para roscarlos y medir el apriete de la rosca.

8.4. Prueba 4 (roscado y par)

La última y definitiva prueba, consistió en realizar las roscas manualmente, e introducir unos tornillos y medir el par que aguantaba cada rosca.

Esta prueba se hizo con los dos casos en los que tanto la altura de la copa como la calidad de la misma eran mayores.

A continuación se muestra una tabla en la que se incluyen todos los pares medidos de los dos ensayos realizados:

Ensayo	Rpm	F1	F2	F3	Réplica 1										Réplica 2										Media
					1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	
41111	5625	150	150	300	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	5,455
					5	3,8	5	5,6	6,4	6,4	5,7	6,2	6	6	5	5,8	5	4,8	5,8	4,8	5	5,2	5,8	5,8	
42112	7000	150	150	400	5,4	6	5,2	5,8	5,2	5	4,6	6	6,2	6,2	6,2	5,8	6,4	4	ROSCA MAL REALIZADA (DESCARTADO)						

ALUMINIO PEGADO EN HERRAMIENTA DE ROSCADO A PARTIR DE REPLICAS 2 A 7000RPM
 CAUSA DE FALLO EN ROSCADO CALIENTE SIN LUBRICACIÓN

Figura 233. Prueba 4.

Replica 2 (7000-150-150-400)- Con lubricación en roscado										
1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	Media
5,6	6,6	6,2	6,4	5,6	5,6	6,4	6,2	7,6	5,6	5,87

La réplica 1-2 de 5625 rpm y réplica 1 de 7000 rpm caliente y sin lubricación.

Figura 234. Prueba 4.

ENSAYO 41111 (5625 rpm y 150-150-300 m/min)

Media: 5,455 Nm



Figura 235. Rebaba superior réplica 1



Figura 236. Rebaba superior réplica 2



Figura 237. Copa réplica 1



Figura 238. Copa réplica 2

ENSAYO 42112 (7000rpm y 150-150-400 m/min)

Media: 5,87Nm



Figura 239. Rebaba superior réplica 1



Figura 240. Rebaba superior réplica 2



Figura 241. Copa réplica 1



Figura 242. Copa réplica 2

CONCLUSIONES FINALES

Finalmente, se puede dar como buenas las pruebas realizadas en estas condiciones ya que se han obtenido buenos resultados en cuanto a par de rosca.

A partir de aquí, se continuará probando en estas condiciones con menores espesores y la sección circular, para ver que pares de rosca y con que dispersión se obtienen.

8.5. Máquinas y herramientas empleadas

Herramienta taladrado

Suministradas por el proveedor Glowdrill, se utilizó la herramienta estándar larga.



Figura 243. Herramienta taladrado



Figura 244. Herramienta tras finalizar ensayos.

Herramienta roscado y roscador

Machos de M5 suministrados por Glowdrill.



Figura 245. Macho de roscar y roscador

Sistema de lubricación MQL

El sistema de lubricación MQL fue suministrado por Ideko, con el cual se desarrollaron varios ensayos.



Figura 246. Sistema MQL



Figura 247. Boquilla MQL

Proyector

Proyector propiedad de Ideko, con el cual se realizaron medidas y ajustes de las herramientas.



Figura 248. Proyector Tool Master 250

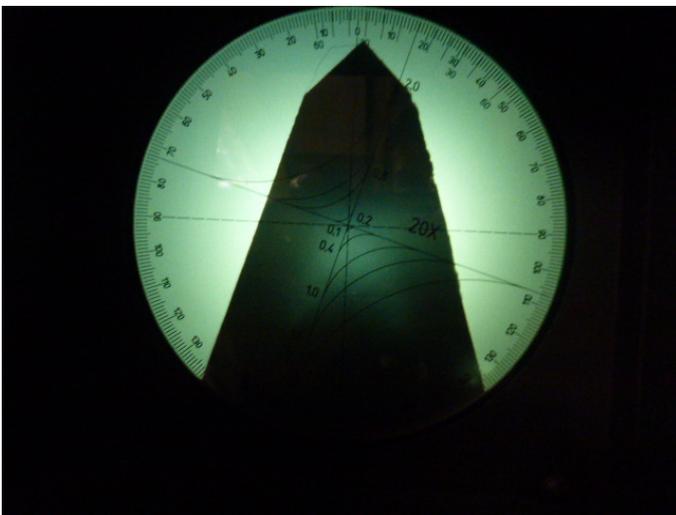


Figura 249. Proyección herramienta al finalizar ensayos

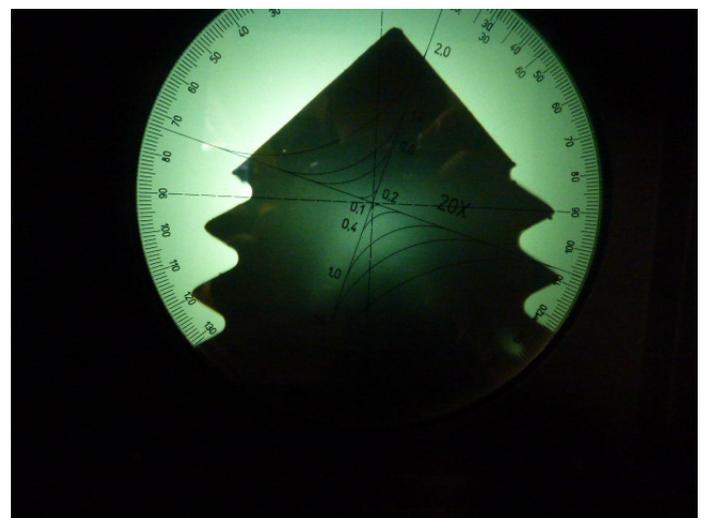


Figura 250. Proyección macho roscar

Llave dinamométrica



Figura 251. Llave dinamométrica

Disco cortador

Empleado para recortar las barras de sección cuadrada y poder medir y observar los ensayos realizados.



Figura 252. Disco cortador

Utillajes

Agarraderas de sección cuadrada y nylon como utillajes para amarrar los perfiles en los cuales se trabajó.



Figura 253.Utillajes

Sistemas de identificación y medición

Rotuladores y sistemas de identificación, así como cámara y calibres para la identificación y medición de los distintos ensayos realizados:



Figura 254. Sistemas de identificación y medición.

CNC

Finalmente se utilizó el CNC Falcon 500-2G del grupo Danobat.



Figura 255. CNC empleado

9. Subproyectos

En la realización de este proyecto con la colaboración de Ideko S.Coop. se incluye también el proceso de desbaste de un tirador macizo, para estudiar el amarre y las posibles vibraciones que puede causar el desbaste. Así como buscar las mejores condiciones de mecanizado para un desbaste rápido y de calidad.

Además de este subproyecto, que se realizará junto al proceso de taladrado por fricción, se han puesto en marcha ciertos subproyectos, estudiando la factibilidad de los mismos e incluso realizando pruebas de los mismos.

Uno de estos subproyectos es la adaptación de una fresa que taladra, rosca y avellana en una sola herramienta al proceso actual de taladrado y roscado convencional.

Otro de los subproyectos es la adaptación de sistemas de lubricación MQL a los centros de mecanizado de Embega S.Coop., mejorando así las condiciones de corte y de trabajo, disminuyendo costes y mejorando la limpieza de la zona de trabajo.

Estos últimos subproyectos, son recomendaciones ofrecidas por Ideko en conversaciones previas al acuerdo del actual proyecto. En este caso se plantea estudiarlo por cuenta propia de Embega S.Coop. y observar los resultados y conclusiones propias.

9.1. Desbaste

El proceso de desbaste viene incluido en el proyecto total que se va a realizar con Ideko S.Coop. En el cual se llevará a cabo el estudio del desbastado de 30 mm de profundidad en unas planchas de espesor 17 mm.

El objetivo de este subproyecto es buscar la factibilidad en cuanto a tiempo y calidad del desbaste para implantación del mismo en Embega S.Coop. en caso de que se apruebe el proyecto correspondiente.

Para dar por bueno el mecanizado, es necesario que el acabado tenga la suficiente calidad como para realizar finalmente un último mecanizado que va a

otorgar al desbaste una determinada forma. Y también, es necesario que la pieza no vibre, así como que sea posible realizar el mecanizado de toda la pieza de un solo amarre, ya que si vibra, el proceso variará y no será factible a la hora de industrializarlo, así como la viabilidad del acabado. Finalmente, es necesario realizar todo el mecanizado de una sola atada ya que así se conseguirá menores costos debido a ahorro en tiempo y mano de obra.

El mecanizado se va a realizar mediante una fresa con dos plaquitas de diámetro 22 mm. Se probará con una o dos pasadas, según sea el acabado se elegirá una u otra opción, y finalmente se hará una última pasada de acabado con una fresa especial de forma.

El objetivo de este subproyecto es principalmente obtener un buen acabado con unos tiempos máximos determinados, ya que hasta ahora en Embega S.Coop. no se han realizado mecanizados de este calibre, por lo que nos apoyamos de la ayuda de Ideko S.Coop. para la optimización de este proceso.

9.2. Sistema de lubricación MQL

En cuanto al sistema de lubricación MQL, es un objeto pendiente de estudio práctico, ya que se ha buscado información acerca de este sistema para la adaptación a cualquier CNC convencional y para trabajar en aluminio.

Lubricación Externa

En el caso de la lubricación externa (Figura 256), el sistema MQL consiste en un depósito de lubricante, una o varias unidades de regulación de mezcla y conductos con boquillas de rociado. El aire comprimido con el que se alimenta el sistema presuriza el depósito de lubricante, como consecuencia de lo cual el lubricante es transportado a través de un sistema de conductos hasta las boquillas de rociado. La regulación de las cantidades requeridas de lubricante y aire, así como el ajuste de la presión interna del depósito de lubricante se realizan por medio de válvulas de control, situadas normalmente en dicho depósito. El lubricante y el aire son transportados de forma separada a través

de tubos coaxiales hasta la boquilla de rociado, lugar donde se produce la mezcla y la atomización del lubricante.

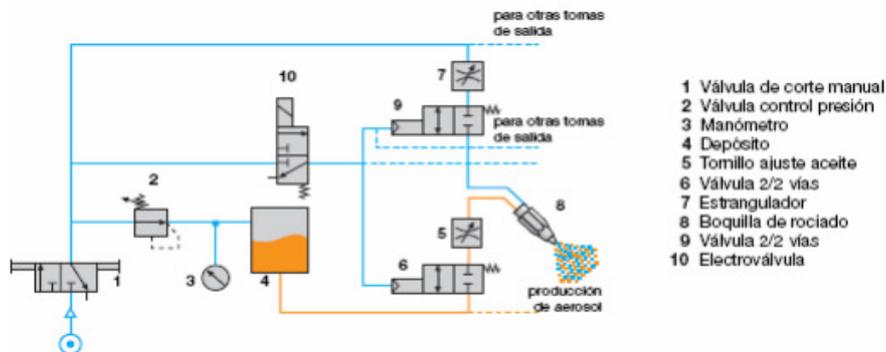


Figura 256. Diseño de un sistema de lubricación por cantidades mínimas externo (MQL)

A diferencia de los sistemas de lubricación internos, en los sistemas externos el aerosol se genera en la salida de la boquilla por efecto Venturi. El aire arrastra y acelera el lubricante, obteniéndose partículas extraordinariamente finas de aceite. El flujo concéntrico de aceite y aire que resulta de este diseño provoca que el aerosol sea conducido con gran exactitud hasta el punto deseado.

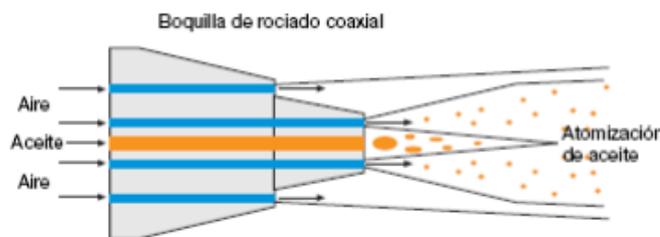


Figura 257. Atomización en gotas microscópicas por medio de una boquilla de tipo coaxial.

La principal ventaja de los sistemas de lubricación externos es que puede adecuarse con facilidad a máquinas-herramientas convencionales, pudiendo utilizarse en gran cantidad de operaciones, tales como torneado, taladrado, fresado, escariado, brochado o roscado. Además permiten trabajar con

numerosas boquillas simultáneamente, orientándolas de manera que se minimice el desgaste de la herramienta.

Sin embargo presenta ciertos inconvenientes en aquellas máquinas-herramienta en las que se realizan operaciones con herramientas de distinto diámetro y longitud, teniendo que recolocar las boquillas manualmente, o bien con la asistencia de algún sistema acoplado a la máquina que permita corregir la posición de las mismas.

VENTAJAS E INCONVENIENTES DEL SISTEMA MQL FRENTE AL FLUIDO DE CORTE CONVENCIONAL

Las principales ventajas de los sistemas de lubricación por cantidades mínimas son:

• Reducción de costes:

- Reducción del consumo del fluido de corte hasta en un 95%. Ésta es la principal ventaja del sistema MQL. Se consiguen reducir de esta manera los costes de adquisición, almacenamiento, mantenimiento y eliminación de dicho fluido.
- Las piezas mecanizadas se encuentran prácticamente secas, por lo que en muchos casos no es necesaria una posterior operación de limpieza.
- El contenido de aceite residual en la viruta es muy bajo, reduciendo el coste de su eliminación.
- El aceite utilizado en el sistema MQL no se recircula, por lo que no es necesaria la utilización de filtros para el aceite, ni de bombas, reduciéndose por tanto el consumo de electricidad.

- **Mayor productividad:**

- En algunas operaciones de mecanizado, puede lograrse una reducción del tiempo de producción al permitir utilizar mayores parámetros de corte. También se puede conseguir un aumento en la vida de la herramienta. De esta manera se puede alcanzar una mayor eficiencia en el mecanizado.

- **Ventajas tecnológicas:**

- El aire comprimido junto con las partículas de aceite, es proyectado únicamente a la zona de contacto pieza-herramienta con control directo de caudal.
- El lubricante pulverizado no es rechazado por la fuerza centrífuga generada por la herramienta o la pieza, al contrario que en sistemas de circuito cerrado, donde actúan grandes caudales que se dispersan rápidamente.
- Las gotas proyectadas se vaporizan en la zona de contacto, y el calor que se desprende del proceso se evacua en forma de calor.
- Debido al pequeño tamaño de las partículas de lubricante, éstas llegan a puntos difícilmente accesibles de la pieza a mecanizar.
- Es posible su utilización en paralelo con fluidos de corte convencionales y con mecanizado en seco.

- **Medio ambiente:**

- Reducción del impacto ambiental como consecuencia de la disminución de residuos resultantes del aceite de corte.
- Con la eliminación de nieblas, fugas y salpicaduras de aceite se mejora el entorno de trabajo y la salud de los operarios.

- **Inconvenientes:**

Pero a pesar de todas estas ventajas, el sistema de lubricación MQL presenta algunos inconvenientes frente al sistema de lubricación convencional:

- El sistema MQL dota a la zona de corte de una buena lubricación, pero la refrigeración de la pieza-herramienta no es tan eficaz como con el fluido de corte convencional, exigiendo el desarrollo de nuevos recubrimientos, herramientas y estrategias de mecanizado para garantizar la estabilidad térmica y mecánica del conjunto máquina-herramienta-pieza.
- Al utilizar el fluido de corte convencional, éste es el encargado de transportar la viruta, por ello al reducirse considerablemente el flujo del lubricante utilizado, existen problemas con la evacuación de la misma.
- La variedad de sistemas MQL existentes en el mercado, hace necesaria la realización de estudios, analizando la compatibilidad de éstos con la máquina y operación de mecanizado a realizar.
- Es necesaria la conexión de una toma de aire comprimido, así como la instalación de dosificadores o boquillas especiales en la máquina.[5]

Estudio del sistema de lubricación externa

Se ha llevado a cabo un estudio de las distintas máquinas que se encuentran en el mercado para la adaptación a los centros de mecanizado. En la mayoría de proveedores existen sistemas de lubricación externa con la posibilidad de adaptarlos a CNC's convencionales, por lo que se ha contactado con uno de ellos para que presente un presupuesto e indique las condiciones de este sistema.

La información recibida fue que utilizando el sistema MQL:

- Mejora el arranque de viruta.

- Aceites utilizados tienen un fuerte olor.
- Limpieza en zona de trabajo.
- Aumenta vida de herramienta.
- Ahorro de costos en tratamiento de taladrinas.
- Utilización de un sistema de lubricación por CNC (hasta 8 salidas por sistema de lubricación).
- Utilización de poca presión de aire con más caudal de aceite para evitar formar nieblas. En caso de utilizar a alta presión se necesitan sistemas de extracción de niebla.

Debido a esta información, se plantea realizar las pruebas convenientes para adaptar este proceso en un futuro cercano, realizando previamente los estudios económicos convenientes para apreciar la viabilidad del proyecto.

En la actualidad se utiliza en Embega S.Coop. un sistema MQL propio realizado internamente para un pequeño CNC en el cual se realiza un mecanizado de extremos. Es aquí donde se puede observar que el mecanizado mediante este sistema va a ser una opción más que factible.

9.3. Fresa de taladrado, roscado y avellanado

Otro método que Ideko S.Coop. recomendó para mejorar en cuanto a tiempos de mecanizado, es la utilización de una fresa que taladra, rosca y avellana con la misma herramienta. La programación de la misma consta en una perforación convencional, y después un roscado mediante interpolación.

Esta herramienta daría muchas ventajas en cuanto a tiempos de mecanizado, debido sobre todo a el ahorro del tiempo del cambio de herramienta, el cual puede ser de unos 3 seg. También, el tiempo de retroceso que se realiza al utilizar dos herramientas, es decir, tiempo de extracción de herramienta de taladrado y tiempo de penetración de herramienta de roscado,

es este tiempo el que se estaría evitando, ya que una vez se hace la perforación, se desplaza ligeramente la herramienta y se realiza una vuelta o dos para realizar el roscado.

Otro aspecto a tener en cuenta es que se reducirá la variedad de herramientas a emplear, lo que puede suponer ciertas ventajas económicas como facilidades a la hora de administrar las herramientas.

Es por todo esto, que se opta por realizar un pedido a Kendu y se realizan pruebas internamente en Embega S.Coop. ya que es un proceso convencional, el cual hay que ver la viabilidad del mismo, sobretodo en cuanto a:

- Material adherido a herramienta.
- Mala expulsión de viruta.
- Calidad rosca.
- Tiempos de mecanizado.

En principio, se piensa que este proceso en perfiles con interior hueco, es bastante factible, por lo que van a ser éstos los objetos de estudio. En perfiles macizos, se supone que se tendrían más problemas, sobretodo en cuanto a extracción de viruta, por ello y además de que Embega S.Coop. utiliza en su mayoría perfiles huecos solo se estudiará para ese caso.

10. Conclusión final

Ensayos previos

Tras la realización de ensayos previos, se ha determinado que es un proyecto factible, debido a que se han obtenido resultados medianamente buenos con la realización del mecanizado con un taladro manual y en condiciones desconocidas. Tras apreciar estos resultados se decanta por trabajar con perfiles curvos y planos, con espesores de 2 mm y 1,4 mm, los cuales serían idóneos para tener un ahorro de material importante.

Con estos espesores se obtuvieron resultados con buenos porcentajes de efectividad, por lo que se espera que tras realizar ensayos en Ideko S. Coop, se obtengan buenas copas y pares de apriete en unas condiciones óptimas de mecanizado.

Ensayos realizados en Ideko

Tras la realización de los ensayos en Ideko con la herramienta estándar, el perfil cuadrado y de espesor 2 mm, se concluyó que las condiciones óptimas de mecanizado son a altas vueltas y velocidades de avance en dos tramos, una velocidad en la punta y zona cónica de la herramienta, y otra en la zona cilíndrica. Como se ha visto en los ensayos, la velocidad de avance en la zona cónica de la herramienta, es determinante para obtener un buen acabado y altura de copa.

En cuanto a la lubricación, se determinó que para perforación es necesario realizarla sin MQL para obtener buenas calidades de copa, y en la fase de roscado es necesario lubricar para evitar pegado de material en macho de laminar y realizar así una mala rosca.

Finalmente, se obtuvieron pares de entre 4,5 y 6 Nm, por lo que queda pendiente realizar las pruebas con las condiciones óptimas de mecanizado ya encontradas para espesores de 1,4 mm y observar los resultados que esperamos sean factibles para nuestro proceso.

Subproyectos

Los subproyectos quedan pendientes de prueba, ya que se le ha dado prioridad al proyecto Green Handle, ya que éstos vienen derivados de este proyecto.

El desbaste, está pendiente realizar, el cuál se pretende hacer con una fresa de dos plaquitas en dos pasadas, y realizar un estudio de las condiciones óptimas para realizar el proceso lo más rápido y con el mejor acabado posible.

El sistema MQL, se ha contactado con proveedor y recibido presupuesto. Queda pendiente valorar económicamente su viabilidad y realizar pedido para realizar pruebas internas.

En cuanto a la herramienta de taladrado, roscado y avellanado, es la que menos se ha desarrollado ya que debido a falta de capacidad y disponibilidad de personal interno, no se han realizado ha día de hoy las pruebas pendientes.

Conclusión Green Handle

Este proceso de mecanizado que se ha dado por bueno después de las pruebas realizadas, va a reducir grandes costes a Embega S.Coop., por lo que se hará un estudio de su implantación, y unas primeras pruebas internas para la adaptación del proceso, para así finalmente industrializarlo.

11. Bibliografía

- [1]. “Taladrado por fricción en aceros de doble fase de alta resistencia”
Autores: Deividi Nardi, Luis Norberto López de Lacalle, Asier Fernández
(Universidad del País Vasco).
- [2]. Flowdrill
- [3]. blog Ingeniería de materiales (revista).
- [4]. Extrusiones de Toledo S.A.
- [5]. Optimización del proceso de tallado por generación mediante sistema
MQL (lubricación por cantidades mínimas). Autor: César Galán Martínez.
Universidad Carlos III Madrid.
- [6]. Miller et al., 2006
- [7]. Experimental and numerical analysis of the friction drilling process. Scott
F. Miller, Rui Li, Hsin Wang and Albert J. Shih.
- [8]. Experimental and numerical analysis of the friction drilling process. By
Scott F. Miller.
- [9]. Investigate the effect of tool conical angle on the bushing height, wall
thickness and forming in friction drilling of A7075-T651 aluminum alloy
Cebeli ÖZEK , Zülküf DEMİR.