



Universidad de Valladolid



**ESCUELA DE INGENIERÍAS
INDUSTRIALES**

UNIVERSIDAD DE VALLADOLID

ESCUELA DE INGENIERIAS INDUSTRIALES

Grado en Ingeniería Mecánica

**Catálogo virtual de búsqueda de
herramientas para taladrado.**

Autor:

López Hernández, Jorge

Tutor:

**Martín Llorente, Óscar
CMeIM, EGI, ICGyF, IM, IPF**

Valladolid, Junio 2016.



Índice

1. Resumen.....	3
2. Introducción.....	5
3. Objetivos.....	7
3.1. Resumen de objetivos.....	7
4. Mecanizado por arranque de viruta.....	9
4.1. El material de la herramienta de corte.....	9
4.1.1. Aceros al carbono.....	11
4.1.2. Aceros de alta velocidad (HSS).	11
4.1.3. Aleaciones de cobalto fundido.....	13
4.1.4. Carburos cementados.....	14
4.1.4.1. Carburo de Tungsteno (WC).	15
4.1.4.2. Carburo de titanio (TiC).....	15
4.1.4.3. Carburos micrograno.....	16
4.1.4.4. Carburos con gradientes funcionales.....	16
4.1.5. Recubrimiento de herramientas.	16
4.1.5.1. Recubrimientos de Nitruro de Titanio.	17
4.1.5.2. Recubrimientos de Carburo de Titanio.....	17
4.1.5.3. Recubrimientos cerámicos.....	18
4.1.5.4. Recubrimiento en fases múltiples.....	18
4.1.5.5. Recubrimientos de diamante.....	19
4.1.5.6. Implantación de iones.	19
4.1.6. Cerámicos.....	19
4.1.6.1. Cerámicos base alúmina.....	20
4.1.6.2. Cerámicos base Nitruro de Silicio.....	20
4.1.7. Nitruro de boro cúbico.	21
4.1.8. Diamante.	21
4.2. Mecanizado por arranque de viruta. El taladrado.....	22
4.2.1. La máquina: el taladro.....	23
4.2.2. La herramienta: la broca.	25
4.2.2.1. Tipos de brocas.....	25
4.2.3. Los fluidos de corte.....	27



Catálogo virtual de búsqueda de herramientas para taladrado.



4.3. Herramientas utilizadas en el catálogo virtual.....	29
5. Desarrollo.	31
5.1. Desarrollo del catálogo virtual en Microsoft Excel.	31
5.1.1. Realización de la base de datos.	31
5.1.2. Realización de la hoja de búsqueda.....	36
5.1.3. Realización del criterio de búsqueda.	39
5.2. Resultados obtenidos.	40
6. Conclusiones.	43
7. Líneas de trabajo futuras.	45
8. Bibliografía.....	47



1. Resumen.

En este trabajo fin de grado se presenta el desarrollo de un catálogo virtual de herramientas para la operación de taladrado. Este catálogo virtual permite buscar de forma rápida y eficiente la herramienta de corte válida para una operación de taladrado concreta que se quiera realizar, permitiendo conocer para cada herramienta sus parámetros de corte óptimos.

La realización del catálogo virtual ha sido llevada a cabo a través de la aplicación Microsoft Excel, lo que hace que pueda ser utilizada prácticamente en cualquier ordenador. El fin buscado es la reducción del tiempo que lleva la búsqueda de una herramienta de corte adecuada en la fase de diseño de un producto.

Palabras clave: Catálogo; Virtual; Búsqueda; Herramientas; Taladrado.



2. Introducción.

En la actualidad, obtener el máximo beneficio es el objetivo que persigue cualquier fabricante o empresario en cualquier parte del planeta. Para conseguir esto se requiere obtener la máxima producción al mínimo coste posible, lo que lleva a la necesidad de invertir el menor tiempo posible desde la fase de diseño hasta la obtención del producto final.

El diseño de producto, siendo aún uno de los primeros pasos de un proyecto, es uno de los más delicados, llevando un largo tiempo de ejecución e incurriendo en una elevada cuantía de costes. Mantener la calidad del producto final reduciendo el tiempo del proceso de producción lleva consigo una disminución de costes, por tanto, un aumento de los beneficios obtenidos.

Si nos centramos en un proceso de mecanizado por arranque de viruta, podemos llegar a la conclusión de que una de las decisiones más delicadas a la que nos enfrentamos en el diseño es la elección de la herramienta de corte adecuada. Para una operación determinada, tenemos que elegir una herramienta que sea capaz de realizar dicha operación, que sea compatible con el material a mecanizar y, después de todo esto, elegir la que nos va a llevar un menor tiempo de ejecución de la operación.

Los buscadores virtuales son elementos muy útiles para la elección de la herramienta de corte adecuada. Este tipo de buscadores están disponibles ya para algunas operaciones de mecanizado, como el torneado y el fresado. Algunas marcas han desarrollado su propio buscador, que nos ayuda a encontrar con facilidad y rapidez la herramienta de corte que necesitamos para nuestra operación de mecanizado.

Se ha comprobado la existencia de cierta dificultad para encontrar buscadores de este tipo basados en la operación de taladrado. Viendo el gran ahorro de tiempo que supone el uso de este tipo de aplicaciones, se ha considerado viable el desarrollo de un catálogo virtual basado única y exclusivamente en herramientas para la operación de taladrado.



3. Objetivos.

El presente trabajo fin de grado tiene como objetivo la creación de un catálogo virtual que permita la búsqueda de herramientas de corte para la operación de taladrado. Para la realización del catálogo virtual se utilizará como aplicación principal el programa informático Microsoft Office Excel 2007.

El catálogo virtual tendrá almacenados datos de herramientas de corte de diferentes fabricantes. El usuario podrá realizar la búsqueda de una herramienta utilizando como filtro el material a mecanizar, material de la herramienta de corte y diámetro de la herramienta. Con estos criterios de búsqueda, el catálogo virtual proporcionará al usuario información sobre las herramientas que cumplan los requisitos establecidos, proporcionando para cada una de ellas las condiciones de corte óptimas, a partir de las cuales el usuario, según su criterio, podrá elegir la que más le convenga.

3.1. Resumen de objetivos.

A continuación se detallan los objetivos que debe cumplir el trabajo fin de grado:

- Realizar una base de datos que almacene las características principales de las herramientas de corte.
- Permitir al usuario realizar una búsqueda de herramienta utilizando como filtro el material de la herramienta, material a mecanizar y diámetro de la herramienta.
- Permitir al usuario conocer si hay herramientas en la base de datos que coincidan con sus criterios de búsqueda.
- Permitir al usuario ver las condiciones de corte óptimas de las herramientas que coincidan con sus criterios de búsqueda (si las hay).



4. Mecanizado por arranque de viruta.

El presente capítulo desarrolla diversos aspectos sobre las características de las herramientas de corte, materiales de los que están fabricadas y su aplicación en la operación de taladrado.

4.1. El material de la herramienta de corte.

En este apartado se pone de manifiesto la importancia de la herramienta de corte en un proceso de mecanizado. El diseño de la misma es fundamental, ya que del mismo dependerá el éxito o el fracaso de la operación.

Las herramientas de corte deben de tener una serie de características que permitan obtener el mayor rendimiento posible a la hora de mecanizar, gran parte de las mismas serán responsabilidad de los materiales empleados. Se detallan a continuación las propiedades deseables para un material de herramientas [1]:

- **Dureza en caliente:** En un proceso de mecanizado se alcanzan temperaturas muy elevadas debido a la fricción existente y las elevadas condiciones de corte utilizadas. El material de la herramienta ha de mantener a estas temperaturas su dureza y resistencia, de forma que pueda evitarse una deformación plástica, que llevaría a perder la forma y filo de la herramienta.
Esta propiedad es muy importante, ya que un material con elevada dureza en caliente nos permite mecanizar a velocidad más elevada, disminuyendo el tiempo de mecanizado, lo que incrementa la producción.
- **Tenacidad/Resistencia a impactos:** La herramienta de corte debe de soportar de forma correcta las posibles fuerzas de impacto que le puedan ser inducidas debido, por ejemplo, a irregularidades del material a mecanizar o posibles vibraciones de la máquina.
- **Resistencia al impacto térmico:** Con el objetivo de aumentar la producción, una herramienta tiene que resistir a lo largo de su vida útil varios ciclos de corte. En cada uno de estos ciclos de corte la herramienta sufrirá variaciones en su temperatura, aumentando y disminuyendo de forma rápida. La herramienta debe soportar estos cambios manteniendo su forma y resistencia, ya que de lo contrario la operación de mecanizado sería defectuosa.



- **Resistencia al desgaste:** La herramienta debe tener una longitud de vida útil aceptable. Un cambio de herramienta supone una parada de producción, lo que lleva a pérdidas económicas. Por tanto, el objetivo es que la herramienta de corte tenga una vida útil de varios ciclos, de manera que la producción se detenga durante el menor tiempo posible.
- **Estabilidad química:** Es importante que el material de la herramienta se mantenga neutro químicamente con el material a mecanizar. De esta forma se evitarán posibles reacciones entre materiales, además de fenómenos de adhesión-difusión entre la herramienta-viruta. Estos fenómenos tienen mucha influencia en posibles defectos del mecanizado, además de acortar el tiempo de vida útil de la herramienta.

Con estas características como premisa, a lo largo del tiempo se han realizado multitud de estudios y desarrollado numerosos materiales. A continuación se listan los principales materiales utilizados en la industria del mecanizado. En apartados posteriores nos centraremos individualmente en cada uno de ellos, destacando sus ventajas e inconvenientes en el mecanizado por arranque de viruta.

Principales materiales de herramientas [1]:

- 1- Aceros al carbono.
- 2- Aceros de alta velocidad (HSS).
- 3- Aleaciones de cobalto fundido.
- 4- Carburos.
- 5- Herramientas recubiertas.
- 6- Cerámicos.
- 7- Nitruro de boro cúbico.
- 8- Diamante.

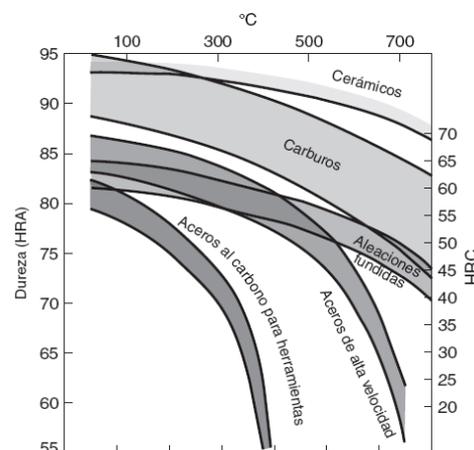


Imagen 1. Variación de la dureza con la temperatura en diferentes materiales [1].



4.1.1. Aceros al carbono.

Fue el primer material de herramientas conocido, datando sus primeras apariciones como material de herramientas en la década de 1880. En un principio se utilizaban aceros de alta aleación, posteriormente se consiguió el desarrollo de aceros de media y baja aleación. Estos aceros cumplían la misma función, pero con una vida útil de la herramienta superior.

Hoy en día este material está en desuso, ya que su rendimiento es muy bajo comparado con el de otros materiales. Esta falta de rendimiento está basada en el alto desgaste que experimentan estas herramientas, cuya dureza en caliente es muy deficiente, lo que dificulta mecanizar a elevadas velocidades. Su uso es limitado a operaciones de corta duración con bajas velocidades, donde se imponen a materiales más modernos por su diferencia de precios.

4.1.2. Aceros de alta velocidad (HSS).

Desarrollados a principios del siglo XX, estos aceros son capaces de mecanizar a velocidades de corte mayores que el acero al carbono. Este material fue capaz de mejorar el rendimiento de la herramienta y los costes de producción.

Ventajas de las herramientas de HSS [1]:

- Dureza.
- Resistencia al desgaste.
- Tenacidad y resistencia a la fractura.
- Estabilidad química.
- Económicas con respecto a otros materiales.

Limitaciones de las herramientas HSS [1]:

- Su resistencia en caliente con respecto a otros materiales es baja (soporta menores velocidades de corte).

Según sean sus elementos de aleación, los aceros HSS se dividen en dos tipos principales [2]:

- Al molibdeno (Serie M): Contiene hasta un 10% de Mo como elemento principal de aleación, con Cr, V, W y Co como otros elementos.
- Al tungsteno (Serie T): Como elemento principal contiene hasta un 12-20% de W, con Cr, V y Co como otros elementos de aleación.



Dentro de una misma serie, según sea la distribución de los diferentes elementos que forman la aleación, el comportamiento del material puede ser muy diferente. Cada elemento aporta unas características diferentes al material. Se definen, a continuación, los principales elementos de aleación que forman el HSS, identificando las propiedades que le aporta cada uno de estos elementos [2,3]:

- **Carbono:** Es el más importante de todos los elementos. Los aceros HSS tienen un elevado contenido en carbono, lo que les permite alcanzar una elevada dureza tras el temple. Aun así, este contenido se controla en un límite muy estrecho, pequeñas variaciones dentro de este límite pueden introducir grandes cambios en el comportamiento del material en términos de dureza, resistencia al desgaste y resistencia en caliente.
- **Cromo:** Es un elemento que suele estar presente en casi todos los aceros de herramientas. Su adición conlleva mejoras en términos de dureza y resistencia al desgaste, no teniendo influencia significativa en lo que se refiere a la dureza en caliente ni la tenacidad.
- **Vanadio:** La adición de este elemento favorece la creación de carburos estables. Estos carburos son capaces de incrementar la dureza del material a temperatura ambiente y la dureza en caliente. No tiene efectos significativos en la tenacidad, pero mejora la resistencia del material a la abrasión, lo que lleva asociado un aumento de la resistencia al desgaste.
- **Molibdeno:** Este elemento mejora significativamente todas las propiedades del acero de herramientas, ya que influye positivamente en la dureza del material, tanto a temperatura ambiente como en caliente, mejorando la tenacidad e incrementando la resistencia al desgaste.
- **Cobalto:** Incrementa la temperatura de fusión ligeramente, lo que va acompañado de un aumento de dureza del material en todo el rango de temperaturas, siendo capaz de aumentar la resistencia al desgaste. Un inconveniente que presenta su adición es una disminución de la tenacidad del material.
- **Tungsteno:** Presente en ambos tipos de acero de herramientas, su presencia forma un carburo complejo de hierro, tungsteno y carbono; con esto, el material es capaz de mejorar su resistencia al desgaste y dureza en caliente. Además, su presencia provoca un temple secundario (el material es capaz de endurecerse más durante el tratamiento térmico de revenido), con lo cual se aumenta la dureza. Este elemento no tiene efectos significativos en la templabilidad del material.



En general, los aceros de la serie M son más utilizados que los de la serie T, ya que tienen una mayor resistencia a la abrasión, menor distorsión en el tratamiento térmico y un menor coste.

Las herramientas de HSS pueden ser recubiertas con diferentes métodos y materiales, con el fin de mejorar sus propiedades para poder aumentar la productividad. Más adelante se hablará sobre los métodos y materiales de recubrimiento de herramientas.



Imagen 2. Terraaja para roscar fabricada en HSS [4].

4.1.3. Aleaciones de cobalto fundido.

Fueron presentadas aproximadamente en el año 1915. Estas aleaciones presentan una composición principal a base de cobalto, cromo y tungsteno, en intervalos de composición 38-53 %, 30-33 %, 10-20 % sucesivamente. Respecto a sus propiedades, cabe destacar que su comportamiento dureza-temperatura sigue un patrón muy parecido a las herramientas de HSS, con la diferencia de que este tipo de aleaciones conservan la dureza a temperaturas más elevadas que el HSS, permitiendo unas velocidades de corte más elevadas.

Como características principales de este tipo de aleaciones cabe destacar las siguientes [1]:

- Elevada dureza.
- Buena resistencia al desgaste.
- Mantiene una elevada dureza a temperaturas elevadas.
- Menor tenacidad que las herramientas de HSS.

Un punto negativo de este tipo de materiales es su menor tenacidad con respecto al HSS, ya que lo hace más frágil respecto a las fuerzas de impacto.



Las herramientas fabricadas con este material suelen utilizarse en operaciones de desbaste, en las que se utilizan grandes avances y velocidades, retirando un elevado volumen de material de la pieza, importando muy poco el acabado superficial.

En condiciones normales de mecanizado, estas herramientas son capaces de obtener una mayor producción de la que se obtiene con las herramientas fabricadas con HSS.



Imagen 3. Herramienta para taladrado fabricada en cobalto [5].

4.1.4. Carburos cementados.

Presentados por primera vez en la década de 1930, el objetivo de estos materiales era satisfacer la demanda existente, que reclamaba herramientas con mayor resistencia al desgaste y más económicas que el diamante.

Este material se obtiene a partir del aglutinamiento de partículas de carburo sólidas en una matriz metálica, por lo que se consiguen materiales de mayor dureza y resistencia.

Como principales características de los carburos cementados podemos definir las siguientes [2]:

- Elevada dureza en un rango amplio de temperaturas.
- Elevado módulo elástico.
- Buena conductividad térmica.
- Baja dilatación térmica.
- Gran resistencia al desgaste.

Según sea el tipo de carburo sólido y la matriz metálica utilizados tendremos diferentes tipos de carburos cementados.



Como materiales de herramientas podemos definir diferentes tipos de carburos que se detallan a continuación [1]:

4.1.4.1. Carburo de Tungsteno (WC).

Partículas de carburo de tungsteno aglutinadas en una matriz de cobalto. Su fabricación suele ser mediante metalurgia de polvos, normalmente en forma de insertos.

Habitualmente suelen añadirse a la mezcla carburos de titanio o de niobio, proporcionando al material propiedades especiales.

Las herramientas de carburo de tungsteno varían sus propiedades según el contenido en cobalto contenido en la matriz. Este contenido suele variar en porcentajes de un 6 - 16 %. Un aumento del cobalto en la matriz provoca disminuciones de dureza, resistencia en caliente y resistencia al desgaste de la herramienta. Por el contrario, aumenta la tenacidad de la misma debido a la presencia del cobalto.

Estas herramientas se usan para cortar muchos tipos de materiales, desde aceros y fundiciones hasta materiales no ferrosos. Debido a sus propiedades, las herramientas de carburo de tungsteno han reemplazado de forma muy amplia a las de HSS.



Imagen 4. Inserto para torneado fabricado en carburo de tungsteno [6].

4.1.4.2. Carburo de titanio (TiC).

Su matriz es una combinación de níquel-molibdeno, en la cual se aglutinan las partículas de carburo de titanio. Su resistencia al desgaste es mayor que la del carburo de tungsteno, pero tiene un inconveniente, su falta de tenacidad. Este material resulta adecuado para mecanizar materiales duros, lo cual puede hacer a velocidades superiores al carburo de tungsteno.



4.1.4.3. Carburos micrograno.

Son herramientas de corte fabricadas con carburos de tamaños microscópicos y ultrafinos (0.2-0.8 μm). En comparación con los carburos tradicionales, los micrograno tienen una mayor dureza y resistencia al desgaste, lo que conlleva una mejora en la productividad.

4.1.4.4. Carburos con gradientes funcionales.

En este tipo de herramientas la composición no es uniforme, teniendo una distribución gradual de composiciones y fases que intentan aproximar el comportamiento de la herramienta a su forma ideal. Este tipo de herramientas elimina la concentración de esfuerzos, alargando la vida útil y mejorando el acabado. El gran inconveniente que presentan es su elevado coste.

4.1.5. Recubrimiento de herramientas.

El recubrimiento de herramientas se presentó como una solución a los problemas existentes de desgaste e interacción química que tienen las herramientas con el material a mecanizar.

Con el recubrimiento de las herramientas se consiguen mejoras en propiedades como la fricción, adhesión, resistencia al desgaste, difusión, dureza en caliente y tenacidad. De esta forma conseguimos aumentar el rendimiento de la herramienta y alargar su vida útil. Además, debido a las nuevas características de la herramienta podemos mecanizar materiales de mayor dificultad.

Los recubrimientos ofrecen las siguientes ventajas a la herramienta [7]:

- **Incremento de la dureza superficial:** El incremento de dureza supone una mayor resistencia de la herramienta al desgaste.
- **Reducción de los coeficientes de fricción:** Una menor fricción tiene varias ventajas, entre ellas se pueden destacar una mejor evacuación de la viruta, reducción de las fuerzas de corte o menor generación de calor.
- **Mejora de la neutralidad química:** El uso de recubrimientos dificulta la interacción química entre la herramienta y el material a mecanizar.
- **Mejora del acabado superficial:** Todas las ventajas mencionadas anteriormente se traducen en una mayor producción con una mayor calidad.



Los materiales utilizados para recubrir herramientas deben de cumplir una serie de características mínimas. Como es lógico, estos materiales deben tener una dureza en caliente muy elevada y neutralidad química con el material a mecanizar, ya que de lo contrario no serían compatibles con el mecanizado. Además de esto, estos materiales deben de garantizar una elevada unión al sustrato (para evitar la descamación o el astillado), y una conductividad térmica baja, que permita que la temperatura del sustrato no se eleve demasiado.

Con estas características, para recubrir herramientas tenemos diversos métodos y materiales. Como materiales podemos considerar principales el nitruro de titanio (TiN), carburo de titanio (TiC), carbonitruro de titanio (TiNC) y óxido de aluminio (Al_2O_3). Respecto a los métodos de recubrimiento, los principales son la deposición química de vapor y la deposición física de vapor.

A continuación se describen los diferentes tipos de recubrimientos utilizados en la industria actual [1]:

4.1.5.1. Recubrimientos de Nitruro de Titanio.

Este material cumple de manera correcta todas las condiciones expuestas anteriormente. Tiene baja fricción, dureza elevada, resistencia con elevadas temperaturas y buena adhesión al sustrato. Este recubrimiento es capaz de alargar la vida de la herramienta, siempre y cuando se utilice con elevadas velocidades de corte, ya que es donde este recubrimiento puede trabajar a pleno rendimiento, reduciendo el desgaste. A bajas velocidades la herramienta se desgasta con rapidez debido a la adhesión de la viruta.



Imagen 5. Herramienta para taladrado fabricada en HSS y recubierta de nitruro de titanio [8].

4.1.5.2. Recubrimientos de Carburo de Titanio.

Este recubrimiento tiene una elevada capacidad de adherencia a la herramienta. Es capaz de mejorar de manera significativa su resistencia al desgaste debido a la dureza aportada por el carburo de titanio, alargando el tiempo de vida útil de la herramienta y aumentando la productividad. Este recubrimiento se aplica únicamente sobre herramientas de carburo de tungsteno.



4.1.5.3. Recubrimientos cerámicos.

Son recubrimientos ideales por sus propiedades de neutralidad química, baja conductividad térmica, resistencia a elevadas temperaturas y resistencia al desgaste. Su principal y gran problema es su débil unión al sustrato, causada precisamente por la neutralidad química que presenta.

4.1.5.4. Recubrimiento en fases múltiples.

Las herramientas recubiertas de esta forma combinan 2 ó 3 capas de diferentes materiales para intentar acercarse lo más posible a la herramienta ideal.

- La primera capa, o capa interior, tiene la capacidad de unirse perfectamente al sustrato.
- La segunda capa, o intermedia, no siempre está presente, ya que su función es hacer de nexo de unión entre las capas interior y exterior, lo que no siempre es necesario.
- La tercera capa, o capa exterior, es resistente al desgaste, de baja conductividad térmica para evitar el sobrecalentamiento del sustrato.

Otra posibilidad es recubrir en capas alternas muy finas (2-10 μm), al ser tan delgadas, la dureza se consigue por reducción del tamaño de grano.

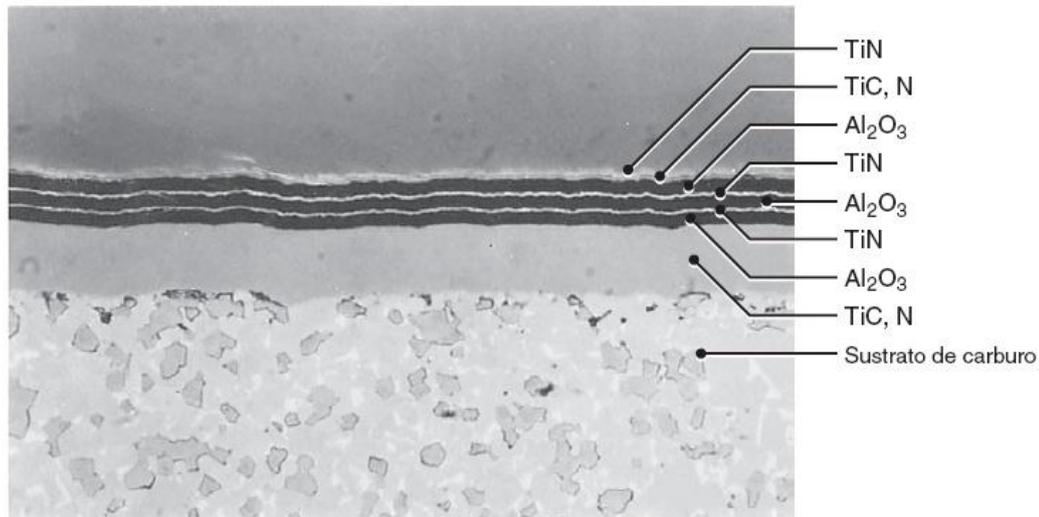


Imagen 6. Recubrimiento en fases múltiples sobre un sustrato de carburo de tungsteno [1].



4.1.5.5. Recubrimientos de diamante.

Son delgadas películas depositadas sobre el sustrato con uno de los métodos mencionados anteriormente. Otro método es la adaptación de películas de mayor tamaño soldadas al sustrato, adoptando previamente la forma necesaria mediante el corte con láser. En cualquier caso, y como en todos los anteriores, es de suma importancia la adherencia de ambos compuestos y que la diferencia de expansión térmica diamante-sustrato sea mínima.

4.1.5.6. Implantación de iones.

Esta técnica consiste en la implantación de iones en la superficie de corte de la herramienta, lo cual mejora las propiedades de la misma sin alterar sus dimensiones. Hasta ahora los más utilizados han sido los iones de nitrógeno. En la actualidad se encuentra en fase de desarrollo la implantación de iones de xenón.

4.1.6. **Cerámicos.**

Las propiedades de este material hacen posible la realización de una amplia gama de operaciones a elevadas velocidades en diversos materiales.

Hasta ahora este material ha tenido un crecimiento lento que ha empezado a aumentar conforme los nuevos avances han ido introduciendo mejoras en sus propiedades.

Sus principales características, a nivel general, son una excelente dureza en caliente y una alta resistencia a la oxidación con temperaturas elevadas, produciendo un menor desgaste de la herramienta en el momento de trabajo.

Todo lo dicho en párrafos anteriores se traduce en mayores velocidades de corte y una mayor variedad de posibles materiales a mecanizar, consiguiendo mayor productividad.



Imagen 7. Inserto para torneado fabricado en cerámica [6].



A continuación se detallan los principales tipos de materiales cerámicos existentes en el mercado [2].

4.1.6.1. Cerámicos base alúmina.

Compuestas principalmente de óxido de aluminio de alta pureza en grano fino, a estas herramientas se les pueden añadir otros elementos, como el carburo de titanio y el óxido de zirconio, que tienen capacidad para mejorar la tenacidad y la resistencia al impacto térmico.

Las características principales de este material se resumen a continuación [1]:

- Elevada resistencia a la abrasión (bajo desgaste).
- Alta dureza en caliente.
- Mayor estabilidad química que el HSS y los carburos cementados (se reduce el filo recrecido y la adherencia de material).
- Alta fragilidad (baja tenacidad).
- Baja resistencia al impacto térmico.

Las dos últimas características definidas son el principal inconveniente que presenta este material, ya que con frecuencia provocan el fallo prematuro de la herramienta, lo cual disminuye la productividad.

4.1.6.2. Cerámicos base Nitruro de Silicio.

Desarrollados en la década de 1970, están compuestos de nitruro de silicio con adiciones de óxido de aluminio, óxido de itrio y carburo de titanio.

Sus características principales son [1]:

- Buena tenacidad.
- Elevada dureza en caliente.
- Buena resistencia al impacto térmico.
- Afinidad química con el hierro a elevadas temperaturas.

Debido a la afinidad química existente con el hierro, las herramientas fabricadas con este material son de alta incompatibilidad con el mecanizado de aceros, lo que hace que su uso sea limitado.



4.1.7. Nitruro de boro cúbico.

Compuesto sintético de dureza sólo superada por el diamante. Las herramientas se fabrican uniendo una pequeña capa (0.5-1 mm) de nitruro de boro cúbico policristalino a un sustrato de carburo.

Este método de realización de herramientas hace que el sustrato proporcione resistencia al impacto (tenacidad), mientras que el nitruro de boro cúbico proporciona una resistencia al desgaste muy elevada, además de un buen comportamiento a elevadas temperaturas.

En el momento de trabajo, a elevadas temperaturas, este compuesto es inerte al hierro y al níquel, por lo que no hay desgaste por difusión. Este material también presenta una elevada resistencia a la oxidación. Otras propiedades menos deseables de este material son su fragilidad y su baja resistencia al impacto térmico.



Imagen 8. Herramientas para diferentes operaciones y con diferentes configuraciones fabricadas con nitruro de boro cúbico [9].

4.1.8. Diamante.

Sus características de baja fricción, alta resistencia al desgaste y capacidad de mantener su filo de corte hacen de este un material ideal para mecanizar. Además de tener propiedades deseables de mecanizado, este tipo de herramientas dejan buenos acabados superficiales y una correcta precisión dimensional.

Actualmente, los posibles defectos que puede tener el diamante natural hacen de su comportamiento algo impredecible, por lo que el uso del diamante se basa en los de tipo sintético.



Con una frecuencia creciente se están empezando a utilizar los diamantes policristalinos o compactos, que consisten en diamantes sintéticos que se funden a alta presión y temperatura y se dejan en espesores mínimos de 0.5-1 mm. Una vez reducidos se aglutinan en un sustrato de carburo. Estos diamantes compactos se utilizan en aplicaciones especiales, sustituyendo a los diamantes monocristalinos.

El diamante es un material frágil, siendo necesario mantener ciertas precauciones a la hora de trabajar con este material, como por ejemplo, un correcto afilado de la herramienta en todo momento, o una correcta colocación de la misma. De igual forma, el trabajo con temperaturas muy elevadas puede provocar problemas como desgaste prematuro (por astillado), transformación a carbono o afinidad química con otros materiales, por lo que se recomienda el uso de estas herramientas para operaciones de acabado y evitar el mecanizado de materiales como aceros al carbono, aleaciones de titanio, níquel y cobalto.



Imagen 9. Inserto para torneado con punta de diamante [6].

4.2. Mecanizado por arranque de viruta. El taladrado.

El taladrado es un proceso básico y común de producción de orificios, una de las operaciones más importantes de la manufactura actual.

La operación de taladrado consiste en una herramienta giratoria que incorpora una o más aristas cortantes, con un mínimo de una estría o canal que sirve para dar paso a la viruta saliente y la circulación de los fluidos de corte.



Por regla general, en este proceso se utiliza como máquina un taladro, y como herramienta una broca. El taladro transmite movimiento circular a la broca, que irá acoplada a él de forma fija. A través del taladro se le aplicará también una fuerza de empuje a la broca. La combinación del movimiento giratorio y la fuerza de empuje realizarán el corte. Con el mismo principio se pueden realizar operaciones de taladrado utilizando como máquina una fresadora en lugar de un taladro.

Otra posible forma de realizar un orificio por taladrado es utilizando un torno. La principal diferencia con respecto al uso de taladro es que la herramienta (broca) permanecerá fija, mientras que la pieza que será taladrada llevará el movimiento circular.

4.2.1. La máquina: el taladro.

Como se dijo en el capítulo anterior, la forma más común de realizar orificios es mediante la utilización del conjunto taladro-broca. En cuestión de máquinas (taladros), tenemos dos tipos principales, el taladro manual o portátil y el taladro de columna. A nivel industrial, el taladro manual carece de importancia, ya que es una herramienta en la que la precisión depende única y exclusivamente del operario que lo utiliza. Su principal inconveniente es la falta de control sobre los parámetros de la operación, ya que no conocemos el régimen de giro del taladro y el avance se realiza de forma manual, con lo cual es imposible conocer su valor e incluso hacer que sea constante.

La taladradora de columna, usada a nivel industrial, está formada por una bancada fija, en la cual se alojan una mesa de trabajo y una columna. En dicha columna se aloja un cabezal móvil en el que se alojan el portabrocas y el motor que aporta el giro.

Una vez definidos los elementos, pasamos a describir su funcionamiento. La pieza de trabajo (sobre la que realizaremos la operación de taladrado) se coloca en la mesa, sujetándola de forma eficaz para evitar su movimiento durante la operación. Con la pieza ya fijada, el motor eléctrico será el encargado de transmitir la velocidad de giro necesaria al portabrocas, que tendrá acoplada la broca de forma solidaria a sí mismo. Cuando los parámetros de corte estén establecidos el cabezal móvil deslizará por la columna hasta llegar a la pieza de trabajo y se realizará el orificio. Este deslizamiento se puede hacer de forma manual y de forma automática. El automatismo nos permite un control más estricto del avance por revolución que se da en la operación.



Cada operación de taladrado requiere de una herramienta diferente. Para obtener el máximo rendimiento en cada operación es necesario que cada herramienta trabaje en sus condiciones óptimas de corte, lo que hace necesario que las máquinas puedan variar los parámetros de corte de una operación a otra. Para poder controlar el régimen de giro, la taladradora dispone entre el motor eléctrico y el portabrocas de una caja de velocidades, que puede variar las mismas por medio de poleas o engranajes. Las máquinas más actuales controlan esta función con motores de velocidad variable.

En la actualidad los nuevos diseños de máquinas permiten realizar orificios en ángulo gracias a la posibilidad de inclinar el cabezal.

Una tendencia al alza es la utilización de máquinas fresadoras en lugar de taladros de columna, ya que las fresadoras permiten trabajar en tres ejes con control numérico, teniendo un control mayor de los parámetros que en el taladro de columna.

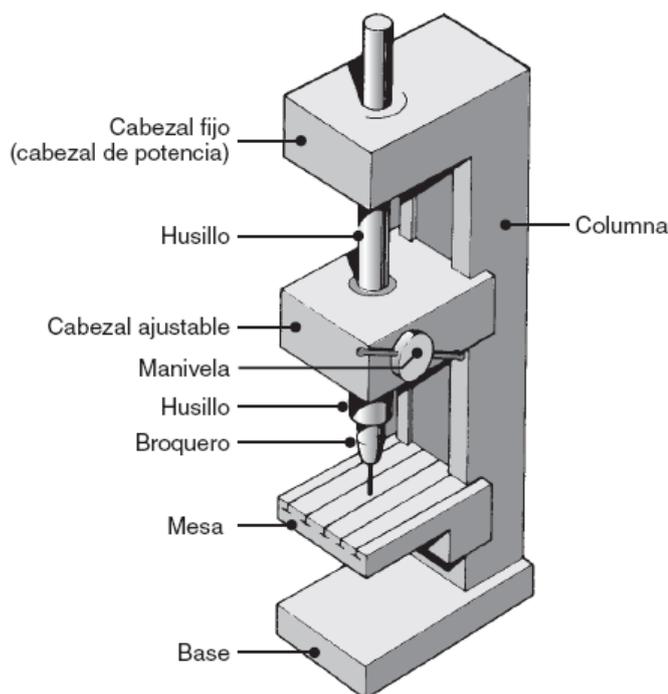


Imagen 10. Partes constituyentes de una taladradora de columna [1].



Imagen 11. Taladradora de columna [10].



4.2.2. La herramienta: la broca.

La broca es la herramienta que produce el corte y realiza la retirada de material durante el taladrado. Las hay de diferentes formas, tamaños y materiales, pero todas tienen el mismo fin.

En general, estas herramientas poseen altas relaciones longitud-diámetro, por lo que pueden realizar orificios de gran profundidad. Al trabajar con brocas de gran longitud hay que tener especial precaución en el avance, ya que si es demasiado elevado la fuerza de avance aplicada restará precisión en el taladrado y puede provocar la fractura de la broca.

En general, tras finalizar la operación de taladrado, el orificio resultante suele tener un tamaño de mayores dimensiones al diámetro de la broca. Este sobredimensionamiento estará relacionado con la calidad de la broca y el equipo utilizados. En ocasiones, aunque es difícil, un material puede dilatar demasiado durante la operación, de forma que al volver a su estado natural el orificio quede de un tamaño menor a la broca utilizada.

4.2.2.1. Tipos de brocas.

Se mencionó en apartados anteriores la existencia de una gran variedad de brocas. De entre todos los tipos existentes, la más destacada es la broca de tipo helicoidal. Este tipo de broca es la más utilizada industrialmente, ya que está capacitada para realizar la gran mayoría de las operaciones requeridas.

Una característica de la broca helicoidal es que el ángulo normal de ataque y la velocidad del filo de corte varían con la distancia desde el centro de la broca. Estas brocas poseen dos canales longitudinales que sirven para evacuar la viruta producida y permitir la circulación de los fluidos de corte. Además de estos canales, algunas brocas poseen orificios en su interior, a través de los cuales se fuerza el paso de dichos fluidos, lo que mejora la lubricación y la refrigeración durante el mecanizado, favoreciendo además la evacuación de virutas. Algunos diseños de brocas incorporan rompevirutas para evitar su interferencia en el mecanizado.

Con el desarrollo actual, para la broca helicoidal existen diferentes diseños, en los cuales se varían, por ejemplo, los ángulos y geometría de la punta. Estos diseños se realizan con el objetivo de mejorar las prestaciones que ofrece la broca, adaptándose a diferentes materiales, incrementando la velocidad de corte o el tiempo de vida útil.



Imagen 12. Broca helicoidal con orificios para la circulación del fluido de corte [11].

Además de las mencionadas brocas helicoidales, en el mercado se pueden encontrar otros tipos de brocas que se resumen a continuación y se muestran en la imagen 13 [1].

- **Broca escalonada:** Realiza en una misma operación orificios de dos o más diámetros diferentes.
- **Brocas de sondeo:** Sirven para agrandar orificios realizados con anterioridad.
- **Brocas de abocardado o avellanado:** Se utilizan para realizar el alojamiento donde se insertará la cabeza de un tornillo.
- **Brocas de cañón:** Utilizadas en la realización de orificios de mucha longitud en comparación con su diámetro.

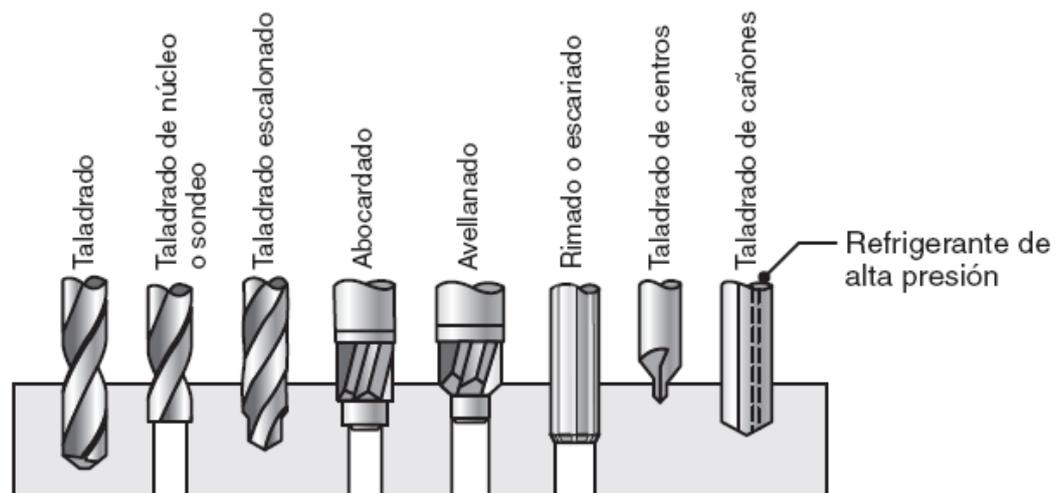


Imagen 13. Diferentes tipos de brocas [1].



4.2.3. Los fluidos de corte.

Además de las herramientas, máquinas o materiales, un factor importante en los procesos de mecanizado por arranque de viruta actual es la utilización de fluidos de corte.

Los fluidos de corte intervienen en los siguientes aspectos del mecanizado [1]:

- Reducción de la fricción y desgaste de la herramienta.
- Enfriamiento de la zona de corte.
- Reducción de fuerzas y consumo de energía.
- Retirada de las virutas de la zona de corte, evitando su interferencia en el proceso de mecanizado.
- Protección de la superficie mecanizada de la corrosión.

El objetivo final de utilizar fluidos de corte en el mecanizado es el aumento de velocidades y longitud de la vida útil de la herramienta, lo que conlleva un incremento de la producción. Una mala elección del fluido de corte puede tener como consecuencia temperaturas demasiado elevadas o una mala evacuación de la viruta producida, lo que puede afectar a la pieza mecanizada y al volumen de producción total.

De la misma forma que existe una evolución en las máquinas y herramientas, los fluidos de corte sufren una evolución continua que permite tener diferentes soluciones para cada tipo de mecanizado. Podemos clasificar los diferentes fluidos de corte de la siguiente manera [12]:

- **Aceites:** Pueden ser derivados del petróleo, animales, vegetales, minerales o mixtos. Este tipo de fluidos de corte poseen una muy elevada capacidad de lubricación, pero escasa capacidad de refrigeración, por tanto, son usados en operaciones que requieren bajas velocidades de corte, donde la temperatura no será excesivamente elevada.
- **Emulsiones:** También llamadas aceites solubles o taladrina. Es una mezcla de aceite, agua y aditivos, por lo que tiene buenas propiedades lubricantes y refrigerantes. Se usa en operaciones que requieren de elevadas velocidades de corte, donde se generarán elevadas temperaturas.
- **Semisintéticos:** Son mezclas de aceite, agua y aditivos que reducen el tamaño de partícula del aceite. Tiene las mismas propiedades que las emulsiones, pero con una eficacia mayor debido al tamaño de las partículas.



- **Sintéticos:** Es una mezcla de productos químicos diluidos en agua y sin aceite. Buenas propiedades refrigerantes, pero malas lubricantes.

Ventajas y limitaciones de los fluidos de corte según su clasificación básicas			
Aceites de corte sin diluir	Aceites solubles	Soluciones semi-sintéticas	Soluciones sintéticas
Ventajas			
Excelente lubricidad	Excelente lubricidad física	Buena reducción de calor	Muy limpio, antihongos y bactericida
Excelente control de la viruta	Reducción de calor	Buena lubricidad física	Excelente reducción del calor
Larga vida útil	Disposición sencilla	Aspecto claro y limpio	No se ve afectado por el agua dura
Disposición sencilla		Excelente control de la viruta	Baja espuma
		Cuentan con buena duración	No hay fugas de aceite
			Mezcla transparente
Limitaciones			
El llenado del tanque es costoso	Suelen contener Residuos de hidrocarburos pesados	Puede generar espuma excesiva	Lubricidad física deficiente
Exceso de generación de calor	Suelen ser afectados por el agua dura	Afectados por el agua dura	No contiene películas protectoras aceitosas
Riesgo de incendio	Bruma azul, niebla, humo		Generalmente diseñados para operaciones ligeras o moderadas.
Riesgo de superficies resbaladizas o sucias			Las nieblas pueden generar corrosión en la parte superior de las máquinas o cabinas de maquinado.
Alta neblina de aceite en el aire			

Imagen 14. Ventajas y limitaciones de los diferentes fluidos de corte [12].

Al realizar la elección del fluido de corte se deben tener en cuenta diversos factores. La elección debe realizarse teniendo en cuenta el tipo de operación y las condiciones de corte que se vayan a utilizar. Además de esto, es de vital importancia conocer el material que se va a mecanizar y el de la herramienta de trabajo, que deberán ser compatibles con el fluido de corte. Otro factor importante será la interacción con los materiales de los que se compone la máquina, ya que la utilización de fluidos de corte inadecuados podría provocar daños en la misma. De igual importancia a su elección, la conservación del fluido de corte es fundamental. Su uso a lo largo del tiempo puede cambiar su composición química, dando lugar al desarrollo de hongos o microbios que pueden afectar a sus características. Para evitar problemas es recomendable el filtrado del mismo para eliminar partículas provenientes del mecanizado y cambiar o reponer el fluido cuando sea necesario.

Una vez escogido el fluido de corte ideal existen varios métodos de aplicación [1]:

- **Por inundación:** Es el método más común. La refrigeración se produce inundando la zona de corte por uno o varios chorros de fluido de corte.
- **Por niebla:** El fluido de corte se aplica en forma de niebla, de forma similar al uso de un aerosol. Proporciona mayor visibilidad de la zona de trabajo, pero requiere ventilación.



- **Sistemas de alta presión:** Debido a la creciente velocidad y potencia, cada vez es necesario disipar mayores cantidades de calor, lo que se consigue con sistemas de refrigeración de alta presión.
- **Mediante la herramienta de corte:** Este método se usa en operaciones donde existe dificultad para acceder dentro de la zona de corte. Para que la aplicación sea más eficaz se realizan conductos por el interior de la herramienta y el portaherramientas, mediante los cuales se aplica el fluido de corte a alta presión. Este método favorece además una correcta evacuación de la viruta producida.



Imagen 15. Aplicación de fluido de corte por inundación [12].

4.3. Herramientas utilizadas en el catálogo virtual.

Para realizar nuestro catálogo virtual, como hemos visto anteriormente, tenemos una gran variedad de herramientas disponibles a nuestro alcance. En la industria actual la herramienta para taladrado más utilizada es la broca helicoidal.

Para la mayoría de operaciones de taladrado, las brocas de HSS proporcionan resistencia, tenacidad y dureza a altas temperaturas suficientes como para realizar la operación de forma satisfactoria. Sin embargo, las brocas de HSS no son capaces de taladrar todo tipo de materiales. Para los materiales de durezas elevadas existen brocas fabricadas con otro tipo de materiales, como son el cobalto o el carburo. Las brocas de cobalto tienen una mayor resistencia a la temperatura que las brocas de HSS, siendo de menor debilidad para taladrar materiales duros, desgastándose menos y soportando mayores velocidades de corte. Las brocas de carburo sirven para el taladrado de materiales de muy elevada dureza. Las herramientas de carburo tienen



Catálogo virtual de búsqueda de herramientas para taladrado.



una dureza mucho más elevada que las de HSS y las de cobalto, pero también tienen una fragilidad mayor. Para realizar la base de datos de nuestro catálogo virtual de brocas vamos a utilizar brocas de los tres tipos, de forma que el usuario pueda tener variedad de brocas para los diferentes materiales que desee mecanizar.

Respecto a los posibles materiales para taladrar, en los catálogos de fabricantes que vamos a consultar tenemos una gran variedad. Podemos ver materiales más comunes, como el acero, hasta materiales menos utilizados en la industria, como el titanio. Debido a que en la realización del trabajo fin de grado tenemos una limitación de tiempo, vamos a optar por incluir en el catálogo virtual aceros y aluminios, ya que son materiales muy utilizados, por tanto, de gran interés.



5. Desarrollo.

En este capítulo se detalla el desarrollo del catálogo virtual en el programa Microsoft Excel, así como el análisis de los resultados obtenidos tras la finalización.

5.1. Desarrollo del catálogo virtual en Microsoft Excel.

El objetivo del presente trabajo fin de grado es el desarrollo de un programa que nos permita, de forma rápida y eficaz, la búsqueda de herramientas de corte para la operación de taladrado.

La idea inicial es que el usuario tenga la posibilidad de introducir en pantalla los datos de la operación. Una vez introducidos, el programa buscará automáticamente en la base de datos y mostrará en pantalla las diferentes herramientas disponibles, mostrando para cada una de ellas los parámetros de corte óptimos para su utilización.

Necesitamos establecer las variables de entrada, que introducirá el usuario, y las de salida, que proporcionará el programa. Como entrada, se ha decidido que el usuario podrá realizar la búsqueda de la herramienta introduciendo como datos el material a mecanizar, diámetro de la herramienta (en mm) y material de la misma. Como salida, el programa proporcionará el nombre del fabricante de la herramienta, denominación de la misma, velocidad de corte (m/min), avance por revolución (mm/rev), profundidad máxima del orificio a realizar (mm), revoluciones (rpm), velocidad de avance (mm/min) y tipo de refrigeración de la herramienta (externa/interna).

5.1.1. Realización de la base de datos.

Para realizar la base de datos de nuestro buscador disponemos de dos catálogos de fabricantes de brocas, a partir de los cuales introduciremos todos nuestros datos.

El primer catálogo que utilizamos corresponde al fabricante suizo Fraisa S.A. Este catálogo contiene herramientas fabricadas en HSS, disponiendo de los parámetros de corte en el Sistema Internacional de Unidades.



Para cada herramienta disponemos de la siguiente información:

- Nombre.
- Material de la herramienta.
- Diámetros disponibles.
- Materiales posibles de la pieza a mecanizar (material de trabajo).
- Parámetros de corte óptimos (Velocidad de corte (m/min), avance (mm/rev), profundidad máxima (mm), revoluciones (rpm) y velocidad de avance (mm/min)).

Con estos datos tenemos la información necesaria que necesitamos incluir en la base de datos del catálogo virtual. Comenzamos entonces la realización de la misma.

Cada herramienta será definida individualmente en una hoja de cálculo de la aplicación Excel. Cada columna corresponderá a una variable, mientras que por filas se agruparán las diferentes combinaciones que puede realizar cada herramienta.

Distribuimos las variables en columnas, quedando de la siguiente manera:

- Columna A: Nombre del fabricante de la herramienta.
- Columna B: Nombre de la herramienta.
- Columna C: Material de la pieza a mecanizar.
- Columna D: Material de la herramienta.
- Columna E: Diámetro de la herramienta de corte (mm).
- Columna F: Velocidad de corte (m/min).
- Columna G: Avance por revolución (mm/rev).
- Columna H: Profundidad máxima del orificio (mm).
- Columna I: Revoluciones (rpm).
- Columna J: Velocidad de avance (mm/min).
- Columna K: Tipo de refrigeración (Interna/Externa).
- Columna L: Valor lógico (cada celda de esta columna llevará el valor 1, que utilizaremos más adelante).

Cada hoja, antes de la introducción de datos, quedará como se muestra en la imagen 16:

A	B	C	D	E	F	G	H	I	J	K	L
Fabricante	Nombre broca	Material Pieza	Material broca	Diámetro broca (mm)	Velocidad de corte (m/min)	Avance (mm)	Profundidad Máxima (mm)	Revoluciones (rev/min)	Velocidad de avance (mm/min)	Refrigeración	Valor lógico

Imagen 16. Situación de las columnas en una hoja de la base de datos.



Una vez definidas las columnas, colocaremos en cada fila una combinación de corte disponible para la broca que se está almacenando. A cada diámetro de broca le asignaremos todos y cada uno de los materiales posibles de trabajo, y para cada una de estas combinaciones habrá que añadir sus parámetros óptimos de corte.

Para una mayor claridad sobre la construcción de la base de datos se expone el siguiente ejemplo:

- Imaginemos que disponemos de una herramienta fabricada en HSS. La herramienta se encuentra disponible en diámetros desde 3 mm a 3.5 mm en intervalos de 0.1 mm. Dicha herramienta puede mecanizar únicamente en aceros y aluminios. La base de datos quedaría de la siguiente manera (para mejorar la visibilidad solo se muestran las columnas A, B, C, D y E. En las columnas restantes habría que introducir, para cada combinación de corte, los parámetros óptimos de corte):

A	B	C	D	E
Fabricante	Nombre broca	Material Pieza	Material broca	Diámetro broca (mm)
FABRICANTE 1	BROCA 1	ACERO	HSS	3
FABRICANTE 1	BROCA 1	ACERO	HSS	3,1
FABRICANTE 1	BROCA 1	ACERO	HSS	3,2
FABRICANTE 1	BROCA 1	ACERO	HSS	3,3
FABRICANTE 1	BROCA 1	ACERO	HSS	3,4
FABRICANTE 1	BROCA 1	ACERO	HSS	3,5
FABRICANTE 1	BROCA 1	ALUMINIO	HSS	3
FABRICANTE 1	BROCA 1	ALUMINIO	HSS	3,1
FABRICANTE 1	BROCA 1	ALUMINIO	HSS	3,2
FABRICANTE 1	BROCA 1	ALUMINIO	HSS	3,3
FABRICANTE 1	BROCA 1	ALUMINIO	HSS	3,4
FABRICANTE 1	BROCA 1	ALUMINIO	HSS	3,5

Imagen 17. Ejemplo de combinaciones para una herramienta de corte.

Respecto a las columnas donde se encuentran situadas las condiciones óptimas de corte, con el fin de evitar introducir todos los datos de forma manual, se han automatizado las columnas I y J (Revoluciones por minuto y velocidad de avance, respectivamente). Estas variables pueden obtenerse a partir de la velocidad de corte y el avance por revolución utilizando las ecuaciones 1 y 2:

$$n = \frac{V_c \cdot 1000}{d \cdot \Pi}$$

Ecuación 1. Revoluciones a partir de la velocidad de corte y el diámetro [13].

$$V_{av} = f \cdot n$$

Ecuación 2. Velocidad de avance a partir del avance y las revoluciones [13].



Donde:

- n = revoluciones por minuto (rpm).
- V_c = Velocidad de Corte (m/min).
- d = Diámetro (mm).
- V_{av} = Velocidad de avance (mm/min).

Un problema que se ha detectado durante la realización de la base de datos ha sido que, al arrastrar y hacer copia-pegar de celdas en Excel, el programa no mantenía los valores exactos, añadía cifras significativas que diferían de 0. Por ejemplo, si se quería hacer una lista de diámetros pasando de 1 a 2 mm en intervalos de 0.1 mm, nos encontramos que algunas celdas no contenían valores exactos, sino que su valor se había modificado (en lugar de 1.5 se situaba el valor 1.500001 ó 1.4999999). Esta modificación hace que el catálogo de problemas a la hora de realizar la búsqueda de herramientas.

Para dar solución a este problema se ha añadido una nueva columna, que se ha situado en la columna P de la hoja de cálculo. En esta columna se introducirán los diámetros de forma manual, mientras que la columna E se ha modificado para que aparezcan en ella los valores de la columna P redondeados a la segunda cifra significativa. De esta forma el problema quedó resuelto.

El segundo catálogo, de la marca alemana Guhring, Inc, nos ha causado mayores problemas, ya que la información se aporta en unidades del sistema inglés, con lo cual se han tenido que hacer conversiones al sistema internacional. Este fabricante posee herramientas fabricadas en HSS, cobalto y carburo.

La información que nos aporta este fabricante en su catálogo es la siguiente:

- Nombre de la herramienta.
- Material de la herramienta.
- Diámetros disponibles.
- Materiales posibles de la pieza a mecanizar.
- Parámetros óptimos de corte: (Velocidad de corte (pie/min), avance (pulgada/rev) y profundidad máxima).

El problema principal son las unidades de los parámetros de corte, que como ya dijimos anteriormente están en sistema inglés. Para realizar la conversión se han utilizado otras dos columnas de cada hoja, en las que hemos introducido los datos de la siguiente forma:

- Columna M: Velocidad de corte (pie/min).
- Columna N: Avance por revolución (pulgada/rev).



En las columnas F y G se colocarán los valores de la velocidad de corte en m/min y el avance por revolución en mm/rev, que se automatizarán utilizando las ecuaciones 5 y 6.

La conversión de unidades se puede ver en los siguientes factores de conversión.

$$\frac{pie}{min} \cdot \frac{30.48cm}{pie} \cdot \frac{1m}{100cm} = \frac{pie}{min} \cdot \frac{1}{3.28} \frac{m}{pie}$$

Ecuación 3. Factor de conversión (pie/min) a (m/min) [14].

$$\frac{inch}{rev} \cdot \frac{2.54cm}{inch} \cdot \frac{10mm}{1cm} = \frac{inch}{rev} \cdot 25.4 \frac{mm}{inch}$$

Ecuación 4. Factor de conversión (pulgada/rev) a (mm/rev) [14].

Con estos datos podemos deducir lo siguiente:

$$V_c \left(\frac{m}{min} \right) = V_c \left(\frac{pie}{min} \right) \cdot \frac{1}{3.28} \frac{m}{pie}$$

Ecuación 5. Conversión de la velocidad de corte de (pie/min) a (m/min).

$$f \left(\frac{mm}{rev} \right) = f \left(\frac{inch}{rev} \right) \cdot 25.4 \frac{mm}{inch}$$

Ecuación 6. Conversión del avance por revolución de (pulgadas/rev) a (mm/rev).

A partir de las ecuaciones 3 y 4 disponemos de los factores de conversión de las siguientes unidades: (pie/min) → (m/min) (pulgada/rev) → (mm/rev). Una vez realizada la conversión tendremos la velocidad de corte y el avance por revolución en m/min y mm/rev respectivamente. A partir de la velocidad de corte y el avance por revolución podemos obtener la velocidad de avance (mm/min) y las revoluciones (rpm) a partir de las ecuaciones 1 y 2.

A partir de aquí la construcción de la base de datos sigue el guión indicado anteriormente, utilizando una hoja de cálculo para cada herramienta de corte. Se incluirá en cada una de estas todas las combinaciones posibles para cada herramienta, añadiendo para cada combinación los parámetros óptimos de corte.



5.1.2. Realización de la hoja de búsqueda.

Como se indicó en el apartado anterior, el usuario introducirá tres criterios de búsqueda, que serán el material de trabajo, el diámetro de la herramienta (en mm) y el material de la herramienta.

Como materiales de trabajo, de entre los múltiples materiales existentes se ha decidido únicamente trabajar con aceros y aluminios, como se indicó en el capítulo anterior, quedando el listado de posibles materiales de trabajo de la siguiente forma:

- Acero no aleado con contenido en carbono $\leq 0,35\%$ en estado normalizado.
- Acero no aleado con contenido en carbono $0,35 < \%C < 0,5\%$ en estado normalizado.
- Acero no aleado con contenido en carbono $> 0,5\%$ en estado de normalizado.
- Acero aleado de gran resistencia (resistencia a la tracción entre 110-130 kg/mm²) en estado bonificado.
- Acero aleado de gran resistencia (resistencia a la tracción entre 130-150 kg/mm²) en estado bonificado.
- Acero inoxidable austenítico.
- Acero inoxidable martensítico.
- Acero inoxidable con azufre.
- Aluminio y aleaciones de Al.
- Aceros endurecidos con dureza comprendida entre 42-48 HRc.
- Aceros endurecidos con dureza comprendida entre 48-52 HRc.
- Aceros endurecidos con dureza comprendida entre 52-56 HRc.
- Aceros endurecidos con dureza comprendida entre 56-60 HRc.
- Aceros endurecidos con dureza >60 HRc.
- Aceros Estructurales en general con dureza ≤ 100 HB.
- Aceros Estructurales en general con dureza $100 < HB < 260$.
- Aceros especiales de fácil mecanizado con dureza ≤ 24 HRc.
- Aceros especiales de fácil mecanizado con dureza $24 < HRc \leq 30$.
- Aceros especiales nitrurados con dureza $24 \leq HRc \leq 30$.
- Aceros especiales nitrurados con dureza $30 \leq HRc \leq 38$.
- Aceros de herramientas con dureza < 24 HRc.
- Aceros de herramientas con dureza $24 < HRc < 30$.
- Aceros de herramientas con dureza $30 < HRc < 60$.
- Acero para muelles.
- Aceros rápidos de herramientas.



Respecto a los diámetros, con los datos recogidos de los catálogos, el valor mínimo será de 0.1 mm, mientras que el valor máximo será de 20 mm. Entre el valor mínimo y el máximo se recogerán todos los valores comprendidos entre ambos con una diferencia de 0.1 mm.

El material de la herramienta, según los datos recogidos de los catálogos, será una opción a escoger entre HSS, Cobalto y Carburo.

Para facilitar la entrada de datos por parte del usuario se ha decidido colocar los mismos en listas desplegables, de forma que el usuario solo tenga que elegir entre las opciones disponibles para realizar la búsqueda.

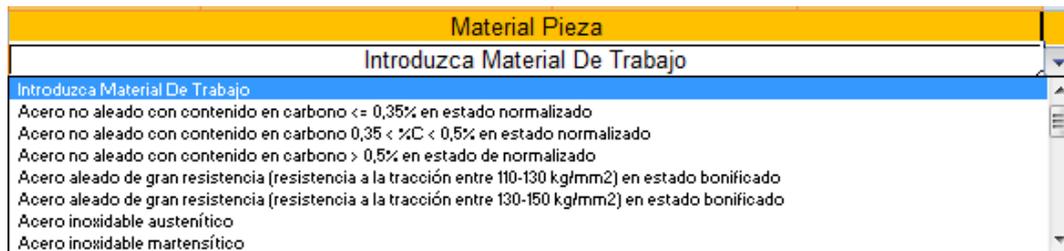


Imagen 18. Lista desplegable de materiales a mecanizar.

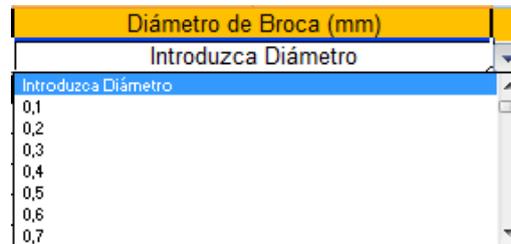


Imagen 19. Lista desplegable de diámetros.

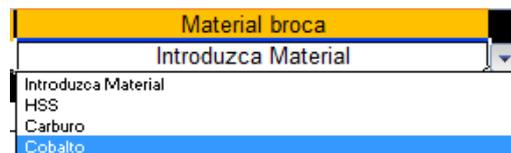


Imagen 20. Lista desplegable para material de herramienta.

Las tres variables introducidas por el usuario se mostrarán siempre en pantalla, de forma que se puedan visualizar en todo momento los criterios de búsqueda en los que basa el catálogo virtual en ese momento.



Una vez introducidas las tres variables de búsqueda, el programa debe de mostrar en pantalla los datos de las opciones válidas. Se mostrarán todas las opciones en forma de lista. Cuando una de las opciones sea 'válida' se mostrará el fabricante y nombre de la herramienta acompañados de los parámetros ideales de corte y de una casilla en la que se mostrará el texto "Broca válida". Cuando la opción sea 'no válida' se mostrarán las casillas en rojo, acompañadas del texto "No hay resultados de búsqueda".

Material Pieza		Diámetro de Broca (mm)			Material broca		
Acero no aleado con contenido en carbono <= 0,35% en estado normalizado		3,0			HSS		
OPCIÓN 3							
Fabricante	Nombre broca	Velocidad de corte (m/min)	Avance (mm/rev)	Profundidad Máxima (mm)	Revoluciones (rev/min)	Velocidad de avance (mm/min)	Refrigeración
Fraisa	Spiral flute drills Supradrill N 5xd	140	0,07	21,5	14855	1040	Externa
Broca Válida							
OPCIÓN 4							
Fabricante	Nombre broca	Velocidad de corte (m/min)	Avance (mm/rev)	Profundidad Máxima (mm)	Revoluciones (rev/min)	Velocidad de avance (mm/min)	Refrigeración
Fraisa	Spiral Flute Drills 5xd	170	0,08	21,5	18040	1445	Interna
Broca Válida							
OPCIÓN 5							
Fabricante	Nombre broca	Velocidad de corte (m/min)	Avance (mm/rev)	Profundidad Máxima (mm)	Revoluciones (rev/min)	Velocidad de avance (mm/min)	Refrigeración
Fraisa	Spiral flute drills Xdrill 3xd	180	0,14	15,5	19100	2675	Interna
Broca Válida							
OPCIÓN 6							
Fabricante	Nombre broca	Velocidad de corte (m/min)	Avance (mm/rev)	Profundidad Máxima (mm)	Revoluciones (rev/min)	Velocidad de avance (mm/min)	Refrigeración
No hay resultados de búsqueda							

Imagen 21. Lista de opciones.

Un inconveniente es que el usuario tenga que recorrer toda la lista de opciones para poder comprobar cuáles de ellas están disponibles y cuáles no, ya que en algunos casos puede que no haya búsquedas válidas o que las mismas se encuentren en las últimas posiciones, lo que hace que buscar la herramienta adecuada lleve un largo tiempo y sea aburrido.

Para resolver ese problema se ha optado por añadir una ventana en la que se muestren las opciones disponibles. En caso de haberlas, haciendo "click" sobre cada una de ellas un enlace nos llevará a la lista, situándonos en el lugar preciso donde se encuentra la opción seleccionada. En este lugar podremos ver los parámetros de corte ideales.



Material Pieza	Diámetro de Broca (mm)	Material broca
Acero no aleado con contenido en carbono <= 0,35% en estado normalizado	3.0	HSS
Opción 1		
Opción 2		
Opción 3		
Opción 4		Opción 104
Opción 5		Opción 105
Opción 6		
Opción 7		Opción 107
Opción 8		
Opción 9		Opción 109
Opción 10		Opción 110
Opción 11		
Opción 12		Opción 112
Opción 13		Opción 113
Opción 14		Opción 114
	Opción 15	Opción 115
	Opción 16	Opción 116
		Opción 117
		Opción 118
	Opción 19	
	Opción 20	Opción 95
	Opción 21	Opción 96
		Opción 97
	Opción 24	
	Opción 25	

Imagen 22. Ventana de opciones disponibles.

5.1.3. Realización del criterio de búsqueda.

Lo que se necesita es establecer un sistema de búsqueda en base a los tres criterios que desea el usuario, y que una vez realizada dicha búsqueda se muestren los resultados en pantalla.

Tras una larga investigación sobre las funciones de Excel, sus características y resultados, descubrimos las funciones INDICE y COINCIDIR, que se describen a continuación [15].

La función INDICE obtiene el contenido de una celda situada en un rango determinado, siempre y cuando se identifiquen la fila y columna. Es decir, si somos capaces de agrupar en forma matricial un conjunto de datos, esta función nos puede sacar por pantalla el dato que queramos, siempre y cuando sepamos su posición dentro de la matriz.

La función COINCIDIR nos ayuda a encontrar un elemento dentro de un rango de celdas, devolviendo su posición. Es decir, esta función nos devuelve la posición, dentro de la matriz, del elemento que estamos buscando, siempre y cuando se encuentre dentro de ella.

Para aclarar un poco el funcionamiento de ambas funciones pondremos un ejemplo práctico.

Imaginemos la siguiente matriz numérica:

$$\begin{bmatrix} 1 & 2 & 3 \\ 4 & 5 & 6 \\ 7 & 8 & 9 \end{bmatrix}$$



Catálogo virtual de búsqueda de herramientas para taladrado.



Utilizando las listas desplegables seleccionaremos el material de trabajo, diámetro de broca deseado y material de la broca, en nuestro caso vamos a escoger las siguientes opciones:

- Material pieza: Aluminio y aleaciones de aluminio.
- Diámetro broca: 5 mm.
- Material broca: HSS.

Una vez escogidas las opciones el programa nos mostrará en la ventana las opciones disponibles.

Material Pieza	Diámetro de Broca (mm)	Material broca
Aluminio y aleaciones de Al	5.0	HSS
Opción 2		
Opción 3		
Opción 4		
		Opción 106
Opción 7		Opción 107
Opción 8		
		Opción 110
Opción 10		
Opción 11		
Opción 12		
Opción 13		
Opción 14		
	Opción 67	
	Opción 68	Opción 93
	Opción 69	Opción 94
	Opción 70	
	Opción 73	
	Opción 74	
	Opción 75	

Imagen 24. Ventana de opciones disponibles.

Como podemos comprobar, con las características escogidas tenemos como herramientas las opciones 2, 3, 4, 7, 8, 10, 11, 12, 13, 14, 67, 68, 69, 70, 73, 74, 75, 93, 94, 106, 107, 110. Haciendo “click” en cada una de ellas podemos ver sus parámetros óptimos de corte. Para ver el resultado seleccionamos la opción 110.



Catálogo virtual de búsqueda de herramientas para taladrado.



Material Pieza				Diámetro de Broca (mm)		Material broca		
Aluminio y aleaciones de Al				5.0		HSS		
OPCIÓN 107								Pulsar para volver a inicio
Fabricante	Nombre broca	Velocidad de corte (m/min)	Avance (mm/rev)	Profundidad Máxima (mm)	Revoluciones (rev/min)	Velocidad de avance (mm/min)	Refrigeración	
Guhning	Series 670	70	0.17	100	4455	755	Externa	
Broca Válida								
OPCIÓN 108								Pulsar para volver a inicio
Fabricante	Nombre broca	Velocidad de corte (m/min)	Avance (mm/rev)	Profundidad Máxima (mm)	Revoluciones (rev/min)	Velocidad de avance (mm/min)	Refrigeración	
No hay resultados de búsqueda								
OPCIÓN 109								Pulsar para volver a inicio
Fabricante	Nombre broca	Velocidad de corte (m/min)	Avance (mm/rev)	Profundidad Máxima (mm)	Revoluciones (rev/min)	Velocidad de avance (mm/min)	Refrigeración	
No hay resultados de búsqueda								
OPCIÓN 110								Pulsar para volver a inicio
Fabricante	Nombre broca	Velocidad de corte (m/min)	Avance (mm/rev)	Profundidad Máxima (mm)	Revoluciones (rev/min)	Velocidad de avance (mm/min)	Refrigeración	
Guhning	Series 671	70	0.17	150	4455	755	Externa	
Broca Válida								

Imagen 25. Lista de opciones.

Al seleccionar la opción se nos muestra en pantalla la imagen 25, en la que se muestra el fabricante de la herramienta, su denominación, tipo de refrigeración y los parámetros de corte ideales.

Haciendo “click” en la casilla gris que se ve en la imagen 25 volvemos a la ventana de selección. En este lugar podemos seleccionar una nueva herramienta y ver sus características.



6. Conclusiones.

El presente trabajo fin de grado tenía como objetivo el desarrollo de un catálogo virtual de herramientas que permitiera al usuario buscar una herramienta de corte en función de unas condiciones de búsqueda establecidas por el mismo.

El resultado obtenido contribuye a la disminución del tiempo de búsqueda de una herramienta de corte para la operación de taladrado. El usuario a través del catálogo virtual consigue de forma rápida y eficaz un amplio abanico de herramientas válidas para la operación que desea realizar. Además, obtiene de forma instantánea para todas y cada una de ellas las velocidades de corte óptimas, así como su tipo de refrigeración.

El hecho de que el catálogo virtual de herramientas haya sido desarrollado a partir del programa Microsoft Excel hace posible su futura modificación, pudiendo incluir posibles mejoras para su desarrollo y la ampliación de su base de datos.

Tras la finalización de este trabajo fin de grado se puede considerar que se han cumplido los objetivos establecidos al principio del mismo. Para verificarlo se muestra el resumen de objetivos.

- Realizar una base de datos que almacene las características principales de las herramientas de corte. Cumplido.
- Permitir al usuario realizar una búsqueda de herramienta utilizando como filtro el material de la herramienta, material de la pieza a mecanizar y diámetro de la herramienta. Cumplido.
- Permitir conocer al usuario si hay herramientas en la base de datos que coincidan con sus criterios de búsqueda. Cumplido.
- Permitir al usuario ver las condiciones de corte óptimas de las herramientas que coincidan con sus criterios de búsqueda (si las hay). Cumplido.



7. Líneas de trabajo futuras.

Al ser un proyecto en fase inicial, el catálogo virtual tiene posibilidad de desarrollo en el futuro, teniendo como objetivo el hacerlo más completo y ayudar al usuario. A continuación se detallan algunas posibles líneas futuras de trabajo:

- **Introducción de nuevos materiales:** Es una de las principales limitaciones que posee el catálogo virtual en la actualidad. En este momento solo están disponibles como materiales de mecanizado diversos tipos de acero y aluminio, no estando incluidos algunos materiales como el titanio o las fundiciones de hierro, que también se utilizan en la industria actual.
- **Introducción de nuevas herramientas:** En la misma línea de la propuesta anterior, en el catálogo virtual actual solo se incluyen brocas de tipo helicoidal debido a que son las de mayor uso en la industria. Sería de interés para el usuario la introducción de otros tipos de brocas, tales como las de taladrado escalonado, brocas de abocardado o brocas de avellanado.
- **Introducción de nuevos fabricantes:** En la actualidad solo se cuenta en la base de datos con herramientas de dos fabricantes. Sería interesante la introducción de nuevos fabricantes para dotar al catálogo virtual de una mayor variedad, además de dar más libertad de elección al usuario.
- **Introducción de nuevos datos de corte:**
 - o Es importante conocer la potencia que necesita la máquina para poder mecanizar con una herramienta determinada. En el catálogo virtual actual sólo se muestran como datos la velocidad de corte, avance por revolución, revoluciones por minuto y velocidad de avance. Como opción de futuro se podría incluir como dato adicional la potencia necesaria para desarrollar esas velocidades.
 - o Algunas herramientas son incompatibles con algunos tipos de fluidos de corte. Se podría estudiar la posibilidad de detallar para cada herramienta si requiere o no el uso de fluidos de corte específicos.



- **Permitir al usuario conocer la herramienta de forma más detallada:** Con el formato actual, el usuario selecciona la herramienta basándose en la información sobre las velocidades de corte. Se podría estudiar la posibilidad de añadir un enlace en cada herramienta que proporcionara información acerca de los siguientes aspectos:
 - o **Descripción de la herramienta:** Se podrían incluir fotografías y/o una descripción textual de la herramienta, de forma que el usuario pudiera ver sus ángulos o la anchura de los canales de evacuación de viruta.
 - o **Calidad del acabado final:** Es importante para el diseñador saber el acabado que proporciona la herramienta tras finalizar el mecanizado. Se podría incluir una escala de valores que mostrase esta calidad.
 - o **Precio de la herramienta:** Es un factor determinante a la hora de planificar los costes de fabricación del producto.
- **Desarrollo del catálogo virtual como aplicación web:** Esto permitiría un mayor alcance de utilización del catálogo virtual. Para realizar este desarrollo sería necesaria la autorización de los propietarios de las herramientas.



8. Bibliografía.

1. Kalpajian, Serope. Manufactura, ingeniería y tecnología. 5ª Edición. Pearson Educación. México; 2008.
2. American Society for Metals. ASM Handbook Volume 16 (Machining). 9ª Edición. ASM International. Ohio; 1989.
3. Apraiz, José. Aceros especiales. 2ª Edición. Editorial Dossat. Madrid; 1961.
4. www.wnt.com (Febrero 2016).
5. www.guhring.com (Febrero 2016).
6. www.iscar.com (Marzo 2016).
7. www.hssforum.com (Enero 2016).
8. www.makita.es (Marzo 2016).
9. www.secotools.com (Enero 2016).
10. www.tronzadorasmg.com (Enero 2016).
11. www.fraisa.com (Marzo 2016).
12. Meneses, Jhair. Fluidos de corte, más que un simple insumo. Revista Metal Actual. Febrero 2014. Edición 31: 58-63. Disponible en www.revistametalactual.com.
13. www.sandvick.coromant.com (Enero 2016).
14. Tipler & Mosca. Física para la ciencia y la tecnología. 5ª Edición. Editorial Reverté. Barcelona; 2006.
15. www.exceltotal.com (Noviembre 2015).

