

# QUICK STOP DEVICES FOR CHIP ROOT ANALYSIS

## DISPOSITIVOS DE INTERRUPCION SÚBITA (DIS) PARA EL ANALISIS DE RAICES VIRUTA

Recibido: 28 de noviembre 2014- aceptado: 11 de marzo 2014

Diego Alejandro Neira Moreno.<sup>1</sup>

### Keywords:

Quick stop device (QSD), chip root, chip analysis, chip detachment, temperature, mechanical stress.

### Abstract

The study of the variables and effects derived from the machining processes brings the knowledge needed to optimize the use of machining tools and procedures. This article is an opinion piece about the use of quick stop devices (QSD) as a scientific research instrument in machining projects to obtain chip roots, to study the interaction phenomena between cutting tool and work piece material that depends on temperature and the mechanical forces produced by the cutting tool during the cutting process. This article deals about how important the QSD are as a research instruments in manufacture because with this instruments it is possible to analyze the machining variables, based on the evidences bring by the chip roots obtained with the instrument. It is possible to propose optimization alternatives in the manufacture of machined parts and the integrity of cutting tools.

### Palabras clave:

Dispositivo de interrupción súbita (DIS), raíz de viruta, análisis de viruta, arranque de viruta, temperatura, esfuerzo mecánico.

### Resumen

El estudio de las variables y efectos derivados del mecanizado provee herramientas de conocimiento tendientes a optimizar el uso de las herramientas y los procedimientos de maquinado industrial. Este artículo de reflexión aborda el uso de los dispositivos de interrupción súbita (DIS) como herramientas de obtención de raíces de viruta para la investigación científica del mecanizado industrial, y para el estudio de los efectos derivados de la interacción entre las herramientas de corte y el material de trabajo, en función de los cambios microestructurales del material de trabajo, dependientes de la temperatura producida y los esfuerzos mecánicos de la herramienta de corte durante el mecanizado. Mediante la reflexión se destaca la importancia de los DIS como instrumentos de investigación científica en la manufactura, ya que estos permiten obtener muestras de viruta para estudiar las variables incidentes en el maquinado y a partir de esta evidencia, proponer alternativas para optimizar la fabricación de piezas y la integridad de las herramientas empleadas en el proceso.

<sup>1</sup> Ingeniero Mecánico, Universidad Francisco de Paula Santander. Colombia. Email: dialneira@hotmail.com

\* Este artículo es producto del proyecto titulado: Dispositivos De Interrupcion Subia (Dis) Para El Analisis De Raices Viruta

## 1. INTRODUCCIÓN

La industria metalmeccánica actual se destaca por su alta competitividad y por la necesidad de las compañías por de invertir en avances tecnológicos para ofrecer productos innovadores y de buena calidad a buen precio. Cada vez el mercado exige productos y servicios hechos con la mayor rapidez y calidad posible, con el desafío de mantener bajos los costos de fabricación; algunos de los más grandes rubros que componen los costos de fabricación son los gastos de reposición o reafilado de herramientas de corte, el mantenimiento y reposición de fluidos lubri-refrigerantes y los costos del operador de las máquinas herramienta. [1], [2], [3], [4].

Para dar respuesta al desafío de mantener bajos costos, las grandes empresas, con el apoyo de grupos de investigación y desarrollo de institutos de investigación, destinan importantes recursos para liderar estudios en el área de los procesos de manufactura, con el fin de definir estrategias o métodos que disminuyan los costos de fabricación, como por ejemplo, el desarrollo de nuevos materiales para herramientas de corte, nuevos materiales de mecanizado fácil para la fabricación de componentes y la deducción de modelos matemáticos para la predicción de las fuerzas de corte [5],[4], [6],[7].

En estas investigaciones, el método experimental empleado habitualmente involucra el análisis de los subproductos generados durante el proceso de mecanizado de los materiales, como por ejemplo las virutas, ya que en su interior muestran evidencias importantes que sirven como indicadores de la eficiencia del mecanizado. Para obtener estas evidencias de observación y análisis microestructural, debe desarrollarse un dispositivo que permita la detención casi inmediata del proceso de corte con la finalidad de obtener virutas que sean representativas de aquellas obtenidas bajo diferentes condiciones de mecanizado, para posteriormente ser analizadas bajo técnicas de análisis metalográfico. Ozturk y Altan. [8], [9], [10], [11] [12], [13], [4], [1].

Los dispositivos de interrupción súbita de los procesos de mecanizado, conocidos por sus siglas en inglés como *Quick Stop Devices (QSD)*, son considerados instrumentos de investigación del área de fabricación de componentes por procesos de arranque de viruta, ya que en la actualidad, sólo a través de estos se posibilita obtener evidencia confiable acerca de los efectos microestructurales de la herramienta de corte y el material de trabajo durante el proceso de mecanizado [8], [9], [10], [11].

Dicha evidencia permite entender cómo operan las variables tecnológicas de los procesos de mecanizado, entre ellas, los parámetros de corte, la geometría de la herramienta y el fluido lubri-refrigerante empleado, y como dichos elementos afectan la eficiencia del proceso de mecanizado debido a los efectos que estos parámetros tecnológicos tienen sobre los cambios potenciales de las propiedades mecánicas que sufre la pieza de trabajo y la herramienta de corte, producto del calor y los esfuerzos existentes entre dichos elementos interactuantes. [4].

El entendimiento integral de las variables tecnológicas intervinientes en el proceso de mecanizado y de la microestructura del material de trabajo, permitirán desarrollar mejores herramientas de corte, máquinas herramienta con mejor desempeño, estrategias de mecanizado más efectivas e incluso el diseño de nuevos materiales que faciliten el mecanizado de componentes con propiedades mecánicas y aplicaciones específicas. Más tarde, los desarrollos técnicos que fueron producto de los proyectos de investigación y desarrollo se orientan a optimizar los procesos de mecanizado y la disminución de los costos de fabricación de componentes. [4], [5].

Dada la importancia de los dispositivos de interrupción súbita empleados en los procesos de mecanizado, como instrumentos de investigación en el estudio de estos efectos, en el siguiente trabajo se abordarán los aspectos generales relacionados con dichos instrumentos, así como su función y los parámetros generales que habrán de tenerse en cuenta para su diseño, según la operación de mecanizado en el cuál se pretende utilizar.

## 2. LOS DISPOSITIVOS DE PARADA SÚBITA (DIS)

Los DIS de los procesos de mecanizado se definen como instrumentos de investigación, cuya finalidad es la obtención de raíces de viruta para el análisis y el estudio experimental; la raíz de viruta a su vez, se define como una hoja de material parcial o totalmente formado y aun adherido al material de trabajo. Se considera que al interrumpirse casi instantáneamente el proceso de corte de forma correcta, la microestructura que presenten las raíces de viruta deberá ser representativa del cambio microestructural que sufre el material de la pieza durante la dinámica del mecanizado. [4], [11], [9].

En la siguiente figura (Fig. 1) se muestra el aspecto que tiene una raíz de viruta obtenida mediante un dispositivo de interrupción súbita diseñado para procesos de

taladrado con brocas helicoidales. Se pueden verificar las virutas adheridas al cuerpo de prueba.

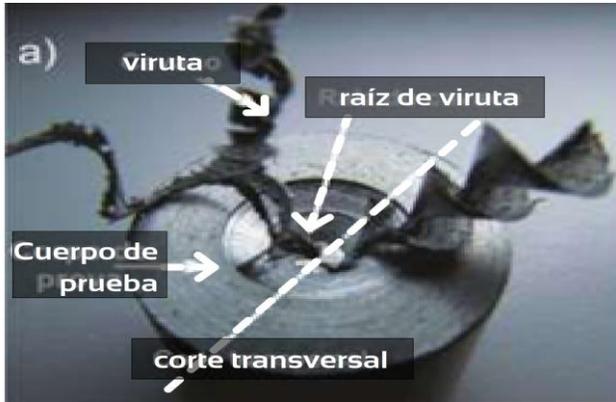


Fig. 1. Raíz de viruta

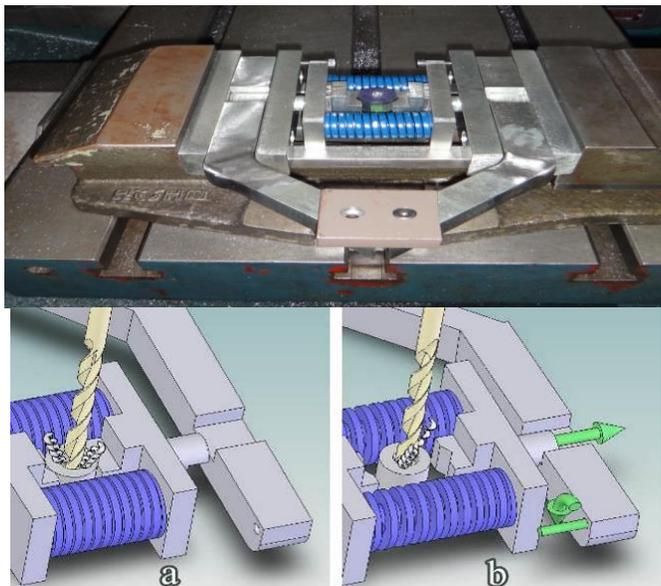
En la figura 2 (Fig. 2) se puede observar el DIS empleado para la obtención de las muestras en el proceso de taladrado, sus componentes y una ilustración sencilla que describe su funcionamiento. Está compuesto por... El dispositivo fue diseñado para adaptarse en una prensa hidráulica dentro de una máquina fresadora de comando numérico. El cuerpo de prueba cilíndrico se coloca en medio de las dos mordazas del dispositivo que se cierran en la medida que se aprieta la prensa hidráulica. Para producir la raíz de viruta, en pleno proceso de taladrado se da un golpe de martillo sobre unos brazos para accionar unos resortes helicoidales que separan casi instantáneamente el cuerpo cilíndrico de las mordazas del dispositivo. El cuerpo de prueba, junto con la raíz de viruta, queda sujeto a la punta de la broca o cae sobre la mesa de la máquina herramienta. [13].



Fig. 2. Dispositivo de interrupción súbita para procesos de taladrado [13].

La forma y el tamaño de la raíz de la viruta obtenida dependerán de varios factores, entre los cuales están los parámetros de corte empleados para la obtención de las raíces. En algunas ocasiones las muestras podrán ser tan pequeñas que para su análisis deberán emplearse microscopios electrónicos de barrido. En la figura (Fig. 3) se muestra otro ejemplo de una muestra de raíz de viruta, pero en este caso, la muestra fue obtenida en un proceso de torneado cilíndrico.

Para la obtención de este tipo particular de muestras de raíces de viruta, se diseñó un dispositivo de interrupción súbita para el proceso de torneado cilíndrico, mostrado en la siguiente figura (Fig. 3). El dispositivo funciona adaptándose al carro portaherramientas de un torno convencional. Para la obtención de la muestra de una raíz de viruta, durante el proceso de cilindrado se acciona un resorte helicoidal que empuja un martillo sobre el porta insertos de pastillas intercambiables. El golpe rompe un pin de sacrificio de forma que el porta insertos de alea de la zona de corte para interrumpir el proceso de mecanizado.



[11] G. Chern, Development of a new and simple quick-stop device for the study on chip formation. International Journal of Machine Tools & Manufacture. (45); pp. 789-794. 2005.

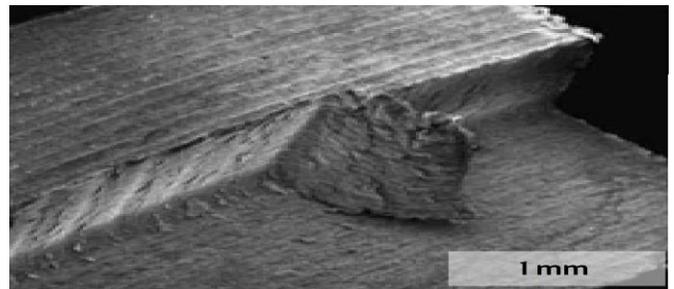


Fig. 3. Raíz de viruta obtenida mediante un dispositivo de interrupción súbita del proceso de torneado cilíndrico

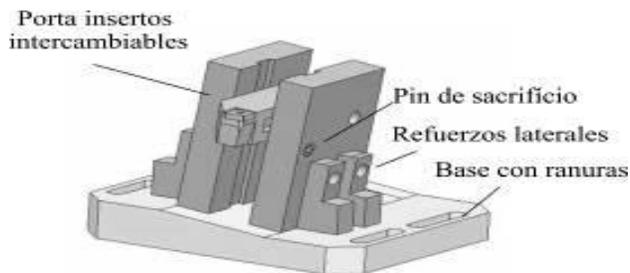


Fig. 4. Dispositivo de interrupción súbita para procesos de torneado cilíndrico. [14].

Los dispositivos de interrupción súbita presentados hasta el momento fueron diseñados para accionarse mediante resortes que liberan la pieza de trabajo o alejan la herramienta de corte de la zona de trabajo mediante el sacrificio de algún elemento mecánico. Sin embargo, a lo largo de la historia los investigadores se han valido de diferentes fuentes de energía para accionar sus dispositivos, que van desde el uso de la energía humana, la energía potencial elástica en forma de resortes, el electromagnetismo, la hidráulica y hasta el uso pólvora o armas de fuego. A continuación se presentan algunos ejemplos de estos dispositivos.

En la (Fig. 5) se presenta un DIS enteramente mecánico diseñado para la obtención de muestras de raíces de viruta en operaciones de ranurado en el torno. El dispositivo prácticamente consiste en un gatillo que, con ayuda de unos resortes localizados en el interior del dispositivo, libera una traba que mantiene la herramienta de corte en su lugar durante la operación de ranurado. [11].

En la figura 6 (Fig. 6) también su muestra otro concepto de dispositivo de interrupción súbita para torneado, solo que accionado con pólvora. El diseño, elaborado por P. K. Philip en el año 1969, consiste en un soporte que en su interior se aloja la herramienta de corte, sostenida en la parte inferior por un pin de sacrificio. En la parte superior del alojamiento del soporte de la herramienta hay una cámara en la cual se deposita cierta cantidad de pólvora. La pólvora se enciende mediante un arco eléctrico formado con la ayuda de dos electrodos en el interior de la cámara. El gas en expansión generado por la explosión de la pólvora empuja la herramienta de corte con la fuerza suficiente para romper el pin de sacrificio y de esta forma interrumpir súbitamente el proceso de mecanizado al dejar caer la herramienta de corte. [10].

El dispositivo presentado por B. J. Griffiths en año 1986, (Fig. 7) es un ejemplo de un dispositivo de interrupción súbita accionado por un arma de fuego. Este dispositivo

en particular fue diseñado para obtener raíces de viruta en un proceso de taladrado profundo en el cual se usan unas brocas especiales conocidas como “brocas cañón”.

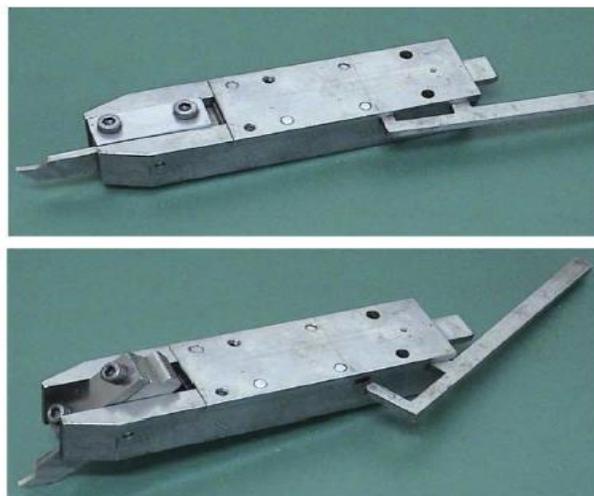


Fig. 5. Dispositivo de interrupción súbita para la obtención de raíces de viruta en operaciones de ranurado en el torno. [11].

El armado del dispositivo consiste en colocar un cuerpo de prueba cilíndrico dentro de un eje hueco instalado en el contrapunto de un torno.

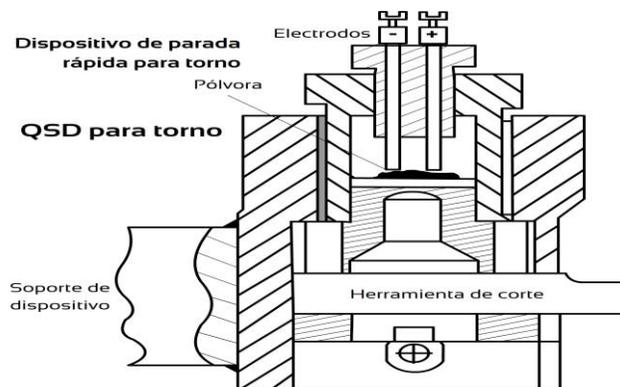


Fig. 6. Dispositivo de interrupción súbita accionado con pólvora para la obtención de raíces de viruta en operaciones de torneado. [10]

Para evitar que el cuerpo de prueba gire dentro del eje cuando es taladrado, tanto el eje hueco como el cuerpo de prueba son atravesados por un pin de sacrificio. Para generar la muestra de la raíz de viruta en el cuerpo de prueba, se sacrifica el pin con un arma de fuego. [9].

El próximo ejemplo de dispositivo de interrupción rápida se muestra en la figura 10 (Fig. 10) presentada por Dolinšek, [8] quien desarrolló este dispositivo para obtener muestras de raíces de viruta en procesos de taladrado con brocas helicoidales.

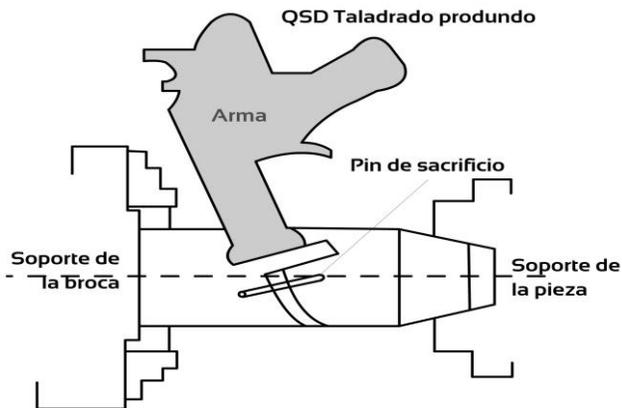


Fig. 7 Dispositivo de interrupción súbita para procesos de taladrado profundo accionado por arma de fuego. Fuente: Griffiths, 1985.

En dispositivo funciona colocando una muestra cilíndrica en medio de dos brazos que pivotan alrededor de un eje. La muestra se mantiene sujeta en medio de los brazos gracias un pin de sacrificio. Para accionar el dispositivo y generar la raíz de viruta, se acciona un actuador hidráulico que rompe el pin de sacrificio y libera el cuerpo de prueba en pleno proceso de taladrado.

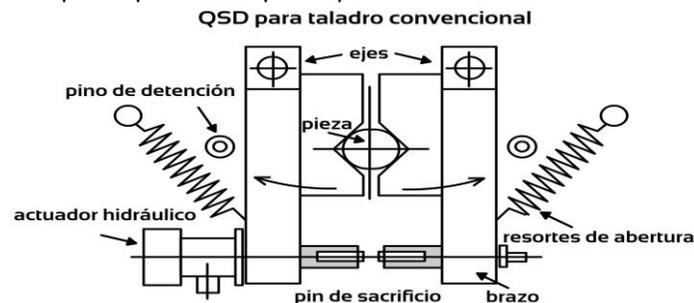


Fig. 10 Dispositivo de interrupción súbita para procesos de taladrado convencional accionado por un actuador hidráulico. Fuente: Dolinšek, 2003.

### 1.1 Clasificación de los DIS

Con los ejemplos anteriores se puede verificar que pueden existir tantos diseños diferentes de dispositivos como diseñadores, además, el diseño también es influenciado por el tipo de proceso de mecanizado u operación al cual se va adaptar, los parámetros de corte que se piensan emplear para generar las raíces de las virutas y también la escala del ensayo [11]. Actualmente, hay investigadores que están desarrollando dispositivos de interrupción súbita para generar raíces de viruta en tamaño nano métrico.

Debido a que pueden existir tantos diseños como diseñadores, resulta impráctico clasificar los dispositivos en base a su *forma*, por tanto, se utilizan otros criterios de clasificación, por ejemplo ([9], [11], [10] [8].

- Por el tipo de operación o proceso de mecanizado al cual fue adaptado.

- Por la dirección relativa de la velocidad de corte entre la herramienta y el cuerpo de prueba. Por ejemplo, sí el cuerpo de prueba se mantiene estático o sí el cuerpo de prueba se mueve hacia la herramienta de corte.
- Por la fuente de energía utilizada para el accionamiento del dispositivo.
- Por tipo de elemento de sacrificio, sí lo hay. Por ejemplo, un pin de sacrificio o la misma herramienta de corte. Habitualmente se desea lo primero un elemento diferente a la herramienta de corte, ya que en algunos casos la herramienta pueden tener un elevado costo.

## 2. IMPORTANCIA DEL ANÁLISIS DE LAS VIRUTAS PRODUCIDAS POR LOS PROCESOS DE MECANIZADO

Los orígenes del análisis de las raíces de viruta se remontan a las investigaciones hechas por el reconocido padre de los Principios de la Administración Científica, el ingeniero Frederick Winslow Taylor. En tales investigaciones, él mismo relata que se invirtieron 26 años de dedicación en la realización de experimentos en los cuales se gastaron varias toneladas de acero en ensayos de mecanizado, que finalmente le permitieron hacer grandes aportes a la industria metalmeccánica, como desarrollar un nuevo material de herramienta de corte revolucionario para la época, conocido actualmente como el acero rápido. [15] [12] [6], [7].

Las investigaciones también permitieron elaborar una serie de recomendaciones sobre las geometrías más convenientes para las herramientas de corte, ayudaron a formular las ecuaciones para el cálculo del fin de vida de las herramientas y hasta se hicieron recomendaciones sobre cómo hacer ensayos de “maquinabilidad”, todo esto apoyado en el análisis del aspecto de las virutas producidas por el proceso de corte con relación a los diferentes parámetros tecnológicos empleados, como la velocidad de corte, la profundidad de corte, la velocidad de avance, el material de la herramienta, el desgaste y el material de la pieza empleado. Con los experimentos se evidenció el efecto de la temperatura sobre el desgaste de la herramienta de corte, asociado al empleo de altas velocidades de corte. [15] [12] [6]

Sin las cámaras fotográficas digitales y los microscopios electrónicos de barradura que disponemos actualmente, Taylor se valió del registro de sus observaciones mediante dibujos o ilustraciones.

En la siguiente figura (Fig. 11) se pueden observar unas de las ilustraciones hechas por Taylor sobre los planos de deslizamiento observables en las virutas generadas con

altas velocidades de corte. Históricamente se ha evidenciado que para diferentes combinaciones de parámetros de corte se producen diferentes tipos de viruta. Cuando se emplean altas velocidades de corte, se generan altas temperaturas en los planos de deslizamiento que ayudan a disminuir la resistencia mecánica del material a que se facilite la formación de virutas con una forma de sierra. [6], [15].

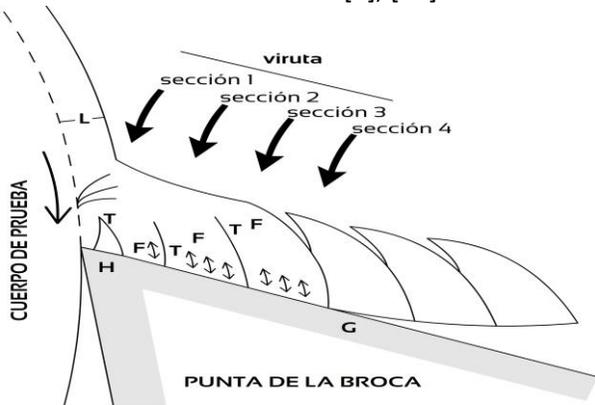


Fig. 11. Ilustración que muestra cómo la viruta es en parte arrancada y en parte cortada de un material forjado. Fuente: Taylor (1906).

Después de la publicación de las investigaciones de Taylor, el análisis de las virutas producidas por el proceso de corte, como herramienta o método para evaluar el desempeño del proceso de mecanizado en diferentes aspectos, ahora hace parte del repertorio de todo investigador moderno dedicado al estudio de los procesos de transformación de materia prima por arranque de viruta. [6], [12], [15].

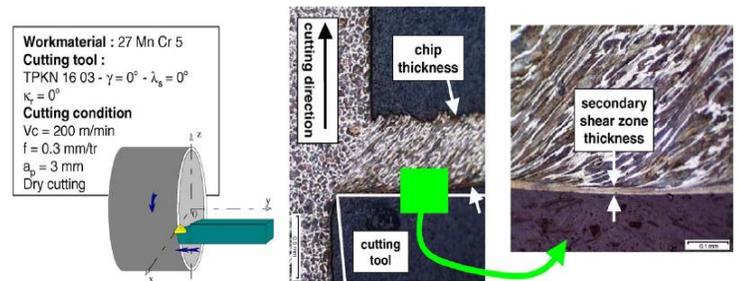
Una persona común o inclusive un ingeniero que desconozca el tema de los procesos de mecanizado verá las virutas apenas como un subproducto del proceso de fabricación, mientras que el investigador experto consciente de las evidencias que encierran las virutas sería capaz, desde que cuente con los recursos necesarios, de desarrollar como lo han hecho otros hasta el momento diferentes tipos de modelos matemáticos para las siguientes aplicaciones, a manera de ejemplo [5], [7]:

- Predicción del tiempo de vida de las herramientas de corte.
- Predicción del ángulo de cizallamiento.
- Predicción del grado de formación de la viruta y las fuerzas de corte.
- Predicción de la longitud de contacto entre la viruta y la superficie de salida de la herramienta de corte.

Algunos otros trabajos se enfocan en comprobar los efectos que tienen ciertos elementos de aleación en la

pieza de trabajo sobre la disminución de las fuerzas de corte. Otros estudian el grado de deformación plástica y el aumento de la resistencia del material por deformación al medir el grosor de la viruta. A través de la observación de las virutas también se puede verificar el efecto de las diferentes geometrías diseñadas como rompe virutas para herramientas de corte, el efecto de los diferentes tipos de revestimientos aplicables a herramientas de corte sobre la tribología de la interface herramienta – viruta. [6]; [5], [7], [16].

En la siguiente figura (Fig. 12) se observa el análisis metalográfico realizado a una viruta con el objetivo de medir el efecto de diferentes tipos de recubrimientos aplicados pastillas intercambiables de metal duro, sobre el espesor de la viruta y el tamaño de la zona de cizalladura secundaria que se localiza en la interface de herramienta de corte y la viruta.



(Gráficos pixelados. ¿Podríamos ubicar la fuente original para reproducirlos con mayor resolución?)

Fig. 12. Estudio de la evolución del tamaño medio del grosor de la viruta y la zona de cizalladura secundaria respecto a la variación de la velocidad de corte [16].

Por otro lado, mientras no se pueda realizar un análisis metalográfico a las virutas, como puede acontecer en un taller de servicios de mecanizado o en una fábrica, la simple observación de la forma y el color de la viruta puede ser de gran utilidad para deducir la temperatura del mecanizado y el tiempo de vida para la herramienta de corte.

#### 4. PREPARACIÓN DE LAS RAÍCES DE VIRUTA.

Una vez se logra obtener las raíces de viruta en procesos exitosos de interrupción súbita, habrá que saber cómo proceder con la preparación de las muestras para su análisis metalográfico.

Cómo se dijo anteriormente, una raíz de viruta se define como una viruta parcial o totalmente formada adherida a un cuerpo de prueba. Para poder observar su microestructura se debe proceder con el corte transversal de la raíz, para lo cual se debe aplicar un proceso de mecanizado que sea muy preciso, que no

ejerza fuerzas mecánicas sobre la raíz de viruta y que no genere temperaturas elevadas que modifiquen la microestructura original de la raíz de viruta. Un proceso de mecanizado reconocido para realizar esta tarea es el proceso de electroerosión por hilo. Sí bien este proceso puede de todas formas producir algún cambio microestructural debido a la temperatura, la profundidad de este cambio se puede hacer pequeño si se escogen adecuadamente los parámetros de remoción. Más tarde, durante el proceso de preparación metalográfica de la raíz, la superficie afectada por la temperatura se puede remover mediante operaciones de lijado y pulido.

Diferente a los procesos de mecanizado convencionales con herramientas de corte de geometría definida, como el torneado, el fresado y el taladrado, donde la herramienta debe entrar en contacto con la pieza de trabajo para generar arranque de material; en los procesos de mecaniza por herramientas de corte con geometría no definida, como el corte por electroerosión con hilo, no existe un contacto real entre la herramienta y la pieza de trabajo. En este proceso, la remoción de material acontece debido la acción de descargas eléctricas entre la herramienta y la pieza que funcionan como electrodos. Este proceso en particular se destaca por su precisión la capacidad de cortar materiales conductores de la electricidad que puedan tener una dureza muy elevada.

En la siguiente figura 11 (Fig. 11) se puede observar el proceso de electroerosión por hilo tallando lo que parece los dientes de un engranaje interno.



Fig. 11. Proceso de electroerosión por hilo en la talla de engranajes. Fuente: Industrial, Tool & die.co., Inc. [17].

Una vez hecho el corte transversal en la raíz de la viruta se procede con la preparación metalográfica de la muestra que consiste en insertar la muestra en una pastilla de baquelita o resina epoxi especial para estos procedimientos. Luego, la muestra pasa por una serie de etapas de lijado y pulido donde se emplean lijas gruesas a finas hasta dejar la superficie de la muestra especular y

sin ninguna ralladura. Cuando se obtiene un pulido como este, la muestra se ataca con ácido para revelar su microestructura y hacerla observable a través de un microscopio que tenga adaptada una cámara fotográfica para la toma de micrografías. [11].

En la siguiente figura (Fig. 12) se puede observar el ejemplo de una micrografía de una raíz de viruta.

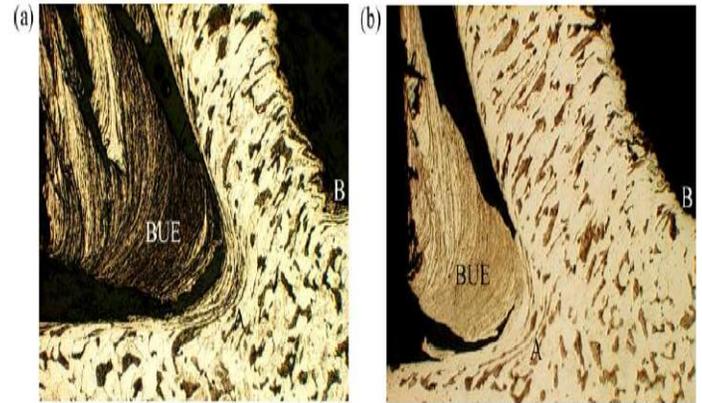


Fig. 12. Micrografía de la sección transversal de una raíz de viruta en la cual se puede observar un fenómeno de acumulación de material en la interface de la superficie de salida de la herramienta y la viruta, conocido como "fillo postizo" o por la siglas en inglés (BUE). [11].

Adicionalmente, los análisis metalográficos se pueden complementar con mediciones de microdureza Vickers y análisis químicos.

## DISCUSIÓN

Para que un dispositivo de interrupción súbita funcione exitosamente habrán de tenerse en cuenta las siguientes pautas. Sin embargo, se advierte que difícilmente sería posible diseñar un dispositivo que cumpla con cada una, por tanto, habrá que tomar algunas decisiones de sacrificio.

1. El tiempo transcurrido desde el accionamiento del dispositivo hasta la interrupción total del proceso de mecanizado debe ser casi instantáneo. Para lograr esto, se recomienda diseñar los componentes del dispositivo de forma que su masa sea lo más baja posible para que su inercia durante el proceso de accionamiento sea bajo y esto colabore en alcanzar aceleraciones casi instantáneas.
2. La distancia de separación entre el cuerpo de prueba y la herramienta debe ser pequeña para que el tiempo de interrupción sea lo más corto posible.
3. Las alteraciones metalúrgicas de la en la raíz de la viruta, provocadas por el accionamiento del

dispositivo, deben ser mínimas. Se espera que la microestructura presente en la raíz de la viruta sea representativa de la dinámica del proceso de corte y no de factores externos provocados por la interrupción del proceso.

4. Se deben evitar las vibraciones en el proceso de mecanizado o aquellas que puedan provocarse por el accionamiento del dispositivo de interrupción. Para lograr esto se debe pensar seriamente en la rigidez de dispositivo de interrupción y su método de sujeción a la máquina herramienta.
5. Se recomienda proyectar el proceso de interrupción del proceso de mecanizado sin sacrificar la herramienta de corte o cualquier otra pieza, ya el recambio de estas encarece los experimentos, sobre todo en aquellos donde se pretenden hacer muchas repeticiones.
6. El dispositivo deber ser fácil y seguro de operar, además de ofrecer buena repetitividad en los resultados. Es espera que por cada interrupción del proceso corresponda a la obtención de una muestra de raíz de viruta para no encarecer el costo del proyecto de investigación como consecuencia del gasto de material en interrupciones no exitosas.

Sí el experimento a desarrollar involucra la obtención de un gran número de muestras de viruta es muy recomendable diseñar un sistema de codificación para marcar y clasificar las muestras para no confundirlas. También es importante planear el lugar y la forma en que se almacenarán las muestras. Para el análisis metalográfico de las virutas es bueno disponer de un microscopio con cámara digital de alta resolución incorporada para hacer el registro fotográfico de la microestructura de cada viruta y de algún software para análisis de imágenes que permita realizar comentarios y mediciones sobre las imágenes obtenidas.

## 5. CONCLUSIONES

Se presentaron en este artículo los aspectos generales relacionados con la importancia del análisis de las virutas en el proceso de mecanizado, además del empleo de los dispositivos de interrupción súbita de los procesos de mecanizado para la obtención de raíces de viruta. Respecto al tema de los dispositivos de interrupción súbita, se abordó su funcionamiento, junto con varios ejemplos de dispositivos desarrollados por diferentes investigadores, se explicó su clasificación y las pautas a tener en cuenta para su diseño. Para finalizar, se explicó el procedimiento de preparación de las raíces de viruta para su análisis metalográfico.

Se espera que este trabajo contenga información útil que sirva como material de estudio para estudiantes de pregrado, alumnos de posgrado, grupos y semilleros de investigación en el área de los procesos de manufactura.

## REFERENCIAS

- [1] A. Boeira, Modelagem e simulação das forças na furação com brocas helicoidais a partir de dados obtidos no torneamento de segmentos cilíndricos (Defensa de Doctorado). Ciudad: Florianópolis. Universidad Federal de Santa Catarina. 2010.
- [2] D. Amoretti, Modelagem e simulação das forças no brochamento (Defensa de Doctorado). Ciudad: Florianópolis. Universidad Federal de Santa Catarina. 2009.
- [3] F. Kockle, Manufacturing Processes 4: Forming. Editorial Springer. 2013.
- [4] M. Zeb, S. Veldhuis y M. Irfan, Material Response of Ramax-2 during high-speed machining using quick-stop device. Revista Experimental Techniques. Editorial Society for experimental Mechanics. 2009.
- [5] Van Luttervelt C., Delft T., Childs T., Leeds U., Jawair I., Kentucky U., Kockle F., Venuvinod P. Altintas Y., Armarego E., Dornfeld D., Grabec I., Leopold J., Lindstrom B., Lucca D., Obikawa T., Shirakashi, Sato. Present situation and future trends in modelling of machining operations Progress report of the CIRP working group "Modelling of machining operations". CIRP Annals of Manufacturing Technology. 1998.
- [6] F. Kockle, Manufacturing Processes 1: Cutting. Editorial Springer. 2011.
- [7] T. Childs, k. Maekawa, T. Obikawa, Y. Yamane, Metal machining: Theory and applications. Editorial John Wiley & Sons. 2000.
- [8] S. Dolinšek, Work-hardening in the drilling of austenitic stainless steels. Journal of Metals Processing Technology. (133); pp. 63-70. 2003.
- [9] B. Griffiths, The development of a quick-stop device for use in metal cutting hole manufacturing processes. International Journal of Machine Tool Design and Research. 2(26); pp. 191-203.1986.
- [10] P. Philip, Study of the performance characteristics of an explosive quick-stop device for freezing cutting action. International Journal of Machine Tool Design and Research. (11); pp. 133-144. 1971.
- [11] G. Chern, Development of a new and simple quick-stop device for the study on chip formation. International Journal of Machine Tools & Manufacture. (45); pp. 789-794. 2005.
- [12] M. Groover, Fundamentals of modern manufacturing: Materials, Processes and Systems. 4ta Edición. Editorial John Wiley & Sons. 2010.

- [13] D. Moreno, B. Sbravati, y R. Schroeter, Desenvolvimento de um dispositivo de interrupción súbita para processos de furação. 7° Congresso Brasileiro de Engenharia de Fabricação –Penedo, Rio de Janeiro. 2013.
- [14] Oliveira, E. (2003). Desenvolvimento de um dispositivo Quick-Stop e sua aplicação no estudo da formação do cavaco na usinagem do ferro fundido nodular ferrítico. (Defensa de doctorado). Florianópolis. Universidad Federal de Santa Catarina.
- [15] F. Taylor, On the art of cutting metals. Ciudad: Editorial American Society of Mechanical Engineers, 1906.
- [16]J. Rech, A. Kusiak, y J. Battaglia, Tribological and thermal functions of cutting coatings. Surface & Coating Technology. (186); pp. 364-371. 2003.
- [17]Industrial, Tool & die.co., Inc. (2015). Equipment Listing - EDM Machines. Consultado el 10 de febrero del 2015, Disponible en: <http://industrialtool.net/edm.html>