

# Desarrollo de un dispositivo de parada súbita para procesos de taladrado

*Development of a quick-stop device for drilling processes*

**Doctor Rolf Bertrand Schroeter**, Laboratório de Mecânica de Precisão (LMP), Universidade Federal de Santa Catarina, Brasil,  
rolf@emc.ufsc.br

**Bruno Sbravati**, Laboratório de Mecânica de Precisão (LMP),  
Universidade Federal de Santa Catarina, Brasil,  
b.sbravati@gmail.com

**Diego Alejandro Neira Moreno**, gestor sénior Red Tecnoparque Colombia  
SENA nodo Ocaña,  
dialneira@misena.edu.do

Traducción:

**Diego Alejandro Neira Moreno**

Servicio Nacional de Aprendizaje - SENA  
Tecnoparque nodo Ocaña  
Regional Norte de Santander

FECHA DE RECEPCIÓN: 21 DE FEBRERO DE 2014

FECHA DE ACEPTACIÓN: 28 DE ABRIL DE 2014

## RESUMEN

En la elaboración de agujeros cilíndricos de pequeño diámetro, generalmente de hasta 12 mm, la principal herramienta utilizada es la broca helicoidal. Debido a la complejidad geométrica de esta herramienta y a la imposibilidad de visualizar el proceso de corte durante el taladrado, se dificulta el estudio de los fenómenos que acontecen durante el corte del material de la pieza de trabajo. Para poder realizar el análisis de tales fenómenos en aquellas condiciones, es importante la preservación de las virutas generadas durante el proceso de taladrado, ya que pueden colaborar con la comprensión de las alteraciones sufridas por el material de la pieza por cuenta del proceso de mecanizado, como por ejemplo las alteraciones microestructurales que permiten relacionar el aumento de la dureza del material de la pieza de trabajo en diferentes regiones del agujero o el grado de deformación y la temperatura generada durante el proceso de corte, así como el ángulo de cizallamiento que presentan las virutas obtenidas, pudiéndose observar y medir mediante técnicas de metalografía en mediciones de microdureza.

Si se ejecuta una parada convencional de la máquina herramienta durante un proceso de taladrado, el corte del material de trabajo no cesa instantáneamente; por tanto, durante la detención de la máquina herramienta las condiciones de corte son diferentes a las existentes durante el transcurso normal del proceso de taladrado, lo que supone la obtención de raíces de viruta que no son representativas de aquellas virutas que se generan durante el proceso normal de corte. Por este motivo, se hace esencial el desarrollo de un dispositivo que ejecute una parada súbita del proceso de taladrado. Este dispositivo, usualmente llamado *quick-stop device* (QSD), es bastante utilizado en ensayos de torneado; mientras que para ensayos de taladrado su uso es todavía poco difundido.

Con el objetivo de aumentar los conocimientos en esta área, fue desarrollado, construido y ensayado un dispositivo de parada súbita para el proceso de taladrado con brocas helicoidales. El dispositivo de parada súbita desarrollado

se mostró funcional y con buenas características de reproducibilidad, permitiendo la preservación de raíces de viruta y su posterior estudio a través de los ángulos de cizalladura y la verificación del grado de endurecimiento por deformación en la región del filo transversal, entre otros aspectos. En este trabajo son discutidos y analizados los principales aspectos de diseño del dispositivo, la metodología utilizada para los ensayos de taladrado, así como los resultados obtenidos hasta el momento utilizándose velocidades de corte de hasta 120 m/min en avances de 0,3 mm para brocas de metal duro.

**Palabras clave:** taladrado, broca helicoidal, raíz de viruta, dispositivo de parada súbita.

## ABSTRACT

In the drilling of small diameter cylindrical holes, typically smaller than 12 mm, the most employed tool is the twist drill. In this kind of tool, the geometrical complexity and the impossibility on observing the process makes difficult to study the phenomena that appears during the cutting process. To make it possible is important the preservation of the chip roots generated during the machining, as they can be useful to understand this machining process. By observing the chip root's microstructural modifications is possible to establish relationships between the workhardening levels in different regions inside the drilled hole with the strain levels, drilling temperatures and the shear angles as well, using metallography techniques and microhardness measurements. By simply turning-off the machine-tool, the cutting process doesn't stop suddenly. Then the cutting continues under other conditions that are different than the original cutting parameters, interfering by this way the real chip root's characteristics cutting condition. For this reason it becomes essential the development of a device that sudden stops the drilling. This equipment, often referred as Quick-Stop Device (QSD). It is widely used for turning process, however for drilling tests its use is not common. On the going behind the objective to increase the knowledge about the drilling process, one QSD for drilling was design, built and tested. This device worked and with

good repeatability, allowing the freezing of the cutting process and enabling the subsequent study the chip roots in their formation stage, by the analysis of the shear-plane angles, the degree of work hardening and other aspects as well as. Here the main project design factors and the methodology employed for the drilling experiments were discussed and analyzed. Cutting speeds below 120 m/min and feed rates below 0,3 mm and carbide twist drills were used in the drilling experiments.

**Keywords:** Drilling, Twist Drill, Chip Root, Quick-Stop Device (QSD).

## INTRODUCCIÓN

El proceso de taladrado es uno de los procesos de mecanizado más importantes en la industria metalmecánica, tiene importantes aplicaciones que van desde su uso doméstico hasta complejas cirugías en el área médica. En algunas industrias el número de operaciones de taladrado y el tiempo empleado en ellas pueden superar el 50% del total de todas las operaciones de mecanizado cuando es comparado con otros procesos, como el torneado y el fresado. En la industria aeronáutica el proceso de taladrado es de una gran importancia debido a su utilidad en la fabricación de grandes componentes, como alas de avión, que, en algunos casos, pueden tener más de 45.000 agujeros. En la industria automotriz el proceso de taladrado también es bastante utilizado, por ejemplo en la fabricación de bloques de motor e innumerables componentes.

Actualmente, debido a la naturaleza altamente competitiva del mercado metalmecánico, el medio productivo percibió la importancia de fabricar productos de alta calidad, bajo costo y grandes cantidades. Para enfrentar y adaptarse a este escenario con todas las variables que involucran los procesos de mecanizado, es cada vez más

importante el empleo de modelos matemáticos que sirvan como herramienta para la toma de decisiones que van desde la selección de las herramientas de corte, los parámetros de corte, el diseño de nuevas máquinas herramienta, la predicción de las fuerzas de corte y otros aspectos adicionales.

El modelado y simulación de los fenómenos relacionados con la formación de virutas durante una operación de mecanizado tiene en este contexto una gran importancia. Todavía, diferente a otros procesos de mecanizado, como los procesos de torneado y fresado, en el proceso de taladrado no es posible observar la formación de las virutas en cuanto que la broca penetra en el agujero que se realiza en la pieza de trabajo, hecho que lo convierte en uno de los procesos más difíciles de modelar y, por tanto, uno de los procesos menos entendidos tecnológicamente. En este sentido, los dispositivos de parada súbita, así no permitan observar la formación de la viruta dentro del agujero en tiempo real, permiten obtener muestras que posibilitan el análisis microestructural de las virutas e inferir a través de ellos cómo la broca corta el material. A partir de estas informaciones se hace posible una mayor comprensión de cómo las variables del proceso afectan el desempeño de la broca helicoidal durante el proceso de taladrado.

## 1. Fundamentación teórica

### 1.1 Dispositivos de parada súbita para procesos de taladrado

El buen desempeño de los procesos de mecanizado con herramientas de geometría definida y su modelamiento dependen del entendimiento de los mecanismos de formación de la viruta. Para esto se pueden aplicar técnicas de interrupción del proceso de mecanizado junto con la posterior aplicación de técnicas de análisis metalográfico para verificar el grado de deformación de la pieza de trabajo durante el corte (Wu, Wang y Tsai, 2005).

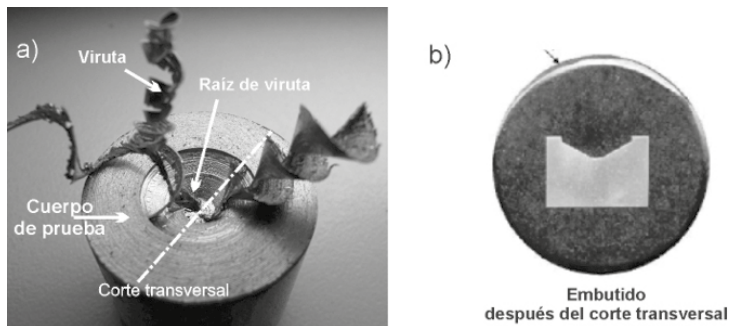
Los dispositivos de parada súbita, conocidos por las siglas QSD, son instrumentos de investigación desarrollados para la recolección de muestras de raíces de viruta. Las muestras de raíces de viruta, obtenidas mediante la interrupción súbita del proceso de mecanizado, se definen como virutas parcialmente formadas que están todavía adheridas a los cuerpos de prueba, como se puede ver en la Figura 1a).

Cuando se retira el cuerpo de prueba con la raíz de viruta adherida a él al finalizar la detención súbita del proceso de taladrado, se retira el material próximo a la raíz de viruta que se considera sobrante utilizándose para esto otros procesos

de mecanizado, como por ejemplo el proceso de aserrado, el fresado o el proceso de electroerosión. Cualquiera que sea el proceso empleado, se debe considerar la selección del sobrematerial de mecanizado adecuado para que el factor de temperatura y la deformación plástica inducida por el arranque del material sobrante no modifiquen la microestructura de la raíz de la viruta, ya que el objetivo principal es estudiar apenas las alteraciones provocadas por el proceso de mecanizado que está siendo analizado (Ellis, Kirk y Barrow, 1969; Dolinšek, 2003; Geel, 2007).

Concluida la etapa de remover el material sobrante próximo a la raíz de la viruta con el objetivo de realizar su respectivo análisis metalográfico, se inserta la raíz de la viruta en una pastilla de baquelita conforme a la Figura 1b). El análisis metalográfico servirá para estudiar la tasa de deformación plástica sufrida por el material del cuerpo de prueba en la región del centro del agujero con el gasto de energía empleado en el proceso de mecanizado, la magnitud de las fuerzas de corte, la temperatura generada en el proceso, la vida de la herramienta, el grado de endurecimiento por deformación del material de la pieza y otros aspectos útiles en la formulación y validación de modelos matemáticos predictivos aplicados a los procesos de mecanizado (Dolinšek, 2003).

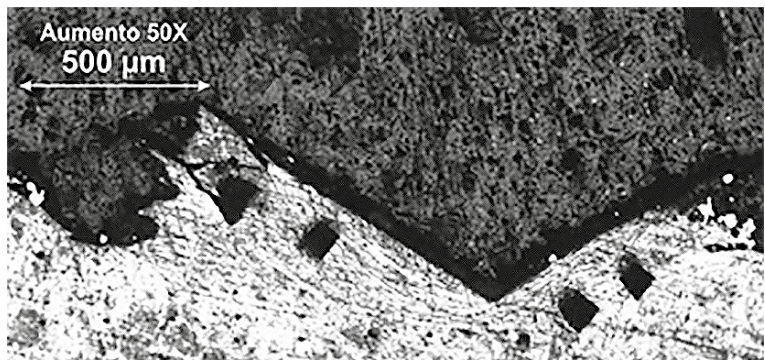
**Figura 1.** a) Cuerpo de prueba obtenido en la parada súbita del proceso de taladrado con broca helicoidal. b) Cuerpo de prueba embutido en baquelita después del corte.



Después del proceso de insertar el cuerpo de prueba en una pastilla de baquelita, para realizar adecuadamente el análisis metalográfico, esta debe pasar por varias etapas de lijado en las cuales son empleadas lijas con tamaño de grano abrasivo número 80 hasta el número 1200 y por una etapa de pulido con polvo abrasivo de alúmina con granulometría 0,3  $\mu\text{m}$  y 0,1  $\mu\text{m}$ . Una vez terminado el proceso de lijado y pulido se revela la microestructura del material del cuerpo de prueba mediante un ataque químico con una solución de Nital 2%. El resultado final de este proceso es

la posibilidad de realizar una micrografía en la cual se hace posible distinguir la regiones que poseen un alto grado de deformación plástica y que se pueden caracterizar cuantitativamente por mediciones de microdureza Vickers (Geels, 2007). La Figura 2 muestra una micrografía correspondiente a la región del centro del agujero taladrado con una broca helicoidal; al mismo tiempo son perceptibles las indentaciones realizadas con una punta de diamante piramidal durante el proceso de medición de microdureza en las áreas con microestructura más deformada.

**Figura 2.** Raíz de viruta en la región del centro del agujero.

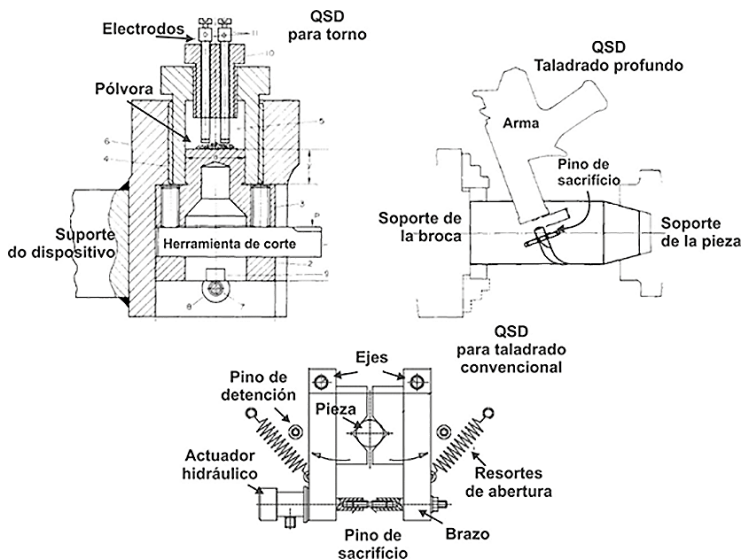


## 1.2 Funcionamiento de los dispositivos de parada súbita (QSD)

Según Satheesha *et al.* (1990), existen dos métodos que se emplean en la obtención de raíces de viruta, los cuales pueden ser divididos en los que provocan la fractura de la propia herramienta de corte o de un pasador de sacrificio y los dispositivos que se basan en el método de eliminar el movimiento relativo entre la pieza de trabajo y la herramienta de corte. Generalmente, el primer método es utilizado cuando los ensayos experimentales involucran el uso de piezas que acumulan mucha inercia y que difícilmente se pueden acelerar instantáneamente; mientras que el método de reducir el movimiento relativo entre la pieza y la herramienta de corte es el método más aplicado en los casos en que el cuerpo de prueba posee un peso y dimensiones reducidos.

En la literatura existen relatos de diversos diseños de QSD que utilizan el método de reducción de velocidad relativa para su aplicación en diferentes procesos de mecanizado, la mayoría para procesos de torneado (Griffiths, 1986). La mayoría de estos diseños se destacan por su complejidad debido al número de piezas que conforman el dispositivo y el uso de tecnología costosa, como sistemas hidráulicos, sistemas magnéticos o recursos peligrosos, como la pólvora para garantizar un accionamiento instantáneo. Para el accionamiento del dispositivo generalmente se efectúa la ruptura de un pasador de sacrificio que debe ser sustituido cada vez que el QSD sea accionado. La Figura 3 presenta diferentes métodos de abertura propuestos por diversos investigadores para su aplicación en procesos de torneado y taladrado (Wu *et al.*, 2005).

Figura 3. Diferentes métodos de abertura





### 1.3 Requerimientos fundamentales del QSD

Para que un QSD funcione satisfactoriamente en cualquier proceso, se deben cumplir los siguientes requerimientos generales (Ellis, Kirk y Barrow, 1969; Griffiths, 1986):

1. El tiempo transcurrido desde el accionamiento del dispositivo hasta la parada total de proceso debe ser corto.
2. La distancia de separación relativa entre la herramienta y el cuerpo de prueba debe ser pequeña.
3. Las modificaciones geométricas y metalúrgicas en la raíz de la viruta, inducidas por la acción del dispositivo, deben ser mínimas.
4. Las vibraciones inducidas por el corte del material y el accionamiento del dispositivo deben ser mínimas.
5. El dispositivo debe tener buenas características dinámicas y estáticas para la sujeción de la herramienta de corte y el cuerpo de prueba.
6. La herramienta no se debe dañar como consecuencia del proceso de accionamiento del dispositivo.
7. El dispositivo debe ser seguro y fácil de usar, confiable y debe

ofrecer buena reproducibilidad en los resultados.

No es posible diseñar un QSD que pueda cumplir al mismo tiempo con todos los requerimientos descritos anteriormente, lo que significa que es necesario aplicar algunas relaciones de compromiso.

Para el caso específico del proceso de taladrado con brocas helicoidales, ya existen algunos aspectos prácticos para ser tomados en cuenta durante el diseño del QSD. Uno de ellos es usar un sistema de apertura bilateral para evitar un desequilibrio en las fuerzas que actúan sobre el sistema pieza-herramienta de corte que pueda quebrar la broca, principalmente si se trata de herramientas de materiales frágiles, como el metal duro. El uso de masas pequeñas y bien distribuidas ayuda a la disminución del momento de inercia rotacional, lo que favorece una abertura súbita del dispositivo. Para el cuerpo de prueba se recomiendan geometrías cilíndricas (Dolinšek, 2003).

## 2. Desarrollo de un QSD

Se optó por seguir, de modo general y con algunas adaptaciones, el modelo PRODIP (Processo de Desenvolvimento Integrado de Produtos) para el desarrollo de productos, el cual fue desarrollado en el NEDIP (Núcleo de Desenvolvimento Integrado de Produtos), grupo de la

UFSC en el área de gerenciamiento de proyectos. El PRODIP consiste en la aplicación de un método sistemático, con un sólido fundamento científico, que permite al diseñador definir e incluir los requerimientos del usuario en el proceso de desarrollo de productos, que en este caso sería el QSD. El proceso de desarrollo consistió en tres macrofases conocidas: diseño informacional, diseño conceptual y diseño preliminar (Ogliari, 2007).

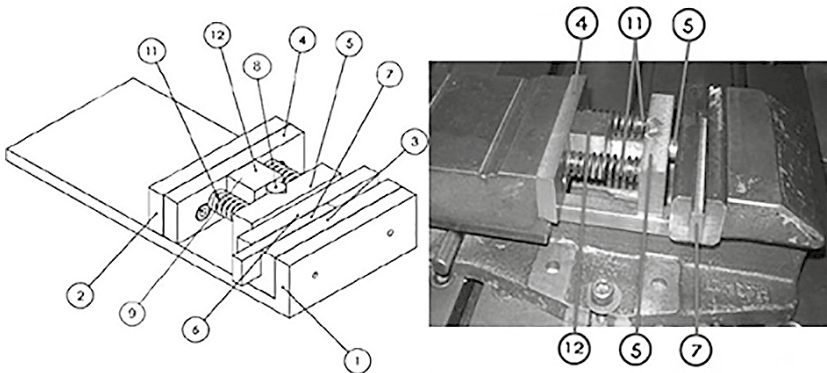
## 2.1 Diseño informacional

Entre las diversas actividades relacionadas con las investigaciones sobre el proceso de taladrado con brocas helicoidales, un primer dispositivo de parada súbita fue

desarrollado en el laboratorio de mecánica de precisión de la UFSC. Este dispositivo, fabricado enteramente con acero ABNT 1045, fue montado en una prensa hidráulica sujeta a la mesa de la máquina herramienta escogida para realizar los ensayos de taladrado, una máquina fresadora de comando numérico Romi Polaris F400.

Como aparece en la Figura 4, el principio de funcionamiento del dispositivo se fundamentó en la compresión de dos resortes helicoidales (11) y en el disparo de un gatillo (7) que permite el desplazamiento del mordiente móvil (5), liberando el cuerpo de prueba (8) e interrumpiendo de esta forma el proceso de taladrado.

Figura 4. Prototipo de QSD desarrollado



El dispositivo fue ensayado y validado, permitiendo la obtención de resultados satisfactorios apenas para bajas velocidades de corte, porque para velocidades más al-

tas la apertura del dispositivo no acontecía con la rapidez suficiente. Además, debido a la apertura unilateral del mordiente del dispositivo, se presentaron rupturas

frecuentes en las brocas de metal duro durante los ensayos. Una hipótesis respecto a la ocurrencia de ese problema fue el desequilibrio momentáneo de las fuerzas laterales que actúan sobre la broca, que resultaba lo suficientemente grande para provocar la falla catastrófica de la herramienta. Esta pérdida de brocas hacía los ensayos costosos y de baja reproducibilidad. Se verificó también la deformación plástica del pasador y del gatillo, ya que el área de contacto entre los componentes disminuye paulatinamente durante el proceso de apertura, generando grandes tensiones localizadas que deforman los componentes plásticamente.

Frente a estos problemas, se elaboró una recopilación de toda la información relacionada con los inconvenientes que se presentaron con el QSD anterior, así como un levantamiento de la información relevante sobre los demás requisitos que un nuevo dispositivo debería tener para que pudiera adaptarse a todas las exigencias de su aplicación.

Aplicando la metodología de la Casa de la Calidad, los requisitos fueron clasificados en diferentes categorías basadas en aspectos cinemáticos, dinámicos, constructivos, de sujeción, de seguridad y de operación; en seguida fueron analizados desde el punto de vista de su relevancia. En total, fueron reunidos 20 requisitos diferentes, que fueron transformados en es-

pecificaciones de ingeniería, para que fueran de mayor utilidad en las siguientes etapas del proceso de desarrollo del nuevo dispositivo.

El nuevo QSD debe ser fabricado con los materiales y la geometría más convenientes para que su vida útil sea amplia (más de tres años), su dureza debe ser la suficiente para disminuir las vibraciones y evitar que interfieran en la formación de viruta durante el proceso de taladrado o provoquen el quiebre de la herramienta de corte. Sin embargo, el dispositivo debe tener bajo peso (como máximo 15 kg) y bajo volumen (inferior a 0,05 m<sup>3</sup>) para que, en caso de ser necesario, pueda ser transportado e instalado en otra máquina herramienta. El dispositivo también debe ser simple en su funcionamiento, para que su operación y mantenimiento sean fáciles. No debe ser necesaria mucha fuerza para armar el dispositivo (menos de 5 kN) y la velocidad de apertura debe ser alta (tiempo de apertura máximo de 1 ms).

## 2.2 Diseño conceptual

Se presentaron diferentes ideas y opciones para hacer un dispositivo que pudiera cumplir con las especificaciones de diseño definidas en la fase anterior. Se elaboró una matriz morfológica en la cual se listaron las diferentes propuestas de solución para cada una de las funciones del QSD. Estas propuestas fueron también analizadas y

fueron escogidas las que satisfacían la mayoría de las especificaciones de diseño.

La escogencia de la propuesta resultó en un escenario más claro de cómo debía estar constituido el QSD. La Tabla 1 muestra las diferentes características que definen la concepción del dispositivo.

*Tabla 1.* Concepto del QSD

| Sujeción del QSD                          | Prensa     |
|-------------------------------------------|------------|
| Restricción para engatillar:              | Gatillo    |
| Sujeción del cuerpo de prueba:            | Mordientes |
| Energía de sujeción del cuerpo de prueba: | Hidráulica |
| Señal de accionamiento:                   | Manual     |
| Energía de liberación:                    | Resortes   |
| Tipo de apertura:                         | Bilateral  |

La Figura 5 muestra las partes del diseño conceptual del nuevo dispositivo. Para entender el dispositivo se muestra la vista explosionada de las piezas para evidenciar el montaje del QSD. Primero el dispositivo muestra simetría geométrica como consecuencia del concepto de apertura bilateral. Los dos lados del dispositivo son iguales y opuestos. Para realizar el ensamblaje del QSD se deben atornillar el mordiente en V (2), la placa base (6) y el pasador (7). El gatillo (9) se posiciona dentro del perfil en U (11). El gatillo rota en torno del tornillo (8), funcionando este como eje. El QSD se arma al elevar el gatillo (9) hasta impedir el movimiento del pasador (7) y por consiguiente del mordiente en V como un todo. Luego la prensa se cierra comprimiendo los resortes de apertura (3), los cuales actúan sobre los batientes (6).

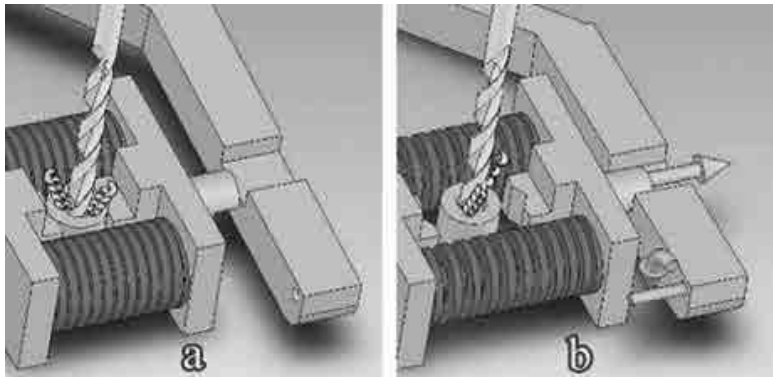
Figura 5. Componentes del QSD



Conforme a la Figura 6, se verifica que al disparar el gatillo aplicando un golpe sobre el amortiguador, el gatillo rota hacia abajo, permitiendo el movimiento de los mordientes en V. Como estos

están siendo presionados por los resortes helicoidales, los mordientes en V se abren rápidamente, permitiendo que el cuerpo de prueba gire libremente junto con la broca.

Figura 6. Estado abierto (a) y cerrado (b) del dispositivo



### 2.3 Diseño preliminar

Con el objetivo de implementar sobre el nuevo QSD los requerimientos establecidos en la etapa informativa, se planeó un procedimiento que involucra, principalmente, determinar las fuerzas actuantes sobre el dispositivo, con el objetivo de calcular la fuerza necesaria para sujetar el cuerpo de prueba, realizar la escogencia adecuada de los materiales de los componentes del dispositivo y de los resortes de apertura, y calcular la fuerza necesaria para accionar el dispositivo. El procedimiento está compuesto por cuatro partes: determinar la fuerza de apriete necesaria para sujetar el cuerpo de prueba durante los ensayos de taladrado; analizar las solicitudes mecánicas de los componentes del dispositivo; calcular la fuerza necesaria para su accionamiento y, por último, calcular el tiempo de apertura del dispositivo.

#### 2.3.1 Fuerza de apriete

Para que el cuerpo de prueba permanezca estático durante el taladrado, la fuerza de fricción entre los mordientes en V y el cuerpo de prueba debe ser igual a la fuerza de avance, como se expresa en la ecuación (1), en la cual  $F_{ap}$  es la fuerza de apriete,  $\mu$  es el coeficiente de fricción entre los mordientes y el cuerpo de prueba, y  $F_f$  es la fuerza de corte en el sentido del avance.

$$F_{\mu} \geq F_f \tag{1}$$

Según Norton (2004), se asume que el coeficiente de atrito  $\mu$  depende de las propiedades mecánicas de los materiales en contacto y de las tensiones de Hertz. Se usó este concepto para determinar el valor de este coeficiente aplicando las fórmulas de ingeniería disponibles en la literatura sobre diseño de máquinas. El valor de  $\mu$  entre el

cuerpo de prueba y los mordientes en V es aproximadamente 0,59.

Para calcular la fuerza de avance se utilizó el modelo empírico presentado en la ecuación (2). Desarrollado por Shawn y Oxford (Karabay, 2007), el modelo está en función del material del cuerpo de prueba, la velocidad de avance y el diámetro de la broca.

Al insertarse los siguientes valores en la ecuación (2), se determina que la fuerza de avance para la cual debe diseñarse el QSD es de 3,6 kN.

HB = 165 Dureza Brinell de los cuerpos de prueba usados en los ensayos de taladrado. Acero AISI 1045

F = 0,3 mm Velocidad de avance

D = 10 mm Diámetro de las brocas empleadas en los ensayos de taladrado

$$F_f = 12,501 * H_B * f^{0,8} * d^{0,8} - 0,02542 * H_B * d^2 = 3,6 \text{ kN} \quad (2)$$

Al insertar el resultado de la ecuación (2) y el coeficiente de fricción en la ecuación (1), el resultado de la fuerza de apriete es 6,1 kN, como aparece en la ecuación (3).

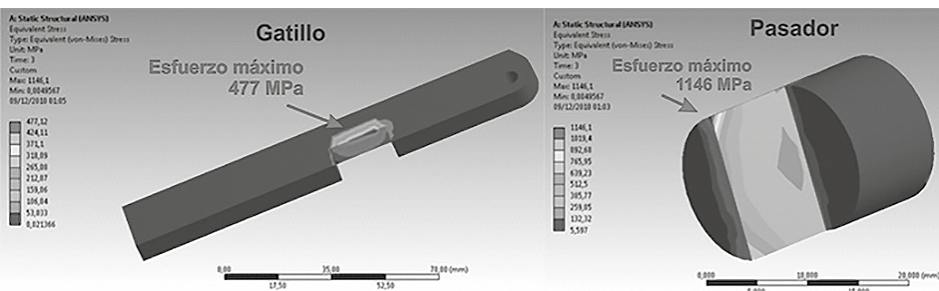
$$F_a = \frac{F_f}{\mu} = \frac{3,6}{0,59} = 6,1 \text{ kN} \quad (3)$$

Como la prensa disponible puede ejercer hasta 14 kN, es posible generar la fuerza de apriete suficiente para mantener fijo el cuerpo de prueba durante los ensayos de taladrado.

### 2.3.2 Análisis de los requerimientos mecánicos

A partir del cálculo de la fuerza de apriete de la ecuación (3), para determinar si el pasador y el gatillo reaccionan sin deformación plástica cuando están sometidos a fuerzas de apriete, se analizaron los esfuerzos que actúan sobre estos componentes del QSD aplicando el método de elementos finitos usando el software ANSYS, como en la Figura (7).

Figura 7. Análisis de esfuerzos sobre el gatillo y el pasador de acero AISI 1045



Los resultados del análisis de elementos finitos indicaron que mientras en el gatillo se estimó una tensión máxima de 477 MPa, la estimativa del esfuerzo máximo en el pasador fue de 1.146 MPa. Estos esfuerzos actúan intensamente en los bordes de los componentes, como se ve en la Figura 7. Debido al resultado de este análisis se decidió optar por el acero AISI 4340 en vez del acero AISI 1045 para que los componentes tuvieran mayor dureza y un límite de fluencia más elevado.

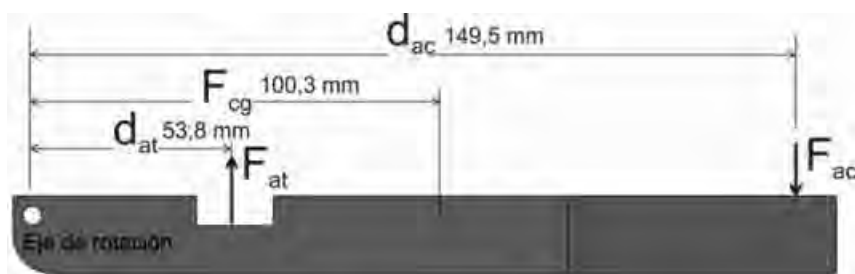
### 2.3.3 Cálculo de la fuerza de accionamiento

Para determinar la fuerza de accionamiento del dispositivo, primero se analizó la ecuación (4), que expresa el momento angular de inercia del gatillo.

$$F_{ac} * d_{ac} - F_{at} * d_{at} = I * \ddot{\theta} \quad (4)$$

Cuando se aplica la fuerza de accionamiento con un golpe de martillo, actúan dos momentos de torsión, como aparece en la Figura 8: el causado por la fuerza de accionamiento  $F_{ac}$  y el de torsión como consecuencia de la fuerza de fricción  $F_{at}$ .

Figura 8. Diagrama de cuerpo libre aplicado al gatillo



Se expandieron las expresiones correspondientes a la fuerza de fricción  $F_{at}$  y a la velocidad angular del gatillo  $\dot{\theta}$  para transformar la ecuación 5 en la ecuación 6.

$$F_{at} * d_{at} - (\mu * F_{at}) * d_{at} = I * \left( \frac{2 * \dot{\theta}}{t^2} \right) \quad (5)$$

De la ecuación 5, la fuerza de accionamiento se puede calcular como aparece en la ecuación 6.

$$F_{ac} = \frac{2 * I * \dot{\theta} + \mu * F_{at} * d_{at} * t^2}{d_{ac} * t^2} \quad (6)$$

donde

$I = 9,82.10^{-3} \text{ kg.m}^2$  Momento de inercia de gatillo. Material: acero AISI 4340

$\dot{\theta} = 8,726.10^{-2} \text{ rad/s}$  Ángulo de posicionamiento de gatillo en relación con la horizontal

$F_{ap} = 6,1 \cdot 10^3$  N Fuerza de apriete entre el pasador y el gatillo

$\mu = 0,23$  Coeficiente de fricción entre el pasador y el gatillo

$d_{at} = 53,8 \cdot 10^{-3}$  m Longitud de la palanca, medida entre el eje de rotación del gatillo y la fuerza de fricción

$d_{ac} = 194,3 \cdot 10^{-3}$  m Distancia desde el eje de rotación del gatillo hasta el punto de aplicación de la fuerza de accionamiento

$T = 0,005$  s Tiempo de descenso del gatillo

### 2.3.4 *Tiempo de apertura de los mordientes*

Según Norton (2004), es posible calcular la deformación entre el cuerpo de prueba y los mordientes. Esta deformación será la que permitirá determinar el tiempo de apertura de los mordientes durante el accionamiento del QSD. Realizándose los cálculos para un cuerpo de prueba de 20 mm de diámetro y 15 mm de alto, sometido a una fuerza de apriete de 6 kN y considerándose también la rugosidad del cuerpo de prueba, es posible estimar los esfuerzos existentes en las regiones en contacto, posibilitándose el cálculo del valor de la deformación máxima, la cual es de  $x_t = 0,114$  mm.

El tiempo de apertura del QSD puede ser estimado por las ecuaciones

de movimiento rectilíneo uniformemente variado y la segunda ley de Newton, según la ecuación 7.

$$t = \sqrt{\frac{2 \cdot x_t \cdot m}{F_{mol}}} \quad (7)$$

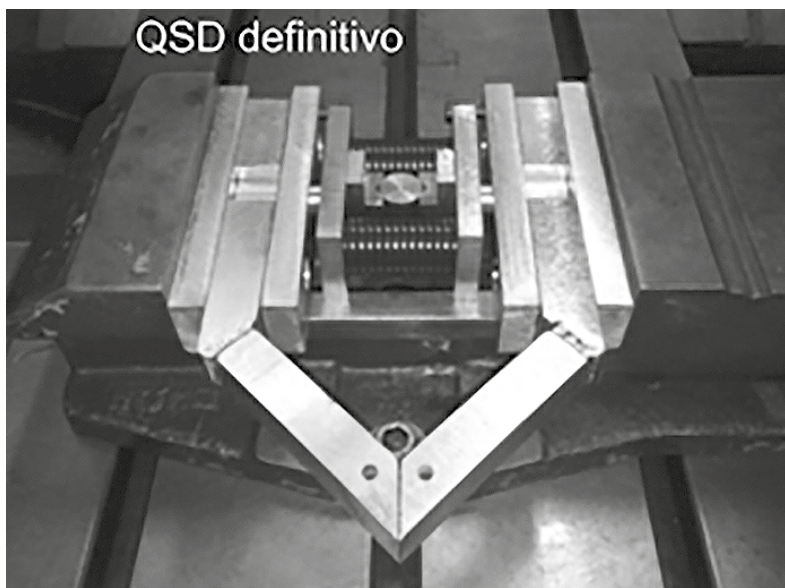
La distancia  $x_t$  se definió anteriormente y la masa de los componentes móviles posee un valor de diseño de 0,6 kg. La fuerza suministrada por los resortes  $F_{mol}$  debe propiciar una alta aceleración al QSD, no ofrecer dificultad en el armado del dispositivo y permitir un fácil accionamiento del gatillo. Analizando los valores de  $t$  en función de  $F_{mol}$ , se dimensionaron los resortes para que el par suministrara una fuerza de 2,5 kN en la apertura, resultando un tiempo de apertura de aproximadamente 0,1 ms.

### 2.3.5 *Prototipo*

En el QSD definitivo los pasadores y el gatillo se fabricaron con acero AISI 4340, mientras que los demás componentes se fabricaron con acero AISI 1045. Los componentes fueron mecanizados y luego sometidos a un proceso de cincado. El QSD se montó en una prensa hidráulica, como se muestra en la Figura 9, que presenta la disposición final del QSD en estado "armado", con sus resortes comprimidos y un cuerpo de prueba posicionado en el centro.



Figura 9. Dispositivo de parada súbita (QSD)



### 3. Ensayos con el QSD

Para ensayos de taladrado fueron utilizadas brocas helicoidales de 10 mm de diámetro, de acero rápido del fabricante Irwin, sin afilado especial en la punta y sin revestimiento, además de brocas helicoidales de metal duro del fabricante Sphinx, con tres tipos de afilado en la punta, una de ellas estándar y las demás con afilado de alivio en la punta, del tipo A y tipo C, revestidas con AlCrN. Para los cuerpos de prueba se utilizaron aceros ABNT 1045, ESP 65 y ETG 100. Los ensayos fueron realizados en una fresadora CNC marca Romi Polaris F400.

El debido alistamiento del dispositivo se efectuó antes de cada ensayo,

para asegurar la reproductibilidad. Se emplearon diversos procedimientos, entre estos la verificación continua de los componentes, la lubricación de las superficies de deslizamiento y la centralización de husillo de la máquina herramienta con el cuerpo de prueba con ayuda de un reloj comparador. Se fabricaron muestras de prueba según una matriz de experimentos con 24 ensayos diferentes, en los cuales se variaron el avance, la velocidad de corte, el material del cuerpo de prueba y el tipo de afilado de la punta de la broca.

En la Figura 10, para una misma velocidad de corte de 10 m/min y una velocidad de avance de 0,03 mm, se verifica la diferencia

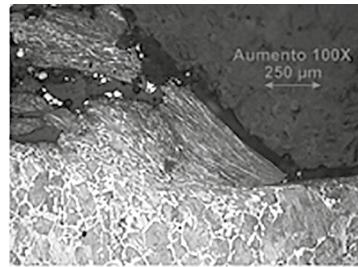
en la formación de la viruta entre una broca estándar y una broca con afilado especial tipo A. La deformación de los granos de la microestructura del material del cuerpo de prueba y las mediciones de dureza

Vickers dan a entender un aumento en la dureza del material en la región del centro del agujero, debido a la deformación plástica, y en relación con esto, un aumento de la fuerza de avance.

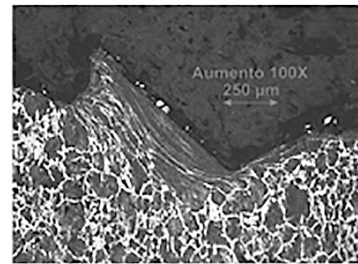
**Figura 10.** Ensayos con el QSD para brocas tipo A y estándar, con cuerpos de prueba de acero ABNT 1045



**Broca tipo Standard de metal-duro**  
Velocidad de corte: 10 m/min  
Avance: 0,03 mm



**Broca tipo A**  
Velocidad de corte: 10 m/min  
Avance: 0,03 mm



## 4. Conclusiones

Con base en los ensayos realizados se concluye que el QSD desarrollado permite la obtención de raíces de viruta para diferentes parámetros de corte, distintas geometrías de brocas helicoidales y cuerpos

de prueba de diferentes materiales. Se ensayaron con éxito avances de 0,01 hasta 0,4 mm por revolución y velocidades de corte entre 10 y 120 m/min, sin fluido refrigerante.

Los artículos científicos recopilados destacan la importancia de la velocidad de interrupción del proceso

de mecanizado para obtener raíces de viruta adecuadas cuya microestructura represente fidedignamente las alteraciones provocadas por el proceso de mecanizado, hecho comprobado por los ensayos realizados.

Se resalta la conveniencia de la apertura bilateral del QSD y de hacer los agujeros lo más centralizados posible en el cuerpo de prueba, para evitar que la broca se quiebre, principalmente cuando se emplean

brocas de metal duro. Estas medidas evitan el desequilibrio de fuerzas radiales que actúan sobre la herramienta de corte en el instante de la apertura del QSD, responsable por ruptura de la broca en este tipo de ensayos experimentales.

## **5. Derechos autorales**

Los autores son los únicos responsables del contenido del material impreso incluido en este trabajo.

## REFERENCIAS

- Dolinšek, S. (2003) Work-hardening in the drilling of austenitic stainless steels. *Journal of Materials Processing Technology*, vol. 133(1-2), 63-70.
- Ellis, J., Kirk, R., e Barrow, G. (1969) The development of a quick-stop device for metal cutting research. *International Journal of Machine Tool Design and Research*, vol. 9(3), 321-339.
- Griffiths, B. (1986) The development of a quick-stop device for use in metal cutting hole manufacturing processes. *International Journal of Machine Tool Design and Research*, Vol. 26(2), 191-203.
- Geels, K. (2007) Metallographic and Materialographic *Specimen Preparation, Light Microscopy, Image Analysis, and Hardness Testing*. Editorial ASTM International, p. 761.
- Luttervelt, C., Childs, T., Jawahir, I., Klocke, F., Venuvidnod, P. (1998) Present Situation and Future Trends in Modelling of Machining Operations Progress Report of the CIRP Working Group Modelling of Machining Operations. *CIRP Annals*, vol. 47, 587-626.
- Karabay, S. (2006) Performance testing of a constructed drilling dynamometer by deriving empirical equations for drill torque and thrust on SAE 1020 steel. *Materials and Design*, vol. 28 (6), 1780-1793.
- Norton, R. (2004) *Projeto de máquinas - uma abordagem integrada*. 2a Edição, Editora Bookman, 936 p.
- Ogliari, A. (2007) Projeto informacional de produtos. Metodologia de projeto em engenharia mecânica. Notas de Aula, Universidade Federal de Santa Catarina, Florianópolis.
- Philip, P. (1971) Study of the performance characteristics of an explosive quick-stop device for freezing cutting action. *International Journal of Machine Tool Design and Research*, vol. 11(2), 133-144.
- Satheesha, M., Jain, V., e Kumar, P. (1990) Design and development of a quick-stop device (QSD). *Precision Engineering*, vol. 12(4), 205-212.
- Schneider, G. (2001) Drills & Drilling Operations. *Revista Tooling & Production*, 67 p.