03-016

# Conceptual design of a portable orthogonal cutting machine

Moisés Batista Ponce; Jesús María Peinado Campelo; Arturo Morgado Estevez; Jorge Salguero Gómez; Mariano Marcos Bárcena

Universidad de Cádiz;

Since prehistory, the technological evolution of the machining industry has been based on the trinomial tool-machine-man. Nowadays, the machine tool industry has been developed towards CNC equipment where human intervention continues to be main. So much so that without this intervention it is not possible to optimize the machining processes.

Traditionally, the initial study of the behavior of materials and the mechanisms of chip formation of a given material has been carried out with simple cutting equipment as close as possible to an orthogonal cut. However, industrial equipment such as shaper machines, ideal for these studies are in disuse or do not allow an exhaustive control of the process, therefore, this paper presents the design of a portable orthogonal cutting machine, which will perform an alternative linear movement, similar to an industrial shaper machine. This machine will have a reduced size so that it can be transported and used both in the laboratory and in the classroom, as support for teaching. Also, this machine has a pivoting tool holder to expand the possibilities of use.

Keywords: Machine-tool; Machinining; Orthogonal Cut

### Diseño conceptual de un equipo portátil de corte ortogonal

Desde la prehistoria, la evolución tecnológica de la industria del mecanizado se ha basado en el trinomio herramienta-máquina-hombre. Hoy en día, la industria de la máquina-herramienta se ha desarrollado hacia equipos CNC donde la intervención humana sigue siendo principal. Tanto es así que sin esta intervención no es posible la optimización de los procesos de mecanizado.

Tradicionalmente, el estudio inicial del comportamiento de los materiales y de los mecanismos de formación de la viruta de un determinado material, se ha llevado a cabo con equipos de corte sencillos lo más próximo posible a un corte ortogonal. Sin embargo, los equipos industriales tales como limadoras o cepilladoras, ideales para estos estudios se encuentran en desuso o no permiten un control exhaustivo del proceso, por ello, en este trabajo se presenta el diseño de una máquina portátil de corte ortogonal, la cual realizará un movimiento lineal alternativo, parecido al de una limadora industrial. Dicha máquina, tendrá un tamaño reducido para que pueda ser transportada y utilizada tanto en laboratorio como en aula, como apoyo a la docencia. Así mismo dispondrá de un portaherramientas pivotante para ampliar las posibilidades de uso.

Palabras clave: Máquina-Herramienta; Mecanizado; Corte ortogonal

Correspondencia: Moisés Batista Ponce: moises.batista@uca.es

Agradecimientos: Este trabajo ha sido desarrollado bajo el soporte económico, científico y técnico del Grupo de Investigación en Ingeniería y Tecnologías de Materiales y Fabricación de la UCA (TEP-027) y de la Junta de Andalucía.



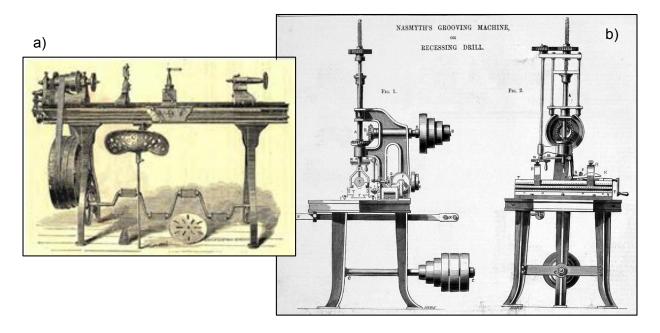
#### 1. Introducción

Desde la prehistoria, la evolución tecnológica de las máquinas-herramienta se ha basado en el binomio herramienta-máquina. Durante siglos, la herramienta fue la prolongación de la mano del hombre hasta la aparición de las primeras máquinas rudimentarias que ayudaron en su utilización. Así, existían máquinas asociadas a la creación de piezas de revolución donde había que utilizar una de las manos, para crear un movimiento de rotación de la pieza, con un funcionamiento similar a los tornos actuales donde con el paso del tiempo se llegó a producir el movimiento de rotación desde pedales, con lo que las manos quedaban libres para trabajar (Figura 1.a). De la misma forma, aparecen equipos similares a los actuales de taladrado o rectificado.

El siglo XVIII fue un periodo en el que el hombre dedicó todos sus esfuerzos a lograr la utilización de una nueva fuente de energía. James Watt concibió su idea de máquina de vapor en 1765 y fruto de ella surge el concepto de máquina-herramienta actual, sin la cual no hubiera sido posible la primera revolución industrial. Estas primeras máquinas-herramienta permitieron utilizar otras fuentes de energía para generar el movimiento necesario para el arranque de material, sin embargo, la estructura de las mismas seguía siendo muy similar. Esto se puede observar en los primeros tornos de Maudslay que datan del 1800.

La necesidad de sustituir el trabajo de cincel y lima, en piezas pequeñas fue la razón que motivó a James Nasmyth en 1836 a diseñar y construir la primera limadora, bautizada con el nombre de "brazo de acero de Nasmyth" (Figura 1.b). Esta fue perfeccionada en 1840 por Whitworth, incorporando un dispositivo automático descendente del carro porta-herramientas.

Figura 1: a) Torno a pedales (McCullagh, 1977). c) Brazo de Acero de Nasmyth o la primera limadora (Nasmyth, 1836).



Desde ese momento las máquinas evolucionaron, mejorando sus prestaciones equipándolas de nuevas herramientas y dotándolas de mayor precisión. Pero manteniendo muchos de los elementos estructurales que las componen. Hasta la segunda y tercera revolución industrial donde el control numérico (CN) se ha impuesto como método de control de las actuales máquinas-herramienta.

Esta definición directamente ligada al desempeño industrial de las máquinas-herramienta. Sin embargo, hoy en día la industria ya tiene la mirada puesta en la cuarta revolución industrial y en las máquinas-herramienta inteligentes multitarea, como ya se apunta en la definición del Comité Europeo de Cooperación de las Industrias de Máquinas-Herramienta (CECIMO) según en cual, se podrían definir las máquinas-herramientas cómo las máquinas no portables, que operadas por una fuente exterior de energía conforman los metales, por arranque de viruta, abrasión, choque, presión, procedimientos eléctricos o una combinación de los anteriores.

Sin embargo, en el contexto actual, donde el desarrollo industrial debe ir directamente ligado a la innovación y por la transferencia de los resultados de investigación es necesario dar un paso atrás y con la tecnología actual estudiar los mecanismos básicos que gobiernan los procesos. Y en base a esto, es necesario desarrollar equipos a escala de laboratorio que permitan estudiar estos mecanismos en condiciones controladas, aunque esto suponga desarrollar máquinas-herramienta portables y que por tanto estarían en la frontera de lo que se puede considerar máquina-herramienta pero que vendrían a dar soporte a la formación básica en ingeniería de fabricación e incluso a la I+D+i.

En este trabajo se propone el diseño de un equipo que permita estudiar los mecanismos de formación de la viruta a escala de laboratorio, por ello se diseñará una máquina que permita realizar un corte ortogonal a una pieza plana y para ello se partirá de unas consideraciones básicas y de una serie de requisitos a los que se les irá dando soluciones hasta establecer el diseño final. Dado que se trata de un diseño conceptual no se descenderá hasta la elección de materiales o simulación dinámica del equipo.

En la actualidad, no existen este tipo de máquinas comercialmente. Distintos fabricantes de equipos de laboratorio y para docencia, como Alecop o Edibon, han desarrollado distintos elementos para la realización de prácticas de taller para formación, pero no existe ningún equipo que permita realizar estas funciones, por lo que se partirá de un equipo industrial real al que se someterá a un proceso de rediseño.

# 2. Requisitos de diseño

Para comenzar, como requisitos indispensables, se debe diseñar una máquina portable, es decir, pequeña y ligera, similar a una máquina-herramienta a escala, que pueda realizar corte ortogonal, es decir, donde la posición del filo de corte sea perpendicular a la velocidad de corte o bien que esta sea controlable. Similar por tanto a una limadora o cepilladora industrial.

Ésta deberá de ser sencilla a la vez que segura, ya que debe ser manejada por distinto tipo de personas y dado que su fin inicial sería utilizarla para docencia y debería poder ser utilizada por alumnos, sin que estos corran peligro de accidentarse al manipularla. A su vez deberá de ser accesible para los cambios de herramienta y también para posibles modificaciones.

Se le intentará dar la mayor versatilidad posible, pensando en una posible aplicación para investigación del mecanizado de diferentes materiales, etc. Por ello, deberá ser una máquina robusta por lo que se buscará crear una estructura estable. Así mismo, y dado que se pretende dar versatilidad, deberá posibilitar la intercambiabilidad de elementos tales como mordazas o motores.

De esta forma se podría decir que:

Se deberá diseñar una estructura que soporte los componentes internos del conjunto. Esta estructura deberá ser de un material lo suficientemente resistente, acorde al tamaño y peso de la máquina, así como a los materiales que se van a mecanizar. Los componentes deberán disponerse de tal forma que las fuerzas que actuarán en la máquina no debiliten dicha estructura. El equipo deberá ser abierto, para que sea accesible visualmente en todo momento.

En la base de la estructura se acoplará una mordaza o cualquier elemento semejante, en la que irá alojada la pieza que se quiera mecanizar. Esta mordaza deberá contar con algún sistema para dar la altura requerida a la pieza. A su vez debe sujetar con firmeza la pieza para que no exista movimiento de la misma en el momento del corte. Se desean mecanizar piezas de 100 mm de longitud y de pequeños espesores (alrededor de 3 mm), que se estima que será suficiente para obtener un fragmento de viruta, por lo que se diseñará una estructura adecuada que permita una carrera de al menos 150 mm y una mordaza que permita la sujeción de esta piezas de esta longitud.

El cabezal de la máquina debe ser capaz de transmitir la velocidad adecuada que le proporciona la transmisión y capaz de soportar la transmisión de los esfuerzos de corte. Deberá ser, por tanto, de un material resistente y dispondrá de un alojamiento para la herramienta, dónde se sujetará firmemente para que no se desplace en ningún sentido durante el corte, y del cual se pueda extraer para intercambiarla en cualquier momento. El cabezal debe acoplarse al sistema de transmisión de la maquinaria. Así mismo se buscará que haya poco voladizo para impedir esfuerzos de torsión.

El sistema de transmisión deberá proporcionar una velocidad al cabezal de tal modo que el movimiento sea lineal, es decir, que no varíe su trayectoria recta en ningún momento, ni que se creen saltos de velocidad en el momento del corte.

En su extremo exterior podrá acoplarse diferentes tipos de motores, según la fuerza que se requiera en el proceso de corte. Las velocidades de corte a seleccionar variarán en función del par motor, por lo que se buscará poder colocar motores y engranajes intercambiables.

En el caso de los sistemas electrónicos requeridos, mínimamente se requiere un sistema de encendido y apagado de la máquina, un sistema de control del motor y unos sensores de seguridad en los extremos del movimiento del cabezal para que el motor pare.

## 3. Diseño preliminar

Con todas estas premisas se conforma un primer diseño. Este diseño previo consta de una estructura metálica compuesta por una base plana de 200x250 mm sobre la que se elevan cuatro pilares en sus esquinas, de 180 mm de altura. Estos pilares soportan cuatro paredes que dan rigidez a la estructura y sostienen a su vez los apoyos del cabezal y la transmisión. El cabezal iría montado sobre dos varillas metálicas lisas de 10 mm de diámetro por donde podría desplazarse horizontalmente y así restar carga de peso al tornillo sinfín, que es el que se enrosca en el centro del cabezal y el cuál le proporciona el movimiento alternativo.

Sobre este tornillo, en uno de sus extremos, se acoplará un sistema de engranajes para poder utilizar distintos motores a través de la unión del eje motriz de este mediante una cadena o correa, lo que le dará versatilidad al sistema. El cabezal dispone de una ranura donde se coloca la herramienta y se fija con dos tornillos prisioneros, similar a un portaherramientas tipo Weldon. Para el agarre de la pieza se utiliza una mordaza.

Gráficamente, se puede observar este diseño en la Figura 2.

Para llegar a un diseño final, se estudiará el diseño propuesto, teniendo en cuenta diversas alternativas para ir añadiendo o modificando la máquina. Se trabajará secuencialmente, centrando el foco de atención en los puntos críticos para conseguir mejores conclusiones en cada parte. De esta forma se ha dividido el equipo en cinco grandes bloques:

- Cabezal: Conjunto Útil-Herramienta
- Sistema de Transmisión
- Sujeción de la pieza
- Electrónica y control
- Estructura

Dentro de cada uno de estos bloques se ha seguido la siguiente metodología de trabajo:

- FASE 1. <u>Búsqueda de soluciones que se usan actualmente en equipos similares</u>: Se buscarán soluciones comerciales, de bajo coste, que se puedan adaptar al proyecto.
- FASE 2. <u>Diseño de soluciones alternativas</u>: En el caso que no se encontrasen soluciones comerciales se diseñarán elementos propios.
- FASE 3. <u>Análisis de las alternativas en función del diseño previo</u>: Se analizarán las alternativas encontradas en función de los requisitos de diseño.
- FASE 4. <u>Simulación de alternativas</u>: Se realizarán simulaciones funcionales, basadas en condiciones geométricas de las distintas soluciones que puedan tomarse acorde a los requisitos establecidos.
- FASE 5. <u>Elección de la mejor solución</u>: Una vez simuladas las opciones se seleccionará la que mejor funcionalidad ofrezca.

Una vez realizado este proceso se han elegido distintas soluciones a los bloques fijados. Estas han sido implementadas en el diseño final.

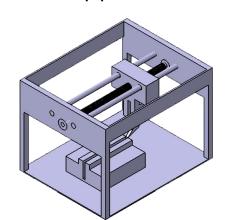


Figura 2: Diseño preliminar del equipo con las consideraciones básicas

## 4. Análisis de Soluciones y Diseño Final

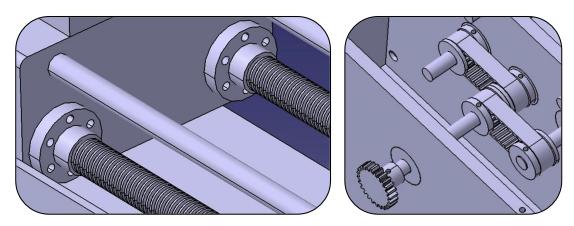
En el diseño final se han agrupado las distintas soluciones obtenidas por separado y que se irán desgranando a continuación.

## 4.1 Sistema de Transmisión

- <u>FASE 1.</u> Para generar el movimiento que se requiere en este equipo, es posible encontrar multitud de elementos que realizan un movimiento lineal alternativo. Desde sistemas basados en mecanismos sencillos como biela-manivela hasta completos mecanismos de transmisión tales como trenes de engranajes, pasando por sistemas de correas o piñones-cremalleras.
- <u>FASE 2.</u> Dado que existen multitud de sistemas comerciales no será necesario diseñar un sistema especial.
- <u>FASE 3.</u> Analizadas las alternativas y viendo la sencillez de implementación, así como la gran cantidad de alternativas que existen en el mercado se ha seleccionado el uso de un tornillo sin fin. Solución que se vienen utilizando en multitud de equipos de sobremesa en la actualidad.
- <u>FASE 4.</u> Para garantizar perpendicularidad del desplazamiento se ubicarán en los extremos del cabezal, sendas varillas lineales sobre las que deslizarán rodamientos lineales. Además de esto se ubicarán dos tornillos sin fin que transmitirán el movimiento del motor (Figura 3).

<u>FASE 5.</u> Del modelado y simulación se desprende que el sistema diseñado permitiría el movimiento con garantías.

Figura 3: Sistema de Transmisión seleccionado tras el análisis



# 4.2 Cabezal: Conjunto útil-herramienta

<u>FASE 1.</u> De entre las posibilidades estudiadas, se ha visto que no existe comercialmente ningún tipo de portaherramienta o útil que pudiera utilizarse para el fin descrito, por ello se opta por el diseño completo del útil.

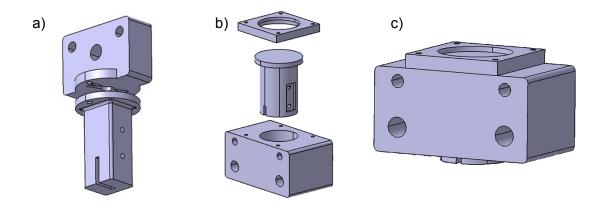
<u>FASE 2.</u> Dado que el diseño pretende ser versátil se ha diseñado un útil que permita modificar el ángulo de inclinación del filo ( $\lambda$ ) en unas posiciones prefijadas, permitiendo por tanto estudiar el corte ortogonal como caso especial del corte oblicuo con  $\lambda=0^{\circ}$ .

<u>FASE 3.</u> Se ha modelado el útil (Figura 4.a) pero dado que se ha modificado el sistema de transmisión se deberá adaptar el cabezal del portaherramientas.

<u>FASE 4.</u> Para adaptar el cabezal al nuevo sistema de transmisión, se ha diseñado el cabezal en dos partes, un cuerpo con un hueco cilíndrico donde se aloja el cilindro porta-herramienta que es fijado mediante una tapa que dispondrá de una regla graduada (Figura 4.b). Esto además permitirá seleccionar cualquier  $\lambda$ .

<u>FASE 5.</u> Seleccionando esta última alternativa, se mejora el sistema de transmisión y la versatilidad del conjunto.

Figura 4: a) Cabezal versión previa. b) Cabezal versión definitiva, descomposición del conjunto. c) Cabezal versión definitiva ensamblado



## 4.3 Sujeción de la pieza

Para la sujeción de la pieza no será necesario diseñar un elemento propio ya que existen múltiples mordazas comerciales que podrían cumplir esta función.

### 4.4 Estructura

<u>FASE 1.</u> Los equipos industriales están compuestos por bancadas robustas. Para este caso se diseñará una estructura que cumpla tenga un espacio interior adecuado y que de robustez al sistema.

<u>FASE 2.</u> La estructura sencilla descrita en el diseño previo, evolucionará conforme han ido desarrollándose los componentes internos, comentados en los apartados anteriores. Principalmente el sistema de transmisión y la forma del cabezal son los que han determinado en mayor medida la forma general de la estructura, por la situación de los apoyos y soportes necesarios.

<u>FASE 3.</u> En la parte inferior, en la base de la estructura, se fijaría la mordaza elegida, de tal forma que pueda sujetar bien la pieza, el motor, que se debería poder intercambiar en cualquier momento y por último los componentes electrónicos, que deberían alojar en un compartimento para protegerlos de golpes. Así mismo, sobre esta base se sustentarían los pilares, que soportarían las paredes superiores de la máquina, dos paredes completas que albergan los alojamientos de rodamientos y varillas del útil. Estas paredes se apoyan en dos pilares cada una, y con ellas se le da mayor fuerza a la estructura sin tapar la visión de lo que ocurre dentro. En la zona baja de una de las paredes se realizará un hueco para poder pasar el cableado necesario de un lugar a otro.

FASE 4. En la Figura 5 aparece el modelado de la estructura tras las modificaciones.

<u>FASE 5.</u> Siguiendo las premisas establecidas en las fases previas, se ubican unas guías que permitirían el asentamiento del motor seleccionado, así como una fácil conexión al eje central de la transmisión. De la misma forma, previo al motor, se ha diseñado un espacio para el sistema electrónico y los ejes y poleas de transmisión. Estas paredes irán cerradas superiormente y con un sistema de ventilación.

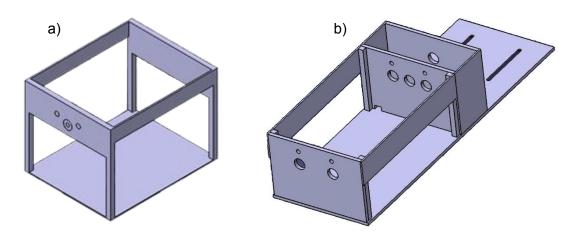


Figura 5: Estructura propuesta para el diseño final

## 4.5 Electrónica y control

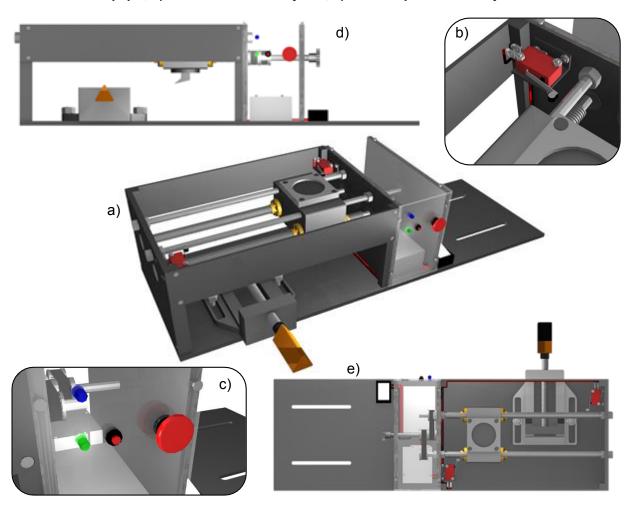
Como ya se ha comentado, actualmente el control de los procesos en máquinas de fabricación se realiza a través del control numérico, sin embargo, ya existen soluciones libres, de código abierto, que permiten implementar sistemas que realizan las funciones básicas de un control

numérico. Estas soluciones están basadas en las plataformas de programación Arduino, como puede ser, por ejemplo, el firmware GRBL creado por Simen Svale Skogsrud para Arduino en 2009 y cuyo desarrollo ha sido espectacular desde su creación (Wiki GRBL). El sistema de Arduino es fácil de usar para los principiantes, pero lo suficientemente flexible para los usuarios avanzados, por ello a pesar de la gran cantidad de microcontrolladores disponibles se ha seleccionado el sistema Arduino. En este caso se implementará un control basado en esta plataforma, pero dado que el equipo solo requerirá de un movimiento alternativo, no será necesario el uso de este firmware, sin embargo, se podría implementar con facilidad si fuera necesario en el futuro.

## 4.6 Conjunto Final

Una vez realizado el análisis y diseño de cada uno de los bloques por separado, se ha realizado una simulación final del conjunto una vez ensamblado. El resultado es el que aparece en la Figura 6.

Figura 6: a) Conjunto final ensamblado; b) Fines de Carrera; c) Detalle del Panel de Control del equipo; d) Vista lateral del conjunto; e) Vista en planta del conjunto



Como consideraciones finales, decir que se ha ubicado todo el cableado convenientemente para que no influya en el desarrollo del equipo. Además, para la parte electrónica, se ha ubicado unos fines de carrera mecánicos que junto con un sencillo panel de control serviría para el manejo del equipo, así mismo, se ha colocado un botón de Parada de Emergencia como medida de seguridad. (Figura 6 a,b)

#### 5. Conclusiones

Las máquina-herramienta están en continuo desarrollo pero hoy en día se ve necesario el desarrollo de equipos portátiles que permitan estudiar los parámetros básicos del proceso de corte y de la formación de viruta.

Por ello se ha diseñado un equipo portátil de corte ortogonal para la realización de ensayos básicos de formación de la viruta. Se ha buscado además el diseño un útil que permitirá controlar el ángulo de posición del filo.

Se ha discretizado el equipo en cinco bloques fundamentales, se han analizado cada uno por separado y se han buscado las mejores soluciones para cada uno de ello. Se ha completado el proceso con una simulación funcional del equipo basado en condiciones geométricas.

Para el sistema de desplazamiento se utilizará un conjunto de tornillo sin fin unido mediante un sistema de engranajes al motor, que se ubicará en la parte trasera del equipo y que mediante un sistema de correas permitirá en intercambio del motor, si fuera necesario utilizar varios con distinta potencia.

Para el anclaje de la pieza se utilizará una solución comercial y para el sistema de control un sistema básico realizado sobre la plataforma Arduino y que estará preparado para la implementación de un CN de código libre si fuera necesario en el futuro.

Así mismo se han implementado fines de carrera para el control de desplazamientos y un panel de control con un botón de seguridad.

En conjunto, se ha diseñado un equipo robusto pero portable que además permitirá realizar corte ortogonal así como corte oblicuo con un sistema de control sencillo y con un sistema de transmisión que permite el uso de diferentes motores en función de las necesidades del proceso.

#### 6. Referencias

McCullagh J.C. (1977). Pedal Power: In Work, Leisure and Transportation. Rodale Press. US Grace's Guide to British Industrial History [Internet]. [Consultado en Abril de 2017]. Disponible en: <a href="http://www.gracesquide.co.uk/">http://www.gracesquide.co.uk/</a>

Alecop Group [Internet] [Consultado en Abril de 2017]. Disponible en: http://www.alecop.com/Edibon. Engineering and Technical Teaching Equipment. [Internet] [Consultado en Abril de 2017]. Disponible en: http://www.edibon.com/es/

GRBL. Motion control for machines that make things [Internet] [Consultado en Abril de 2017]. Disponible en: <a href="http://bengler.no/grbl">http://bengler.no/grbl</a>

Grbl wiki [Internet] [Consultado en Abril de 2017]. Disponible en <a href="https://github.com/gnea/grbl/wiki">https://github.com/gnea/grbl/wiki</a>

Comité Europeo de Cooperación de las Industrias de Máquinas-Herramienta (CECIMO)