



**DISEÑO DE PORTAHERRAMIENTAS PARA MECANIZADO EN
TORNO CNC MEDIANTE LA REUTILIZACIÓN DE FRESAS DE
TUNGSTENO**

2

JUAN CAMILO RAMIREZ QUINTERO

**INSTITUCIÓN UNIVERSITARIA PASCUAL BRAVO
FACULTAD DE INGENIERÍA
TECNOLOGÍA EN MECÁNICA INDUSTRIAL
MEDELLÍN
2021**

**DISEÑO DE PORTAHERRAMIENTAS PARA MECANIZADO EN
TORNO CNC MEDIANTE LA REUTILIZACIÓN DE FRESAS DE
TUNGSTENO**

3

JUAN CAMILO RAMIREZ QUINTERO

Trabajo de grado para optar al título de Tecnólogo en Mecánica Industrial

Asesor (es)

Ing. Oscar León Mejía López M.Eng.

**INSTITUCIÓN UNIVERSITARIA PASCUAL BRAVO
FACULTAD DE INGENIERÍA
TECNOLOGÍA EN MECÁNICA INDUSTRIAL
MEDELLÍN
2021**

CONTENIDO

4

Resumen.....	6
Abstract.....	7
Listado de Ilustraciones	8
Glosario.....	10
Introducción	12
1. Justificación y problema de investigación	13
2. OBJETIVOS	15
2.1. Objetivo General.....	15
2.2. Objetivos específicos	15
3. MARCO TEÓRICO Y ESTADO DEL ARTE.....	16
3.1. MÁQUINAS HERRAMIENTAS CNC	16
3.2. AFILADORA UNIVERSAL.....	17
3.3. DISEÑOS DE PORTAHERRAMIENTAS EN MÁQUINAS HERRAMIENTAS.....	20
3.4. PORTAHERRAMIENTAS CNC.....	21
3.5. TIPOS DE PORTAHERRAMIENTAS.....	22
3.6. HERRAMIENTAS DE CORTE.....	25
4. RESULTADOS Y ANALISIS	31
4.1. DISEÑO DE PORTA HERRAMIENTA	31
4.2. DISEÑO DE LA HERRAMIENTA DE CORTE:.....	42
4.3. REUTILIZACIÓN DE FRESAS DE TUNGSTENO.....	45
5. ENSAMBLE Y RESULTADOS DEL DISEÑO DEL PROYECTO.....	49

6. CONCLUSIONES	515
12. BIBLIOGRAFIA	52
Anexos	55

La elección del tema expuesto tuvo como causa en el interés de solucionar un problema tecnológico que se presentaba diariamente en la empresa SEALCO S.A. Con lo cual se busca mejorar una condición actual en un proceso metalmecánico, mejorando eficiencia, reduciendo costos y aumentando la seguridad laboral; que

El trabajo dio paso a asimilar y conocer cómo se ejecuta un proyecto de investigación y su respectiva metodología, para en un futuro tener una mejor noción a la hora de realizar una indagación de un problema teniendo certeza de pasos a seguir para solucionar dicha incógnita; El problema planteado en el trabajo radica en que para hacer una operación de ranurado interior de difícil acceso, es necesario contar con una herramienta de corte con un ángulo y arreglo especial para que se pueda efectuar un correcto mecanizado, ésta tarea se lleva a cabo por un operario y éste como es bien sabido influye directamente en el acabado final de la misma, con esto se quiere dar a entender que el factor humano, bien sea una medición, un alineamiento de la pieza antes de maquinarse pueden ser determinísticos a la hora de querer una precisión y producción en masa.

Al hacer un estudio de la literatura, sobre los temas relacionados con el estado del arte y el marco teórico e identificar los últimos desarrollos, se pudo definir de mejor manera el alcance y la metodología para solucionar el problema planteado.

En este sentido, se propone por medio de herramientas de software CAD/CAM diseñar un porta herramienta que facilite un ranurado interior de difícil acceso, que ayude a mejorar dicha ejecución tanto el montaje como el mecanizado de una forma más práctica y efectiva; Adaptando un porta herramientas que genere como resultado final la automatización con un proceso de mecanizado CNC y que permita reciclar o reutilizar fresas de tungsteno para fabricar los insertos o herramientas de corte, afilando dicho objeto en una afiladora universal, renovando la vida útil a la herramienta que iba a ser desechada; y teniendo ventajas claras en la disminución de suministros, costos y seguridad laboral, optimizando procesos de eficiencia, precisión y productividad al eliminar el carácter manual en la finalización de piezas.

Finalmente, aunque se logró el diseño del portaherramientas y definir la metodología para fabricar la herramienta de corte, para usar en un sistema de mecanizado CNC de zonas de difícil acceso, finalmente no se logró cumplir uno de los objetivos específicos; el de fabricar un prototipo de portaherramientas y de herramienta de corte, debido a problemas externos como lo fue la presente pandemia de la COVID-19 la cual genero dificultades para el ingreso a los laboratorios DIPMA y de Metalografía de la institución.

The choice of the exposed topic had a determinant cause in the interest of solving a technological problem where it seeks to improve a current condition in a metal-mechanical process, improving efficiency, costs and labor safety; characterizing daily work patterns, which occurred daily in the company SEALCO SA.

The work gave way to assimilate and know how a research project is executed and its respective methodology, in order to have in the future a better notion at the time of carrying out an investigation of a problem having certainty of the steps to follow to solve such unknown; The problem posed in the work lies in that to be able to make an interior grooving of difficult access, it is necessary to have a cutting tool with a special angle and arrangement so that a correct machining can be carried out, this task is carried out by an operator and this as it is well known influences directly in the final finish of the same one, with this it is wanted to give to understand that the human factor, either a measurement, an alignment of the piece before being machined can be deterministic at the time of wanting a precision and mass production.

By conducting a literature review on the issues related to the state of the art and the theoretical framework and current developments, it was possible to better define the scope and methodology to solve the research problem.

In this sense, it is proposed by means of CAD/CAM software tools to design a tool holder that facilitates an interior grooving of difficult access, which helps to improve the execution of both assembly and machining in a more practical and effective way; Adapting a tool holder that generates as a final result the automation with a CNC machining process and that allows to recycle or reuse tungsten cutters to manufacture the inserts or cutting tools, sharpening this object in a universal sharpening machine, renewing the useful life to the tool that was going to be discarded; and having clear advantages in the decrease of supplies, costs and labor safety, optimizing efficiency, precision and productivity processes by eliminating the manual character in the completion of parts.

Finally, although the design of the tool holder was achieved and the methodology to manufacture the cutting tool was defined, for use in a CNC machining system in difficult access areas, finally one of the specific objectives was not achieved; that of manufacturing a prototype tool holder and cutting tool, due to external problems such as the current pandemic of COVID-19, which generated difficulties for the entrance to the DIPMA and Materialography laboratories of the institution.

Ilustración 1 Máquinas CNC

Ilustración 2. Maquina afiladora Universal.

Ilustración 3 Diferentes fresas de carburo de tungsteno usadas en procesos de taladrado o fresado. Al final de su vida útil o cuando se pierde el filo, se pueden re-afilar.

Ilustración 4 Torres Porta herramientas (Gómez, 2006)

Ilustración 5 Porta herramientas para mecanizados interiores (Gómez, 2006)

Ilustración 6 Portaherramientas para brocas (Gómez, 2006)

Ilustración 1 Tipos de Mecanizado en el torno (Galbarro, 2018)

Ilustración 2 Portaherramientas CNC (Conos y elementos porta herramientas CNC, s. f.)

Ilustración 3 Porta Machos de Cambio Rápido (Portaherramientas CNC, ¿qué son y cuáles tipos diferentes existen?, 2021)

Ilustración 4 Cono Porta Herramientas (Vivar, s. f.)

Ilustración 5 Conos ISO (Vivar, s. f.)

Ilustración 12 Cono CAT (HAIMER_Portaherramientas .pdf, s. f.)

Ilustración 13 Cono BT (Vivar, s. f.)

Ilustración 6 Cono HSK (Vivar, s. f.)

Ilustración 15 Herramientas de corte Imagen libre

Ilustración 16 Ángulo de corte en la herramienta (Gerling, 1997)

Ilustración 17 Representación de los ángulos al cortar (Gerling, 1997)

Ilustración 18 Comprobación de Afilado (Gerling, 1997)

Ilustración 19 a) Elementos; b) Escalonada; c) Fluida Continua Espiral; d) Fluida Continua ;e) Fraccionada (Gerling, 1997)

Ilustración 20 Prototipo de Portaherramientas. Autoría propia

Ilustración 21 Plano de Fabricación porta herramienta.

Ilustración 22 Estudio estático preliminar Autoría Propia

Ilustración 23 Estudio dinámico aplicando fuerzas sobre el porta herramienta preliminar Autoría Propia

Ilustración 7 Esquema de un tratamiento térmico (Tratamientos térmicos de los metales •, s. f.)

Ilustración 8 Esquema del proceso de temple y revenido (Tratamientos térmicos de los metales •, s. f.)

Ilustración 9 Formaciones a partir de la Austenita según su enfriamiento (Tratamientos térmicos de los metales •, s. f.)

Ilustración 10 Diagrama Esfuerzo Deformación Bajo tratamientos térmicos (Garzón Torres et al., 2016)

Ilustración 11 Esfuerzo Máximo para cada caso (Garzón Torres et al., 2016)

Ilustración 12 Microestructura del acero AISI 1045 estado de entrega (Garzón Torres et al., 2016)

Ilustración 13 Microestructura del acero AISI 1045 Templado a 760°C por 30 minutos (Garzón Torres et al., 2016)

Ilustración 14 Estructura Acero AISI 1045 Revenido por 10 minutos (Garzón Torres et al., 2016)

Ilustración 15 Estructura Acero AISI 1045 Revenido por 20 minutos (Garzón Torres et al., 2016)

Ilustración 16 Estructura Acero AISI 1045 Revenido por 30 minutos (Garzón Torres et al., 2016)

Ilustración 17 Valores de dureza de los diferentes tratamientos (Garzón Torres et al., 2016)

Ilustración 35 Esbozo de herramienta de referencia (Mini Shaft – Inserts, n.d.)

Ilustración 36 inserto herramienta de corte Axioma Group S.A.S. (s. f.). Seco Tools, LLC.

Ilustración 37 Estudio dinámico con desplazamiento de 5mm de la herramienta de corte preliminar Autoría Propia

Ilustración 38 Estudio estático aplicando fuerzas sobre la herramienta de corte preliminar Autoría Propia

Ilustración 39 Plano de Fabricación herramienta de corte.

Ilustración 40 Grafico eficiencia de herramienta de corte (economía en el maquinado para la industria metalmecánica. coronado marin, john jairo. estud.gerenc. [online]. 2005)

Ilustración 41 parámetros generales fresa de tungsteno mercado actual (Tools, S. (s. f.). ES Solid-End-Mills-2020.1—Page 6. Secotools)

Ilustración 42 parámetros de afilado fresa de tungsteno (Servicio Nacional de Aprendizaje (SENA). (2014, 16 marzo). Afilado fresas (todo tipo) en afiladora universal de herramientas.)

Ilustración 43 Plano de Ensamble Porta Herramienta y herramienta de corte.

Ilustración 44 Ensamble Portaherramientas CAD/CAM Autoría propia

Glosario

- **Proceso de Mecanizado y tipos:**

El mecanizado como proceso de extracción de material; Se define el mecanizado como la eliminación de materiales no deseados en una pieza semielaborada destinada a la fabricación (como una barra, un tubo o una lámina fabricada a partir de forja o moldeo, entre otros) y darle la forma y el tamaño deseados, para diferenciar este proceso de los que implican la adición de material, como las soldaduras, y hacen hincapié en que está eliminación o adicción se hace de forma controlada, es decir, a través de máquinas herramienta. Son estas máquinas herramienta las que definen los tipos de mecanizado existentes, que son sustancialmente los mismos que muchos años atrás, ya que las herramientas tradicionales son sustancialmente las mismas y las trayectorias en segmentos de línea y arcos de círculos no han variado, Estos tipos de mecanizado se clasifican en tres grandes grupos:

- **Torno CNC y sus características:**

El torno CNC es un tipo de máquina herramienta que realiza procesos de mecanizado mediante un control numérico por computadora. Un equipo ideal para el trabajo en serie y para el mecanizado de piezas complejas y de alta precisión.

Para su funcionamiento, los tornos CNC disponen de tres ejes de referencia: Z, X, Y. El primero es el que realiza el desplazamiento longitudinal de la herramienta y se encarga de las operaciones de cilindrado, mientras que el segundo, ejecuta el movimiento transversal de la herramienta y mecaniza el extremo de la pieza en el plano perpendicular al eje de giro, operación que se denomina refrentado o fronteadado. Por último está el eje Y que se desplaza a la altura de las herramientas y trabaja la pieza desde su parte inferior o superior. Cada eje puede desplazarse de forma simultánea para realizar mecanizados cónicos y esféricos, de acuerdo a la geometría de la pieza a trabajar.

- **Insertos de corte:**

Los insertos de corte o también llamados plaquitas intercambiables se encuentran en el rubro de herramientas de corte, específicamente compuestas de material Carburo (de tungsteno, de titanio, de tántalo, de niobio) o metal duro.

En el proceso de corte hay factores que influyen decisivamente como el material o estado de la herramienta o la susceptibilidad al desgaste; Si bien sabemos que existen diversos tipos de material para elaborar herramientas de corte, los insertos de carburo son una evolución en la tecnología del metal, se desenvuelven con gran dureza dentro de un amplio

margen de temperaturas y al ser piezas individuales de corte con varias puntas¹¹ disminuyen la operación de cambio de herramienta optimizando el trabajo. Los parámetros de clasificación de insertos de corte se pueden realizar dependiendo de su forma o de la conformación de material

- **Porta herramienta:**

Un portaherramientas es un dispositivo de sujeción de la herramienta de corte de una máquina herramienta. Hay muchas herramientas de corte diferentes en cuanto a forma y tamaño. El tipo de portaherramientas debe ser elegido en función de la máquina y de la herramienta a utilizar. En las máquinas modernas de control numérico por computadora (CNC), la elección de un portaherramientas adecuado es importante para asegurar un mecanizado preciso con productividad; Los tornos de gran productividad utilizan portaherramientas de plaquitas intercambiables de metal duro que se atornillan al portaherramientas. Los tornos más artesanales utilizan herramientas enterizas con plaquitas de metal duro soldadas.

- **O'rings o junta tórica de Empaque de aislamiento:**

Una junta tórica, también conocida como empaquetadura o junta tórica, es una junta mecánica en forma de toro; es un bucle de elastómero con una sección transversal redonda, diseñado para asentarse en una ranura y comprimirse durante el ensamblaje entre dos o más piezas, creando un sello en la interfaz.

- **Software CAD/CAM:**

Ambas siglas provienen de su denominación en inglés. Para diseñar usaremos el C.A.D. (Computer Aided Design), mientras que para la fabricación se emplea el C.A.M. (Computer Aided Manufacturing).

El diseño y fabricación con ayuda del computador, comúnmente llamado CAD/CAM, es una tecnología que podría descomponerse en numerosas disciplinas pero que normalmente, abarca el diseño gráfico, el manejo de bases de datos para el diseño y la fabricación, control numérico de máquinas herramientas, robótica y visión computarizadas; Históricamente los CAD comenzaron como una ingeniería tecnológica computarizada, mientras los CAM eran una tecnología semiautomática para el control de máquinas de forma numérica. Pero estas dos disciplinas se han ido mezclando gradualmente hasta conseguir una tecnología suma de las dos, de tal forma que los sistemas CAD/CAM son considerados, hoy día, como una disciplina única identificable.

La producción metal-mecánica está en constante cambio, mejoramiento y requiere de la aplicación de conceptos tanto teóricos como prácticos para identificar una problemática u oportunidad de mejora en los procesos productivos; por lo tanto, y a raíz de la observación del desperdicio, costo, tiempo de manufactura que se presenta en un proceso de manufactura como el mecanizado de en una línea de producción, se pudo evidenciar que las fresas de corte de tungsteno, podrían tener una disposición final diferente al reutilizarlas con una respectiva adecuación por medio de un portaherramientas que permita una mejor aplicación gracias a sus características, incluyendo en dichos procesos el mejoramiento del porta herramienta, que en este caso se pueda usar en un torno CNCN, ya que el error humano es un factor determinante para la realización de piezas que requieren una zona de difícil acceso y mucha precisión en sus parámetros de fabricación.

Como eje fundamental del presente trabajo es el uso de software CAD/CAM, en el diseño, los estudios y las características requeridas para la elaboración de un porta herramienta para reutilizar fresas de tungsteno desechadas en otras operaciones de mecanizado, que se pueda usar en el caso de un ranurado interno de precisión para ubicación de O'rings o Empaques de aislamiento en sistemas de sellos mecánicos. En este sentido, se plantea finalmente poder sustituir los insertos de corte que tienen un gran costo porque se deben importar y que son de difícil consecución en nuestro país y a la vez, pasar de una operación manual a una operación automatizada por medio de una maquina CNC.

El problema planteado radica en que para poder hacer un ranurado interior de difícil acceso se necesita de una pieza de corte con un ángulo y arreglo especial para que se pueda efectuar un correcto mecanizado, ésta tarea se lleva a cabo principalmente con procesos de mecanizado convencional, que involucran como factor primordial al operario y éste como es bien sabido influye directamente en el acabado final de la misma, con esto se quiere dar a entender que el factor humano, bien sea una medición, un alineamiento de la pieza antes de maquinarse, influye de manera directa en la producción en masa, la respetabilidad y finalmente la calidad de la pieza. Este portaherramientas, usado en un torno CNC, permitiría superar los problemas de fabricación en serie, precisión, acabado, etc.

Podemos especificar como un ranurado interior de difícil acceso, a aquellas piezas en las cuales se necesita un mecanizado en una posición en la cual las máquinas existentes no tienen acceso, por lo general las piezas que son mecanizadas de esta forma son los sellos mecánicos, ejes y cavidades de precisión.

El presente trabajo presenta una propuesta de un portaherramientas que se pueda usar en una máquina CNC y que permita la reutilización de fresas de carburo de tungsteno. Este trabajo describe el planteamiento y especificación del problema, el diseño de la herramienta, la selección de materiales, necesarios para llegar a su fabricación. Se debe mencionar que, debido a los problemas presentados con motivo de la pandemia, la Covid-19, no fue posible llegar a la etapa de fabricación y pruebas del prototipo desarrollado. En este sentido, el alcance de este trabajo se terminó definiendo hasta la etapa de diseño conceptual y detalle del porta herramienta.

Actualmente, a pesar de la introducción de tecnologías avanzadas en procesos de conformación por arranque de viruta como lo son las máquinas herramientas CNC, existen algunos vacíos y problemas que se presentan en la industria local de la ciudad y la región. Particularmente, se ha encontrado que para la fabricación de algunas geometrías complejas en piezas como el caso de sistemas de sellos mecánicos que involucran geometrías internas de difícil acceso, gran parte de estos elementos son fabricados de manera manual con máquinas convencionales. Esto lleva consigo una serie de desventajas como la falta de homogeneidad a la hora de fabricar piezas en serie, mayores tiempos y por ende mayores costos de producción y finalmente una menor calidad de los productos o piezas fabricados.

A la hora de implementar un mecanizado CNC de este tipo de piezas, se tiene como inconveniente que no se consigue en nuestro país herramientas de corte para estas operaciones y geometrías, así como los aditamentos, en este caso un portaherramientas. De esta manera, se puede afirmar que se están desperdiciando en algunas empresas las ventajas que brindaría poder ejecutar estas operaciones con máquinas herramientas CNC, donde se debe mencionar también, la posibilidad de modelar y diseñar a través de software CAD /CAM, lo cual implica disminución de tiempo y aumento de la calidad.

Las máquinas y herramientas de Control Numérico Computarizado CNC ofrecen gran cantidad de ventajas como, mayor precisión, mayor uniformidad, mejor calidad de productos, facilidad para fabricar grandes volúmenes de piezas con geometrías complicadas y mayores índices de seguridad del personal.

Como elemento fundamental a parte de la máquina herramienta, aparecen en los procesos de mecanizado las herramientas de corte y sus aditamentos, aunque en el mercado actual colombiano se tiene relativamente una amplia gama de herramientas de corte e insertos para el mecanizado de piezas, se presentan limitantes y desventajas muy evidentes al momento de ejecutar operaciones en superficies internas con diámetros pequeños, ranurados de precisión en ubicaciones de difícil acceso, así como un costoso y demorado proceso de importación de estos productos; en este sentido, se propone en este trabajo, por una parte diseñar un portaherramientas que permita dar el paso de usar máquinas herramientas convencionales (torno) a máquinas CNC, para elaborar ranuras internas para sellos mecánicos, con las desventajas de falta de precisión, aumento de los tiempos de labor, falta de uniformidad al fabricar piezas en serie, etc. Por otra parte, con este trabajo se pretende, que dicho portaherramientas permita reutilizar fresas de tungsteno al final de su vida útil (ya descartadas en otros procesos de mecanizado como el fresado), las cuales aún poseen material y superficie de corte que permite mediante un proceso de afilado, obtener una nueva herramienta de corte con sus respectivas dimensiones y filos según la necesidad, permitiendo así, la disminución de suministros que se utilizan en gran cantidad, optimizando procesos de eficiencia, precisión.

Se procura a mediano plazo, y en la medida que se retomen las actividades presenciales en la institución, fabricar una herramienta para el laboratorio DIPMA, diseñada para la reutilización de

fresas desgastadas, cuyos costos de construcción, mantenimiento y ejecución sean menores que¹⁴ los que actualmente se encuentran en el mercado.

No obstante, por motivos externos, debido a la situación actual del país con la actual pandemia de la COVID-19, no se logró fabricar el porta-herramienta y concluir uno de los objetivos de este TDG.

2.1. Objetivo General

Diseñar un prototipo de portaherramientas CNC para el mecanizado de zonas de difícil acceso, adaptando y reutilizando fresas de tungsteno como herramienta de corte.

2.2. Objetivos específicos

- Diseñar mediante herramientas CAD/CAM un prototipo de porta herramienta CNC para realizar geometrías internas en sistemas de sellos mecánicos.
- Seleccionar bajo normas y estándares industriales, el material óptimo para la fabricación del prototipo de porta herramienta.
- Diseñar mediante herramientas CAD/CAM una herramienta de corte utilizando fresas de tungsteno.
- Evaluar la posibilidad de reutilizar fresas de tungsteno como herramientas de corte para el mecanizado de zonas de difícil acceso, para sellos mecánicos con ajustes de alta precisión, mediante la fabricación del prototipo de porta herramienta desarrollado.

3.1.MÁQUINAS HERRAMIENTAS CNC

Podemos definir una máquina CNC (“Control Numérico por computadora”) como un dispositivo electromecánico el cual, mediante programación de computadora, usando un software se modelar las operaciones de mecanizado y la manipulan las herramientas de una máquina, a fin de poder crear prototipos a partir de diseños, éstos con una precisión aún mayor a la obtenida por un operario mediante mecanizado manual.



a) Centro de mecanizado 5 ejes +(I.U. Pascual Bravo)



b) Torno vertical CNC

Ilustración 1 Máquinas CNC

La máquina CNC asume el diseño del usuario como una serie de pasos a seguir hasta tener la geometría requerida por el mismo, la productividad se ve considerablemente aumentada al tener automatizado los procesos de desprendimiento de viruta (manipulación de herramientas, desplazamientos en el espacio), dichos procesos requieren de distintos tipos de herramientas para obtener las geometrías deseadas. Las máquinas CNC básicas, pueden mover uno o dos ejes, mientras que las más avanzadas tienen la capacidad del movimiento lateral en los ejes X y Y, a lo largo del eje Z, las que dispongan de diferentes tipos de ejes poseen la capacidad de hacer girar la pieza lo que implica una ventaja ya que el usuario no tiene que eliminar el material que quede por la parte posterior de la pieza (Salvador, 2020)

El torno CNC particularmente, es un tipo de máquina herramienta que realiza procesos de mecanizado por revolución mediante un control numérico. Un equipo ideal para el trabajo en serie y para el mecanizado de piezas complejas y de alta precisión.

Al igual que el convencional, un torno CNC es un equipo de trabajo que permite manufacturar piezas de distintos materiales como el acero, el hierro y el bronce, entre otros, la diferencia con el primero radica en que la máquina de control numérico tiene una gran capacidad para producir piezas en serie con alta precisión debido, principalmente, a que todos los valores de maquinado están guiados por el control o computadora que lleva incorporado, cuya función específica es procesar las órdenes contenidas en un software que previamente ha sido programado por un experto; de hecho, debido a que el control es el que comanda el proceso de mecanizado en los tornos CNC, estos equipos permiten al fabricante una altísima repetitividad de fabricación entre una pieza y la siguiente, es decir están en la capacidad de producir grandes volúmenes de partes idénticas, mientras que en las máquinas manuales, esta función depende en gran medida de la pericia, la visión e incluso del estado anímico y físico del operario; Adicionalmente los tornos CNC poseen dispositivos automáticos, generalmente hidráulicos o neumáticos, que le permiten al operario obtener procesos productivos eficientes. Por ejemplo, mientras que el paso de montar la pieza que se va a mecanizar en una máquina de control numérico puede tardar segundos, en los tornos convencionales, se demora en promedio dos minutos, lo que tarda el operario en sujetar la pieza manualmente.

Para su funcionamiento, los tornos CNC pueden llegar a disponer de movimiento controlado automáticamente en tres ejes de referencia: Z, X, Y. El primero es el que realiza el desplazamiento longitudinal de la herramienta y se encarga de las operaciones de cilindrado, mientras que el segundo, ejecuta el movimiento transversal de la herramienta y mecaniza el extremo de la pieza en el plano perpendicular al eje de giro, operación que se denomina refrentado o frontado. Por último, está el eje Y que se desplaza a la altura de las herramientas y trabaja la pieza desde su parte inferior o superior. Cada eje puede desplazarse de forma simultánea para realizar mecanizados cónicos y esféricos, de acuerdo a la geometría de la pieza a trabajar. *(Castro Patiño, L. F. (2015, 3 noviembre). Torno CNC: Programar bien es Tornear bien. metal actual)*

3.2.AFILADORA UNIVERSAL

Otro proceso de mecanizado que es necesario profundizar en este trabajo es el afilado, el cual se lleva a cabo mediante una máquina afiladora de herramientas universal que constituye una familia amplia y diversa de máquinas-herramienta cuya función fundamental es el afilado de herramientas de corte y rectificado o acabado final de piezas metálicas mediante abrasión. Los modelos de afiladora de herramientas universal difieren de forma considerable en lo que a sus dimensiones respecta pero todas comparten los mismos principios mecánicos en cuanto a su funcionamiento. Dispuestas en una bancada o un gran bastidor las piezas a procesar son sometidas a abrasión mediante muelas de diverso formato calibre y propiedades físicas. Estas máquinas no arrancan virutas sino que aplican un intenso rozamiento abrasivo, ver Ilustración 2.



Ilustración 2. Máquina afiladora Universal.

La forma constructiva de las fresas de acero rápido o de carburo de tungsteno permite que cuando los filos de corte están desgastados puedan ser afilados nuevamente mediante unas máquinas de afilar diseñadas para esta tarea. Hay un tipo de máquina, denominada afiladora universal, que, con los accesorios adecuados y las muelas adecuadas, permite realizar el afilado de brocas, escariadores y fresas frontales y cilíndricas mediante el rectificado con discos de esmeril.

El principal movimiento de la herramienta es el giro sobre su eje. En algunas fresadoras también se puede variar la inclinación de la herramienta o incluso prolongar su posición a lo largo de su eje de giro. En las fresadoras de puente móvil, todos los movimientos los realiza la herramienta mientras la pieza permanece inmóvil.

Movimientos de la mesa

- La mesa de trabajo se puede desplazar de forma manual o automática con velocidades de avance de mecanizado o con velocidades de avance rápido en vacío. Para ello, cuenta con una caja de avances expresados de mm/minuto, donde se puede seleccionar el avance de trabajo adecuado a las condiciones tecnológicas del mecanizado.
- Movimiento longitudinal: según el eje X, que corresponde habitualmente al movimiento de trabajo. Para facilitar la sujeción de las piezas, la mesa está dotada de unas ranuras en forma de T para permitir la fijación de mordazas u otros elementos de sujeción, y además puede inclinarse para el tallado de ángulos. Esta

mesa puede avanzar de forma automática de acuerdo con las condiciones de corte¹⁹ que requiera el mecanizado.

- Movimiento transversal: según el eje Y , que corresponde al desplazamiento transversal de la mesa de trabajo. Se utiliza básicamente para posicionar la herramienta de fresar en la posición correcta.
- Movimiento vertical: según el eje Z , que corresponde al desplazamiento vertical de la mesa de trabajo. Con el desplazamiento de este eje se establece la profundidad de corte del fresado.
- Giro respecto a un eje longitudinal: según el grado de libertad U . Se obtiene con un cabezal divisor o con una mesa oscilante.
- Giro respecto a un eje vertical: según el grado de libertad W . En algunas fresadoras se puede girar la mesa 45° a cada lado; en otras, la mesa puede dar vueltas completas. (Larburu Arrizabalaga, Nicolás (2004). *Máquinas. Prontuario. Técnicas máquinas herramientas.*)

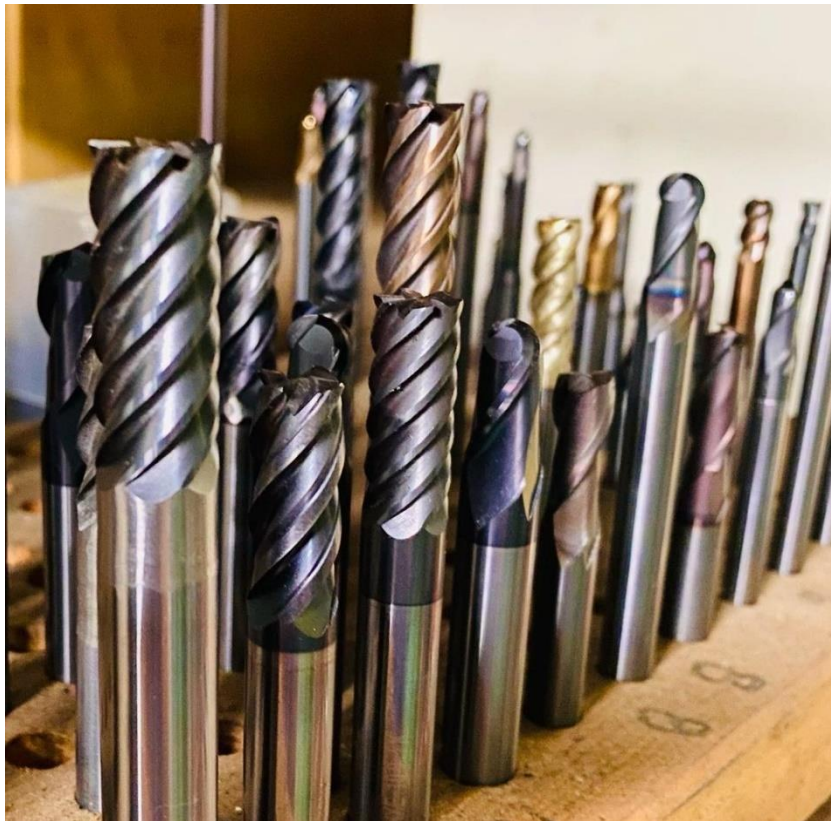


Ilustración 3 Diferentes fresas de carburo de tungsteno usadas en procesos de taladrado o fresado. Al final de su vida útil o cuando se pierde el filo, se pueden re-afilar.

3.3.DISEÑOS DE PORTAHERRAMIENTAS EN MÁQUINAS HERRAMIENTAS

20

El porta herramienta es el elemento en donde se colocan las herramientas que van a cortar la pieza que tenemos que mecanizar. El portaherramientas va fijado encima del carro orientable y las cuchillas o herramientas se fijan a él mediante uniones mecánicas; como tenemos una gran variedad de operaciones que se pueden realizar en el torno, y las herramientas a fijar en ellos son muy variadas, también se tiene una gran variedad de modelos de portaherramientas y según la geometría y el tamaño de la misma es necesario seleccionar el más adecuado según las herramienta a usar(Gómez, 2006)

Comúnmente son utilizados los portaherramientas de posicionamiento rápido ya que son los más prácticos y precisos, además de la versatilidad ya que con ellas se puede contar con diferentes funciones como es el taladrado, torneado y corte (*Tipos de portaherramientas de torno - Ircservices.com*, s. f.)

La sujeción es un factor fundamental en el desempeño del proceso de mecanizado, por esto hay que dedicarle especial atención al porta herramienta, como un elemento determinante para lograr resultados óptimos en cuanto a calidad y productividad” (Vivar, s. f.)

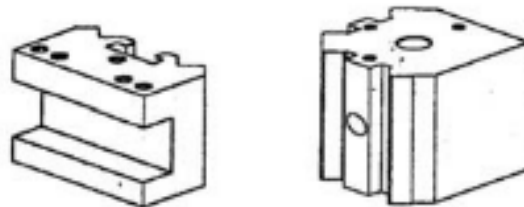


Ilustración 4 Torres Porta herramientas (Gómez, 2006)

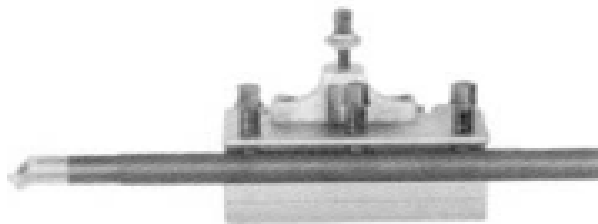


Ilustración 5 Porta herramientas para mecanizados interiores (Gómez, 2006)

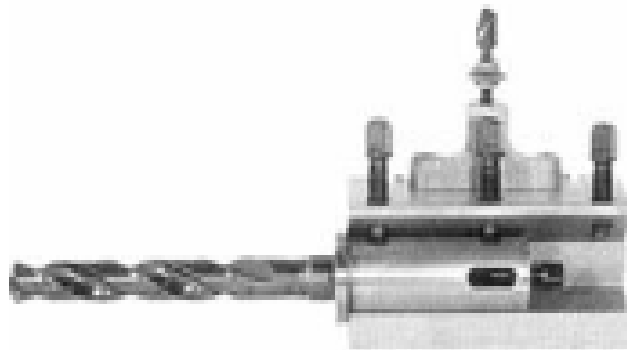


Ilustración 6 Portaherramientas para brocas (Gómez, 2006).

Entre los diferentes trabajos que se pueden realizar en el torno convencional o Torno CNC tenemos los siguientes mostrados mediante la siguiente representación:

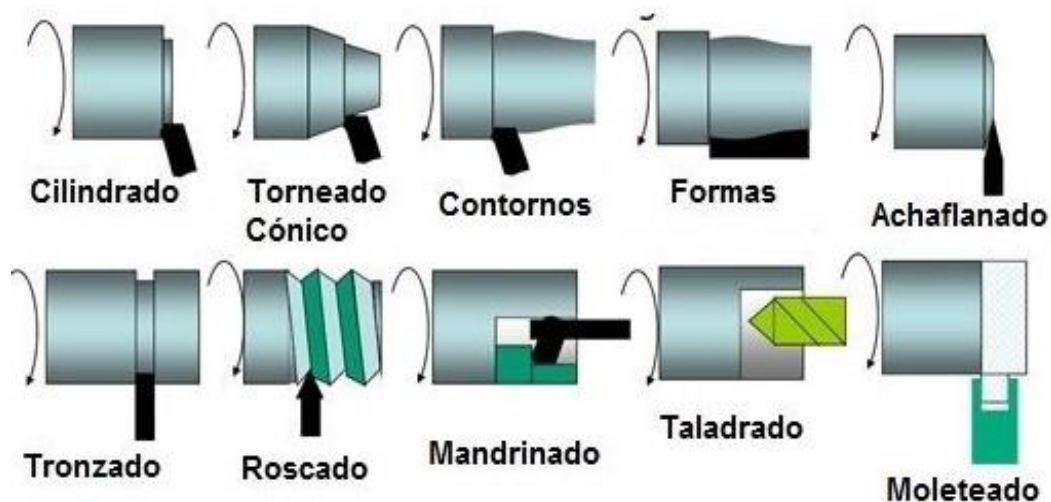


Ilustración 18 Tipos de Mecanizado en el torno (Galbarro, 2018)

Para el presente trabajo se pretende trabajar en máquinas CNC, pero antes es necesario definir y hacer una pequeña introducción a esta tecnología.

3.4. PORTAHERRAMIENTAS CNC

A fin de que no se presenten daños en la máquina entre el husillo de la máquina CNC encargada del funcionamiento y operación de la herramienta de corte, se necesita de una determinada interferencia entre éste, el eje y la herramienta de corte, el portaherramientas provee ese margen que se espera entre los componentes.



Ilustración 19 Portaherramientas CNC (Conos y elementos porta herramientas CNC, s. f.)

3.5.TIPOS DE PORTAHERRAMIENTAS

Dependiendo de la tarea a efectuar como se mencionó anteriormente se tienen diferentes clases de portaherramientas en el mercado y a su vez distintos fabricantes que ofrecen prestaciones para cada caso, comúnmente entre los tipos más comunes se encuentran:

Porta machos de cambio rápido, Mandril de boquilla flotante, Herramientas y Portaherramientas cónicos.

a) El Porta machos de cambio rápido

se utiliza mayormente en máquinas CNC cuya finalidad es reducir considerablemente el tiempo gasta entre cambio de herramientas de corte y esto a su vez aumenta la productividad de la planta manufacturera lo que puede disminuir los tiempos de parada de las máquinas aumentando sucesivamente la escala de producción en torno a varias máquinas que tengan ésta disposición (*Portaherramientas CNC, ¿qué son y cuáles tipos diferentes existen?*, 2021)



Ilustración 20 Porta Machos de Cambio Rápido (Portaherramientas CNC, ¿qué son y cuáles tipos diferentes existen?, 2021)

Son utilizados principalmente en las herramientas de fresado, en las cuales tenemos diferentes variaciones en cuanto a la geometría, tamaño y tarea a efectuar, todos éstos están normalizados por estándares internacionales como son la norma ISO (Organization for standardization and National), DIN (Deutsches institut für Normung) y ANSI (American National Standards Institute), esta rigurosidad se debe a que el acoplamiento del husillo de la máquina debe tener una equivalencia con el tamaño y geometría del porta herramientas

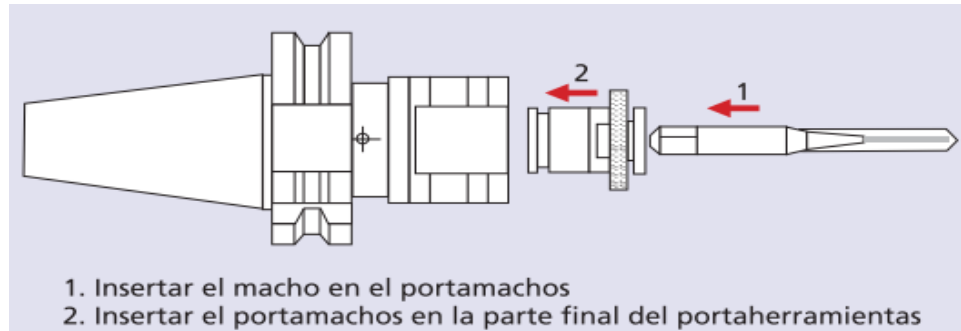


Ilustración 21 Cono Porta Herramientas (Vivar, s. f.)

Entre los diferentes conos presentes en la industria colombiana tenemos:

c) Conos ISO

En la industria colombiana se trabaja mayormente con la norma estadounidense y la alemana, esto se puede deber a que las primeras máquinas de arranque de viruta que abordaron el país tenían este determinado sistema de sujeción en máquinas convencionales y centros especializados de mecanizados.



Ilustración 22 Conos ISO (Vivar, s. f.)

“La norma ISO define seis tamaños básicos de conos; 30, 35, 40, 45, 50, y 60; las máquinas más grandes usan portaherramientas que tienen un número de mango cónico grande, el cono 40 es el más utilizado equivalentemente en la norma DIN 2080”.(Vivar, s. f.)

d) Conos CAT

24

Bajo el estándar de la norma DIN 69871, son herramientas de cambio rápido y dentro de su elaboración tenemos acero aleado con tratamientos térmicos de templado y cementado, para una vida útil más prolongada, para la identificación de este tipo de cono se observa la ranura de agarre, para montaje y desmontaje, la cual está cerrada entre las 2 pestañas.



Ilustración 12 Cono CAT (HAIMER_Portaherramientas .pdf, s. f.)

Los tamaños del cono CAT, según ANSI, son: 30, 35, 40, 45 y 50 (pero existen otros). El 40 y 50 son los más empleados, mientras el 35 es muy inusual (Vivar, s. f.)

e) Cono BT

Empleado comúnmente en máquinas tanto japonesas como europeas y chinas, mantienen la relación 7/24, al igual que los conos ISO son los más empleados en Colombia en la industria metal mecánica, su ranura de agarre viene descentrada, es una herramienta rectificada.



Ilustración 13 Cono BT (Vivar, s. f.)

f) Cono HSK

Equivalentemente bajo la normativa DIN 69893, se conoce como porta herramienta de mango hueco son utilizadas a velocidades muy altas o sea superiores a 8000 rpm, por lo cual no son usados en Colombia, su aplicación es en su mayoría en Europa, dotadas de un cono con dimensiones cortas normalmente se encuentran en dimensiones 32,40,50,80 y 100 (Vivar, s. f.).



Ilustración 23 Cono HSK (Vivar, s. f.)

3.6. HERRAMIENTAS DE CORTE

Introduciremos el elemento faltante en el ensamble, la herramienta de corte, pero antes, se debe hacer un pequeño esbozo de las herramientas de corte, sus diferencias, características, y sus respectivos usos.

Las herramientas de corte son aquellos instrumentos que nos facilitan la modificación de la forma de determinado cuerpo hasta obtener el resultado esperado, éstas están compuestas en su mayoría por un elemento que se encarga del corte (elemento cortante) y un soporte (cuerpo), son usadas en diferentes máquinas como lo son el torno, limadoras, cepilladoras, fresadoras entre otras, su eficiencia en el trabajo depende en gran medida al material con el cual está creado y la forma de su afilado, ya que un buen material para una herramienta de corte es aquel que posea una buena dureza, tenacidad y resistencia al desgaste, así como la capacidad de soportar altas temperaturas. (Gerling, 1997).



Ilustración 15 Herramientas de corte Imagen libre

Para un buen desempeño en el trabajo también necesitamos destacar los siguientes factores, como son:

- A. **Ángulo de filo:** partiendo de que un ángulo filoso penetra más fácilmente que otro que no lo está, pero que a su vez éste será más propenso a romperse, para el trabajo en un material duro se solicita un ángulo más obtuso, el ángulo de incidencia no se hace de una magnitud equivalente a la cual se hace roce con la pieza, un ángulo de ataque grande facilita el arranque del material, y éstos son determinados mediante ensayos para determinadas tareas (Gerling, 1997)

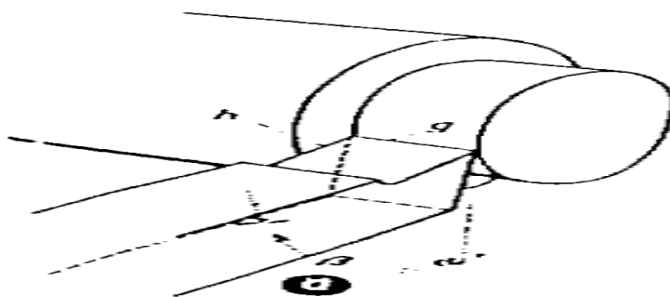


Ilustración 16 Ángulo de corte en la herramienta (Gerling, 1997)

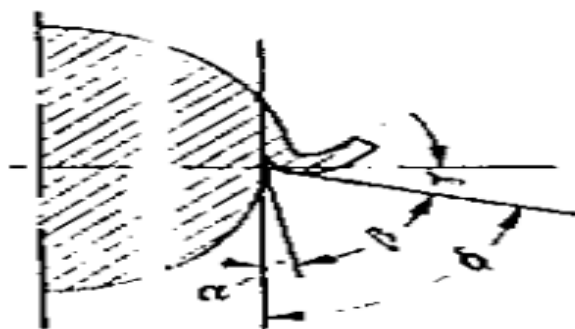


Ilustración 17 Representación de los ángulos al cortar (Gerling, 1997)

A fin de tener la certeza de que se está trabajando con el ángulo adecuado se hace uso de una serie de elementos comprobantes llamados galgas, con las cuales al poner sobre la herramienta de manera sencilla se aprueba o no el afilado.



Ilustración 18 Comprobación de Afilado (Gerling, 1997)

- B. **Avance, clase y forma de viruta:** El avance determina el recorrido en milímetros que se realiza en cada revolución de la pieza, el área de la viruta se obtiene al multiplicar el avance por la profundidad presente en el corte:

$$A = S(mm) \cdot a(mm)$$

Donde tenemos a S (Avance) y a (profundidad del corte)

A fin de no perturbar el proceso de trabajo se espera hacerle un tratamiento o control a qué tipo de viruta es la que resulta del proceso de mecanizado, ésta se debe al material al cual se está trabajando, caracterizándola como frágil, dúctil y quebradiza, clasificadas de la siguiente manera:

- C. **Viruta de elementos:** Obtenida en el trabajo de metales duros y poco deformables con una velocidad de corte baja, como por ejemplo el acero duro.
- D. **Viruta escalonada:** Comúnmente en aceros de dureza media, aleaciones y aluminio, representada por una cinta lisa.
- E. **Viruta fluida continua:** Se obtiene en trabajos con aceros blandos, cobre, plomo, estaño y materiales plásticos con altas velocidades.
- F. **Viruta fraccionada:** Consta de trozos por separado y se obtiene de trabajar con materiales con comportamiento poco plástico en los que tenemos el hierro colado y bronce (Gerling, 1997).

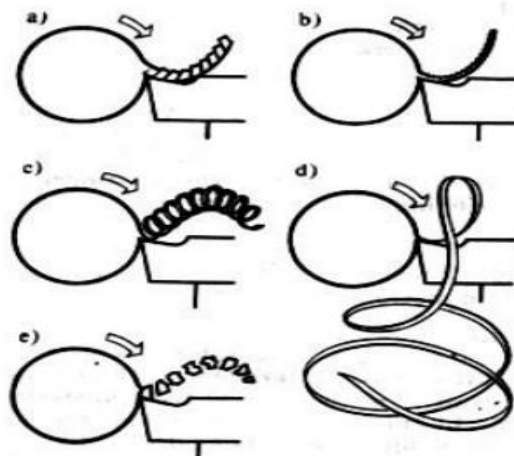


Ilustración 19 a) Elementos; b) Escalonada; c) Fluida Continua Espiral; d) Fluida Continua ; e) Fraccionada (Gerling, 1997)

- G. **Velocidad de Corte:** Es un parámetro que se debe escoger antes de iniciado el mecanizado su medida se expresa en metros por minuto (m/min) , su valor adecuado depende de la calidad, el tipo de herramienta a utilizar, el avance, la maquinabilidad y profundidad de pasada y a partir

de la velocidad de corte se puede obtener las RPM que tendrá el cabezal del torno (Gerling, 28 1997).

$$V_c \left(\frac{m}{min} \right) = \frac{\frac{n}{(min)} * \pi * D_c (mm)}{1000 \left(\frac{mm}{m} \right)}$$

En la cual $V_c =$ Velocidad de corte, $n =$ velocidad de rotación de la herramienta, $D_c =$ Diámetro de la pieza

La velocidad es el factor más determinante para la duración de la herramienta por que a mayor velocidad se acelerará el desgaste de la misma, una velocidad de corte excesiva puede dar pie a el desgaste rápido del filo de corte de la herramienta, una menor calidad del mecanizado, por el contrario, una velocidad de corte demasiado baja, conlleva a una baja productividad, mala evacuación de la viruta. (Gerling, 1997)

Los procesos de manufactura son la combinación de personal, materia prima, herramientas y máquinas para la obtención de un producto final. Uno de los procesos de manufactura más usados en la producción de piezas metálicas es el corte con desprendimiento de material, conocido como maquinado o mecanizado. Es decir, una herramienta con filos cortantes fabricada de un material resistente al desgaste y a las altas temperaturas, penetra la superficie de una pieza con desprendimiento de material en forma de viruta, hasta obtener el producto final. Los parámetros fundamentales en un proceso de corte son: velocidad de corte, avance y profundidad. La velocidad de corte (V_c) es el camino recorrido por el filo de la herramienta por unidad de tiempo. Donde D es el diámetro de la pieza y n es la velocidad de rotación. (*Economía en el maquinado para la industria metalmecánica. CORONADO MARIN, JOHN JAIRO. estud.gerenc. [online]. 2005*)

$$V_c = \pi * D * n$$

- **Insertos para torno**

Con el paso del tiempo a medida que se vienen trabajando con diferentes tecnologías se vio evidente la necesidad de usar las placas intercambiables o insertos, para el trabajo de torneado de velocidad alta, y esto trajo consigo una normativa o estandarización para este tipo de herramientas bajo la norma ISO 1832, esta los asocia en 10 categorías , a fin de organizar y diversificar los tipos de insertos, con símbolos , letras mayúsculas y/o números a fin de poder identificarlos de la siguiente manera:

XXXX NN NN [NN] (*Insertos Para Torno / De Máquinas y Herramientas, n.d.*)

Las primeras 4 letras denotan en orden la geometría, el ángulo de incidencia, tolerancia y sistema de sujeción, seguido los 2 primero números indican el tamaño del filo del corte y el espesor del inserto, el último número corresponde sólo a insertos para torno.

- A. **Geometría:** las formas pueden variar como cuadrados, hexágonos, pentágonos,²⁹ paralelogramos, diamantes etc.
- B. **Angulo de incidencia:** Es el ángulo por medio del cual se podrá arrancar la viruta, junto con los ángulos de filo y de ataque, tenemos como guía la siguiente tabla:

Material a mecanizar	Material de la herramienta			
	Acero rápido		Metal duro	
	Incidencia	Viruta	Incidencia	Viruta
Acero al carbono R = 50Kg/mm ²	6°	25°	-	-
Acero al carbono R = 60 Kg/mm ²	6°	20°	5°	12°
Acero al carbono R = 70 Kg/mm ²	6°	15°	5°	10°
Acero al carbono R = 80 Kg/mm ²	6°	10°	5°	10°
Fundición gris 140 HB	8°	15°	7°	10°
Fundición gris 180 HB	6°	10°	6°	8°
Bronce duro, latón agrio	8°	5°	7°	10°
Aluminio, cobre	10°	30°	8°	15°
Latón en barra	8°	20°	7°	10°

Tabla 1 Guía ángulo de incidencia aproximado (Insertos Para Torno / De Máquinas y Herramientas, n.d.)

- I. **Tolerancia:** Establece los valores mínimos y máximos a fin de tener las medidas precisas para el inserto.

Letra	Esquina (mm)	Espesor (mm)	Círculo inscripto (mm)
A	0,005	0,025	0,025
C	0,013	0,025	0,025
E	0,025	0,025	0,025
F	0,005	0,025	0,013
G	0,025	0,13	0,025
H	0,013	0,025	0,013
J	0,005	0,025	0,05 a 0,13
K	0,013		

Tabla 2 Código de tolerancia (Insertos Para Torno / De Máquinas y Herramientas, n.d.)

- II. **Sujeción y rompe viruta:** Con la notación podremos identificar el número de agujeros con o sin avellanado para poder sujetar la pieza.

- III. **Longitud de la arista de filo:** Es un número de 2 dígitos que indica el tamaño del círculo³⁰ inscrito para todos los insertos, este viene determinado únicamente por números enteros y no se tienen en consideración los números decimales.
- IV. **Espesor:** Se representa mediante números enteros y no se emplean decimales.
- V. **Radio de la nariz o punta:** Es un número o letra + número que indica el radio de la punta y varía normalmente de 0,03 mm a 3,2 mm.
- VI. **Arista de corte:** Es una letra que define qué tipo de condiciones especiales, tales como algún tratamiento térmico o acabado superficial.
- VII. **Dirección de Corte:** Indica el sentido de corte que debe llevar un inserto, este se representa con una letra denotada como R cuando va hacia la derecha, L cuando va hacia la izquierda, N si es neutro.
- VIII. **Personalización:** A criterio del fabricante y cliente.

(Insertos Para Torno / De Máquinas y Herramientas, n.d.)

4.1. DISEÑO DE PORTA HERRAMIENTA

- **Modelo planteado y análisis de esfuerzos:**

Se plantea diseñar entonces un portaherramientas haciendo el uso de software CAD para modelado tanto 3d como 2d, en este caso usaremos, una vez caracterizado una primera aproximación de lo que son los portaherramientas, sus tipos, características y aplicación en el territorio colombiano; se mostrará a continuación el diseño planteado por medio del software SolidWorks, el plano 2d mediante el programa Solid Edge y algunos cálculos mediante el programa MDSolids, paulatinamente se irá explicando uno a uno que conceptos se tuvieron en cuenta, así como los resultados obtenidos para el análisis final y conclusiones.

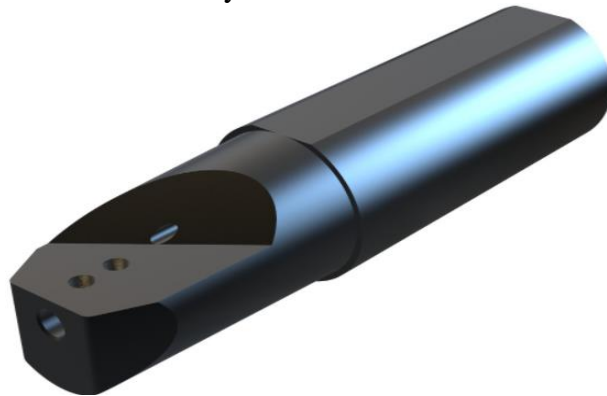


Ilustración 20 Prototipo de Portaherramientas. Autoría propia

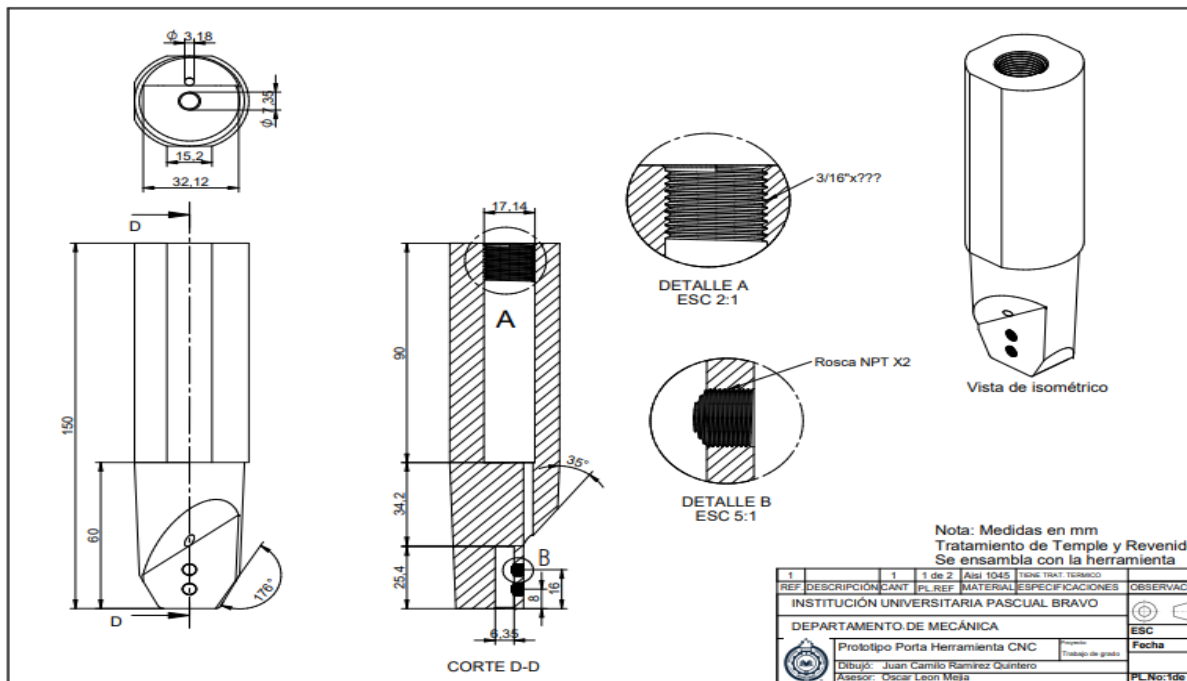


Ilustración 21 Plano de Fabricación porta herramienta.

porta herramienta trabajo de grado CAJETIN.par; Estudio estático 1, Acero
 Desplazamiento - Nodal
 Contorno: Traslación total
 Deformación: Traslación total
 Fecha: viernes, 11 de junio de 2021 5:51 p. m.

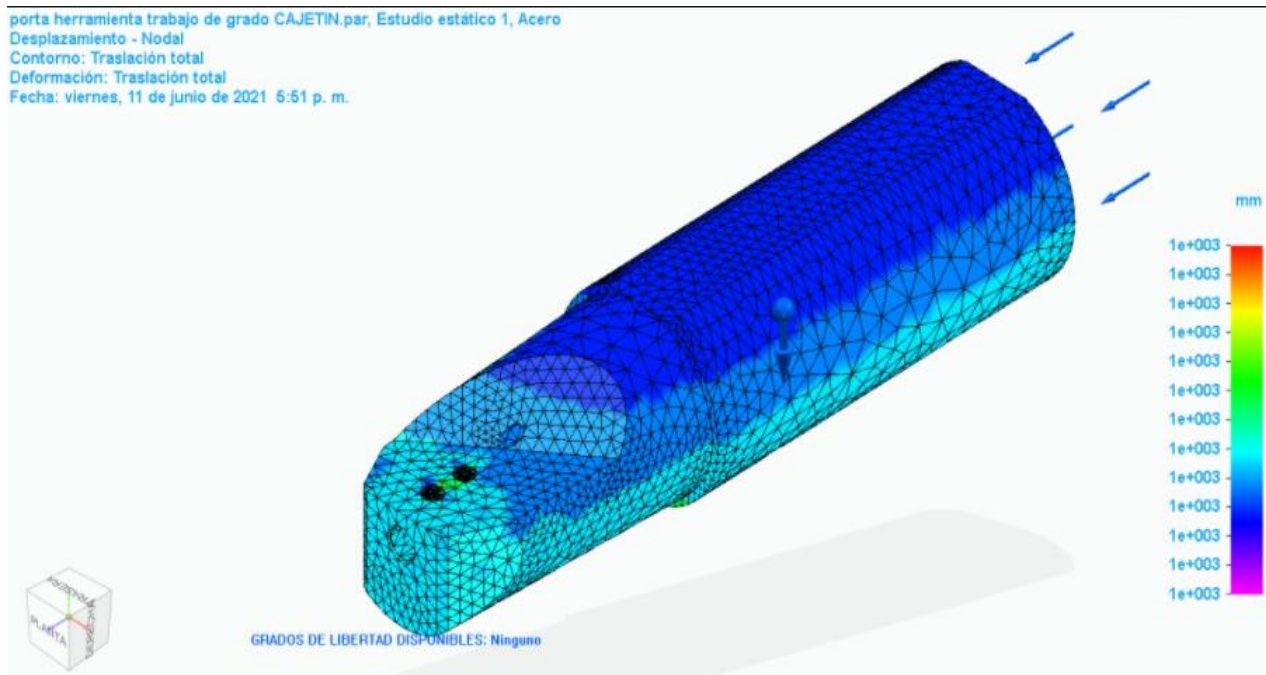


Ilustración 22 Estudio estático preliminar Autoría Propia

Para este primer mallado se tuvo en cuenta el dato de esfuerzo máximo permitido por el material, logrado con un revenido como principal tratamiento térmico.

El método de los elementos finitos es un método numérico general para la aproximación de soluciones de ecuaciones diferenciales parciales muy complejas utilizado en diversos problemas de ingeniería y física CAM/CAD.

Para el análisis del tensiones Porta herramienta ver *Ilustración 11* , Tabla 3 y Tabla 4 DATOS

Cargas térmicas de soluciones del análisis de transmisión de calor en el acero 1045 con tratamiento térmico de revenido; parámetros del mallado:

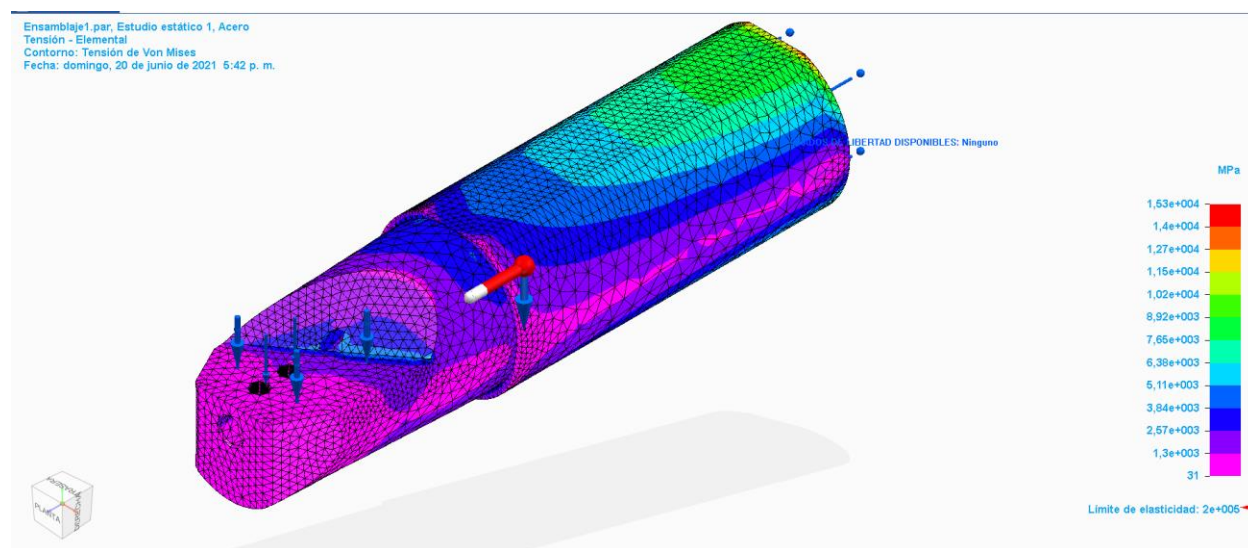
Desplazamientos forzados Elongación 16 % en (50 mm) Esfuerzo Máximo 565 MPa (819000 PSI)

Flujo de calor Temperatura Ambiente 26.85 °C

Puntos de presión, 1463 MPA y cargas de gravedad dinámicas 9.8 m/s²

Conclusiones del estudio CAD/CAM por método de elementos finitos:

- Análisis estático del material acero 1045 soporta las cargas impuestas al diseño planteado sin tener deformaciones exageradas que afecten la estructura de la pieza.
- Con un cambio de color fluido en el resultado de la simulación se puede concluir que, tanto la temperatura como los esfuerzos de tensión interna de la pieza se distribuyen de manera muy uniforme, lo cual ratifica el correcto diseño integrado a la pieza.
- Características de Color por debajo de la media en la escala utilizada de esfuerzo máximo de 1463 MPA, se concluye óptimas condiciones de resistencia del porta herramienta.
- Factor de seguridad del portaherramientas por encima del 89% bajo cargas de trabajo predeterminadas en un torno CNC estándar.



Para este segundo mallado se tuvo en cuenta las fuerzas generales de un torno CNC.

El análisis dinámico comprende el análisis de las fuerzas, desplazamientos, velocidades y aceleraciones que aparecen en una estructura.

- Análisis de fatiga al porta herramienta con punto de anclaje fijo en la parte posterior trasera; se concluye a partir de la simulación de cargas que predecir la vida útil del material y resistencia estructural, es óptima en efecto por ciclos de carga sobre el porta herramienta. Este análisis puede demostrar las áreas donde es más probable que se presente una grieta si se observa en color verde intenso en su punto de anclaje.
- El análisis dinámico dictaminó la tolerancia al fallo del material (porta herramienta) del 93% aplicando los datos suministrados de fuerzas y movimientos del primer estudio estático preliminar.

- **Material AISI 1045:**

Es un acero comúnmente usado en herramientas y componentes para maquinaria, posee una dureza y resistencia que lo catalogan bien para este fin, éste responde de muy buena manera a los tratamientos térmicos, pero no para todos los existentes como es el caso del cementado y el cianurado, tiene una buena soldabilidad, así como de tenacidad, y esta capacidad de soportar las vibraciones lo hace muy útil en la fabricación de dichos componentes de máquinas como lo son ejes, tornillos, piñones y remaches.

(Acero Grado Maquinaria - AISI 4140, s. f.)

Propiedades Mecánicas	
Dureza	163 HB (84 HRb)
Esfuerzo de Fluencia	310 MPa (45000 PSI)
Elongación	16 % en (50 mm)
Esfuerzo Máximo	565 MPa (819000 PSI)
Reducción de Área	40 %
Módulo de Elasticidad	200 GPa (29000 KSI)

Maquinabilidad	57%
----------------	-----

Tabla 3 Propiedades Mecánicas AISI 1045

Propiedades Físicas
Densidad 7.87 g/cm

Tabla 4 Propiedades Físicas

Propiedades Químicas	
Carbono (C)	0.43 -0.50 %
Magnesio (Mn)	0.60-0.90 %
Silicio (S)	0.05 %
Fósforo (P)	0.04 %

Tabla 5 Propiedades Químicas

El portaherramientas poseerá 2 Tratamientos térmicos que son el Temple y el Revenido esto con el fin de poder llegar a una martensita revenida a una temperatura determinada, analizar qué beneficios trae tanto en la microestructura como en las propiedades mecánicas y finalmente analizar la curva esfuerzo deformación del material y como son sus cambios con los tratamientos térmicos pertinentes.

- **Tratamientos térmicos**

Podemos tener una aproximación a lo que es en sí un tratamiento térmico como una serie de ciclos térmicos a los cuales está sometido un material a fin de obtener en el proceso cambios en sus propiedades, éstos comúnmente se aplican en fundiciones y aceros

Los tratamientos térmicos tienen como finalidad:

1. Cambio en la estructura.
2. Afino en el grano.
3. Homogenización en la estructura
4. Eliminación de las tensiones internas para evitar deformaciones después del maquinado.
5. Mejorar la maquinabilidad.
6. Aumentar la dureza y resistencia.

(*Tratamientos térmicos de los metales* •, s. f.)

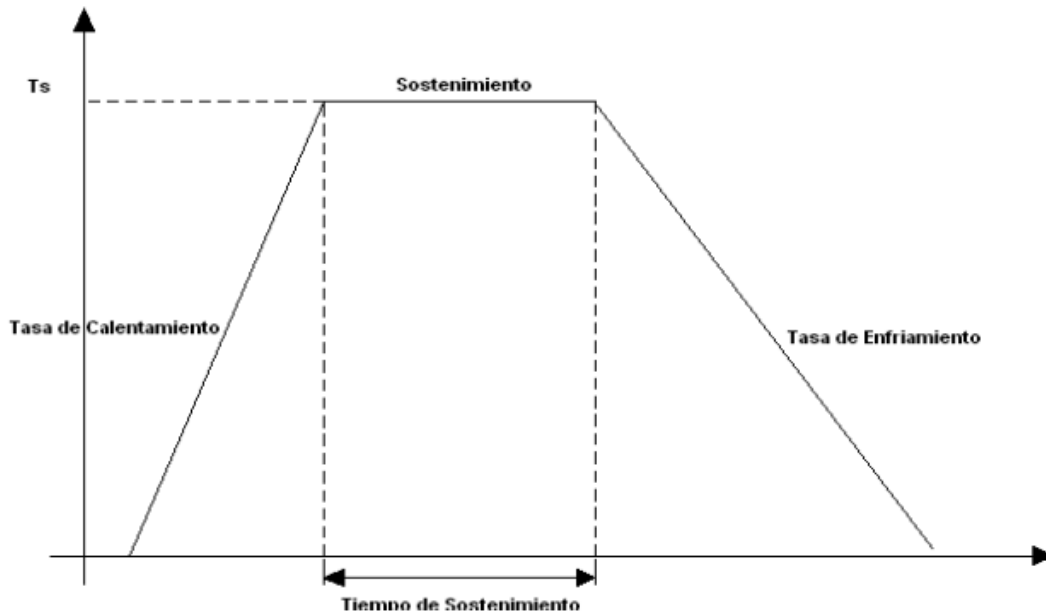


Ilustración 24 Esquema de un tratamiento térmico (*Tratamientos térmicos de los metales* •, s. f.)

Las temperaturas tanto de calentamiento, sostenimiento y sostenimiento determinan la microestructura y las propiedades del material tratado, el tamaño de los granos es proporcional a la temperatura a la cual es sometida ya que cuánto más alta más alta sea o el tiempo más prolongado mayor será éste, a su vez también se ven influenciados por impurezas como Silicio y Fósforo.

Entre los diferentes tipos de tratamientos tenemos Recocido, Templado, Normalizado, Revenido, así como tratamientos superficiales como son cementación, nitruración y carbonitruración. Se decidirá trabajar con el temple y revenido como tratamientos escogidos, pero primero se definirán brevemente y se destacarán algunas características de cada uno.

- **Temple**

Básicamente consiste en el calentamiento del acero a la temperatura crítica, temperatura en la que se alcanza una composición de un 100% austenita, para luego enfriar rápidamente en un medio comúnmente agua o aceite para endurecer la muestra y poder tener la microestructura martensítica, la martensita se forma en este proceso en el que se calienta hasta la fase austenítica y una vez se tiene esta se enfría rápidamente, esta viene influenciado por la composición del acero y tamaño del grano, tiene como objetivo aumentar la dureza, resistencia al desgaste, a la tracción y a la compresión, sacrificando un poco la ductilidad del mismo.

- **Revenido**

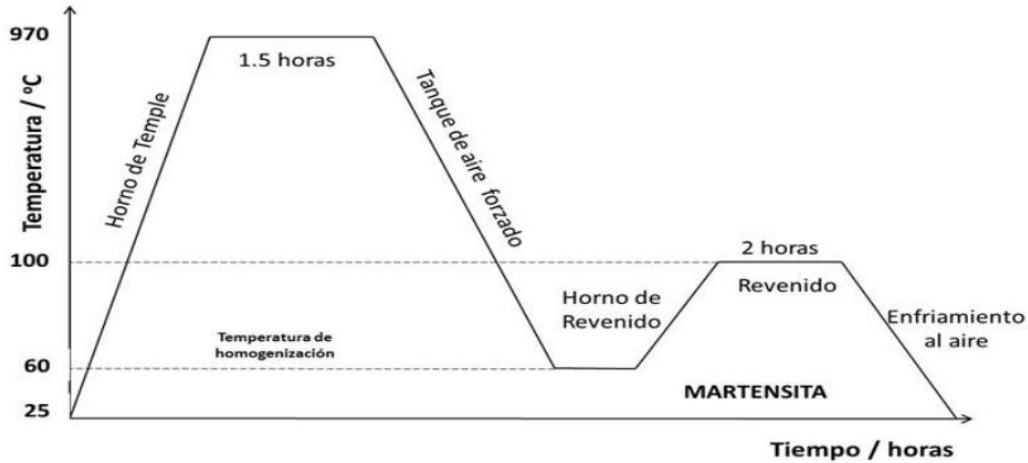


Ilustración 25 Esquema del proceso de temple y revenido (*Tratamientos térmicos de los metales •, s.f.*)

Se parte de una pieza templada en una temperatura que sea inferior a la que, del temple, a partir de ahí se calienta, esto con el fin de corregir defectos que se pueden presentar como aliviar tensiones residuales, la fragilidad y su dureza, ocurren varios cambios debido a la separación de los átomos de carbono, descomposición de la austenita que quedó retenida y a la recrystalización de la matriz ferrítica, para así poder llegar a la composición de martensita revenida planteada en el comienzo.

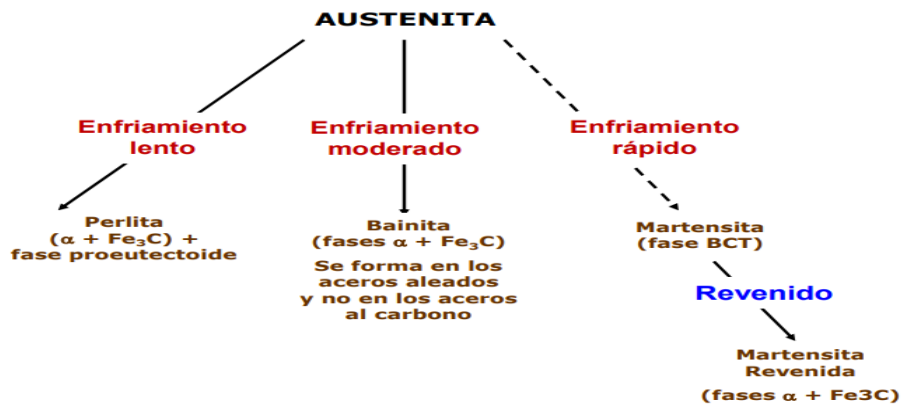


Ilustración 26 Formaciones a partir de la Austenita según su enfriamiento (*Tratamientos térmicos de los metales •, s.f.*)

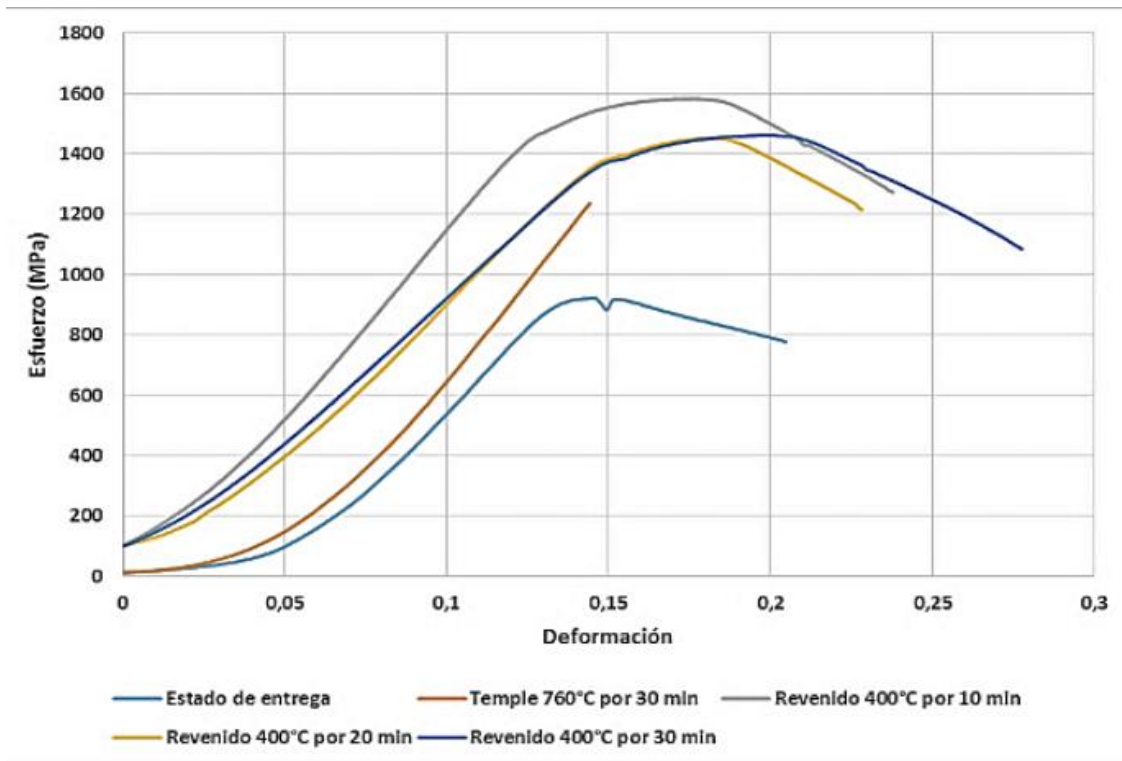


Ilustración 27 Diagrama Esfuerzo Deformación Bajo tratamientos térmicos (Garzón Torres et al., 2016)

Diferenciando cada curva según su estado podemos dilucidar cuales presentan mayor o menor deformación, como lo es el aumento en la deformación de las curvas que presentan revenido respecto a la curva original del material sin tratamiento, destacando el revenido por 30 minutos como el que más deformación presenta (curva azul oscuro).

Para corroborar las pruebas se disponen datos de ensayos realizados con la máquina de ensayos SHIMADZU UH-50^a obteniendo como resultado los siguientes realizando pruebas de tensión.

Estado de Entrega	Temple 760 °C por 30 min	Revenido 400°C por 10 min	Revenido 400°C por 20 min	Revenido 400°C por 30 min
921 MPa	1240 MPa	1583 MPa	1453 MPa	1463 MPa

Ilustración 28 Esfuerzo Máximo para cada caso (Garzón Torres et al., 2016)

Se pueden destacar el aumento considerable en el esfuerzo máximo



Ilustración 29 Microestructura del acero AISI 1045 estado de entrega (Garzón Torres et al., 2016)

Se puede ver claramente que se trata de un acero de doble fase denotados por las letras (P) y (F). Partiendo de la representación inicial del material sin tratamiento podemos evidenciar en las siguientes ilustraciones los cambios que se presentaron a nivel micro estructural la cual fue sometido a un temple a temperatura Inter crítica, al someterse a un temple una estructura compuesta por martensita (M) y ferrita (F).

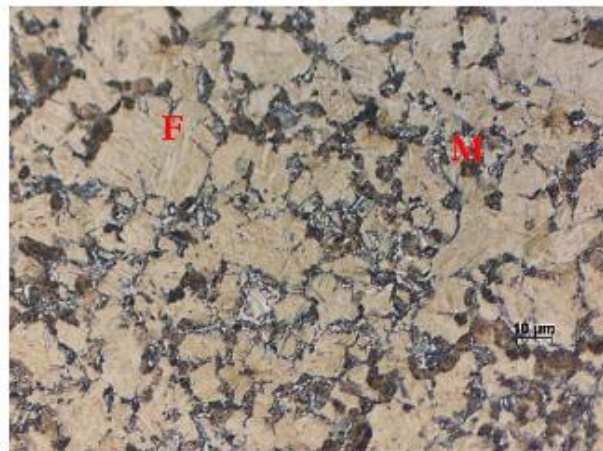


Ilustración 30 Microestructura del acero AISI 1045 Templado a 760°C por 30 minutos (Garzón Torres et al., 2016)

Posteriormente la pieza fue sometida al tratamiento de revenido por diferentes tiempos lo que produjo la estructura Martensita revenida mencionada con anterioridad



Ilustración 31 Estructura Acero AISI 1045 Revenido por 10 minutos (Garzón Torres et al., 2016)

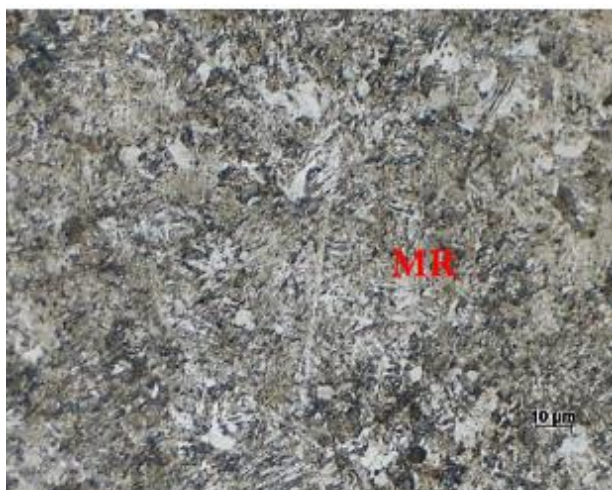


Ilustración 32 Estructura Acero AISI 1045 Revenido por 20 minutos (Garzón Torres et al., 2016)

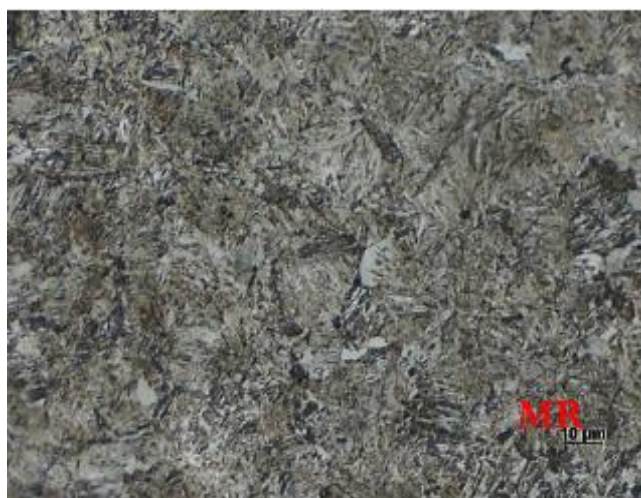


Ilustración 33 Estructura Acero AISI 1045 Revenido por 30 minutos (Garzón Torres et al., 2016)

- **Dureza:**

La dureza presente en el material después de someterla a los diferentes tratamientos aumentó considerablemente, destacando el mayor valor cuando la pieza se encontraba en el Temple a la temperatura intercrítica debido a la formación de martensita.

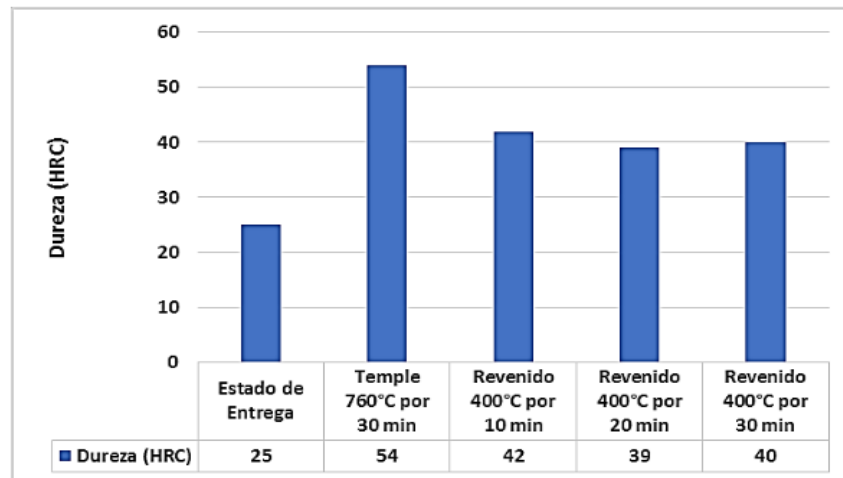


Ilustración 34 Valores de dureza de los diferentes tratamientos (Garzón Torres et al., 2016)

4.2. DISEÑO DE LA HERRAMIENTA DE CORTE:

Para el presente trabajo se tomó como referencia una herramienta ya existente de un catálogo de la empresa (SECO TOOLS, LLC), destacados por ser uno de los más pequeños que se encuentran actualmente en el mercado

Circlip grooves

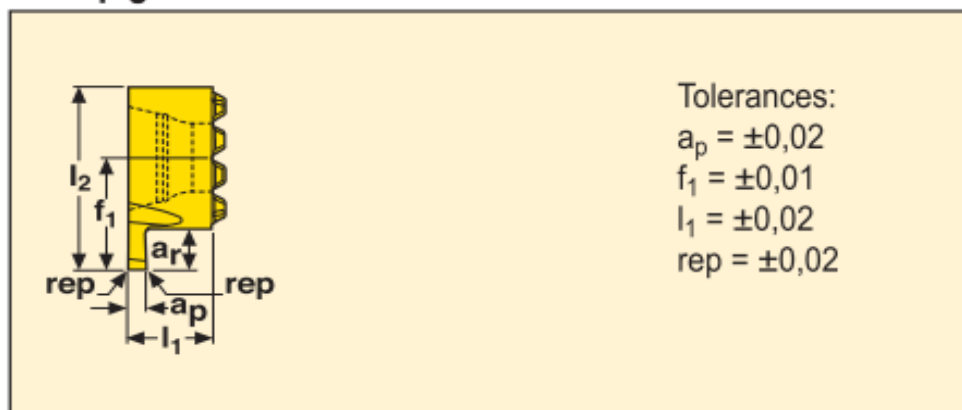


Ilustración 35 Esbozo de herramienta de referencia (Mini Shaft – Inserts, n.d.)

A. mini-shaft - ranurado interior de diámetros pequeños referencia de mercado



Ilustración 36 inserto herramienta de corte Axioma Group S.A.S. (s. f.). Seco Tools, LLC.

El sistema Seco Mini-Shaft™ consta de soportes y plaquitas para operaciones de torneado interno, ranurado, ranurado de precisión, copiado, torneado en retroceso y roscado. Se puede utilizar en agujeros tan pequeños como 8 mm (Mini-Shaft™ 08) u 11 mm (Mini-Shaft™ 11). Seco Mini-Shaft™ también cuenta con un nuevo tipo de ensamblaje, con un estriado doble, que hace que la conexión sea estable y segura. También ofrece una excelente repetibilidad ($\pm 0,02$ mm).

(Axioma Group S.A.S. (s. f.). Seco Tools, LLC.)

Se presentará a continuación el diseño planteado y respectivo ensamble con el porta herramienta:

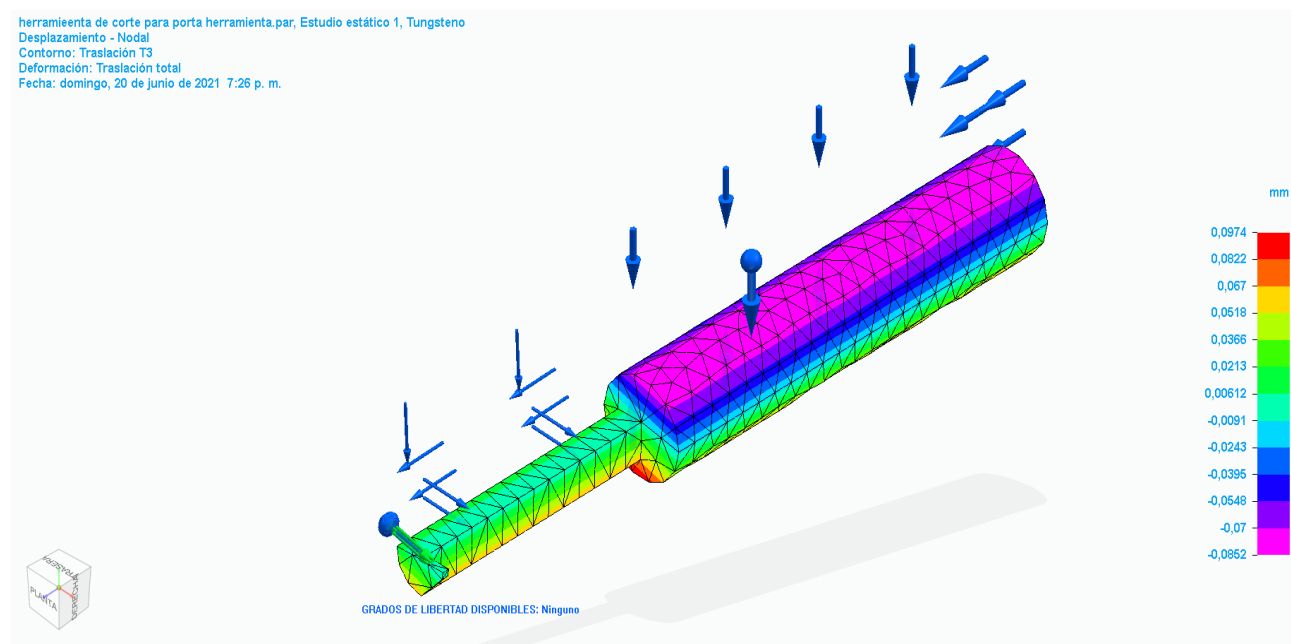


Ilustración 37 Estudio dinámico con desplazamiento de 5mm de la herramienta de corte.

Para este segundo mallado del diseño de la herramienta de corte se tuvo en cuenta las fuerzas generales de un torno CNC en mecanizado interior estándar.

El análisis dinámico comprende el análisis de las fuerzas, desplazamientos, velocidades y aceleraciones que aparecen en una pieza.

- Análisis de fatiga de la herramienta de corte con punto de anclaje fijo en la parte superior por prisioneros; se concluye a partir de la simulación de cargas que predecir la vida útil de la herramienta y su resistencia estructural, es de categoría media en efecto por ciclos de carga sobre la herramienta. Este análisis puede demostrar las áreas donde es más probable que se presente una grieta o fractura si se observa en color verde intenso en su punto más débil por diseño.
- El análisis dinámico dictamino la tolerancia al fallo del material (porta herramienta) del 74% aplicando los datos suministrados de fuerzas y movimientos del primer estudio estático preliminar ensamblado con el porta herramientas.(ver ilustración 22 y 23)
- Se Concluye que la herramienta de corte es apta para desplazamientos de 5mm si llegar al fallo bajo condiciones de mecanizado estándar de un torno CNC.

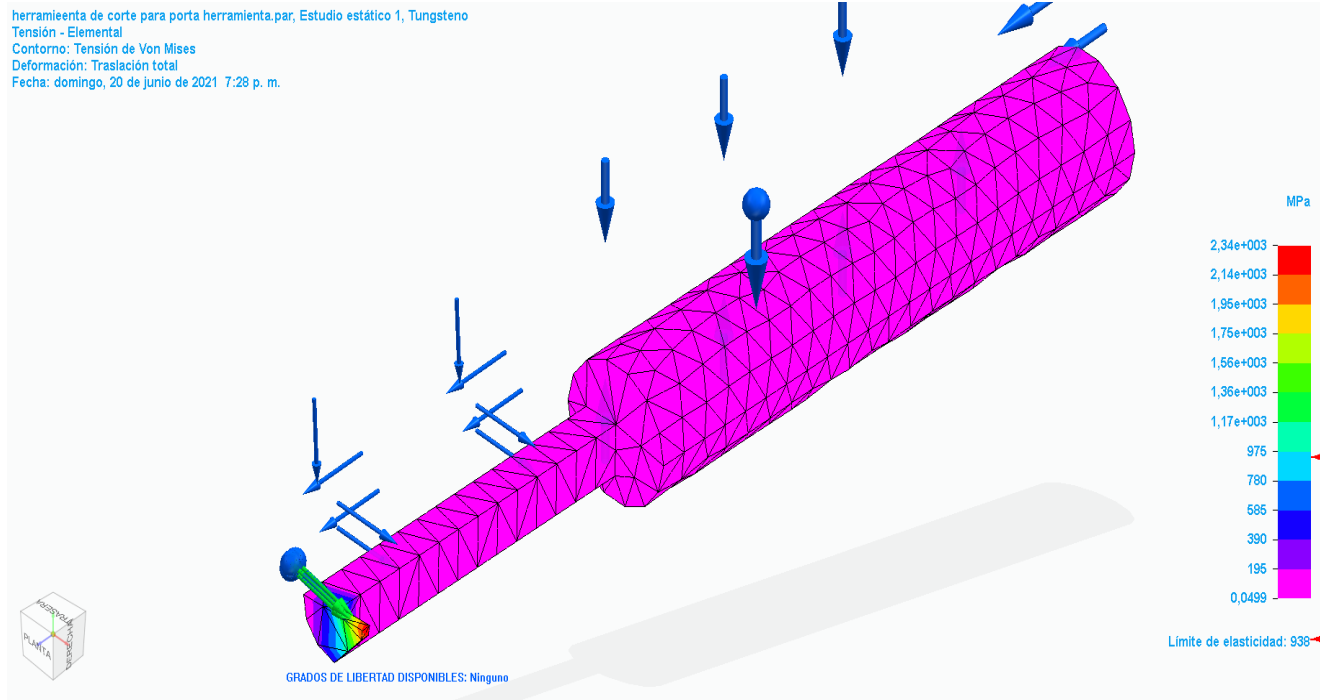


Ilustración 38 Estudio estático aplicando fuerzas sobre la herramienta de corte preliminar Autoría Propia

Conclusiones del estudio CAD/CAM por método de elementos finitos:

- Análisis estático de la herramienta de corte soporta las cargas impuestas al diseño de autoría propia sin tener fisuras o grietas que afecten la estructura de la pieza, dando claridad que superficie de contacto presenta el color rojo como máximo punto de esfuerzo.
- Cambio de color fluido en la representación da a concluir que, tanto la temperatura como los esfuerzos de tensión interna de la herramienta de corte se distribuyen de manera uniforme cambiando de tonalidad gradualmente, lo cual ratifica el correcto diseño integrado de la herramienta de corte.
- Características de Color muy debajo de la escala utilizada de presión máxima del módulo elástico del tungsteno 411 GPa se concluye óptimas condiciones de resistencia micro estructural de la herramienta.
- Factor de seguridad de la herramienta de corte por encima del 98.8% bajo cargas de trabajo predeterminadas en un torno CNC estándar.

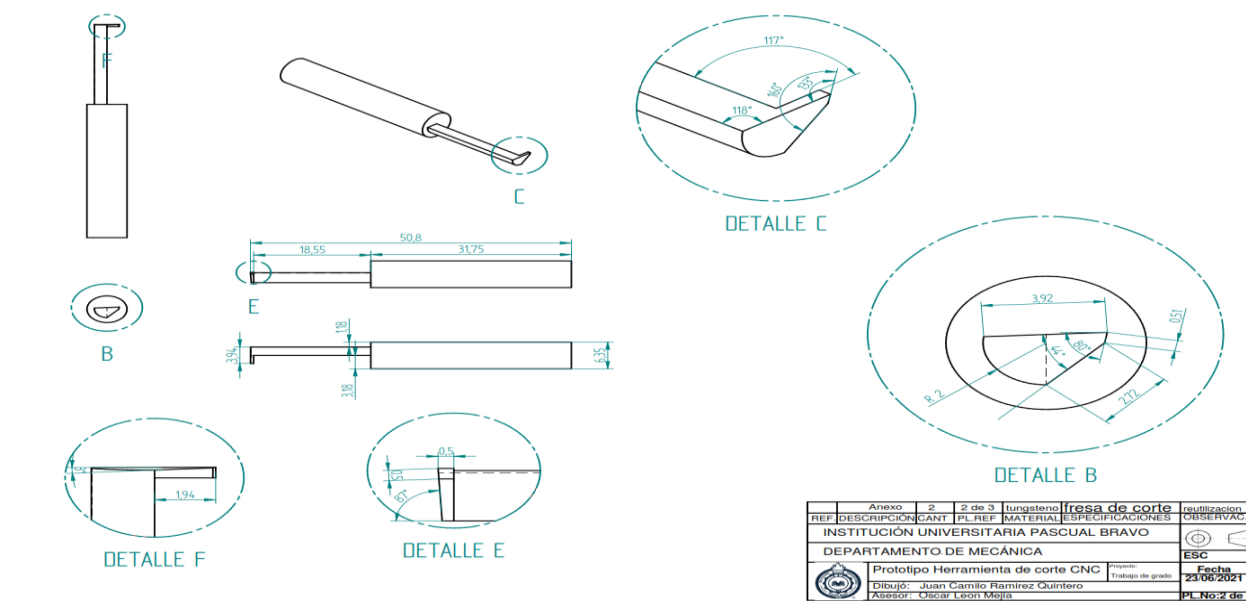


Ilustración 39 Plano de Fabricación herramienta de corte.

4.3. REUTILIZACIÓN DE FRESAS DE TUNGSTENO

La reutilización contribuye al desarrollo de herramientas de software con un alto potencial de flexibilidad, permitiendo el uso de componentes en diversos desarrollos, extendiendo las capacidades, mejoras y funcionalidades del software. Un nuevo paradigma de desarrollo denominado “Líneas de Producto Software”, es una tendencia cada vez más utilizada por diseñadores por cuanto permiten el desarrollo de diversos modelos o sistemas software los cuales comparten entre sí características a partir de un núcleo común altamente Reutilizable (*Gaitán Peña, Carlos Alberto. (2017). Líneas de Productos Software: Generando Código a Partir de Modelos y Patrones*).

- **Optimización del proceso de manufactura**

El volumen de producción y los costos se deben considerar en los procesos de producción de piezas. En la industria se debe optimizar el proceso maximizando la producción y minimizando los costos. Para lograr dicho objetivo es necesario considerar todos los costos y el tiempo requerido para maquinarse una determinada pieza.

El tiempo del ciclo de producción de una pieza (maximización del ciclo de producción) depende de dos factores: 1) el acabado y la exactitud dimensional de la superficie y 2) de la cantidad de material por remover. El tiempo del ciclo de producción de una pieza (T_p) se puede calcular por la siguiente expresión:

$$A. Tp = Tp + Tm + \frac{Tc}{Np}$$

T_d = tiempo para montar y desmontar la pieza en la máquina herramienta.

T_m = tiempo que la herramienta utiliza para maquinarse durante un ciclo.

T_c = tiempo de cambio de la herramienta cuando se desgasta.

N_p = cantidad de piezas que se maquinan con un filo cortante.

(Economía en el maquinado para la industria metalmecánica. CORONADO MARIN, JOHN JAIRO. *estud.gerenc.* [online]. 2005)

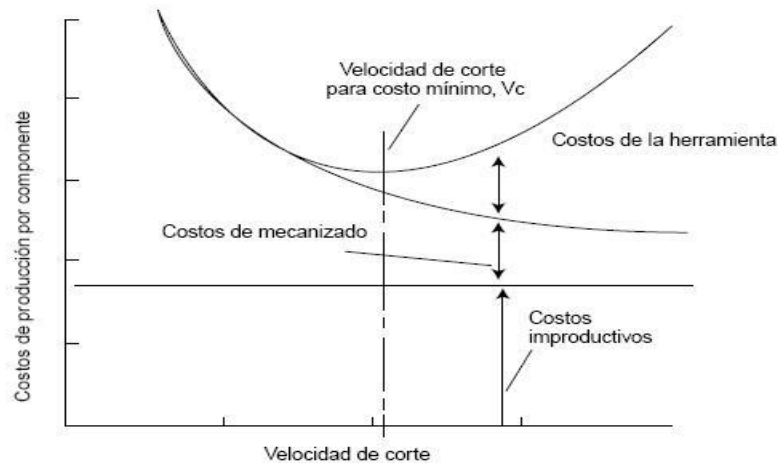


Ilustración 40 Gráfico eficiencia de herramienta de corte (economía en el maquinado para la industria metalmecánica. coronado marin, john jairo. *estud.gerenc.* [online]. 2005)

- **Fresa de tungsteno según catálogos de fabricantes**

Jabro-Solid² es una gama de fresas de metal duro para aplicaciones de mecanizado en general, ofreciendo flexibilidad, velocidad y eficiencia de costes. Jabro-Solid² está disponible en diámetros desde Ø1-Ø32 mm y Ø1/32 - 1 1/4 en pulgadas; Jabro-Solid² también incluye fresas específicas para desbaste optimizado (JS564 y JS565).

Estas herramientas ofrecen un rendimiento excelente cuando se aplican trayectorias, Bien definidas con el arco de contacto constante en aplicaciones de alta velocidad y Profundidad de corte. (Tools, S. (s. f.). *ES-Solid-End-Mills-2020.1—Page 6. Secotools*)

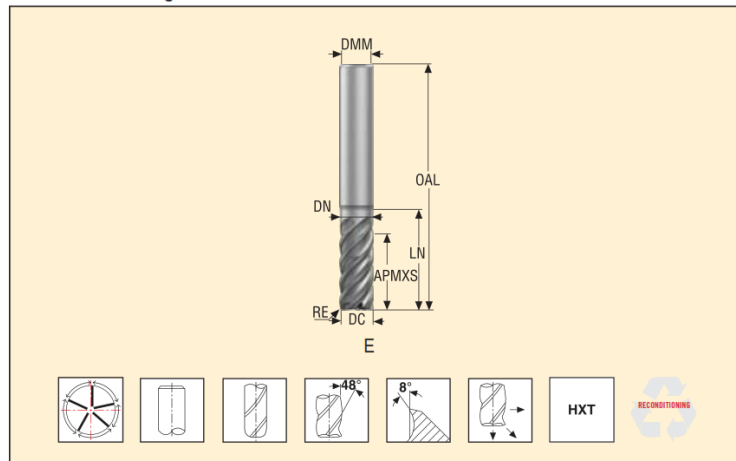
JABRO® – SOLID² – JS755



JS755 – Alta productividad – Filo 90° – ISO– M y ISO– S – 5 Dientes – Mango cilíndrico – Radio



Tolerancias:
 DMM= h5
 DC= e7
 RE= ±0,01 mm
 Es posible reafilarse si DC es ≥Ø6



B.

Ilustración 41 parámetros generales fresa de tungsteno mercado actual (Tools, S. (s. f.). ES Solid-End-Mills-2020.1—Page 6. Secotools)

- **Afilado fresas (todo tipo) en afiladora universal de herramientas.**

Dados los planos para el afilado de una fresa modular, una fresa cilíndrica de dos cortes y una ruta de trabajo en la cual se especifica el orden operacional para el desarrollo de los afilados, usted deberá completarla escribiendo ordenadamente y sin error los pasos. Equipo y materiales que se requieren para llevar a cabo cada una de las operaciones indicadas. Para lograr el objetivo terminal usted deberá completar satisfactoriamente cada una de las etapas siguientes:

- Describir clasificación y ángulos de las fresas.
- Describir el uso, manejo de la afiladora universal y accesorios (dispositivos) empleados en el afilado de las fresas.
- Identificar las muelas para el afilado de herramientas, montaje y rectificado de éstas.
- Describir el uso de los aparatos de control y verificación y recomendaciones en el afilado de fresas.
- Describir los procesos empleados en el afilado de diferentes tipos de fresas.

(Servicio Nacional de Aprendizaje (SENA). (2014, 16 marzo). Afilado fresas (todo tipo) en afiladora universal de herramientas.)

- **Criterios de Afilado de fresas**

Una fresa, sea del tipo que sea, únicamente rendirá el máximo si todos sus dientes cortan virutas iguales. Para ello, es indispensable que se respeten los valores de los ángulos de corte.

El afilado correcto de una fresa siempre es difícil de realizar. Exige buenas máquinas afiladoras y una mano de obra especializada.

Si la fresa trabaja por su periferia, debe ser perfectamente concéntrica con su eje de giro (tolerancia máxima 0.04 mm sobre el diámetro).

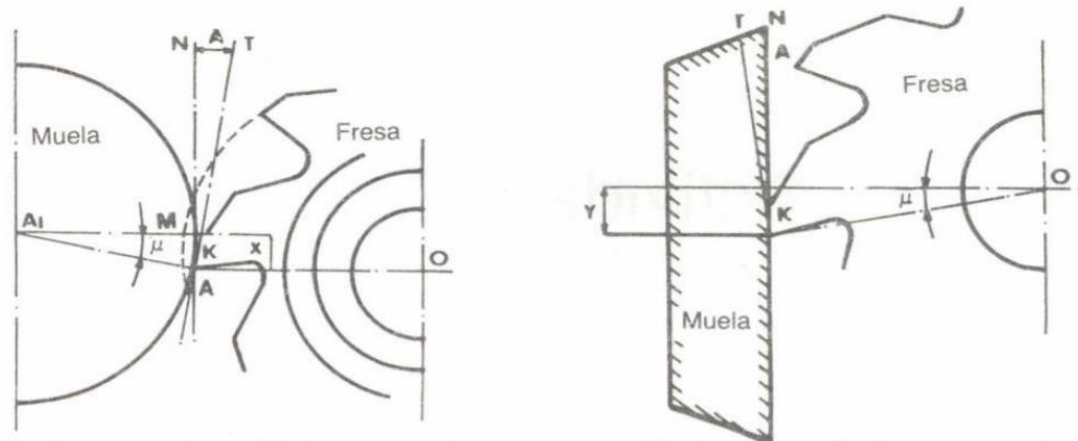
Si trabaja frontal mente (fresa de dos cortes, por ejemplo), las extremidades de los filos deben estar situados en un solo plano perpendicular al eje (tolerancia máxima 0.04 mm).

Afilado con muela periférica: cara de incidencia cóncava.

Afilado con muela frontal: cara de incidencia plana.

El ángulo A de incidencia primario debe ser lo suficientemente grande para evitar el destalonado y las vibraciones. Se deben poder hacer el máximo de afilados sin perjudicar el destalonado con la faceta de incidencia, a pesar de que la anchura de ésta aumenta con los sucesivos afilados.

(Servicio Nacional de Aprendizaje (SENA). (2014, 16 marzo). Afilado fresas (todo tipo) en afiladora universal de herramientas.)



Afilado con muela periférica: cara de incidencia cóncava.

Fig. 13 Afilado con muela frontal: cara de incidencia plana.

Ilustración 42 parámetros de afilado fresa de tungsteno (Servicio Nacional de Aprendizaje (SENA). (2014, 16 marzo). Afilado fresas (todo tipo) en afiladora universal de herramientas.)

5. ENSAMBLE Y RESULTADOS DEL DISEÑO DEL PROYECTO

49

En las ilustraciones 43 y 44, se presenta el ensamble del portaherramientas y de la herramienta de corte (fresa de carburo de tungsteno fabricada por procedo de afilado).

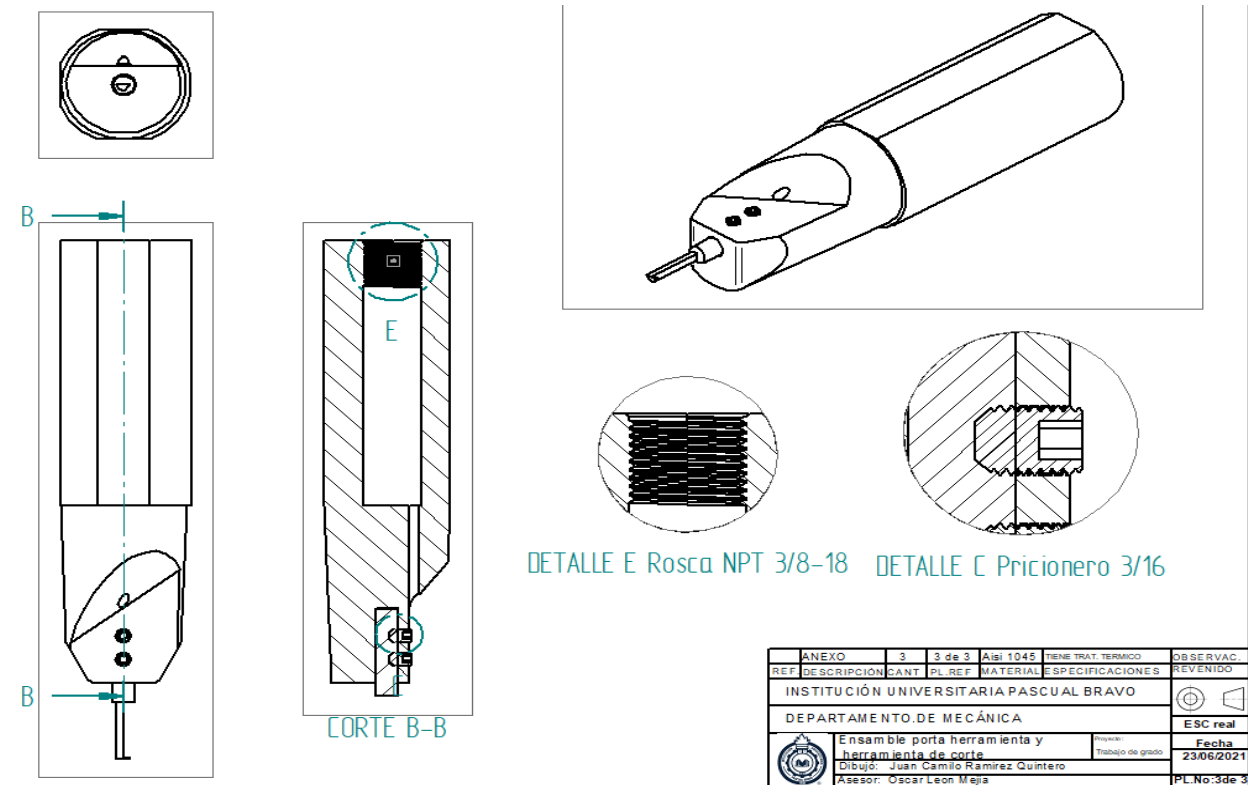


Ilustración 43 Plano de Ensamble Porta Herramienta y herramienta de corte.

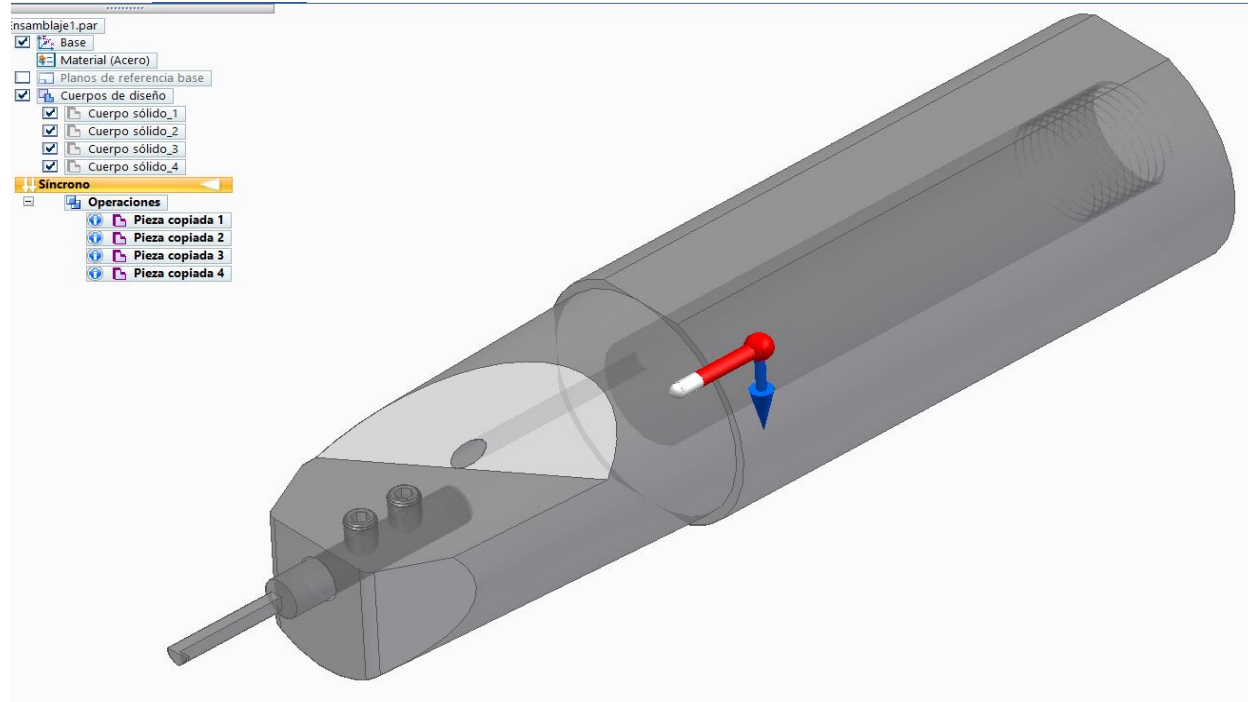


Ilustración 44 Ensamble Portaherramientas CAD/CAM.

6. CONCLUSIONES

- El análisis estático del material acero 1045 en el diseño planteado, demostró que soporta las cargas impuestas, sin tener deformaciones exageradas que afecten el trabajo ni la integridad de la pieza. (*ver Ilustración 22*)
- El cambio de color fluido en la representación da a concluir que, tanto la temperatura como los esfuerzos de tensión interna de la pieza se distribuyen de manera muy uniforme lo cual ratifica el correcto diseño integrado a la pieza (*ver Ilustración 22*) y arrojó un factor de seguridad del portaherramientas por encima del 89% bajo cargas de trabajo predeterminadas en un torno CNC estándar. (*ver Ilustración 22*)
- Con el análisis de fatiga al porta herramienta con punto de anclaje fijo en la parte posterior trasera, se concluye a partir de la simulación de cargas que el diseño presenta una buena resistencia ante cargas cíclicas.
- El análisis de fatiga de la herramienta de corte con punto de anclaje fijo en la parte superior por medio de tornillos prisioneros, permitió mostrar las áreas donde es más probable que se presente una grieta o fractura si se observa en color verde intenso. Finalmente, se concluye que la herramienta de corte es apta para desplazamientos de 5mm sin llegar a fallar, bajo condiciones de mecanizado estándar de un torno CNC.
- Con la metodología planteada, a partir de la elaboración del estado del arte y con el uso herramientas de CAD /CAM fue posible plantear un diseño de portaherramientas y de herramienta de corte para sistemas CNC, reutilizando fresas de carburo de tungsteno.
- Finalmente, con la elaboración de este trabajo se logró dejar planteado un diseño de portaherramientas y de herramienta de corte, así como la selección de materiales y de procesos de manufactura para pasar a la etapa de fabricación y pruebas de prototipos; la cual, desafortunadamente no se pudo llevar a cabo por razones externas (expuestas desde el inicio del documento).

Acero Grado Maquinaria—AISI 4140. (s. f.).

Conos y elementos porta herramientas CNC. (s.f.). Recuperado 3 de junio de 2021, de <http://www.comansa.eu/conos-y-elementos-porta-herramientas-cnc.html>

Engineers, S. of A. (1989). Fatigue Design Handbook. AE-10 (2nd edition). Society of Automotive Engineers Inc.

Galbarro, H. R. (2018). Fundamentos de los Procesos de Mecanizado. Fundamentos de los Procesos de Mecanizado. <https://ingemecanica.com/tutorialsemanal/tutorialn38.html>

Garzón Torres, J. R., Bohórquez Avila, C. A., Hernandez, M. E., & Rojas Molano, H. F. (2016). Influencia en las propiedades mecánicas del acero AISI-SAE 1045 tratado térmicamente con temple a temperatura intercrítica y revenido. Avances Investigación en Ingeniería, 13(2). <https://doi.org/10.18041/1794-4953/avances.2.257>

Gómez, S. M. (2006). Procedimientos de mecanizado. 409.

HAIMER_Portaherramientas .pdf. (s. f.).

Portaherramientas CNC, ¿qué son y cuáles tipos diferentes existen? (2021). <https://www.yamazen.com.mx/blog/cutting-tool/portaherramientas-cnc-que-son-y-cuales-tipos-diferentes-existen.html>

Salvador, J. (2020). Máquinas CNC: Todo lo que necesitas saber. <https://yamazen.com.mx/blog/machine-tools/maquinas-cnc-todo-lo-que-necesitas-saber.html>

Tipos de portaherramientas de torno—Ircservices.com. (s.f.). Recuperado 3 de junio de 2021, de https://www.ircservices.com/tipos-de-portaherramientas-de-torno_M3bXNMna/

Tratamientos térmicos de los metales •. (s. f.).

Vivar, C. M. (s. f.). Conos y Portaherramientas (p. 8).

http://www.sumiteccr.com/Aplicaciones/Articulos/pdfs/AISI_4140.pdf

Conos y elementos porta herramientas CNC. (n.d.). Retrieved June 3, 2021, from <http://www.comansa.eu/conos-y-elementos-porta-herramientas-cnc.html>

Galbarro, H. R. (2018). Fundamentos de los Procesos de Mecanizado. Fundamentos de Los <https://doi.org/10.18041/1794-4953/avances.2.257>

Gerling, H. (1997). Alrededor de las máquinas-herramienta (p. 269).

Gómez, S. M. (2006). *Procedimientos de mecanizado*. 409. <https://books.google.com/books?id=f4Sh-53vvSVtgC&pgis=1>
HAIMER_Portaherramientas .pdf. (n.d.).

Insertos para Torno | De Máquinas y Herramientas. (n.d.). Retrieved June 19, 2021, from <https://www.demaquinasyherramientas.com/mecanizado/insertos-para-torno-clasificacion-iso-y-aplicaciones>
Mini Shaft – Inserts. (n.d.). 589.

Portaherramientas CNC, ¿qué son y cuáles tipos diferentes existen? (2021). <https://www.yamazen.com.mx/blog/cutting-tool/portaherramientas-cnc-que-son-y-cuales-tipos-diferentes-existen.html>

Salvador, J. (2020). *Máquinas CNC: Todo lo que necesitas saber*. <https://yamazen.com.mx/blog/machine-tools/maquinas-cnc-todo-lo-que-necesitas-saber.html>

Tipos de portaherramientas de torno - Ircservices.com. (n.d.). Retrieved June 3, 2021, from https://www.ircservices.com/tipos-de-portaherramientas-de-torno_M3bXNMna/
Tratamientos térmicos de los metales •. (n.d.).
Vivar, C. M. (n.d.). *Conos y Portaherramientas* (p. 8).

academia.edu/28166250/CONOS_Y_PORTAHERRAMIENTAS

Axioma B2B Marketing, una empresa del grupo Axioma Group S.A.S. (s. f.). Seco Tools, LLC. Seco Tools, LLC. Recuperado 21 de junio de 2021, de <https://www.metalmecanica.com/guia-de-proveedores/empresas/Seco-Tools,-LLC+7758>

Gaitán Peña , Carlos Alberto. (2017). *Líneas de Productos Software: Generando Código a Partir de Modelos y Patrones. Software Product in Lines: Code Generation from MDA and Patterns.*, (22), p1, ISSN:0122-1701 DOI:10.22517/23447214.9131Número de acceso:129781868

ECONOMÍA EN EL MAQUINADO PARA LA INDUSTRIA METALMECÁNICA. CORONADO MARIN, JOHN JAIRÓ. estud.gerenc. [online]. 2005, vol.21, n.94, pp.39-46. ISSN 0123-5923.

Tools, S. (s. f.). ES-Solid-End-Mills-2020.1—Page 6. <https://www.secotools.com/>. Recuperado 21 de junio de 2021, de <https://ipaper.ipapercms.dk/SecoTools/seco-news/20201/solid-end-mills/es-solid-20201/?page=6>

Servicio Nacional de Aprendizaje (SENA). (2014, 16 marzo). Afilado fresas (todo tipo) en afiladora universal de herramientas. <https://repositorio.sena.edu.co/handle/11404/1636?show=full>. <https://repositorio.sena.edu.co/handle/11404/1636>

Edouard, B. (s. f.). *Teoría y práctica de las herramientas de corte* (978.a-84.a-252.a-0280-3 ed. ed., Vols. 1 y 2) [Libro electrónico]. Editorial Gustavo Gili. <https://www.iberlibro.com/TEORIA->

PRACTICA-HERRAMIENTAS-CORTE-BLANPAIN-EDUARDO/6080608146/bd ISBN: 978-54
84-252-0280-3 EAN: 9788425202803

Empresa Ferros Planes. (2019, 31 julio). Tipos de mecanizado: ¿cuáles son los más habituales? ferrosplanes. (<https://ferrosplanes.com/tipos-de-mecanizado-cuales-son-los-mas-habituales/>)

Castro Patiño, L. F. (2015, 3 noviembre). Torno CNC: Programar bien es Tornear bien. *metal actual*, 18(3). <https://www.yumpu.com/es/metalactual.com>

Perez, D., & Martínez Krahmer, D. (2015, septiembre). Desgaste por craterización en insertos de corte. <https://doi.org/10.13140/RG.2.1.4611.8647>. (DOI:10.13140/RG.2.1.4611.8647)

Millán Gómez, Simón (2006). *Procedimientos de Mecanizado*. Madrid: Editorial Paraninfo. ISBN 84-9732-428-5.

Larburu Arrizabalaga, Nicolás (2004). *Máquinas. Prontuario. Técnicas máquinas herramientas*. Madrid: Thomson Editores. ISBN 84-283-1968-5.

Whitlock, Jerry (2004). "Manual de juntas tóricas del hombre sello" (PDF) . EPM, Inc. - El hombre de las focas. Archivado desde el original (PDF) el 10 de agosto de 2019 . Consultado el 8 de diciembre de 2018

Paramo, G. (2012). Aplicaciones de los sistemas CAD/CAM en la manufactura moderna. *Revista Universidad EAFIT*, 34(110), 11-25. Recuperado a partir de <https://publicaciones.eafit.edu.co/index.php/revista-universidad-eafit/article/view/1110>

Anexos

1. Plano porta herramienta
2. Plano herramienta de corte
3. Plano de ensamble