

**TALLADO DE GEOMETRIAS COMPLEJAS, POR MEDIO DEL PROCESO DE ARRANQUE DE  
VIRUTA, EN TORNO TIPO SUIZO POLYGIM DIAMOND 20CSB**

Diego Martínez Moreno

Director:

Ing. Jorge Andrés García

UNIVERSIDAD SANTO TOMAS  
FACULTAD DE INGENIERIA  
PROGRAMA INGENIERIA MECANICA  
BOGOTÁ D. C.  
2014

**TALLADO DE GEOMETRIAS COMPLEJAS, POR MEDIO DEL PROCESO DE ARRANQUE DE  
VIRUTA, EN TORNO TIPO SUIZO POLYGIM DIAMOND 20CSB**

Diego Martínez Moreno  
Cód.: 1018445009

Trabajo de grado para optar al título de  
Ingeniero Mecánico

Director:  
Ing. Jorge Andrés García

UNIVERSIDAD SANTO TOMAS  
FACULTAD DE INGENIERIA  
PROGRAMA INGENIERIA MECANICA  
BOGOTÁ D. C.  
2014



## AGRADECIMIENTOS

- A mi familia por el apoyo incondicional que me dieron durante mi proceso de formación profesional.
- Al ingeniero Jorge García por su apoyo, enseñanzas y acompañamiento durante la realización de este trabajo.

## CONTENIDO

<b>GLOSARIO.....</b>	<b>9</b>
<b>RESUMEN .....</b>	<b>11</b>
<b>INTRODUCCIÓN .....</b>	<b>12</b>
<b>OBJETIVOS.....</b>	<b>14</b>
<b>1. ANÁLISIS DE LA CAPACIDAD TECNOLÓGICA DEL TORNO TIPO SUIZO .....</b>	<b>15</b>
1.1 APLICACIONES DEL TORNO TIPO SUIZO EN LA INDUSTRIA MUNDIAL.....	24
1.2 CAPACIDAD TECNOLÓGICA DE UN TORNO TIPO SUIZO .....	29
1.3 TORNOS SUIZOS EN LA INDUSTRIA COLOMBIANA .....	34
<b>2. APROPIACIÓN DE LA TECNOLOGÍA DEL TORNO TIPO SUIZO POLYGIM DIAMOND 20SCB .....</b>	<b>37</b>
2.1 SELECCIÓN DE PIEZA PRUEBA.....	38
2.2 PROCESO DE MANUFACTURA PIEZA PRUEBA .....	38
2.3 METROLOGIA .....	39
<b>3. FABRICACION DE UN COMPONENTE COMPLEJO .....</b>	<b>41</b>
3.1 SELECCIÓN COMPONENTE COMPLEJO .....	41
3.2 PROCESO DE MANUFACTURA PIEZA PUNTA ESFÉRICA (ACERO O1) .....	42
3.3 PROCESO DE MANUFACTURA CASQUETE ESFERICO (LATON) .....	49
3.4 METROLOGIA .....	54
3.5 CALIFICACIÓN TECNOLÓGICA .....	56
<b>CONCLUSIONES.....</b>	<b>58</b>
<b>RECOMENDACIONES.....</b>	<b>59</b>
<b>ANEXO A. FICHAS TÉCNICAS.....</b>	<b>62</b>
<b>ANEXO B. MANUFACTURA PIEZA PRUEBA .....</b>	<b>69</b>
<b>ANEXO C. MANUAL DE USUARIO TORNO POLYGIM 20 CSB.....</b>	<b>73</b>
<b>ANEXO D. MANUFACTURA PIEZAS COMPLEJAS .....</b>	<b>81</b>

## TABLA DE FIGURAS

Figura 1. Deflexión máxima de una viga en voladizo .....	15
Figura 2. Esquema cinemático de torno tipo suizo Polygim Diamond 20 CSB de la Universidad Santo Tomás.....	16
Figura 3. Elementos y pares cinemáticos de un mecanismo .....	17
Figura 4. Par cilíndrico del husillo .....	20
Figura 5. Par prismático de las herramientas verticales y frontales.....	20
Figura 6. Esquema de ejes de las herramientas verticales en el husillo 1 .....	21
Figura 7. Esquema de ejes de las herramientas frontales en el husillo 1 .....	21
Figura 8. Herramientas motorizadas.....	22
Figura 9. Mecanismo plano vs mecanismo especial .....	22
Figura 10. Esquema torno suizo Polygim Diamond 20CSB .....	23
Figura 11. Ejes permitidos en el torno suizo.....	24
Figura 12. Tubo de unión para motor RB-211 y adaptador fijo para motor EJ200. ....	25
Figura 13. Racor y cuerpo de válvula .....	26
Figura 14. Llave cuadrante y llave hexagonal .....	27
Figura 15. Brida y Tornillo pasador .....	28
Figura 16. Cono de 14° para reloj .....	29
Figura 17. Citizen Machinery – L20X.....	32
Figura 18. Modelo CAD pieza prueba .....	38
Figura 19. Secciones pieza prueba .....	40
Figura 20. Robot delta.....	41
Figura 21. Montaje piezas .....	41
Figura 22. Representación ejes par esférico.....	42
Figura 23. Modelo CAD pieza punta esférica.....	43
Figura 24. Esfera frontal.....	43
Figura 25. Ranurado posterior esfera .....	44
Figura 26. Esfera posterior.....	44
Figura 27. Desbaste sección caras planas .....	44
Figura 28. Caras planas .....	45
Figura 29. Desbaste sección roscada .....	45
Figura 30. Roscado .....	46
Figura 31. Variables herramienta de desbaste .....	47
Figura 32. Variables herramienta de ranurado.....	47
Figura 33. Variables herramienta de roscado.....	48
Figura 34. Variables herramienta de fresado .....	48
Figura 35. Modelo CAD casquete esférico.....	49
Figura 36. Sección DESBASTE-CASQUETE del código Casquete esférico .....	51
Figura 37. Diagrama de flujo sección DESBASTE-CASQUETE .....	51

Figura 38. Herramienta PICCO R 050.6-22 IC228.....	52
Figura 39. Variables herramienta broca de centro.....	53
Figura 40. Secciones pieza punta esférica.....	54
Figura 41. Medición radio del casquete esférico con galga.....	55
Figura 42. Polygim – CSL 12-2Y Tool System.....	62
Figura 43. Polygim – 20CSB.....	62
Figura 44. Polygim – 42CSL.....	63
Figura 45. Star Micronics Machine Tools - SR- 10J Type C.....	63
Figura 46. Star Micronics Machine Tools - SR-20J type C.....	64
Figura 47. Star Micronics Machine Tools - ECAS-20T.....	64
Figura 48. GOODWAY - SD- 16 Tool System.....	65
Figura 49. GOODWAY - SD- 20 Tool System.....	65
Figura 50. GOODWAY - SD- 42 Tool System.....	66
Figura 51. Citizen Machinery - K16E-VII.....	66
Figura 52. Citizen Machinery - A32-VIPL.....	67
Figura 53. Citizen Machinery – L20X.....	67
Figura 54. Kanxin Digital Controlled Lathe Co. – CJK-6130 – Torno biaxial.....	68
Figura 55. Plano de manufactura pieza prueba.....	69
Figura 56. Hoja de proceso pieza prueba.....	70
Figura 57 (Continuación). Hoja de proceso pieza prueba.....	71
Figura 58. Componentes físicos del torno suizo.....	73
Figura 59. Display del torno suizo Polygim diamond 20 CSB.....	74
Figura 60. Ingreso de material.....	75
Figura 61. Pasos 1 y 2 selección punto inicial.....	76
Figura 62. Paso 3 selección punto inicial.....	76
Figura 63. Display WORK.....	77
Figura 64. Display compensación de herramientas.....	79
Figura 65. Herramienta PICCO R 050.6-22 IC228.....	80
Figura 66. Plano de manufactura punta esférica.....	81
Figura 67. Hoja de procesos punta esférica.....	82
Figura 68 (Continuación). Hoja de procesos punta esférica.....	83
Figura 69 (Continuación). Hoja de procesos punta esférica.....	84
Figura 70. Plano de manufactura casquete esférico.....	87
Figura 71. Hoja de proceso casquete esférico.....	88
Figura 72 (Continuación). Hoja de procesos casquete esférico.....	89

## TABLA DE CUADROS

Cuadro 1. Pares cinemáticos de clase I.....	18
Cuadro 2. Pares cinemáticos de clase II.....	18
Cuadro 3. Pares cinemáticos de clase III.....	19
Cuadro 4. Pares cinemáticos de clase IV.....	19
Cuadro 5. Pares cinemáticos de clase V.....	20
Cuadro 6. Calificación según capacidad tecnológica .....	33
Cuadro 7. Industrias colombianas.....	35
Cuadro 8. Resultados metrología pieza prueba.....	40
Cuadro 9. Resultados metrología punta esférica.....	55
Cuadro 10. Resultados metrología casquete esférico .....	56



## GLOSARIO

**BANCADA:** Tanto en los tornos convencionales como en los de control numérico, la estructura de la bancada determina las dimensiones máximas con que se pueden trabajar las piezas; en los tornos CNC estas fueron diseñadas especialmente para desplazamientos rápidos, conservando por largos períodos de tiempo, precisión en los movimientos.

**CÓDIGO NC:** Es el nombre que habitualmente recibe el lenguaje de programación más usado en Control Numérico Computarizado (CNC), el cual posee múltiples implementaciones. Usado principalmente en automatización, forma parte de la ingeniería asistida por computadora. Al G-code también se le llama lenguaje de programación G.

**CRITERIO DE GRUBLER:** También llamada criterio de Kutzbach-Grübler es una expresión para la aplicación del criterio del mismo nombre que permite obtener el grado de movilidad de un mecanismo. El criterio consiste simplemente en realizar una diferencia entre los grados de libertad de los eslabones del mecanismo y las restricciones impuestas por los pares cinemáticos.

**ELEMENTOS DE UN MECANISMO:** Los elementos constitutivos de un mecanismo son, por un lado, los cuerpos que forman el mecanismo y, por el otro lado, las conexiones entre estos cuerpos que les permiten permanecer en contacto y transmitir movimiento.

**GRADOS DE LIBERTAD:** Es el número mínimo y suficiente de variables necesarias para especificar completamente la posición del cuerpo. Si el cuerpo está libre de moverse en el espacio su movimiento tiene seis grados de libertad.

**HOJA DE PROCESO:** La hoja de proceso de una pieza es una hoja informativa en la que se recogen todas las características necesarias para su fabricación, operaciones a realizar y su secuencia de trabajo, tratados de forma secuencial, y con un proceso lógico y estudiado de fabricación, máquinas que intervienen en su mecanizado, herramientas que se han de utilizar y sus características, así como los cálculos técnicos, etc.

**HUSILLO:** Es el que produce el movimiento giratorio de las piezas; por lo regular, los tornos CNC disponen de un motor de corriente alterna que actúa directamente sobre éste, a través de una transmisión por poleas.

A diferencia de los tornos CNC, los convencionales utilizan, en vez de un motor, una caja de engranajes para hacer girar el husillo, se trata de una combinación de palancas, en las que el operario indica las velocidades según una tabla ya estipulada por la industria.

**MANUFACTURA:** Consiste en la transformación de materias primas en productos manufacturados, productos elaborados o productos terminados para su distribución y consumo.

**MAQUINA:** Es un mecanismo o una combinación de mecanismos que transmiten fuerza, desde la fuente de potencia hasta la resistencia a vencer.

**MECANISMO:** Es un dispositivo para transformar un movimiento en otro.

**PARES CINEMÁTICOS:** Una pareja de elementos, pertenecientes a diferentes eslabones, mantenidos permanentemente en contacto y de manera que existe movimiento relativo entre ellos, recibe el nombre de par cinemático.

**PLANO DE MANUFACTURA:** Los planos de manufactura son documentos que corresponden a objetos que posteriormente serán fabricados. Estos planos pueden ser de objetos mecánicos, de arquitectura, de ingeniería civil o de ingeniería naval.

**TORNO:** Se denomina torno a un conjunto de máquinas y herramientas que permiten mecanizar piezas de forma geométrica de revolución. Estas máquinas-herramienta operan haciendo girar la pieza a mecanizar (sujeta en el cabezal o fijada entre los puntos de centraje) mientras una o varias herramientas de corte son empujadas en un movimiento regulado de avance contra la superficie de la pieza, cortando la viruta de acuerdo con las condiciones tecnológicas de mecanizado adecuadas.

**TORNO CNC:** Torno de control numérico se refiere a una máquina herramienta del tipo torno que se utiliza para mecanizar piezas de revolución mediante un software de computadora que utiliza datos alfa-numéricos, siguiendo los ejes cartesianos X, Y, Z. Se utiliza para producir en cantidades y con precisión porque la computadora que lleva incorporado controla la ejecución de la pieza.

**TORNO TIPO SUIZO:** Se emplean para el maquinado de piezas con diámetros pequeños, generalmente piezas de relojería y piezas para implantes dentales o quirúrgicos en titanio o en acero inoxidable.

Su característica principal y que además lo diferencia de los tornos tradicionales, es que posee un cabezal móvil cuyo desplazamiento se realiza longitudinalmente sobre el eje "z".

**TORRETA:** Las herramientas que realizan las operaciones de mecanizado están sujetas a una torreta de herramientas, que varían de acuerdo al trabajo de mecanizado que se ha programado previamente.

## RESUMEN

En este trabajo de grado se implementó el proceso de manufactura para el tallado de dos geometrías complejas por medio del proceso de arranque por viruta en el torno tipo suizo Polygim Diamond 20 CSB de la universidad Santo Tomás. En la primera etapa se realizó un estudio de la tecnología de tornos tipos suizo donde se conoció las principales características de estos, las aplicaciones en industrias a nivel mundial y en Colombia y la capacidad tecnológica del torno tipo suizo de la universidad Santo Tomás con respecto a otros tornos de tecnología similar. Como segunda etapa se fabricó una pieza sencilla de prueba, para conocer el funcionamiento de la máquina. Finalmente se desarrolló el proceso de manufactura de dos componentes complejos del robot delta FIM-USTA, los cuales conforman la articulación esférica del mecanismo. Para el desarrollo de estas piezas se vieron involucrados varios implementos tecnológicos y métodos de programación que son de uso industrial como el software CAD NX y el método de programación por macros. El desarrollo de estas piezas se generó teniendo en cuenta procesos de manufactura industriales donde se incluye los planos de manufactura, las hojas de procesos y el código NC.

## INTRODUCCIÓN

La industria manufacturera metalmecánica a nivel mundial necesita suplir la demanda de componentes cada vez más complejos requeridos por industrias como la aeronáutica, la química y la médica.

La industrias se enfrenta con varios retos, como los de ser competitivos con otros proveedores y al mismo tiempo mantener altos niveles de calidad; donde un claro ejemplo se observa en las industrias que realizan producción en serie que además de generar la cantidad necesaria para el cliente satisface todos los criterios de calidad exigidos, un ejemplo de ello es el sector de implantes dentales que para mecanizar volúmenes cada vez mayores se encuentran procesos optimizados para su producción [1].

En contraposición, también se encuentra la necesidad de variedad de productos con alta calidad en componentes especializados, que dependen de las especificaciones del cliente ya sea para repuestos de maquinaria como automotores, aviones o maquinaria agrícola o como piezas antropométricas de un paciente, estos sectores deben trabajar con una producción especializada bajo pedido logrando utilizar procesos de producción más flexibles, que permiten someterse a cambios con una mayor rapidez y responder a las demandas del mercado.

Para la solución de las anteriores necesidades, los fabricantes de maquinaria han desarrollado máquinas multifunción o multiproceso, es decir, la tendencia en máquinas y herramientas para las industrias es hacia una automatización completa, donde la máquina desarrolle, si es posible, el cien por ciento del proceso del producto.

Según Pablo Etter, gerente general de IMOCOM S.A.<sup>1</sup>, esta tecnología no se está apropiando con la velocidad que lo requiere la industria nacional, debido a que la automatización en las maquinas comenzó a desarrollarse de una manera masiva en los años 80 [2], a Colombia está llegando ahora, se observa que la cantidad de máquinas multifunción en Colombia es muy baja.

---

<sup>1</sup> Empresa colombiana, con 60 años de experiencia, dedicada a la importación de maquinaria y equipos para el sector industrial.

En consecuencia, la industria colombiana se encuentra atrasada tecnológicamente, se requiere apropiar la tecnología con rapidez si se desea que el nivel de la industria manufacturera sea competitivo.

Particularmente, en los procesos de arranque de viruta por torneado, en torno tipo suizo no se ha desarrollado su capacidad tecnológica, no solo por el costo de la maquinaria, que puede estar en el orden de US \$100.000 a US 250.000 [3], sino también porque las industrias ven la recuperación de esta inversión muy lejana. Por medio del contrato 130 de 2010, la Universidad Santo Tomás, a través de la Facultad de Ingeniería Mecánica, adquirió dos máquinas multifunción-multiejes para fortalecer sus laboratorios de manufactura; un centro de mecanizado vertical con cinco ejes de movimiento marca Finetech GTX-210 y un torno tipo suizo marca Polygim Diamond 20 CSB.

Basados en la problemática mencionada, se pretende realizar un aporte a la apropiación de la tecnología de control numérico computarizado en torno tipo suizo polygim Diamond 20 CSB, por medio de la programación de rasgos de manufactura complejos para la fabricación de componentes especializados.

## OBJETIVOS

### GENERAL

Implementar el tallado de rasgos de manufactura complejos en el proceso de mecanizado por arranque de viruta en torno tipo suizo Polygim Diamond 20CSB.

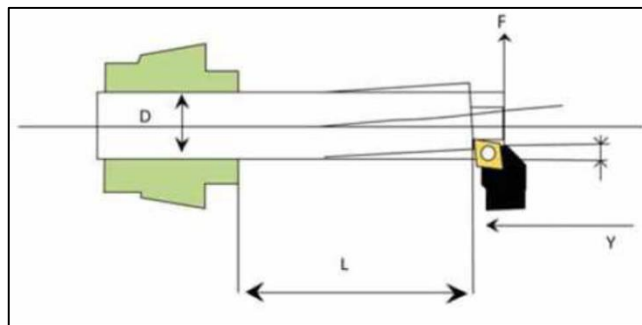
### ESPECÍFICOS

- Contrastar la capacidad tecnológica del torno tipo suizo Polygim Diamond 20CSB con la capacidad tecnológica utilizada en la industria colombiana.
- Apropiar la tecnología de control numérico por medio de la implementación y montaje de procesos de mecanizado con operaciones tecnológicas básicas en el torno tipo suizo Polygim Diamond 20SCB.
- Realizar montaje en torno tipo suizo Polygim Diamond 20SCB para la fabricación de un componente con rasgo de manufactura complejo.

## 1. ANÁLISIS DE LA CAPACIDAD TECNOLÓGICA DEL TORNO TIPO SUIZO

Los tornos tipo suizo son capaces de trabajar piezas cuya longitud es mucho mayor que el diámetro del mecanizado de la pieza, estos trabajos no se lograban realizar en tornos comunes debido a que si consideramos la pieza como una viga en voladizo, la deflexión es muy grande debido a la fuerza ejercida por la herramienta en el proceso de corte. Así como se muestra en la Figura 1, la deflexión "Y" varía con el cubo de la longitud en voladizo. Con longitudes superiores a tres veces el diámetro, la deflexión es tan grande, que genera vibraciones que afectarán el acabado de la superficie mecanizada, acelerarán el desgaste de la herramienta y no será posible garantizar las tolerancias geométricas y dimensionales.

Figura 1. Deflexión máxima de una viga en voladizo



$$Y_{max} = \frac{-Fl^3}{3EI}$$

Fuente: [4]

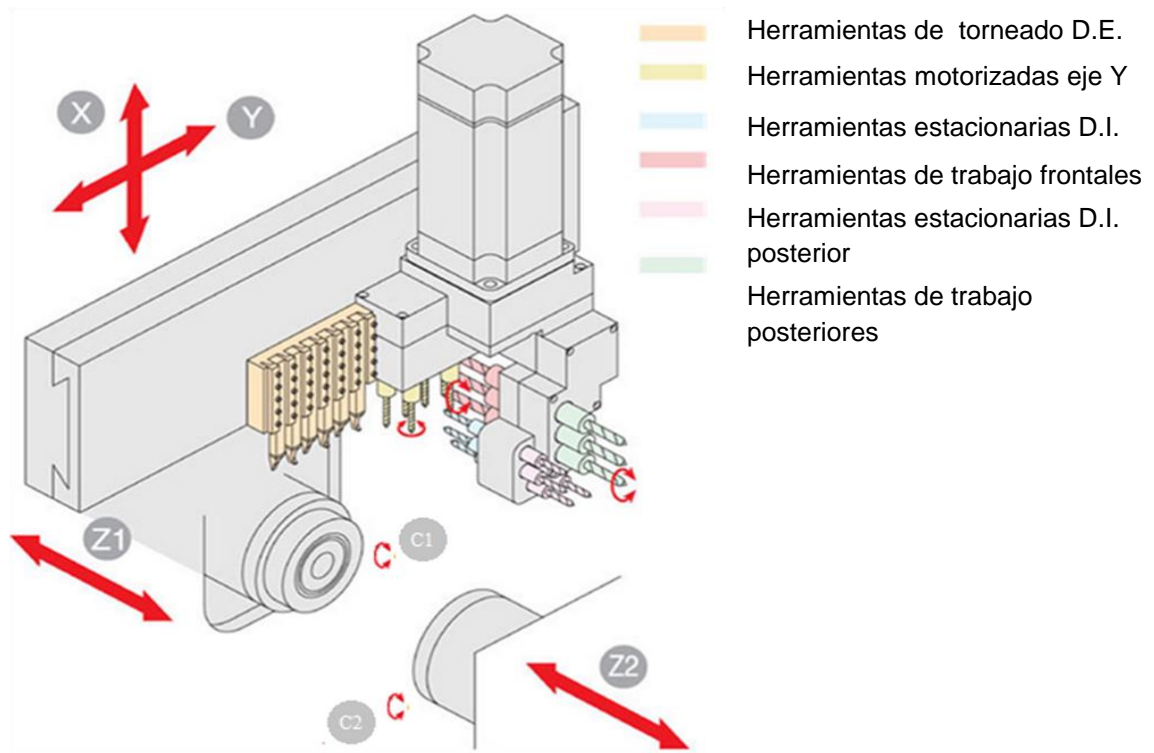
En el torno tipo suizo la barra es sostenida mediante una pinza y alimentada en el eje z a la posición del mecanizado, por medio de un buje guía la longitud en voladizo se minimiza, eliminando el efecto de vibración debido a la deflexión del material, como consecuencia es posible trabajar longitudes mayores a cuatro veces el diámetro de la materia prima, esto lo diferencia de los demás centros de mecanizado en los que la pieza es estacionaria y las herramientas se mueven para generar el movimiento de avance que produce el fenómeno del corte.

Por otro lado los grados de libertad de una máquina herramienta o robot, depende de la cantidad de ejes de movimiento en paralelo de la misma, pero no necesariamente la cantidad de ejes definen los grados de libertad de la máquina. Es el caso del torno tipo suizo marca Polygim Diamond 20 CSB de la universidad santo Tomas mostrado en la Figura 2. La configuración física de la maquina le otorga 4 grados de libertad en el husillo 1 y tres grados de libertad en el husillo 2, contando solamente con 5 ejes de movimiento.

El material es alimentado a la zona de trabajo por el eje Z1 y una serie de herramientas de torneado y herramientas motorizadas pueden ejecutar procesos de arranque de viruta sobre él. La torreta de herramienta puede desplazarse en los ejes X y Y. Además, el material puede ser rotado sobre su eje de simetría por medio del eje C1. El control de la máquina puede interpolar estos cuatro ejes mencionados al mismo tiempo, confiriendo a la máquina cuatro grados de libertad en el cabezal uno.

Por otro lado el cabezal 2, se encarga de mover el material en el eje Z2 y la torreta de herramientas, la misma que opera sobre el cabezal 1, puede realizar los movimientos en los ejes X y Y. Para el caso particular el eje C2, no puede ser interpolado con los ejes Z2, X y Y, confiriendo 3 grados de libertad en el husillo 2.

Figura 2. Esquema cinemático de torno tipo suizo Polygim Diamond 20 CSB de la Universidad Santo Tomás.



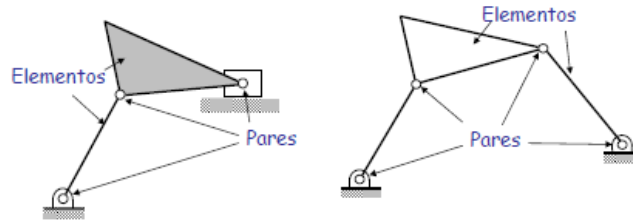
Fuente: [5]

Teniendo en cuenta lo dicho anteriormente se sustentarán mediante el criterio de Grubler el cual sirve para determinar el número de grados de libertad de un mecanismo para lo cual se dará una breve explicación de que es un mecanismo y cuáles son sus componentes.



Un mecanismo es un sistema formado por la unión de 2 o más cuerpos rígidos (elementos) unidos a través de uniones llamadas pares cinemáticos así como se puede ver en la Figura 3.

Figura 3. Elementos y pares cinemáticos de un mecanismo

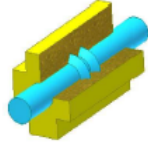
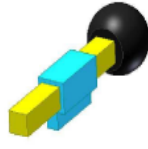
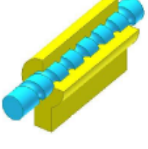


Fuente: [6]

Los elementos son cada una de las partes que se pueden descomponer de un sistema, estos tienen varias formas de clasificación pero en este caso se tomará la clasificación por el número de pares, los pares cinemáticos se definen como la unión entre dos elementos, permitiendo el movimiento en algún grado de libertad, los pares cinemáticos también se pueden clasificar de varias formas pero en este caso se tomará la clasificación por clase [6].

La importancia de los pares cinemáticos es que deben permitir el movimiento relativo entre los elementos, lo que quiere decir que por lo menos debe existir un grado de libertad en el movimiento relativo, por esta razón se hará una breve referencia de los pares cinemáticos como se muestra en los cuadros del 1 al 5 adaptado de "Introducción a la cinemática de la máquinas" de José María Rico Martínez se muestra una lista de los pares cinemáticos de cada clase, el cual se tomó como base para realizar un estudio en el torno Polygim Diamond 20 CSB de la Universidad Santo Tomás, donde se encontró que trabajan 2 pares cinemáticos los cuales se explicarán más adelante para facilitar el entendimiento de los ejes permitidos a usar en el husillo 1.

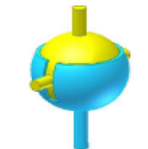
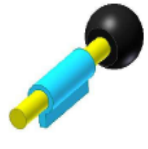
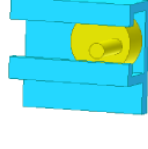
Cuadro 1. Pares cinemáticos de clase I

Pares cinemáticos de clase I		
Revoluta		Permite un movimiento de rotación alrededor de un eje fijo.
Prismático		Permite un movimiento de traslación a lo largo de un eje, o una curva dada.
Helicoidal o de tornillo		Permite un movimiento de traslación a lo largo de un eje y simultáneamente un movimiento de rotación, dependiente de la traslación, alrededor del mismo eje.

Fuente: [7]

Los pares cinemáticos de clase I permite 1 grado de libertad de movimiento, ya sea de rotación o traslación, donde como se muestra en el cuadro 1 hay 3 posibles casos.


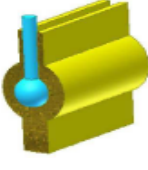

Cuadro 2. Pares cinemáticos de clase II

Pares cinemáticos de clase II		
Esfera ranurada		Permite un movimiento de rotación alrededor de dos ejes linealmente independientes.
Cilíndrico		Permite un movimiento de traslación a lo largo de un eje y un movimiento de rotación independiente alrededor del mismo eje.
Leva		Permite traslación a lo largo de un eje y rotación alrededor de un eje perpendicular al primero.

Fuente: [7]

Los pares cinemáticos de clase II permiten 2 grados de libertad de movimiento, donde ya se pueden combinar los ejes de rotación y traslación, como se muestra en el cuadro 2 unos ejemplos.

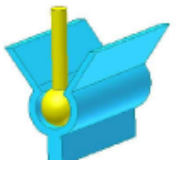

Cuadro 3. Pares cinemáticos de clase III

Pares cinemáticos de clase III		
Esférico o globular		Permite rotación alrededor de tres ejes. Es decir Permite rotación alrededor de un punto fijo.
Esfera sobre cilindro acanalado		Permite rotación alrededor de dos ejes linealmente independientes y traslación a lo largo de un tercer eje.
Plano		Permite traslación a lo largo de dos ejes y rotación alrededor de otro eje perpendicular a los otros dos.

Fuente: [7]

Los pares cinemáticos de clase III permiten 3 grados de libertad de movimiento, donde en algunos casos todos los ejes son de rotación o combinan rotación y traslación, así como se ve en el cuadro 3.

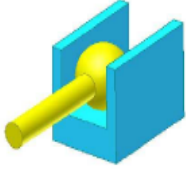
Cuadro 4. Pares cinemáticos de clase IV

Pares cinemáticos de clase IV		
Esfera sobre acanaladura		Permite rotación alrededor de tres ejes y translación a lo largo de otro.
Cilindro sobre plano		Permite rotación alrededor de dos ejes y translación a lo largo de otros dos.

Fuente: [7]

Los pares cinemáticos de clase IV permiten 4 grados de libertad de movimiento, donde en esta clase de pares cinemáticos se ven una gran cantidad de ejes combinados generando una complejidad en el mecanismo, como se ve en el cuadro4.

Cuadro 5. Pares cinemáticos de clase V

Pares cinemáticos de clase V		
Esfera sobre plano		Permite translación a lo largo de dos ejes y rotación alrededor de tres ejes.

Fuente: [7]

Los pares cinemáticos de clase V permiten 5 grados de libertad de movimiento, donde la cantidad de movimientos solo restringen un grado de libertad permitiendo mayor movimiento y mayor libertad en un mecanismo, como se ve en el cuadro 5 la combinación de 2 ejes de traslación y 3 de rotación.

Para el análisis del husillo 1 se tuvo en cuenta que elementos intervenían con él, donde se encontró que intervienen: el buje guía que alimenta la materia prima y la torreta que contiene las herramientas verticales motorizadas y fijas y las herramientas frontales motorizadas y fijas.

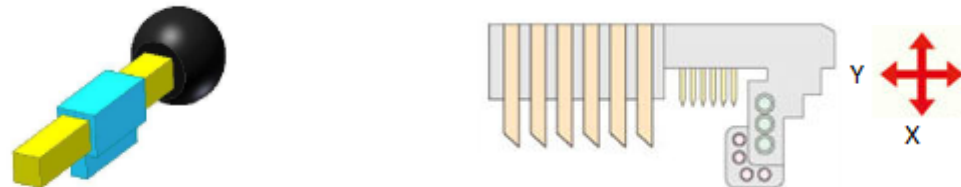
Figura 4. Par cilíndrico del husillo



Fuente: [7]

Como se ve en la Figura 4 el husillo puede trabajar el par cinemático cilíndrico que permite el movimiento en los ejes C y Z, los cuales en C permite una indexación en su propio eje y en Z permite un movimiento longitudinal lo que permite la entrada y salida del material en bruto.

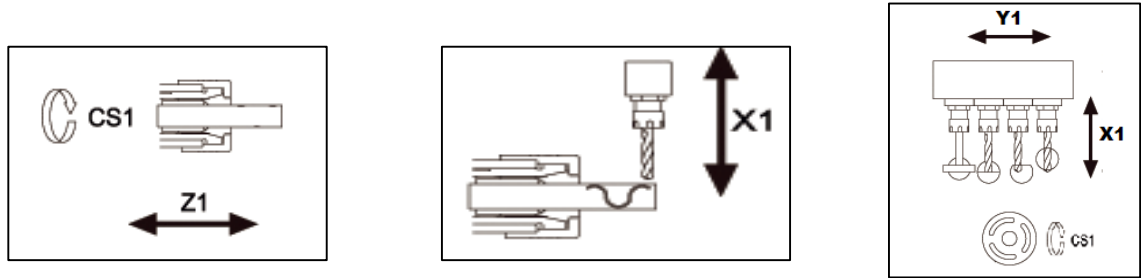
Figura 5. Par prismático de las herramientas verticales y frontales



Fuente: [7]

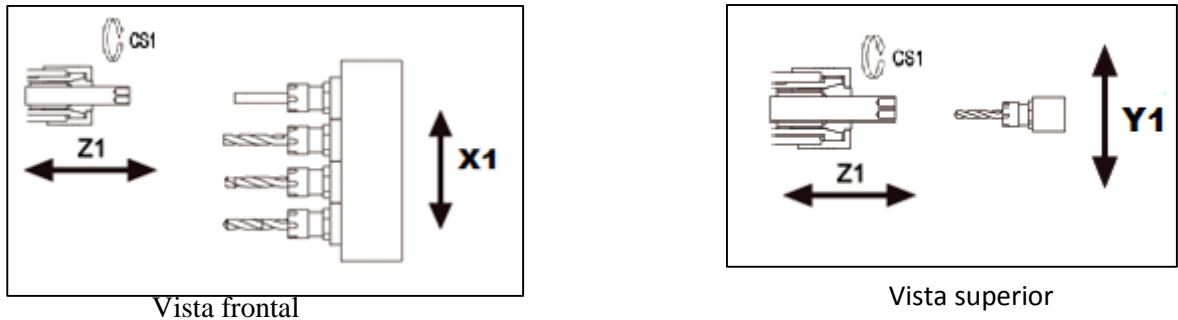
En la Figura 5 vemos como las herramientas verticales y frontales permiten trabajar dos pares prismáticos ya que permiten el movimiento vertical y horizontal de las herramientas, en la Figura 6 se muestra el esquema de las herramientas verticales con respecto al husillo 1 y en la Figura 7 se muestra el esquema de las herramientas frontales con respecto al husillo 1.

Figura 6. Esquema de ejes de las herramientas verticales en el husillo 1



Fuente: [5]

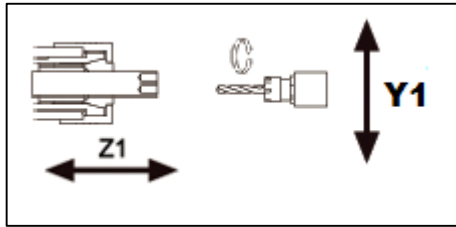
Figura 7. Esquema de ejes de las herramientas frontales en el husillo 1



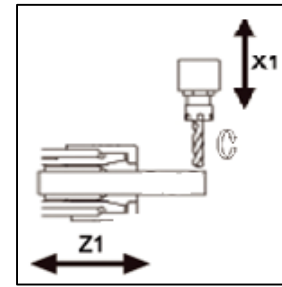
Fuente: [5]

En la Figura 8 se muestra como las herramientas motorizadas verticales y frontales permiten trabajar el material cuando este no se está girando generando el uso del eje Z para la entrada y salida del material, el eje Y si las herramientas verticales motorizadas atacan el material y el eje X si las herramientas frontales atacan el material para un total de 2 ejes simultáneos.

Figura 8. Herramientas motorizadas



Herramienta frontal motorizada

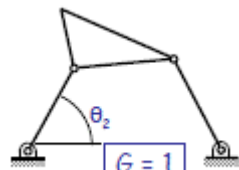


Herramienta vertical motorizada

Fuente: [5]

Teniendo en cuenta esto se aplicará el criterio de Grubler el cual aplica de dos maneras una para mecanismos planos y otra para mecanismos especiales como se observa en la Figura 9.

Figura 9. Mecanismo plano vs mecanismo especial



$$G = 1$$

$$G = 3(N-1) - 2 P_I - P_{II}$$

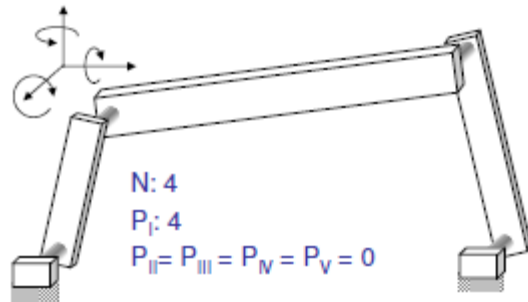
N: número de elementos.

$P_I$ : nº de pares clase I.

$P_{II}$ : nº de pares clase II.

Mecanismo plano

$$G = 6(N-1) - 5 P_I - 4 P_{II} - 3 P_{III} - 2 P_{IV} - P_V$$



N: 4

$P_I$ : 4

$P_{II} = P_{III} = P_{IV} = P_V = 0$

Mecanismo especial

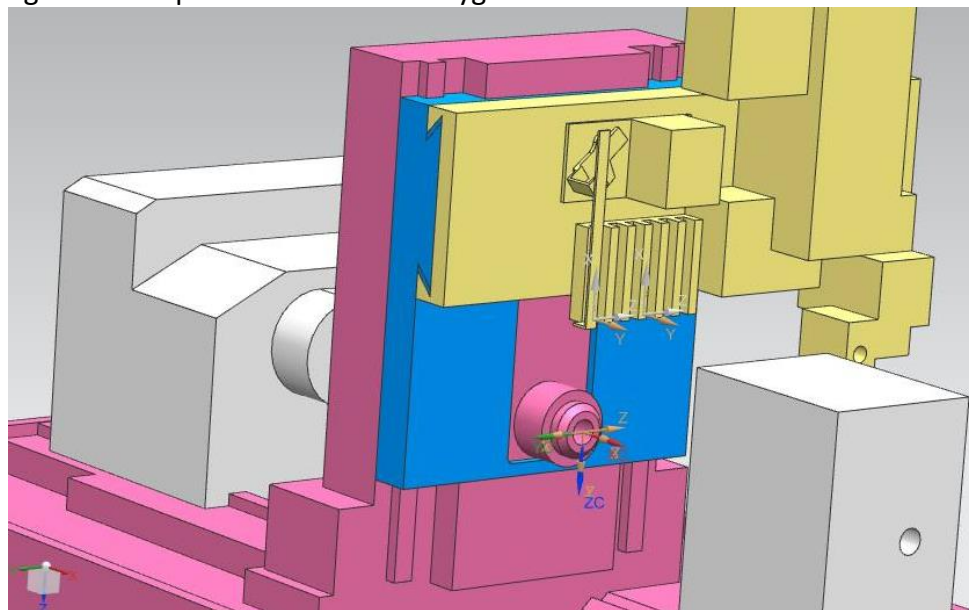
Fuente: [6]

Como se ve en la Figura 9 para los mecanismos planos la ecuación es multiplicada por 3 porque este es el número de ejes posibles en estos mecanismos, en cambio para los mecanismo especiales la ecuación esta multiplica por 6 ya que maneja los 3 ejes en X, Y y Z y sus respectivas rotaciones, el cual es el que sirve para analizar el torno tipo suizo Polygim Diamond 20 CSB de la universidad Santo Tomás.

Como se observa en la Figura 10 tomada del CAD del torno suizo polygim 20CSB de la universidad Santo Tomás realizada por un estudiante del semillero de investigación SARA de la universidad Santo Tomás, se observa que el número de elementos son 3 pero como el

husillo actúa como un elemento empotrado se cuentan 4 elementos los cuales están diferenciados por color donde el elemento 1 que es el husillo de color rosa genera un par cinemático cilíndrico que permite los movimientos en Z y C, el elemento 2 que es la bancada de color rosa es el que permite un par prismático que permite que el elemento 3 de color azul se pueda mover en X, que a su vez este también genera un par prismático que le permite el movimiento en el eje Y al elemento 4 de color amarillo que hace referencia a la torreta, como se puede ver tiene un total de 4 elementos y 3 pares cinemáticos 1 de clase II y 2 de clase I de tal manera que por medio de la ecuación del criterio de Grubler genera 4 grados de libertad para esta máquina como se observa en la ecuación 1.

Figura 10. Esquema torno suizo Polygim Diamond 20CSB



Fuente: [8]

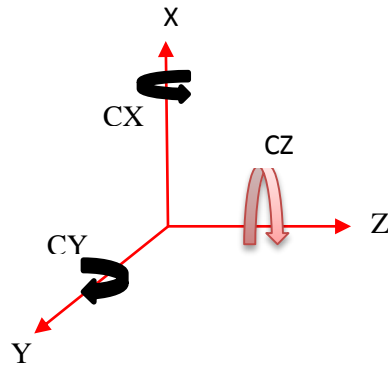
$$G = 6(4 - 1) - 5(2) - 4(1)$$

$$G = 4$$

Ecuación 1. Criterio de Grubler para el torno suizo en el husillo 1

De modo que se observa como el torno suizo puede trabajar los 4 grados de libertad que se describieron al principio del capítulo, donde los ejes que se pueden trabajar son los X, Y, Z y CZ como se ve en la Figura 11 y los ejes CX y CY que aparecen en negro son aquellos que el torno no permite el uso.

Figura 11. Ejes permitidos en el torno suizo



Fuente: [Autor]

### 1.1 APLICACIONES DEL TORNO TIPO SUIZO EN LA INDUSTRIA MUNDIAL

Las aplicaciones que se pueden generar en la industria con un torno tipo suizo son muy variadas ya que la mayoría de mercados las necesitan para poder suplir sus necesidades en equipos o máquinas, las razones principales por la cual el torno es uno de los más usados para realizar piezas de pequeño tamaño y geometrías complejas es la gran precisión que este ofrece, donde otros equipos de arranque por viruta no puede ofrecer con los requerimientos exigidos en la industria, esto le brinda al torno una capacidad innumerable de aplicaciones en industrias como se mostrará a continuación:

#### *Aeronáutica:*

La industria aeronáutica principalmente se realiza por pedido, ya que las empresas no están diariamente en construcción de maquinaria aeronáutica, por esto cuando ellos ya definen los elementos que requieren envían sus parámetros a la empresa que les realiza el proceso de fabricación [9] y esta realiza sus pruebas para determinar que cumple con todos los parámetros exigidos, como se puede ver la producción de estas piezas es en serie algunas veces y pequeñas y otras medinas por lo que hay que tener la versatilidad de poder generar programas y procesos de manera sencilla y eficaz.

A continuación se mostrarán unas piezas usadas en la industria aeroespacial:



Figura 12. Tubo de unión para motor RB-211 y adaptador fijo para motor EJ200.



Fuente: [10]

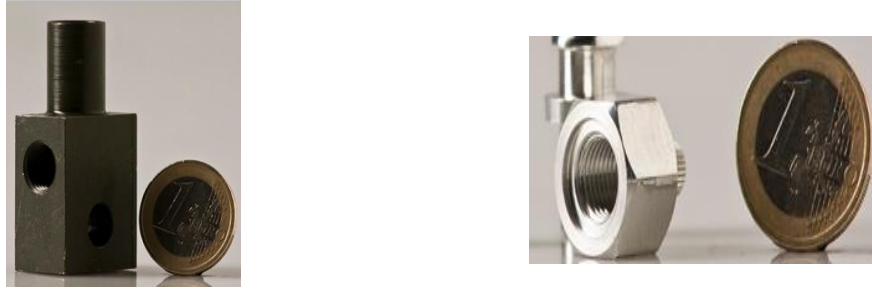
Para las piezas que se observan en la Figura 12 hay operaciones de roscado, cilindrado, y agujeros internos que se pueden realizar fácilmente con las herramientas verticales y se pueden ver como operaciones de torneado básico con 2 ejes X y Z, pero para la parte de fresado en las caras planas si es necesario el uso del eje C ya que permite la indexación del material para cada cara y ya es necesario el uso de herramientas motorizadas para trabajar el material mientras este está quieto.

#### *Automotriz:*

La industria automotriz es una de las más complejas y debido a su demanda y tecnología actual, esto indica que las empresas manufactureras deben estar en constante búsqueda de nuevas tecnologías donde se incremente la eficiencia y calidad del producto reduciendo tiempos y costos, esto se debe a que cada vez más en otros países como Japón desarrollan productos a bajo costo y de calidad [11], para esto se desarrollan nuevas tecnologías y softwares que simplifican la programación de mecanizado proporcionando estrategias eficaces de mecanizado [12], pero para poder desarrollar todas estas estrategias es necesario contar con tecnologías eficaces como las CNC.

A continuación se mostrarán unas piezas desarrolladas con tecnología CNC de la industria automotriz:

Figura 13. Racor y cuerpo de válvula



Fuente: [13]

Para las piezas que se observan en la Figura 13, hay operaciones de cilindrado que se puede realizar fácilmente con las herramientas verticales y se puede ver como una operación de torneado básico con 2 ejes X y Z, pero además de esto también se observa planeado, agujeros en caras planas, roscado interno donde es necesario el uso del eje C, X y Z ya que permite la indexación del material para cada cara e igual los agujeros en estas caras con la ayuda de herramientas verticales motorizadas y para el agujero y roscado interno se usan herramientas frontales ya sean motorizadas o fijas.

#### *Biomédica:*

La industria biomédica es una de las mas exigentes en el campo de la calidad y precisión debido a que cada parte realizada es por pedido para una única persona lo que indica que se requieren varios pedidos de una pieza con diferentes especificaciones segun sea la necesidad que esta requiere, exigiendo la versatilidad al momento de generar los códigos CNC, además de esto lo que convierte estas piezas en piezas complejas es la gran cantidad de operaciones que se realizan sobre el material [14] para convertirlo en el producto final.

Según Sandvik Coromant especialista en herramientas de corte y sistemas de herramientas indica que las operaciones de torneado representan el 55% de las piezas mecanizadas para el sector médico [15] lo que indica que el torno CNC cumple con los requisitos para generar piezas complejas y de calidad.

A continuación se mostrarán unas piezas usadas en la industria biomédica:

Figura 14. Llave cuadrante y llave hexagonal



Fuente: [16]

Para las piezas que se observan en la Figura 14, hay operaciones de cilindrado, torneado cónico que se pueden realizar fácilmente con las herramientas verticales y se pueden ver como operaciones de torneado básico con 2 ejes X y Z, pero además de esto también se observan caras planas y agujeros hexagonales donde es necesario el uso del eje C, X y Z ya que permite la indexación del material para cada cara e igual los agujeros en estas caras con la ayuda de herramientas verticales motorizadas.

*Productos de consumo:*

Los productos de consumo a pesar de no tener una gran complejidad en su proceso de manufactura igual debe cumplir con ciertos estándares y de calidad por lo que muchas veces se deben realizar en máquinas de precisión para cumplir con los requisitos del cliente, además de esto se generan producciones de gran demanda lo que implica que la máquina debe soportar gran trabajo y ser flexible para cambiar a los requerimientos del cliente.

En este caso la importancia que se requiere en esta industria es poder agilizar el trabajo y poder producir grandes series [17].

A continuación se mostrarán unas piezas usadas para productos de consumo:

Figura 15. Brida y Tornillo pasador



Fuente: [18]

Para las piezas que se observan en la Figura 15, hay operaciones de cilindrado, roscado, torneado cónico que se pueden realizar fácilmente con las herramientas verticales y se pueden ver como operaciones de torneado básico con 2 ejes X y Z, pero además de esto también se observan caras planas y agujeros y roscado interno donde es necesario el uso del eje C, X y Z ya que permite la indexación del material para cada cara e igual los agujeros en estas caras con la ayuda de herramientas verticales motorizadas y para el agujero y roscado interno se usan herramientas frontales ya sean motorizadas o fijas.

#### *Maquinaria:*

En la industria en general la mayoría de la maquinaria requiere de repuestos, muchas veces los fabricantes de las máquinas deben responder por estos repuestos, el problema es que estos no se producen en gran cantidad sino por pedido, además son para maquinarias distintas lo que genera que la producción sea flexible para poder satisfacer a sus clientes con tiempos de entrega cumpliendo con los estándares necesarios.

A continuación se mostraran unas piezas usadas en repuestos de maquinaria:

Figura 16. Cono de 14° para reloj



Fuente: [19]

Para el desarrollo de la pieza que observa en la Figura 16, el torno Polygim Diamond aunque su geometría no es compleja ya que solo es un cono, la complejidad se genera al tener que dar la precisión en una pieza tan pequeña, para desarrollar esta pieza solo es necesario los ejes X y Z con ayuda de herramientas verticales motorizadas y fijas, estas herramientas deben ser finas para lograr el acabado deseado.

## 1.2 CAPACIDAD TECNOLÓGICA DE UN TORNO TIPO SUIZO

De la arquitectura constructiva de un torno depende la complejidad de las piezas que estas puedan realizar ya que estos componentes le generan el funcionamiento al torno, para entender mejor esto se va a mostrar el funcionamiento de sus componentes para que más adelante se entienda la importancia que tiene cada uno.

Se comenzará con el husillo el cual es el que provee el movimiento giratorio de las piezas, en el torno suizo Polygim Diamond de la universidad Santo Tomás además de proveer este movimiento se puede indexar, es decir, que se puede manejar el movimiento giratorio a disposición, el husillo también provee el movimiento longitudinal en el eje Z el cual permite alimentar el material de trabajo.

Las torretas son las que sujetan las herramientas que realizan las operaciones de mecanizado, teniendo en cuenta entre más capacidad tenga la torreta de almacenar herramientas más operaciones tecnológicas se van a poder realizar.

Las herramientas verticales fijas y motorizadas son aquellas que permiten realizar operaciones de cilindrado, roscado, refrentado, ranurado, tronzado, fresado y operaciones básicas de un torno.

Las herramientas frontales fijas y motorizadas son aquellas herramientas que permiten realizar agujeros internos, roscado interno, centro punto, taladrado, alesado, machuelado, planeado, agujeros excéntricos entre otras.

Para el desarrollo de esta sección se realizó una selección de 4 distribuidores de maquinaria de tornos tipo suizo a nivel mundial, seguido a esto se realizó un análisis de las máquinas teniendo en cuenta las siguientes variables: Numero de husillos, numero de torretas, numero de herramientas verticales fijas, numero de herramientas verticales motorizadas, numero de herramientas frontales fijas, numero de herramientas frontales motorizadas, así mismo se tuvo en cuenta el número total de herramientas y el número de ejes máximo que pueden trabajar las herramientas.

En el anexo 1 “Fichas técnicas” se realizó un análisis de 4 fabricantes de tornos suizos y de cada fabricante se seleccionaron 3 modelos donde se muestran sus características y una breve comparación de sus componentes para así poder compararlas y determinar qué capacidad tecnológica tiene el torno suizo de la universidad Santo Tomás con respecto a las otras máquinas a nivel mundial.

Teniendo en cuenta el análisis que se realizó en el anexo 1 se creó la ecuación 1, la cual fue implementada según los siguientes criterios:

- Las herramientas tienen un peso tecnológico de un 10% de la capacidad tecnológica total por lo que una gran cantidad de herramientas no indica que se puedan desarrollar geometrías complejas o que se puedan trabajar al mismo tiempo, un ejemplo es si una maquina tiene 100 herramientas pero solo puede trabajar de a una el material y solo pueden moverse en el eje X y Z, se puede decir que las herramientas dependen de los otros componentes de la maquina como: Torreta, ejes y husillos.
- Las torretas tienen un peso tecnológico del 20% de la capacidad tecnológica total ya que de este dependen la cantidad de herramientas que puede poseer un torno, pero igual este sigue dependiendo del número de husillos y ejes que se pueden trabajar, un ejemplo es que se tengan 2 torretas y varias herramientas pero solo se tiene 1 husillo y se pueden trabajar 4 ejes, al final solo va a poder trabajar una sola herramienta en el material y la otra torreta con sus herramientas no están siendo usadas.
- El número de husillos tienen un peso tecnológico de 30% de la capacidad tecnológica total por lo que este no depende tanto de las herramientas como de las torretas un ejemplo es que en un torno se pueden tener 2 husillos, 1 torreta y 10 herramientas

pero solo se pueden trabajar 2 ejes, esto no indica que su capacidad disminuya ya que en un mismo proceso se pueden trabajar 2 piezas en un proceso pero solo 1 por operación y solo se pueden realizar operaciones de torneado básico y no geometrías complejas ya que dependen del número de ejes que se pueden usar.

- El número de ejes que tienen un peso de 40% de la capacidad tecnológica total por lo que si solo se tuviera 1 torreta y las herramientas básicas de torneado y un husillo pero se pueden usar los 4 ejes simultáneos se podría generar una pieza de geometría compleja, o tallados en la superficie lo cual es muy importante en la industria.

La capacidad tecnológica tiene un rango de 1-10 donde 1 representa una baja capacidad tecnológica y 10 indica la máxima capacidad tecnológica, para una capacidad tecnológica de 10 se asumió una máquina con 56 herramientas (verticales o frontales), 3 torretas, 2 husillos y 8 ejes de movimiento, teniendo en cuenta esto a cada torno se le aplicó la fórmula para poder compararla con las otras como se ve en el Cuadro 6 donde se encuentra un listado con el valor correspondiente y están organizadas de menor a mayor según el valor correspondiente.

$$\text{Capacidad tecnologica} = (\text{No. herramientas} * 0.1) + (\text{No. torretas} * 0.2) + (\text{No. de husillos} * 0.3) + (\text{Ejes de movimiento} * 0.4)$$

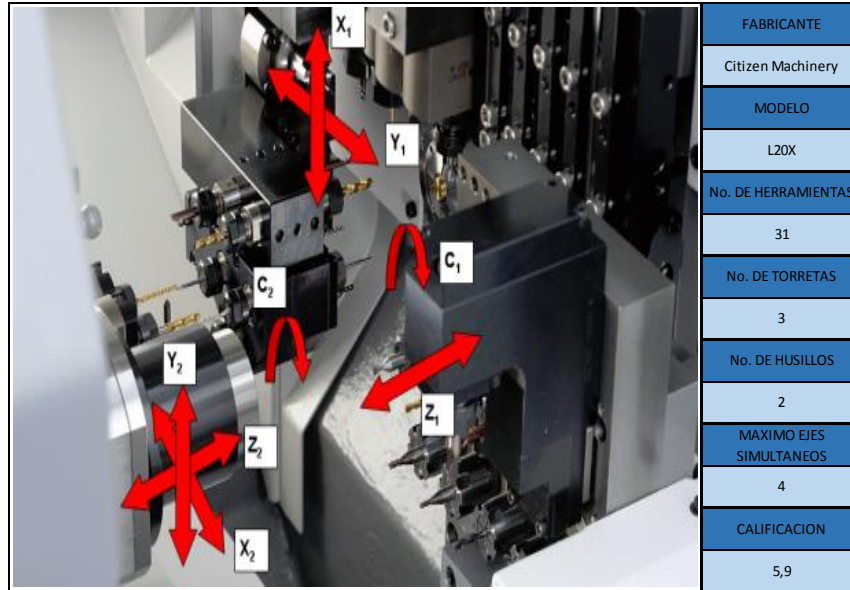
#### Ecuación 2. Calificación tecnológica

Se tomó como ejemplo el torno tipo suizo L20X del fabricante Citizen Machinery para mostrar cómo se calificó la capacidad tecnológica de cada máquina, como se puede observar en la Figura 17 la máquina posee un total de 31 herramientas, 3 torretas, 2 husillos y permite trabajar 4 ejes simultáneos, al que si le aplicamos la ecuación 2 se obtiene el siguiente resultado:

$$\text{Capacidad tecnologica} = (31 * 0.1) + (3 * 0.2) + (2 * 0.3) + (4 * 0.4)$$

$$\text{Capacidad tecnologica} = 5.9$$

Figura 17. Citizen Machinery – L20X



Fuente: [20]

De la misma manera se les realizó el mismo proceso a todas las maquinarias seleccionadas para generar un cuadro con la capacidad tecnológica de cada uno como se muestra en el Cuadro 6.



Cuadro 6. Calificación según capacidad tecnológica

Empresa	Modelo	Calificación
Star Micronics Machine Tools	ECAS-20T	9,8
Citizen Machinery	L20X	7,5
Star Micronics Machine Tools	SR-20J type C	7,2
POLYGIM	42 CSL	6,6
POLYGIM	CSL 12-2Y Tool System	6,1
Citizen Machinery	A32-VIIPL	6,1
Citizen Machinery	K16E-VII	6
POLYGIM	20 CSB	5,8
GOODWAY	SD- 20 Tool System	5,7
GOODWAY	SD- 42 Tool System	5,6
Star Micronics Machine Tools	SR- 10J Type C	5,5
GOODWAY	SD- 16 Tool System	5,4
Kanxin Digital Controlled Lathe Co.	CJK-6130	1,7

Fuente: [Autor]

Teniendo en cuenta que todas las máquinas evaluadas son tornos CNC con capacidad tecnológica para producción en industrias y que cumplen con características similares en cuanto a su arquitectura la valoración que se da tiene en cuenta factores como generación de operaciones sin realizar paradas en la máquina para cambios de herramientas y grados de libertad con los que cuenta el torno ya que son los factores principales para la creación de geometrías en el material, entendiendo esto se observa en el Cuadro 6 que el torno Polygim Diamond 20CSB de la universidad Santo Tomás se encuentra en un rango medio comparado con otras máquinas de la industria a nivel mundial. A manera de comparación, puesto que no es un torno tipo suizo, el torno CNC de dos ejes Kanxin Digital Controlled Lathe Co CJK-6130 de la universidad Santo Tomás obtuvo un valor de 1.7, esto muestra la diferencia entre un torno tipo suizo y uno CNC convencional, primero por el número de ejes que permite trabajar, segundo la capacidad de herramientas que permite almacenar cada uno en las torretas y tercero la diferencia de un husillo disminuye en gran cantidad la capacidad tecnológica de una máquina ya que evita el trabajo en la parte posterior de una pieza o el trabajo en paralelo de 2 piezas.

Teniendo la calificación de las maquinarias que existen se debe proceder a decidir cuál es la más apropiada a la hora de elegir una, estos criterios dependen básicamente de la geometría y dimensiones de las piezas que se van a realizar, donde primero se deben mirar las restricciones que puede tener la maquina a la hora del diámetro de trabajo del material, longitudes permitidas además de otros aspectos como número de herramientas, husillos, números de ejes permitidos entre otros, esto con el fin de no adquirir una maquina la cual se va a subutilizar o por el contrario no va a cumplir las expectativas, viendo que no existe una manera estandarizada donde se pueda decidir cuál es la tecnología más adecuada a seleccionar se modificó la ecuación 2 que no dependa de la maquina sino de la pieza a realizar, donde el número de herramientas son la cantidad de herramientas necesarias para generar la pieza, el número de torretas según la cantidad de herramientas y disposición de la máquina para las herramientas, el número de husillos se la pieza requiere operaciones posteriores o si se desean trabajar piezas en paralelo, los ejes de movimiento según sean los ejes requeridos para la fabricación de la pieza y por ultimo una operación de longitud vs diámetro donde solo aplica para longitudes que superan 3 veces el diámetro menor de la pieza.

$$\begin{aligned} \text{Tecnología requerida} = & (\text{No. herramientas} * 0.1) + (\text{No. torretas} * 0.2) + \\ & (\text{No. de husillos} * 0.3) + (\text{Ejes de movimiento} * 0.4) + \\ & ((\text{Longitud} - 3 * \text{Diámetro}) * 0.1) \end{aligned}$$

Ecuación 3. Tecnología requerida

### 1.3 TORNOS SUIZOS EN LA INDUSTRIA COLOMBIANA

La industria manufacturera colombiana ha ido migrando poco a poco de los tornos convencionales hacia la tecnología CNC ya que se han dado cuenta que se obtiene una mayor calidad y optimización en procesos lo cual genera más oportunidades de negocio y los convierte en industrias competitivas en el mercado extranjero, esto se puede ver claramente en la industria medica ya que según Héctor Andrés Cuesta, Jefe de Servicio Técnico CNC de Imocom –compañía dedicada a la comercialización de maquinaria especializada por Control Numérico Computarizado -CNC– sólo unas pocas empresas mecanizan titanio para fabricar implantes dentales o los tornillos de cirugía para procedimientos quirúrgicos [21].

Con respecto a los tornos suizos en la industria colombiana según las cifras que maneja Imocom empresa que representa y distribuye este tipo de maquinaria, hasta el momento

20 empresas han adquirido esta tecnología la cual en este momento está siendo usada en la industria mecánica, biomédica, entre otras [22].

Para demostrar lo dicho anteriormente se generó una búsqueda de empresas que utilizan tornos suizos en sus procesos de mecanizado en Colombia, donde solo se encontraron 6 empresas las cuales se muestran en el Cuadro 7 donde se muestra las máquinas que tiene cada empresa, su calificación y a que industrias proveen.

Cuadro 7. Industrias colombianas

EMPRESA	TORNO	CALIFICACION	INDUSTRIAS
PROGEN	POLYGIM 20CSB2	6.6	- Agrícola ( partes en metal) - Instrumentación metrología ( Boquillas) - Instrumentación presión (Bourdon Haenni - Baumer)
	JINN FA JSL-32A	4.2	- Minería
ORTOMAC	POLYGIM 32CSB	6.2	- Medica (Ortopedia y Podología)
IMETI	POLYGIM 12-2Y	6.1	- Medica (Implantes dentales, aditamentos protésicos y instrumentación de colocación)
IGT COMPONENTES	JINN FA JSL 42 AB	6.6	- Tuercas especiales para acoples. - Inyectores o fistos para quemadores de gas. - Anillos de compresión. - Racores para grecas, mangueras y gasodomésticos. - Componentes para licuadoras y ollas. - Acoples fijos y escualizables para gas y agua.
	HAAS ST 10	3.3	- Tornillos especiales de seguridad con sus respectivas llaves. - Barras o borneras para breakers y medidores de energía. - Pines, pasadores y bujes. - Niveladores, dilatadores y apliques para muebles. - Accesorios para grifería. - Componentes para autopartes. - Producción en serie
INDUSTRIAS SAMPEDRO	SR-20J type C	7.2	- Placa Acromio Clavicular. - Placa Húmero Proximal. - Placa de Radio, ARD. - Placas fisiarias. - Craneo maxilofacial.
MEDIIMPLANTES	SR-20J type C	7.2	- Sistemas de fijacion transpedicular lumbosacra. - Sistemas de mallas cervicales. - Sistemas de fijacion toracolumbar anterior.

Fuente: [Autor]

Como se observa en el Cuadro 7 solo se encontraron 6 empresas de las 20 que indica Imocom que se han vendido, por lo que se puede demostrar que en Colombia todavía falta mucho por implementar en la parte de CNC, y a pesar de que son pocas las empresas que se encuentran se puede ver que estas máquinas poseen una capacidad superior a 3.3 lo que indica que a pesar de que hay unas máquinas con baja capacidad tecnológica son capaces de satisfacer requerimientos tanto de volumen como geometrías complejas.

Para complementar la información obtenida se generó la visita a la pasada feria internacional de Bogotá, donde solo se encontraron 3 máquinas de torneado multiejes, de las cuales solo 1 era tipo suizo, otra era un torno fresador para diámetros desde 300 mm y

la última era un torno de 2 ejes CNC, comprobando así que en la industria colombiana no se está generando la implementación de esta tecnología y que la que se está trayendo viene siendo tecnología de los años 80, a pesar de esto se obtuvo información por parte de un asesor de Imocom acerca de los tornos tipo suizo en la industria colombiana, informando que a los sectores que se enfocan las industrias que cuentan con estos tornos es básicamente a 2 los cuales son volúmenes de producción y piezas complejas, afirmando la información que se ven en el Cuadro 7.

## 2. APROPIACIÓN DE LA TECNOLOGÍA DEL TORNO TIPO SUIZO POLYGIM DIAMOND 20SCB

Antes de comenzar este capítulo hay que tener en cuenta las diferencias principales que hay entre un torno convencional y uno CNC, ya que desde aquí será el punto base para identificar porque algunas operaciones son básicas y otras se consideran complejas, para comenzar una de las primeras y más notables diferencias es que el torno CNC es operado mediante un control numérico y el torno convencional es operado manualmente, lo que implica que en el torno CNC se minimizan los errores de precisión en dimensión y se mejora la calidad de acabado, lo segundo es la cantidad de herramientas que se pueden trabajar con el torno CNC sin necesidad de generar paradas en la máquina para realizar cambios de herramienta, ya que el torno convencional permite un máximo de 4 herramientas en la torreta, pero para usar una herramienta se debe ubicar la torreta manualmente, en cambio el torno CNC puede manejar un mínimo de 8 herramientas y la herramienta es llamada mediante un programa, disminuyendo tiempos de operación y generando tiempos reales por proceso.

Teniendo claro esto hay que mirar cuales son las operaciones básicas que puede generar un torno convencional para así poder generarlas el torno tipo suizo suizo Polygim Diamond 20SCB de la universidad Santo Tomás, las cuales son:

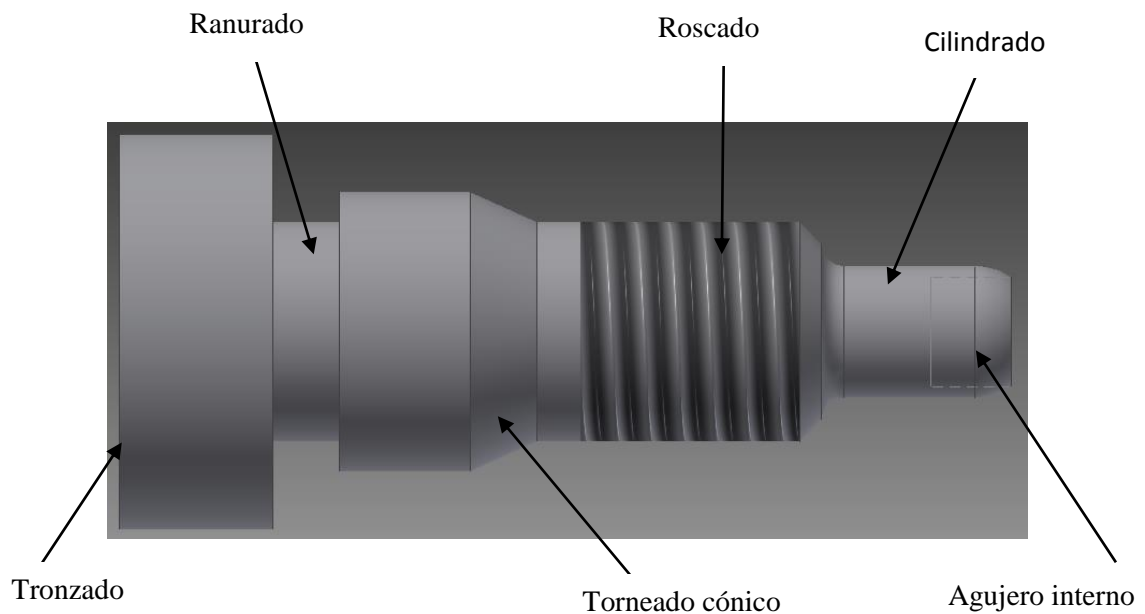
- Cilindrado
- Roscado
- Refrentado
- Torneado cónico
- Ranurado
- Tronzado
- Centro punto
- Agujeros internos

Analizando estas operaciones de un torno convencional se puede observar que para poder generar estas operaciones siempre se limitan al uso de 1 eje y como máximo 2 ejes y terminada cada operación se debe parar la máquina si la herramienta no está ubicada y acomodarla para realizar las operaciones faltantes.

## 2.1 SELECCIÓN DE PIEZA PRUEBA

Para escoger una parte estándar a fabricar se tuvo en cuenta las operaciones básicas de un torno convencional y se generó la pieza que se observa en la Figura 18 la cual como se observa tiene cada una de las operaciones mencionadas en capítulo anterior y así apropiarse la tecnología del torno tipo suizo mediante procesos de mecanizado básicos.

Figura 18. Modelo CAD pieza prueba



Fuente: [Autor]

## 2.2 PROCESO DE MANUFACTURA PIEZA PRUEBA

Antes de comenzar con cualquier proceso es importante conocer el ambiente de trabajo en el cual se va a trabajar, ya que de esto depende la eficiencia que se va a tener a la hora de generar cualquier trabajo, primero que todo para comenzar a trabajar en el torno suizo Polygim Diamond 20 CSB de la universidad Santo Tomas hay que entender los procesos de montaje y compensación de herramientas ya que de aquí dependen la precisión en las piezas realizadas, la optimización de material, el ahorro de tiempo en el montaje del material, el tiempo de compensación de herramientas, la vida útil de las herramientas esto quiere decir que el rendimiento de la maquina depende del conocimiento previo que se

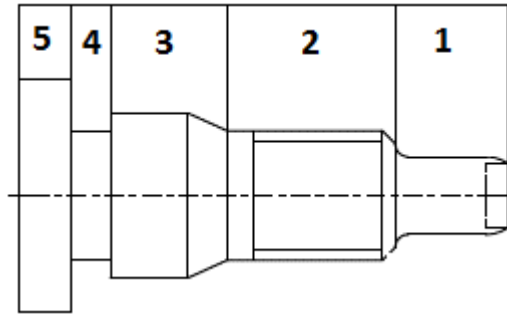
tenga de la máquina, por lo cual siempre es recomendable realizar un estudio del manual de la maquina o similares a esta.

Para la realización de esta pieza primero se estudió como es el montaje del material, cero de pieza del material y compensación de herramientas del cual se generó un manual de usuario con los pasos a seguir para iniciar a trabajar en el torno tipo suizo marca Polygim diamond 20 CSB como se ve en el anexo 3, seguido a esto se inició el proceso de manufactura iniciando con el plano de manufactura de la pieza seleccionada con el fin de tener las dimensiones reales que va a tener la pieza a fabricar, posterior a esto se realizó el estudio de cuáles son las variables de manufactura que se tendrían en cuenta en esta pieza e ingresarlas a la máquina, antes de proceder a la manufactura de la pieza se realizó la hoja de procesos la cual genera los pasos a seguir a la hora de entrar a la manufactura de la pieza, seguido a esto y teniendo claro el proceso que se va a realizar se generó el código CNC que posteriormente se ingresó de forma manual en la máquina, para ver con detalle estos procesos revisar el anexo 2, Manufactura pieza prueba.

### 2.3 METROLOGIA

Para confirmar que se realizó un proceso de manufactura correcto y que la aplicación de operaciones básicas de un torno convencional quedaron claras se realizó la metrología a la pieza prueba con ayuda de un calibrador pie de rey, donde para facilitar su medición se dividió la pieza en 5 secciones como se ve en la Figura 19 y los resultados se pueden ver en el Cuadro 8, que como se observa todas las medidas fueron exactas y no se generó ningún error en la parte de dimensiones

Figura 19. Secciones pieza prueba



Fuente: [Autor]

Cuadro 8. Resultados metrología pieza prueba

Descripción	Valor teórico (mm)	Valor real (mm)	% de error
Longitud 1	8,66	8,66	0
Diámetro	6	6	0
Longitud 2	13	13	0
Diámetro 2	10	10	0
Longitud 3	9	9	0
Diámetro 3	12,7	12,7	0
Longitud 4	3	3	0
Diámetro 4	10	10	0
Longitud 5	4	4	0
Diámetro 5	18	18	0
Longitud total	37,66	37,66	0

Fuente: [Autor]



### 3. FABRICACION DE UN COMPONENTE COMPLEJO

#### 3.1 SELECCIÓN COMPONENTE COMPLEJO

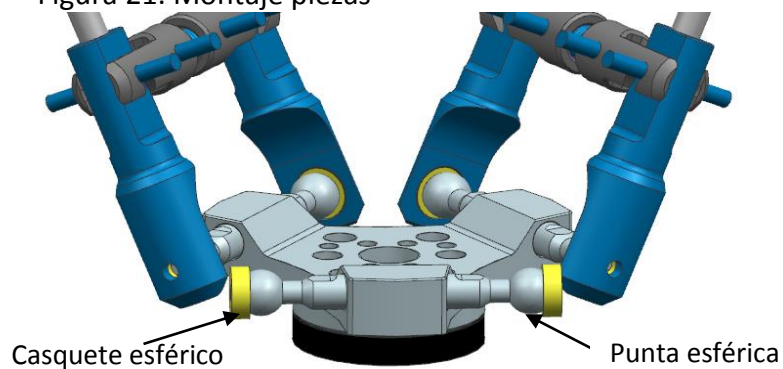
Se seleccionaron dos partes, para fabricación en torno tipo suizo, del robot delta, en etapa de desarrollo por parte del grupo de investigación GEAMEC mostrado en la Figura 20. La Figura 21 muestra los componentes denominados punta esférica y casquete esférico que conforman un par cinemático esférico para el movimiento de las articulaciones del robot delta.

Figura 20. Robot delta



Fuente:[23]

Figura 21. Montaje piezas

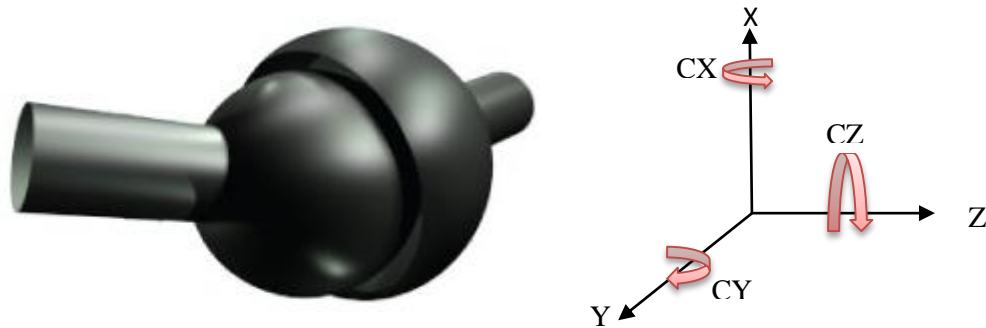


Fuente: [23]

Como se ve en la Figura 21 las piezas a fabricar que hacen referencia a una articulación generan un par cinemático esférico (Ver Cuadro 4. Pares cinemáticos de clase III) el cual

permite el movimiento en 3 ejes como se ve en la Figura 22 donde los ejes CX, CY y CZ los cuales están en rojo son los ejes de movimiento permitidos en el espacio y los ejes X,Y y Z que aparecen en negro son los ejes que no se pueden trabajar.

Figura 22. Representación ejes par esférico

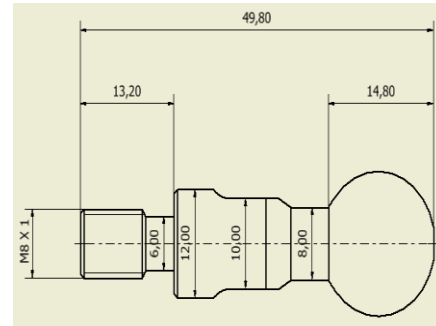
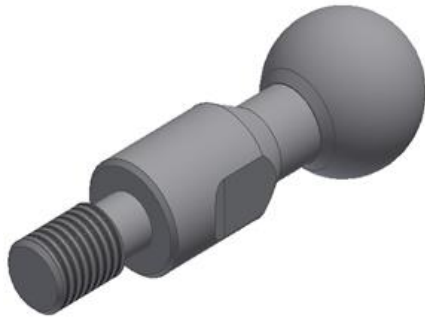


Fuente: [Autor]

### 3.2 PROCESO DE MANUFACTURA PIEZA PUNTA ESFÉRICA (ACERO AISI O1)

Teniendo en cuenta cuales son las piezas a fabricar se comenzará por dar una descripción de cada pieza empezando por la punta esférica que puede ver en la Figura 23 en un modelo CAD con las dimensiones principales, esta pieza tiene una longitud de 49,8 mm de largo y un diámetro máximo de 16mm el cual se genera en la esfera, esta pieza tiene varios factores por los que su proceso de manufactura es complejo empezando por que tiene una gran cantidad de operaciones como: refrentado, roscado, ranurado, planeado, cilindrado, redondeo, tronzado, chaflanes, además de que son varias operaciones en la operación de planeado de caras es necesario generar operaciones de fresado donde ya se ven operaciones de torneado y fresado en conjunto sin necesidad de cambiar de máquina ni realizar nuevos montajes, otro factor que es complejo en la fabricación de esta pieza es la punta esférica ya que con la herramienta con la que se contaba permite el trabajo en la parte frontal de la pieza pero en la parte posterior chocaba por la geometría, por lo cual se tuvo que generar 2 procesos para la esfera uno para la parte frontal y otro para la parte posterior, para ver a detalle el proceso de manufactura de la pieza punta esférica ver el anexo 4 manufacturas piezas complejas – manufactura punta esférica.

Figura 23. Modelo CAD pieza punta esférica



Fuente: [Autor]

El plan de manufactura que se realizó para esta pieza se distribuyó de la siguiente manera:

- Esfera parte frontal: Para este proceso primero se generó un ciclo de desbaste con el código G71 en conjunto con una interpolación circular externa con el código G2, seguido a este proceso se realizó el ciclo de acabado de la esfera con un código G70, como se ve en la Figura 24.

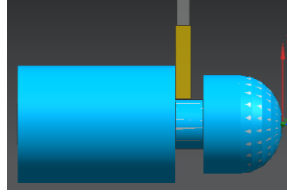
Figura 24. Esfera frontal



Fuente: [Autor]

- Ranurado de desbaste esfera posterior: Este ranurado de desbaste se generó con ayuda de un ciclo de ranurado con el código G75 por la dificultad de la geometría de la pieza ya que no permitía la entrada de una herramienta de desbaste ya que por la geometría de la herramienta no permite la entrada en diagonal sino frontal por esto se usó la herramienta de ranurado para abrir el espacio para realizar el proceso de la parte posterior de la esfera, como se ve en la Figura 25.

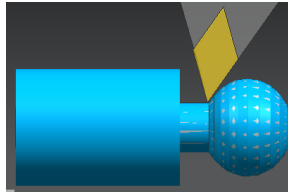
Figura 25. Ranurado posterior esfera



Fuente: [Autor]

- Esfera posterior: Este proceso se realizó con una herramienta de acabado ya que su geometría permitía generar casi totalmente la esfera completa por lo que esta herramienta tiene una inclinación de  $53^\circ$  dejando una cara plana de 0.2 mm, este ciclo se generó con un código G73 que permite realizar el desbaste y acabado de un perfil que también trabaja en conjunto con el código G2 para la interpolación circular, como se ve en la Figura 26.

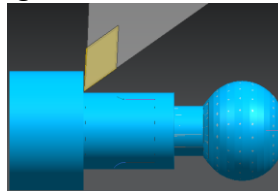
Figura 26. Esfera posterior



Fuente: [Autor]

- Desbaste sección caras planas: Este proceso se realizó con un ciclo de desbaste con el código G71 y una herramienta de desbaste, en esta sección se encuentra una geometría cónica y una sección cilíndrica, como se ve en la Figura 27.

Figura 27. Desbaste sección caras planas

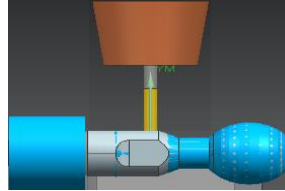


Fuente: [Autor]

- Caras planas: En esta parte se encuentra un proceso de fresado el cual no requiere ningún ciclo ya que esta herramienta es motorizada y se debe definir el avance que va a tener, además en este proceso el material debe indexar es decir que el eje

C1 se dispuso a 0° y 180° de tal forma que las caras sean paralelas, como se ve en la Figura 28.

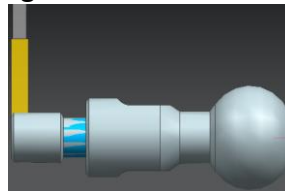
Figura 28. Caras planas



Fuente: [Autor]

- Desbaste sección de roscado: En este proceso se usaron 2 herramientas primero la de desbaste para remover la mayor parte de material hasta donde se le permite a la herramienta, seguido a esto y por la geometría de la pieza que no permite la entrada más a fondo de la herramienta de desbaste se continuo el desbaste con la herramienta de ranurado para secciones más angostas y profundas, además de esto se realizaron los chaflanes con la herramienta de ranurado debido a que la herramienta de desbaste trabaja de derecha a izquierda en la máquina y por esto no se pudo realizar los chaflanes con esta herramienta, como se ve en la Figura 29.

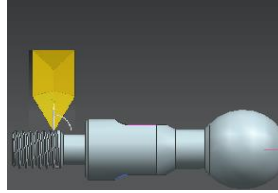
Figura 29. Desbaste sección roscada



Fuente: [Autor]

- Roscado: El proceso de roscado aunque es prácticamente sencillo en este caso no fue tan fácil ya que el espacio que daba la geometría de la pieza impedía fácilmente la entrada de la herramienta por lo que toco analizar bien como realizar la entrada de la herramienta quedando a micras de chocar con la pieza, este proceso se realizó con un ciclo de roscado con el código G76, como se ve en la Figura 30.

Figura 30. Roscado



Fuente: [Autor]

- Tronzado: Este es el proceso de corte de la pieza de la barra que se genera como un código de ranurado pero en este caso corta la pieza igual se realiza con un código G75.

Las variables de proceso que se tuvieron en cuenta fueron las siguientes: rpm, profundidad de corte ( $a_p$ ), avance ( $f$ ) y velocidad de corte ( $V_c$ ).

Revoluciones por minuto (rpm): Se restringieron para un máximo de 2000 rpm por seguridad de la máquina y por qué la maquina nunca ha trabajado a más revoluciones entonces por estas razones se estableció este límite en esta variable.

Herramienta de desbaste:

Según el catálogo según el inserto de desbaste que se tiene en la universidad Santo Tomás el cual corresponde a la referencia CA6525, el cual como se puede ver en la Figura 31 presenta unos datos recomendados para trabajo en acero inoxidable, que en este caso permite trabajar las mismas variables para el acero O1, donde la velocidad de corte ( $V_c$ ) es de 200 SFM o 60.9 m/min, avance por revolución de 0.0079 ipr o 0.2mm/rev y una profundidad de corte de 0.394 inch o 1 mm, los cuales se tuvieron en cuenta para ingresarlos en el programa y generar un buen proceso.

Figura 31. Variables herramienta de desbaste

ISO Classification	Work Material (Hardness)		Cutting Range	Application	Recommended Chipbreaker	Recommended Grade	Corner-R (R)	Lower Limit - Recommendation - Upper Limit		
								Cutting Speed (SFM)	D.O.C.(inch)	Feed Rate (lpr)
M	Stainless Steel AISI 303,304 AISI 316,420 etc.	HB ≤ 220	Finishing (Finish Oriented)	Continuous Interrupted	HQ	TN6020 TN6020	1/32 1/32	400 - 530 - 660 330 - 400 - 500	.0197 - .0394 - .0591 .0197 - .0394 - .0591	.0031 - .0059 - .0079 .0020 - .0039 - .0059
			Finishing	Continuous Interrupted	MQ	CA6515 CA6525	1/64 1/32	400 - 590 - 790 330 - 530 - 730	.0197 - .0394 - .0591 .0197 - .0394 - .0591	.0031 - .0059 - .0079 .0020 - .0039 - .0059
			Medium-Roughing (Chip Control)	Continuous Interrupted	MS	CA6515 CA6525	1/64 1/32	400 - 530 - 660 260 - 460 - 590	.0394 - .0787 - .1181 .0394 - .0787 - .1181	.0039 - .0079 - .0118 .0059 - .0098 - .0118
			Medium-Roughing (Sharpness Oriented)	Continuous Interrupted	MU	CA6515 CA6525	1/64 1/32	400 - 530 - 660 260 - 460 - 590	.0394 - .0787 - .1181 .0394 - .0787 - .1181	.0059 - .0098 - .0138 .0059 - .0098 - .0118
			Roughing	Continuous Interrupted	Standard	CA6515	1/32	330 - 460 - 590	.0394 - .0787 - .1575	.0079 - .0118 - .0157
						CA6525	3/64	260 - 400 - 500	.0394 - .0787 - .1575	.0079 - .0118 - .0157
	Stainless Steel AISI 630 etc.	HB ≤ 300	Finishing (Finish Oriented)	Continuous Interrupted	HQ	TN6020 TN6020	1/32 1/32	330 - 400 - 500 260 - 330 - 400	.0197 - .0394 - .0591 .0197 - .0394 - .0591	.0020 - .0039 - .0059 .0020 - .0031 - .0039
			Finishing	Continuous Interrupted	MQ	CA6515 CA6525	1/64 1/32	330 - 400 - 500 260 - 330 - 400	.0197 - .0394 - .0591 .0197 - .0394 - .0591	.0031 - .0059 - .0079 .0020 - .0039 - .0059
			Medium-Roughing (Chip Control)	Continuous Interrupted	MS	CA6515 CA6525	1/64 1/32	330 - 400 - 500 260 - 330 - 400	.0394 - .0591 - .0787 .0394 - .0591 - .0787	.0039 - .0059 - .0098 .0039 - .0059 - .0079
			Medium-Roughing (Sharpness Oriented)	Continuous Interrupted	MU	CA6515 CA6525	1/64 1/32	330 - 400 - 500 260 - 330 - 400	.0394 - .0591 - .0787 .0394 - .0787 - .1181	.0039 - .0059 - .0098 .0039 - .0059 - .0079
			Roughing	Continuous Interrupted	Standard	CA6515	1/32	260 - 330 - 400	.0394 - .0787 - .1181	.0079 - .0118 - .0157
						CA6525	3/64	200 - 260 - 330	.0394 - .0787 - .1575	.0079 - .0118 - .0157

Fuente: [24]

Herramienta de ranurado:

Para las variables de la herramienta de ranurado se buscó en el catálogo que variables eran las recomendadas para el trabajo del inserto de referencia PR915 de ancho de 3 mm, el cual nos generó las siguientes recomendaciones para trabajo en AISI O1 (acero aleado), como se puede ver en la Figura 32, velocidad de corte (Vc) de 250 SFM o 76.2 m/min, avance por revolución de 0.12mm/rev y una profundidad de corte de 1.5 mm, los cuales se tuvieron en cuenta para ingresarlos en el programa y generar un buen proceso.

Figura 32. Variables herramienta de ranurado

Workpiece Material	Recommended Inset Grade (Cutting Speed: sfm)					
	Cermet		CVD Coated Carbide		PVD Coated Carbide	
	TN90	CR9025	PR915	PR930	PR905	KW10
Carbon Steel	☆ 325-725	☆ 250-650	☆ 250-650	★ 250-650	-	-
Alloy Steel	☆ 250-650	☆ 225-600	☆ 225-600	★ 225-600	-	-
Stainless Steel	☆ 225-525	☆ 200-500	★ 200-500	☆ 200-500	-	-
Cast Iron	-	-	-	-	★ 250-600	☆ 230-500
Aluminum	-	-	-	-	-	★ 650-1650

Recommended Conditions	
ap (MAX) mm	under 50% of Edge Width • ap ≤ 0.5w
f (MAX) mm/rev	under 3~5% of Edge Width • f ≤ [0.03 (Min.)-0.05 (MAX.)] w

Fuente: [25]

Herramienta de roscado:

Para las variables de la herramienta de roscado se buscó en el catálogo que variables eran las recomendadas para el trabajo del inserto de referencia PR930 con un portaherramientas KTTX, el cual nos generó las siguientes recomendaciones para trabajo en AISI O1 (acero aleado) como se puede ver en la Figura 33, velocidad de corte (Vc) de 500 SFM o 152 m/min, una profundidad de corte de 0.3 mm y el avance por revolución se escogió por especificaciones de la pieza de 1 mm/rev los cuales se tuvieron en cuenta para ingresarlos en el programa y generar un buen proceso.

Figura 33. Variables herramienta de roscado

● **KTTX / S-KTTX**

Workpiece Material	Recommended Insert Grade (Cutting Speed: sfm)			
	Cermet	PVD Coated Carbide		Carbide
	TC60	PR930	PR1115	KW10
Carbon Steel	325~500 ☆	325~500 ☆	325~500 ★	-
First ap (Radial)	under 0.3mm	under 0.3mm	under 0.3mm	
<b>Alloy Steel</b>	<b>325~500</b> ☆	<b>325~500</b> ☆	<b>325~500</b> ★	-
First ap (Radial)	under 0.3mm	under 0.3mm	under 0.3mm	
Stainless Steel	200~260 ☆	200~260 ☆	200~260 ★	-
First ap (Radial)	under 0.25mm	under 0.25mm	under 0.25mm	
Cast Iron	-	-	-	325 ★
First ap (Radial)				under 0.3mm
Non-ferrous Metals	-	-	-	500~1300 ★
First ap (Radial)				under 0.3mm

Fuente: [26]

Herramienta de fresado:

Para las variables de la herramienta de fresado se buscó en un catálogo general de brocas para ver que variables son las recomendadas para el trabajo de una broca de 6 mm de diámetro y 2 filos, el cual nos generó las siguientes recomendaciones para trabajo en acero como se puede ver en la Figura 34, velocidad de corte (Vc) de 40 SFM o 12.2 m/min y para el avance por revolución cogemos el fz y lo dividimos por las revoluciones lo cual da 120 mm/rev, los cuales se tuvieron en cuenta para ingresarlos en el programa y generar un buen proceso.

Figura 34. Variables herramienta de fresado

		fz(mm/filo)		
		Diámetro (mm)		
Material	Vc (m/min)	3 a 6	6 a 10	10 a 15
1045	40 -70	0.015 - 0.04	0.03 - 0.08	0.05 - 0.1

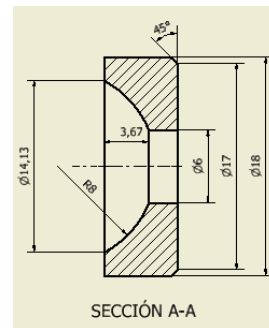
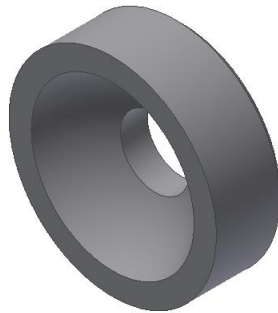
Fuente: [27]



### 3.3 PROCESO DE MANUFACTURA CASQUETE ESFERICO (LATON)

Ahora se dará la descripción del casquete esférico que como se puede ver en la Figura 35 en un modelo CAD, esta pieza tiene una longitud de 6 mm de largo y un diámetro máximo de 18 mm, los factores por lo que su proceso de manufactura es complejo es debido primero a sus dimensiones que como se describe anteriormente no tiene un máximo de longitud de 6 mm, además de esto tiene un casquete interior con un diámetro mínimo de 6mm el cual es de difícil acceso para generar un acabado con cualquier herramienta por el espacio de trabajo que permite la pieza, para ver a detalle el proceso de manufactura de esta pieza ver el anexo 4 manufacturas piezas complejas – manufactura casquete esférico.

Figura 35. Modelo CAD casquete esférico



Fuente: [Autor]

Un factor importante en el desarrollo de esta pieza es que se implementó una programación con macros la cual es un tipo de programación manual la cual tiene como característica principal que trabaja con variables y condicionales, este tipo de programación es principalmente para desarrollar piezas con geometrías similares ya que aquí se pueden definir variables de geometría como: longitudes, diámetros externos, internos, entre otros, este se puede ver a grandes rasgos, por ejemplo, se tiene una familia de platinas con el mismo ancho y diferentes longitudes, en las cuales se realiza una cantidad “n” de agujeros espaciados una distancia “x”. En este caso utilizando un software se realizaría un programa para cada pieza, en cambio, si se emplea la programación con macros se puede realizar un único programa parametrizable en el cuál se indique el número de agujeros y la distancia entre ellos directamente en el control de la máquina [28], teniendo en cuenta esto al aplicarla en el programa para el casquete esférico se lograron unas ventajas como la reducción del programa ya que se logró disminuir más de 100 líneas del programa de la operación desbaste casquete que es muy repetitiva a solo 18 líneas que así mismo redujo el tiempo de escritura del programa, otra ventaja que se tuvo al usar esta programación es que al momento que se generaba un cambio de herramienta o de geometría como longitud

o diámetros no se debía revisar el programa para ver qué línea se debía cambiar sino solo se modificaba la variable

El plan de manufactura que se realizó para esta pieza se distribuyó de la siguiente manera:

- Broca de centro y broca de 6 mm: Para estos procesos no se requieren de ciclos ya que estas herramientas trabajan como procesos de taladrado donde lo único que se debe es definir es el avance que va a tener.
- Desbaste casquete: Este proceso se generó con unas condicionales donde la herramienta debía según distancia en Z y X definir cuál era la acción que debía seguir, esta parte del proceso de manufactura se puede decir que es la parte principal del programa ya que en esta sección se logró reducir las más de 100 líneas que se comentaron anteriormente, además como se puede ver en la Figura 36 que muestra la sección de desbaste casquete extraída del código se puede observar que no existe casi ningún valor numérico sino que todos son variables y condicionales, adicional a esto se hizo uso el eje C para indexar el material, adicional a esto se observa en la Figura 37 un diagrama de flujo representado el desbaste del casquete esférico.

Figura 36. Sección DESBASTE-CASQUETE del código Casquete esférico

```

N40(DESBASTE-CASQUETE)
G54G40G98G50S3=#512
G43.1
M92
G28U0
G28V0
M5
M90
T#523
G0Z-20
G97S3=#515M104
GOY0
X0
N41#102=#102+#517
IF[#102GT#518]GOTO50

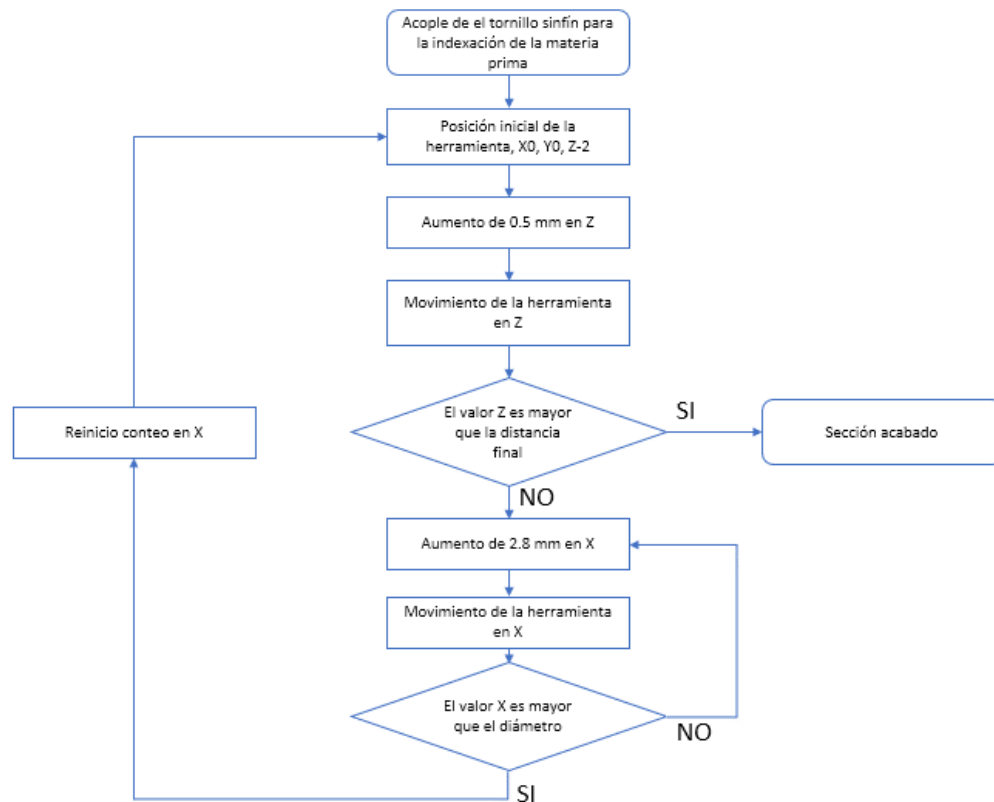
N45#103=#103+#517
#104=[SQRT[#105-#103*#103]]*2
#108=#520-#104
#107=0
IF[#104LT#525]GOTO50

N46#107=#107+#106
IF[#107LT#104]GOTO48
#107=#104
N48G1Z#102F120
GLX#107
G1C180F1300
G1C360F1300
G0Z-2
X0
IF[#107EQ#104]GOTO41
GOTO46
    
```

Variable	Valor	Especificación
500	19,95	D. inicial
501	18	D. mayor
502	14,133	D. inicio casquete
503	6	D. final casquete
504	6	Long. Total
505	3,666	Long. Casquete
506	303	Hta desbaste
507	1313	Hta. Broca centro
508	1515	Hta. Broca 6 mm
509	1414	Hta. Acabado casquete
510	0,5	Chaflan
511	60	Velocidad de corte
512	2000	rpm max
513	0,1	Avance
514	3	Radio hta. Broca 6 mm
515	1500	rpm hta. 1717
516	0	Distancia inicial
517	0,5	Paso longitudinal
518	3,666	Distancia final
519	1,25	Distancia centro a cara plana
520	5,3	Radio final
521	4	Diametro hta. Desbaste casquete
522	0,7	Porcentaje hta Desbaste casquete
523	1717	Hta. Desbaste casquete
524	101	Hta. Ranurado
525	4	radio vertical final

Fuente: [Autor]

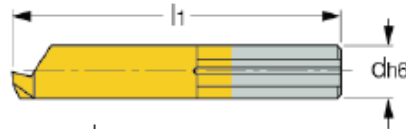
Figura 37. Diagrama de flujo sección DESBASTE-CASQUETE



Fuente: [Autor]

- Acabado casquete: Este proceso tuvo algo de complejidad debido al espacio que se tenía para trabajar ya que era de longitud 3,666 mm y de diámetro 6 mm, donde se usó una herramienta barra picco como se ve en la Figura 38 para torneado interior que es usada en industrias médicas, generando un acabado perfecto y permitiendo cumplir con los parámetros exigidos.

Figura 38. Herramienta PICCO R 050.6-22 IC228



Fuente: [29]

- Cilindrado: Esta operación en la que se generaba el diámetro que se definió en una variable al principio del programa.
- Tronzado: Este es el proceso de corte de la pieza de la barra que se genera como un código de ranurado pero en este caso corta la pieza igual se realiza con un código G75.

Las variables de proceso que se tuvieron en cuenta fueron las siguientes: rpm, profundidad de corte ( $a_p$ ), avance ( $f$ ) y velocidad de corte.

Revoluciones por minuto (rpm): Se restringieron para un máximo de 2000 rpm por seguridad de la máquina.

Herramienta de desbaste y cilindrado:

Según el catálogo según el inserto de desbaste que se tiene en la universidad Santo Tomás el cual corresponde a la referencia CA6525, el cual como se puede ver en la Figura 31 presenta unos datos recomendados para trabajo en acero que en este caso son aplicables para el material bronce fosforado donde la velocidad de corte ( $V_c$ ) es de 200 SFM o 60.9 m/min, avance por revolución de 0.0079 ipr o 0.2mm/rev y una profundidad de corte de 0.394 inch o 1 mm, los cuales se tuvieron en cuenta para ingresarlos en el programa y generar un buen proceso.

Herramienta de ranurado:

Para las variables de la herramienta de ranurado se buscó en el catálogo que variables eran las recomendadas para el trabajo del inserto de referencia PR915 de ancho de 3 mm, el cual nos generó las siguientes recomendaciones para trabajo en acero que en este caso son

aplicables para el material bronce fosforado como se puede ver en la Figura 32, velocidad de corte (Vc) de 250 SFM o 76.2 m/min, avance por revolución de 0.12mm/rev y una profundidad de corte de 1.5 mm, los cuales se tuvieron en cuenta para ingresarlos en el programa y generar un buen proceso.

Herramienta broca de centro:

Para las variables de la herramienta de broca de centro se buscó en un catálogo general de brocas para ver que variables son las recomendadas para el trabajo de una broca de 2 mm de diámetro y 2 filos, el cual nos generó las siguientes recomendaciones para trabajo en acero como se puede ver en la Figura 39, velocidad de corte (Vc) de 300 SFM o 91.44 m/min y para el avance por revolución 0.003 ipr o 0.076 mm/rev, los cuales se tuvieron en cuenta para ingresarlos en el programa y generar un buen proceso.

Figura 39. Variables herramienta broca de centro

**Recommended speeds for standard materials with H.S.S. drills**

Material	Recommended speed (sfm)
Aluminum and its Alloys	200-300
Brass and Bronze (ordinary)	150-300
Bronze (High Tensile)	70-150
Die Casting (Zinc Base)	300-400
Iron - Cast (soft)	75-125
-Cast (medium hard)	50-100
Hard Chilled	10-20
Malleable	80-90
Magnesium and its Alloys	250-400
Monel Metal or High-Nickel Steel	30-50
Plastics or Similar Materials	100-300
Steel	
Mild .2 carbon to .3 carbon	80-110
Steel .4 carbon to .5 carbon	70-80
Tool 1.2 carbon	50-60
Forgings	40-50
Alloy - 300 to 400 Brinell	20-30

**Recommended feeds of various diameter drills**

Diameter of Drill - Inches	Feed Inches per Revolution
Under 1/8	.001 to .003
1/8 to 1/4	.002 to .006
1/4 to 1/2	.004 to .010
1/2 to 1 inch	.007 to .015
1 inch and over	.015 to .025

Fuente: [30]

Herramienta broca 6mm:

Para las variables de la herramienta de broca de 6mm se buscó en un catálogo general de brocas para ver que variables son las recomendadas para el trabajo de una broca de 6 mm de diámetro y 2 filos, el cual nos generó las siguientes recomendaciones para trabajo en

acero como se puede ver en la Figura 39, velocidad de corte ( $V_c$ ) de 300 SFM o 91.44 m/min y para el avance por revolución 0.004 ipr o 0,101mm/rev, los cuales se tuvieron en cuenta para ingresarlos en el programa y generar un buen proceso.

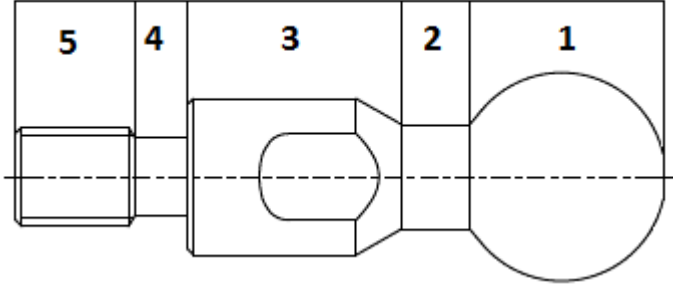
### 3.4 METROLOGIA

La metrología en estas piezas es de vital importancia ya que esta es la forma de comprobar que el trabajo realizado cumplió con las características descritas en los capítulos anteriores y es una de las formas de demostrar la capacidad tecnológica de la máquina en cuanto a requerimientos de calidad en la parte de la precisión, además de esto el uso que se le va a dar a estas piezas es para un robot delta que su función se basa en la precisión de tal manera que sus componentes deben ser precisos para que su funcionamiento sea de igual manera.

Para comenzar se dividió la pieza en 5 secciones para facilitar su medición como se ve en la Figura 40, la metrología de las secciones 1, 2 y 3 se realizó con ayuda del proyector de perfiles marca Mitutoyo referencia PH350 de la universidad Santo Tomas y un calibrador pie de rey para tomar las medidas de las secciones restantes, los resultados se pueden ver en el

Cuadro 9 que como muestra la mayoría de sus medidas son exactas con excepción de 3 medidas que corresponden a longitudes que en este caso no afecta la aplicación de la pieza.

Figura 40. Secciones pieza punta esférica



Fuente: [Autor]

Cuadro 9. Resultados metrología punta esférica

Descripción	Valor teórico (mm)	Valor real (mm)	% de error
Longitud 1	14,8	14,75	0,34
Radio 1	8	8	0
Longitud 2	5,3	5,4	1,89
Diámetro 2	8	8	0
Longitud 3	16,5	16,45	0,30
Diámetro 3	12	12	0
Longitud 4	4	4	0
Diámetro 4	6	6	0
Longitud 5	9,2	9,2	0
Diámetro 5	8	8,00	0
Longitud total	49,8	49,80	0

Fuente: [Autor]

Para la metrología a la pieza casquete esférico se realizó con ayuda de una galga de 8 mm para verificar la precisión en el radio ya que este es de 8 mm como se ve en la Figura 41 y un calibrador para verificar las medidas de longitud y diámetro exterior, los resultados se pueden ver en el



Cuadro 10, que como se observa sus medidas son exactas y no se generó ningún error lo que da un gran resultado en cuanto a la calidad de la pieza y se comprueba también que el proceso usado para la realización de esta pieza fue el acertado.

Figura 41. Medición radio del casquete esférico con galga



Fuente: [Autor]

Cuadro 10. Resultados metrología casquete esférico

Descripción	Valor real (mm)	Valor real (mm)	% de error
Radio interno	8	8	0
Diámetro interno menor	6	6	0
Diámetro interno mayor	14,1	14,1	0
Diámetro externo	18	18	0
Longitud casquete	3,6	3,6	0
Longitud total	6	6,00	0

Fuente: [Autor]

### 3.5 CALIFICACIÓN TECNOLÓGICA

Finalmente se generara la calificación de las piezas realizadas mediante la ecuación 3, que determinara la maquinaria que sería más apropiada para la creación de estas geometrías según las herramientas usadas, número de ejes, husillos, torretas y longitud de cada pieza.

Primero se calificara la pieza punta esférica que tiene como variables:

- 5 Herramientas.
- 1 Torreta.
- 1 Husillo.
- 4 Ejes
- 50 mm de longitud.
- 8 mm Diámetro mínimo.

Teniendo en cuenta estas variables se ingresaron en la ecuación 3 y dio como resultado.

*Capacidad tecnologica*

$$= (5 * 0.1) + (1 * 0.2) + (1 * 0.3) + (4 * 0.4) + (50 - 3 * 8) * 0.1$$

$$Capacidad tecnologica = (0.5) + (0.2) + (0.3) + (1.6) + (2.6)$$

$$Capacidad tecnologica = 5.2$$

Por último se calificara la pieza punta esférica que tiene como variables:

- 5 Herramientas.
- 1 Torreta.

- 1 Husillo.
- 4 Ejes

Como se ve en este caso el valor de la longitud y diámetro no se tienen en cuenta debido a que la longitud no supera el valor del diámetro por 3, por esta razón no se incluye en la ecuación, teniendo en cuenta estas variables se ingresaron en la ecuación 3 y dio como resultado.

$$\textit{Capacidad tecnologica} = (5 * 0.1) + (1 * 0.2) + (1 * 0.3) + (4 * 0.4)$$

$$\textit{Capacidad tecnologica} = (0.5) + (0.2) + (0.3) + (0.4) + (1.6)$$

$$\textit{Capacidad tecnologica} = 3$$

## CONCLUSIONES

- Como se observa en el artículo Imocom nos muestra que hasta el momento se han vendido alrededor de 20 máquinas de esta tecnología, por lo que se puede decir que en Colombia falta mucho por apropiarse con respecto a la maquinaria de tornos tipo suizos.
- Debido a la gran cantidad de operaciones que se pueden realizar en el torno tipo suizo si la necesidad de apagar la máquina para generar cambios de herramienta o material disminuye significativamente el tiempo de proceso de una pieza.
- Es necesario generar un conocimiento previo de la maquinaria y conocimiento en CNC para poder generar un rendimiento apropiado de esta tecnología.
- Cuando se requiere un volumen grande de una pieza con la misma calidad es recomendable usar una tecnología de estas ya que se puede certificar la calidad en todas las piezas.
- La implementación de nuevas formas de programación es importante para la industria, ya que propone nuevos métodos que si bien son estudiados pueden ser eficientes en la industria, así como se puede ver en la programación por macros la cual tiene sus ventajas que estudiándola a fondo se pueden generar grandes beneficios.
- Como se ve en los resultados de las ecuaciones de requerimiento tecnológico para las piezas realizadas, se observa que la pieza de punta esférica es apropiado realizarla en un torno tipo suizo de esta tecnología ya que la calificación tecnológica en este caso coincide, por otro lado el casquete esférico a pesar de que tiene operaciones complejas es posible generarlo en una maquinaria de menor capacidad tecnológica.
- Según las ecuaciones propuestas se ve como una característica que genera un valor considerable al momento de la selección de una máquina es la longitud que permite trabajar el torno tipo suizo, más que las geometrías que se puedan generar con este.

## RECOMENDACIONES

- Se recomienda para trabajos futuros en el área de procesos de manufactura y más específicamente procesos en torno tipo suizo la generación de piezas con la integración de los 4 grados de libertad que posee la máquina.
- Para completar la apropiación de esta tecnología se recomienda la integración de un simulador y post-procesador de la máquina con el fin de que se puedan realizar más estudios y así mismo una mayor eficacia de la máquina.
- Se recomienda la generación de piezas de industrias que no estén aplicando en Colombia, como por ejemplo piezas para la industria aeronáutica, aeroespacial o industrias que requieran piezas con ayuda de esta tecnología.
- Se recomienda generar un estudio acerca de las ecuaciones propuestas, ya que esta es la primera vez que son analizadas y a un futuro pueden llegar a ser una herramienta útil en el mercado.

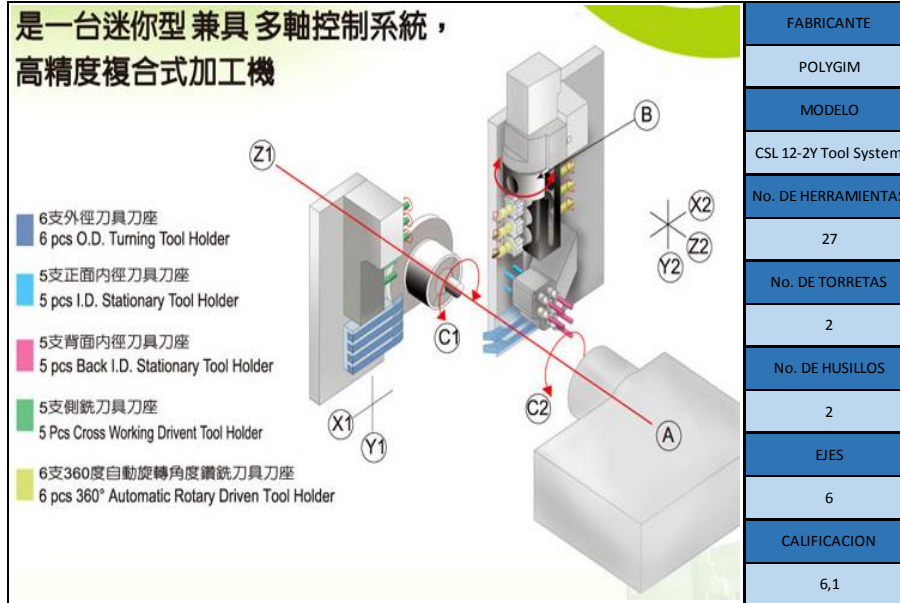
## BIBLIOGRAFÍA

- [1] Interempresas - eMagazine metalmecánica- Mecanizado de piezas para la industria médica: nuevos desarrollos que aumentan el rendimiento
- [2] Metal actual – entrevista IMOCOM
- [3] Metal actual – Torno de cabeza móvil: Tan preciso como un reloj suizo
- [4] Técnicas modernas de mecanizado, parte II, página 21
- [5] DIAMOND 20CSBII MAINTENANCE & OPERATION MANUAL
- [6] Nociones generales sobre mecanismos – Universidad de Cantabria
- [7] Introducción a la Cinemática de las Maquinas, Capítulo 3.
- [8] Torno suizo Polygim Diamond 20 CSB – Juan Vásquez.
- [9] Pagina web - <http://www.joarjo.com/mecanizados-de-precision.htm#>
- [10] Página web - <http://siegel-aero.com/producto-aeronautico>
- [11] Pagina web - <http://www.hytonline.com.ar/infotecnica/245-mecanizado-de-piezas-automotrices>
- [12] Pagina web - <http://www.sidisa.mx/industrias/autotrans.html>
- [13] Pagina web - <http://www.joarjo.com>
- [14] Pagina web - <http://www.interempresas.net/MetalMecanica/Articulos/104502-Mecanizado-de-titanio-en-el-sector-medico.html>
- [15] Pagina web - [http://www.revistatope.com/153\\_art\\_sandvik\\_HER.html](http://www.revistatope.com/153_art_sandvik_HER.html)
- [16] Pagina web - <http://www.imeti.com>
- [17] Pagina web - <http://www.kuzudecoletaje.es/es/la-importancia-de-utilizar-tornos-automaticos-en-decoletaje/>
- [18] Pagina web - <https://picasaweb.google.com/113400928760687452129/Bridas-MecanizadasPorDecoletaje?noredirect=1#5892998356993252610>

- [19] Pagina web -  
<http://www.precisionmicromachining.com/index.php/machining/metals/metals-gallery.html>
- [20] Pagina web - <http://www.citizenmachinery.co.uk>
- [21] Metal actual - Torno CNC: Programar bien es Tornear bien
- [22] Metal actual - Torno de cabeza móvil: Tan preciso como un reloj suizo
- [23] Robot Delta – GEAMEC.
- [24] KYOCERA - Turning\_Catalog\_2012\_Section\_A-E-WEB
- [25] KYOCERA - Turning\_Catalog\_2012\_Section\_G\_Grooving
- [26] KYOCERA - Turning\_Catalog\_2012\_Section\_J\_Threading
- [27] TEORIA BASICA DE FRESADO – Jorge García Barbosa
- [28] Manufactura y automatización experimental - Programación con macros - Jorge García Barbosa
- [29] Pagina web - [www.racsi.com](http://www.racsi.com)
- [30] Pagina web - <http://www.vikingdrill.com/feedSpeed.php>
- [31] Pagina web - [www.polygim.com.tw](http://www.polygim.com.tw)
- [32] Pagina web - <http://www.star-m.jp/eng/products/lathe/index.html>
- [33] Pagina web - <http://www.goodwaycnc.com>
- [34] Pagina web - <http://www.yhcx-cnc.com/>

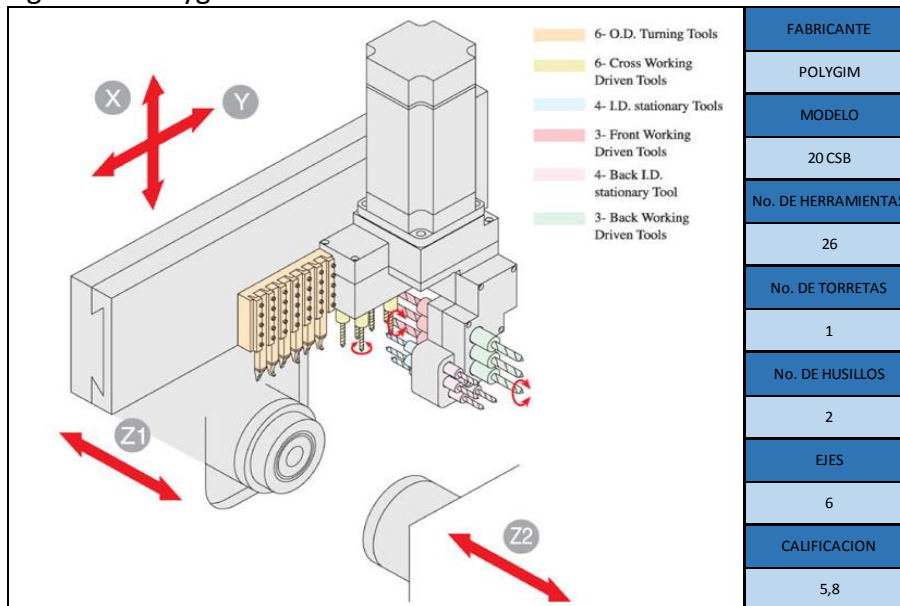
## ANEXO A. FICHAS TÉCNICAS

Figura 42. Polygim – CSL 12-2Y Tool System



Fuente: [31]

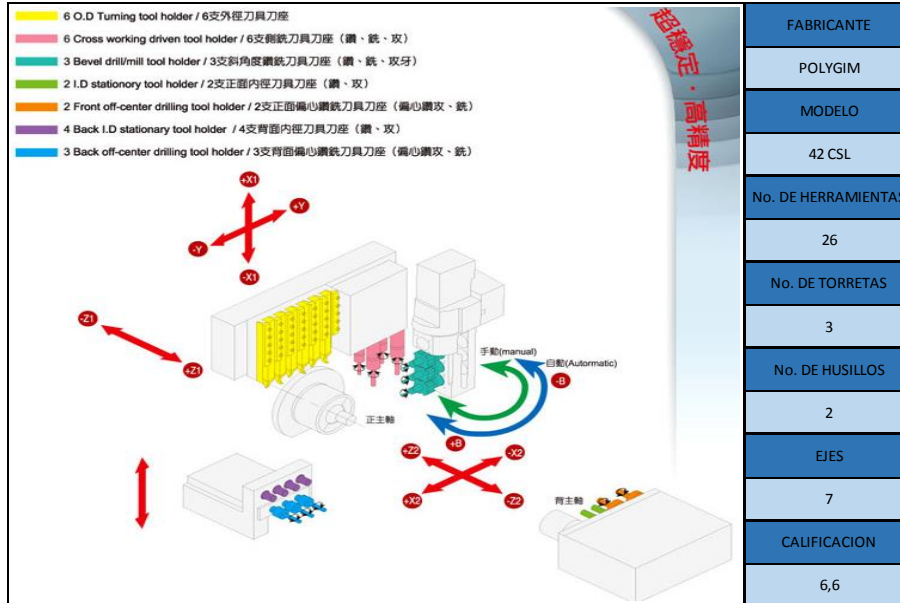
Figura 43. Polygim – 20CSB



Fuente: [31]

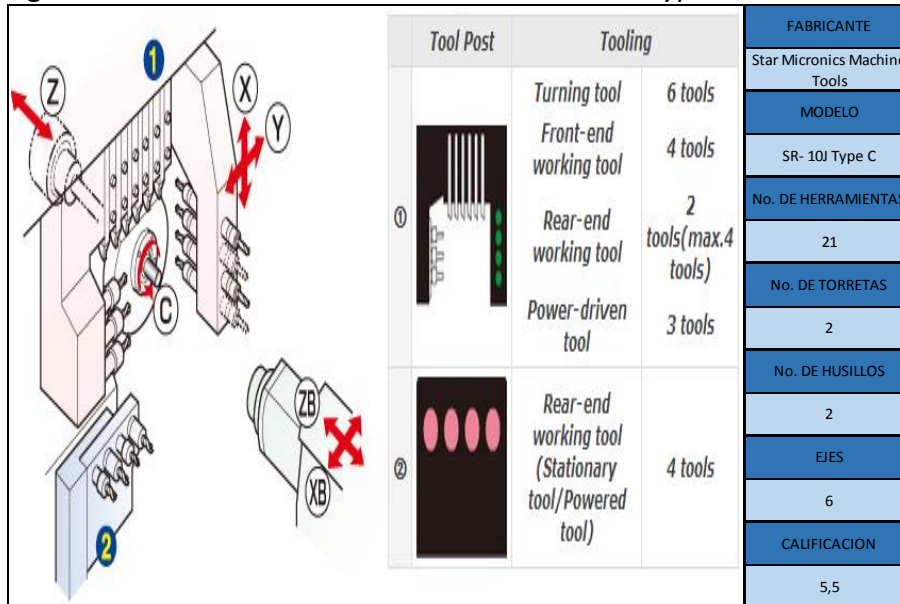


Figura 44. Polygim – 42CSL



Fuente: [31]

Figura 45. Star Micronics Machine Tools - SR- 10J Type C



Fuente: [32]

Figura 46. Star Micronics Machine Tools - SR-20J type C

			FABRICANTE																			
			Star Micronics Machine Tools																			
<table border="1"> <thead> <tr> <th>Tool Post</th> <th colspan="2">Tooling</th> </tr> </thead> <tbody> <tr> <td rowspan="4">①</td> <td>Turning tool</td> <td>6 tools</td> </tr> <tr> <td>Front-end working tool</td> <td>6 tools</td> </tr> <tr> <td>Rear-end working tool</td> <td>4 tools</td> </tr> <tr> <td>Power-driven tool</td> <td>3-10 tools</td> </tr> <tr> <td rowspan="3">②</td> <td>Back 4-spindle unit</td> <td>4 tools (6 tools:OP)</td> </tr> <tr> <td>Stationary tool</td> <td>max.4 tools</td> </tr> <tr> <td>Powered tool</td> <td>max.6 tools</td> </tr> </tbody> </table>			Tool Post	Tooling		①	Turning tool	6 tools	Front-end working tool	6 tools	Rear-end working tool	4 tools	Power-driven tool	3-10 tools	②	Back 4-spindle unit	4 tools (6 tools:OP)	Stationary tool	max.4 tools	Powered tool	max.6 tools	MODELO
			Tool Post	Tooling																		
①	Turning tool	6 tools																				
	Front-end working tool	6 tools																				
	Rear-end working tool	4 tools																				
	Power-driven tool	3-10 tools																				
②	Back 4-spindle unit	4 tools (6 tools:OP)																				
	Stationary tool	max.4 tools																				
	Powered tool	max.6 tools																				
			SR-20J type C																			
			No. DE HERRAMIENTAS																			
			32																			
			No. DE TORRETAS																			
			3																			
			No. DE HUSILLOS																			
			2																			
			EJES																			
			7																			
			CALIFICACION																			
			7,2																			

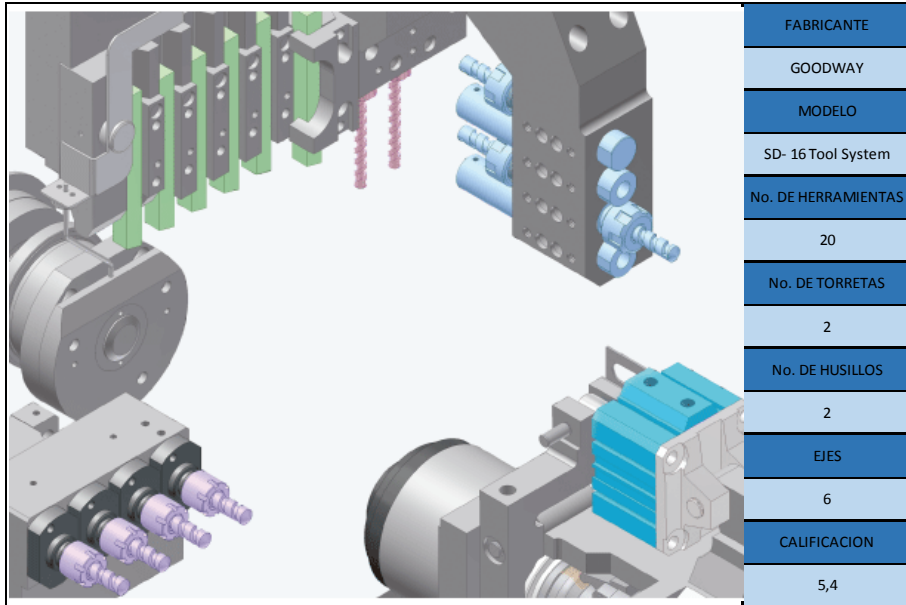
Fuente: [32]

Figura 47. Star Micronics Machine Tools - ECAS-20T

			FABRICANTE																			
			Star Micronics Machine Tools																			
<table border="1"> <thead> <tr> <th>Tool Post</th> <th colspan="2">Tooling</th> </tr> </thead> <tbody> <tr> <td rowspan="4">①</td> <td>Turning tool</td> <td>max.2 tools/station (≈16mm)</td> </tr> <tr> <td>Front-end working tool</td> <td>max.3 tools/station</td> </tr> <tr> <td>Rear-end working tool</td> <td>max.3 tools/station</td> </tr> <tr> <td>Power-driven tool</td> <td>max.2 tools/station</td> </tr> <tr> <td rowspan="3">②</td> <td>Turning tool</td> <td>max.2 tools/station (≈16mm)</td> </tr> <tr> <td>Back working tool</td> <td>max.3 tools/station</td> </tr> <tr> <td>Power-driven tool</td> <td>max.2 tools/station</td> </tr> </tbody> </table>			Tool Post	Tooling		①	Turning tool	max.2 tools/station (≈16mm)	Front-end working tool	max.3 tools/station	Rear-end working tool	max.3 tools/station	Power-driven tool	max.2 tools/station	②	Turning tool	max.2 tools/station (≈16mm)	Back working tool	max.3 tools/station	Power-driven tool	max.2 tools/station	MODELO
			Tool Post	Tooling																		
①	Turning tool	max.2 tools/station (≈16mm)																				
	Front-end working tool	max.3 tools/station																				
	Rear-end working tool	max.3 tools/station																				
	Power-driven tool	max.2 tools/station																				
②	Turning tool	max.2 tools/station (≈16mm)																				
	Back working tool	max.3 tools/station																				
	Power-driven tool	max.2 tools/station																				
			ECAS-20T																			
			No. DE HERRAMIENTAS																			
			54																			
			No. DE TORRETAS																			
			3																			
			No. DE HUSILLOS																			
			2																			
			EJES																			
			8																			
			CALIFICACION																			
			9,8																			

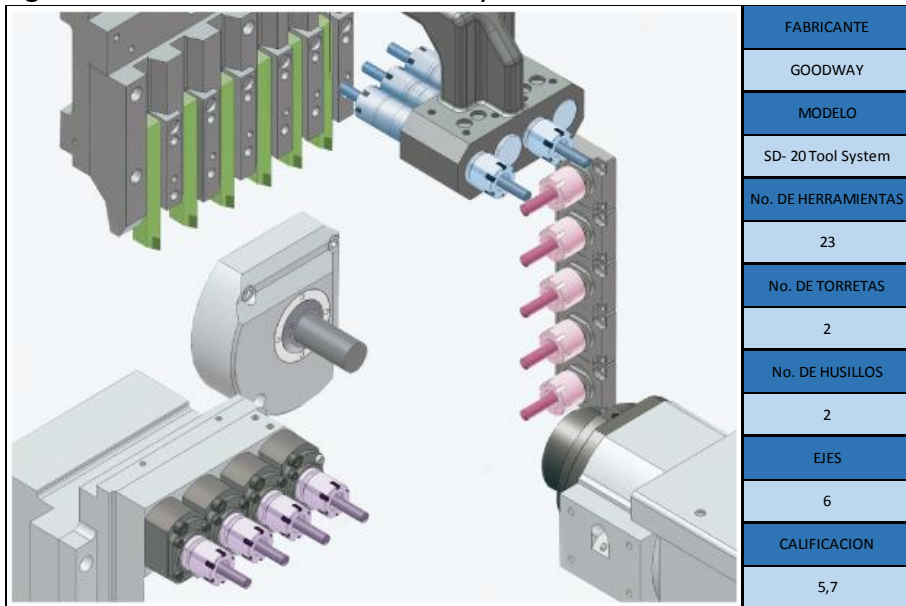
Fuente: [32]

Figura 48. GOODWAY - SD- 16 Tool System



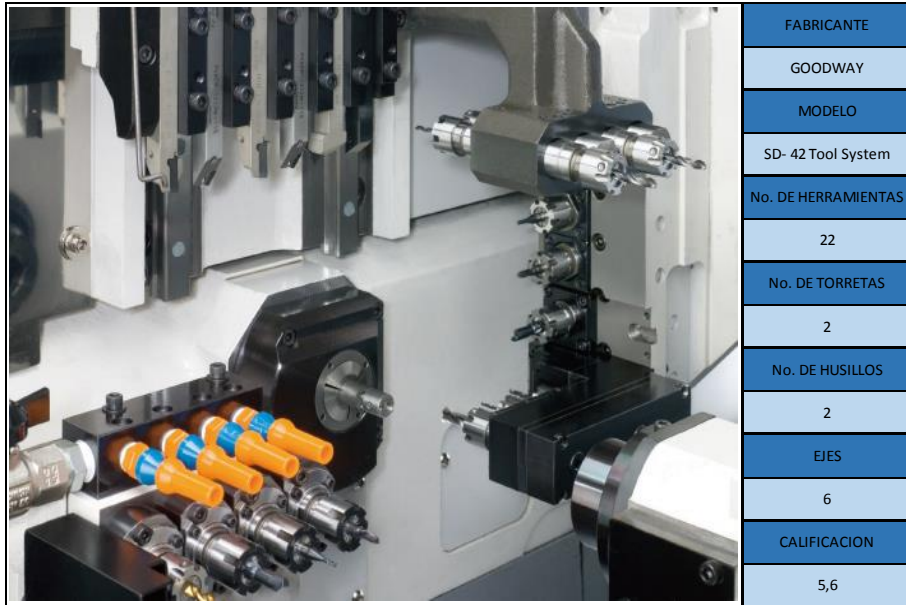
Fuente: [33]

Figura 49. GOODWAY - SD- 20 Tool System



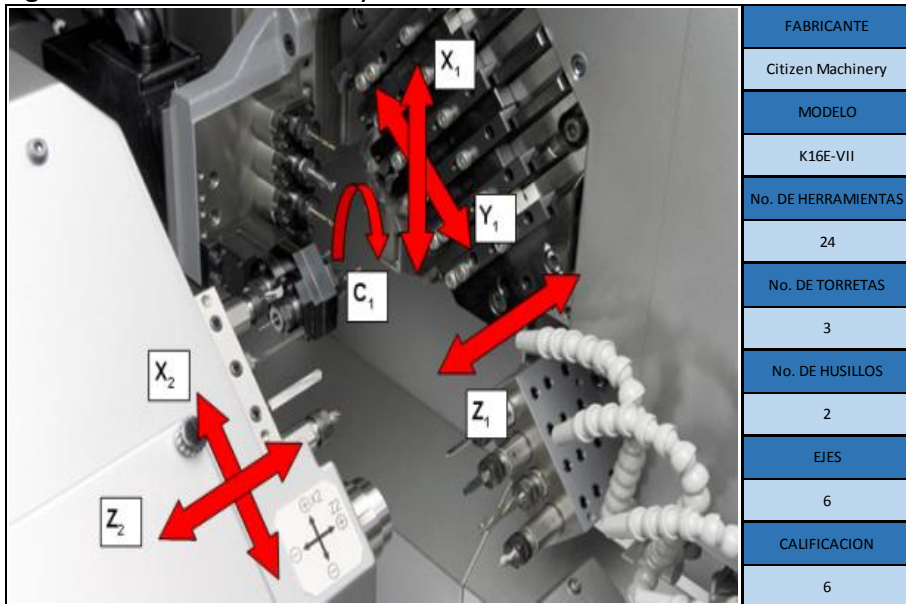
Fuente: [33]

Figura 50. GOODWAY - SD- 42 Tool System



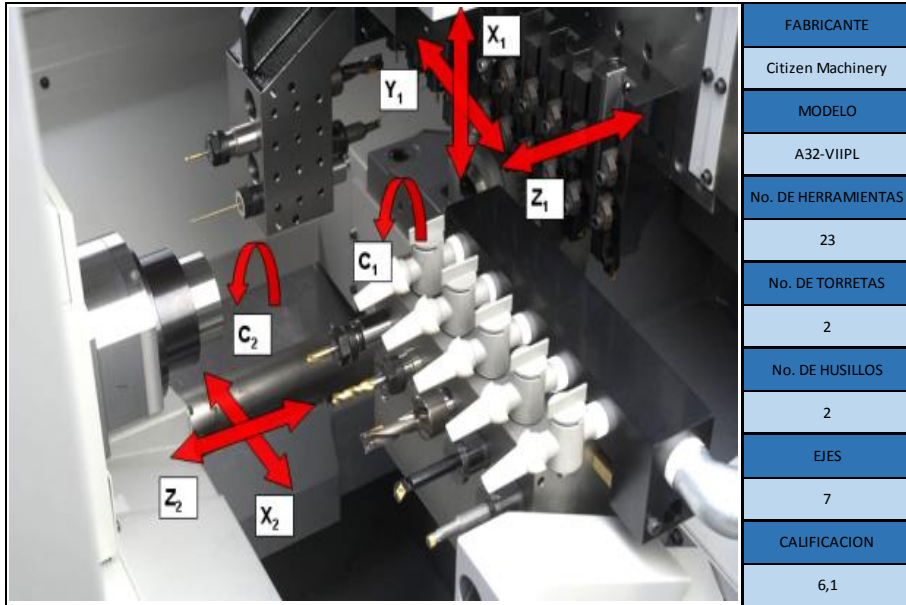
Fuente: [33]

Figura 51. Citizen Machinery - K16E-VII



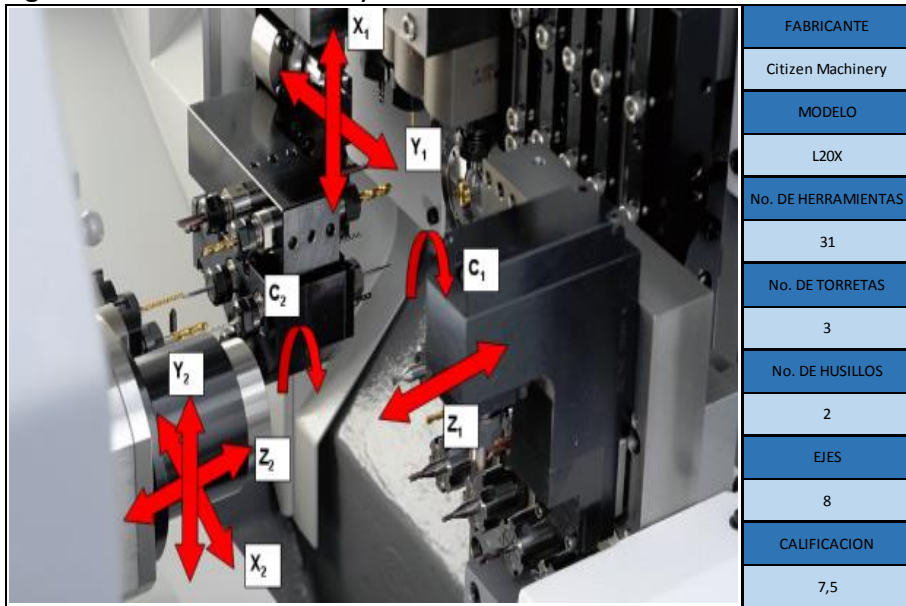
Fuente: [20]

Figura 52. Citizen Machinery - A32-VIPL



Fuente: [20]

Figura 53. Citizen Machinery – L20X



Fuente: [20]

Figura 54. Kanxin Digital Controlled Lathe Co. – CJK-6130 – Torno biaxial

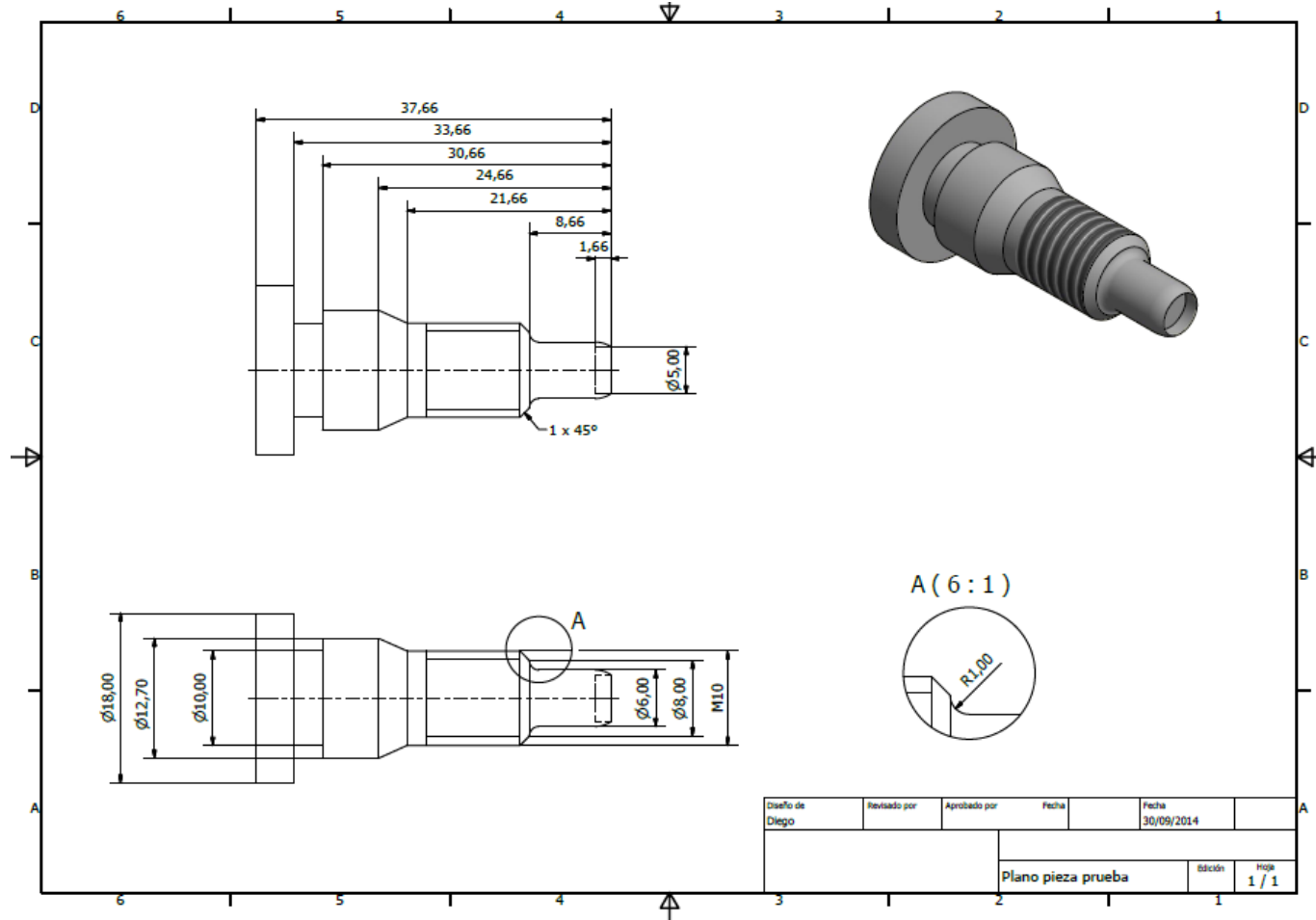


Fuente: [34]

## ANEXO B. MANUFACTURA PIEZA PRUEBA

### 1. PLANO DE MANUFACTURA



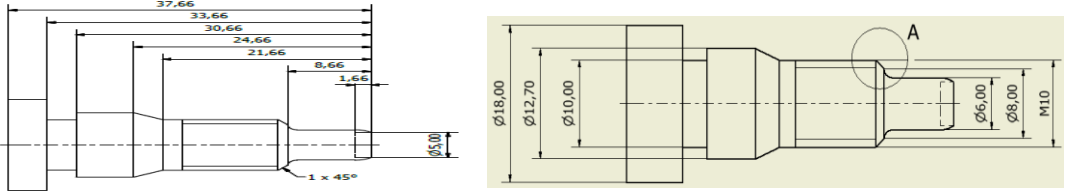
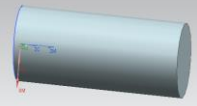
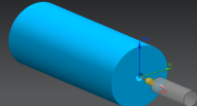
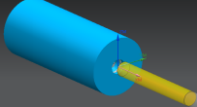
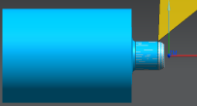
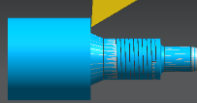
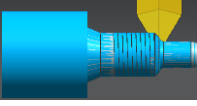
Figura 55. Plano de manufactura pieza prueba



Fuente: [Autor]

## 2. HOJA DE PROCESO



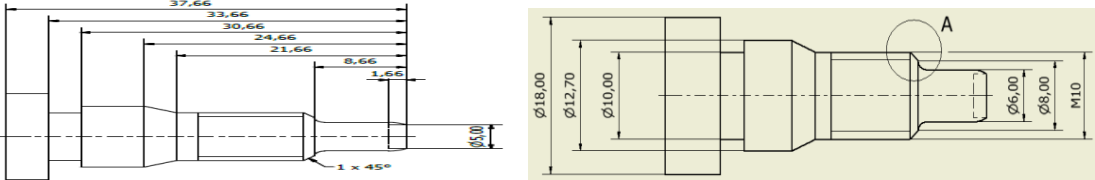
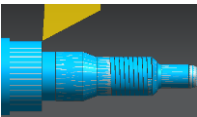
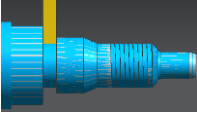
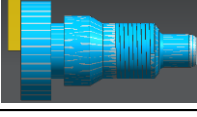
Figura 56. Hoja de proceso pieza prueba

Fecha: 2014		Universidad Santo Tomás Facultad de Ingeniería Mecánica							
<b>HOJA DE PROCESO</b>		<b>Maquina: Polygim 20CSB</b>							
<b>Denominación: Pieza prueba</b>		<b>Material: Laton</b>	<b>N° de Pieza: 1 -1</b>						
									
<b>Material : 45 mm</b>		<b>Aplicación: Prueba</b>							
Subfase	N° de Operación	Operación	Herramienta	Sujeción de Pieza	Datos de Corte				
					Vc [m/min]	ap[mm]	s[rpm]	F[mm/min]	Tiempo (segundos)
1	1.1	Material en bruto	-		Material en bruto a 3 mm de voladizo (Cero de pieza)				
2	2.1	Centro punto	T13		60	3	2000	0,05	1,8
3	3.1	Taladrado	T15		60	3	2000	0,05	1,8
4	4.1	Desbaste 1	T3		60	1	2000	0,1	18,25
	4.2	Desbaste 2	T3		60	1	1910	0,1	18,48
5	5.1	Roscado	T5		500	0,15	2000	1	7,38
<b>TABLA DE HERRAMIENTAS</b>									Total
T1: Insertos Kyocera KGMR1212H-3									(minutos)
T3: Insertos Kyocera ADJCR1212JX-11FF									
T4: Insertos Kyocera AVJBR1212M-11F									
T5: Insertos Kyocera KTTXR1212M-16F									
T13: Broca de centro 2mm									
T15: Broca punta 6mm									1,89

Fuente: [Autor]



Figura 57 (Continuación). Hoja de proceso pieza prueba

Fecha: 2014		Universidad Santo Tomás Facultad de Ingeniería Mecánica							
<b>HOJA DE PROCESO</b>		<b>Maquina: Polygim 20CSB</b>							
<b>Denominación: Pieza prueba</b>		<b>Material: Laton</b>	<b>N° de Pieza: 1 -1</b>						
									
Material : 45 mm		Aplicación: Prueba							
Subfase	N° de Operación	Operación	Herramienta	Sujeción de Pieza	Datos de Corte				
					Vc [m/min]	ap [mm]	s [rpm]	F (mm/min)	Tiempo (segundos)
6	6.1	Desbaste 3	T3		60	2	2000	0,1	18,10
7	7.1	Ranurado	T1		60	1	1909,859	0,05	17,06
8	8.1	Tronzado	T1		60	1	2000	1	30,69
<b>TABLA DE HERRAMIENTAS</b>									Total (minutos)
T1: Insertos Kyocera KGMR1212H-3									1,89
T3: Insertos Kyocera ADJCR1212JX-11FF									
T4: Insertos Kyocera AVJBR1212M-11F									
T5: Insertos Kyocera KTTXR1212M-16F									
T13: Broca de centro 2mm									
T15: Broca punta 6mm									

Fuente: [Autor]

### 3. CÓDIGO CNC

<b>O401(PRUEBA)</b>	G71P31Q32U0W0	G76P020560Q0.05R0.01	<b>N110(TRONZADO)</b>
<b>N5(BROCA DE CENTRO)</b>	N31G0X0	G76X8.58Z19P0.708Q0.18F1	G54G99G50S1=2000
G54G40G99G50S1=2000	G1Z0	G0X50	G43.1
G43.1	G2X6Z3R3	M5	G28U0
G28U0	G1Z9	M9	G28V0
G28V0	G3X8Z10R1		T0101
T1313	N32G1X20	<b>N100(DESABASTE3)</b>	G0Y0
G0Y0	G40	G54G99G50S1=2000	G96M3S1=60
G96M3S1=60	G0X50	G43.1	G0Z42
G0Z-1	M5	G28U0	X20
G0X0		G28V0	G75R0.5F0.05
G1Z3F0.05	<b>N60(DESABASTE2)</b>	T0303	G75X2P0.5
G1Z-2	G54G99G50S1=2000	G0Y0	G0X50
G0X21	G43.1	G96M3S1=60	M5
	G28U0	G41	M30
<b>N7(BROCA-6MM)</b>	G28V0	G0X20Z25	
G54G40G99G50S1=2000	T0303	G71U1R0.5F0.1	
G43.1	G96M3S1=60	G71P101Q102U0W0	
G28U0	G41	N101G1X12.7	
G28V0	G0Y0	Z35	
T1414	X20	X18	
G0Y0	Z9	Z42	
G96M3S1=60	G71U1R0.5F0.1	N102X20	
G0Z-1	G71P71Q72U0W0	G40	
G0X0	N71G0X8	X50	
G1z3 F0.05	G0Z10	M5	
G1Z0	G1X10Z11		
G0X21	G1Z23	<b>N110(RANURADO)</b>	
	G01X12.7Z26	G54G99G50S1=2000	
<b>N10(DESABASTE-REDONDEO)</b>	N72G1X20	G43.1	
G54G99G50S1=2000	G40	G28U0	
G43.1	G0X50	G28V0	
G28U0	M5	T0101	
G28V0		G0Y0	
T0303	<b>N90(ROSCADO)</b>	G96M3S1=60	
G96M3S1=60	G54G99G50S1=2000	G0Z35	
G41	T0505	X20	
G0Y0	G0Y0	G75R0.5F0.05	
X20	G97S1=500M13	G75X10P0.5	
Z-1	G0Z9	G0X50	
G71U1R0.5F0.1	X11	M5	

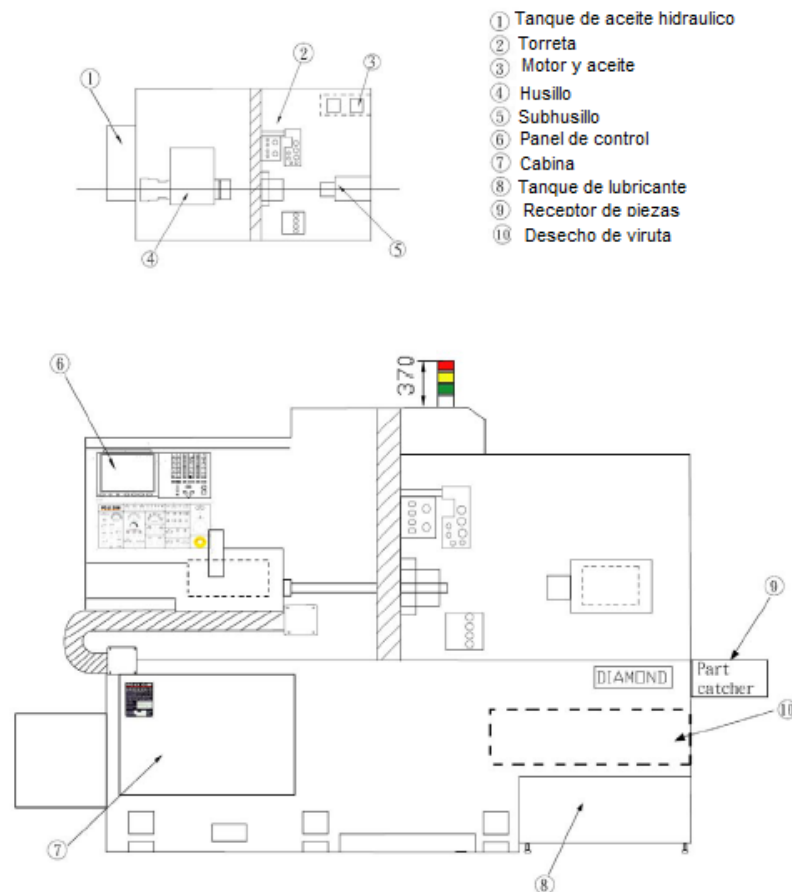
## ANEXO C. MANUAL DE USUARIO TORNO POLYGIM 20 CSB

### 1. COMPONENTES FÍSICOS DEL TORNO POLYGIM 20CSB

Antes de comenzar a usar cualquier equipo tecnológico es importante conocer los componentes de este ya que de esto depende el buen funcionamiento y el buen uso que se le dé, por este motivo se explicaran cuáles son los componentes físicos del torno tipo suizo Polygim Diamond 20 CSB.

Los componentes físicos son los que se muestran en la Figura 58 tomada del manual de los tornos tipos suizos Diamond 20 Series llamado “Diamond 20CSBII MAINTENANCE & OPERATION MANUAL” de la página 23 donde se muestran las posiciones y las partes para los tornos 20CSBII Y 32CSBII los cuales aplican para nuestro torno pero varia la posición del panel de control del lado derecho al izquierdo.

Figura 58. Componentes físicos del torno suizo

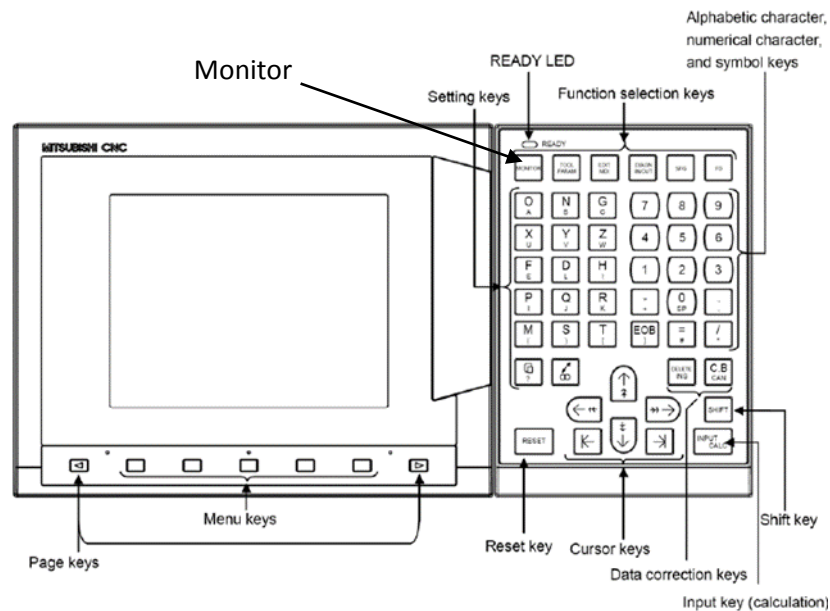


Fuente: [5]

## 2. ENCENDIDO DE LA MÁQUINA

Para el encendido de la maquina primero hay que prender el interruptor del estabilizador y esperar unos segundos a que se encienda, seguido a esto se debe prender la maquina con el interruptor que se encuentra en la parte izquierda de la máquina, después de esto la maquina se encenderá y en la pantalla aparecerá una imagen de Polygim, para ingresar a la pantalla de trabajo se debe oprimir el botón monitor que aparece en la Figura 59, si la maquina tiene activado el stop de emergencia mostrara un mensaje en rojo para lo cual solo se debe desactivar para comenzar a trabajar.

Figura 59. Display del torno suizo Polygim diamond 20 CSB

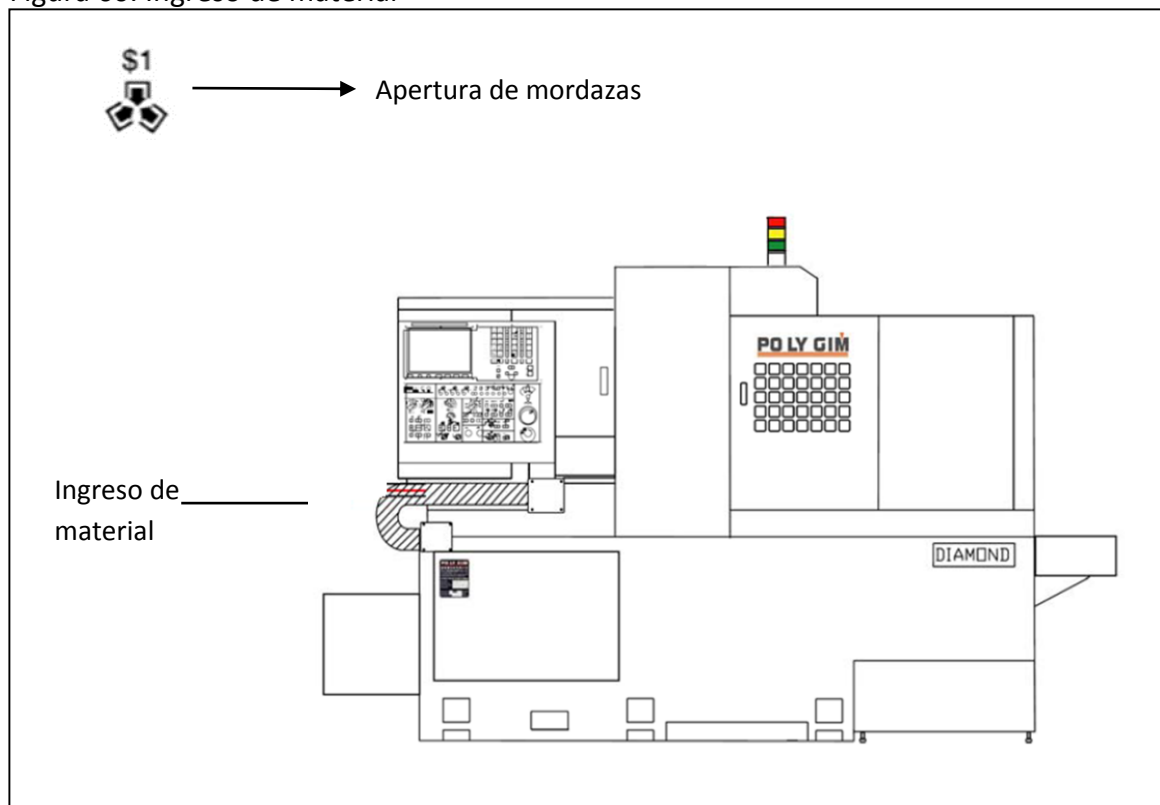


Fuente: [5]

### 3. MONTAJE DE LA MATERIA PRIMA

Para el montaje de la materia prima lo primero que hay que tener en cuenta es que el material debe tener un máximo de diámetro de 3/4" o 20 mm ya que este es el límite que permite trabajar la máquina, teniendo claro esto nos dirigimos al panel de control y oprimimos el botón que se muestra en la figura 60 y debe titilar indicando que las mordazas están abiertas y se puede ingresar el material, este se debe ingresar por el lado derecho de la máquina en la parte posterior del husillo como se ve en la Figura 60, ya ingresado el material se debe oprimir de nuevo el botón de que se observa en la figura 60 para que el material quede firme para poder trabajar.

Figura 60. Ingreso de material



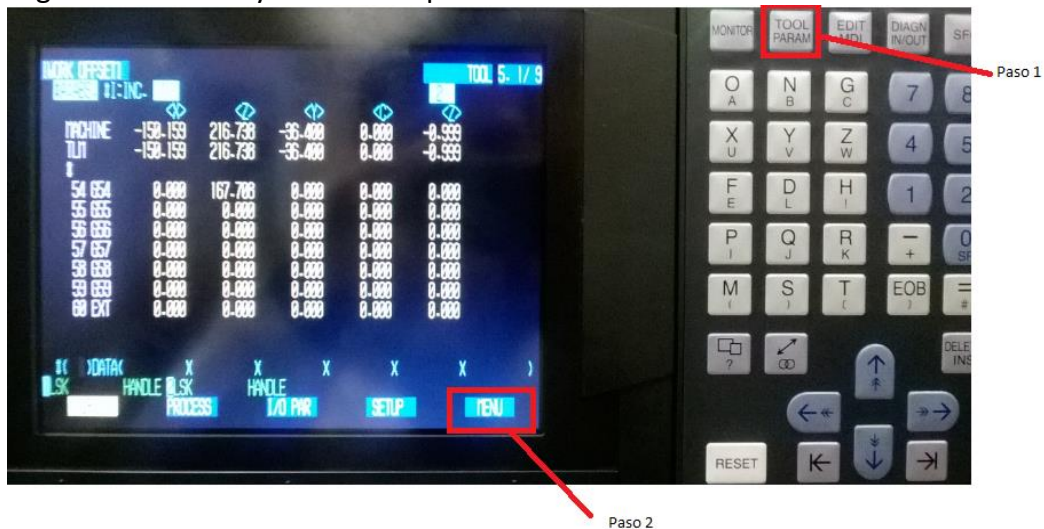
Fuente: [5]

#### 4. CERO DE PIEZA

Habiendo ingresado el material al torno se debe seleccionar el punto inicial de trabajo del material, esto es con el objetivo de primero evitar la vibración del material en la parte posterior del husillo y la segunda es tener la menor pérdida del material, para esto se debe seleccionar bien el punto donde se quiera que sea el cero de pieza en el husillo.

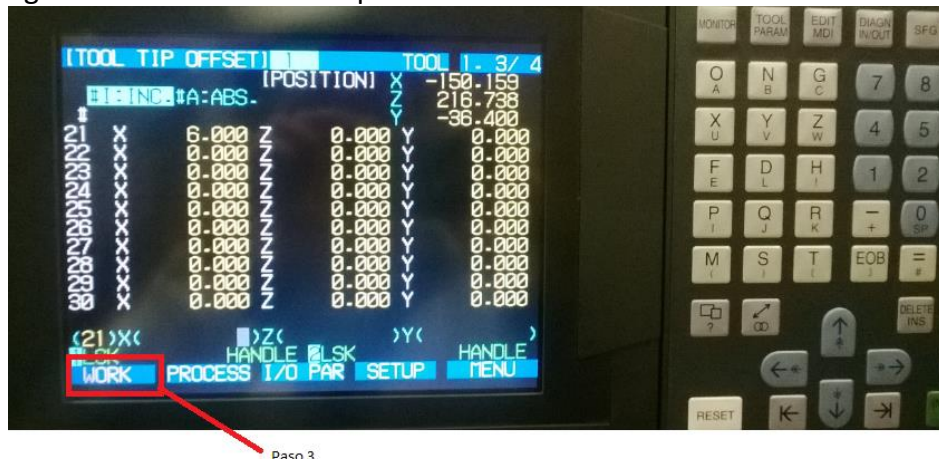
Habiendo seleccionado el punto inicial, se dirige al panel de control para indicar que este va a ser el cero de pieza, como se observa en la figura 60 el primer paso es oprimir TOOL PARAM, después buscar y seleccionar en la pantalla la opción MENU que generara unas opciones entre las cuales se encuentra la opción WORK como se ve en la figura 61 que hace referencia a el posicionamiento de los ejes con respecto a la máquina.

Figura 61. Pasos 1 y 2 selección punto inicial



Fuente: [Autor]

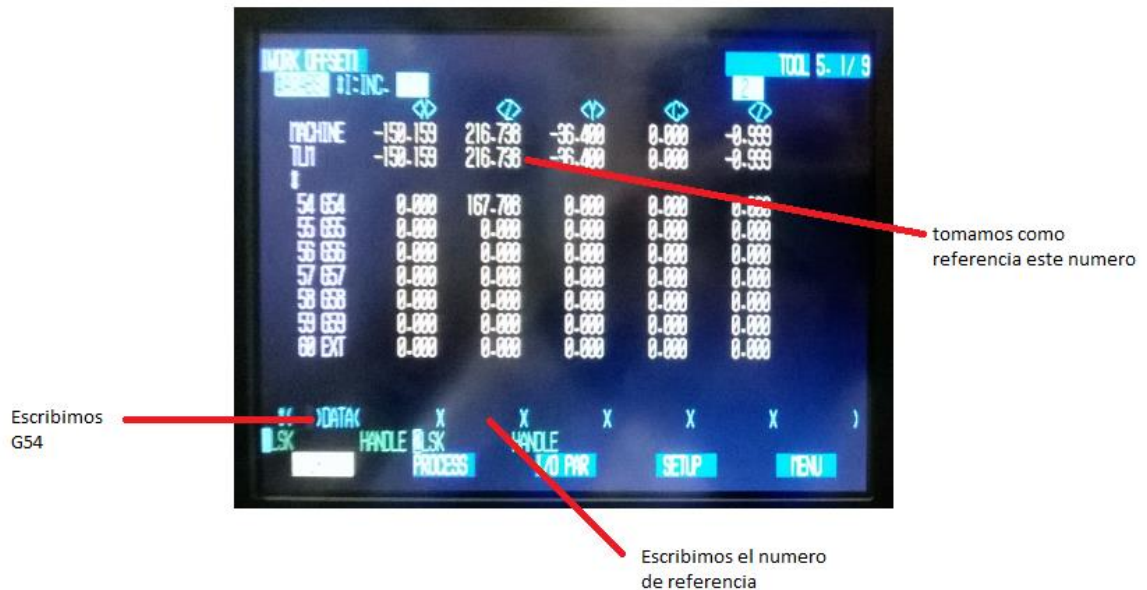
Figura 62. Paso 3 selección punto inicial



Fuente: [Autor]

Cuando se selecciona la opción WORK entra a una ventana la cual se observa en la figura 62 que muestra los ejes y la posición con respecto a la maquina en la que se encuentran actualmente, donde el eje que en este momento interesa es el Z ya que el material solo se va a mover longitudinal y las herramientas se encargan de los otros ejes, por eso se toma como referencia el número que aparece en la pantalla en el eje Z y se ingresa como se ve en la figura 62.

Figura 63. Display WORK



Fuente: [Autor]

## 5. COMPENSACIÓN DE HERRAMIENTAS

Para la compensación de herramientas hay que tener en cuenta que este torno maneja 2 configuraciones de herramientas las cuales son las verticales y las frontales.

A continuación se mostrara como se compasaron las herramientas que se usaron para el desarrollo del trabajo de grado de **“TALLADO DE GEOMETRIAS COMPLEJAS, POR MEDIO DEL PROCESO DE ARRANQUE DE VIRUTA, EN TORNO TIPO SUIZO POLYGIM DIAMOND 20CSB.”**

### 5.1 COMPENSACIÓN HERRAMIENTAS VERTICALES

Antes de comenzar hay que tener en cuenta que las herramientas verticales por defecto ya están compensadas en el eje Y es decir que solo se deben compensar en el eje Z y X.

Se comenzara con la compensación en X ya que es la misma para las herramientas fijas y motorizadas:

1. Retirar la herramienta a compensar.
2. Enviar la herramienta vacía a  $X=19.05$  el cual es el diámetro del material.
3. Ubicar la herramienta vacía en  $Y=0$  para que se posicione en la parte superior del material.
4. Sacar el material de modo que quede debajo de la herramienta vacía seleccionada.
5. Colocar la herramienta en su lugar y dejarla caer en el material.
6. Apretar la herramienta y moverla en el eje X alejándola del material.

Compensación en Z de las herramientas fijas:

1. Se debe realizar un tronzado con la herramienta 1 para generar el  $Z=0$  en esta herramienta que es la base de las que siguen, de forma que la T1 ya está compensada en Z y X.
2. Se envía la siguiente herramienta a compensar a  $Y=0$  y  $X=0$  con el material dentro del buje.
3. Se acerca en Z lo más posible a la cara de la herramienta de forma que apenas toque el inserto, y se mira la diferencia entre el valor en Z de la T1 y la herramienta que se está compensando.
4. Ingresamos a TOOL PARAM – MENU – TOOL DATA y seleccionamos la herramienta a compensar como se ve en la figura 64.
5. Ingresamos el valor que se tuvo en cuenta en Z la cual es la diferencia entre la cara de la herramienta de tronzado y la que queremos compensar.



Figura 64. Display compensación de herramientas



Fuente: [Autor]

Compensación en Z de las herramientas motorizadas:

1. Se debe realizar un tronzado con la herramienta 1 para generar el Z=0 en esta herramienta que es la base de las que siguen, de forma que la T1 ya está compensada en Z y X.
2. Se envía la siguiente herramienta a compensar a Y=0 y X=0 con el material dentro del buje.
3. Se acerca en Z lo más posible a la cara de la herramienta de forma que apenas toque el inserto, y se mira la diferencia entre el valor en Z de la T1 y la herramienta que se está compensando.
4. Ingresamos a TOOL PARAM – MENU – TOOL DATA y seleccionamos la herramienta a compensar como se ve en la figura 64.
5. Al valor que se tuvo en cuenta se le debe restar el radio de la herramienta ya que estas herramientas trabajan desde el centro y no desde su cara.
6. Ingresamos el valor obtenido en Z la cual es la diferencia entre la cara de la herramienta de tronzado menos el radio de la herramienta motorizada más la diferencia entre las caras de estas.

## 5.2 COMPENSACIÓN HERRAMIENTAS FRONTALES

Antes de comenzar hay que tener en cuenta que las herramientas frontales por defecto ya están compensadas en el eje Y y X es decir que solo se deben compensar en el eje Z.

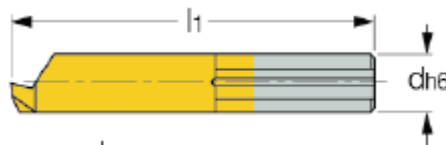
Para la compensación en Z de las herramientas frontales se deben seguir los siguientes pasos:

1. Se debe realizar un tronzado con la herramienta 1 para generar el  $Z=0$  en esta herramienta que es la base de las que siguen, de forma que la T1 ya está compensada en Z y X.
2. Se envía la herramienta que se desea compensar a  $Y=0$  y  $X=0$  con el material dentro del buje.
3. Se acerca en Z lo más posible a la cara de la herramienta de forma que apenas toque el inserto, y se mira la diferencia entre el valor en Z de la T1 y la herramienta que se está compensando.
4. Ingresamos a TOOL PARAM – MENU – TOOL DATA y seleccionamos la herramienta a compensar como se ve en la figura 64.
5. Ingresamos el valor que se tuvo en cuenta en Z la cual es la diferencia entre la cara de la herramienta de tronzado y la que queremos compensar.

Esta forma de compensar tiene una excepción ya que como se puede ver en la figura 65, esta herramienta tiene una punta que no está centrada por lo cual se le debe realizar una compensación en X:

1. Se busca el catálogo de la herramienta.
2. Se busca la diferencia entre la punta y el centro de la herramienta.
3. Ingresamos a TOOL PARAM – MENU – TOOL OFFSET y seleccionamos la herramienta a compensar.
4. Ingresamos la diferencia que muestra el catálogo de forma que la herramienta se va a mover esta diferencia quedando compensada en X.

Figura 65. Herramienta PICCO R 050.6-22 IC228



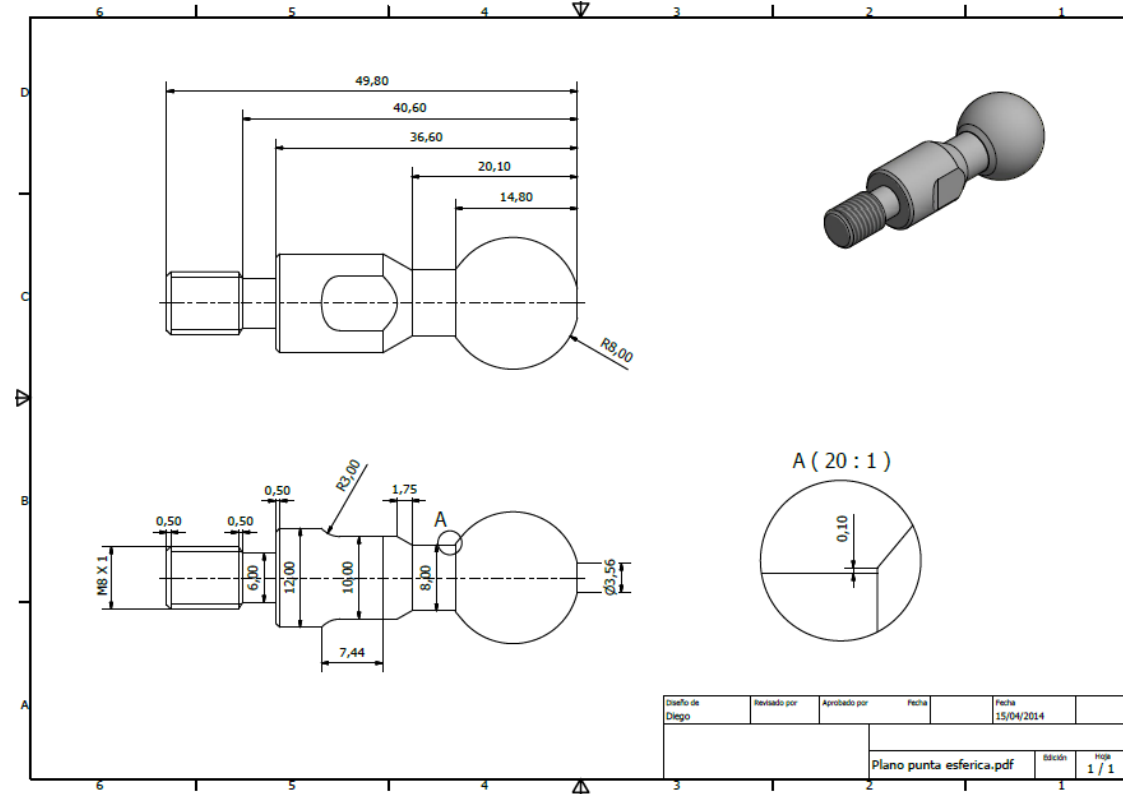
Fuente: [29]

## ANEXO D. MANUFACTURA PIEZAS COMPLEJAS

### 1. PROCESO DE MANUFACTURA PUNTA ESFÉRICA

#### 1.1 PLANO DE MANUFACTURA PIEZA PUNTA ESFÉRICA



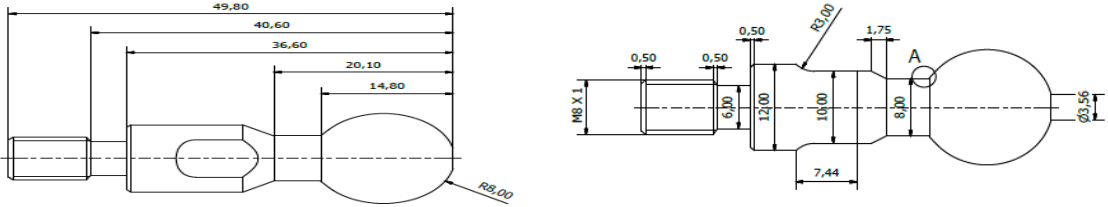
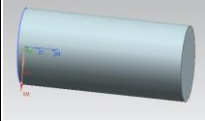
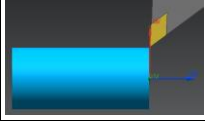

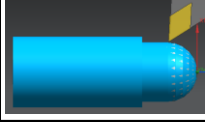
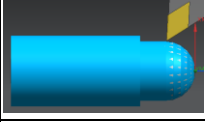
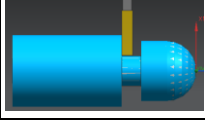
Figura 66. Plano de manufactura punta esférica



Fuente: [Autor]



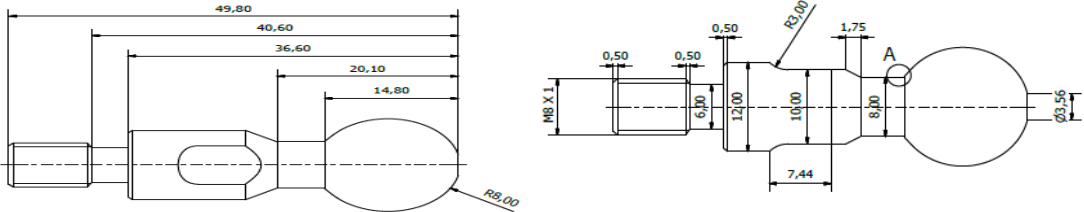
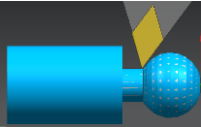
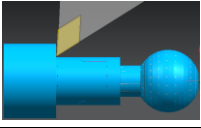
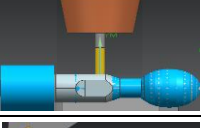
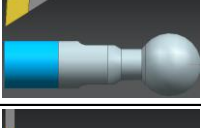
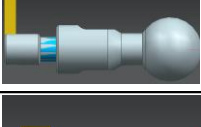

## 1.1 HOJA DE PROCESOS PUNTA ESFÉRICA

Figura 67. Hoja de procesos punta esférica

Fecha: 2014		Universidad Santo Tomás Facultad de Ingeniería Mecánica							
<b>HOJA DE PROCESO</b>		<b>Maquina: Polygim 20CSB</b>							
<b>Denominación: Punta esférica</b>		<b>Material: Acero</b>	<b>N° de Pieza: 1 -1</b>						
									
<b>Material : 53 mm</b>		<b>Aplicación: Articulacion</b>							
Subfase	N° de Operación	Operación	Herramienta	Sujeción de Pieza	Datos de Corte				
					Vc [m/min]	ap[mm]	s[rpm]	F(mm/min)	Tiempo (segundos)
1	1.1	Material en bruto	-		Material en bruto a 3 mm de voladizo (Cero de pieza)				
2	2.1	Refrentado de 2 decimas	T3		60	-	2000	0,1	2,86
	2.2	Desbaste 1 hasta 15.1 mm en Z	T3		60	1	1193,66	0,1	11,34
	2.3	Desbaste punta esferica hasta 8 mm en Z	T3		60	1	2000	0,2	9,06
3	3.1	Acabado punta esferica hasta 8 mm en Z	T4		60	0,3	2000	0,2	2,15
4	4.1	Ranurado entre 15 y 20.3 mm en Z	T1		60	0,5	2000	0,05	62,08
<b>TABLA DE HERRAMIENTAS</b>									Total (minutos)
T1: Insertos Kyocera KGMR1212H-3									5,48
T3: Insertos Kyocera ADJCR1212JX-11FF									
T4: Insertos Kyocera AVJBR1212M-11F									
T5: Insertos Kyocera KTTXR1212M-16F									
T8: Broca 6 mm									



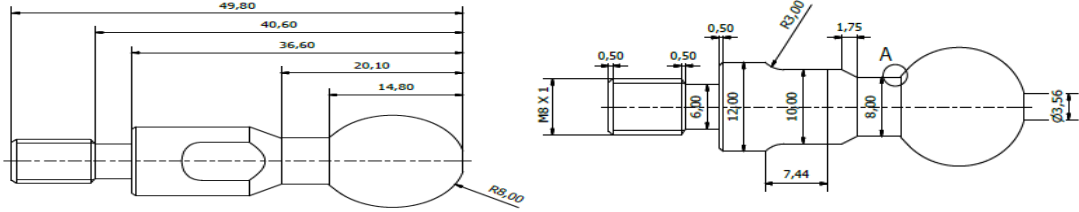
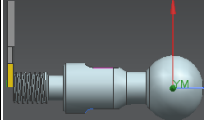
Fuente: [Autor]

Figura 68 (Continuación). Hoja de procesos punta esférica

Fecha: 2014		Universidad Santo Tomás Facultad de Ingeniería Mecánica							
<b>HOJA DE PROCESO</b>		<b>Maquina: Polygim 20CSB</b>							
<b>Denominación: Punta esférica</b>		<b>Material: Acero</b>	<b>N° de Pieza: 1-1</b>						
									
Material : 53 mm		Aplicación: Articulacion							
Subfase	N° de Operación	Operación	Herramienta	Sujeción de Pieza	Datos de Corte				
					Vc [m/min]	ap[mm]	s[rpm]	F[mm/min]	Tiempo (segundos)
5	5.1	Desbaste y acabado punta esferica posterior entre 8 y 15 mm en Z	T4		60	2	2000	0,02	18,42
6	6.1	Desbaste entre 20.3 y 36.8 mm en Z	T3		60	1	1592	0,1	21,93
7	7.1	Fresado para caras planas con el eje Y,Z y C.	T8		28,26	3	1500	65	27,47
8	8.1	Desbaste entre 36.8 y 53 mm en Z	T3		60	1	1591,55	0,1	22,33
	8.2	Ranurado entre 36.8 y 53 mm en Z	T1		60	0,5	2000	0,05	139,39
9	9.1	Roscado	T5		10,34	0,3	10,34	1	4,47
<b>TABLA DE HERRAMIENTAS</b>								Total	(minutos)
T1: Insertos Kyocera KGMR1212H-3								5,48	
T3: Insertos Kyocera ADJCR1212JX-11FF									
T4: Insertos Kyocera AVJBR1212M-11F									
T5: Insertos Kyocera KTTXR1212M-16F									
T8: Broca 6 mm									

Fuente: [Autor]

Figura 69 (Continuación). Hoja de procesos punta esférica

Fecha: 2014		Universidad Santo Tomás Facultad de Ingeniería Mecánica							
<b>HOJA DE PROCESO</b>		<b>Maquina: Polygim 20CSB</b>							
<b>Denominación: Punta esférica</b>		<b>Material: Acero</b>	<b>N° de Pieza: 1 - 1</b>						
									
Material : 53 mm		Aplicación: Articulacion							
Subfase	N° de Operación	Operación	Herramienta	Sujeción de Pieza	Datos de Corte				
					Vc [m/min]	ap[mm]	s[rpm]	F[mm/min]	Tiempo (segundos)
10	10.1	Tronzado	T1		60	0,5	2000	0,05	7,2
<b>TABLA DE HERRAMIENTAS</b>									Total
T1: Insertos Kyocera KGMR1212H-3									(minutos)
T3: Insertos Kyocera ADJCR1212JX-11FF									5,48
T4: Insertos Kyocera AVJBR1212M-11F									
T5: Insertos Kyocera KTTXR1212M-16F									
T8: Broca 6 mm									

Fuente: [Autor]

## 1.2 CODIGO CNC PIEZA PUNTA ESFÉRICA

<b>O402(PUNTA-ESFERICA )</b>	N20(RANURADO)	N40(DESBASTE-LLAVE)
N10(ESFERA)	G54G99G50S1=2000	G54G40G99G50S1=2000
G54G40G99G50S1=2000	G43.1	G43.1
G43.1	G28U0	G28U0
G28U0	G28V0	G28V0
G28V0	T0101	T0303
T0303	G96M3S1=60	G96M3S1=60
G0Y0	G0Y0	G41
G96M3S1=60	G0X22	G0Y0
G0Z0.2	Z17.7	G0X20
G0X20	G75R0.5F0.05	Z19
G1X-1F0.1	G75X8P0.5	G71U1R0.5F0.1
G1Z-1	G0Z20.3	G71P41Q42U0W0
G0X20	G75R0.5F0.05	N41G1X8
<b>G41</b>	G75X8P0.5	Z20.3
G71U1R0.5F0.2	G0X50	X11.9Z23.8
G71P11Q12U0.3W0.05		Z37.8
N11G1X0	N30(ESFERA2)	N42X20
Z0	G54G40G99G50S1=2000	G40
G2X16Z8R8	G43.1	G0X50
G1Z15.1	G28U0	M5
N12G1X20	G28V0	
G40	T0404	N50(PLANOS)
G0X50	G96M3S1=60	G54G40G98G50S3=2000
	G0Y0	G43.1
N15(ACABADO-ESFERA1)	X20	M92
G54G40G99G50S1=2000	Z7	G28U0
G43.1G28U0	G41	G28V0
G28V0	G73U2W0R5	M5
T0404	G73P31Q32U0W0F0.02	M90
G96M3S1=60	N31G1X16	T0808
G0Y0	Z8	G97S3=1500M103
Z-1	G2X10.264Z14.137R8	G0Y8
X20	G1X8Z15.1	X20
F0.02	N32X20	C0
G41	G40	Z19
G70P11Q12	G0X50	G1X-10F65
G0X50G40		G1Z29.7F65

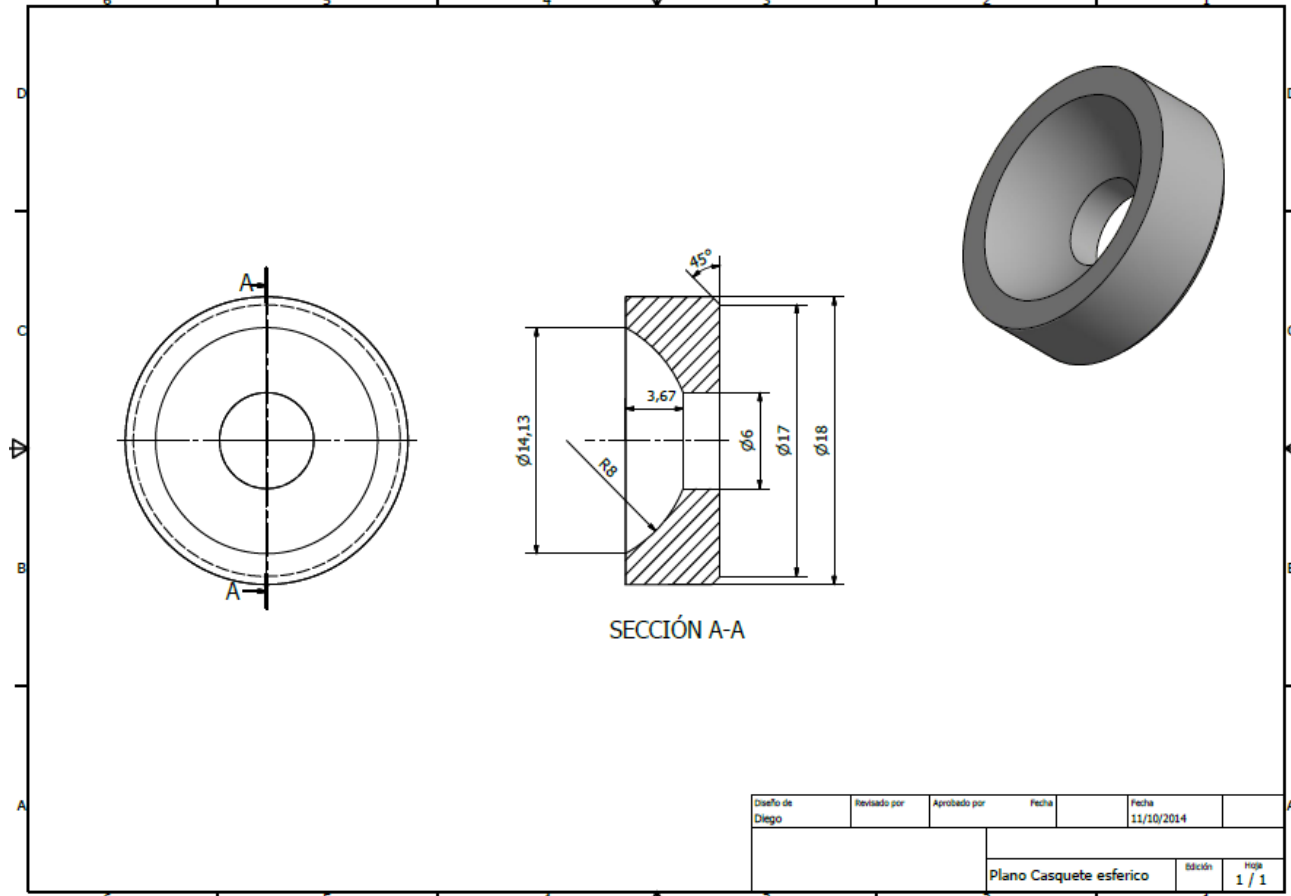
G1Y10	Z39.8	N80(ROSCADO)
G0Z19	X13	G54G40G99G50S1=2000
Y8	G75R0.5F0.05	G43.1
G0C180	G75X6P0.5	G28U0
G1Z29.7	G0Z40.8	G28V0
Y10	G75R0.5F0.05	T0505
G0X50	G75X6P0.5	G97S1=500M13
M105	G0Z42.5	G0Y0
M92	G75R0.5F0.05	G0Z39.6
	G75X7.8P0.5	X20
N60(DESBASTE-ROSCA)	G0Z45.2	X9
G54G40G99G50S1=2000	G75R0.5F0.05	G76P020560Q0.05R0.01
G43.1	G75X7.8P0.5	G76X6.584Z52P0.708Q0.18F1
G28U0	G0Z47.9	G0X50
G28V0	G75R0.5F0.05	
T0303	G75X7.8P0.5	N90(TRONZADO)
G96M3S1=60	G0Z50.6	G54G40G99G50S1=2000
G41	G75R0.5F0.05	G43.1
G0Y0	G75X7.8P0.5	G28U0
X20	G0Z53	G28V0
Z36	G75R0.5F0.05	T0101
G71U1R0.5F0.1	G75X6P0.5	G96M3S1=60
G71P61Q62U0V0	G0X50	G0Y0
N61G1X12	Z39.3	Z53
Z53	X13	X20
N62X20	G1X12F0.05	G75R0.5F0.05
G40	G1X11Z39.8	G75X2P0.5
G0X50	G0Z41.3	G0X50
	G1X7.8	M5
N70(DESBASTE-ROSCA2)	G1X6.2Z40.8	M30
G54G40G99G50S1=2000	G1X9	
G43.1	G0Z52.5	
G28U0	G1X7.8	
G28V0	G1X6.2Z52.9	
T0101	G0X50	
G96M3S1=60		
G0Y0		
X20		



2. PROCESO DE MANUFACTURA CASQUETE ESFERICO

2.1 PLANO DE MANUFACTURA CASQUETE ESFERICO



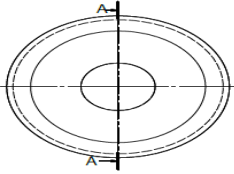
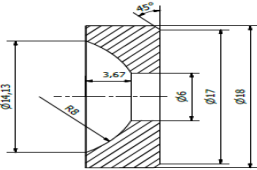
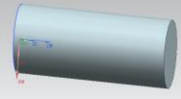


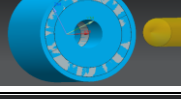


Figura 70. Plano de manufactura casquete esférico



Fuente: [Autor]



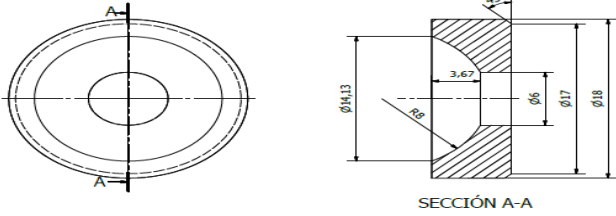
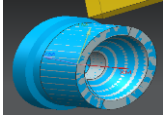
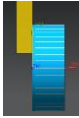
## 2.2 HOJA DE PROCESO CASQUETE ESFERICO

Figura 71. Hoja de proceso casquete esférico

Fecha: 2014		Universidad Santo Tomás Facultad de Ingeniería Mecánica							
<b>HOJA DE PROCESO</b>		<b>Maquina: Polygim 20CSB</b>							
<b>Denominación: Casquete esférico</b>		<b>Material: Bronce fosforado</b>	<b>N° de Pieza: 1 -1</b>						
		 SECCIÓN A-A							
<b>Material : 9 mm</b>		<b>Aplicación: Base articulacion</b>							
Subfase	N° de Operación	Operación	Herramienta	Sujeción de Pieza	Datos de Corte				
					Vc [m/min]	ap[mm]	s[rpm]	F(mm/min)	Tiempo (segundos)
1	1.1	Material en bruto	-		Material en bruto a 3 mm de voladizo (Cero de pieza)				
2	2.1	Refrentado	T3		60	-	2000	0,1	2,86
3	3.1	Centro punto	T13		60	3	2000	0,05	1,80
4	4.1	Taladrado	T15		60	3	2000	0,05	1,80
5	5.1	Desbaste casquete esférico	T15		28,27	0,5	1500	120	414,00
6	6.1	Acabado casquete esférico	T14		60	0,2	2000	0,02	4,50
<b>TABLA DE HERRAMIENTAS</b>									Total (minutos)
T1: Insertos Kyocera KGMR1212H-3									7,45
T3: Insertos Kyocera ADJCR1212JX-11FF									
T13: Broca de centro 2mm									
T15: Broca punta 6mm									
T14: PICCO R 050.6-22 IC228									

Fuente: [Autor]

Figura 72 (Continuación). Hoja de procesos casquete esférico

Fecha: 2014		Universidad Santo Tomás Facultad de Ingeniería Mecánica							
<b>HOJA DE PROCESO</b>		<b>Maquina: Polygim 20CSB</b>							
<b>Denominación: Casquete esférico</b>		<b>Material: Bronce fosforado</b>	<b>N° de Pieza: 1 -1</b>						
 <p style="text-align: center;">SECCIÓN A-A</p>									
Material : 9 mm		Aplicación: Base articulación							
Subfase	N° de Operación	Operación	Herramienta	Sujeción de Pieza	Datos de Corte				
					Vc [m/min]	ap[mm]	s[rpm]	F[mm/min]	Tiempo (segundos)
7	7.1	Cilindrado	T3		60	0,525	1061,033	0,05	10,18
8	8.1	Tronzado	T1		60	2	2000	0,1	11,70
<b>TABLA DE HERRAMIENTAS</b>								Total (minutos)	
T1: Insertos Kyocera KGMR1212H-3									
T3: Insertos Kyocera ADJCR1212JX-11FF									
T13: Broca de centro 2mm									
T15: Broca punta 6mm									
T14: PICCO R 050.6-22 IC228									
								7,45	

Fuente: [Autor]

## 2.3 CODIGO CNC PIEZA CASQUETE ESFERICO

O405(CASQUETE-ESFERICO)	(DISTANCIAFINAL)	G1X-1F#513
(D-INICIAL)	#518=3.666	G1Z-1
#500=19.95	(DISTANCIACENTROACARAPLANA)	G0X20
(D-MAYOR)	#519=1.25	
#501=18	(RADIOFINAL)	N20(BROCADECENTRO)
(D.INICIOCASQUETE)	#520=5.3	G54G40G99G50S1=#512
#502=14.133	(DIAMETROHTADESBASTECASQUETE)	G43.1
(D.FINALCASQUETE)	#521=4	G28U0
#503=6	(PORCENTAJEHTADESBASTECASQUETE)	G28V0
(LONG.TOTAL)	#522=0.7	T#507
#504=6	(HTADESBASTECASQUETE)	G0Y0
(LONG.CASQUETE)	#523=1717	X0
#505=3.666	(HTARANURADO)	G96M3S1=#511
<b>(HTADESBASTE)</b>	#524=0101	G0Z-1
#506=0303	(RADIOFINALVERTICAL)	G1Z3F0.05
(HTABROCACENTRO)	#525=4	G1Z-20
#507=1313	(GIRO-C)	
(HTA.BROCA6MM)	#526=0	N30(BROCA-6MM)
#508=1414		G54G40G99G50S1=#512
(HTA.ACABADOCASQUETE)	#100=#500+2	G43.1
#509=1515	#101=#504+#514	G28U0
(CHAFLAN)	#102=#516	G28V0
#510=0.5	#103=#519	T#508
(VEL.CORTE)	#105=#520*#520	G0Y0
#511=60	#106=#521*#522	X0
(RPMMAX)	#107=0	G96M3S1=#511
#512=2000		G0Z-1
(AVANCE)	N10(REFENTADO)	G1Z#101F0.05
#513=0.1	G54G40G99G50S1=#512	G1Z-20
(RADIOBROCA)	G43.1	
#514=3	G28U0	
(RPMHTA1717)	G28V0	N40(DESBASTE- CASQUETE)
#515=1500	M92	G54G40G98G50S3=#512
(DISTANCIAINICIAL)	T#506	G43.1
#516=0	G0Y0	M92
(PASOLONGITUDINAL)	G96M3S1=#511	G28U0
#517=0.5	G0Z0	G28V0
	G0X20	M5

M90	G0Y0	G0Y0
T#523	X0	X20
G0Z-20	G96M3S1=#511	Z9
G97S3=#515M104	G42	G75R0.5F0.05
G0Y0	G1X#502F0.02	G75X14P0.5
X0	Z0	Z8
N41#102=#102+#517	G2X#503Z#505R8	X18.1
IF[#102GT#518]GOTO50	G1X5.8Z3.8	G1Z9X16
	G0Z-28	X20
N45#103=#103+#517	G40	G75R0.5F0.05
#104=[SQRT[#105-#103*#103]]*2		G75X-2P0.5
#108=#520-#104		X50
#107=0	N60(CILINDRADO)	M5
IF[#104LT#525]GOTO50	G54G40G99G50S1=#512	M30
	M92	
N46#107=#107+#106	G43.1	
IF[#107LT#104]GOTO48	G28U0	
#107=#104	G28V0	
	T#506	
N48G1Z#102F120	G96M3S1=#511	
G1X#107	G0Y0	
G1C180F1300	Z-1	
G1C360F1300	X#100	
G0Z-2	G0X16	
X0	G1Z0F0.05	
IF[#107EQ#104]GOTO41	X18Z1	
GOTO46	Z9	
	X20	
N50(ACABADO-CASQUETE)	G0Z0	
G0Z-25	X50	
G54G40G99G50S1=#512		
G43.1	N70(TRONZADO)	
G28U0	G54G40G99G50S1=#512	
G28V0	G43.1	
M105	G28U0	
M92	G28V0	
T#509	T#524	
G0Z-20	G96M3S1=#511	