



**PROGRAMACIÓN Y RECONVERSIÓN DE UN TORNO SOUTH BEND A  
CNC**

Presenta

**KENNY ALEXANDER GALLEGO HOYOS  
RAMIRO HURTADO ZAPATA  
WILMAR DANIEL ARIAS ZAPATA**



**PROGRAMACIÓN Y RECONVERSIÓN DE UN TORNO SOUTH BEND A  
CNC**

**Proyecto de grado para optar al título de: Ingeniero Mecánico**

Presenta:

**KENNY ALEXANDER GALLEGO HOYOS  
RAMIRO HURTADO ZAPATA  
WILMAR DANIEL ARIAS ZAPATA**

Director

**Ing. Raúl Bedoya Castrillón**

Asesor

**Msc. Esp. Dip. Ing. Wilson Martínez Nieto**

Medellín, -Antioquia-

14 Diciembre de 2016

**Nota de Aceptación**

---

---

---

---

---

---

Presidente del Jurado

---

Jurado

---

Jurado

Medellín –Antioquia-, 14 Diciembre de 2016

## **AGRADECIMIENTOS**

Agradecemos primero a Dios quien nos ha brindado la vida, sabiduría y fortaleza para llevar adelante el desarrollo de este proyecto. Nos ha dado la bendición de tener a nuestras familias, que han sido el apoyo y motor constante en nuestra vida, por tener a nuestros amigos y seres queridos que son fuente de alegrías y motivación en nuestras vidas para seguir adelante ante las adversidades.

Agradecemos a Raúl Bedoya Castrillón, quien ha hecho posible la realización de este logro, quien por su dedicación por las máquinas y herramientas nos ha impulsado con ideas, mejoras y de su mano de obra para la realización de este proyecto.

Agradecimientos a la Institución Universitaria Pascual Bravo por la formación académica que nos ha brindado y por los laboratorios, equipos y monitores en los talleres siempre dispuestos para colaborarnos.

## **DEDICATORIA**

Dedicamos este trabajo a aquellas personas que nos ofrecieron su apoyo y conocimiento para el cumplimiento de este mismo y que han contribuido para que este proyecto se pudiera lograr, a los que ya han culminado sus estudios y metas las cuales han dedicado a una vida entera aportando conocimiento a las nuevas generaciones; así mismo le agradecemos a los docentes y a la institución en general que día a día contribuyen con su tiempo y esfuerzo para apoyar este tipo de proyectos para que como estudiantes podamos fortalecer y fundamentar los conocimientos adquiridos durante una carrera llena de esfuerzo; finalmente agradecemos a nuestras familias por el apoyo incondicional para que logremos cumplir nuestros sueños los cuales como futuros Ingenieros Mecánicos queremos que queden como legado y que el conocimiento e ingenio permanezca por siempre en la humanidad.

# TABLA DE CONTENIDO

	Pág.
INTRODUCCIÓN.....	22
1. IDENTIFICACIÓN DEL PROBLEMA .....	23
1.1 PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA.....	23
1.2 FORMULACIÓN DEL PROBLEMA .....	23
2. JUSTIFICACIÓN.....	24
3. OBJETIVOS.....	25
3.1 GENERAL .....	25
3.2 ESPECÍFICOS .....	25
4 REFERENTES TEÓRICOS.....	26
4.1 ESTADO DEL ARTE .....	26
4.2 TENDENCIAS DEL MANTENIMIENTO Y LA RECONVERSION .....	27
4.3 MOTOR PASÓ A PASO .....	28
4.4 ARDUINO .....	29
4.5 PROGRAMACION CNC .....	29
4.6 TORNO.....	30
4.6.1 South Bend .....	31
4.7 TORNILLOS DE POTENCIA.....	32
4.8 HUSILLOS DE BOLAS .....	33
4.8.1 El husillo .....	34
4.8.2 La tuerca.....	34
4.8.3 Las bolas.....	34
4.8.4 Los deflectores .....	35
4.8.5 El lubricante .....	35
4.8.6 Características mecánicas de los husillos de bolas.....	35
4.8.7 Recomendaciones para la selección .....	35
4.8.8 Coeficiente de carga dinámica. ....	35
4.8.9 Duración de vida normal .....	36
4.8.10 Duración de vida .....	36
4.8.11 Cargas dinámicas equivalentes.....	36

4.8.12	Carga variable .....	37
4.8.13	Cargas radiales y puntuales .....	37
4.8.14	Alineación. ....	37
4.8.15	Capacidad de carga estática.....	37
4.8.16	Velocidad de rotación crítica para ejes de husillos .....	38
4.8.17	Límite de velocidad permisible .....	38
4.8.18	Lubricación de husillos. ....	39
4.8.19	Eficiencia y reversibilidad.....	39
4.8.20	Juego axial y precarga. ....	40
4.8.21	Diseño de los extremos de los ejes.....	40
4.9	DISEÑO ASISTIDO POR COMPUTADOR .....	40
4.9.1	CAD. ....	41
4.9.2	CAM.....	41
4.9.3	CAE.....	41
4.9.4	Inventor: .....	42
4.10	PARAMETROS DE MECANIZADO.....	43
4.11	CONTROL DE ELEMENTOS ELECTROMECHANICOS .....	45
4.11.1	Arduino uno.....	45
4.11.2	Driver l298d .....	46
4.11.3	Motor pasó a paso.....	47
5	METODOLOGÍA .....	49
5.1	TIPO DE INVESTIGACIÓN.....	49
5.2	FUENTES DE INFORMACIÓN.....	49
5.3	ACTIVIDADES REALIZADAS PARA EL DESARROLLO DE LA INVESTIGACIÓN.....	49
6	ANÁLISIS Y RESULTADOS DE LA INVESTIGACIÓN.....	51
6.1	FICHA TÉCNICA DEL TORNO .....	51
6.2	POTENCIA Y FUERZAS PRINCIPALES DEL TORNO.....	51
6.3	MEDIDAS DE LAS PARTES DEL TORNO .....	54
6.4	MATERIALES ACTUALES DEL LABORATORIO SE MAQUINAS .....	55
6.5	DESIGNACION DE HUSULLOS .....	55
6.6	TUERCA PARA HUSILLOS DE BOLAS DE 12MM .....	56
6.7	TUERCA PARA HUSILLO DE BOLAS DE 16MM .....	57
6.8	VELOCIDAD CRÍTICA DE LOS HUSILLOS DE BOLAS .....	57
6.9	ESFUERZO DE PANDEO DE HUSILLOS DE BOLAS .....	58
6.10	EFICIENCIA DE LOS HUSILLOS DE BOLAS .....	60

6.11	PROCESO DE DISEÑO .....	61
6.12	CONFIGURACION DE LA ESTRUCTURA DEL TORNO SOUTH BEND .....	61
6.13	AGUJEROS EN BANCADA DE TORNO SOUTH BEND .....	63
6.14	DISEÑO DE SOPORTE .....	63
6.15	DISEÑO DE SOPORTE .....	65
6.16	CARRO DEL TORNO.....	66
6.17	ENSAMBLAJE DEL CARRO DEL TORNO .....	68
6.18	SISTEMA DE BRIDA CARRO LONGITUDINAL DEL TORNO SOUTH BEND	68
6.19	ENSAMBLAJE COMPLETO DE LOS CARROS REDISEÑADOS: TRANSVERSAL Y LONGITUDINAL .....	69
6.20	SOFTWARE DE CONTROL DEL CNC .....	70
6.20.1	Programación software de control del CNC en Arduino .....	70
6.20.2	Universal g code sender .....	72
7.	CRONOGRAMA DE ACTIVIDADES .....	73
8.	RECOMENDACIONES .....	74
9.	ESPECIFICACIONES TECNICAS DE EQUIPOS PRINCIPALES .....	75
9.1	Torno paralelo pinacho s90/200 .....	75
9.2	Computador msi gp62 2qe leopard pro .....	76
10.	CONCLUSIONES .....	78
11.	REFERENCIAS BIBLIOGRAFICAS .....	79

## LISTA DE FIGURAS

	Pág.
Figura 1. Logo de reconocimiento de South Bend Obras del año 1906.	31
Figura 2. Torno paralelo marca South Bend.	32
Figura 3. Husillos de bolas, sus partes y tipos de recirculación de bolas.	34
Figura 4. Logo de Autodesk inventor.	42
Figura 5. Placa Arduino uno.	45
Figura 6. Driver L298D.	46
Figura 7. Motor pasó a paso.	47
Figura 8. Actual torno South Bend para la reconversión.	51
Figura 9. Planos realizados de la bancada.	54
Figura 10. Esquema de medidas de un husillo de bolas.	56
Figura 11. Velocidad crítica de los husillos de bolas en rpm.	58
Figura 12. Grafica de esfuerzo de pandeo de husillos de bolas.	59
Figura 13. Comparación de la eficiencia de husillos de bolas y rosca Acme.	60
Figura 14. Esquema inicial de la estructura del torno South Bend.	61
Figura 15. Diseño y ensamble de la estructura del torno South Bend.	62
Figura 16. Agujeros principales para los soportes de husillo longitudinal.	63
Figura 17. Soporte eje longitudinal.	64
Figura 18. Husillo de bolas para torno South Bend (extremo 1)	65
Figura 19. Husillo de bolas para torno South Bend (extremo 2).	66
Figura 20. Husillo de bolas para torno South Bend, (rosca).	66
Figura 21. Montaje de carro principal para el torno South Bend.	67
Figura 22. Ensamble del husillo transversal para el torno South Bend.	68
Figura 23. Extensión de brida para el carro longitudinal del torno South Bend.	69
Figura 24. Montaje de sistemas longitudinal y transversal con husillos de bolas para torno south.	69

Figura 25.	Programa de control para CNC.	70
Figura 26.	Panel de edición del programa.	71
Figura 27.	Panel de control del universal g code sender.	72

## LISTA DE TABLAS

	Pág.
TABLA 1. DENOMINACIONES DE MECANIZADO.....	44
TABLA 2. CARACTERÍSTICAS DEL MOTOR PASO A PASO.....	47
TABLA 3 CARACTERÍSTICAS DE LOS HUSILLOS SELECCIONADOS .....	56
TABLA 4. DIMENSIONES EN MILÍMETROS DE TUERCA PEQUEÑA PARA HUSILLOS DE BOLAS. ....	57
TABLA 5. DIMENSIONES EN MILÍMETROS DE TUERCA 16MM A 80 MM DE DIÁMETRO .....	57
TABLA 6. CRONOGRAMA DE ACTIVIDADES.....	73
TABLA 7. FICHAS TÉCNICAS TORNO PARALELO PINACHO S90/200.....	76
TABLA 8. FICHA TÉCNICA COMPUTADOR MSI GP62 2QE LEOPARD PRO .....	77

## LISTA DE ANEXOS

	Pág.
Anexo 1. Planos bancada	82
Anexo 2. Planos carro transversal	83
Anexo 3. Base bancada	84
Anexo 4. Brida	85
Anexo 5. Tuerca tornillo longitudinal	86
Anexo 6. Tuerca tornillo transversal	87
Anexo 7. Buje de bronce para soporte del eje longitudinal del torno	88
Anexo 8. Husillo longitudinal	89
Anexo 9. Planos bancada	90
Anexo 10. Carro transversal	91
Anexo 11. Soporte husillo transversal fijo	92

## GLOSARIO

**CNC (control numérico computarizado):** es un sistema de automatización de máquinas herramienta que son operadas mediante comandos programados en un medio de almacenamiento, en comparación con el mando manual mediante volantes o palancas.

**Torno:** Es un conjunto de máquinas y herramientas que permiten mecanizar, roscar, cortar, agujerear, cilindrar, desbastar y ranurar piezas de forma geométrica por 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 [foto [mecanizado]] adecuadas. Desde el inicio de la Revolución industrial, el torno se ha convertido en una máquina básica en el proceso industrial de mecanizado.

**Máquinas y Herramientas:** La máquina herramienta es un tipo de máquina que se utiliza para dar forma a materiales sólidos, principalmente metales. Su característica principal es su falta de movilidad, ya que suelen ser máquinas estacionarias. El moldeado de la pieza se realiza por la eliminación de una parte del material, que se puede realizar por arranque de viruta, por estampado, corte o electroerosión.

El término máquina herramienta se suele reservar para herramientas que utilizan una fuente de energía distinta del movimiento humano, pero también pueden ser movidas por personas si se instalan adecuadamente o cuando no hay otra fuente de energía. Muchos historiadores de la tecnología consideran que las auténticas máquinas herramienta nacieron cuando se eliminó la actuación directa del hombre en el proceso de dar forma o troquelar los distintos tipos de herramientas. Por ejemplo, se considera que el primer torno que se puede considerar máquina herramienta fue el inventado alrededor de 1751 por Jacques de Vaucanson, puesto que fue el primero que incorporó el instrumento de corte en una cabeza ajustable mecánicamente, quitándolo de las manos del operario.

Las máquinas-herramienta pueden operarse manualmente o mediante control automático. Las primeras máquinas utilizaban volantes para estabilizar su movimiento y poseían sistemas complejos de engranajes y palancas para controlar la máquina y las piezas en que trabajaba. Poco después de la Segunda Guerra Mundial se desarrollaron los sistemas de control numérico. Las máquinas de control numérico utilizaban una serie de números perforados en una cinta de papel o tarjetas perforadas para controlar su movimiento. En los años 1960 se añadieron computadoras para aumentar la flexibilidad del proceso. Tales máquinas se comenzaron a llamar máquinas CNC, o máquinas de Control Numérico por Computadora. Las máquinas de control numérico y CNC pueden repetir secuencias una y otra vez con precisión, y pueden producir piezas mucho más complejas que las que pueda hacer el operario más experimentado.

**Bancada:** La Bancada es una pieza fundida pesada y robusta, hecha para soportar las partes de trabajo del torno. En su sección superior están las guías maquinadas que guían y alinean las partes principales del torno.

**Cabezal:** El cabezal está fijado sobre el lado izquierdo de la bancada. El husillo del cabezal, un eje cilíndrico y hueco soportado por cojinetes, proporciona el impulso a través de los engranes desde el motor a los dispositivos de sujeción de la pieza de trabajo. Puede ajustarse un centro vivo, un plato o un mandril al extremo del husillo, para sujetar y dirigir la pieza de trabajo. El centro vivo tiene una punta de 60° que proporciona el apoyo para que el trabajo gire entre centros.

**Carro longitudinal:** El carro longitudinal- que consta de tres partes principales: montura, carro transversal y tablero se utilizan para mover la herramienta de corte a lo largo de la bancada del torno. La montura o soporte, una pieza fundida en forma de H, montada en la parte superior de las guías del torno, proporciona el medio para montar al carro transversal y el tablero.

**Carro auxiliar:** El carro auxiliar, colocado en la parte superior del carro transversal, se utiliza para soportar la herramienta de corte. Puede girarse en cualquier ángulo para operaciones de torneado cónicas y se mueve manualmente. Tanto como el carro transversal como el carro

auxiliar tienen collares graduados que aseguran ajustes precisos de la herramienta de corte en milésimas de pulgada o centésimas de milímetro.

**Contrapunto:** El contrapunto que consiste del contrapunto superior e inferior fundidos- puede ajustarse para torneado cónico o paralelo mediante dos tornillos en su base. El contrapunto puede fijarse en cualquier posición a lo largo de la bancada del torno mediante la abrazada del contrapunto.

**Torneado:** Tornear es quitar parte de una pieza, mediante una cuchilla u otra herramienta de corte, para darle forma. Este proceso se realiza mediante una máquina llamada Torno. El torneado es, posiblemente la primera operación de mecanizado (dar forma a una pieza) que dio lugar a una máquina herramienta. El torneado genera superficies de revolución (cilindros, conos, hélices). El movimiento principal en el torneado es el de rotación y lo lleva la pieza a la que vamos a dar forma. Los movimientos de avance de la cuchilla y penetración (meter la cuchilla sobre la pieza para cortarla) son generalmente rectilíneos y los lleva la herramienta de corte.

**Movimientos básicos en el torneado:** **Movimiento de rotación:** La pieza se coloca sobre un eje que la hace girar sobre sí misma. **Movimiento de Avance:** La cuchilla avanza paralela a la pieza en un movimiento recto. **Movimiento de Penetración:** La cuchilla penetra contra la pieza cortando parte de ella formándose virutas.

El control de estos 3 movimientos es básico para dar forma a la pieza sin errores. Se pueden torneer piezas de muchas formas, con rosca, engranajes, cóncavas, convexas, entre otros.

**Eje principal y plato:** sobre este eje se coloca la pieza para que gire. En un extremo lleva un eje terminado en punta que es móvil, llamado contrapunto, para sujetar la pieza por un punto, en el otro extremo se sujeta la pieza con un plato. El plato se puede cambiar mediante el husillo. El torno dispone de varios platos para la sujeción de la pieza a mecanizar y que la hará girar en torno a un eje. La pieza queda sujeta por un extremo por el plato y por el otro por la punta del contrapunto. La pieza se coloca en el plato y se mueve el contrapunto hasta que apriete la pieza.

**Carro Transversal:** se mueve hacia adelante o hacia atrás perpendicular al carro principal. Es utilizado para dar la profundidad. Se mueve perpendicularmente al eje del torno en forma manual, girando la manivela de avance transversal o embragando la palanca de avance transversal automático. Sobre este carro está montado el carro orientable o carro auxiliar.

**Caja Norton:** sirve para ajustar las revoluciones de las velocidades mediante unas palancas que accionan un conjunto de engranajes que se encuentran en el interior de la caja. La velocidad a la cual gira la pieza de trabajo en el torno es un factor importante y puede influir en el volumen de producción y en la duración de la herramienta de corte. Una velocidad muy baja en el torno ocasionará pérdidas de tiempo; una velocidad muy alta hará que la herramienta se desafilé muy pronto y se perderá tiempo para volver a afilarla. Por ello, la velocidad y el avance correctos son importantes según el material de la pieza y el tipo de herramienta de corte que se utilice.

Hoy en día los tornos más modernos se llaman Tornos CNC o por control numérico. Estos tornos utilizan un software o programa de ordenador con datos alfanuméricos según los ejes XYZ y que es capaz de controlar todos los movimientos del torno para crear la pieza definida mediante el programa. El ordenador que lleva incorporado controla las velocidades y las posiciones

**Buril:** Se denomina buril a una herramienta manual de corte o marcado, formada por una barra de acero templado terminada en una punta con un mango en forma de pomo que sirve fundamentalmente para cortar, marcar, ranurar o desbastar material frío mediante el golpe con un martillo adecuado, o mediante presión con la palma de la mano. También se utilizó en las primeras formas de escritura

**Portaherramientas:** es un dispositivo de sujeción de la herramienta de corte de una máquina herramienta. Hay muchas herramientas de corte diferentes en cuanto a forma y tamaño. El tipo de portaherramientas debe ser elegido en función de la máquina y de la herramienta a utilizar. En las máquinas modernas de control numérico por computadora (CNC), la elección de un portaherramientas adecuado es importante para asegurar un mecanizado preciso con productividad.

**Accesorios y periféricos:** Se conocen como accesorios de una máquina, aquellos equipamientos que, formando parte de la misma, son adquiridos a un proveedor externo, porque son de aplicación universal para ese tipo de máquina. Por ejemplo, la batería de un automóvil es un accesorio del mismo. Todas las máquinas que tienen incorporado su funcionamiento CNC, necesitan una serie de accesorios; que, en el caso de un torno, se concretan en los siguientes:

UCP (Unidad de Control de Proceso).

Gráficos dinámicos de:

Sólidos y de trayectoria.

Editor de perfiles.

Periféricos de entrada.

Periféricos de salida.

**Caja de velocidades:** Con la que se determina la velocidad y el sentido de giro del eje del torno (H4), partiendo del eje del motor que gira a velocidad constante. En la imagen se puede ver el cabezal de un torno, el eje principal sobre el que está montado el plato (H4), las palancas de la caja de velocidades e inversor de giro (H2) (H3) y (H5).

**Caja de avances:** Con la que se establecen las distintas velocidades de avance de los carros, partiendo del movimiento del eje del torno. Recuérdese que los avances en el torno son en milímetros de avance por revolución del plato del torno. En la imagen se puede ver en la parte posterior (H10), la caja de la lira, que conecta la parte posterior del eje del torno con la caja de avances (H6), la lira que no se ve en la imagen, determina la relación de transmisión entre el eje principal y la caja de avances mediante engranajes desmontables.

## RESUMEN

En los últimos años en el país viene creciendo una gran demanda por el proceso de automatización de maquinaria, esto debido a la introducción en la formación profesional de carreras como la Mecatrónica; además de la inversión extranjera que ve con buenos ojos al mercado colombiano que ha ido cambiando debido a políticas de estado, en especial el de la seguridad democrática, a la firma del tratado de libre comercio con Estados Unidos y otros países. Esto ha facilitado a diferentes instituciones a que desarrollen investigaciones en este campo. En este proyecto buscamos mejorar uno de los campos en el que las medianas y pequeñas empresas metalmecánicas tienen más falencias, la automatización de las máquinas herramientas convencionales.

La automatización de maquinaria y en especial la de un torno paralelo es un proceso que servirá para mejorar la productividad en este tipo de máquina, ya que proporcionará en ella un sistema de mucha más precisión y permitirá realizar un gran número de superficies y curvas en forma más rápida que por un proceso convencional (manual). Las actuales máquinas CNC tienen una tecnología muy avanzada lo que permite la fabricación de un gran número de piezas de formas complejas en serie, lo cual para los países industrializados es una gran ventaja, para competir con sus productos. En nuestro medio este proceso solo lo tienen las empresas que poseen capital suficiente para su inversión, pero las pequeñas y medianas empresas las cuales hacen parte del gran conglomerado industrial del país no cuentan con recursos suficientes para este tipo de inversión. Es por eso que se busca una forma de hacer más competitivas las máquinas convencionales con las que cuentan estas empresas.

El proyecto quiere que la manipulación del torno se realice en forma sencilla y que cualquier operario de torno lo maneje con propiedad; además el montaje del sistema debe ser económico para poder implementarlo a cualquier torno y tenga las ventajas de un torno CNC (control numérico computarizado) y sin perder las ventajas del torno convencional. Con esto buscamos mejorar tecnológicamente por medio de la innovación el torno y obtener un torno “híbrido”.

El proyecto tiene una mirada hacia el futuro mejorando la calidad de mecanizado de piezas aplicando las nuevas tecnologías de corte y disminuyendo el error del operario o estudiantes que utilicen el torno para facilidad de diseño de pieza compleja y mecanizarla fácilmente.

**Palabras Claves:** Mecanizado, Automatización, Torno, Maquinas herramientas, Tecnologías, Proyecto, Pieza, Proceso.

## **ABSTRACT**

In the last years in the country comes growing a great demand by the process of automation of machinery, this due to the introduction in the training professional of racing as the Mechatronics; In addition to foreign investment seen with good eyes to the Colombian market that has changed due to State policies, particularly that of democratic security, to the signing of the Treaty of free trade with the United States and other countries. This has facilitated at different institutions to develop research in this field. In this project seek improve one of them fields in which the medium-sized and small company's metalworking have more flaws, the automation of the machines tools conventional.

The automation of machinery and in particular that of a lathe is a process that will serve to improve productivity in this type of machine, since it will provide therein a system much more precision and will allow to perform a large number of surfaces and curves more quickly than a conventional process (manual). The current machines CNC are highly advanced technology enabling the manufacture of a large number of parts of complex shapes in series, which for industrialized countries is a great advantage, to compete with their products. In our midst, this process only has companies that possess sufficient for their investment capital, but small and medium-sized enterprises which are part of the large industrial conglomerate in the country do not have sufficient resources for this type of investment. Is by that that is seeks a form of make more competitive the machines conventional with that feature these companies.

The project wants to make handling the winch in a simple way and that any lathe operator handle it with property; In addition, the mounting system must be economic to be able to deploy to any lathe and have the advantages of a lathe CNC (computerized numerical control) and without losing the advantages of conventional lathe. With this seek to improve technologically by means of the innovation the lathe and obtain a lathe "hybrid".

The project has a look towards the future improving the quality of machining parts by applying new technologies of cutting and decreasing the error of the operator or students using the lathe for ease of design of complex part and mechanize it easily.

**Key words:** machining, automation, lathe, Machine tools, Technologies, Project, Part, Process.

## INTRODUCCIÓN

Se estudiarán las máquinas-herramientas en especial el torno y sus funciones, partiendo de un modelo establecido y funcional. El mecanizado, operación fundamental en la mecánica, se opera dando forma a partes o piezas metálicas y no metálicas, utilizando principios mecánicos. Se presenta a continuación un rediseño de una máquina clásica como lo es el torno convencional, enfocado en el rediseño del sistema de desplazamiento de los carros longitudinal y transversal.

El proyecto propuesto, trata de adaptar en una sola máquina las propiedades mecánicas y de control de un torno convencional y uno de control numérico computarizado; para el mecanizado de piezas en revolución sencillas o complejas respectivamente, dicho dispositivo necesitará de las habilidades manuales del operario para torneado convencional o de conocimiento de programación CNC, para ejecutarla como torno CNC.

Este proceso se debe realizar por que el país cuenta con un gran número de maquinaria muy vieja, todavía podemos encontrar maquinas herramientas del año 1930 funcionando, las cuales han sido reparadas, o están funcionando con algunas fallas que no implican molestias en el proceso productivo. Debido a esto es necesario entrar realizar el estudio de factibilidad de mejora de las mismas.

Terminado este proceso de mejora y puesta a punto de la maquina se inicia con la última fase la cual es la adaptación de los mecanismos y montaje de software de manejo de los motores con los cuales se realizarán los controles de movimiento. En nuestro medio se venido incrementado la automatización de algunas máquinas y mejorándolas en cuanto proceso de control con ayuda de sistemas Arduinos, sistemas automáticos de control, aplicación de sensores electrónicos y mecánicos.

# **1. IDENTIFICACIÓN DEL PROBLEMA**

## **1.1 PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA**

La actualidad exige la competitividad de todos, tanto las grandes industrias metalmeccánicas como los pequeños talleres, esto obliga a que se actualice la tecnología de trabajo y compren maquinaria CNC (Control Numérico Computarizado). Con el mayor impedimento que es el factor económico ya que tienen costos muy elevados. Los principales motivos son que estas máquinas tienen la máxima precisión y los mejores materiales de fabricación.

La alternativa más económica es la reconversión, porque esta utiliza el cuerpo del torno, solo interviniendo el eje transversal, el eje longitudinal y el porta herramientas. Automatizándolos mediante software de control.

## **1.2 FORMULACIÓN DEL PROBLEMA**

¿Es posible convertir tornos convencionales (mecánicos), en tornos CNC que nos brinden una precisión y autonomía similar o igual a los tornos contemporáneos que son CNC de fábrica?

## 2. JUSTIFICACIÓN

El proyecto busca mejorar la calidad de la máquina, mejorar su producción, contribuir a la automatización total. En especial máquinas que ya han tenido un largo recorrido de trabajo, muchas empresas no tienen la tecnología para competir en mercados altamente tecnificados, esto nos brinda la oportunidad de entrar a explorar las alternativas de realizar la recuperación de la maquinaria en forma más tecnificada al proceso que se lleva actualmente el cual no está normalizado, ni regulado para nuestro mercado y que los países industrializados ya iniciaron desde hace mucho tiempo.

De otro lado existe la posibilidad de entrar a generar un nuevo orden que puede posibilitar la mejora de la competencia productiva de nuestros empresarios sin la necesidad de realizar inversiones muy costosas.

La investigación busca afianzar en el medio:

- Elaborar estándares para determinar parámetros de recuperación de maquinaria.
- Determinar estándares de costos de recuperación maquinaria industrial.
- Prestar asesoría en la recuperación de maquinaria.
- Realizar recuperación, reconversión y automatización de maquinaria industrial.

## **3. OBJETIVOS**

### **3.1 GENERAL**

Rediseñar los sistemas mecánicos de desplazamiento en los ejes x/y de un torno convencional clásico, acondicionando los mecanismos antiguos a mecanismos utilizados en maquinaria CNC, (mecanismos de precisión) para su óptimo funcionamiento.

### **3.2 ESPECÍFICOS**

- Diseñar los sistemas de desplazamiento de acuerdo a la norma DIN69051 para tornos CNC.
- Utilizar un torno South Bend ubicado en el laboratorio de mecánica 5-102 en la Institución Universitaria Pascual Bravo para hacer el rediseño.
- Programar y automatizar mediante Arduino y el universal g code sender el carro longitudinal y el carro trasversal del torno.

## **4 REFERENTES TEÓRICOS**

### **4.1 ESTADO DEL ARTE**

En cuanto a la investigación en procesos industriales y más explícito en cuanto mantenimiento y reconversión son escasos o casi nulos los intentos, ya que la gran mayoría de las industrias creen y prefieren asesoría e investigación extranjera, olvidando el gran potencial que puede tener el país debido al ingenio, suspicacia, inteligencia y experiencia de sus pobladores que en muchas ocasiones presentan soluciones innovadoras y económicas a las cuales no le damos credibilidad, dentro de este panorama también tenemos que 50% de la maquinaria del subsector tiene entre 10 y 20 años de uso, el 30% cuenta con más de 20 años de utilización, el porcentaje restante corresponde a la maquinaria con menos de 10 años. Este subsector se caracteriza por la adaptación de dispositivos y la compra de maquinaria de segunda, traída de países industrializados donde se aplica el concepto de depreciación. En promedio, el subsector trabaja al 75.3% de su capacidad instalada.

Colombia, con respecto a otros países se encuentra muy atrasado tecnológicamente, solo en los últimos años se viene trabajando en políticas de mejoramiento de la calidad de la educación y de desarrollo industrial por medio de los fondos: emprender, calidad de la educación, fomento de la creación de empresas y desarrollo de la investigación, pero la desmotivación por diferentes factores no ha dejado que su avance sea el esperado para mejorar la tecnificación, la investigación y modernización del país en cuanto tecnología.

Colombia está muy atrás de países que han adelantado estrategias y políticas nacionales sistémicas de desarrollo, con activa defensa de sus mercados internos y políticas educativas de transferencia, adaptación y creación de tecnología han logrado aumentar su productividad por encima de los salarios y reducir la brecha con relación a los países más desarrollados. La competitividad industrial resulta de la interacción compleja y dinámica entre el Estado, las empresas, las instituciones intermedias y la capacidad social de Organización y gestión del desarrollo; interacción orientada hacia objetivos específicos y articulados en los cuatro niveles:

teta, macro y meso económico.

También vemos como los países asiáticos comenzaron una carrera por conquistar mercados para ello ha generalizado su apoyo y protegen a sus industrias, cuentan con gobiernos fuertes que invirtieron masivamente en educación y contribuyeron a incrementar la productividad agrícola con reformas agrarias que democratizaron la propiedad rural. Los avances en términos del aumento de la fiabilidad, controles amigables para el usuario, avances en tecnología de visión y reducción del costo de los equipos automáticos y luego los costos elevados de la mano de obra y el reducido número de trabajadores entrenados aceleraron la automatización en los países desarrollados.

## **4.2 TENDENCIAS DEL MANTENIMIENTO Y LA RECONVERSION**

En la actualidad a nivel mundial la tecnificación y automatización genera en el mundo producciones más eficientes, rápidas y de mejor calidad, es por eso que vemos cada día maquinas nuevas que trabajan por programas de computador y dejan al ser humano libre de tareas tediosas, insolubles y peligrosas.

Este hecho ha llevado a que se generen nuevas políticas de mantenimiento y recuperación de maquinaria en especial para países tercermundistas que ven en la reparación, reconstrucción y reconversión una opción válida para mejorar tecnológicamente es por eso que vemos una tendencia generalizada en América Latina en este tipo de procesos.

De otro lado la búsqueda para encontrar puntos de equilibrio entre los costos de producción y los de beneficio ha sido necesario replantear la función del mantenimiento orientándolo a hacerlo más efectivo y así al tiempo que su influencia en los costos totales se minimicen. Luego de un período de crecimiento económico, durante el cual predominaron en las empresas los criterios orientados hacia la producción, se les ha dado prioridad a otros aspectos tales como operación fácil, baja emisión de ruido, mejoramiento de la maquinaria,

implementación de medios de control y repotenciación de maquinaria.

Deberá responder a las siguientes demandas: síntesis del contexto teórico general en el cual se ubica el tema de la propuesta, estado actual del conocimiento del problema (nacional y mundial), brechas que existen y vacío que se quiere llenar con el proyecto; ¿por qué? y ¿cómo? la investigación propuesta, con fundamento en investigaciones previas, contribuirá, con probabilidades de éxito, a la solución o comprensión del problema planteado o al desarrollo del sector de aplicación interesado.

### **4.3 MOTOR PASÓ A PASO**

- Los motores paso a paso se pueden ver como motores eléctricos sin escobillas. Es típico que todos los bobinados del motor sean parte del estator, y el rotor puede ser un imán permanente o, en el caso de los motores de reluctancia variable (que luego describiremos mejor), un cilindro sólido con un mecanizado en forma de dientes (similar a un engranaje), construido con un material magnéticamente "blando" (como el hierro dulce).
- La conmutación se debe manejar de manera externa con un controlador electrónico y, típicamente, los motores y sus controladores se diseñan de manera que el motor se pueda mantener en una posición fija y también para que se lo pueda hacer girar en un sentido y en el otro. La mayoría de los motores paso a paso conocidos se pueden hacer avanzar a frecuencias de audio, lo que les permite girar muy velozmente. Con un controlador apropiado, se los puede hacer arrancar y detenerse en un instante en posiciones controladas.

## **4.4 ARDUINO**

Es una plataforma de hardware libre, basada en una placa con un microcontrolador y un entorno de desarrollo, diseñada para facilitar el uso de la electrónica en proyectos multidisciplinares. El hardware consiste en una placa con un micro controlador Atmel AVR y puertos de entrada/salida.<sup>4</sup> Los microcontroladores más usados son el Atmega168, Atmega328, Atmega1280, y Atmega8 por su sencillez y bajo coste que permiten el desarrollo de múltiples diseños. Por otro lado, el software consiste en un entorno de desarrollo que implementa el lenguaje de programación Processing /Wiring y el cargador de arranque que es ejecutado en la placa.

Desde octubre de 2012, Arduino se usa también con microcontroladoras CortexM3 de ARM de 32 bits, que coexistirán con las más limitadas, pero también económicas AVR de 8 bits. ARM y AVR no son plataformas compatibles a nivel binario, pero se pueden programar con el mismo IDE de Arduino y hacerse programas que compilen sin cambios en las dos plataformas. Eso sí, las microcontroladoras CortexM3 usan 3,3V, a diferencia de la mayoría de las placas con AVR, que generalmente usan 5V. Sin embargo, ya anteriormente se lanzaron placas Arduino con Atmel AVR a 3,3V como la Arduino Fio y existen compatibles de Arduino Nano y Pro como Meduino en que se puede conmutar el voltaje.

Arduino se puede utilizar para desarrollar objetos interactivos autónomos o puede ser conectado a software tal como Adobe Flash, Processing, Max/MSP, Pure Data. Las placas se pueden montar a mano o adquirirse. El entorno de desarrollo integrado libre se puede descargar gratuitamente.

## **4.5 PROGRAMACION CNC**

Es un lenguaje de programación diseñado a mediados de los años 1980 por Bjarne

Stroustrup. La intención de su creación fue el extender al lenguaje de programación CNC mecanismos que permiten la manipulación de objetos. En ese sentido, desde el punto de vista de los lenguajes orientados a objetos, el CNC es un lenguaje híbrido. Posteriormente se añadieron facilidades de programación genérica, que se sumaron a los paradigmas de programación estructurada y programación orientada a objetos. Por esto se suele decir que el CNC es un lenguaje de programación multiparadigma.

Actualmente existe un estándar, denominado ISO CNC, al que se han adherido la mayoría de los fabricantes de compiladores más modernos. Existen también algunos intérpretes, tales como ROOT.

Una particularidad del CNC es la posibilidad de redefinir los operadores, y de poder crear nuevos tipos que se comporten como tipos fundamentales.

## **4.6 TORNO**

El torno es una máquina-herramienta, en la cual, la pieza a mecanizar, (Montada en alguno de los platos de que dispone el torno), es la que tiene el movimiento de rotación, alrededor de un eje, el movimiento de corte lo realiza la herramienta montada en la torreta del torno, y a su vez, en el carro transversal, y éste sobre el carro principal, que es el que realiza el avance contra la pieza que está en movimiento. Existen diversos tipos de tornos: Paralelos, Verticales, Revolver, Automáticos, Copiadores, entre otros. y los Tornos de Control Numérico.

Actualmente la industria moderna trabaja con tornos computarizados, se denominan tornos CNC (Control numérico computarizado). El torno CNC es un torno que ofrece una gran capacidad de producción y precisión en el mecanizado por su estructura funcional y porque la trayectoria de la herramienta de torneado es controlada por un computador que lleva incorporado, el cual procesa las órdenes de ejecución contenidas en un software programado según de la tecnología de mecanizado, es una máquina que resulta rentable para el mecanizado de grandes

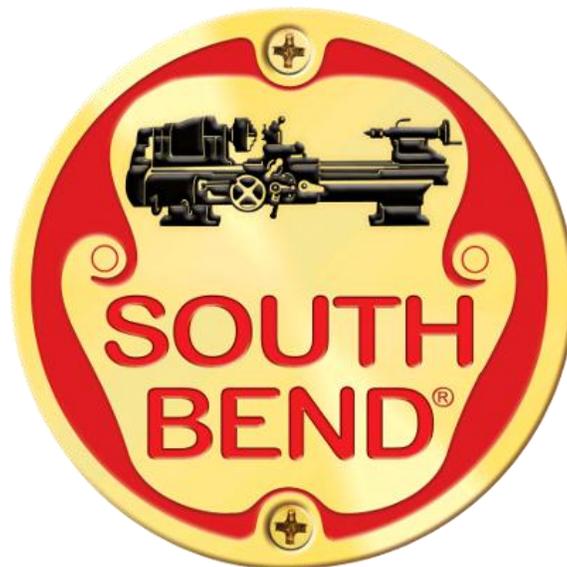
series de piezas sencillas, sobre todo piezas de revolución, y permite mecanizar con precisión superficies curvas coordinando los movimientos axial y radial para el avance de la herramienta.

#### 4.6.1 South Bend

Es una industria fabricante de máquinas herramientas, fundada en 1906 por los hermanos gemelos o bien después de su grado en la universidad de Purdue en Indiana.

En tan solo un cuarto de siglo South Bend se convirtió en el mayor fabricante de tornos de precisión de metales del mundo, con clientes en más de 88 países y las máquinas que se utilizan en todo tipo de industria, incluidas las escuelas, los talleres, y los fabricantes caseros y de gran tamaño. Un parte de clientes famosos incluyen Thomas Edison y Henry Ford. Otros clientes principales son la marina de los estados unidos y el ejército, así como muchos departamentos del gobierno estadounidense.

**Figura 1.** Logo de reconocimiento de South Bend Obras del año 1906.



Fuente: Tomado de: South Bend Lathe Company. (Consultado: 03/11/2016)<sup>1</sup>

---

Tomado de: <http://www.southbendlathe.com/><sup>1</sup>

**Figura 2.** Torno paralelo marca South Bend



Fuente: Tomado de: home model engine machinist. (Consultado: 03/11/2016)<sup>2</sup>

El torno de la Figura 2 es un diseño de 1906 inspirado en las curvas como su nombre traduce al español: curvas del sur, el material básico a utilizar es la fundición de la colada de hierro para la estructura y acero endurecido con tratamiento térmico para las partes de contacto como piñones, tornillería y sistemas de desplazamiento, la potencia la genera un motor eléctrico que trasmite por mecanismo de poleas el movimiento a la cabeza del torno o copa, lo fascinante de estos diseños es que todas la piezas son diseñadas para la producción en serie según la historia de estas máquinas se construyeron millones de estas que impulsaron en parte el desarrollo industrial.

#### **4.7 TORNILLOS DE POTENCIA**

A través de estos elementos es posible transformar un movimiento de rotación en un movimiento rectilíneo, con el objetivo de transmitir fuerza y potencia, derivándose de esto último el nombre de tornillos de potencia.

Generalmente trabajan con un roce elevado, por lo que la eficiencia, el desgaste y el calentamiento son consideraciones importantes para su diseño, además de las consideraciones de

---

<sup>2</sup> Tomado de: home model engine machinist, 2008

resistencia mecánica, donde entra en juego el estado de esfuerzos involucrados como resultado del estado de cargas actuante en el punto crítico.

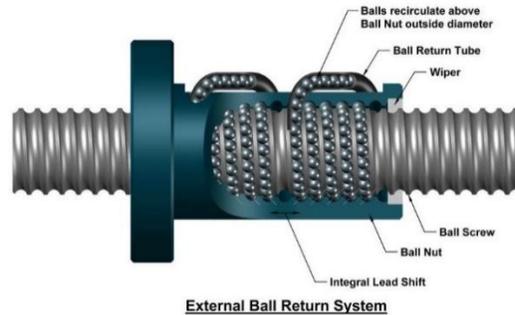
Los tipos de roscas utilizados frecuentemente en los tornillos de potencia son la Cuadrada y la Acmé. La rosca cuadrada es la que posee mayor rendimiento, aunque se prefiere comúnmente la rosca Acmé, con un ángulo de hélice de 29, por su buen ajuste; además tomando en consideración que la rosca cuadrada no está normalizada mientras que la Acmé es de fácil construcción mediante todos los procedimientos existentes.

El uso de rodamientos de bolas, que tienden a disminuir el rozamiento y por tanto a incrementar dicha eficiencia.

#### **4.8 HUSILLOS DE BOLAS**

Los husillos de bolas son mecanismos de transmisión de movimiento de rotación a lineal o viceversa, con gran precisión de posicionado y transporte de carga, el husillo de bolas se lo cataloga de avance eficiente; en el que la bola realiza un movimiento basculante entre el eje del husillo y la tuerca. Con un par de torsión inferior en una tercera parte o menos al de un husillo deslizante de rosca acmé o trapezoidal, este producto resulta bastante útil para ahorrar energía de accionamiento. Hay muchos tipos de sistemas de husillos, varían en su forma geométrica y en sus dimensiones, Los husillos de bolas están definidos mundialmente en las Normas DIN-69051, partes de 1 a 5, en la Norma ISO 3408, y en la Norma UNE 15-439-94. Hay dos tipos de recirculación interna en S y recirculación externa en U. Los husillos a bolas se componen básicamente de cinco elementos de acción.

**Figura 3.** Husillos de bolas, sus partes y tipos de recirculación de bolas.



Fuente: Tomado de: husillos.com.mx (Consultado: 03/011/2016)<sup>3</sup>

#### 4.8.1 El husillo

Es un eje cilíndrico, en cuya superficie exterior está labrada una rosca helicoidal con sección acanalada de perfil semicircular con forma de arco circular o de arco gótico-ojival.

#### 4.8.2 La tuerca

Es un casquillo hueco cilíndrico, en cuya superficie interior está labrada una rosca helicoidal con sección acanalada de perfil semicircular con forma de arco circular o de arco gótico-ojival, que forma un tubo helicoidal con sección de perfil circular con forma de arco circular o de arco gótico-ojival cuando se montan emparejados coaxialmente el husillo y la tuerca.

#### 4.8.3 Las bolas

Cuerpos de rodadura y transmisión de fuerzas por presión sobre las mismas del perfil de la rosca del husillo y de la tuerca y que se montan formando circuitos de bolas dentro del tubo helicoidal que forman las roscas del husillo y de la tuerca al emparejarse coaxialmente.

<sup>3</sup> Tomado de: husillos.com.mx, 2016

#### 4.8.4 Los deflectores

Piezas para la recirculación de las bolas, montados en la tuerca para formar circuitos cerrados de bolas.

#### 4.8.5 El lubricante

Aceite o grasa para la reducción del rozamiento de las zonas de contacto de las bolas con el husillo y la tuerca.

#### 4.8.6 Características mecánicas de los husillos de bolas.

Para conocer las características, parámetros de montaje, recomendaciones, tolerancias, y todo lo relacionado con el montaje de los husillos de bolas es necesario revisar los catálogos de los fabricantes, en estos encontraremos información propia de estos sistemas; hay que tener en cuenta que son empresas de clase mundial, y que llevan años de investigación y mejoramiento de sus procesos.

#### 4.8.7 Recomendaciones para la selección

Sólo se incluyen parámetros básicos para la selección. Para hacer una buena selección de un husillo de bolas, del Departamento Técnico debería especificar los parámetros principales como carga, velocidad lineal o rotacional, coeficiente de aceleración y deceleración, ciclos, condiciones ambientales, requerimientos de duración de vida, precisión de paso, rigidez y cualquier requerimiento especial.

#### 4.8.8 Coeficiente de carga dinámica.

El coeficiente dinámico se utiliza para medir la fatiga en la vida de los husillos de bolas. La vida nominal se calcula siendo la carga axial constante en magnitud y dirección. Actuando centralmente y bajo la cual se alcanza un millón de revoluciones.

#### 4.8.9 Duración de vida normal

La vida nominal de un husillo de bolas es el número de revoluciones o el número de horas de trabajo a una velocidad constante que el husillo de bolas es capaz de resistir antes de que aparezca la primera señal de fatiga en alguna de las superficies de rodadura.

#### 4.8.10 Duración de vida

La vida conseguida por un husillo de bolas específico, antes de que falle, se conoce como la “duración de vida”. El fallo normalmente viene dado por desgaste, no por fatiga; desgaste del sistema de recirculación, corrosión, contaminación y, más generalmente, por pérdida de características funcionales requeridas por la aplicación, La experiencia adquirida en aplicaciones similares ayudará a seleccionar el husillo adecuado para obtener la duración de vida requerida.

También deben considerarse las necesidades estructurales como la fuerza de los extremos del husillo y la fijación de la tuerca, debido a las cargas aplicadas sobre esos elementos en funcionamiento.

#### 4.8.11 Cargas dinámicas equivalentes

Las cargas que actúan sobre el husillo se pueden calcular de acuerdo a las leyes mecánicas, si las fuerzas externas (como pueden ser la transmisión de potencia, trabajo, fuerzas de inercia relacionales y lineales) se conocen o pueden ser calculadas. Es necesario calcular la carga dinámica hipotética constante en magnitud y dirección actuando axial y centralmente sobre el husillo, tendría influencia sobre la vida del husillo como las cargas a las que el husillo está sujeto. Las cargas radiales y puntuales deben ser absorbidas por sistemas lineales, Es extremadamente importante resolver estos problemas lo antes posible. Estas fuerzas son perjudiciales para la duración y funcionamiento esperado del husillo.

#### 4.8.12 Carga variable

Cuando la carga varía durante el ciclo de trabajo, es necesario calcular la carga dinámica equivalente: esta carga se define como la carga hipotética, constante en magnitud y dirección, actuando axial y centralmente sobre el husillo que, si aplica tendría la misma influencia sobre la vida del husillo como las cargas a las que el husillo está sujeto.

Deben tenerse en cuenta las cargas adicionales debidas, por ejemplo, la desalineación, cargas fluctuantes, entre otros. Su influencia sobre la vida nominal del husillo es generalmente tenida en cuenta.

#### 4.8.13 Cargas radiales y puntuales

Cualquier carga radial o puntual en la superficie de contacto, ello provocará una reducción de la duración de vida.

#### 4.8.14 Alineación.

Deberían utilizarse componentes de guiado lineal para asegurar una correcta alineación y evitar cargas no axiales. Debe revisarse el paralelismo eje/husillo con los sistemas de guiado externo, sugerimos incorporar una tuerca con un montaje en muñón o cardan el eje del husillo en rodamientos auto alienable. El montaje del husillo en tensión ayuda a alinear correctamente y elimina el pando.

#### 4.8.15 Capacidad de carga estática

Los husillos de bolas deben seleccionarse en base al coeficiente de carga estática básica, en lugar de basarse en la vida del rodamiento cuando están sujetos a cargas de choque continuas o intermitentes, mientras están parados o a velocidades muy bajas durante cortos periodos. La carga permisible se determina por la deformación permanente causada por la carga que actúa sobre los puntos de contacto, ISO lo define como la carga estática puramente axial y teóricamente central

que creará una deformación, una deformación permanente total (elemento rodante + superficie roscada) igual a 0.0001mm del diámetro del elemento rodante. Un husillo de bolas debe seleccionarse por su coeficiente de carga estática básica que debe ser, por lo menos, igual al producto de la carga estática axial máxima aplicada y el factor de seguridad. El factor de seguridad se selecciona basándose en las experiencias anteriores de aplicaciones similares y requerimientos de deslizamiento suave y nivel del ruido.

#### 4.8.16 Velocidad de rotación crítica para ejes de husillos

El eje es similar a un cilindro, cuyo diámetro es el diámetro del fondo de la rosca. Las formulas utilizan un parámetro cuyo coeficiente viene dado por el montaje del eje de husillo (tanto si es de soporte simple o fijo) la tuerca no se considera como soporte del eje del husillo. Debido a las imprecisiones potenciales en el montaje del husillo, debe aplicarse un factor de seguridad de 0,8 a las velocidades críticas calculadas. Los cálculos que consideran la tuerca como soporte del eje, o reducen el factor de seguridad, requieren ensayos prácticos y optimización del diseño.

#### 4.8.17 Límite de velocidad permisible

El límite de velocidad permisible es aquella velocidad la cual un husillo no puede exceder en ningún momento.

Generalmente es la velocidad límite del sistema de recirculación en la tuerca. Se expresa como el producto del rpm y el diámetro nominal del eje del husillo en mm.

Los límites de velocidad citados en los catálogos de los fabricantes son las velocidades máximas que se pueden aplicar durante periodos de tiempo muy cortos y en condiciones óptimas de rodadura, alineación, carga externa ligera y precarga con lubricación controlada. Hacer girar un husillo continuamente al límite de velocidad permisible puede llevar a una reducción de la vida calculada del mecanismo de la tuerca.

La alta velocidad asociada con altas cargas requiere un gran par de entrada y produce una vida nominal relativamente corta. En caso de altos cambios de velocidad, se recomienda tanto trabajar bajo cargas externas nominales como aplicar una precarga ligera a la tuerca para evitar deslizamiento interno durante el regreso.

El coeficiente de la precarga de los husillos sometidos a altas velocidades, debe ser aquella precarga que asegure que los elementos rodantes no se deslicen. Una precarga demasiado alta creará aumentos inaceptables en la temperatura interna.

#### 4.8.18 Lubricación de husillos.

La lubricación de los husillos girando a altas velocidades debe considerarse cuidadosamente en cantidad y calidad. El volumen, distribución y frecuencia de la aplicación del lubricante (aceite o grasa) debe seleccionarse correctamente y ser controlado. A altas velocidades el lubricante distribuido sobre la superficie del eje del husillo puede ser expulsado por las fuerzas centrifugas. Es preciso controlar este fenómeno durante el primer arranque, a altas velocidades y posiblemente adaptar la frecuencia de re lubricación a la cantidad del lubricante, o seleccionar un lubricante con distinta viscosidad. El control de la temperatura constante que adquiere la tuerca permite optimizar la frecuencia de lubricación o la cantidad de aceite.

#### 4.8.19 Eficiencia y reversibilidad.

La “eficiencia directa” se utiliza para definir el par de entrada que se precisa para transformar la rotación de un elemento en la traslación de otro. Por el contrario, la “eficiencia indirecta” se utiliza para definir la carga axial requerida para transformar la traslación de un elemento en la traslación de otro. También se utiliza para definir la torsión de frenado requerida para prevenir la rotación. Es mejor considerar que estos husillos son reversibles casi bajo cualquier circunstancia. Por lo tanto, es necesario diseñar un mecanismo de frenado si la reversibilidad debe evitarse (reductores o frenos).

#### 4.8.20 Juego axial y precarga.

Las tuercas precargas están sujetadas a una deformación elástica mucho menor que las tuercas sin precarga, por lo que deberían utilizarse cuando la precisión de posicionado bajo carga es importante. La precarga es aquella fuerza aplicada a un conjunto de dos medias tuercas bien para apretarlas entre sí o bien para separarlas con el fin de eliminar el juego o el aumento de la rigidez del montaje. La precarga se define como el coeficiente del par de precarga. El par depende del tipo de tuerca y del tipo de precarga (elástica o rígida)

#### 4.8.21 Diseño de los extremos de los ejes.

Generalmente, cuando los extremos del eje del husillo vienen especificados por el departamento de ingeniería del cliente, es su responsabilidad el revisar la dureza de dichos extremos. Sin embargo, los fabricantes ofrecen una variedad de mecanizados de los extremos estándar a escoger. Recomendamos su uso siempre que sea posible.

### **4.9 DISEÑO ASISTIDO POR COMPUTADOR**

Hoy en día los ordenadores nos ayudan en muchas facetas de nuestra vida cotidiana. El computador resulta imprescindible a la hora de diseñar los productos tecnológicos que luego serán fabricados. Gracias al ordenador podremos reducir costos y tiempo, realizar cambios en el diseño de forma fácil o elegir las combinaciones de colores que más nos gusten. En ingeniería también contamos con software de diseño que nos ayudan a plasmar ideas, comprobar las características específicas de un producto y lograr fabricar un producto directa o indirectamente desde un computador optimizando muchos factores que dan sentido a la evolución tecnológica, estas tecnologías se conocen como tecnologías CAD, CAM, CAE, CIM; esta tecnología denominada “fabricación integrada por ordenador” e incluso se habla de “gestión integrada por ordenador” como el último escalón de automatización hacia el que todas las empresas deben orientar sus esfuerzos.

#### 4.9.1 CAD.

Es un sistema que permite el diseño de objetos por un software especificado, presentando múltiples ventajas como la interactividad y facilidad de crear nuevos diseños, la posibilidad de simular el comportamiento del modelo antes de la construcción del prototipo, modificando si es necesario sus parámetros, la generación de planos con todo tipo de vistas, detalles y secciones, y contribuye en gran parte a su fabricación automática.

#### 4.9.2 CAM

Los datos creados por el CAD, se mandan a la máquina para realizar el trabajo, con una intervención mínima del operador. La manufactura asistida (CAM) comúnmente se refiere al uso de aplicaciones de software computacional de control numérico(CN) para crear instrucciones detalladas en código como lo es el código G, que conduce las máquinas herramientas para manufactura de partes controladas numéricamente por computador (CNC).

#### 4.9.3 CAE.

Se denomina así al conjunto de programas informáticos que analizan los diseños de ingeniería realizados del computador, para verificar sus características fisicoquímicas, propiedades y rentabilidad; su finalidad es optimizar el desarrollo, costos de fabricación y reducir al máximo las pruebas para la obtención del producto final, un ejemplo es el contorno y la medida de un soporte que estará expuestos a determinados esfuerzos logrando optimizar sus medidas material y aspecto.

#### 4.9.4 Inventor:

**Figura 4.** Logo de Autodesk inventor



Fuente: Tomado de: mastershacks, (Consultado: 10/11/2016)<sup>4</sup>

Se basa en técnicas de modelado paramétrico. Los usuarios comienzan diseñando piezas que se pueden combinar en ensamblajes. Corrigiendo piezas y ensamblajes pueden obtenerse diversas variantes. Como modelador paramétrico, no debe ser confundido con los programas tradicionales de CAD. Inventor se utiliza en diseño de ingeniería para producir y perfeccionar productos nuevos, mientras que en programas como AutoCAD se conducen solo las dimensiones. Un modelador paramétrico permite modelar la geometría, dimensión y material de manera que, si se alteran las dimensiones, la geometría actualiza automáticamente basándose en las nuevas dimensiones. Esto permite que el diseñador almacene sus conocimientos de cálculo dentro del modelo, a diferencia del modelado no paramétrico, que está más relacionado con un “tablero de bocetos digitales”. Inventor también tiene herramientas para la creación de piezas metálicas.

Los bloques de construcción cruciales de Inventor son las piezas. Se crean definiendo las características, que a su vez se basan en bocetos (dibujos en 2D). Por ejemplo, para hacer un cubo simple, un usuario primero haría un boceto con forma de cuadrado y después utilizaría la herramienta extrusión para levantar el cuadrado y darle volumen, convirtiéndolo en el cubo. Si un usuario desea entonces agregar un eje que salga del cubo, podría agregar un boceto en la cara deseada, dibujar un círculo y después extruirlo para crear un eje. También pueden utilizarse los

---

<sup>4</sup> Tomado de: masterhacks, 2016

planos de trabajo para producir los bocetos que se pueden compensar de los planos útiles de la partición.

La ventaja de este diseño es que todos los bocetos y las características se pueden corregir más adelante, sin tener que hacer de nuevo la partición entera. Este sistema de modelado es mucho más intuitivo que en ambientes antiguos de modelado, en los que para cambiar dimensiones básicas era necesario generalmente suprimir el archivo entero y comenzar de cero.

Como parte final del proceso, las partes se conectan para hacer ensamblajes. Los ensamblajes pueden consistir en piezas u otros ensamblajes. Las piezas son ensambladas agregando restricciones entre las superficies, bordes, planos, puntos y ejes. Por ejemplo, si uno coloca un piñón sobre un eje, una restricción insertada podría agregarse al eje y el piñón haciendo que el centro del eje sea el centro del piñón. La distancia entre la superficie del piñón y del extremo del eje se puede también especificar con la restricción insertada. Otras restricciones

Incluyen Coincidencia, Nivelación, inserción (insertar), Angulo (ángulo), tangente (tangente), transicional, movimiento, sistema de coordenadas de usuario.

Este método de modelado permite la creación de ensamblajes muy grandes y complejos, especialmente porque los sistemas de piezas pueden ser puestos juntos antes de que se ensamblen en el ensamblaje principal; algunos proyectos pueden tener muchos sub-ensamblajes parciales.

Inventor utiliza formatos específicos de archivo para las piezas (.IPT), ensamblajes (.IAM), vista del dibujo (.IDW y .DWG) y presentaciones (IPN), pero el formato del archivo de AutoCAD .DWG puede ser importado/exportado como boceto.

#### **4.10 PARAMETROS DE MECANIZADO**

Fórmulas para mecanizado en torno:

Velocidad de corte  $V_c \frac{m}{min}$

$$V_c = \frac{D_m \times \pi \times n}{1000}$$

Velocidad del husillo  $n$  (rpm)

$$n = \frac{V_c \times 1000}{\pi \times D_m}$$

Velocidad de arranque de metal  $Q \frac{cm^3}{min}$

$$Q = V_c \times A_p \times F_n$$

Potencia neta  $P_c$  (kW)

$$P_c = \frac{V_c \times A_p \times F_n \times K_c}{60 \times 10^3}$$

Tiempo de mecanizado  $T_c$  (min)

$$T_c = \frac{l_m}{F_n \times n}$$

**Tabla 1.** Denominaciones de mecanizado.

<b>Símbolo</b>	<b>Denominación/definición</b>	<b>Unidad</b>
$D_m$	Diámetro mecanizado	mm (pulg.)
$f_n$	Avance por revolución	mm/r (pulg./r)
$a_p$	Profundidad de corte	mm (pulg.)
$n$	Velocidad del husillo	rpm
$P_c$	Potencia neta	kW (HP)
$Q$	Velocidad de arranque de metal	cm <sup>3</sup> /min (pulg. <sup>3</sup> /min)
$h_m$	Grosor medio de la viruta	mm (pulg.)
$h_{ex}$	Grosor máximo de la viruta	mm (pulg.)
$T_c$	Tiempo de empañe	min
$l_m$	Longitud mecanizada	mm (pulg.)
$k_c$	Fuerza de corte específica	N/mm <sup>2</sup> (N/pulg. <sup>2</sup> )
KAPR	Ángulo de posición	grados
PSIR	Ángulo de inclinación	grados

Fuente: Tomado de: Sandvik Coromant. Torneado general, (Consultado: 15/11/2016)<sup>5</sup>

Tomado de:

<http://www3.gobiernodecanarias.org/medusa/ecoblog/ralvgon/files/2013/05/Caracter%C3%ADsticas-Arduino.pdf>.

## 4.11 CONTROL DE ELEMENTOS ELECTROMECHANICOS

### 4.11.1 Arduino uno

Arduino/Genuino Uno es una placa de microcontrolador basada en el ATmega328P (hoja de datos). Tiene 14 pines de entrada/salidas digitales (de los cuales 6 pueden utilizarse como salidas PWM), 6 entradas analógicas, un cristal de cuarzo de 16 MHz, conexión USB, un conector de alimentación, un encabezado ICSP y un botón de reset. Todo lo necesario para apoyar el microcontrolador; contiene simplemente conéctelo a un ordenador con un cable USB o energía con un adaptador AC-DC o batería para empezar, Puede jugar con su UNO sin preocupando demasiado por hacer algo mal, lo peor del caso escenario puede cambiar el chip por unos pocos dólares y empezar de nuevo." Uno" significa uno en italiano y fue elegido para marcar el lanzamiento de Software (IDE) 1.0 de Arduino.

La Junta Directiva de la Uno y la versión 1.0 del Software de Arduino (IDE) eran las versiones de referencia de Arduino, evolucionado ahora a las versiones más recientes. La Junta de Uno es el primero de una serie de placas Arduino USB y el modelo de referencia para la plataforma Arduino.

**Figura 5.** Placa Arduino uno



Fuente: propia

#### 4.11.2 Driver L298d

Este módulo es el complemento ideal para proyectos de robótica y Router CNC. Permite controlar hasta 2 motores de corriente continua o un motor paso a paso bipolar. También permite controlar un motor paso a paso unipolar configurado como bipolar de forma muy sencilla y eficaz.

El módulo permite controlar el sentido de giro y velocidad mediante señales TTL que se pueden obtener se tarjetas de desarrollo Arduino.

### CARACTERÍSTICAS

- Voltaje de alimentación, mínimo de 5 V. Posee dos entradas, una de 5V para controlar la parte lógica y otra para alimentar las salidas al motor, que pueden ser de 5V o más.
- La tarjeta tiene la opción de habilitar un regulador LM7805 integrado en ella para alimentar la parte lógica con lo que se puede alimentar la tarjeta con 12V, por ejemplo.
- Corriente máxima 2 Amperios.
- Posee 6 entradas de control (ver tabla de control)
- Admite entradas de señal PWM para el control de velocidad.
- Dimensiones: 43mm x 23,9mm x 43mm.
- Salidas: para 2 motores de DC o para un motor bipolar paso a paso.

**Figura 6.** Driver L298D



Fuente: propia

### 4.11.3 Motor pasó a paso

Motor de pasos NEMA 17 es el más popular en familia motor de paso a paso Este motor bipolar realiza un movimiento de 1.8 por paso ( $200 \frac{\text{Pasos}}{\text{Revolución}}$ ), cada fase del motor consume 1.5A, ejerciendo un torque de eje de 450mN-m. Se puede utilizar para CNC, impresoras 3D y aplicación en general como robótica y control.

**Tabla 2** Características del motor pasó a paso

CARACTERISTICAS	
MODEL: 42SHD0217-24B	CURRENT: 1.5A
BRAND NAME: CAUSN	DRIVE METHOD:2-2 PHASE
HOLDING TORQUE: 450mN.M	MOTOR LENGTH:40 MM
STEP. ANGLE: 1.8 DEGREE	CERTIFICACIÓN: CE / ROHS
PHASE: 2 PHASE	RESISTENCE: 5.0 OHM
VOLTAGE: 3.75V	CHARACTERISTICS: SMALL VOLUMEN, HIGH FREQUENCY AND SMOOTH RUNNING

**Figura 7.** Motor pasó a paso



Fuente: propia.

Se ha escogido este motor ya que los carros del torno (longitudinal y transversal), sin los mecanismos para el roscado de piezas pesa alrededor de 4kg, y este motor tiene un par torsor de  $4.5 \text{ kg} \cdot \text{cm}$  o  $0.45 \text{ Nm}$ .

## **5 METODOLOGÍA**

### **5.1 TIPO DE INVESTIGACIÓN**

El método es inductivo porque se obtiene datos e información de la situación actual de la máquina, se diseñan las partes y se arma un conjunto diferente a partir de los análisis. Mediante este método se obtuvo la información, se analizó la viabilidad, se estudió la reconversión y se aplicó en la máquina.

### **5.2 FUENTES DE INFORMACIÓN**

Esta idea de proyecto fue dada por el profesor Raúl Bedoya Castrillón nuestro guía y asesor con respecto a cálculos y métodos de fabricación, en segundo lugar, nos basamos en el proyecto de grado de Héctor Alfonso Agreda “rediseño y montaje de carros principales de un torno para el laboratorio de máquinas de la Institución Universitaria Pascual Bravo” quien realizó los cálculos pertinentes para diseñar las partes necesarias para que este torno convencional fuera convertido a CNC y cuarto el internet del cual extrajimos toda la información teórica y por último los proveedores quienes nos suministran todos los datos técnicos de las partes necesarias.

### **5.3 ACTIVIDADES REALIZADAS PARA EL DESARROLLO DE LA INVESTIGACIÓN**

Tenemos la recopilación física de la información para luego efectuar el diseño, Partimos con las medidas de cada uno de los componentes asociados a la máquina, de las partes y de la lista de materiales que en este momento están provistos en el laboratorio; se miden y se analizan

cada parte, cada situación mecánica, Como son datos técnicos y aplicativos, plasmaremos imágenes explicativas a lo largo del proceso.

## 6 ANALISIS Y RESULTADOS DE LA INVESTIGACIÓN

Utilizando autodesk inventor se ha elaborado los diseños de todos los elementos mecánicos necesarios, se explicarán las técnicas de montaje y diseño y se anexa planos de detalle para un posterior ensamblaje de los mecanismos de este torno south bend CNC.

### 6.1 FICHA TÉCNICA DEL TORNO

**Figura 8.** Actual torno South Bend para la reconversión.



Fuente: Propia, Bloque 5. Laboratorio de Mecánica 5 - 102. Institución Universitaria Pascual Bravo. 2016

### 6.2 POTENCIA Y FUERZAS PRINCIPALES DEL TORNO

#### DIMENSIONES DEL TORNO:

Distancia entre copa y punto	: 830mm
Ancho de bancada	: 152.3mm
Longitud total de la bancada	: 1150mm
Área aproximada en metros cuadrados	: 1,50m <sup>2</sup>

Diámetro de la copa : 180mm

Diámetro máximo de trabajo : 80mm

La caja de tres velocidades permite trabajar el torno a:

0,25 hp a 805 rpm

0,25 hp a 150 rpm

0,25 hp a 260 rpm

### **CARACTERÍSTICAS PRINCIPALES MOTOR GENERAL ELECTRIC:**

Potencia : 0,25hp O 0.187 KW

Revoluciones : 1725 rpm

Voltaje : 110v

Amperaje : 4, 8 A

Temperatura : 40°C.

### **CALCULOS DE ESFUERZOS PRINCIPALES**

Para tener una aproximación real a la potencia que consume nuestra máquina y a las fuerzas que actúan en los carros longitudinal y transversal se ha planteado trabajar con una probeta de 50mm de Diámetro; de acero estirado en frío calidad AISI 1020, con una resistencia a la Tensión de 470 Mpa.

- Primero calculemos la velocidad de corte en:  $\frac{m}{min}$

$$V_c = \pi \times d \times n$$
$$V_c = \frac{3,1426 \times 50 \times 805}{1000} = 126,5 \frac{m}{min}$$

- Segundo calculemos la fuerza de corte en: newton

$$F_c = P_c \times A \times F_e$$

Profundidad de Corte teórica: de 1 mm

El avance es de:  $0,24 \frac{mm}{revolución}$ .

La fuerza específica de corte la tomamos 5 veces la resistencia del acero a la tracción equivalente  
a:  $5 \times 470 \text{Mpa} = 2350 \text{Mpa}$

$F_c = 1 \text{mm} \times 0,24 \text{mm} \times 2350 \text{Mpa} = 564 \text{Newton}$ .

$$F_a = \frac{F_c}{5} \Rightarrow \frac{564 \text{N}}{5} = 112 \text{Newton}$$

$$F_p = \frac{F_c}{3} \Rightarrow \frac{564 \text{N}}{3} = 188 \text{Newton}$$

Calcularemos la potencia de corte para estas condiciones:

$$P_c = \frac{Pro \times F \times V_c \times K_c}{60 \times 10^3 \times n}$$

Los datos son:

Profundidad de corte = 3mm

Avance:  $F = 0,24 \frac{mm}{rev}$

Velocidad de corte:  $V_c = 126,5 \frac{m}{min}$

Fuerza de corte específica:  $K_c = 3100 \text{Mpa}$

Porcentaje de rendimiento de la máquina:  $N = 0,8$

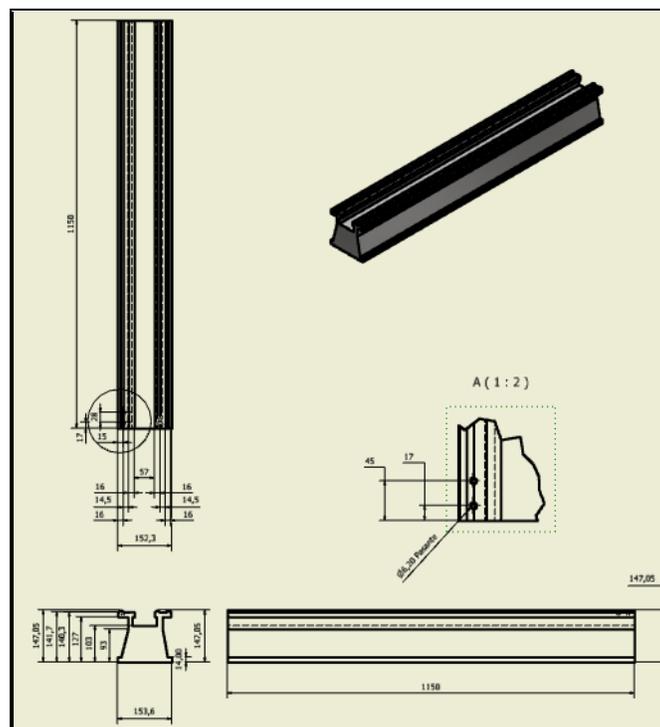
$$P_c = \frac{3 \times 0,24 \times 126,5 \times 3100 \text{Mpa}}{60 \times 10^3 \times 0,8} = 5,82 \text{kwatts}$$

Las fuerzas aproximadas de corte en sentido x & y de este torno se calcularon con las formulas y teoría de potencia de corte en el torneado. Estos resultados de las fuerzas necesarias para el corte y la potencia para el corte del torno nos dan una pauta importante para el análisis de diseño, la selección de los motores, y el estado general de la potencia de la máquina; se espera que mecanice el acero, y sea funcional en operaciones de torneado.

### 6.3 MEDIDAS DE LAS PARTES DEL TORNO

Se tomaron las medidas de los elementos actuales. Una parte fundamental es la bancada del torno ya que, en esta, irán ensamblados los componentes para su rediseño; también es importante tomar los datos de la distancia entre centros de agujeros y todas aquellas medidas que se pueda cuantificar y tomar como base en el diseño de los componentes adicionales.

**Figura 9.** Planos realizados de la bancada



Fuente: propia.

## **6.4 MATERIALES ACTUALES DEL LABORATORIO SE MAQUINAS**

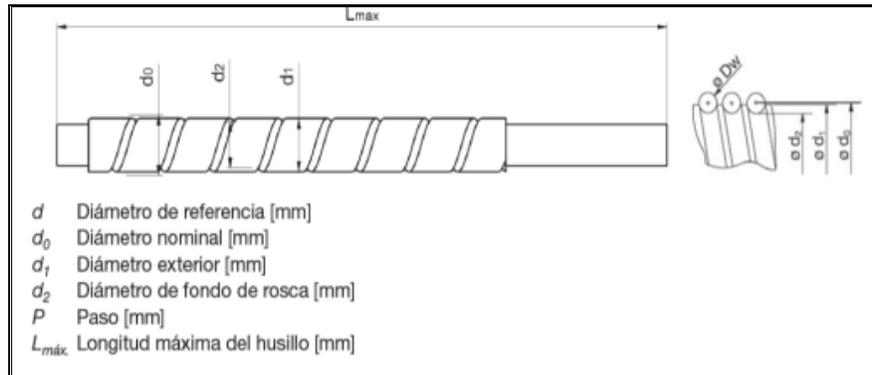
La Institución Universitaria Pascual Bravo cuenta con un material muy importante para esta transformación, son los husillos de bolas provistos por una marca internacional como es THK, estos están estandarizados según la norma DIN.

- Husillo principal de 16 mm de diámetro y una longitud de 910mm.
- Husillo miniatura con un diámetro de 12 mm y una longitud de 310mm.
- Tuerca miniatura diámetro de 12 mm y brida de 24mm.
- Faltantes para en ensamble final: la tuerca del husillo longitudinal y los materiales adjuntos como tornillería, y bridas que se definen en los planos y en la lista de materiales.

## **6.5 DESIGNACION DE HUSULLOS**

Para la designación de husillos seleccionamos de los catálogos de los fabricantes, que tipo de husillo se acomodan a nuestras condiciones; también analizamos y comparamos las características físicas y mecánicas de la variedad de opciones, todas estas condiciones responden a investigación de estas empresas y referencia de las normas internacionales como la norma DIN.

**Figura 10.** Esquema de medidas de un husillo de bolas.



Fuente: SNR LINEAR MOTION. Husillos de Bolas. Husillo de Bolas SNR presentación General de la Gama, (Consultado: 15/11/2016).

**Tabla 3.** Características de los husillos seleccionados

Referencias	Dimensiones [mm]						Momento de inercia kg • m <sup>2</sup> /m	Masa kg/m
	$d$	$d_0$	$P$	$d_1$	$d_2$	$L_{max}$		
BSH01202	12	12,41	2	12	11,21	1200	$1,07 \times 10^{-5}$	0,62
BSH01604	16	16,82	4	16	14,40	3000	$4,35 \times 10^{-5}$	1,46

Fuente: SNR LINEAR MOTION. Husillos de Bolas. Husillo de Bolas SNR presentación General de la Gama, (Consultado: 15/11/2016).

## 6.6 TUERCA PARA HUSILLOS DE BOLAS DE 12MM

Las especificaciones técnicas de las tuercas para los husillos de bolas vienen dadas también por la norma DIN 6005118, encontramos en la tabla 3 las especificaciones para tuercas miniatura, o sea de diámetros de husillos de 6 mm a 14 mm, encontramos las medidas estándar y las capacidades de carga, el paso, el diámetro de la rodadura.

**Tabla 4.** Dimensiones en milímetros de tuerca pequeña para husillos de bolas.

Tipo	Rosca	Dimensiones [mm]													Número*	Capacidades carga [kN]		Rigidez K, [N/μm]
		d	p	ø bola	D g6	A	B	L	W	H ±0,10	X	Y	Z	Q		din. C <sub>a</sub>	estát. C <sub>a0</sub>	
00601	R	6	1	0,80	12	24	3,5	15	18	16	3,4	-	-	-	3	1,09	2,19	88

Fuente: SNR LINEAR MOTION. Husillos de Bolas. Husillo de Bolas SNR presentación General de la Gama, (Consultado: 15/11/2016).

## 6.7 TUERCA PARA HUSILLO DE BOLAS DE 16MM

Para el husillo de diámetro 16mm, se selecciona de la tabla 3 la tuerca correspondiente a esta medida, con un paso de 4mm, se obtiene también los datos de las cargas estáticas y dinámicas correspondientes a esta selección.

**Tabla 5.** Dimensiones en milímetros de tuerca 16mm a 80 mm de diámetro.

Tipo	Rosca	Dimensiones [mm]													Número*	Capacidades carga [kN]		Rigidez K [N/μm]
		d	p	ø bola	D g6	A	B	L	W	H	X	Q	din. C <sub>a</sub>	estát. C <sub>a0</sub>				
01604-4	R	16	4	2,381	28	48	10	40	38	40	±0,15	5,5	M6	4	9,54	23,59	314	

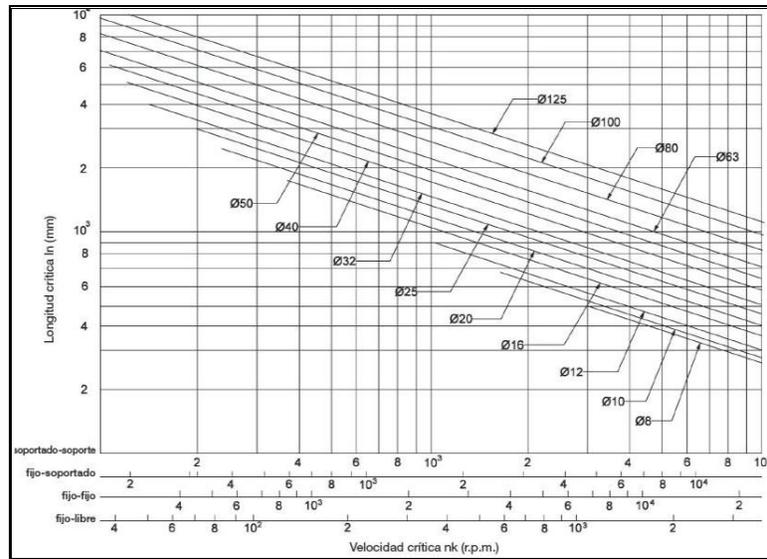
Fuente: SNR LINEAR MOTION. Husillos de Bolas. Husillo de Bolas SNR presentación General de la Gama, (Consultado: 15/11/2016).

## 6.8 VELOCIDAD CRÍTICA DE LOS HUSILLOS DE BOLAS

Los husillos de bolas deben girar por debajo de la velocidad crítica, esta velocidad depende del diámetro del husillo, de la configuración del montaje, y de su longitud, se recomienda que la velocidad real no supere el 80% de la velocidad crítica de tablas. Para este

caso los soportes son tipo fijo – fijo con diámetro nominal de 16mm y de 12mm, y longitud de 1000mm y 300mm respectivamente tenemos una vellosidad critica aproximada de 3000rpm para el husillo de 16 mm y 8000rpm para el husillo de 12mm.

**Figura 11.** Velocidad crítica de los husillos de bolas en rpm.

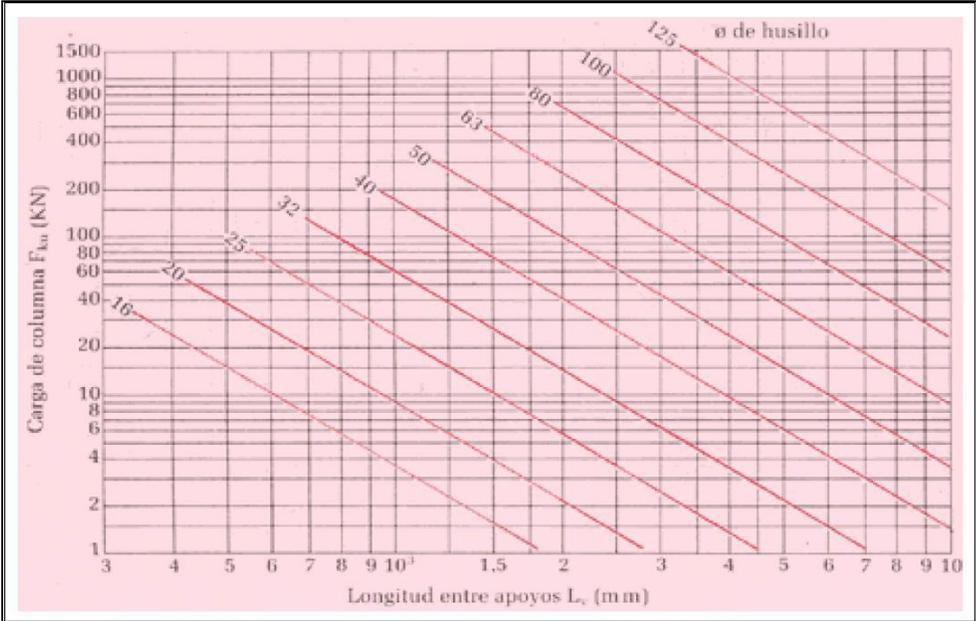


Fuente KORTA GROUP. Catalogo Dimensional Husillos de Bolas, (Consultado: 15/11/2016).

## 6.9 ESFUERZO DE PANDEO DE HUSILLOS DE BOLAS

Los husillos de bolas pueden soportar un esfuerzo de pandeo limitado, cualquier solicitud superior a los valores máximos definidos pueden llevar a la ruptura del husillo, la compresión axial admisible depende de la longitud, el diámetro y del tipo de montaje del husillo la compresión axial máxima deberá ser del 50% del límite teórico admisible. Ubicamos los dos casos de los husillos; el husillo de 16 mm de diámetro, 1000mm de longitud y de extremos fijos corresponde una carga de 4000 newton aproximada y el husillo de 300mm de longitud, 12 de diámetro y de apoyo fijo da un valor aproximado de carga también a 4000 newton.

**Figura 12** Grafica de esfuerzo de pandeo de usillos de bolas

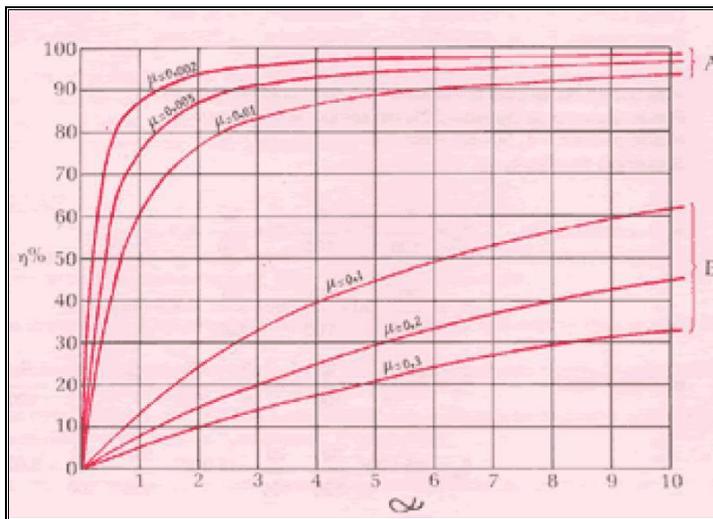


Fuente NIASA. Husillos a Bolas, (Consultado: 15/11/2016).

## 6.10 EFICIENCIA DE LOS HUSILLOS DE BOLAS

En los husillos a bolas el coeficiente de rozamiento es muy bajo debido a la rodadura existente entre los elementos. Por este motivo se obtiene un rendimiento mecánico muy alto, bastante cercano al 100%. Las fuerzas transmitidas se distribuyen entre un gran número de rodamientos de bolas, lo cual, comparativamente, produce una carga relativa baja por bola. En la figura, se indica la diferencia de rendimiento entre el husillo a bolas y el convencional trapecial.

**Figura 13.** Comparación de la eficiencia de husillos de bolas y rosca Acme.



Fuente: NIASA. Husillos a Bolas, (Consultado: 15/11/2016).

A = Husillo a bolas.

B = Rosca trapecial.

$\eta$  = Rendimiento.

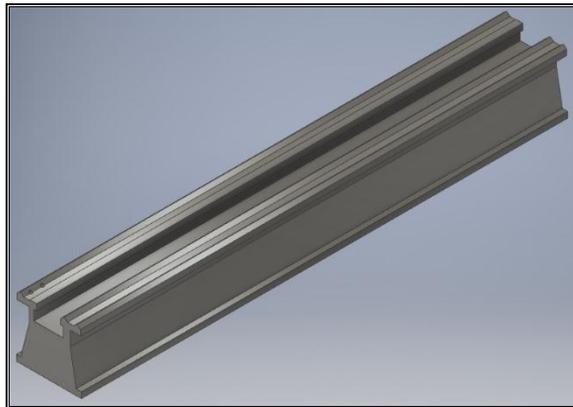
$2\alpha$  = Angulo de hélice.

$\mu$  = Coeficiente de fricción.

## 6.11 PROCESO DE DISEÑO

Para el proceso de diseño se utilizó el software autodesk inventor 2016, se toman los datos de las medidas, se diseña cada pieza y posteriormente se sacan planos y se procede a la fabricación en los talleres de la Institución Universitaria Pascual Bravo, este proceso se explicara de manera gráfica, partiremos de la bancada eje fundamental de funcionamiento de un torno y luego ensamblaremos todas las partes correspondientes al rediseño de los carros longitudinal y transversal del torno South Bend.

**Figura 14.** Esquema inicial de la estructura del torno South Bend.



Fuente: Propia

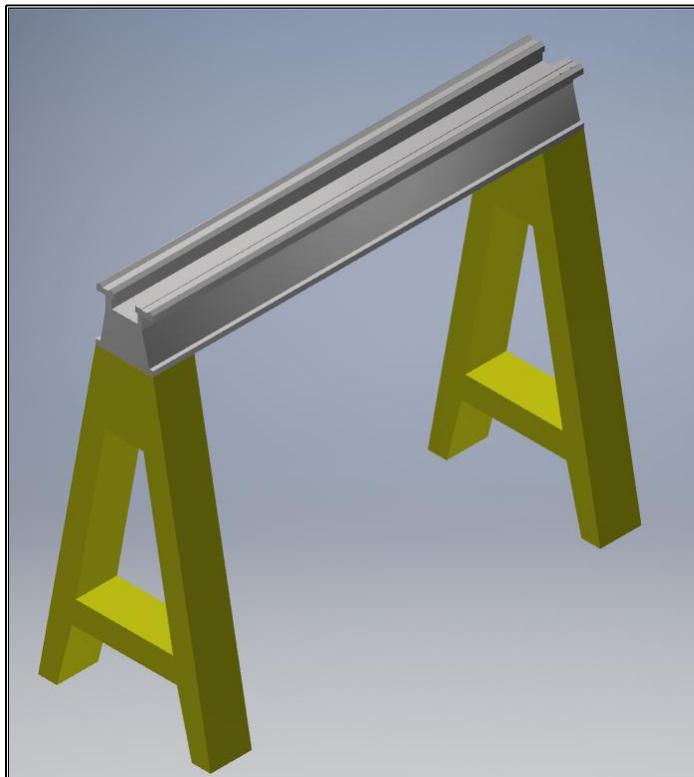
## 6.12 CONFIGURACION DE LA ESTRUCTURA DEL TORNO SOUTH BEND

Las primeras partes que se coquizó en el software es la estructura de la máquina se hace referencia r a las piernas del torno y a la bancada, son las partes más sobresalientes y es el sistema donde todo va ensamblado; elaborada de fundición gris la bancada y las piernas del torno son una parte fundamental en los tornos es la estructura rígida que soporta todas las piezas como los motores y los cabezales, empezamos diseñando y copiando en el sistema las geometrías respectivas con las medidas reales

para que podamos pensar como instalar los husillos y los soportes, en la Figura 15 se observa las dos partes ensambladas y en la posición inicial.

Teniendo en cuenta la teoría de los sistemas lineales y los husillos de bolas antifricción analizamos las posibilidades de instalar el torno South Bend el sistema de husillos de bolas que muevan el carro longitudinal y trasversal estos sistemas estarán acoplados a motores electrónicos de precisión como los son los motores paso a paso. La bancada ya tiene lo agujeros marcados donde se ubicarán los nuevos soportes.

**Figura 15.** Diseño y ensamble de la estructura del torno South Bend.

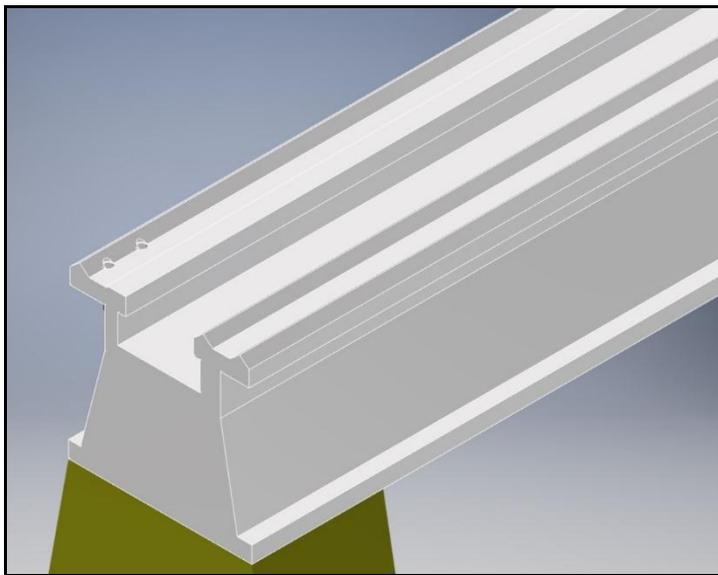


Fuente: Propia

### 6.13 AGUJEROS EN BANCADA DE TORNO SOUTH BEND

En la bancada encontramos los agujeros que ensamblan con los soportes del husillo longitudinal en el diseño los marcamos y utilizamos la herramienta taladro para alistarlos en su función.

**Figura 16.** Agujeros principales para los soportes de husillo longitudinal.

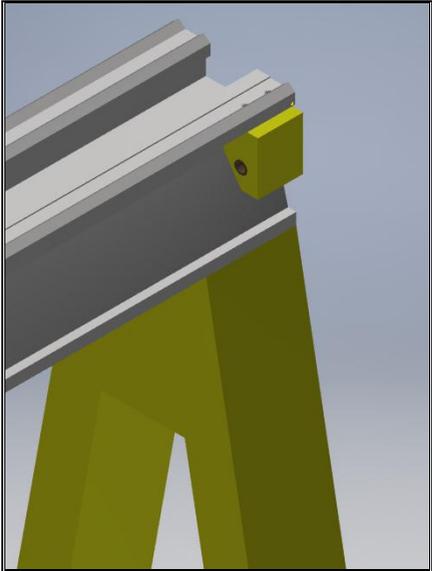


Fuente: Propia

### 6.14 DISEÑO DE SOPORTE

Se observa en la Figura.17 el soporte creado para el eje longitudinal del torno

**Figura 17.** Soporte eje longitudinal

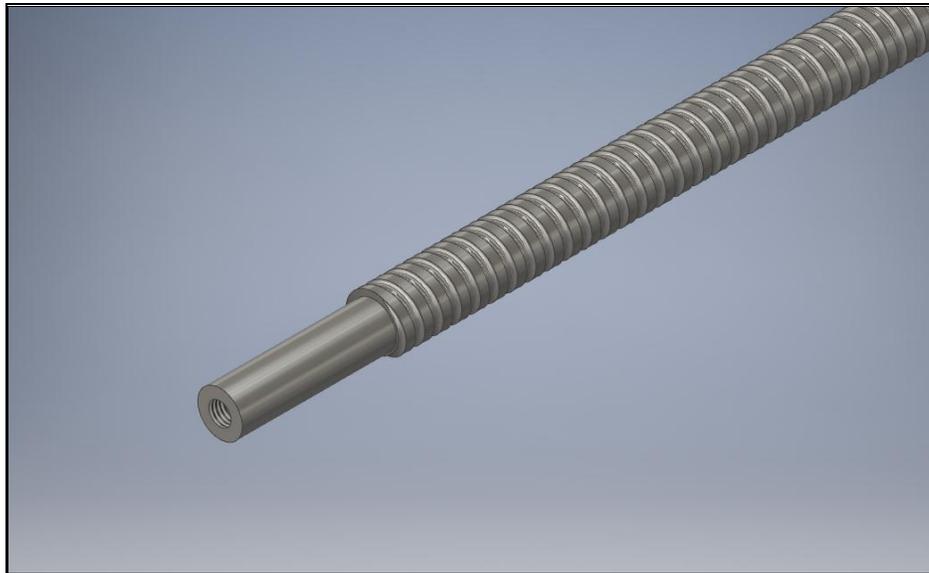


Fuente: Propia

## 6.15 DISEÑO DE SOPORTE

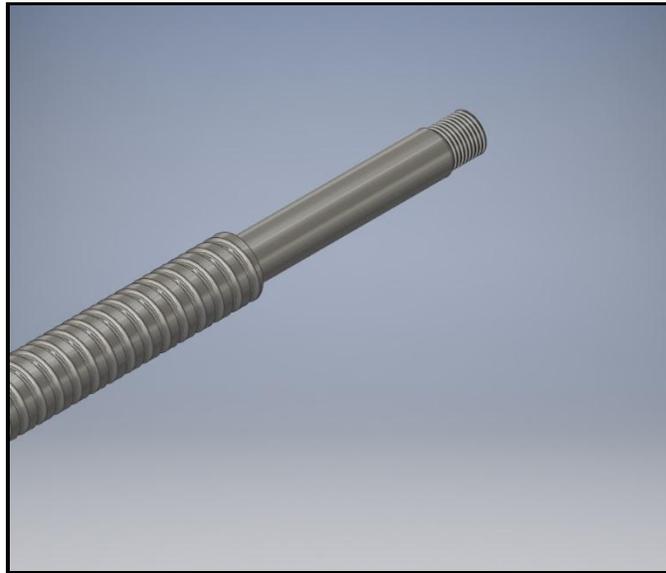
Forma geométrica del husillo de bolas. En la Figura 18 se observa los husillos de bolas, se han diseñados el husillo la forma geométrica normalizada. El detalle de los extremos se puede observar que después de la rosca redonda hay escalonamiento, este es para ubicar los rodamientos, seguido de estos esta la rosca que es la que permite alineación segura entre los extremos y por ultimo está el espacio para el acople para el motor, puede ser por cuña o puede ser un acople de araña; podemos conectar directamente el motor paso a paso o podemos transmitirle el movimiento por elementos de transmisión sea piñonearía, por cadena o por correas de precisión .El extremo sencillo puede ser de simple apoyo o también roscado para asegurarlo con una tuerca de seguridad.

**Figura 18.** Husillo de bolas para torno South Bend (extremo 1)



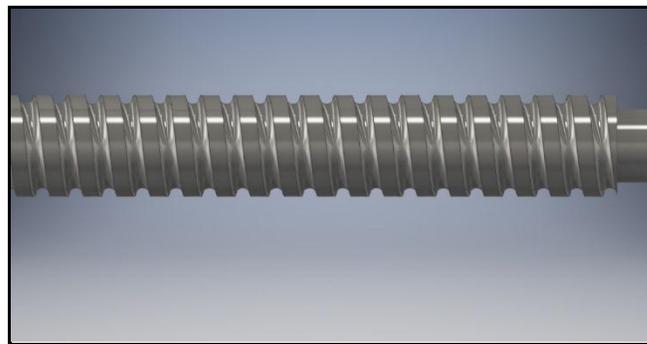
Fuente: Propia

**Figura 19.** Husillo de bolas para torno South Bend (extremo 2)



Fuente: Propia

**Figura 20.** Husillo de bolas para torno South Bend, (rosca)



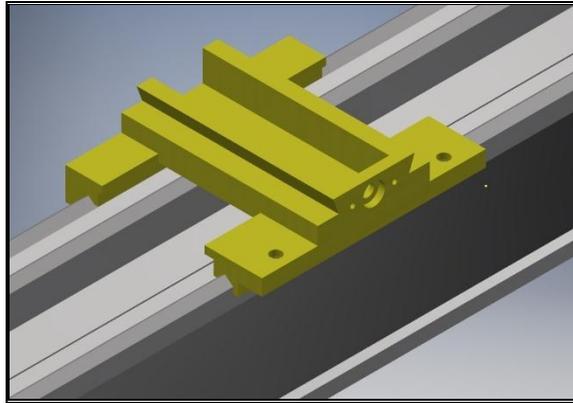
Fuente: Propia

## 6.16 CARRO DEL TORNO

El carro del torno es una pieza vaciada de fundición gris que permite el desplazamiento a lo largo de la bancada, en esta pieza se ubica el carro transversal del

torno. Se utiliza un sistema de desplazamiento de cola de milano, este sistema permite un desplazamiento libre y la clave de este sistema es la geometría y el acabado superficial de las partes en contacto.

**Figura 21.** Montaje de carro principal para el torno South Bend.

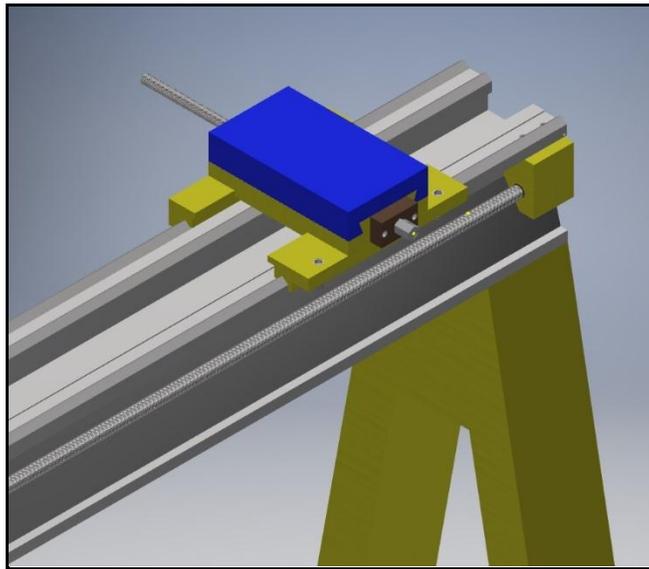


Fuente: Propia

## 6.17 ENSAMBLAJE DEL CARRO DEL TORNO

En el carro longitudinal del torno se ensambla el carro transversal con el husillo, también se utilizarán tuercas de ajuste para los extremos de los husillos

**Figura 22.** Ensamble del husillo transversal para el torno South Bend.

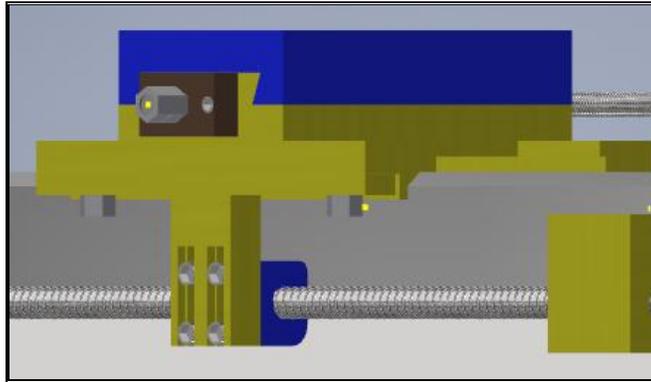


Fuente: Propia

## 6.18 SISTEMA DE BRIDA CARRO LONGITUDINAL DEL TORNO SOUTH BEND

Para la conexión entre el husillo longitudinal y el carro del torno utilizamos una extensión de brida que permite la transmisibilidad del movimiento y la fuerza, la idea es minimizar fuerzas residuales en esta transmisión y concentrar la carga axialmente en el husillo. Esta extensión será diseñada a la medida con un sistema auto alineante de pernos permitiendo la ubicación exacta.

**Figura 23.** Extensión de brida para el carro longitudinal del torno South Bend.

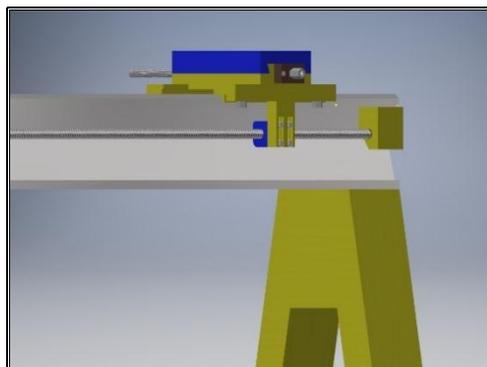


Fuente: Propia

#### **6.19 ENSAMBLAJE COMPLETO DE LOS CARROS REDISEÑADOS: TRANSVERSAL Y LONGITUDINAL**

Este es el ensamblaje completo de los carros principales del torno South Bend se han montado carro transversal, carro longitudinal, brida, husillo longitudinal con su respectiva tuerca, husillo transversal con su respectiva tuerca, soportes y los pernos de sujeción necesarios. Todo esto será fabricado con los estándares de dibujo y los ajustes respectivos para cada caso.

**Figura 24.** Montaje de sistemas longitudinal y transversal con husillos de bolas para torno south bend mecánico convertido a CNC.



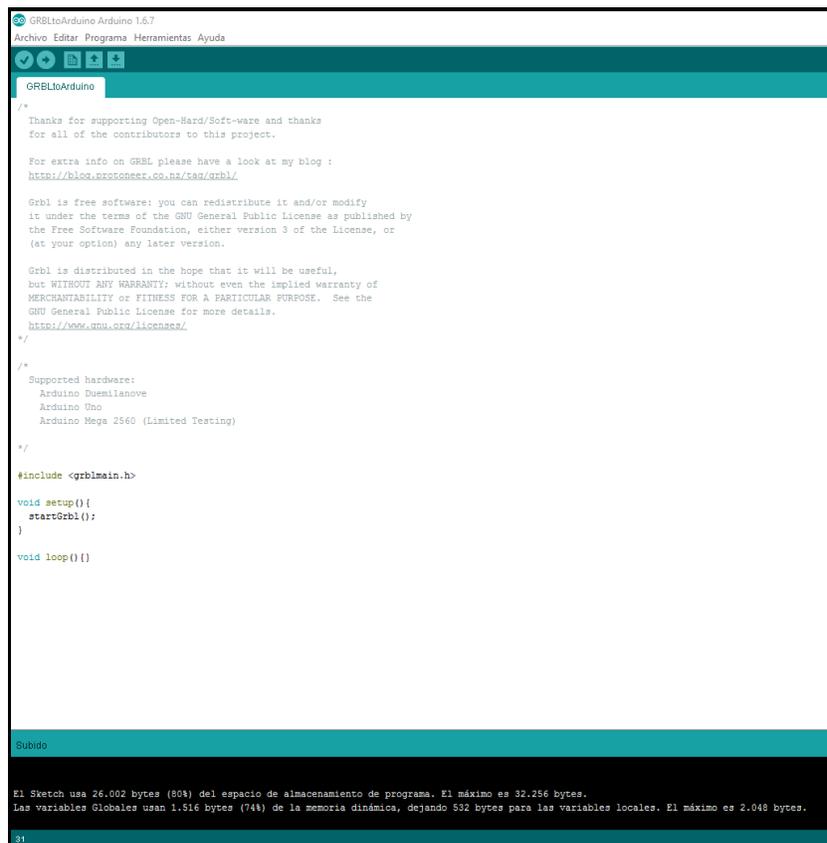
Fuente: Propia

## 6.20 SOFTWARE DE CONTROL DEL CNC

### 6.20.1 Programación software de control del CNC en Arduino

Este es el código de control que se ha subido al Arduino, este controla los carros (transversal y longitudinal) del torno, el cual puede ser editado según las especificaciones del motor y las especificaciones de la maquina a convertir. Esto fue realizado mediante la plataforma de programación de Arduino.

**Figura 25.** Programa de control para CNC



```
GRBLtoArduino Arduino 1.6.7
Archivo Editar Programa Herramientas Ayuda

GRBLtoArduino
/*
 * Thanks for supporting Open-Hard/Soft-ware and thanks
 * for all of the contributors to this project.
 *
 * For extra info on GRBL please have a look at my blog :
 * http://blog.protonet.co.nz/tag/grbl/
 *
 * Grbl is free software: you can redistribute it and/or modify
 * it under the terms of the GNU General Public License as published by
 * the Free Software Foundation, either version 3 of the License, or
 * (at your option) any later version.
 *
 * Grbl is distributed in the hope that it will be useful,
 * but WITHOUT ANY WARRANTY; without even the implied warranty of
 * MERCHANTABILITY or FITNESS FOR A PARTICULAR PURPOSE. See the
 * GNU General Public License for more details.
 * http://www.gnu.org/licenses/
 */
/*
 * Supported hardware:
 *   Arduino Due/Zero
 *   Arduino Uno
 *   Arduino Mega 2560 (Limited Testing)
 */
#include <grblmain.h>

void setup() {
  startGrbl();
}

void loop() {}

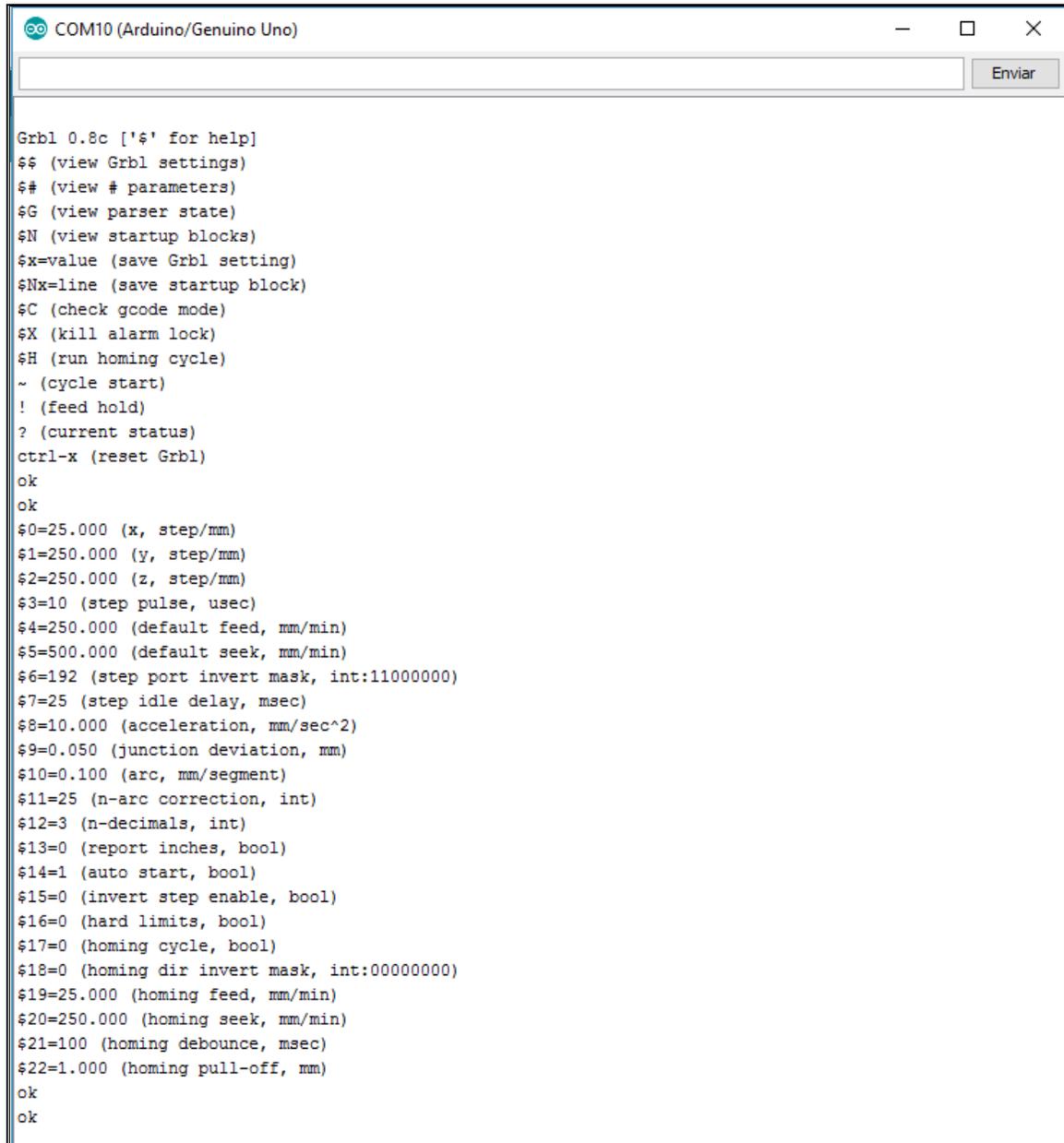
Subido

El Sketch usa 26.002 bytes (80%) del espacio de almacenamiento de programa. El máximo es 32.256 bytes.
Las variables Globales usan 1.516 bytes (74%) de la memoria dinámica, dejando 532 bytes para las variables locales. El máximo es 2.048 bytes.

31
```

Fuente: Propia

**Figura 26.** Panel de edición del programa



The image shows a screenshot of the Arduino IDE serial monitor window. The window title is "COM10 (Arduino/Genuino Uno)". The main area displays the output of the Grbl settings command. The output starts with "Grbl 0.8c ['\$' for help]" and lists various settings with their descriptions. The settings are: \$0=25.000 (x, step/mm), \$1=250.000 (y, step/mm), \$2=250.000 (z, step/mm), \$3=10 (step pulse, usec), \$4=250.000 (default feed, mm/min), \$5=500.000 (default seek, mm/min), \$6=192 (step port invert mask, int:110000000), \$7=25 (step idle delay, msec), \$8=10.000 (acceleration, mm/sec^2), \$9=0.050 (junction deviation, mm), \$10=0.100 (arc, mm/segment), \$11=25 (n-arc correction, int), \$12=3 (n-decimals, int), \$13=0 (report inches, bool), \$14=1 (auto start, bool), \$15=0 (invert step enable, bool), \$16=0 (hard limits, bool), \$17=0 (homing cycle, bool), \$18=0 (homing dir invert mask, int:000000000), \$19=25.000 (homing feed, mm/min), \$20=250.000 (homing seek, mm/min), \$21=100 (homing debounce, msec), and \$22=1.000 (homing pull-off, mm). The output ends with "ok" and "ok".

```
Grbl 0.8c ['$' for help]
$$ (view Grbl settings)
 $# (view # parameters)
 $G (view parser state)
 $N (view startup blocks)
 $x=value (save Grbl setting)
 $Nx=line (save startup block)
 $C (check gcode mode)
 $X (kill alarm lock)
 $H (run homing cycle)
 ~ (cycle start)
 ! (feed hold)
 ? (current status)
 ctrl-x (reset Grbl)
 ok
 ok
 $0=25.000 (x, step/mm)
 $1=250.000 (y, step/mm)
 $2=250.000 (z, step/mm)
 $3=10 (step pulse, usec)
 $4=250.000 (default feed, mm/min)
 $5=500.000 (default seek, mm/min)
 $6=192 (step port invert mask, int:110000000)
 $7=25 (step idle delay, msec)
 $8=10.000 (acceleration, mm/sec^2)
 $9=0.050 (junction deviation, mm)
 $10=0.100 (arc, mm/segment)
 $11=25 (n-arc correction, int)
 $12=3 (n-decimals, int)
 $13=0 (report inches, bool)
 $14=1 (auto start, bool)
 $15=0 (invert step enable, bool)
 $16=0 (hard limits, bool)
 $17=0 (homing cycle, bool)
 $18=0 (homing dir invert mask, int:000000000)
 $19=25.000 (homing feed, mm/min)
 $20=250.000 (homing seek, mm/min)
 $21=100 (homing debounce, msec)
 $22=1.000 (homing pull-off, mm)
 ok
 ok
```

Fuente: Propia

## 6.20.2 Universal g code sender

Esta es la interfaz que reconoce el programa del torno CNC, nos permite también ajustarlo a los parámetros del motor y la máquina, además se encarga de enviarle las ordenes a los drivers y posteriormente a los motores paso a paso, para que estos realicen la pieza a mecanizar.

**Figura 27.** Panel de control del universal g code sender



Fuente: Propia

## 7. CRONOGRAMA DE ACTIVIDADES

Se relacionan claramente las actividades que se realizaron para llevar a cabo la ejecución de la investigación, en función del tiempo (meses) planeado para la ejecución del proyecto.

**Tabla 6.** Cronograma de actividades

ITEM	ACTIVIDADES	MES											
		1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12
1	Búsqueda bibliográfica.	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X
2	Análisis de la propuesta		X	X									
3	Análisis de viabilidad.			X	X								
4	Realización de cálculos					X	X	X					
5	Realización de planos en autodesk inventor.						X	X					
6	Mecanizado de piezas								X	X			
7	Montaje del control del CNC.								X	X	X		
8	Montaje final.										X	X	
9	Conversión completa del mecánico a CNC.											X	X

## 8. RECOMENDACIONES

- Para la línea de tornos y componentes South Bend, se ha dispuesto en su página web toda la documentación de las máquinas que esta empresa ha fabricado durante toda la historia, estos datos sirven para automatizarlas trabajar con ellas.
- Es importante instalar un software de diseño de ingeniería, para instalación y mejor rendimiento instalar el programa con un hardware actualizado a la fecha y seguir los requerimientos que la empresa que desarrolla el software hace referencia.
- Se recomienda darle fuerza motriz con motores paso a paso, conectarlos al computador, y así también elementos receptores para lograr automatizar máquinas herramientas y sistemas lineales, sistemas de bodegas, y diseñar nuevas máquinas optando como desplazamientos sistemas antifricción.
- Los husillos de bolas generalmente se suministran lubricados y protegidos por una envoltura de papel o de plástico, por tratarse de productos de precisión deben ser manipulados con sumo cuidado y almacenarse en lugares secos y limpios; bien apoyados en varios puntos de su longitud con su empaque original hasta el momento de ser montados, los alojamientos para el montaje de las tuercas y extremos del husillo deben estar completamente limpios.
- Se recomienda utilizar para las bancadas de los tornos sistemas antifricción; también adquirir estos elementos para diseñar sistemas robóticos y sistemas coordinados asistidos por computador.

## 9. ESPECIFICACIONES TECNICAS DE EQUIPOS PRINCIPALES

### 9.1 Torno paralelo pinacho s90/200

**Tabla 7.** Fichas técnicas torno paralelo pinacho s90/200

CAPACIDAD
Altura de puntos: 200mm
Distancia entre puntos: 1.650mm
Diámetro admitido sobre bancada: 400mm
Diámetro admitido sobre escote: 600mm
Diámetro admitido sobre carro longitudinal: 370mm
Diámetro admitido sobre carro transversal: 210mm
Anchura de bancada: 300mm
Longitud de escote delante del plato liso: 160mm

CABEZAL
Agujero de husillo principal: 52mm
Nariz de husillo principal: DIN 6
Cono morse de husillo principal: 4
Gama velocidades husillo: 40 - 2.200
Número de velocidades: 12

AVANCES Y PASOS
Avances longitudinales: 0,05-0,75
Avances transversales: 0,025-0,375
Pasos métricos: 0,5 - 7,5
Pasos Whitworth: 60 - 4
Pasos modulares: 0,25 - 3,75
Pasos diametral Pitch: 120 - 8
Paso del husillo patrón: 6mm

<b>CARROS:</b> □
Recorrido del carro transversal: 300mm□
Recorrido del charriot: 130mm□
Dimensiones máximas de la herramienta: 25x25mm□

<b>CONTRAPUNTO:</b> □
Recorrido de la caña del contrapunto: 155mm□
Diámetro de la caña del contrapunto: 58mm□
Cono morse del contrapunto: CM4□

<b>Motores</b> □
<ul style="list-style-type: none"> <li>• → Potencia del motor principal: 4kw□</li> <li>• → Potencia de la motobomba: 0,06kw□</li> </ul>

<b>LUNETAS:</b> □
Capacidad luneta fija (máxima-mínima): 130-10mm□
Capacidad luneta móvil (máxima-mínima): 80-10mm□

## 9.2 Computador msi gp62 2qe leopard pro

**Tabla 8.** Fichas técnicas computador msi gp62 2qe leopard pro

<b>COMPUTADOR MSI GP62 2QE LEOPARD PRO</b>
Procesador Intel® Core i5-4210H (2.9 GHz, 3 MB)
Memoria RAM 8GB DDR3 SODIMM (1x8GB)

Disco duro 1TB (7200 rpm S-ATA)
Almacenamiento óptico Súper Multi Dual Layer (S-ATA)
Display 15.6" LED FullHD (1920x1080) 16:9 Anti-glare
Controlador gráfico Nvidia GeForce GTX950M 2GB GDDR3
Conectividad: <ul style="list-style-type: none"> <li>• LAN 10/100/1000 Killer</li> <li>• 802.11 ac a/b/g/n</li> <li>• Bluetooth V4.0 High Speed</li> </ul>
Cámara de portátil Sí
Micrófono Sí
Batería 6 celdas Ion de litio
Conexiones: <ul style="list-style-type: none"> <li>• 1 x Mini Display Port</li> <li>• 1 x HDMI</li> <li>• 1 x salida de auriculares</li> <li>• 1 x entrada de micrófono</li> <li>• 1 x USB 2.0</li> <li>• 3 x USB 3.0</li> <li>• 1 x RJ45</li> <li>• Lector de Tarjetas SD</li> </ul>
Sistema operativo: Windows 10 Enterprise
Dimensiones (Ancho x Profundidad x Altura) 388 x 260 x 29.5~30.6mm

## 10. CONCLUSIONES

- Teniendo en cuenta la metodología propuesta se ha rediseñado los sistemas de desplazamiento del torno South Bend ubicado en la Institución Universitaria Pascual Bravo con sistemas modernos de desplazamiento, partiendo de conceptos generales de máquinas herramientas y su manejo y se entregan estudios en cuanto a su fabricación y modernización.
- Para el desplazamiento de los carros del torno se diseñan sistemas lineales de acuerdo a la norma DIN 69051, seleccionando los husillos de desplazamiento y diseñando partes que arman el conjunto mecánico de los sistemas, tanto para el carro longitudinal como para el carro transversal del torno.
- Para tornos CNC se logra programar mediante la interfaz de Arduino y del universal g code sender, los carros (longitudinal y transversal)
- Se experimentó y probó el funcionamiento del torno en un programa de autómeta en el cual con conocimientos adquiridos en el área de PLC se pudo fundamentar en este proyecto concluyendo los objetivos del proyecto, mezclando control, simulación y programa para lograr el resultado obtenido.
- Teniendo en cuenta la metodología propuesta se ha rediseñado el sistema de desplazamiento de los carros longitudinal y transversal del torno en los cuales implementamos la parte autómeta en la cual está regida por el sistema arduino, esto nos ayudó a lograr la automatización del proceso.
- Durante la búsqueda profundizamos más en el ámbito del mecanizado y elaboración de piezas además adquirimos más conocimiento sobre este tipo de máquina-herramienta aprendiendo sobre su funcionamiento y reconversión de esta misma.

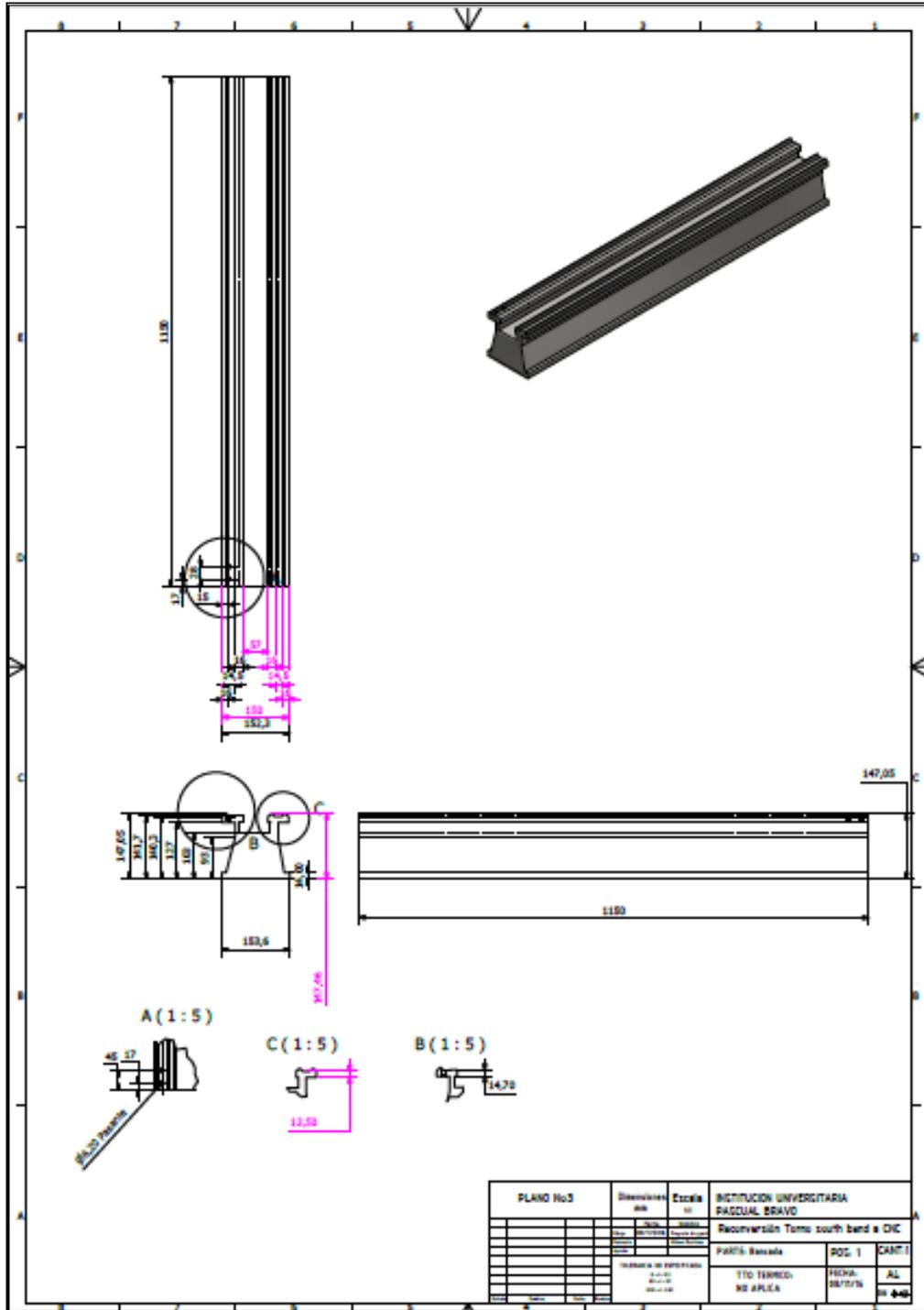
## 11. REFERENCIAS BIBLIOGRAFICAS

- [1] ANDONEGUI AGUIRREGOMEZCORTA, P. M. (2007). Patente n ES225427B2. España.
- [2] ECHEVERRI, J. S., LONDOÑO, D. A., & MEJIA, J. J, Rediseño de un Sistema de Transmisión del Torno South Bend. Institución Universitaria Pascual Bravo, Medellín, Antioquia, Colombia (1994).
- [3] GÓMEZ, E, El Proyecto de Diseño en Ingeniería. España (2001).
- [4] HORTA SANTOS, J, Técnicas de Automatización Industrial, Limusa S.A. (1982).
- [5] Fuente: Tomado de: <http://blogjuanctornos.blogspot.com.co/2011/06/partes-basicas-de-un-torno.html>. (Consultado: 10/06/2016).
- [6] KORTA GROUP, Catalogo Dimensional Husillos de Bolas. España. (2012).
- [7] KRAR, S. F, Tecnología de las Máquinas Herramientas. España (1981).
- [8] MOTT.L., R, Diseño de Elementos de Máquina. México (2006).
- [9] NIASA, Husillos a Bolas. Barcelona, España. (3 de 08 de 2013).
- [10] NSK, NSK Latina (03 de 02 de 2013). Tomado de: <http://www.nskamericas.com>. NTN-SNR, Husillos de Bolas. Japón. (2013).
- [11] PIEDRAHITA MORENO, R, Ingeniería de Automatización Industrial. España (2001).
- [12] ROSA SISTEMI, Precisión Ballscrew. Italia. (2012).

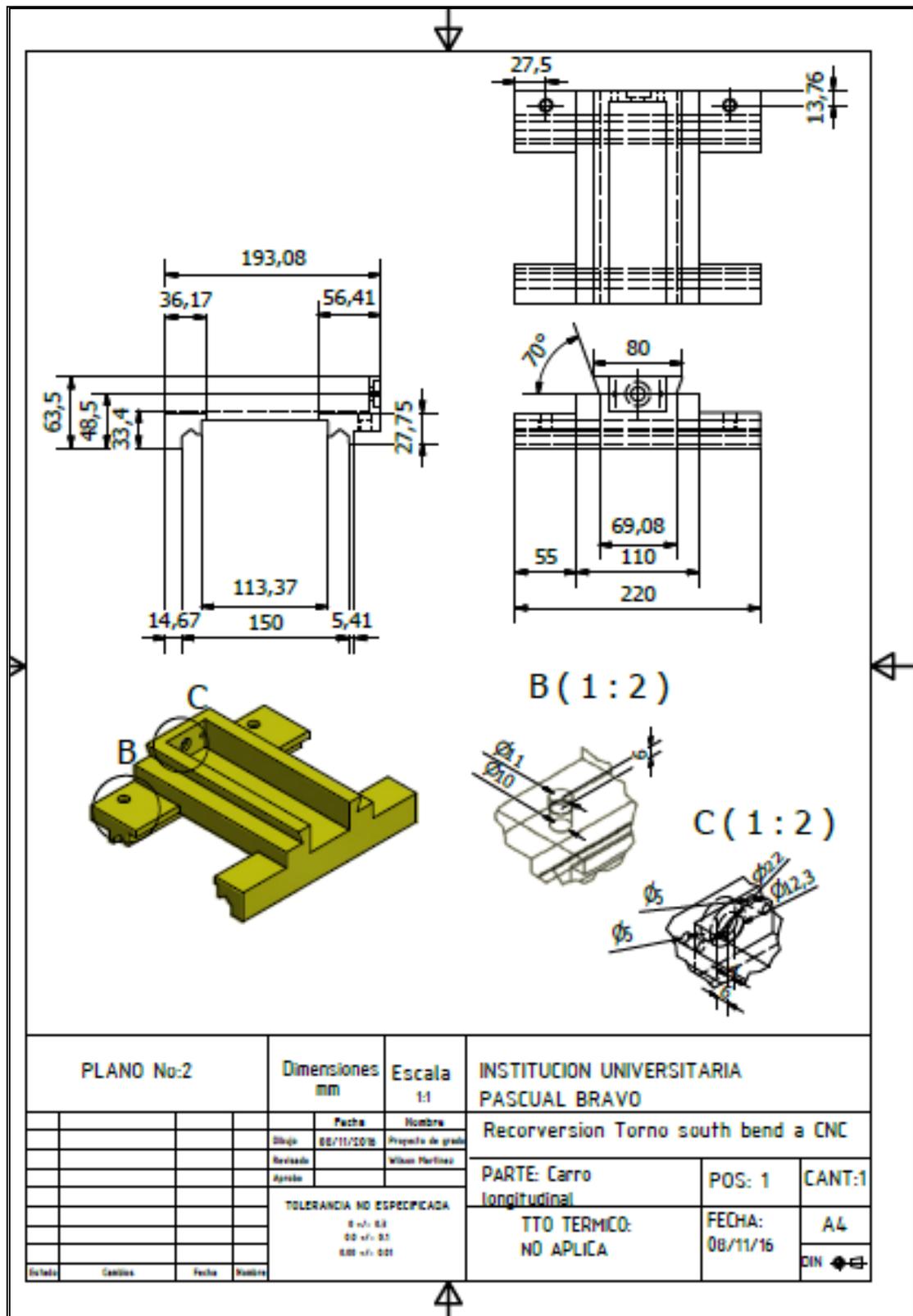
- [13] RUEDA TORRES, M. P., & VÁSQUEZ RODRÍGUEZ, J. A, Automatización de un Torno de Operación Manual Mediante un PLC Allen Bradley Tipo Micrologic para Convertirlo en un Torno de Control Numérico. Tesis de Ingeniería, Escuela Politécnica Nacional, Ecuador (2010).
- [14] SCHUMPETER, J. A, Capitalism, Socialism and Democracy, Londres y Nueva York. (2003).
- [15] SCHVAB, L, Máquinas y Herramientas. Argentina (2011).
- [16] SHIGLEY, J. E., & MISCHKE, C. R. Diseño en Ingeniería Mecánica (Sexta edición ed.). (J. L. Cárdenas, Trad.), México. (2005).
- [17] SHUTON, Husillos de Bolas de Precisión. España (2009).
- [18] SKF, Linear Motion, Francia. (2003).
- [19] SNR LINEAR MOTION. Husillos de Bolas. Husillo de Bolas SNR Presentación General de la Gama, Japón. (06/05/2012).

# ANEXOS

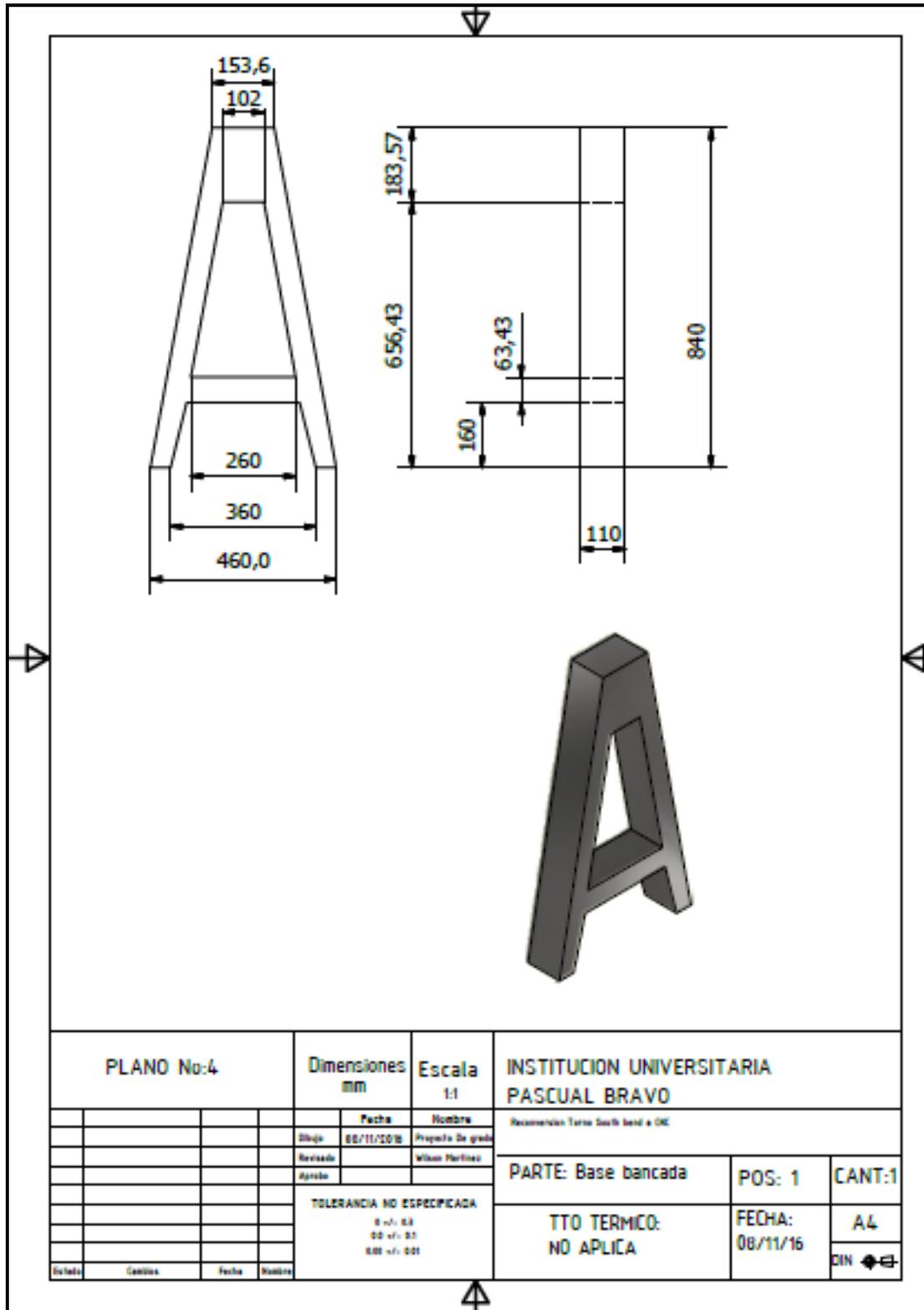
## Anexo 1. Planos bancada



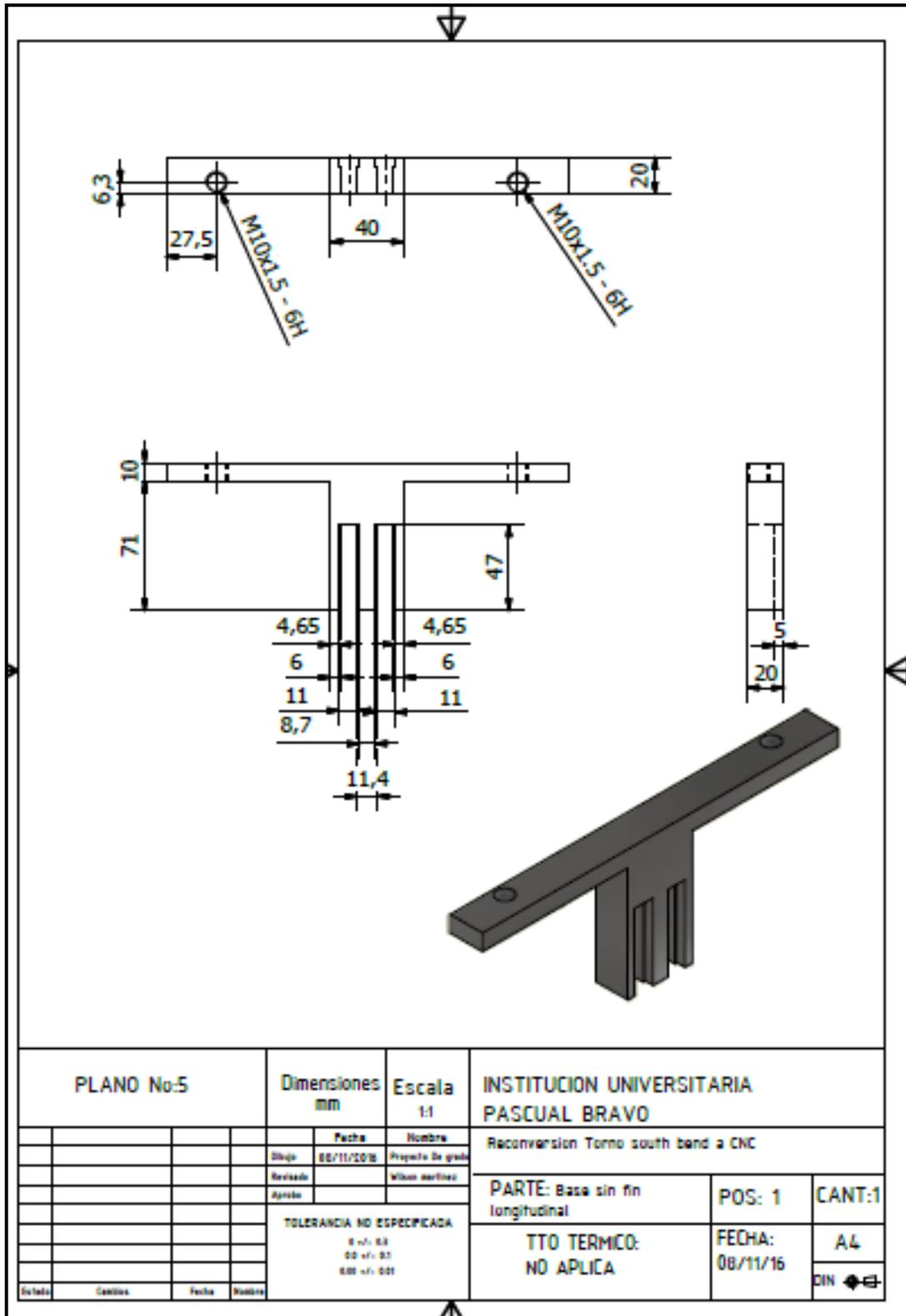
Anexo 2. Planos carro transversal



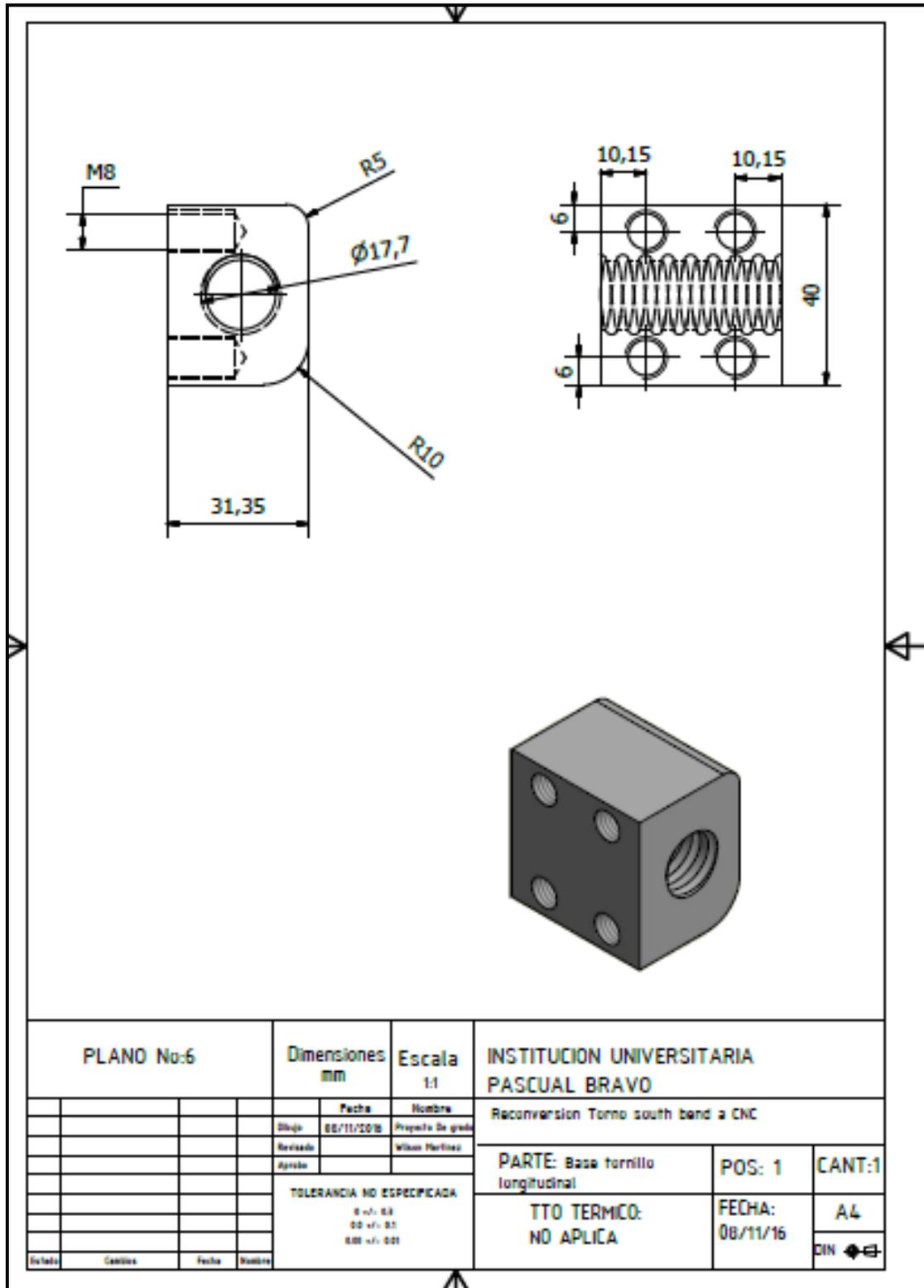
Anexo 3. Base bancada



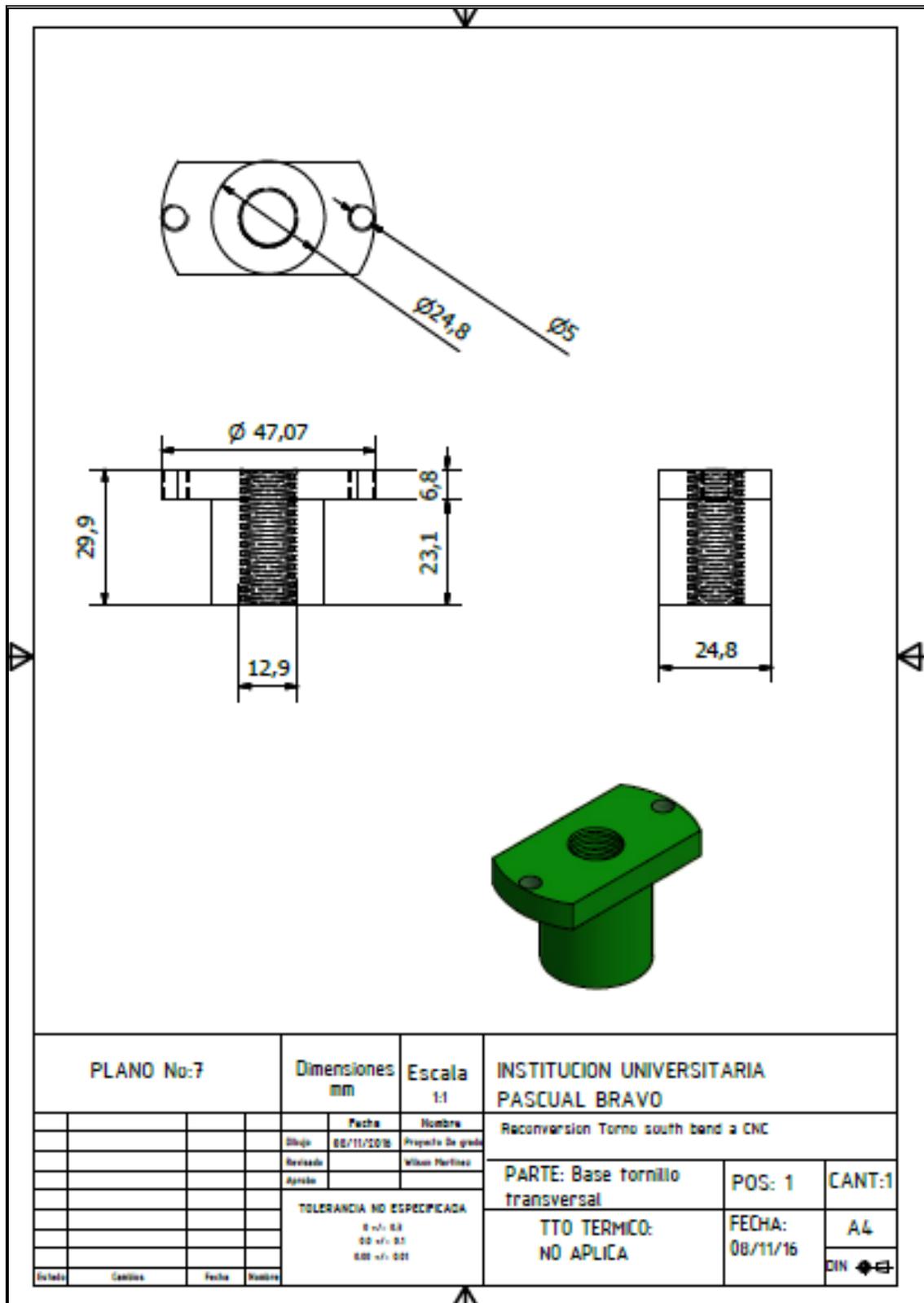
Anexo.4. Brida



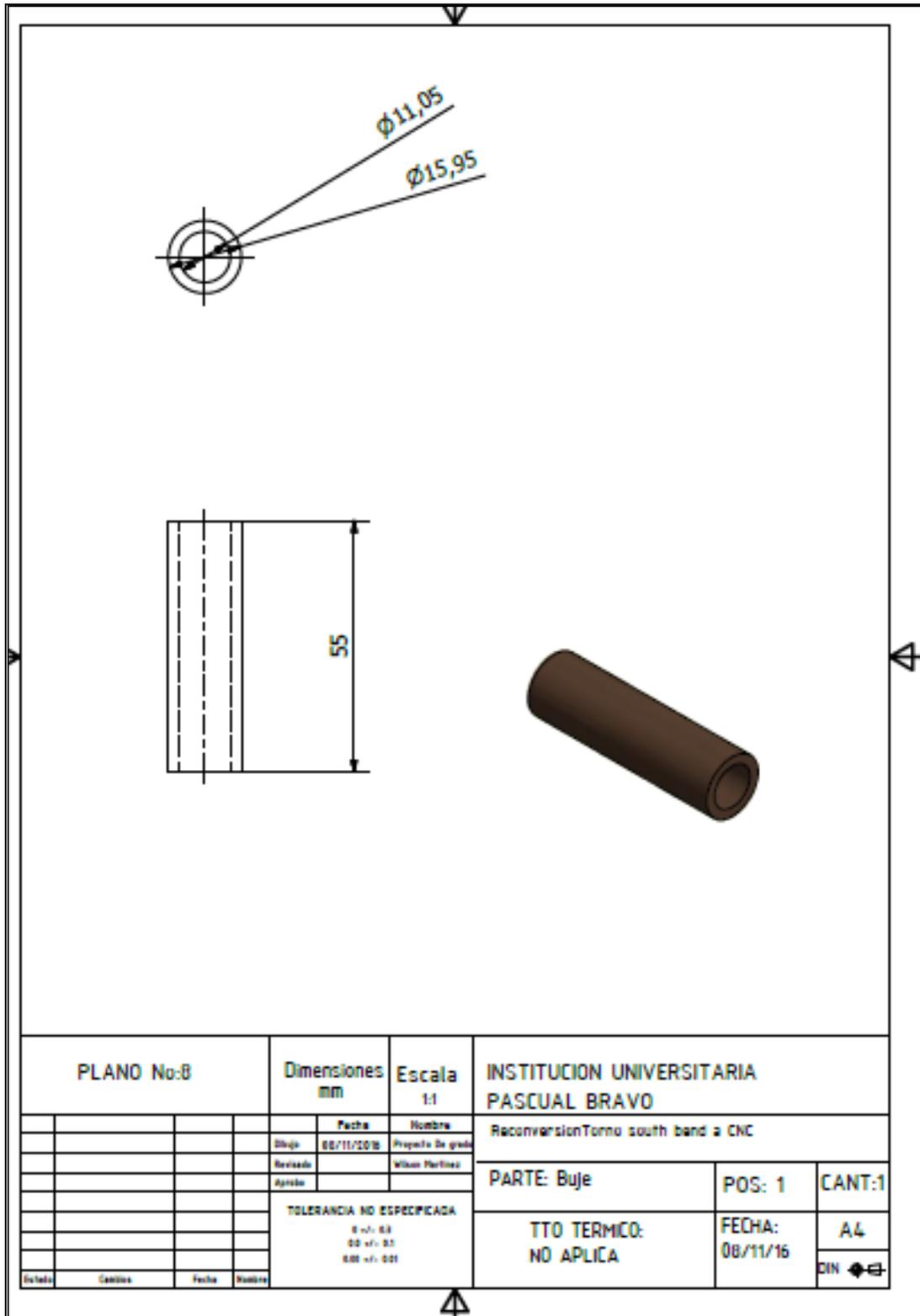
Anexo 5. Tuerca tornillo longitudinal



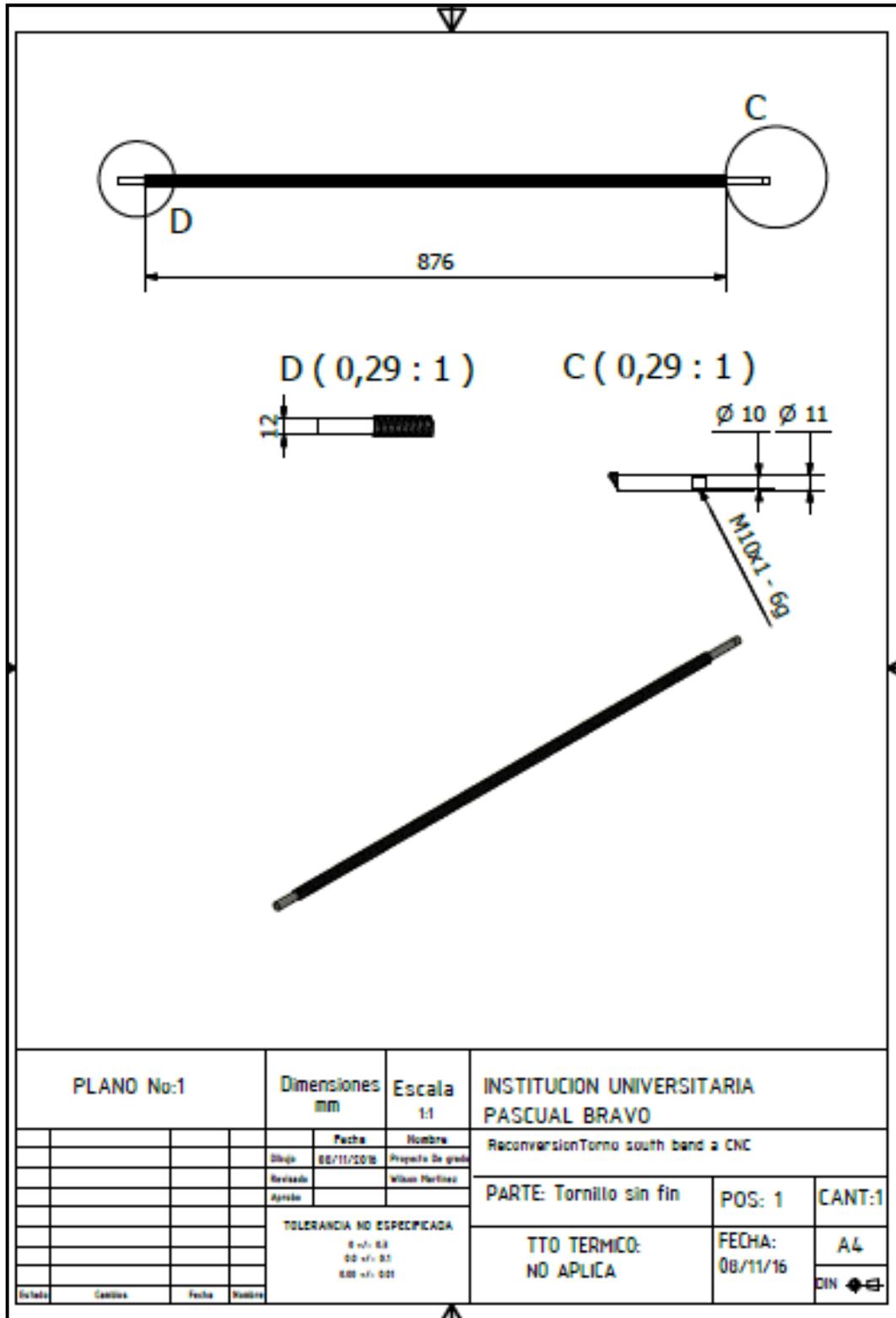
Anexo 6. Tuerca tornillo transversal



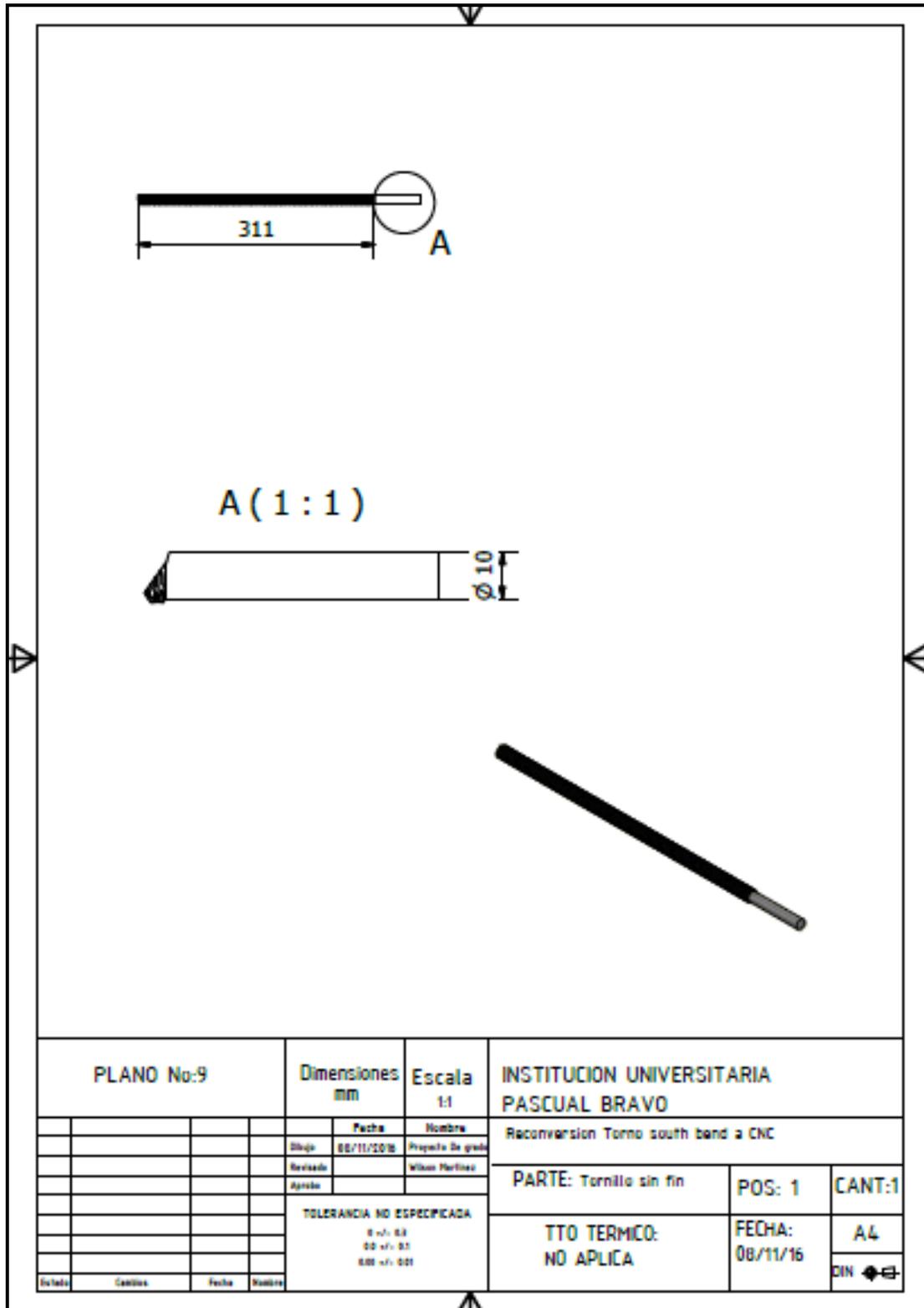
**Anexo 7.** Buje de bronce para soporte del eje longitudinal del torno



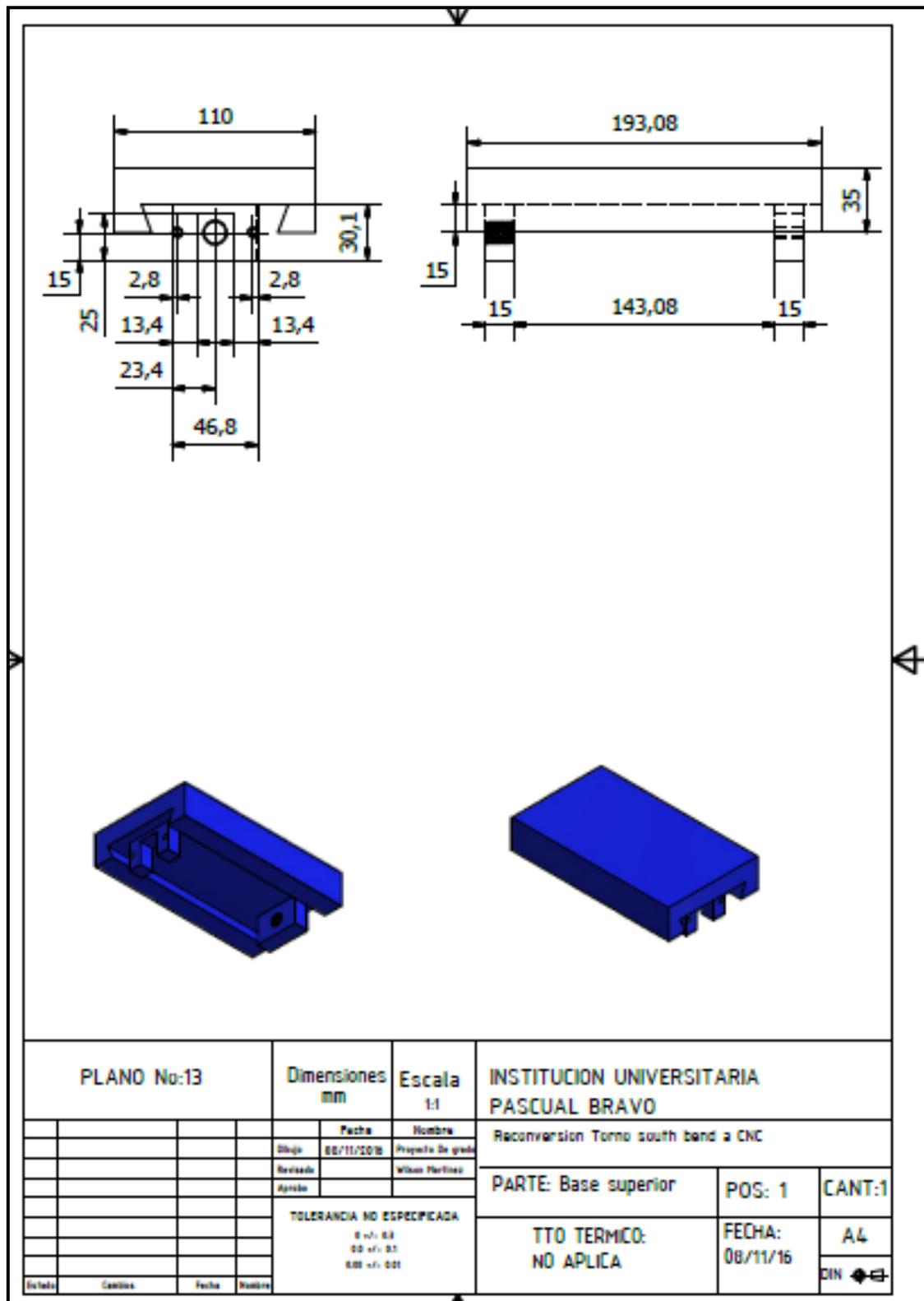
Anexo 8. Husillo longitudinal



Anexo 9. Husillo longitudinal



Anexo 10. Carro transversal



Anexo 11. Soporte husillo transversal fijo

