Universidad Autónoma de Querétaro

Facultad de Ingeniería

Ingeniería Electromecánica

DISEÑO, ANÁLISIS Y MECANIZADO DE PIEZAS POR ARRANQUE DE VIRUTA PARA LA HABILITACIÓN DE UN TORNO CNC DE TAREA ESPECÍFICA

Tesis

Que como parte de los requisitos para obtener el título de:

Ingeniero Electromecánico

Presenta:

Diego Andres Ramírez González

Dirigido por:

Dr. Luis Morales Velázquez

San Juan del Río, Querétaro. Febrero de 2015

REPOSITORIO INSTITUCIONAL DGBSDI-UAQ

La presente obra está bajo la licencia:
https://creativecommons.org/licenses/by-nc-nd/4.0/deed.es

CC BY-NC-ND 4.0 DEED

Atribución-NoComercial-SinDerivadas 4.0 Internacional

Usted es libre de:

Compartir — copiar y redistribuir el material en cualquier medio o formato

La licenciante no puede revocar estas libertades en tanto usted siga los términos de la licencia

Bajo los siguientes términos:

Atribución — Usted debe dar crédito de manera adecuada , brindar un enlace a la licencia, e indicar si se han realizado cambios . Puede hacerlo en cualquier forma razonable, pero no de forma tal que sugiera que usted o su uso tienen el apoyo de la licenciante.

NoComercial — Usted no puede hacer uso del material con propósitos comerciales .

SinDerivadas — Si remezcla, transforma o crea a partir del material, no podrá distribuir el material modificado.

No hay restricciones adicionales — No puede aplicar términos legales ni medidas tecnológicas que restrinjan legalmente a otras a hacer cualquier uso permitido por la licencia.

Avisos:

No tiene que cumplir con la licencia para elementos del material en el dominio público o cuando su uso esté permitido por una excepción o limitación aplicable.

No se dan garantías. La licencia podría no darle todos los permisos que necesita para el uso que tenga previsto. Por ejemplo, otros derechos como publicidad, privacidad, o derechos morales pueden limitar la forma en que utilice el material.

Dedicatoria

Este trabajo se lo dedico a mi Familia, que siempre me apoyó y me brindo los recursos necesarios para poder concluir con esta etapa de mi desarrollo personal.

Agradecimientos

En especial a mis profesores, asesores, compañeros y amigos que durante la estadía en esta mi alma máter, me apoyaron afrontando las pruebas de superación que nos encontramos a lo largo de esta vida universitaria.

Gracias a la empresa MAKINO, que me seleccionó, mediante el convenio de cooperación con la universidad y que me brinda capacitación constante y del más alto nivel en cuanto a ingeniería de servicio en máquinas CNC.

Igualmente un agradecimiento a todas las personas que no confiaron en mí y en el término exitoso de mi desarrollo profesional, fueron y son un impulso para seguir cada día desarrollándome tanto personal como profesionalmente.

A todos,

GRACIAS.

Resumen.

El desarrollo de maquinaria de control numérico computarizo ha sido un gran avance en el área de mecanizado de piezas de alta complejidad y de producción en serie, este tipo de máquinas usan programas computacionales de asistencia, para que los procesos de diseño, análisis y fabricación sean optimizados y así disminuir costos y elevar producción, puntos que en la industria son altamente delicados, dentro de la fase de diseño se encuentra el análisis del producto, con el fin de no desperdiciar recursos (tiempo y dinero) en la fabricación de prototipos y análisis de los mismos se recurre a las computadoras por medio de la ingeniería asistida por computadora.

Éstas máquinas poseen una alta eficiencia, inclusive, en el mercado existen máquinas CNC con funciones ecológicas, es decir que optimizan drásticamente el consumo normal de corriente eléctrica, esto mediante el estado de hibernación.

Este trabajo se basa en la habilitación mecánica de un torno, esta máquina herramienta es indispensable para hacer trabajos de mecanizado cilíndricos, según la disposición y la cantidad de herramientas con las que cuente el torno se denomina de cierta manera, este trabajo trata la habilitación de un torno de tarea específica, es decir, que usa solo una herramienta de corte.

El diseño y análisis en esta época son la base fundamental para poder producir o en este caso mecanizar piezas, este proceso de diseño está constituido por diferentes fases, CAD, CAM, CAE, también conocidos como diseño asistido por computadora.

En la parte de mecanizado se usan algunas variables de acuerdo al tipo de material a mecanizar, la herramienta a usar y las capacidades de la máquina, estas se llaman condiciones de corte, las cuales son velocidad de corte, velocidad de avance y profundidad de pasada.

En General, el desarrollo de este trabajo se dedica en la habilitación mecánica de una máquina herramienta, enfocado al correcto funcionamiento de partes esenciales como lo son el husillo, tornillos embalados, acoplamientos y punto giratorio. En algunas unidades la inclusión de elementos sensores, en primer fase son acelerómetros.

Summary.

The numeric control machinery development has been a huge progress in the high complex machining area and mass production, this kind of machine use computer aided software, in order for the process of design, analysis and production been optimized, and get low cost and high production volumes, this points which are highly sensitive in real environment, within the design phase, is possible to found the product analysis, in order to avoid waste (time and money), in prototyping an analysis, for this computers are used as a helpful tool (computer-aided engineering).

This machines has a very high efficiency, in the market exists CNC machines with ecological functions which electricity consumption are dramatically optimized, state know as hibernation.

This work is based on a lathe mechanical restore, this machine tool is essential for to perform cylindrical machining and depends on the tool disposal and quantity to get proper name, for this machine is called specific task, due it uses only one single cutting tool.

Design and analysis, in this era is a fundamental base to produce or machining pieces, this process is built by different sub-process named CAD, CAM, CAE, as well known as computer aided design, manufacturing and engineering.

When machining is being performed, there are some variables according machining material type, cutting tool and machine capabilities those are known as machining conditions.

As an overview of this work, is focus on a lathe mechanical restoration and primary concern are spindle, ballscrews, couplings and rotary counter point, in some units are sensors, as a first phase accelerometers are installed.

Índice

Dedicatoria 2
Agradecimientos 3
Resumen 4
Summary 5
Índice general 6
Índice de figuras 8
Índice de tablas 10

1. Introducción 11
1.1 Antecedentes 13
1.2 Descripción del problema 15
1.3 Justificación 16
1.4 Objetivos 16
1.4.1 Objetivo general 16
1.4.2 Objetivos particulares 16

2. Fundamentación teórica 17
2.1 Control numérico computarizado 18
2.2 El torno 19
2.2.1 Partes principales 20
2.2.2 Clasificación 22
2.3 Software de asistencia 23
2.3.1 Diseño asistido por computadora 25
2.3.2 Manufactura asistida por computadora 26
2.3.2.1 Programación de control numérico 27
2.3.3 Ingeniería asistida por computadora 28
2.4 Método de elemento finito 29
2.5 Herramientas de corte 31
2.5.1 Herramientas de corte de punta única 32
2.6 velocidad de corte 32
2.6.1 Influencia de la velocidad de corte 33
2.7 Velocidad de avance 34
2.7.1 Influencia de la velocidad de avance y profundidad de pasada 34
2.8 Sección de viruta 35
2.9 Normalización 36
2.9.1 Asociación Nacional de Fabricantes Eléctricos 36
2.9.2 Cono morse 36

3. Metodología 37
3.1.1 Diseño de acoplamiento mecánico de husillo 39
3.1.2 Diseño de coples para los servomotores de los ejes 40
3.1.3 Diseño de dispositivo para la sujeción de punto giratorio 41
3.1.4 Diseño de dispositivo para la sujeción de herramienta de corte 43
3.2 Mecanizado de piezas diseñadas 47
3.2.1 Mecanizado de cople de chuck 47
3.2.2 Mecanizado de coples de servomotores 48
3.2.3 Mecanizado de dispositivo para la sujeción de herramienta de corte 51
3.2.4 Mecanizado de dispositivo de sujeción de punto giratorio 53
3.3 Ensamble de piezas Mecanizadas 53
3.3.1 Ensamble de piezas para la habilitación del husillo 54
3.3.2 Ensamble de cople de servomotores 55
3.3.3 Ensamble dispositivo de sujeción de punto giratorio 57
3.4 Habilitación de tornillos embalados 58
3.5 Cableado de sistemas 58
3.5.1 Cableado de sistema eléctrico y electrónico 59
3.5.2 Cableado de servosistema 61

4. Pruebas funcionales y resultados 63
4.1 Prueba funcional de husillo 63
4.1.1 Procesamiento de resultados de prueba de husillo 64
4.2 Prueba funcional de movimiento de ejes 65
4.3 Prueba de lectura de sensor 65

5. Conclusión 67

Apéndice 68
1. Planos de taller de piezas mecanizadas 68
2. Resultados de prueba de husillo 72

Referencias bibliográficas 75

Índice de figuras

Figura 1. Proceso de torneado 18
Figura 2. Partes principales de un torno 18
Figura 3. Proceso del diseño 22
Figura 4. Proceso CAD 23
Figura 5. Proceso CAM 24
Figura 6. Componentes del CAD/CAM 25
Figura 7. Maya de elementos finitos 26
Figura 8. Análisis por elementos finitos 27
Figura 9. Dominio, subdominio y nodos 29
Figura 10. Movimiento de corte y avance 31
Figura 11. Profundidad de pasada 33
Figura 12. Diagrama de necesidades 35
Figura 13. Fundición torno CNC 36
Figura 14. Diseño de cople mecánico para la sujeción del chuck 37
Figura 15. Dimensiones NEMA 34 38
Figura 16. Diseño 3D cople de servomotor 39
Figura 17. Cono morse 40
Figura 18. Diseño 3D del dispositivo de sujeción de punto giratorio 41
Figura 19. Geometría propuesta 1 42
Figura 20. Geometría propuesta 2 43
Figura 21. Concentración de esfuerzos 44
Figura 22. Desplazamiento nodal 44
Figura 23. Cople mecánico del chuck 45
Figura 24. Sujeción de la pieza a mecanizar 46
Figura 25. Distancia para determinar work-offset 47
Figura 26. Proceso de mecanizado 47
Figura 27. Pieza finalizada en el centro de mecanizado 48
Figura 28. Sujeción de la pieza para corte por electroerosión 48
Figura 29. Cople de motores a ser presentado 49
Figura 30. Mecanizado de dispositivo de sujeción de herramienta de corte 50
Figura 31. Centro de maquinado PS-95 50
Figura 32. Máquina de corte por electroerosión DUO-43 51
Figura 33. Dispositivo de sujeción de punto giratorio 51

Figura 34. Sujeción al husillo 52
Figura 35. Ensamble del chuck al cople 52
Figura 36. Ensamble de husillo 53
Figura 37. Ensamble de cople de servomotores 54
Figura 38. Ensamble de servomotor 1 54
Figura 39. Ensamble de servomotor 2 55
Figura 40. Ensamble de punto giratorio 55
Figura 41. Acelerómetro en punto giratorio 56
Figura 42. Diagrama eléctrico de variador de frecuencia 57
Figura 43. Conexión principal del variador de frecuencia 58
Figura 44. Diagrama de flujo de inicialización del variador 59
Figura 45. Diagrama de conexiones de servosistema 60
Figura 46. Relación de RPM y frecuencia de referencia 62
Figura 47. Relación de RPM y voltaje de referencia 62
Figura 48. Relación de corriente consumida y RPM 63
Figura 49. Resultados de prueba de acelerómetro 64

Índice de tablas

Tabla 1 Evolución de máquinas de control numérico 17
Tabla 2 Herramientas CAD para el proceso del diseño 23
Tabla 3 Herramientas en el proceso CAM 24
Tabla 4 Evaluación general 36

Capítulo I

1. Introducción

En la industria moderna es necesario contar con una producción automatizada, cuando las máquinas de producción convencionales se quedan obsoletas, es necesario remplazarlas por tecnologías que generen menor tiempo en maquinado con una mayor precisión, aumentando así la confiabilidad, (Alarcón 2011).

Actualmente existe un ambiente de altas expectativas, el cual se debe al rápido crecimiento en la industria, y a los cambios del orden económico que afectan a sociedades como la nuestra, un país en vías de desarrollo.

Uno de los cambios más notorios es el desarrollo de mercados abiertos, lo cual es el más claro ejemplo de globalización. Esto significa que la competitividad es ahora uno de los puntos más delicados de la industria, por lo cual surge la necesidad de adecuar la producción en planta, desde talleres de moldes, hasta las compañías maquiladoras de alta producción como lo es la industria Automotriz.

La opción más viable es la reconversión de éstas industrias mediante la automatización, sin embargo esto debe de hacerse de una forma que se pueda aprovechar al máximo sin sacrificar inversión, producción y rendimiento.

Uno de los elementos más importantes son las máquinas, al automatizarlas se garantiza que se aumentará la productividad, precisión y rapidez en el proceso. El uso de máquinas automatizadas ha permitido la mecanización de piezas muy complejas, las cuales sin ésta ayuda, difícilmente se hubieran podido fabricar de forma manual, (Seminario, Mecanizado de fundición de hierro 2012).

El término control numérico computarizado (CNC), se debe a que las órdenes dadas a la máquina son indicadas mediante códigos numéricos.

Un conjunto de órdenes que siguen una secuencia lógica constituyen un programa de maquinado. Dándole las órdenes o instrucciones adecuadas a la máquina, ésta es capaz de maquinar una simple ranura, una cavidad irregular, un dado o un molde.

Las máquinas de control numérico computarizado constituyen una modalidad de automatización, las cuales son programadas para fabricar lotes de piezas de formas complicadas, eliminando así el factor humano en la operación del proceso. Estas máquinas se pueden encontrar en forma aislada, o interconectadas por medio de algún tipo de transporte de carga y descarga de piezas maquinadas y por maquinar.

El uso de maquinaria CNC conlleva a desarrollar programas que van a ser ejecutados en éstas, el diseño y la fabricación asistidos por computadora han alcanzado un gran nivel de desarrollo e implementación y se han convertido en una necesidad esencial para la supervivencia de las empresas en un mercado cada vez más competitivo.

Ante este panorama se encuentran herramientas tales como el diseño asistido por computadora, (computer aided design, CAD por sus siglas en inglés), manufactura asistida por computadora, (computer aided manufacturing, CAM por sus siglas en ingles) y por último se encuentra la ingeniería asistida por computadora, (computer aided engineer), las cuales han tenido un auge espectacular, extendiéndose su uso a la totalidad de las industrias, ya que es de vital importancia en el diseño de piezas especialmente sometidas a esfuerzos.

Así pues, debido a la demanda de mercado de productos cada vez más baratos, de mayor calidad y cuyo ciclo de vida se reduce gradualmente, se hace necesaria la intervención de las computadoras para poder satisfacer éstas exigencias mediante el uso de estas herramientas de diseño y análisis, con las cuales se consigue abaratar costos, aumentar calidad y reducir el tiempo de diseño y producción, (Curso 2012).

El diseño adecuado de las estructuras de las máquinas herramienta requieren el análisis de factores como la forma, materiales de las estructuras, esfuerzos, peso consideraciones de fabricación y rendimiento. El mejor enfoque para obtener lo

último en exactitud de las máquinas herramienta es el empleo en las mejoras de la rigidez estructural y la compensación de las deflexiones con el uso de controles avanzados.

La estructura del bastidor en c se ha utilizado desde hace mucho tiempo porque permite fácil acceso a la zona de trabajo de la máquina. Con la aparición del control numérico, se ha vuelto práctico el bastidor del tipo caja, que tiene una rigidez estática mucho mejor, porque se reduce mucho la necesidad de tener acceso manual de la zona de trabajo. El empleo de una estructura del tipo caja con paredes delgadas puede proporcionar bajo peso para una rigidez dada. el principio del diseño con peso ligero ofrece alta rigidez dinámica por que suministra una alta frecuencia natural de la estructura mediante la combinación de una elevada resistencia estática con un peso reducido, en vez de emplear una masa grande, esto es para las herramientas y el centro de control numérico.

Pero para la fabricación de los equipos es necesario que sean robustos y que estén fijos para evitar vibraciones para que la pieza a fabricar salga lo más perfecta posible, ya que la vibración provoca movimiento y esto es algo que se desea evitar, (Makino 2012).

Las mejoras que las máquinas traen consigo son de consideración dado que cuentan con controles avanzados, los cuales permiten visualizar la imagen en la pantalla, tienen control electrónico digital de juego mecánico en el movimiento de los ejes, la robustez de la fundición y ahora las nuevas funciones ecológicas de ahorro de energía.

1.1 Antecedentes.

El mecanizado de piezas cilíndricas por medio de torneado, en la mayoría de talleres se realiza con una máquina convencional y de forma manual, donde los operadores están en contacto directo con la máquina, lo cual requiere de gran habilidad, destreza y experiencia para su construcción.

Es por esto que en países desarrollados todo este proceso de mecanizado es desarrollado por máquinas automatizadas, mejorando así los recursos utilizados para este fin.

La automatización de procesos viene dado a finales de 1940, cuando las fuerzas militares norteamericanas buscaban incrementar la producción de piezas complejas para una nueva aeronave. La corporación Parsons desarrollo una técnica para este tipo de exigencias en dos ejes, dicho sistema funcionaba con una tarjeta perforada, (Jaen 2009).

Cuando una empresa cuenta con tecnología que permite el desarrollo y crecimiento ante la implacante demanda del mercado, tecnología como lo son las máquinas herramienta, que cuentan con control numérico computarizado. Aunque se debe tomar en cuenta que el desarrollo debe ser completo, atendiendo a los factores de diseño, control, facilidad de operación y la capacidad de adaptarse a otros procesos externos.

Algunos trabajos que tratan con la problemática de la automatización y la manufactura son como por ejemplo, (Alaniz 2005), quien desarrolló una unidad con sistema de corte adaptable para la optimización de maquinado de una máquina herramienta CNC, usando señales de corriente del inversor de frecuencia del motor del husillo y de los servoamplificadores de los ejes de movimiento, mediante técnicas de control adaptable y procesamiento de las señales para modificar la velocidad de avance.

(Trejo 2006), desarrolló un módulo de software de maquinado y monitoreo, para actuar sobre los parámetros de profundidad y avance de corte a través del procesamiento y control de las corrientes del inversor de frecuencia en el motor del husillo y los servoamplificadores, aplicando técnicas de control difuso para minimizar el tiempo de mecanizado y aumentar la producción sin aumentar costos.

Un sistema de supervisión de herramienta en una máquina CNC fue desarrollado por (Romero 2004), que consiste en 3 bloques, sensores y acondicionamiento de señales, adquisición de datos y procesamiento de señales, implementado en una fresadora convertida a CNC.

(García 2006), desarrolló un sistema de supervisión de herramientas de corte para tornos de control numérico computarizado, empleando las señales de corriente-voltaje de los elementos motrices del torno, acondicionando, adquiriendo y procesando dichas señales para que el sistema fuera confiable y capaz de determinar el estado del inserto sometido al proceso de mecanizado.

En el ámbito internacional existen numerosos trabajos de investigación y desarrollo, los cuales se tratarán a continuación.

La empresa manufacturera de centros de mecanizado Makino, ha desarrollado algunas innovaciones tecnológicas como la refrigeración por el centro de los tornillos embalados, tanto la tuerca como a lo largo del tornillo, el empleo de sistema de lubricación y refrigeración desde el centro del husillo, lo cual garantiza que el maquinado cumplirá con tolerancias más cerradas ya que la expansión térmica que sufrirá la fundición y el soporte del husillo será mínima, así como el empleo de rodamientos especiales los cuales cuentan con refrigeración desde la carrera interna extendiendo la vida útil y disminuyendo vibración ocasionadas por falta de lubricación.

En su trabajo, (Weck et al. 1997), afirman que se puede manufacturar piezas en tres dimensiones de un tamaño muy pequeño, de donde se desprende el término "Micro mecanizado", removiendo material a gran velocidad utilizando herramientas de corte de diamante o sus sintéticos similares. Actualmente sólo muy pocas máquinas pueden realizar este tipo de trabajo.

La empresa KAO & YEH ha desarrollado un estudio del juego mecánico en cuanto a la precisión de tornos CNC, el cual lo describen como un error no lineal dependiente de la posición debido a la existencia de espacio entre dos elementos mecánicos. Con los resultados de este estudio han implementado una estrategia de control simple para reducir los errores de juego mecánico,(KAO & YEH 1996)

En este proceso de modernización, se requiere de personal altamente capacitado en el uso, programación, mantenimiento y mejora que estas máquinas necesitan, es por eso que, con este trabajo de desarrollo se logrará tener un torno CNC funcional el cual será banco de pruebas en ámbitos variados, como la mecánica, electrónica, eléctrica, hidráulica y automatización en general. (Alarcón 2011)

1.2 Descripción del problema.

En las instalaciones del laboratorio de Ingeniería cuenta con una máquina herramienta en su forma más básica, solo la fundición y los tornillos embalados, para ser posible su funcionamiento, es necesario habilitar el husillo mecánica y eléctricamente, habilitar el contra cabezal y acoplar servomotores a los ejes, además de un dispositivo de sujeción de herramienta de corte.

1.3 Justificación.

En la industria moderna, cada vez es más necesario contar con personal que conozca las máquinas de control numérico computarizado, que sepa cómo funcionan, la forma en que deben operar y el proceso que se sigue para poder ejecutar las acciones programadas, con la habilitación de este torno se está abriendo una puerta más a una mejor capacitación de los alumnos de esta universidad, ya que se puede usar como banco de pruebas para futuros desarrollos de software de control, desarrollos en el área de la electrónica, e incluso en el mejoramiento de sensores.

Las máquinas herramienta CNC constituyen una mejora en calidad de equipamiento de cualquier taller o en este caso, el laboratorio de la facultad de ingeniería de la Universidad Autónoma de Querétaro, teniendo en cuenta que este desarrollo servirá como una herramienta de investigación.

El equipamiento y la habilitación de este torno se realizara con el mínimo de inversión, ya que la mayoría de las piezas serán diseñadas a pedido y maquinadas en la Universidad Autónoma de Querétaro y centros de mecanizado de la empresa Makino, teniendo así un ahorro significativo comparado al comprar o habilitar mediante contratistas una máquina funcional.

1.4 Objetivos.

1.4.1 Objetivo general.

Diseñar, analizar y mecanizar el conjunto de piezas necesarias para la habilitación del husillo, el dispositivo de sujeción de la herramienta y los ejes X y Z, considerando la inclusión de elementos sensores en el diseño de dichas piezas, con el fin de analizar la operación funcional de esta máquina CNC que se asignará como torno de tarea específica.

1.4.2 Objetivos particulares.

- Diseñar piezas en CAD para acoplamiento de husillo, adaptación de servomotores a los ejes X y Z y el dispositivo de sujeción de herramienta de

corte, considerando la inclusión de elementos sensores como acelerómetros.

- Analizar el dispositivo de sujeción de herramienta.
- Mecanizar piezas diseñadas.
- Ensamblar piezas requeridas para el correcto funcionamiento de esta máquina herramienta.
- Habilitar los tornillos embalados.
- Cablear los sistemas eléctricos y electrónicos para poder ejecutar el control de posicionamiento de los ejes X y Z.
- Probar el funcionamiento de husillo, de ejes y prueba de maquinado.

Capítulo II

2. Fundamentación teórica

En la actualidad las máquinas herramienta pueden permanecer trabajando 24 horas al día los 7 días de la semana durante todo el año, tales como lo son tornos, fresadoras, rectificadoras, inyectoras de plástico o de metal, brazos automatizados empleados para cargar o manipular piezas o productos terminados, (Alarcón 2011).

Las máquinas herramienta para mecanizado por control numérico computarizado usan programas computacionales de asistencia, para que los procesos de diseño, análisis y fabricación sean optimizados y así disminuir costos y elevar producción, puntos que en la industria son altamente delicados, dentro de la fase de diseño se encuentra el análisis del producto, con el fin de no desperdiciar recursos (tiempo y dinero) en la fabricación de prototipos y análisis de los mismos se recurre a las computadoras por medio de la ingeniería asistida por computadora, la cual emplea el método de análisis de los elementos finitos.

Una vez finalizada la fase de análisis y diseño se procede a la fabricación, con ayuda de los código generados por un software CAM que igualmente simula el proceso de maquinado se procede al uso de la maquinaria física, se deberá tener en cuenta las propiedades de los materiales a mecanizar, ya que con estos cambian los parámetros de maquinado, (Makino 2012).

2.1 Control numérico computarizado

La máquina CNC como tal, fue desarrollada por John Parsosns en el MIT (Massachusetts Institute of Technology), con el propósito de maquinar piezas para aeronaves, las cuales eran relativamente fáciles de describir tanto matemáticamente como técnicamente, pero en el mecanizado presentaban severa dificultad. La primer máquina de control numérico computarizado se construyó en 1949, (Smid 2006).

En este entonces el tamaño de las computadoras era de un tamaño enorme, la baja eficiencia de estos equipos y el alto consumo de corriente eléctrica ocasionaba que solo pudieran trabajar por cortos periodos de tiempo, con el paso del tiempo y las mejoras en la tecnología se lograron cada vez mejores resultados en la integración de estos equipos.

Éstas máquinas poseen una alta eficiencia, inclusive, en el mercado existen máquinas CNC con funciones ecológicas, es decir que optimizan drásticamente el consumo normal de corriente eléctrica, esto mediante el estado de hibernación de los componentes que no serán usados o su uso se limita por un corto periodo de tiempo, estas funciones del tipo ecológicas, se aprecian con mayor facilidad en máquinas con mayor número de componentes como lo son sensores, actuadores líneas de distribución, tanto neumáticas como hidráulicas y eléctricas, (Makino 2012).En la tabla 1 se presenta una tabla de la evolución de las máquinas herramienta de control numérico

Año	Desarrollo
1957	Entra en funcionamiento la primer máquina CNC (Cincinnati Hydrotel con husillo vertical)
1960	Fabricantes alemanes presentan su primer máquina CNC en la feria tecnológica de Hannover
1965	Aparecen los primero cambiadores de herramienta automáticos (ATC-automatic tool changer)
1970	Se presentan en el mercado los primeros controles comerciales para CNC
1980	La máquina CNC se engloba a una red interconectada con una computadora
1985	Aparecen controles CNC con capacidad interactiva con software de asistencia de diseño y manufactura (CAD/CAM)
A la fecha	Los sistemas de posicionamiento son tan precisos que se logran acabados sin pulido extra y micromecanizados

Tabla 1. Evolución máquinas de control numérico computarizado

2.2 El Torno

La máquina herramienta más versátil en un taller mecánico moderno es el torno. Su antecesor más antiguo es la rueda de alfarero, la cual se remonta tan atrás en la historia hacia el año 4000 a.C. Dando vuelta a la rueda de alfarero sobre un costado se originó el primer torno horizontal, al cual siguió el torno de pértiga que se podía impulsar con una cuerda y un pedal.

El creador del torno moderno fue Henry Maudsley, quien primero invento el carro deslizante. Maudsley, mecánico inglés, combino después el carro móvil con un tornillo de avance por medio de engranajes; esta combinación le permitió a Maudsley el tallado de roscas de 16 a 100 hilos por pulgada, esto tuvo lugar a principios de siglo XIX.

En la revolución industrial, el torno se convirtió en la máquina más importante, ya que, sin ella, la máquina de vapor de James Watt no se habría podido construir jamás.

A partir de esa época el torno ha sido mejorado y cada perfeccionamiento añadido al objetivo de su funcionalidad ha permitido la ejecución de operaciones más complejas con grados de precisión y acabados más finos, (Ford 1989).

La finalidad del torno es quitar material (Figura 1) haciendo girar la pieza contra una herramienta de corte; esta herramienta de corte pueda moverse en sentido longitudinal y transversal, en el torno se pueden mecanizar interiores y exteriores, el resultado puede ser una pieza cilíndrica, cónica o refrentado (cara transversal plana).

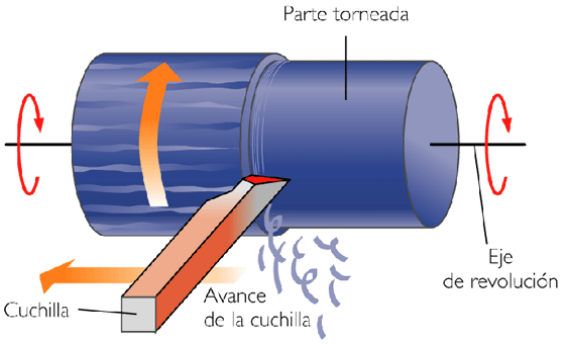


Figura 1. Proceso de torneado

2.2.1 Partes principales

En la figura 2, se presentan las partes principales del torno, posteriormente se explican cada una.

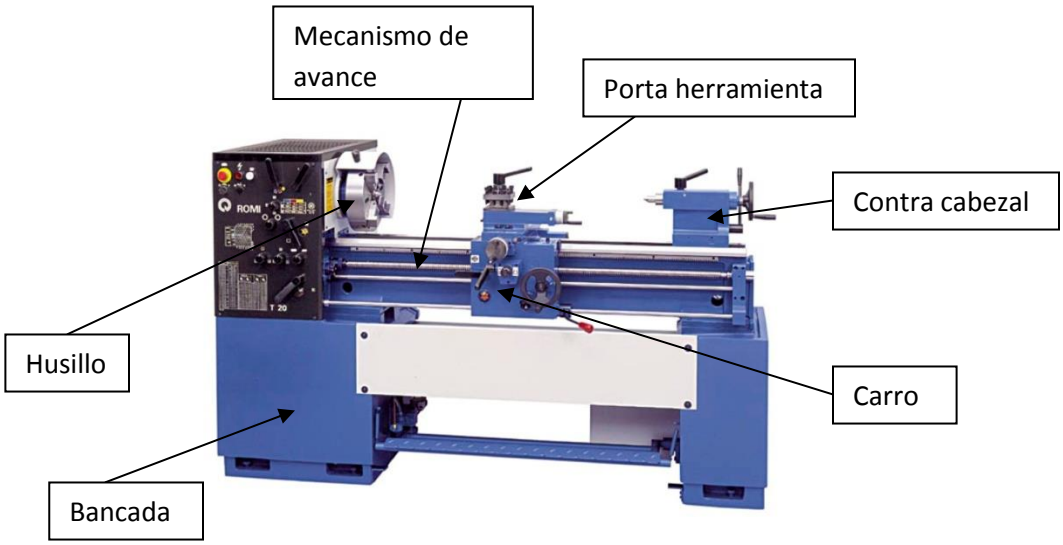


Figura 2. Partes principales del torno

Bancada.

Se le considera como la espina dorsal del torno. La precisión depende principalmente de la rigidez, alineación perfecta y mecanizado correcto de la bancada.

Es una pieza fundida muy robusta, en ocasiones y dependiendo de su longitud cuenta con trabes que le ayudan a resistir los esfuerzos provenientes de las pasadas y los burdos avances de desbaste de la pieza.

Husillo.

Va sólidamente fijado sobre la fundición y es hueco para que, el medio de sujeción (chuck de mordazas universales) pueda almacenar barras de cierta longitud, el movimiento motriz es mediante un motor eléctrico, el cual trasmite su fuerza por medio de poleas al eje del husillo.

Contra cabezal.

Se encuentra sobre la línea de acción del eje del husillo en el extremo opuesto a éste, la función principal del contra cabezal es colocarle un contrapunto y así poder sujetar la pieza con mayor firmeza, pero también puede sujetar brocas, escariadores, terrajas, etc.

Carro.

Éste desliza sobre las guías entre el husillo y el contra cabezal, sosteniendo el portaherramientas, el cual finalmente, será el que realice el mecanizado final.

Mecanismo de avance.

El mecanismo de avance es mediante tornillos embalados los cuales tienen una eficiencia del 90% que reduce la fricción y por ende la fuerza para poder ejecutar movimientos longitudinales, ambos ejes, tanto X como Z son movido mediante tornillos de bolas.

Porta herramientas

Módulo cuya función es sujetar la herramienta de corte requeridas para el mecanizado de la pieza.

Control.

En un torno CNC constituye la parte de mayor importancia, ya que el control es el encargado de interpretar los código que se generaron con respecto a la geometría deseada, esta esencial parte de un torno es lo que lo diferencia a grandes rasgos de uno convencional.

2.2.2 Clasificación

Los tornos se pueden clasificar por:

- La disposición de la pieza a mecanizar
  1. Horizontal.

     El eje de revolución de la pieza es paralela al piso, igualmente el eje longitudinal, existe pandeo, natural, debido al peso de la pieza y a la fuerza de gravedad.
  2. Vertical.

     En esta disposición no existe pandeo, pero se requieren de aditamentos más robustos para poder sujetar la pieza, el eje de revolución de la pieza es perpendicular al piso.

- Por la forma de proveer propulsión
  1. Humano.

     El movimiento del husillo se da mediante un movimiento cíclico realizado por el operador.
  2. Eléctrico.

     El movimiento es ejercido por un motor eléctrico, para el cual, su velocidad es controlada, ya sea por medio mecánicos o electrónicos.

- Por su forma de operación
  1. Automático.

     Una vez programado el torno, mediante códigos G, el torno realizara todo el proceso de mecanizado sin la intervención humana.
  2. Manual.

     El operador del torno debe fijar las tolerancias, avances, velocidad y profundidad del mecanizado justo cuando lo está realizando.

- Por la disposición de herramientas
  1. Tarea específica.

     La herramienta de corte tiene un receptáculo fijo y puede ser cambiada mediante la remoción de perno que la mantiene fija, la operación por lo tanto es manual.
  2. Revolver

     Están posicionadas circularmente en un pequeño tambor, el cambio de estas herramientas, o el giro del tambor es manual.
  3. Automático.

     Tienen un acomodo circular y pueden ser tantas herramientas acepte la geometría de la fundición del torno, el cambio de estas herramientas está indicado por actuadores controlados por computadora.

2.3 Software de asistencia.

El diseño asistido por computadora es una disciplina que estudia el uso de sistemas informáticos como herramienta de soporte en todos los procesos involucrados en el diseño y fabricación de todo tipo de piezas.

El uso cooperativo de herramientas de diseño y fabricación a dado lugar a la aparición de una nueva tecnología denominada "Fabricación Integrada por Computadora", como último escalón en la automatización al que todas las empresas deben orientar sus esfuerzos.

Para convertir una idea en un producto es necesario pasar por dos proceso principales, el de diseño y el de fabricación, el proceso de diseño, se puede dividir en dos etapas el de creación y el de análisis, una vez finalizadas estas dos etapas se

procede con la etapa de fabricación, la figura 3 muestra un diagrama del proceso de diseño.

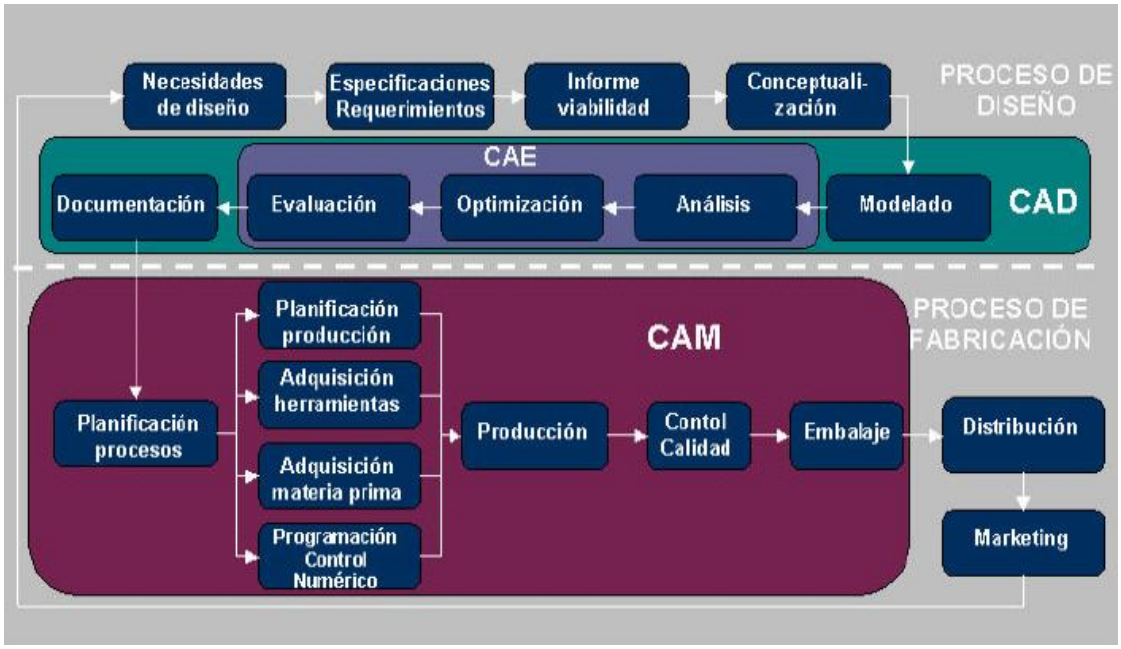


Figura 3. Proceso del diseño

2.3.1 Diseño asistido por computadora.

Se trata de tecnologías aplicadas a la creación, análisis modificación y optimización de un diseño, dicho procedimiento se puede generalizar como lo describe la figura 4.

De este modo cualquier aplicación que use una interfaz gráfica y realice alguna tarea de ingeniería se considera software CAD. Las herramientas CAD abarcan desde modelado geométrico hasta el análisis y modificación de un producto, como lo muestra la figura 4 entre estos extremos se encuentran las herramienta de análisis de tolerancias, propiedades físicas, análisis de elementos finitos, ensamblado, etc.

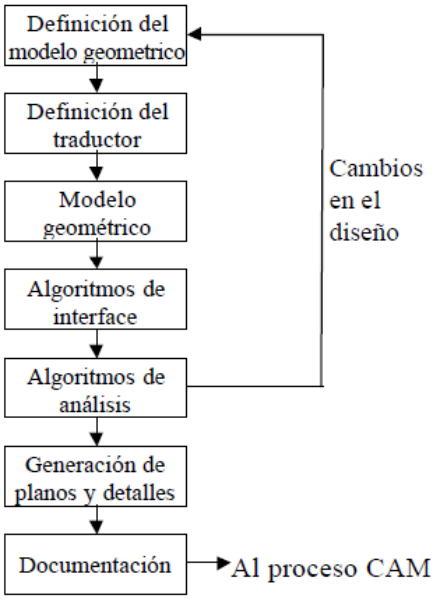


Figura 4. Proceso CAD

La geometría de un objeto se usa en etapas posteriores en las que se realizan tareas de cálculo análisis y fabricación, de esta forma se habla de la ingeniería asistida por computadora.

FASE DE DISEÑO	HERRAMIENTAS CAD REQUERIDAS
Conceptualización del diseño	Herramientas de modelado geométrico
Modelado del diseño y simulación	Herramienta de animación y ensamblaje
Análisis del Diseño	Aplicaciones de análisis generales (Método de Elemento Finito)
Optimización del Diseño	Optimización estructural
Evaluación del Diseño	Herramientas de acotación, tolerancias y lista de materiales
Informes y Documentación	Herramientas de dibujo de planos y detalles

Tabla 2 Herramientas CAD para el proceso de diseño

2.3.2 Manufactura asistida por computadora.

Se refiere al uso de software computacional de control numérico para crear instrucciones detalladas que conducen las maquinas herramientas para la manufactura de partes controladas numéricamente por computadora. Los fabricantes de diferentes industrias dependen directamente de la capacidad de la asistencia por computadora para producir partes de alta calidad, este proceso lo ilustra la figura 5.

Una de las técnicas más utilizadas en la fase de fabricación es el Control Numérico, es tecnología que utiliza instrucciones programadas para controlar máquinas herramientas para transformar materia prima en un producto terminado.

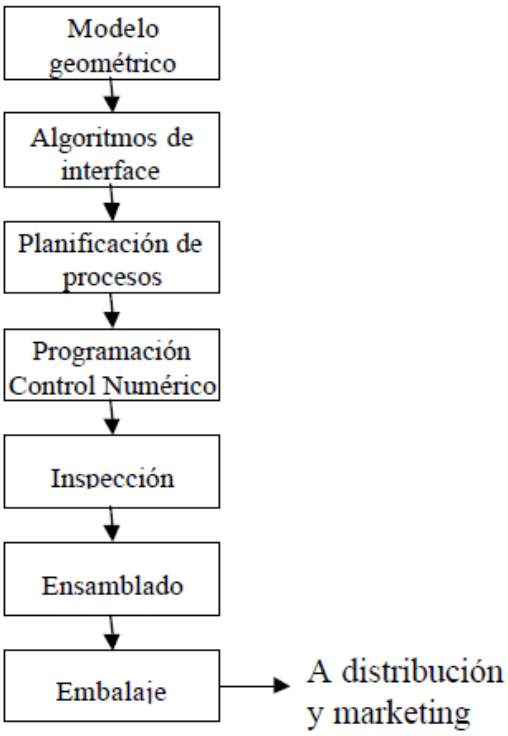


Figura 5. Proceso CAM

FASE DE FABRICACIÓN	HERRAMIETAS CAM REQUERIDAS
Planificación de procesos	Análisis de costos, especificaciones de materiales y herramientas.
Mecanizado de Piezas	Programación de Control Numérico.

Tabla 3 Herramientas en el Proceso CAM

El plan de procesos determina de forma detallada la secuencia de pasos de producción requeridos para la fabricación y ensamblaje, desde el inicio hasta la finalización del proceso de producción como queda ilustrado con la figura 6.

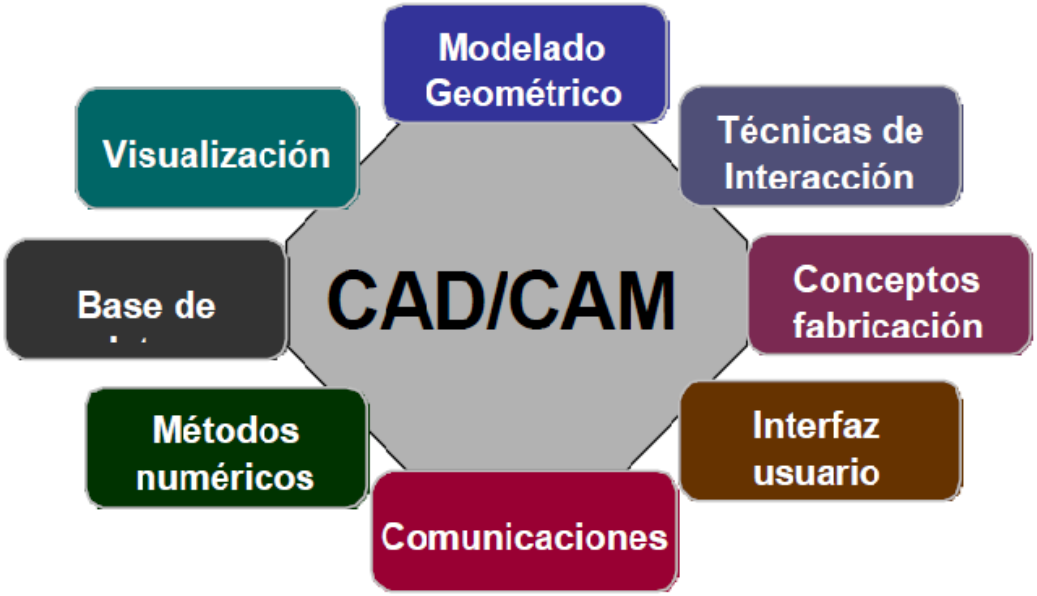


Figura 6. Componentes del CAD / CAM

2.3.2.1Programación de Control Numérico.

Este proceso requiere de funciones preparatorias para indicar el tipo de desplazamiento que la máquina va a realizar sobre la superficie que se trabaje, estos parámetros consideran varias condiciones como dureza del material, constitución del material del cortador y el acabado requerido.
Las funciones se denominan códigos G, que es un lenguaje mediante el cual se generan las instrucciones de donde y cuán rápido el dispositivo o máquina debe moverse además de la trayectoria a seguir
El lenguaje de código G comenzó bastante limitado, carecía de estructuras como bucles, operadores condicionales y variables declaradas por el usuario, en la actualidad la programación de código G es bastante compleja, generando así programas extensos, mejor conocidos como "Macros".

2.3.3 Ingeniería asistida por computadora

Es la tecnología que se ocupa del uso de sistemas informáticos que se encarga del análisis de la geometría generada por las aplicaciones CAD, permitiendo al diseñador simular y estudiar el comportamiento del producto para optimizar y refinar dicho diseño.

El método de análisis por computadora más ampliamente usado es el de elementos finitos, se utiliza para determinar tensiones, deformaciones, transmisión de calor, distribución de campos magnéticos, flujo de fluidos y cualquier otro problema de campos continuos los cuales serían prácticamente imposibles de resolver por cualquier otro método.

Este método requiere más de un modelado abstracto de descomposición espacial que propiamente la geometría del diseño, dicho modelo se obtiene eliminando detalles innecesarios.

Una vez creado dicho modelo, se genera la malla de elementos finitos para poder aplicar el método, el pre-procesador del software es el encargado de generar dichos elementos, después de realizar el análisis de cada elemento, la computadora ensambla los resultados y los visualiza, mostrando así, las regiones sometidas a mayor tensión, destacándose con cabios de color, la herramienta que generan este tipo de visualización se denominan post-procesador.

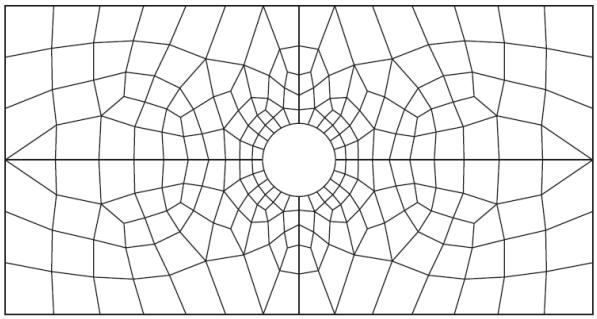


Figura 7. Malla de elementos finitos sobre una región rectangular teniendo un barreno central

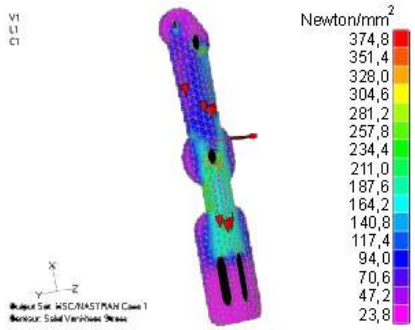


Figura 8. Análisis por elementos finitos

La ventaja de análisis y optimización permite a los ingenieros diseñadores saber cómo es que el producto final se va a comportar sin gastar tiempo y dinero en fabricar y evaluar prototipos reales.

2.4 Método de elemento finito

Es una técnica computacional para obtener soluciones aproximadas para problemas con valores frontera. Para simplificar, es un problema matemático donde una o más variables dependientes deben satisfacer una ecuación diferencial y así mismo satisfacer los valores en la frontera del dominio.

Las soluciones aproximadas basadas en métodos numéricos son frecuentemente usadas en problemas de este tipo, el Análisis por Elemento Finito es una herramienta para obtener éstas soluciones aproximadas.

Aun así éste método puede llegar a ser complejo, ya que uno de sus fundamentos está basado en la desertización de los cuerpos de estudio, y debido a la existencia de varias divisiones, se deberá realizar una o más ecuaciones para representar el comportamiento de cada división del cuerpo.

Si se tiene pensado emplear este método es necesario asumir ciertas condiciones:

1. Una función continua bajo un dominio global, puede aproximarse mediante una serie de funciones operando bajo un número de subdominios, éstas series son continuas y pueden aproximarse a la solución exacta.

2. Los subdominios, los cuales son divisiones del cuerpo principal son llamados Elementos Finitos.
3. Los puntos que unen y conectan los elementos son llamados nodos.
4. La función que represente el comportamiento en los nodos deberá ser continua en las fronteras.
5. La función que existe bajo el dominio es explícitamente resuelta para los puntos nodales.
6. Las variables nodales se refieren a los grados de libertad, y son 3 de desplazamiento y 3 rotacionales para el sistema de coordenadas cartesianas, y es aplicado específicamente para el análisis de esfuerzo, en el cual, las variables nodales son deflexiones sufridas por la estructura en los puntos nodales.
7. El conjunto de los elementos finitos representa una aproximación a la geometría del cuerpo, y con ello se obtiene gran exactitud en el estudio de la pieza.

En la figura 9 describe un volumen de un cierto material teniendo en cuenta las propiedades físicas de éste, el volumen representa el dominio de un problema con valores frontera, para fines de simplicidad se considera $\emptyset(x,y)$ como una variable de campo que va a ser determinada en todo $P(x,y)$, teniendo en cuenta esta restricción esto nos conlleva a una solución exacta, ésta solución es una expresión algebraica de forma cerrada de variables independientes, en problemas prácticos, esto tiene un grado de complejidad bastante elevado.

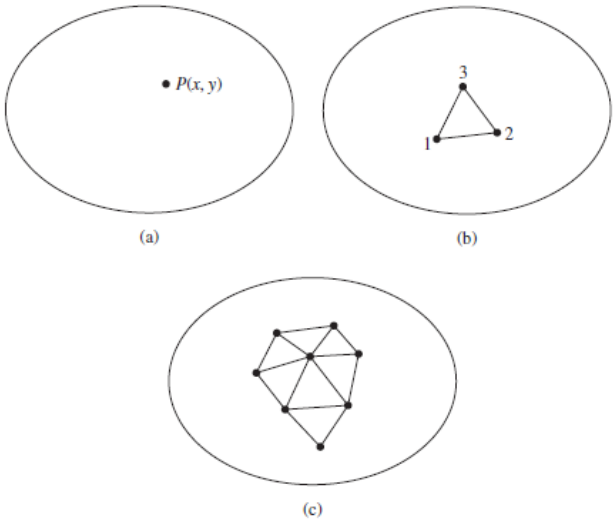


Figura 9. Ejemplificación de Dominio, Subdominio y Nodos.

En la figura 9 b) un elemento triangular rodea un subdominio del área de interés, este elemento no es un elemento diferencial, es un Elemento Finito.
Los vértices del elemento triangular, que están numerados son nodos, un nodo es un punto específico en elemento finito el cual el valor de campo va a ser calculado.
Los nodos exteriores están localizados en la frontera del elemento finito y pueden ser usados para conectar un elemento adyacente, los nodos que están dentro del elemento son nodos interiores y no pueden ser conectados.

2.5 Herramientas de corte

Son muchas clases de herramientas de corte que se utilizan, pudiéndose desglosar en dos categorías distintas:

1. Las que tienen un solo filo de corte, es decir, las herramientas de corte de punta única tales como las herramientas usadas en los tornos.
2. Las que tienen muchos filos de corte, es decir, las herramientas de corte múltiples tales como las fresas.

2.5.1 Herramientas de corte de punta única

Es una pieza de acero rápido o aleado, actualmente se usan materiales con recubrimientos o algunos con durezas muy elevadas, pueden obtenerse en varias medidas, longitudes y formas, con la aparición de los porta insertos, éstos adoptan formas prefabricadas, los cuales no se re afilan, solo se remplazan.

La eficiencia de una herramienta de unta única se puede juzgar por:

1. La facultad de la herramienta para quitar material
2. La calidad del acabado de la pieza mecánica
3. La cantidad de trabajo de mecanizado realizado por la herramienta antes de que sea necesario cambiarla o re afilarla.
4. La forma de filo correcta para la acción a ejecutar.
5. La elección correcta del tipo de herramienta para el corte de material que debe mecanizarse.
6. Velocidad de pasada, de avance y profundidad
7. El Tratamiento térmico de la herramienta a usar.
8. Elección correcta y uso eficaz de los refrigerantes.
9. La forma de la pieza a mecanizar.

2.6 Velocidad de corte

Es la velocidad del movimiento de corte, expresada por la fórmula 2.6.1, dicho de otro modo, la velocidad relativa entre la herramienta y la pieza en el punto de máximo recorrido en que se separa la viruta.

$$Vc = \frac{Espacio\ recorrido\ (m)}{Tiempo\ empleado\ (min)} \qquad 2.6.1$$

La velocidad de corte es igual a la longitud de la circunferencia mayor de la herramienta o de la pieza, por el número de vueltas que giran en la unidad de tiempo. Por tanto, en las máquinas-herramientas como el torno, la taladradora, la fresadora y otras, la velocidad de corte viene dada por 2.6.2, (kenammetal 2012).

Vc = Velocidad de corte (m/min)

D = Diámetro de las piezas o herramienta (mm)

n = velocidad del giro (rpm)

$$Vc = \frac{\pi * D * N}{1000} \qquad 2.6.2$$

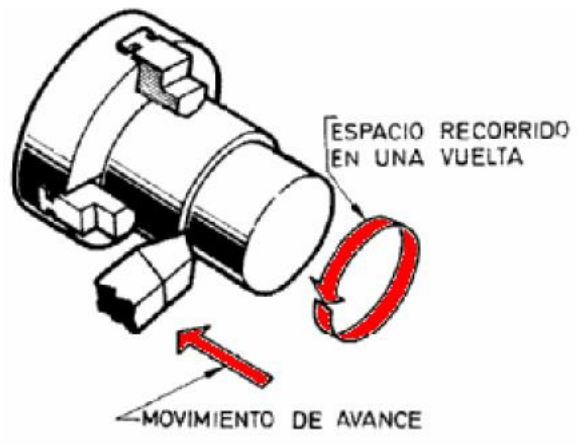


Figura 10. Movimiento de corte y de Avance

2.6.1 Influencia de la Velocidad de Corte

Experiencias realizadas con una determinada herramienta, trabajando el mismo material y sin modificar el avance ni la profundidad de pasada, han demostrado que:

- Para bajas velocidades de corte el rendimiento es pequeño;
- Aumentando la velocidad, aumenta el rendimiento.

A partir de una velocidad de corte más elevada, el rendimiento de la herramienta disminuye notablemente, por el aumento de temperatura, reblandece el filo, (Curso manual part programming 2012).

2.7 Velocidad de avance

Más conocida simplemente como avance, es la velocidad del movimiento de avance o, también, la velocidad con que se desplaza el punto de aplicación de la herramienta respecto a la pieza. Se expresa en milímetros por revolución para unas máquinas, en milímetros por minuto para otras y, en las de movimiento rectilíneo alternativo, suele hacerse en milímetros por minuto o en milímetros por carrera útil, (Curso manual part programming 2012).

2.7.1 Influencia de la velocidad de avance y profundidad de pasada

Cuando se aumenta la sección de la viruta, debe disminuirse la velocidad de corte, para que la duración del afilado de la herramienta sea la misma. Sin embargo, tal reducción no es proporcional ni con el avance, ni con la profundidad de pasada. Así, por ejemplo, para la misma duración del afilado, aumentando el avance en el 50%, sólo es necesario reducir la velocidad de corte en un 20%, incluso con mayor producción de viruta, (Curso manual part programming 2012), en la figura 11, hace referencia a los términos usados.

Otro tanto sucede si se aumenta la profundidad de pasada en un 50%, con una disminución del 10% de la velocidad de corte. No obstante lo dicho, el avance viene determinado principalmente por:

- Fase del trabajo, desbaste o acabado
- Robustez de la máquina
- Robustez de la herramienta

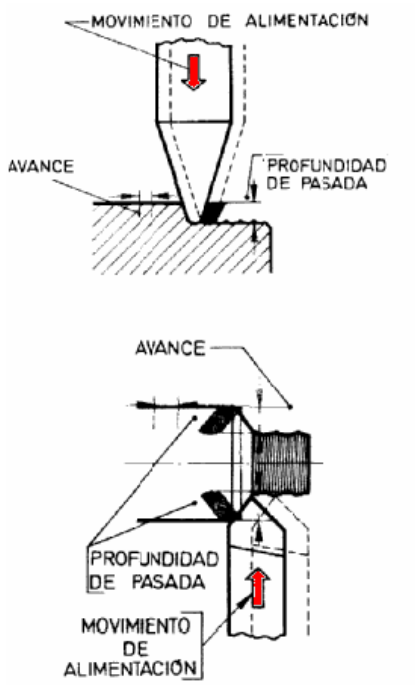


Figura 11. Profundidad de pasada

2.8 Sección de viruta

Es la superficie de la sección transversal de la viruta. Se expresa en mm^2 y se calcula por la ecuación:

$$A = Vs * a \qquad \text{Ecuación 2.8.1}$$

Donde:

A=Superficie de la sección transversal de la viruta

Vs = avance.

a = profundidad de pasada.

2.9 Normalización

2.9.1 Asociación nacional de fabricantes eléctricos.

NEMA, por sus siglas en inglés,(National Electrical Manufacturers Asociation), es una asociación estadounidense que estableció una amplia gama de estándares para encapsulados de equipamientos eléctricos, publicados bajo el nombre de "NEMA standards publication".

El objetivo fundamental de estos estándares es brindar servicios de calidad y seguridad de los productos eléctricos, en su diseño, fabricación e implementación.

Un encapsulamiento NEMA responde a diversos agentes ambientales tales como agua, polvo, aceites, refrigerante, o atmósferas que contengan agentes agresivos.

2.9.2 Cono morse.

Serie de conos pertenecientes al sistema originado por la compañía "Morse Twist Drill and Machine Company", para los cuales ha sido definida en el sistema tradicional como una conicidad por pie, fijada para el sistema internacional en la recomendación ISO/R296, la figura 17 ilustra el cono morse y sus medidas.

Capítulo III

3. Metodología

Al inicio de este proyecto se contó únicamente con una fundición para torno CNC de dos ejes, mostrado en la figura 13, la habilitación de esta fundición requería de ciertas piezas para el montaje de los elementos necesarios para el correcto funcionamiento de esta máquina-herramienta, el diagrama de necesidades se ilustra en la figura 12.

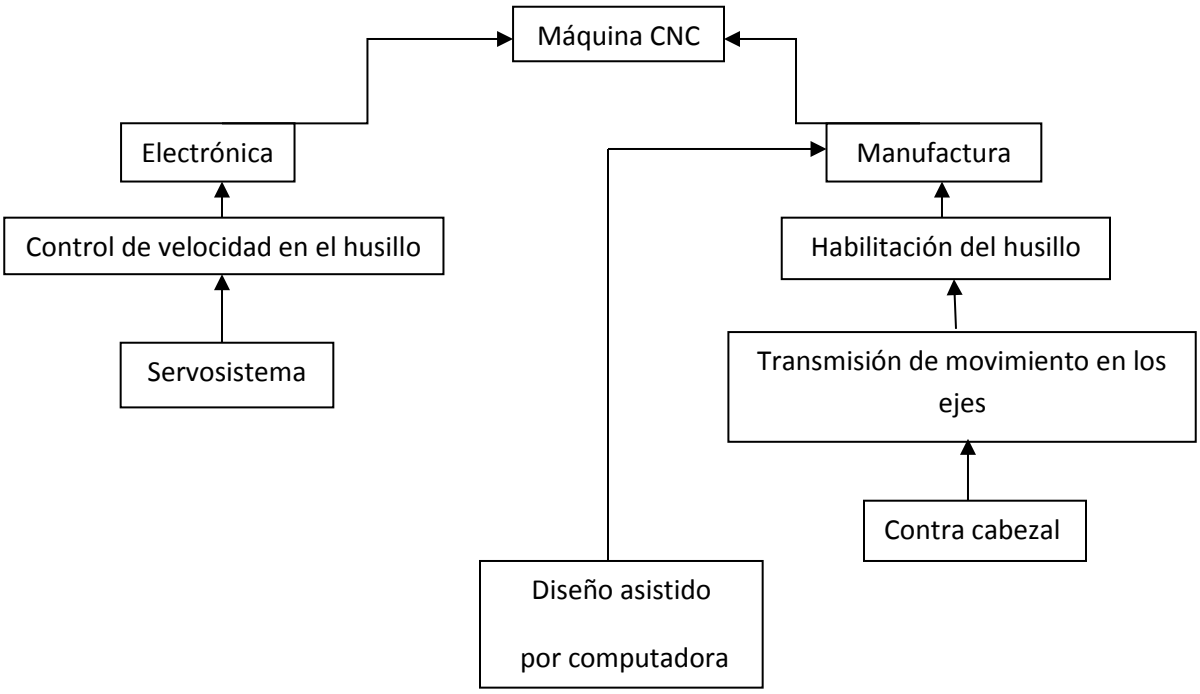


Figura 12. Diagrama de necesidades

El alcance de este trabajo se limita a habilitar el funcionamiento mecánico de los ejes y el correcto funcionamiento eléctrico y mecánico del husillo.

Figura 13. Fundición torno CNC

La primera asignación fue realizar una evaluación de las condiciones en las que se encontró la fundición de la máquina. De forma general la evaluación consistió en indicar los elementos existentes e identificar los componentes faltantes para el funcionamiento mecánico, los resultados de esta evaluación están plasmados en la tabla 4.

	Elementos con los que se encontró	Elementos necesarios para su funcionamiento
Husillo	Flecha principal y rodamientos en buen estado	• Acoplamiento mecánico del chuck • Motor eléctrico • Sujeción del motor eléctrico • dispositivo de transmisión de movimiento
Ejes	Fundición y tornillos embalados en buen estado	• Acoplamiento mecánico ente los servomotores y el tornillo embalado para cada eje
Contra cabezal	Sólo se contó con la fundición del contra cabezal	• Adaptación para punto giratorio
Carro de desplazamiento	Se encontró en buenas condiciones, sin dispositivo de sujeción de herramienta	• Dispositivo de sujeción de herramienta de corte

Tabla 4. Evaluación general

3.1.1 Diseño de acoplamiento mecánico de husillo

Se adquirió un Chuck universal de la marca phase de 6 pulgadas de diámetro de 3 mordazas, los elementos de sujeción de este dispositivo es mediante tres tornillos, y por parte de la fundición la sujeción se da mediante cuatro tornillos y una "pestaña" que serviría de arrastre, además de que la fundición cuenta ya con un cono de acoplamiento, cuya función es de asegurar el correcto asentamiento del cople mecánico del chuck.

A partir de esto se procedió con el diseño de dicho cople, con el uso de Unigraphics 7.5. La figura 14 hace referencia al diseño 3D de este cople, el cual fue mecanizado en acero de alto contenido en carbono.

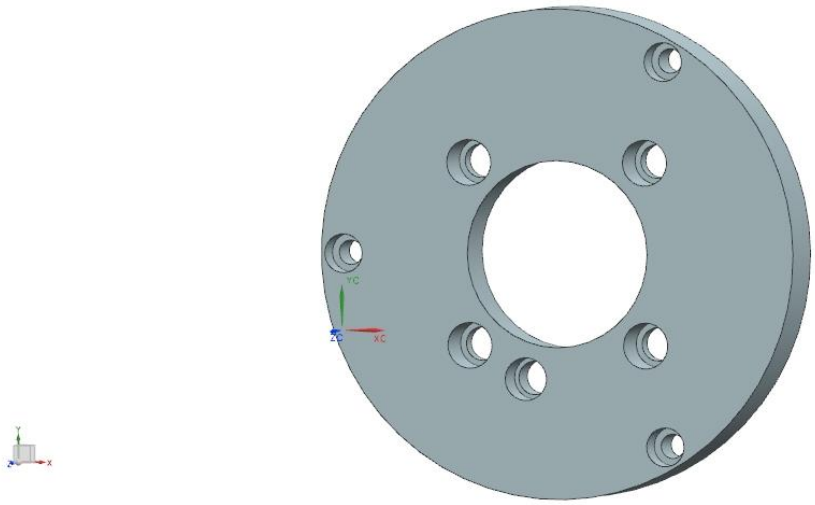


Figura 14. Diseño de cople mecánico para sujeción de chuck

3.1.2 Diseño de coples para los servomotores de los ejes

La necesidad de la fabricación de estos coples reside en que la universidad ya contaba con los servomotores, estos fuera de especificaciones del ámbito dimensional, es decir son más pequeños que aquellos para los cuales la fundición fue originalmente diseñada.

Se tomaron en cuenta las dimensiones de los motores que por norma internacional corresponden a un NEMA 34, las cuales están expresadas en la figura 15

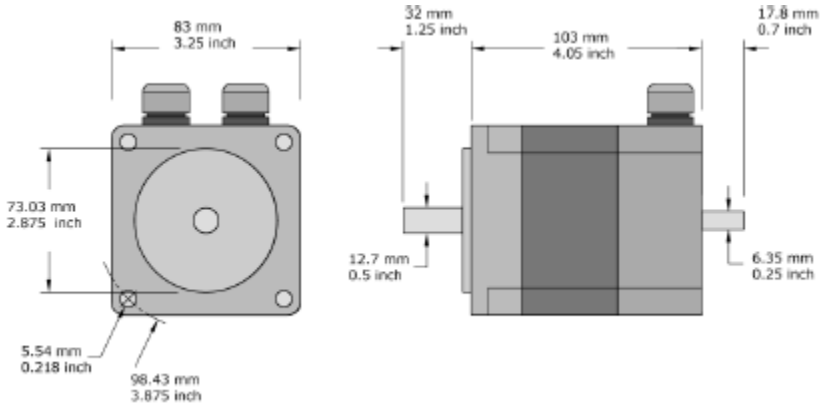


Figura 15. Dimensiones NEMA 34

Una vez tomadas en cuenta, tanto estas dimensiones como las de la fundición se procedió a realizar el diseño 3D en el programa Unigraphics 8, la figura 16 muestra dicho diseño, el cual por simplicidad, se optó por una forma rectangular, con un receptáculo para el motor eléctrico, solo se consideraron los elementos de sujeción.

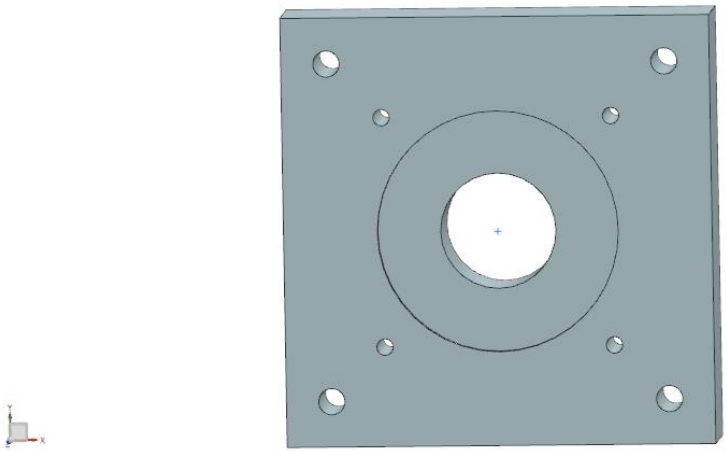
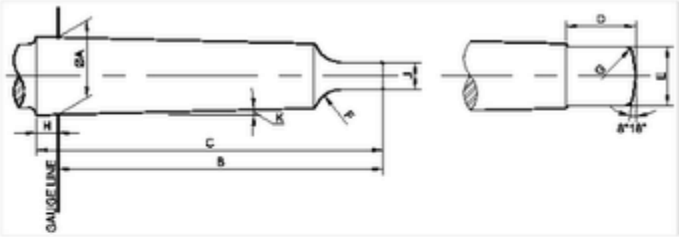


Figura 16. Diseño 3D cople de servomotor

3.1.3 Diseño de dispositivo para la sujeción de punto giratorio

Es un requisito indispensable en cualquier maquinado mediante torneado que la pieza este correctamente sujeta mediante el chuck y en el otro extremo por un punto, este último puede ser fijo o giratorio. Para este proyecto se optó por un punto giratorio para así facilitar el maquinado, la finalidad de un punto giratorio es evitar vibraciones del material con respecto a la herramienta, logrando así mejores acabados superficiales.

Se adquirió un punto giratorio con cono Morse número 4, como se ilustra en la figura 17, tomando en cuenta las dimensiones que este tipo de cono posee, se procedió con el diseño.



Cone Morse	Taper	A	B (max)	C (max)	D (max)	E(max)	F	G	H	J	K
0	19.212:1	9.045	56.5	59.5	10.5	6.0	4	1	3	3.9	1°29'27"
1	20.047:1	12.065	62	65.5	13.5	8.7	5	1.2	3.5	5.2	1°25'43"
2	20.020:1	17.780	75	80	16.0	13.5	6	1.6	5	6.3	1°25'50"
3	19.922:1	23.825	94	99	20.0	18.5	7	2	5	7.9	1°26'16"
4	19.254:1	31.267	117.5	124	24.0	24.5	8	2.5	6.5	11.9	1°29'15"
5	19.002:1	44.399	149.5	156	29.0	35.7	10	3	6.5	15.9	1°30'26"
6	19.180:1	63.348	210	218	40.0	51.0	13	4	8	19	1°29'36"
7	19.231:1	83.058	285.75	294.1	34.9	-	-	19.05	-	19	1°29'22"

Morse Taper Dimensions (mm)

Figura 17. Cono Morse

La figura 18 muestra el diseño de la pieza que aloja un cono Morse 4 con un ángulo de 1°29´15´´ y una cavidad para alojar una tarjeta de elementos sensores.

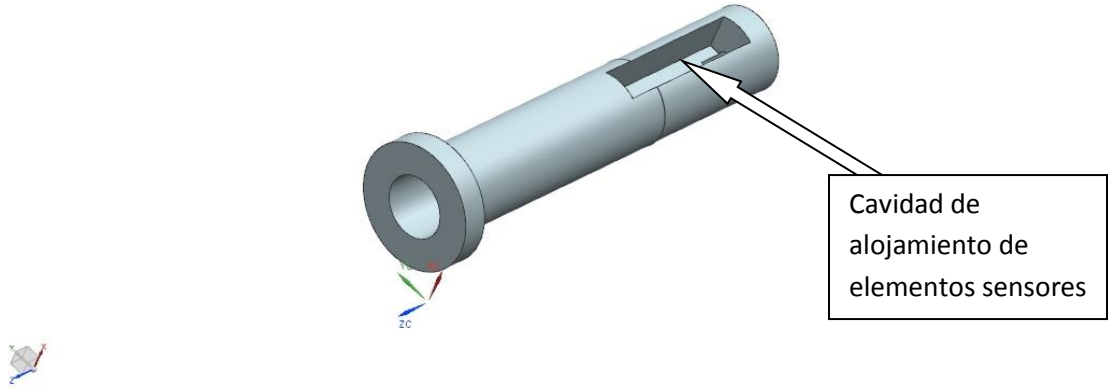


Figura 18. Diseño 3D de dispositivo para la sujeción de punto giratorio.

3.1.4 Diseño de dispositivo para la sujeción de herramienta de corte.

El dispositivo de sujeción de herramienta será sujeto a análisis por elemento finito, de este modo se seleccionara la geometría que mejor se comporte, en cuanto a concentración de esfuerzos se refiere.

La finalidad de reducir la concentración de esfuerzos en las piezas a diseñar es que tengan una vida útil superior.

Las piezas diseñadas constaran de dos piezas separadas, la primera que estará fija a la bancada de la máquina, y la segunda que estará sujeta a esta última por medio de dos tornillos M12 y M8 para cada geometría propuesta, en las figura 19 y en la figura 20 se presentan las geometrías propuestas.

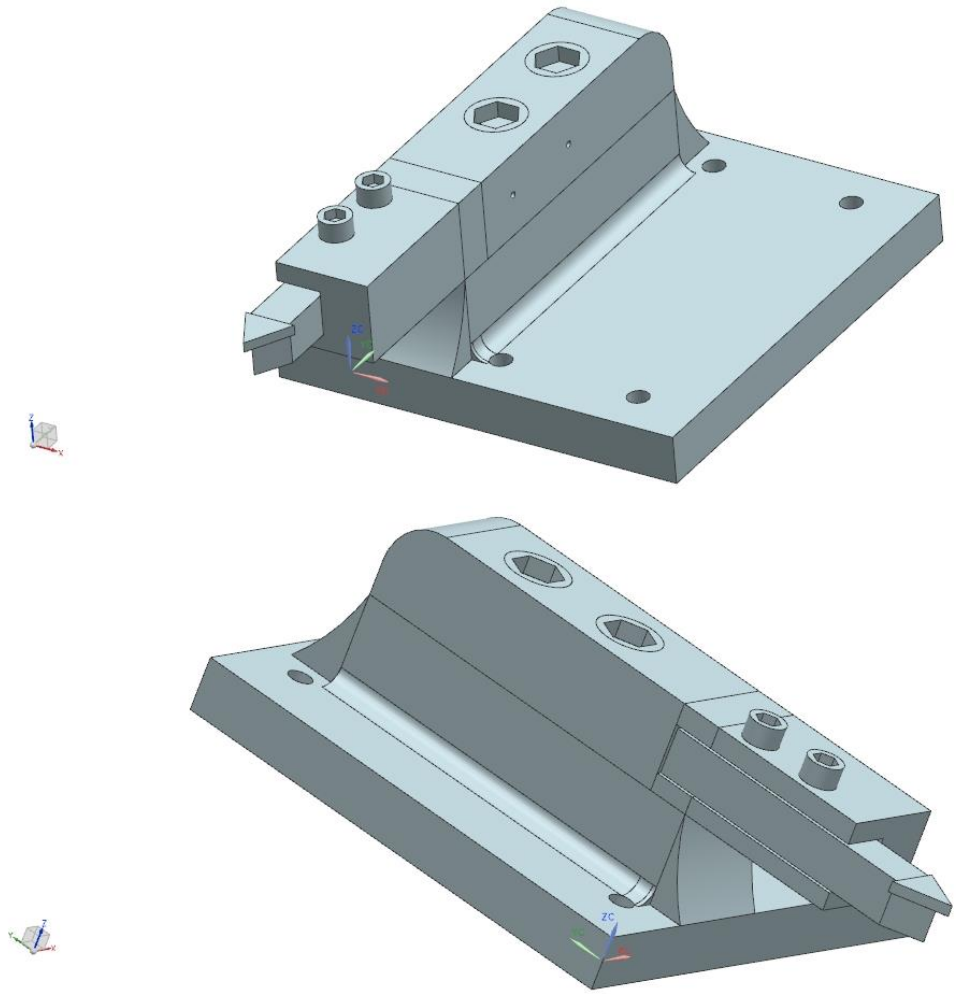


Figura 19. Geometría propuesta 1

En la geometría de la figura 19 se presenta un cuerpo alargado de mayor robustez la parte superior es sujetada a la inferior por tornillos M12 y el porta insertos es sujetado con tornillos M6.

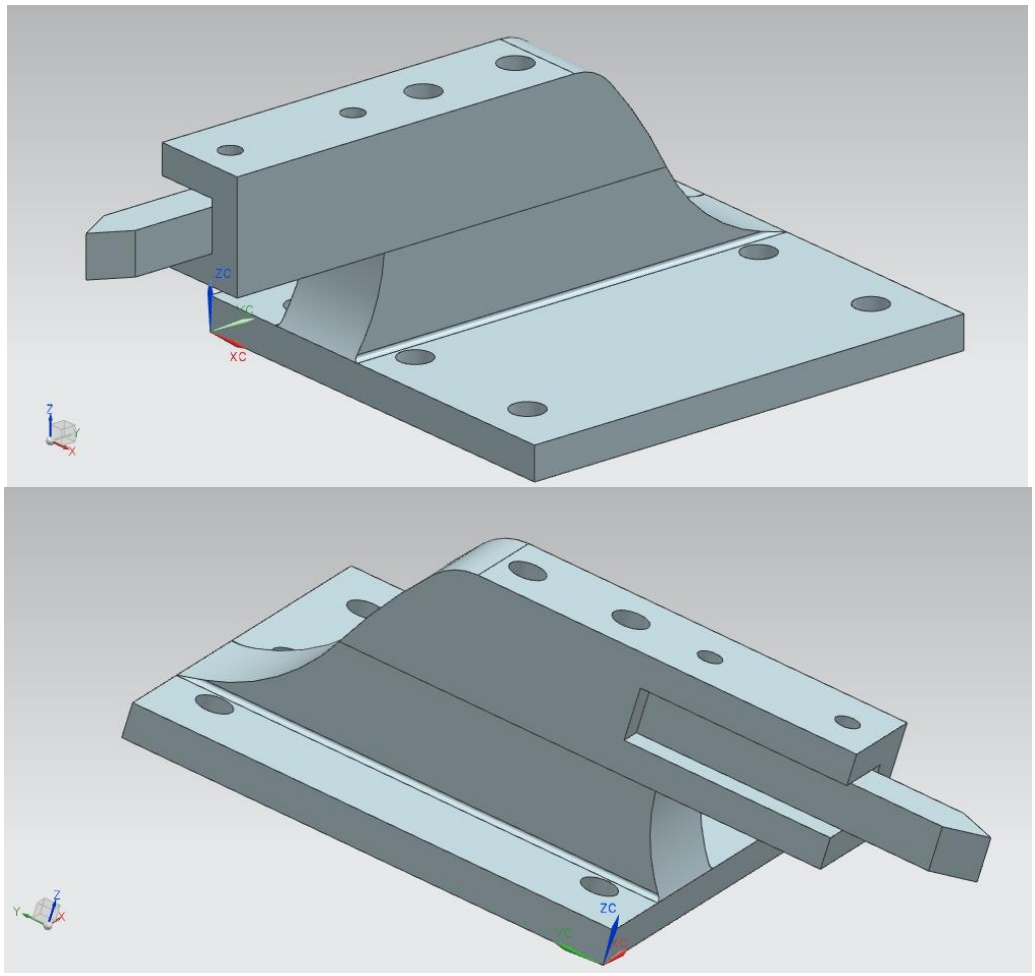


Figura 20. Geometría propuesta 2

El análisis de la pieza crítica, dada la concentración de esfuerzos que ésta lleva quedo de la siguiente forma, se simuló la ejecución de fuerzas perpendiculares a la superficie de corte para determinar que la robustez del dispositivo de sujeción de herramienta es la adecuada, así mismo se determinaron los desplazamientos nodales. El valor real de una fuerza de corte es de 5 KN al maquinar fundición cuya viruta tiene una sección transversal de 3.8 mm^2, en la figura 21 se observa el resultado de la simulación de concentración de esfuerzos.

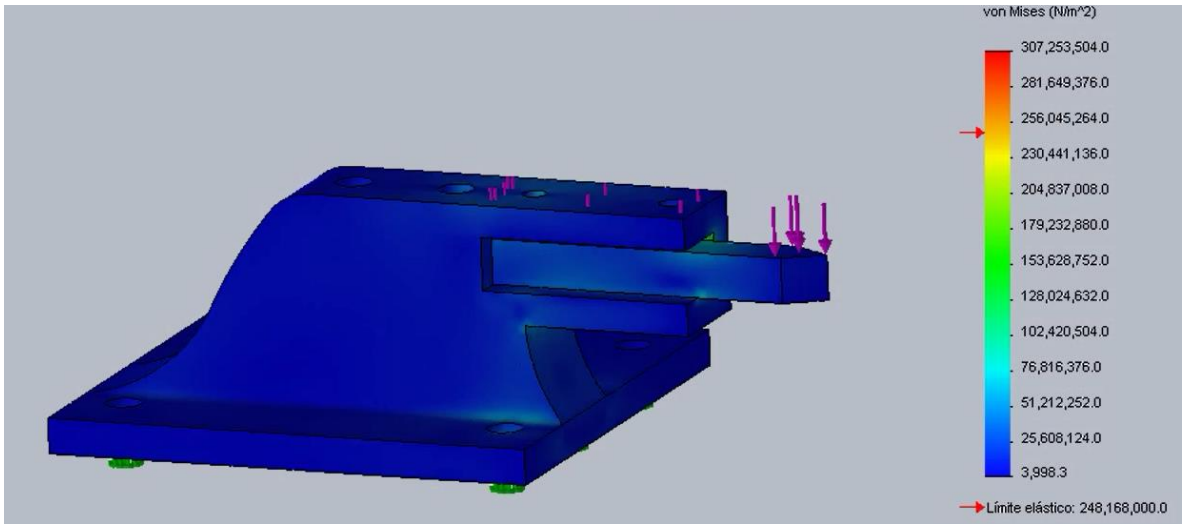


Figura 21. Concentración de esfuerzos

En la capacidad de mecanizado se involucran varios factores uno de ello es la robustez de la máquina, al analizar el desplazamiento o deformación que sufre la pieza, en la figura 22 se muestra un análisis de desplazamiento nodal, cuyos resultados nos garantizan una robustez absoluta y confiable en un proceso de torneado de fundición de acero.

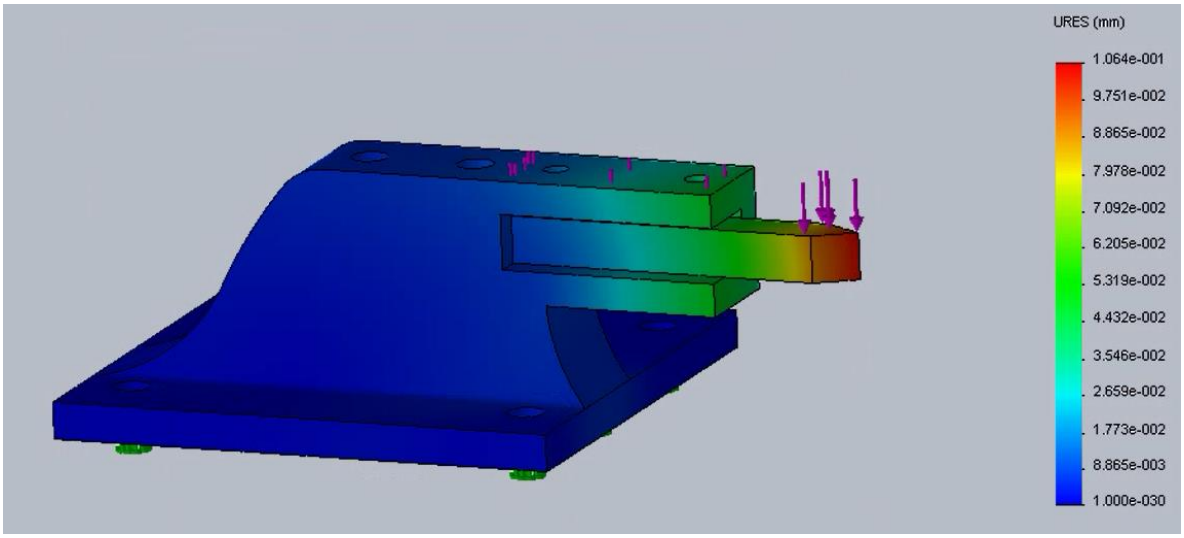


Figura 22. Desplazamiento nodal

3.2 Mecanizado de piezas diseñadas

3.2.1 Mecanizado de cople de chuck

La figura 23 muestra el cople mecánico del chuck, esta pieza fue manufacturada a partir de placa de acero de 1 pulgada de espesor, se le realizó un corte con oxiacetilénico con las medidas aproximadas con el fin de rectificarlas con un proceso de torneado, al igual que el careado. Para el barrenado se usó el taladro de banco que se encuentra en las instalaciones del taller de Ingeniería.

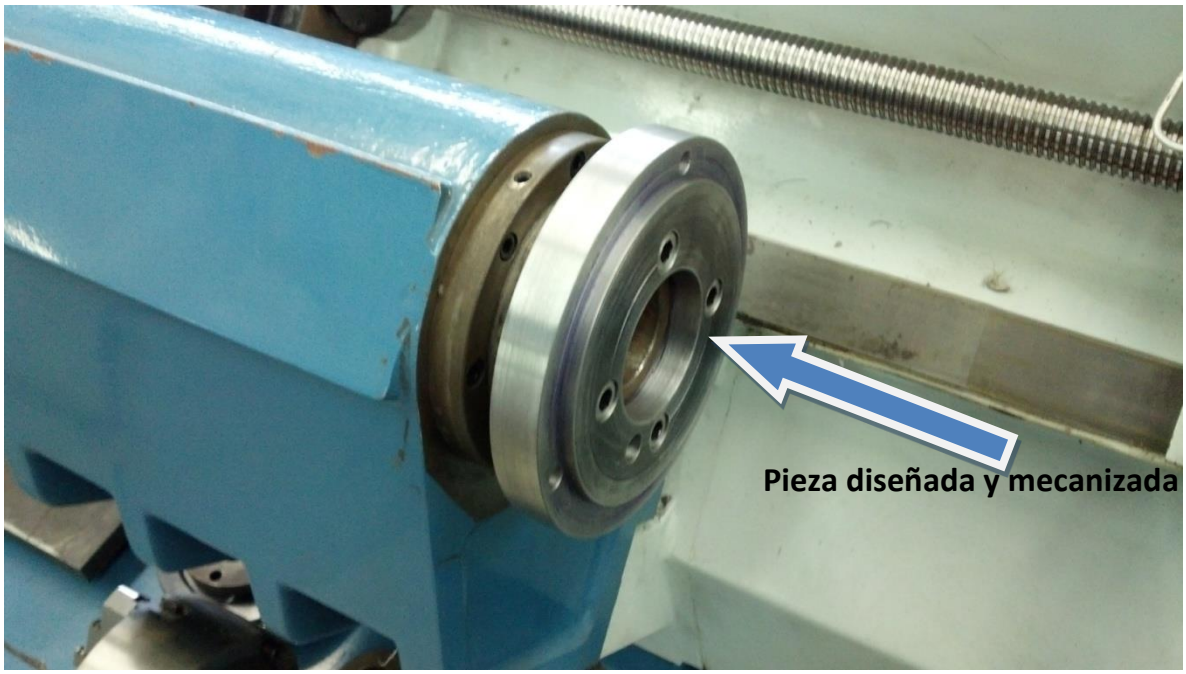


Figura 23. Cople mecánico del chuck

En conjunto con la habilitación del chuck, se tuvo en cuenta la sujeción del motor eléctrico que dará la fuerza de movimiento a dicho husillo, para esto se adquirió placa de acero de .75 pulgadas de espesor y se procedió a hacer los barrenos de sujeción pertinentes, con respecto a la fundición y al motor eléctrico a ser usado.

3.2.2 Mecanizado de coples de servomotores

El material usado para el mecanizado de estas piezas fue fundición de hierro, el mismo material del cual está hecho el cuerpo principal de la máquina a habilitar, se tomó un cubo de fundición y se rectificaron dos caras opuestas para poder tener un máximo agarre en la prensa, como lo muestra la figura 24. Esto con el fin de evitar vibraciones y así no romper insertos de las herramientas usadas o dejar un mal acabado a la pieza.

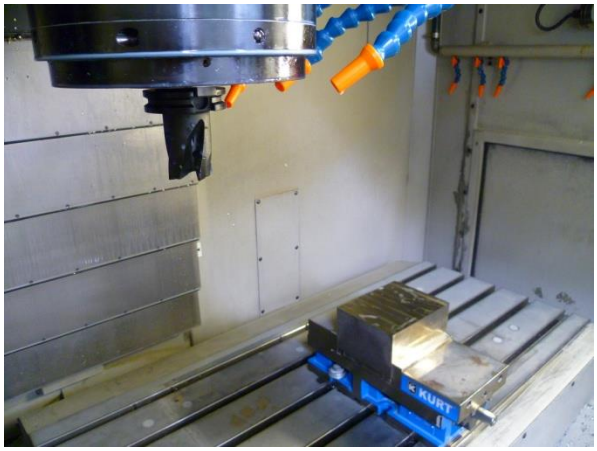


Figura 24. Sujeción de la pieza a mecanizar.

Estas piezas fueron mecanizadas en un centro de maquinado CNC de la marca Makino, para iniciar un proceso de mecanizado es necesario establecer los work-offsets de posicionamiento geométrico de la punta de la herramienta con respecto a la pieza, la figura 25 muestra la distancia de la punta de la herramienta a la cara plana de la pieza.

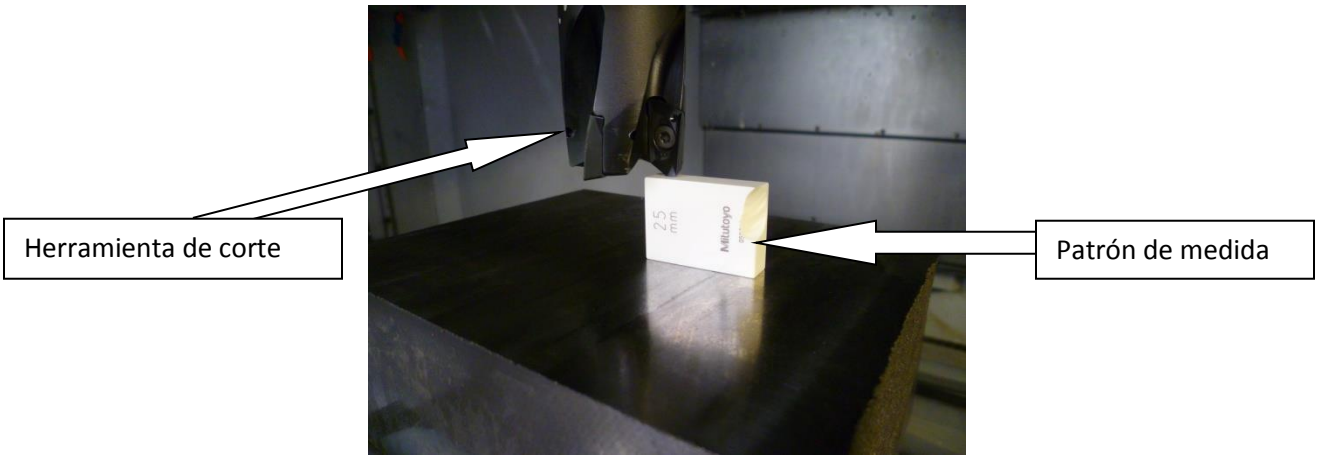


Figura 25. Distancia para determinar work-offset.

Ya que el espacio geométrico está establecido y las condiciones de corte son conocidas, según (Kenammetal 2012), se procede a iniciar el ciclo de mecanizado, el proceso de mecanizado lo ilustra la figura 26.

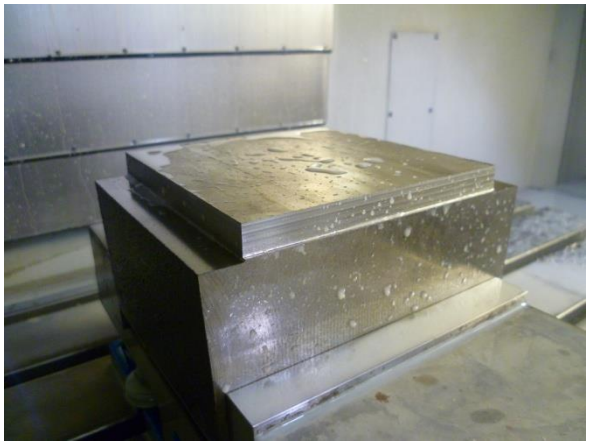


Figura 26. Proceso de mecanizado.

Cuando el programa está completamente cargado en la máquina, se comienza el ciclo, la figura 27 muestra como quedo la pieza cuando termino el ciclo de trabajo en el centro de maquinado.

Figura 27. Pieza finalizada en el centro de maquinado.

Para poder separar la pieza deseada del demás material sobrante se procedió a realizar un corte por electroerosión, la figura 28 muestra la forma que se sujetó la pieza en la máquina de electroerosión.

Figura 28. Sujeción de la pieza para corte por electroerosión.

Al realizar el corte, la cámara debe ser inundada con agua, por lo tanto la pieza tiende a acumular un poco de óxido, este es fácilmente removido con un acido especial para este proceso, después de dicho tratamiento la pieza está lista para ser presentada, como lo ejemplifica la figura 29.

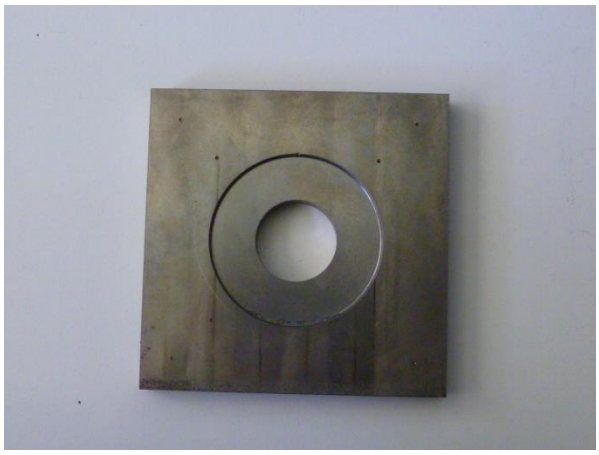


Figura 29. Cople de motores a ser presentado

El procedimiento de corte por electroerosión es demasiado caro, en cuanto a tiempo y precio, ya que el corte tardó cerca de 8 horas y la materia prima de corte que es hilo de latón consumió cerca de 200m, este procedimiento fue realizado ya que se contaba con la máquina apropiada para efectuarlo, para una segunda pieza se usara corte con sierra circular.

3.2.3 Mecanizado de dispositivo para la sujeción de herramienta de corte

El proceso de mecanizado del dispositivo de sujeción se dividió en dos partes, ambas fueron realizadas con las mismas condiciones de corte y en la misma máquina de mecanizado, la figura 30 es una evidencia de dicho proceso de mecanizado.

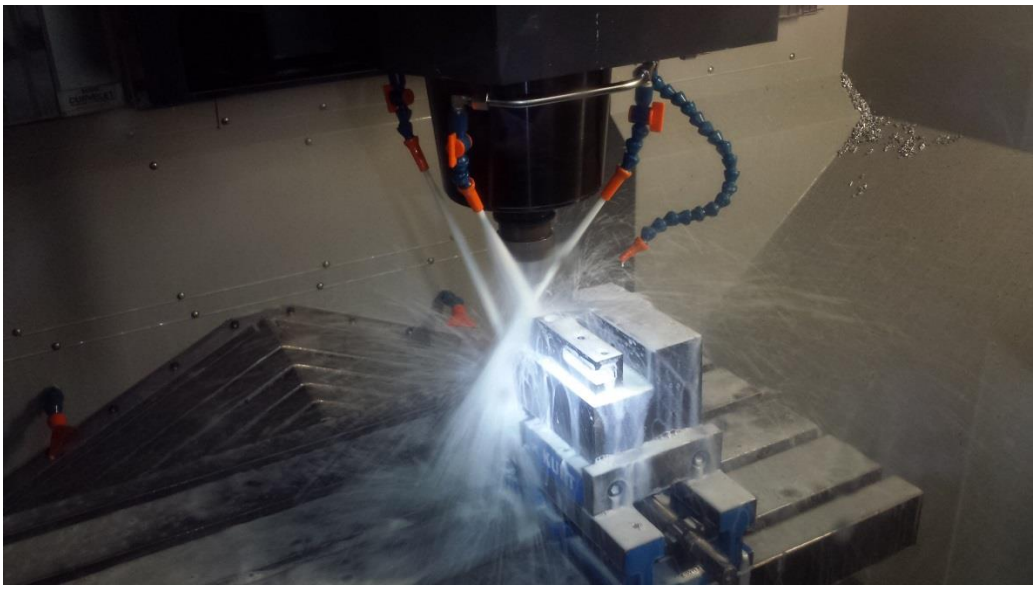


Figura 30. Mecanizado de dispositivo de sujeción de herramienta de corte.

Las siguientes figuras muestran, tanto el centro de maquinado, figura 31, como la máquina de electroerosión, figura 32.

Figura 31. Centro de maquinado MAKINO PS-95

Figura 32. Máquina de corte por electroerosión MAKINO DUO-43

3.2.4 Mecanizado de dispositivo de sujeción de punto giratorio

El mecanizado de este elemento fue usando un torno convencional, una fresadora y un taladro de banco, debido a la inclusión de elementos sensores de vibración.

El material usado fue barra cooled roll 1018.

Figura 33. Dispositivo de sujeción de punto giratorio

3.3 Ensamble de piezas mecanizadas

Las piezas una vez mecanizadas deberán ser ensambladas para verificar el correcto asentamiento, alineamiento y función mecánica.

3.3.1 Ensamble de piezas para la habilitación del husillo

Las piezas a ensamblar son el cople mecánico entre el chuck y el husillo, el motor eléctrico y la transmisión de movimiento entre estos dos elementos.

Con el cople del chuck listo se procedió a montarlo en el siguiente orden, primero se sujetó al husillo, como muestra la figura 34 ya que el diseño así lo requirió, posteriormente el chuck fue posicionado sobre el cople para su sujeción mediante tornillos, Figura 35.

Figura 34. Sujeción al husillo

Figura 35. Ensamble del chuck al cople

Una vez que la placa base del motor fue colocada y sujetada a la fundición se colocó el motor eléctrico, teniendo fijo el centro de la flecha del motor se determinó la distancia entre centros donde deberá ser colocado el sistema de transmisión de movimiento por poleas, la relación de movimiento entre el motor y el husillo será de 1:1, las bandas a usar serán bandas V, A-37. Ya que es el modelo que se aproxima a la distancia entre centros, y la óptima para dar la tensión final.

En la figura 36 se muestra el conjunto ensamblado del husillo completamente habilitado.

Figura 36. Ensamble del husillo

3.3.2 Ensamble de coples de servomotores

El ensamble del cople del servomotor a la fundición de la máquina está ilustrado en la figura 37, este ensamble está sujeto por cuatro tornillos M11. Fue mecanizado en fundición de hierro, cortado por medio de electroerosión, además de un proceso de barrenado simple.

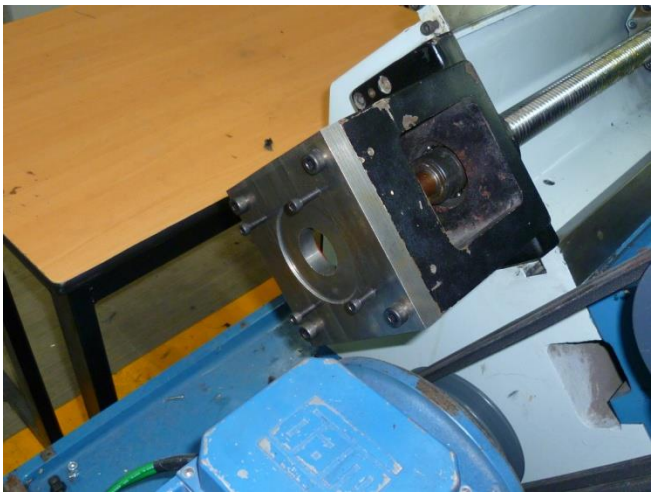


Figura 37. Ensamble de cople de servomotores

El ensamble del servomotor requirió de un cople mecánico entre la flecha y el tornillo embalado, en la figura 38 está ilustrado el montaje completo de un servomotor.

Dado que los coples son cilindros maquinados, y no coples anti vibratorios, se espera que estos causen entorpecimiento en el ajuste de las ganancias de los servoamplificadores, en la figura 39 se muestra el ensamble completo del servomotor.

Figura 38. Ensamble de servomotor1

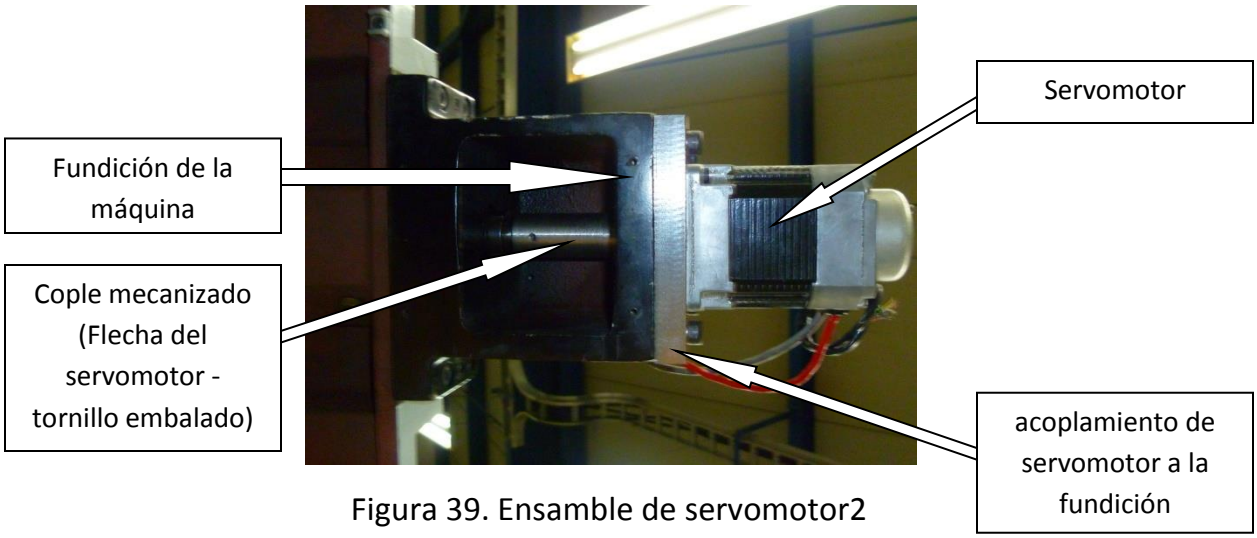


Figura 39. Ensamble de servomotor2

3.3.3 Ensamble de dispositivo de sujeción de punto giratorio

El punto giratorio es un elemento propio del torno que permite que al maquinar las vibraciones se vean reducidas al proporcionar un soporte extra en el punto más alejado del chuck, como lo muestra la figura 40.

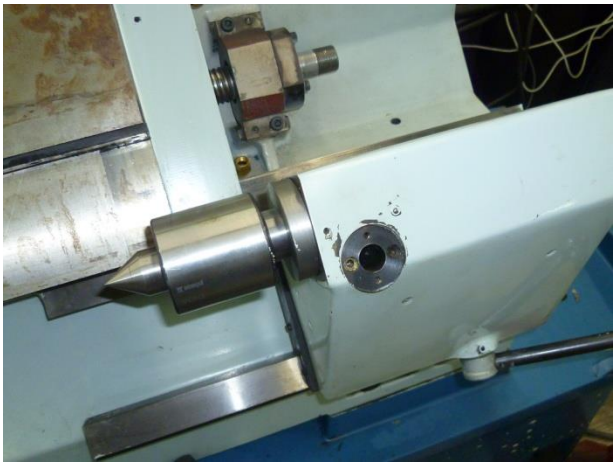


Figura 40. Ensamble de punto giratorio

Este elemento está sujeto a presión con el dispositivo mecanizado, mediante un cono de aproximadamente 2.5°, el elemento sensor se encontrara en la parte interior del mismo como lo muestra la imagen 41, la principal dimensión a censar es la vibración por medio de acelerómetros.

Figura 41. Acelerómetro en punto giratorio

3.4 Habilitación de tornillos embalados

El procedimiento de habilitación de este tipo de elementos consiste en una correcta limpieza para asegurarnos de no contaminar el lubricante a usar, que en este caso será grasa, la finalidad de brindar este tipo de servicio es de minimizar la fricción entre los elementos rodantes del tornillo, facilitando así el deslizamiento y disminuyendo el esfuerzo del servomotor, lo cual elimina la posibilidad de una sobre corriente eléctrica demandada por los servomotores.

El procedimiento a realizar fue retirar la tubería existente, y proceder a limpiar mediante un flujo constante de aire con una mezcla de un solvente poco agresivo como lo es gasolina blanca, esto con la finalidad de eliminar cualquier rastro de algún otro lubricante, la mezcla de lubricantes lejos de proporcionar una menor fricción solo destruye las propiedades de ambos, una vez completada esta operación se procede a ingresar la grasa por el mismo ducto por el cual se realizó la limpieza.

3.5 Cableado de sistemas

Para poder realizar una prueba de funcionamiento es necesario realizar las conexiones eléctricas y electrónicas que el sistema requiera, tomando en cuenta las especificaciones de consumo de corriente y tensión nominal a la cual están trabajando, para así poder determinar las protecciones necesarias.

3.5.1 Cableado de sistema eléctrico y electrónico.

Para lograr un correcto funcionamiento en el husillo, hablando en términos de control es necesario el uso de un variador de frecuencia, cuya finalidad se verá reflejada en la variación de revoluciones por minuto del husillo, el variador de frecuencia usado es marca Yaskawa modelo v1000, la figura 42 presenta un diagrama eléctrico general del variador de frecuencia.

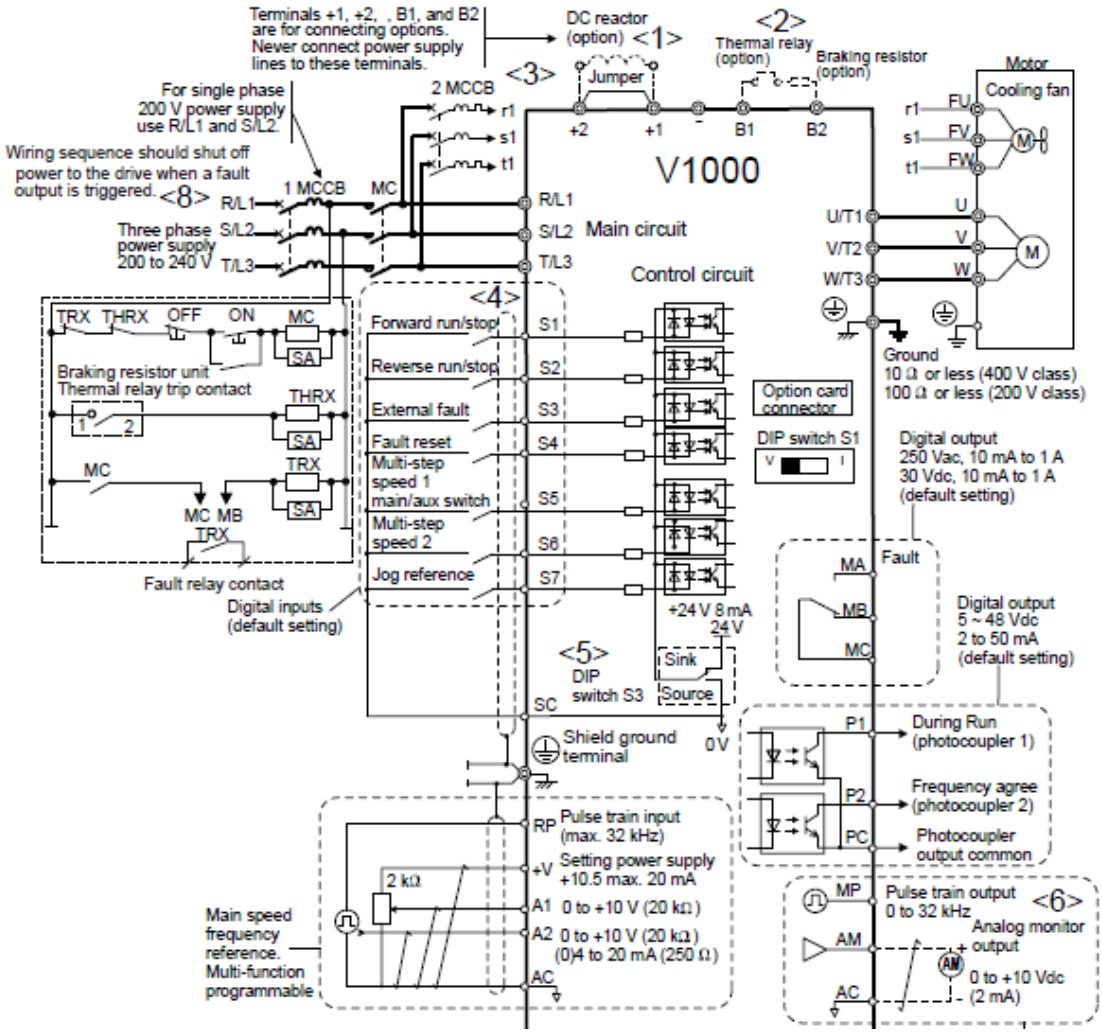


Figura 42. Diagrama eléctrico del variador de frecuencia

La protección recomendada por el fabricante de este variador es un interruptor termo magnético, cuya capacidad de interrupción será del 150% al 200% de la corriente nominal, para este caso se usó un interruptor de tres polos de 20A.

El procedimiento de conexión eléctrica se siguió según el manual de instalación del variador el cual estipula que debe trabajar a una tensión de 220 volts trifásica con un puente principal de conexión entre tierra física y neutro, Figura 43.

Figura 43. Conexión principal del variador de frecuencia

Para que este variador de frecuencia pudiera trabajar se siguieron procedimientos que estipula el manual de instalación, la figura 44 muestra un diagrama de flujo en el cual resume el procedimiento de inicialización, la parte más importante en este proceso fue ajustar algunos parámetros como lo son la frecuencia de referencia, la fuente de donde se tomará esta referencia, el tipo de control con el que se usará, el tipo de aplicación al cual estará sometido.

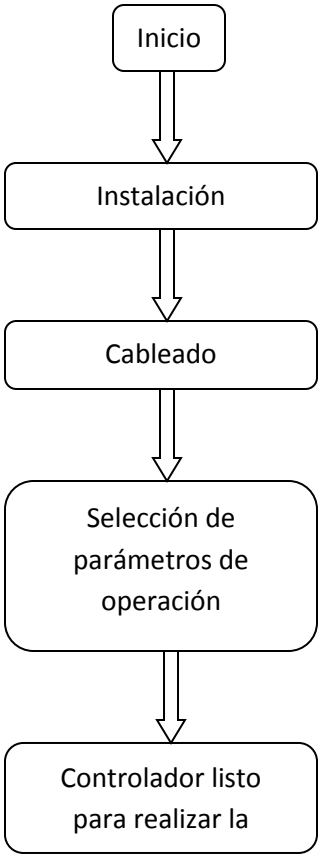


Figura 44. Diagrama de flujo de inicialización del variador de frecuencia

3.5.2 Cableado de servosistema

Las señales necesarias para la habilitación del servomotor son las siguientes.

- Signal GND
- +Ref In
- -Ref In
- Inhibit In
- +5v
- Hall 1
- Hall 2
- Hall 3

La figura 45 muestra el diagrama de conexiones.

La versatilidad de estos servosistemas es tal que realizar solo movimiento angulares es relativamente sencillo ya que no cuenta con elemento de retroalimentación, y la entrada puede ser directamente análoga desde una fuente de alimentación de corriente directa.

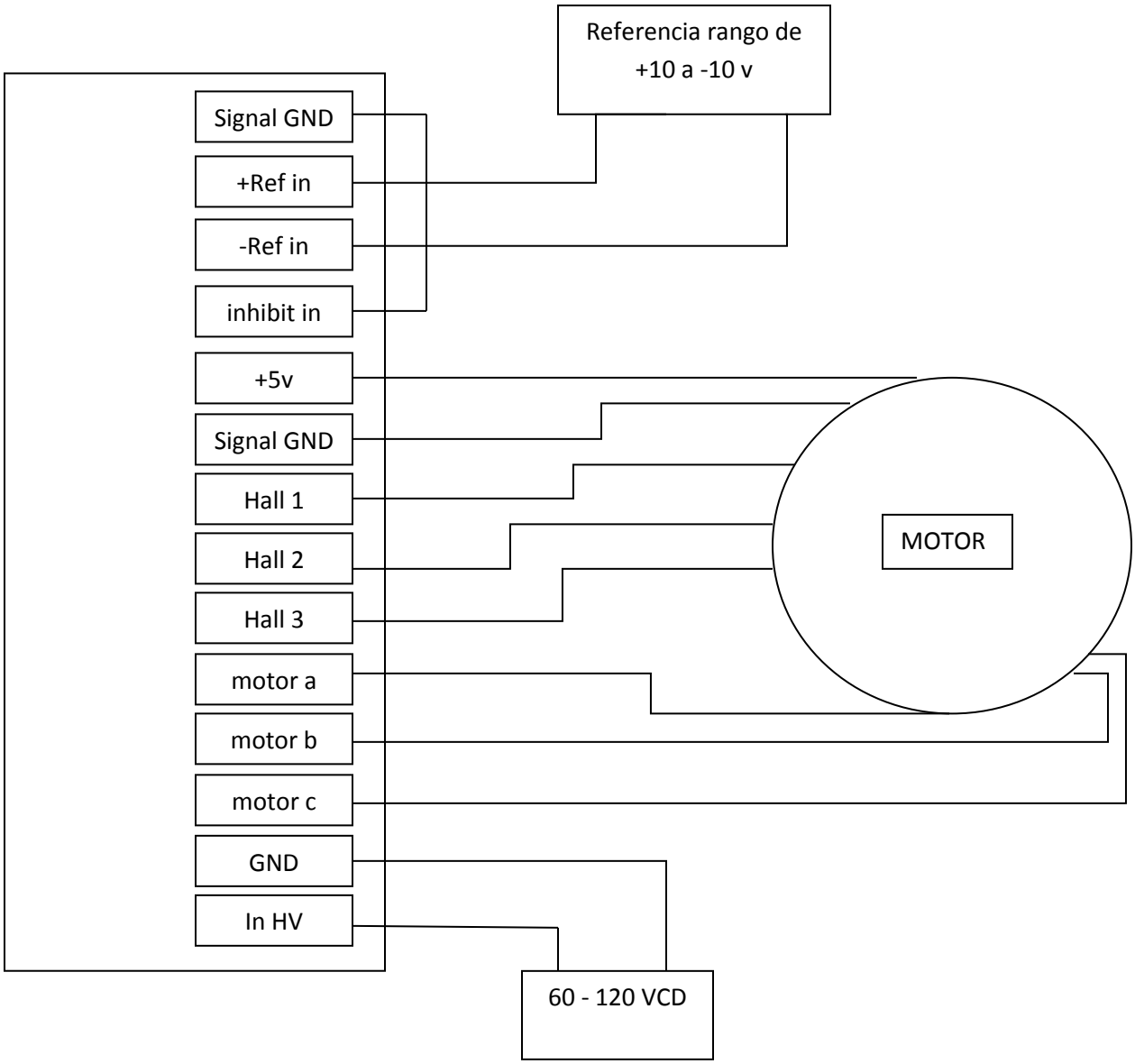


Figura 45. Diagrama de conexiones de servosistema

Capítulo IV

4. Pruebas funcionales y resultados.

En este capítulo se realizaran pruebas a los distintos elementos como se mencionó en la metodología (Capítulo III), con la finalidad de analizarlos y posteriormente emitir conclusiones de la operación de ésta máquina herramienta.

4.1 Prueba funcional de husillo

Para esta prueba se monitorearon varios factores sobre el variador de frecuencia, la figura 42, 43 y 44, muestran los valores obtenidos de dicha prueba, como lo son la señal de referencia, la cual está dada en Vdc, con un rango de 0v a +10v, corriente consumida por el variador con el husillo sin carga, las revoluciones por minuto (RPM´s) y el valor de tensión trifásica suministrada por el variador al motor.

Teóricamente si la señal de entrada es proporcional a las RPM´s, e igualmente la señal de referencia será proporcional en todo momento con la frecuencia que este manejando el variador en ese momento, la gráfica de los datos obtenidos deberá ser una línea recta en forma de rampa.

Como un caso especial los datos de corriente consumida por el variador deberán ser que a menores RPM´s, la corriente deberá ser de un valor alto, y a medida que la señal de referencia este aumentando la corriente deberá disminuir hasta llegar a un punto en el cual se estabilice.

4.1.1 Procesamiento de resultados de la prueba del husillo

Con los datos obtenidos en la prueba anterior al husillo se pueden realizar algunas gráficas, las cuales permiten una mejor comprensión del comportamiento del sistema. Las siguientes figuras muestran el comportamiento de algunos factores críticos durante la operación del torno CNC.

En la figura 46 se muestra la relación de la frecuencia en el variador y las revoluciones por minuto medidas directamente en el husillo de la máquina.

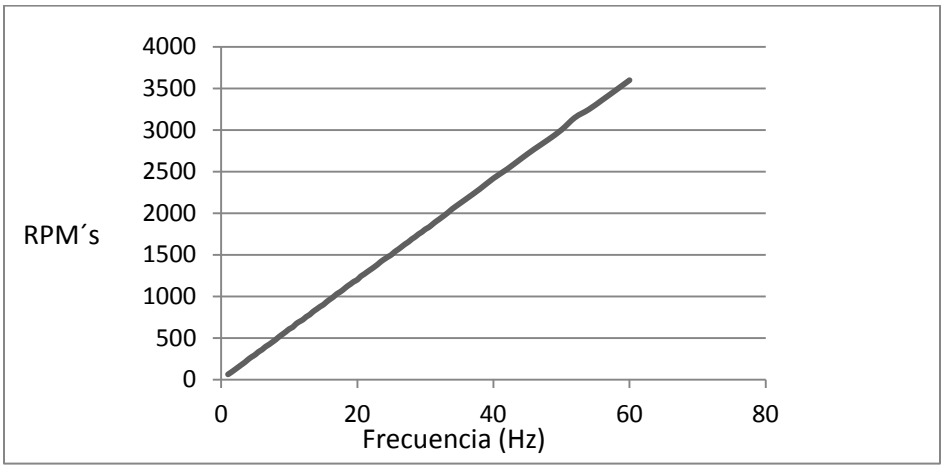


Figura 46. Relación de RPM´s y frecuencia de referencia

La figura 47 presenta la relación proporcional de la señal de referencia medida en volts corriente continua y las revoluciones por minuto de la máquina.

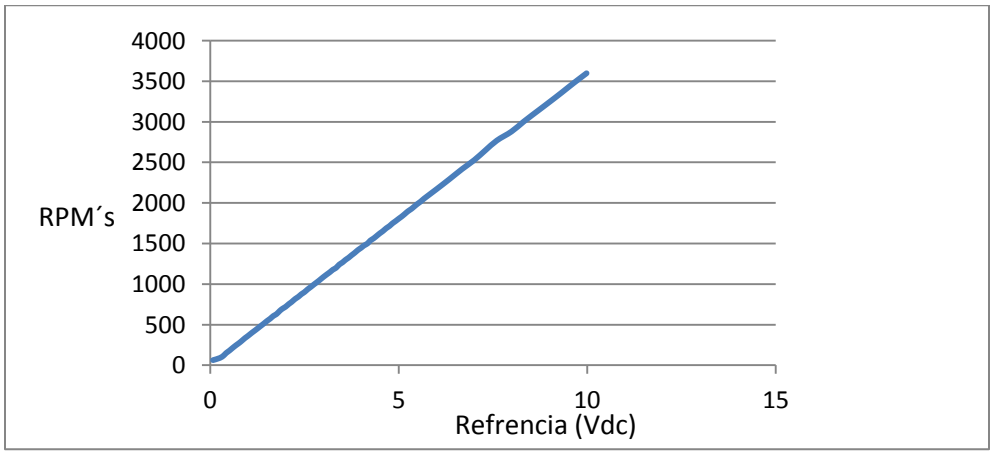


Figura 47. Relación de RPM´s y voltaje de referencia

La corriente que consume el variador de frecuencia instantáneamente en relación con las revoluciones por minuto esta presentada en la figura 48, como se puede observar esta relación no es lineal.

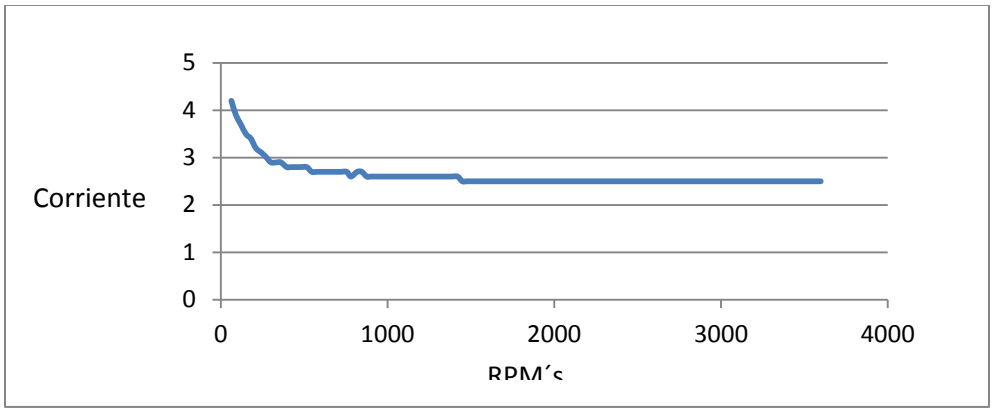


Figura 48. Relación de Corriente consumida y RPM´s

4.2 Prueba funcional de movimiento de ejes

Para realizar esta prueba de movimiento fue necesario realizar una adecuación mecánica y eléctrica a la máquina, ya que esta fue diseñada para servomotores un poco más grandes de los que se poseen, una vez teniendo el diagrama de conexiones se procede a alimentar el servoamplificador con 70 VCD, se realiza el arreglo de una fuente de tensión dual regulable la cual proporciona desde -10 volts hasta +10 volts, necesarios para suministrar el valor de referencia.

4.3 Prueba de lectura de sensor

Los datos de los tres ejes del acelerómetro son presentadas en la figura 49, (azul-eje X, verde-eje Y, rojo-eje Z), la velocidad de referencia en color morado y el eje medido del encoder en color verde obscuro, se ve claramente el movimiento que se realizó sobre el eje Y del acelerómetro, que corresponde por arreglo en posición vertical al eje X de la máquina.

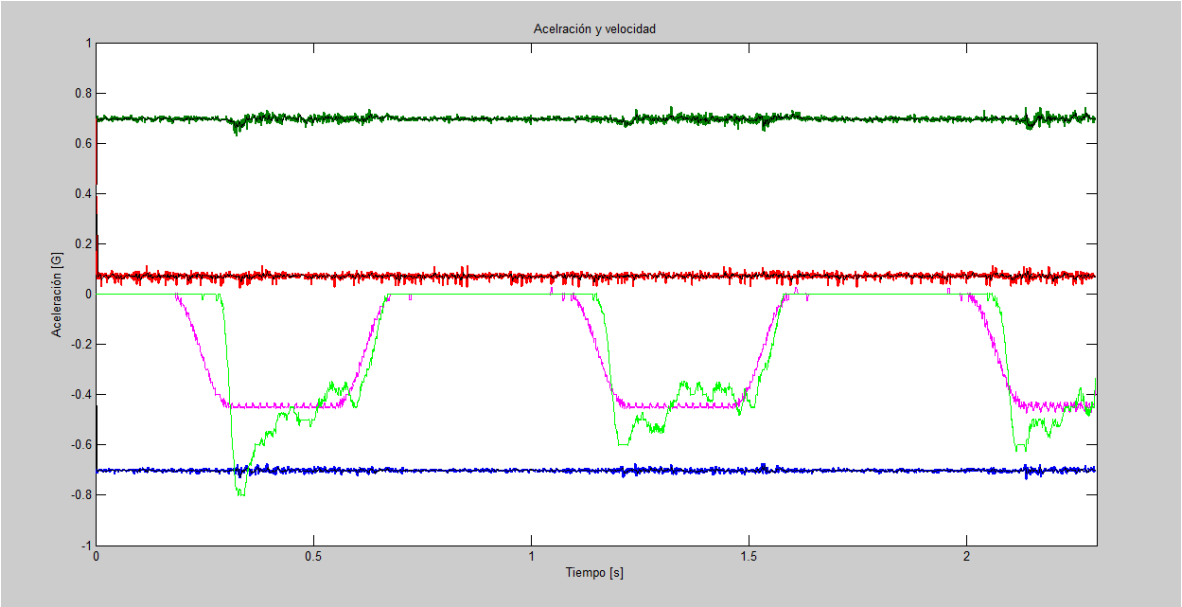


Figura 49. Resultados de prueba de acelerómetro.

Capítulo V

5. Conclusión.

Conclusión General.

En el desarrollo de este trabajo se realizaron varias actividades de las cuales se obtuvo experiencia en el manejo de maquinaria como en el diseño asistido por computadora, se manejó y desarrolló el proceso de producción al diseñar, analizar e implementar el mecanizado en un centro CNC, que en una escala mayor se puede comparar con la producción masiva industrial, nuevas habilidades de ensamble mecánico fueron desarrolladas al tener una unidad de la cual no se tiene información mecánica como lo son diagramas de ensamble.

Prospectiva.

La finalidad de este trabajo es que se pueda avanzar en el desarrollo interno de un control de posicionamiento de ejes, que los estudiantes de diversos niveles académicos tengan un banco de pruebas funcional, igualmente en el mejoramiento de los sistemas ya existentes desarrollados por los mismos.

Realizar una mejora en el dispositivo de sujeción de herramienta mediante la implementación de una torreta completamente automática añadiendo así un tercer eje al mecanismo de servo posicionamiento.

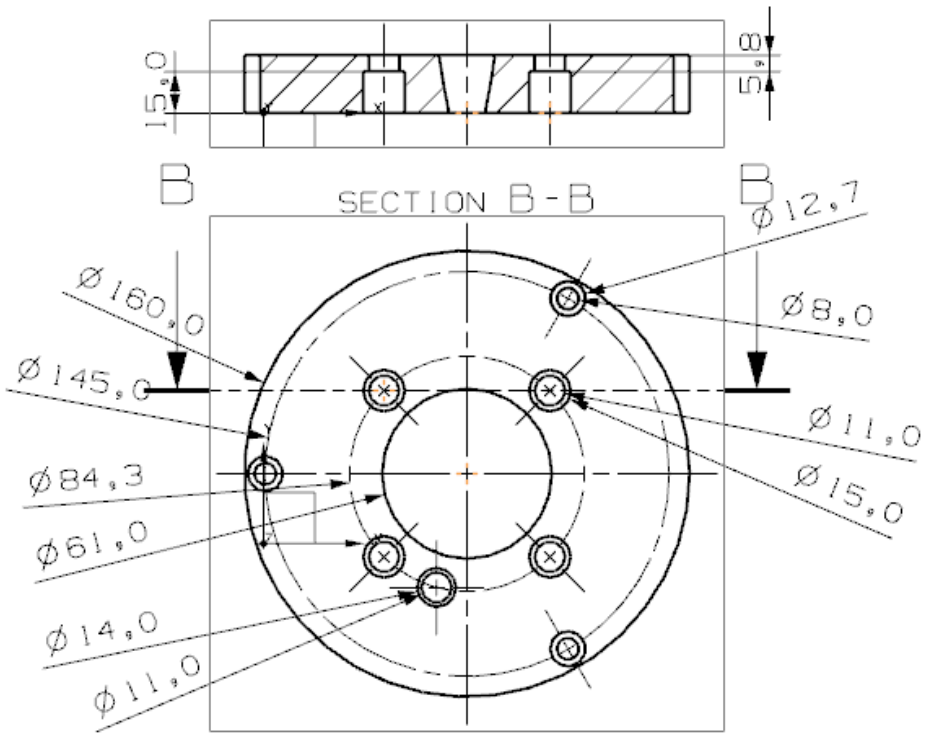
La meta final de este proyecto es generar una máquina herramienta funcional para la industria, ofreciendo así soluciones a un precio – costo viable para emprendedores o pequeños empresarios.

Conclusión personal.

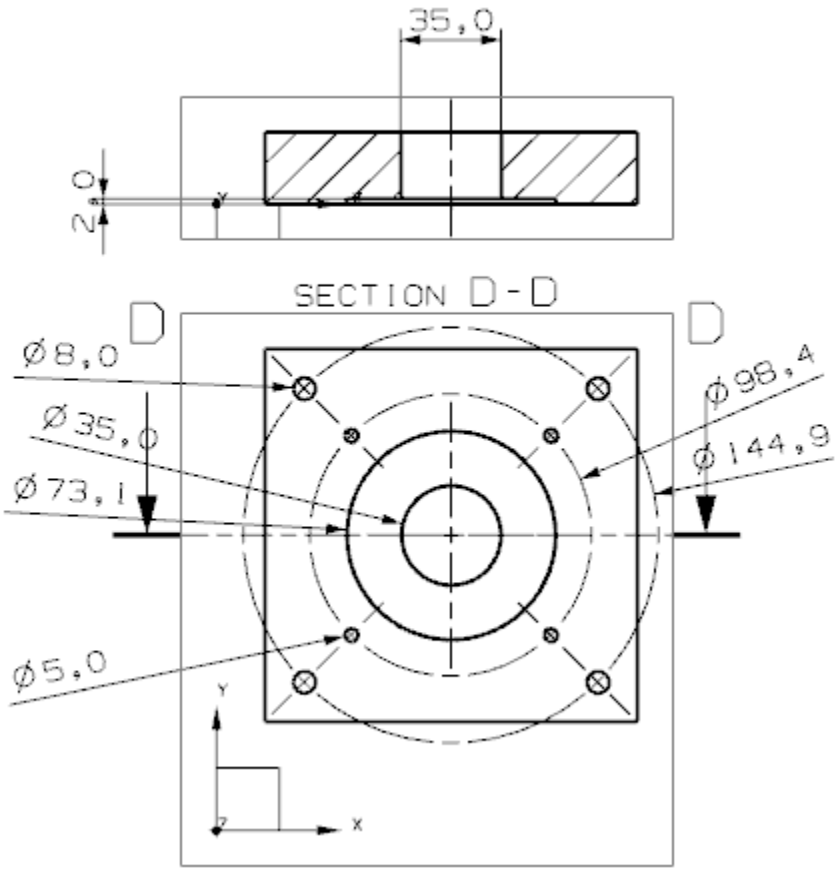
El término de este trabajo significó para mí un avance en mi desarrollo personal y profesional, aplicando los conocimientos obtenidos tanto en la licenciatura como en la práctica, culminando así con una gran satisfacción al haber aportado en cierta medida al desarrollo de futuras generaciones e impulsando el desarrollo de mi país.

Apéndice

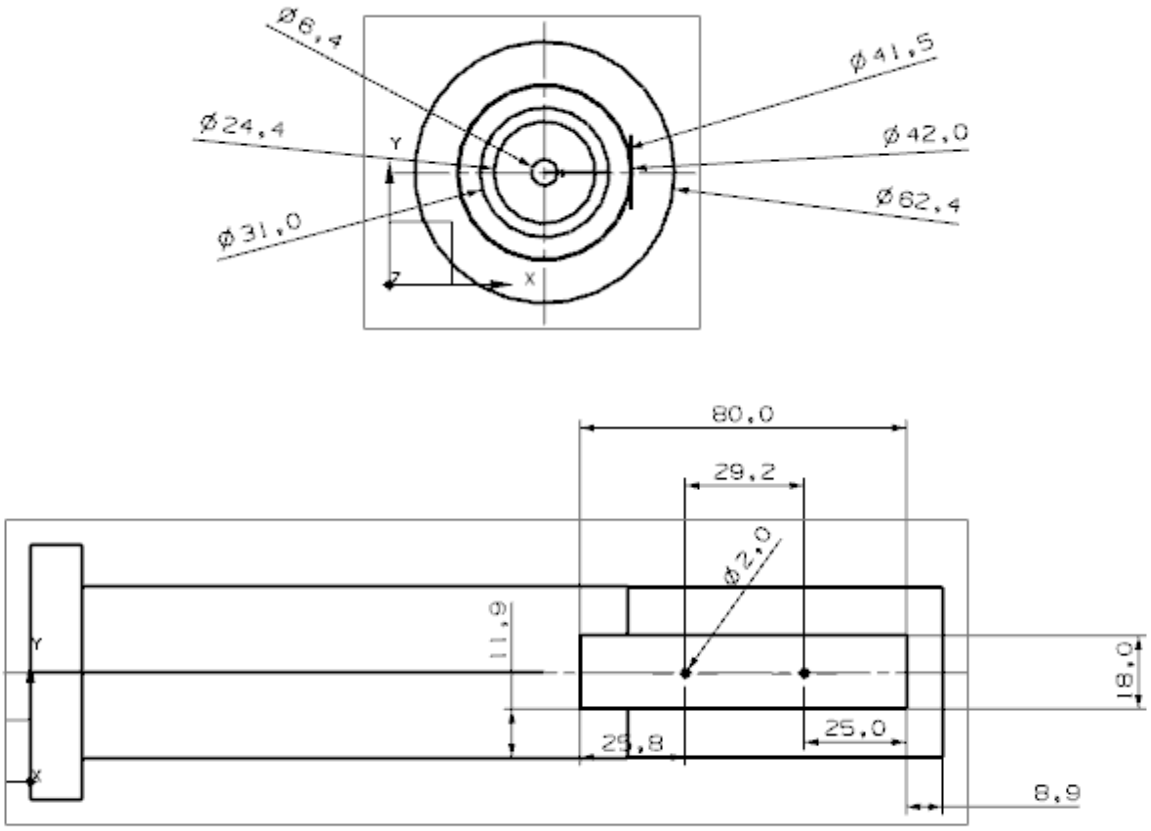
1. Planos de taller de piezas mecanizadas.



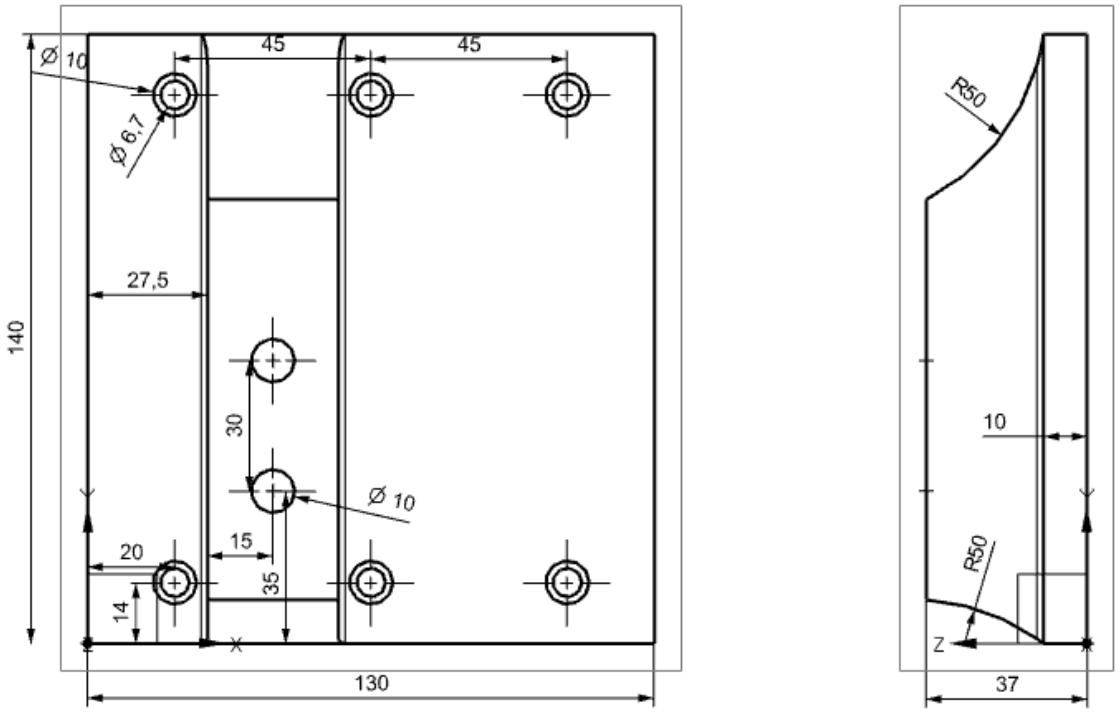
Planos de taller para el mecanizado del cople mecánico del chuck

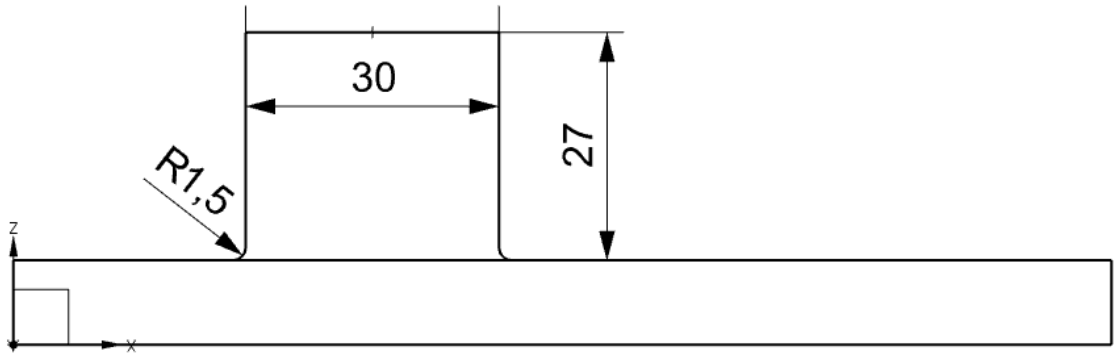


Planos de taller para el mecanizado del cople del servomotor



Planos de taller de dispositivo para la sujeción de punto giratorio





Planos de taller de dispositivo de sujeción de herramienta de corte

2. Resultados en prueba de husillo.

Frecuencia (Hz)	referencia (Vdc)	Volts a la salida (Vac)	RPM´s	Corriente (A)
1	0.071	26	63	4.2
1.5	0.255	30	90	3.9
2	0.354	37	120	3.7
2.5	0.419	42	150	3.5
3	0.506	47	180	3.4
3.5	0.583	50	210	3.2
4	0.678	53	245	3.1
4.5	764	57	274	3
5	0.832	60	300	2.9
5.5	0.921	71	335	2.9
6	0.994	74.2	360	2.9
6.5	1.088	77.5	395	2.8
7	1.159	80.5	420	2.8
7.5	1.245	83.4	450	2.8
8	1.326	85.9	480	2.8
8.5	1.423	88.7	515	2.8
9	1.502	91.3	545	2.7
9.5	1.591	94.2	575	2.7
10	1.673	96.8	608	2.7
10.5	1.754	99	630	2.7
11	1.842	101.5	670	2.7
11.5	1.914	103.5	697	2.7
12	1.995	105.8	720	2.7
12.5	2.084	108.2	755	2.7
13	2.158	110.4	780	2.6
13.5	2.249	113.1	817	2.7
14	2.339	115.6	845	2.7
14.5	2.413	117.6	875	2.6
15	2.494	119.6	900	2.6

15.5	2.58	121.5	935	2.6
16	2.669	123.7	966	2.6
16.5	2.747	126.1	995	2.6
17	2.847	128.5	1030	2.6
17.5	2.914	130.4	1055	2.6
18	2.995	132.3	1086	2.6
18.5	3.092	134.4	1120	2.6
19	3.174	136.2	1148	2.6
19.5	3.253	137.9	1178	2.6
20	3.334	139.9	1200	2.6
20.5	3.418	141.5	1240	2.6
21	3.506	143.7	1267	2.6
21.5	3.581	145.4	1297	2.6
22	3.667	147.2	1325	2.6
22.5	3.742	148.9	1354	2.6
23	3.829	150.7	1385	2.6
23.5	3.917	152.5	1420	2.6
24	4.004	154.5	1448	2.5
24.5	4.076	155.7	1475	2.5
25	4.169	157.5	1500	2.5
25.5	4.243	159.2	1536	2.5
26	4.334	160.7	1564	2.5
26.5	4.416	162.5	1595	2.5
27	4.501	164.5	1627	2.5
27.5	4.581	165.9	1654	2.5
28	4.665	167.6	1688	2.5
28.5	4.751	169.2	1715	2.5
29	4.831	170.7	1748	2.5
29.5	4.909	172.1	1774	2.5
30	5.001	173.9	1807	2.5
30.5	5.069	175.5	1830	2.5
31	5.156	176.8	1863	2.5
31.5	5.238	178.5	1896	2.5
32	5.329	179.9	1925	2.5

32.5	5.408	181.5	1955	2.5
33	5.488	183.1	1986	2.5
33.5	5.585	184.2	2019	2.5
34	5.672	186.3	2054	2.5
36	6.005	192	2171	2.5
38	6.335	197.3	2290	2.5
40	6.68	203.1	2418	2.5
42	7	208.3	2528	2.5
44	7.3	213.4	2650	2.5
46	7.6	218.5	2769	2.5
48	7.99	223.5	2880	2.5
50	8.31	228.5	3001	2.5
52	8.73	235.2	3150	2.5
54	9	239.6	3245	2.5
56	9.32	244.5	3360	2.5
58	9.64	248	3478	2.5
60	9.98	249	3598	2.5

Bibliografía

Alarcón Santiago. Mayo 2012. Desarrollo de condiciones de corte para fundición de hierro. Makino.

Curso. Septiembre 2012. Manual part programing. Makino.

Kenammetal. 2012. Tools and inserts specifications catalog.

Makino. 2012. ventajas y desarrollos de centros de maquinado. Manufacturero de centros de mecanizado.

Seminario. Marzo 2012. Mecanizado de fundición de hierro. Makino.

García González Alejandro. 2011. Metodología para la elaboración de piezas en el centro de maquinado CNC. Universidad Autónoma de Querétaro.

Alarcón Santiago. Marzo 2011. Conferencia. Porqué el uso de maquinaria CNC?. Makino.

Gamboa Zuñiga, Luis. 2010. Aplicación de CNC en el maquinado de una pieza de geometría compleja. Universidad Autónoma de Querétaro.

Jaen Cuellar, Arturo Yosimar. 2009. Guía para elaborar manuales de reconversión de maquinaria, aplicada a un torno CNC. Universidad Autónoma de Querétaro.

Smid, Peter. 2006. CNC programming techniques. editorial IP.

Trejo Hernández, Miguel. 2006. Módulo de maquinado y monitoreo, aplicando control difuso en un proceso de torneado. Universidad Autónoma de Querétaro.

García Quijada, Manuel. 2006. Sistema de supervisión de ruptura en herramientas para tornos de control numérico computarizado. Universidad Autónoma de Querétaro.

Alaniz Lumbreras, Pedro Daniel. 2005. Unidad CNC con sistema de corte adaptable para la optimización de maquinado. Universidad Autónoma de Querétaro.

Romero Troncoso, René de Jesús. 2004. Procesamiento de señales para detección de ruptura de herramientas en sistemas de manufactura. Universidad Autónoma de Querétaro.

Hutton, David. 2004. Fundamental of the finite element analysis. 2004. ed. Mc Grow HIll

Weck, Fisher y Vos. 1997. Fabricación de microcomponentes usando maquinaria de alta precisión.

Kao & Yeh Machine Industrial Company. 1996. resultado de un estudio de juego mecánico. Manufacturero de máquinas herramienta.

Cook, Robert. 1995. Finite element modeling for stress analysis. ed. John Wiley and Sons, inc.

Ford, Henrry. 1989. Teoría del taller, ed. Gustavo Gil.